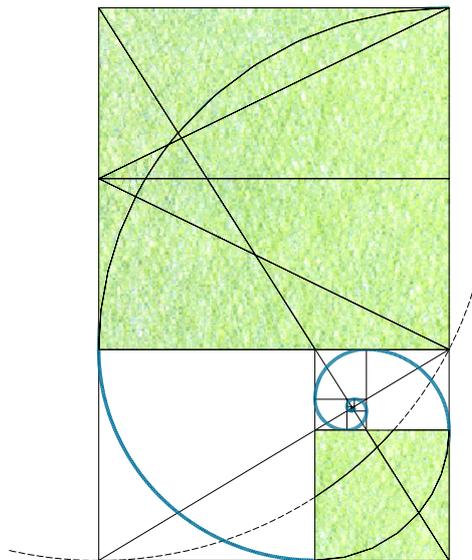


Dissertation

Rechnergestützte Planungsprozesse der Entwurfsphasen des Architekten auf Basis semantischer Modelle

Dipl.-Ing. Herbert Moelle

Fachgebiet
Computer Aided Architectural Design (CAAD)
Prof. Dipl.-Ing. Richard Junge



Technische Universität München
Institut für Entwerfen und Bautechnik
Fachgebiet Computer Aided Architectural Design (CAAD)

Rechnergestützte Planungsprozesse der Entwurfsphasen des Architekten auf Basis semantischer Modelle

Wege, die Akzeptanz von CAAD-Systemen
in den frühen Phasen des Entwurfs zu verbessern

Herbert Moelle

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur
der Technischen Universität München zur Erlangung des
akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender : Univ.-Prof. Dr. phil. Norbert Huse

Prüfer der Dissertation :

1. Univ.-Prof. Richard Junge

2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rudolf Wienands

Die Dissertation wurde am 28.07.2006 bei der
Technischen Universität München eingereicht und durch
die Fakultät für Architektur am 27.09.2006
angenommen.

Abstrakt (dt.)

Entwurfsaufgaben können mit dem Computer nur unterstützt werden, wenn auch der kreative Akt des Entwerfens Berücksichtigung findet. CAAD-Systeme auf Basis semantischer Gebäudemodelle könnten dazu beitragen, werden aber bislang in der Praxis nicht zum Entwerfen genutzt. Um mit heutigen CAAD-Systemen entwerfen zu können braucht der Anwender erhöhte „Kopf“-Arbeit, statt dass das System ihn in seinen kreativen Phasen (Intuition) unterstützt. Ein gutes CAAD-System bietet mehr Informationen in jedem Stadium des Entwurfes an, es motiviert den Entwerfer, läßt Emotionen zu, und entfesselt dessen kreative Fähigkeiten. Echte Computerunterstützung beginnt dort, wo das CAAD-System Dinge sichtbar macht, die sich weniger erfahrenden Anwendern zunächst nicht erschließen.

Diese Arbeit will interdisziplinär das Verständnis von Architektur und dem architektonischen Entwurfsprozess auf der einen, sowie bekannte Methoden aus der Informatik und den Grenzen heutiger Computer auf der anderen Seite in Einklang bringen. Hauptziel dabei ist es aufzuzeigen, ob der Einsatz von Gebäudemolldaten in CAAD-Systemen bereits in den frühen Phasen des Entwurfs den architektonischen Entwurfsprozess positiv unterstützen kann. Dazu werden die Hemmnissen ausgemacht CAAD-Systeme in den Phasen des Entwurfs einzusetzen und Antworten darauf gegeben, wie man modellbasierte CAAD-Systeme für die verschiedenen Entwurfsphasen sowohl in qualitativer als auch quantitativer Sicht attraktiv machen kann. Dabei wird auf Besonderheiten der Kreativität, der bewussten und unbewussten Denkprozesse eingegangen, ohne die kein „neuer“ (Ent)wurf entstehen kann. Der Autor kommt zu dem Schluß, dass die Kommunikation mit dem CAAD-System entscheidend verbessert werden muss, um damit entwerfen zu können. Dazu bieten sich Produktmodellbasierte Objekte an, wie sie bspw. als Bauteilobjekte in Gebäudemodellen verwendet werden. Erst wenn die Bedieneroberfläche wirklich intuitiv zu handhaben ist, werden auch Gebäudemodelle in den frühen Phasen des Entwurfs von entwerfenden Architekten akzeptiert. Deshalb sind semantische Gebäudemodelle Voraussetzung jeglicher notwendiger „Intelligenz“ für ein entwurfsunterstützendes CAAD-System.

Keywords: Computer-Aided Architectural Design (CAAD), semantisches Gebäudemodell (GM), Architektur, Entwerfen von Architektur, Kreativität, Bedieneroberfläche (HUI), CAAD-Systeme, objektorientiertes Entwurfsmodul

Abstract (engl.)

The design process can only be supported by the computer, if the creative act of designing finds consideration. Computer based design Systems (CAAD-Systems) using object-orientated semantic building models could contribute, but are not used in the design process nowadays.

To design with today's CAAD systems, users need increased "head"- work instead of using the system intuitively, getting supported in their creative decision making process. A good CAAD system offers more information and invokes creative imagination for each stage of the design process. It motivates the designer, permits emotions, and provokes its creative abilities. Genuine aid from the computer begins, where the CAAD system makes things visible, of which the less experienced user is unaware of at first. This paper wants to bring on the one hand, interdisciplinary understanding of architecture and the architectural design process and on the other hand the known methods from computer science and the borders of today's computers into agreement. The main objective is to point out whether the use of building model data in CAAD systems can support the architectural design process in its early stage. Therefore, barriers to not using CAAD systems in the phases of design are detected and answers are given to how model-based CAAD systems can become attractive for the use in different design phases, both from a qualitative as from a quantitative point of view. Thereby the two characteristics, the conscious and unconscious thinking processes of creativity are addressed. Whom without, "new" design can't be developed. The author comes to the conclusion that improving interaction with the CAAD-system is crucial, in order for them to be used in the design process. Product-model-based objects could be used, as construction unit objects are used in building models. Only if the human user interface can be handled truly intuitively, will building models be accepted by designers in the early phases of design. Therefore semantic building models are a condition for any necessary "intelligence" of an integrated design environment supporting CAAD system.

Keywords: Computer-Aided Architectural Design (CAAD), Building-model, Creativity, Human User Interface (HUI), Objektorientated-Design Environment

ZUSAMMENFASSUNG	1
1 EINFÜHRUNG	3
1.1 Motivation	3
1.2 Ausgangssituation heute.....	9
1.2.1 CAD-Einsatz in Architekturbüros heute	9
1.2.2 Softwareangebot	10
1.2.3 Entwerfen mit dem Computer heute	11
1.2.4 Von der Fertigungsindustrie lernen	12
1.2.5 Anforderungen an entwurfsunterstützende CAAD-Systeme	13
1.2.6 Entwerfen – ein komplexer Vorgang	14
1.2.7 Kritische Anmerkung zur Softwareentwicklung	14
1.3 Ein CAAD-Arbeitsplatz gestern, heute und in Zukunft	15
1.3.1 Die Rechnerleistung.....	15
1.3.2 Die Software – Betriebssystem (BS) und Applikationen.....	17
1.3.3 Preisentwicklung.....	18
1.3.4 Neue Hardware und Technologien	19
1.4 Hemmnisse, CA(A)D im Entwurfsstadium einzusetzen	23
1.4.1 Computer versus Papier und Bleistift	23
1.4.2 Technische Einschränkungen	25
1.5 Semantische Gebäudemodelle.....	26
1.6 Nutzen des frühen Einsatzes des Computers	26
1.7 Fragen, die sich stellen.....	28
2 ARCHITEKTUR – REGELN UND GRAMMATIKEN	30
2.1 Einleitung	30
2.1.1 Architektur – Harmonie – Schönheit	31
2.1.2 Traktate zur abendländischen Architektur über die verschiedenen Epochen.....	31
2.1.3 Entwurfsregeln im Wandel der Architekturtheorien	32
2.2 Architekturtheorie	36
2.2.1 Vitruv	36
2.2.2 Leon Battista Alberti.....	41
2.2.3 Von der Säulenordnung zu Proportionen und Raster	45
2.2.4 Andrea Palladio	46
2.2.5 Gegenströmungen zur klassischen Proportionslehre im 18. Jahrhundert	49
2.2.6 Im Industriezeitalter führen neue Techniken zu tief greifenden Änderungen.....	55
2.2.7 Weinbrenner / Immanuel Kant	57
2.2.8 Gottfried Semper und Emmanuel Viollet-le-Duc	58
2.2.9 Schinkel	59
2.2.10 Kant.....	60
2.2.11 Sullivan: form follows function	60

2.2.12	Otto Wagner	61
2.2.13	Adolf Loos, der Raumplan.....	62
2.3	Definition von Architektur im 20. Jahrhundert	65
2.3.1	Internationalität ist eines der Schlagworte der Architektur des 20. Jahrhunderts	67
2.3.2	Verschiedene Auffassungen zur Architektur der letzten Jahrzehnte	68
2.3.3	Die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts.....	68
2.4	Neue Materialien führen zu neuen Formen und Vorfertigungen	71
2.4.1	Organische Architektur	72
2.4.2	Industrielle Vorfertigung bestimmt die Zukunft	73
2.5	Musik und Architektur – Proportionen, Farben, Empfindungen	74
2.5.1	Das Monochord macht Schwingungen sichtbar.....	76
2.5.2	Goldener Schnitt und harmonische Teilung	76
2.5.3	Fibonacci-Folge in Natur und Architektur	78
2.5.4	Albertis Palazzo Rucellai.....	78
2.5.5	Le Corbusier.....	79
2.5.6	Beispiele aus neuerer Zeit	81
2.6	Typologie in der Architektur.....	81
2.7	Fazit	83
3	ENTWERFEN IN DER ARCHITEKTUR	86
3.1	Einleitung	86
3.2	Begriffe Architekt und Architektur.....	86
3.2.1	Anschauungen der vergangenen Jahrhunderte.....	87
3.2.2	Was macht Entwerfen von Architektur aus?	89
3.2.3	Entwerfen von Architektur im Sinne von gebauter Umwelt.....	91
3.2.4	Entwerfen als Bestandteil einer (Bau-)Planung	91
3.2.5	Abgrenzung „Designen“ versus „Entwerfen“	92
3.3	Der architektonische Entwurf.....	94
3.3.1	„Ein qualitativ-synthetischer Entwurfsansatz“	94
3.3.2	Entwerfen (Designen) in der Forschung.....	97
3.3.3	Anforderungen an den Entwerfer	97
3.3.4	Entwurfsmethoden	98
3.3.5	Strukturierung des Entwurfsprozesses.....	99
3.3.6	Entwurfsstrategien	102
3.3.7	Vorgehensweisen in der Konzeptphase (Vorentwurf).....	104
3.4	Kreativität.....	105
3.4.1	Definitionen	106
3.4.2	Phasen der Kreativität	109
3.4.3	Abgrenzung von KI.....	109
3.4.4	Kreativität in der Domäne Architektur.....	110

3.5	Die Macht der Intuition	110
3.5.1	Der unbewusste Einfluss	111
3.5.2	Intuition und Emotionen versus Verstand.....	111
3.6	Entwurfsmentalitäten	112
3.6.1	Der überwiegend „aus dem Bauch heraus“ entwickelte Entwurf	113
3.6.2	Der „kopfbetonte“ Entwurf	117
3.7	Entwerfen	117
3.7.1	Ein üblicher Entwurfsablauf	118
3.7.2	Stimulans der kreativen Kräfte	119
3.7.3	Grenzen menschlicher Wahrnehmung.....	121
3.8	Mathematik zur Entwurfsunterstützung	122
3.8.1	Symmetrie und Ornamente	123
3.8.2	Neue Formen mit Hilfe von Fraktalen.....	123
3.9	Architektonisches Entwerfen mit Informationstechnologie.....	125
3.10	Architekt und Architektur im Wandel durch Computereinsatz	126
3.10.1	Neues Paradigma in der Architektur: New Organism.....	127
3.10.2	Immer höhere Ansprüche an den (Entwurfs-) Architekten	128
3.11	Kritische Anmerkungen zur heutigen Entwurforschung.....	130
3.12	Fazit	131
4	SCHWACHSTELLEN HEUTIGER COMPUTERSYSTEME	135
4.1	Die menschliche Informationsverarbeitung.....	135
4.2	CAAD-Systeme: zu schwer zu erlernen, zu leicht zu vergessen	137
4.2.1	Schwachstelle: Benutzeroberfläche.....	137
4.2.2	Unterstützung in den frühen Phasen des Entwurfs.....	138
4.2.3	Die Wahrnehmung und das (visuelle) Gedächtnis bestimmen maßgeblich die Interaktion mit dem Computer.....	138
4.2.4	Semantik in der Grafik.....	139
4.2.5	Semantik in der Sprache	140
4.3	Unser Gedächtnisspeicher	141
4.3.1	Das sensorische Register (SR).....	141
4.3.2	Das Kurzzeitgedächtnis (KZG).....	142
4.3.3	Das Langzeitgedächtnis (LZG)	143
4.3.4	Computer versus menschliche Denkweise	144
4.4	Überlegenheit und Grenzen von Rechnern und CAAD-Systemen aus heutiger Sicht	144
4.4.1	Stärke des Computers.....	144
4.4.2	Schwächen heutiger (CAAD-) Computersysteme.....	146

4.5	Überlegenheit des Menschen liegt in der Kreativität.....	148
4.6	Computersysteme im Bauwesen heute	149
4.6.1	Facilities Management (FM)	150
4.6.2	CA(A)D beeinflusst die Gegenwartsarchitektur	150
4.6.3	Nur ansatzweise Entwurfsunterstützung in den frühen Phasen des Entwurfs	151
4.7	Künstliche Intelligenz	153
4.7.1	Anwendungsbereiche	154
4.7.2	Möglichkeiten der KI für CAAD-Systeme	154
4.7.3	Vier Orientierungen in der KI-Forschung	155
4.7.4	KI-Methoden	155
4.7.5	Softwareagenten und Avatare.....	156
4.7.6	Unsicherheit und Wahrscheinlichkeit	161
4.7.7	Lernfähige Systeme.....	161
4.7.8	(Künstliche) neuronale Netze	161
4.7.9	Der Aufbau künstlicher neuronaler Netze (KNN)	164
4.7.10	Aufgabenstellungen an Expertensysteme.....	165
4.7.11	Kritische Anmerkungen zu KI	166
4.8	Fazit	167
5	CAAD IN FORSCHUNG UND PRAXIS	170
5.1	Einleitung.....	170
5.2	Verschiedene Modelle des Entwurfs	172
5.2.1	Christopher Alexanders „Pattern Language“-Architekturtheorie	173
5.3	Shapegrammars, Regeln und Grammatiken	174
5.3.1	2D-Grammatiken in der Architektur	174
5.3.2	3D-Grammatiken in der Architektur	175
5.3.3	Ein „berechenbarer“ Entwurfsprozess	180
5.3.4	References and Description	183
5.3.5	Manipulationen	185
5.4	Case-based Reasoning (CBR)	186
5.4.1	Voraussetzung zur Entwurfsunterstützung durch CBR	189
5.5	Analyse und Synthese	190
5.6	Gebäudemodelle (GMs)	192
5.6.1	Produktmodellierung	192
5.6.2	Das abstrakte Gebäude(Objekt)modell	193
5.6.3	Objektorientierte Gebäude(Produkt)modelle heute	196
5.6.4	Heutige Gebäudemodelle.....	199
5.6.5	Views (Sichten) auf das Gebäudemodell.....	200
5.6.6	Was heutige GMs leisten und was nicht	200
5.7	Chancen für ein einheitliches Gebäudemodell.....	202
5.8	Der Planungsprozess im Bauwesen heute.....	203

5.9	CAAD-Systeme sind Kreativitätskiller	204
5.9.1	Handskizzen haben eine persönliche Note.....	205
5.9.2	CAAD-Systeme zu kompliziert zu bedienen	206
5.10	Intuitives User Interface – Voraussetzung zum computerunterstützten Entwerfen ...	207
5.10.1	Die <i>7-Memory-Regel</i> , ausschlaggebend für alle weiteren Entwicklungen im CAAD für Entwerfer	207
5.10.2	Beides, unscharfes Skizzieren und einfache Eingabeunterstützung für exaktes Zeichnen, ist erforderlich.....	209
5.10.3	Vergleich zu DTP in den 70er Jahren.....	210
5.11	Kritik am Status quo.....	212
5.11.1	Vom CA(A)D-Drafting zum abstrakten gedanklichen Objekt	212
5.11.2	Shapegrammarsbasiertes CAAD	212
5.11.3	Wissensbasierte CAAD-Systeme unterstützen den Planer	213
5.12	Allgemeine Problemstellung der Softwareentwicklung für Architekten	214
5.12.1	Der Markt ist vergleichsweise klein	214
5.12.2	Architekten haben eine andere Problemstellung als Bauingenieure.....	215
5.13	Was heutige Anwendungsprogramme leisten bzw. nicht leisten	216
5.13.1	Kann ein Computerprogramm kreativ sein?	216
5.13.2	Entwurfsbedingte Iterationen.....	216
5.13.3	Komplexe Eingabeabläufe für einen simplen „Eingriff“	216
5.13.4	CAD-Systeme arbeiten im 3D-Raum	217
5.13.5	Überführen unscharfer Freihandlinien zu exakten Geometrien	217
5.14	Kritik am Status quo der CAAD-Systeme.....	218
5.15	Was fehlt, um CAAD für die frühen Phasen attraktiv zu machen?	219
6	ANFORDERUNGEN	220
6.1	Das Gebäudemodell (GM).....	221
6.2	Das Entwurfsmodul.....	221
6.2.1	Erzeugung und Reduktion von Varietät	222
6.2.2	Views – die unterschiedlichen Abstraktionsgrade	222
6.2.3	Stile – die persönliche Handschrift	222
6.2.4	Die Vorgehensweisen beim Entwerfen	223
6.3	Anforderungen an die qualitative Entwurfsunterstützung	223
6.3.1	Unscharfe Eingaben	223
6.3.2	Unscharfe Darstellung	224
6.3.3	Architekturregeln anbieten	225
6.3.4	Arbeiten mit 3D-Grundkörpern.....	225
6.3.5	Generatoren zur Entwurfsunterstützung.....	225
6.3.6	Gebäudeelemente (GE) aus Bauteilgruppen	226

6.4	Anforderungen an die quantitative Entwurfsunterstützung	226
6.4.1	Arbeiten im Ganzen ermöglichen	226
6.4.2	Wissen über Randbedingungen bereitstellen	227
6.4.3	Sekundäre Planungshilfen als Objekte im GM integrieren	227
6.4.4	Routineaufgaben in der Planung abnehmen	227
6.4.5	Prüfung der Konzepte anhand der Anforderungen	228
6.4.6	Vernetzung mit anderen Programmen	228
6.5	Anforderungen an die Benutzerschnittstelle (UI).....	228
6.5.1	Die intuitive Bedieneroberfläche	229
6.5.2	Automatismen, die eine intuitive Benutzung der Software zulassen	232
6.5.3	Ein intuitives CAAD	233
6.5.4	Editieren.....	234
6.6	Hardware.....	234
6.6.1	Benutzerschnittstelle aus Hardwaresicht	234
6.6.2	Direkt beschreibbare Bildschirme	235
6.6.3	Spracheingabe zur Kommunikation mit dem Computer	235
6.6.4	2D-Scanner	235
6.6.5	3D-Scanner	235
6.6.6	3D-Plotter	236
6.7	Fazit	236
7	CHANCEN KÜNFTIGER CAAD-SYSTEME	237
7.1	Ansätze zu Alternativen	238
7.1.1	Nutzen des GM in der Entwurfsphase.....	240
7.1.2	Views	240
7.1.3	Stile	241
7.1.4	Unscharfe Darstellung (Kommunikations-View).....	241
7.1.5	3D-Skizzen in Modelldaten (3D-Geometrie) umwandeln	241
7.1.6	Arbeiten mit Gebäudeelementen	241
7.1.7	Anpassen semantischer Gebäudeelemente an veränderte Situationen	243
7.1.8	Wer hat was wann und warum gemacht?	244
7.1.9	Daten der Grundlagenermittlung nutzen.....	244
7.1.10	Möglichkeiten und Nutzung eines einheitlichen GM in Baubetrieb und Bauunterhaltung (FM)	244
7.1.11	Qualitative Entwurfsunterstützung in frühen Phasen des Entwurfs.....	245
7.1.12	Quantitative Unterstützung im Entwurfs- und Planungsprozess	246
7.2	Benutzerschnittstelle (UI).....	247
7.2.1	Unscharfe Eingaben	248
7.2.2	Editieren.....	248
7.2.3	Navigator.....	248
7.2.4	Spracheingabe	250
7.3	Datenhaltung, Modelldatenaustausch.....	250

7.4	Hardware	251
7.4.1	Bildschirm	251
7.4.2	Eingabemedium	252
7.4.3	Ausgabemedium	252
7.4.4	Vernetzung	253
7.5	Fazit	253
8	MACHBARKEIT UND AUSSICHTEN – LÖSUNGSANSATZ.....	255
8.1	Das Entwurfsmodul.....	255
8.1.1	Der Dialog mit dem Computer	256
8.1.2	Erzeugung und Reduktion von Varietät	257
8.2	Das Viewsystem.....	258
8.2.1	Views und ihre Stile	258
8.2.2	Verschiede Views (Auswahl)	259
8.2.3	Stile – CAAD-Präsentationen müssen nicht alle gleich aussehen.....	263
8.3	Qualitative Entwurfsunterstützung in den frühen Phasen	264
8.3.1	Konzeptskizzen (Diagrams)	264
8.3.2	Funktionsdiagramme (Bubble Diagrams)	265
8.3.3	Skizzen in GM-Daten überführen	266
8.3.4	Unschärfe Darstellung der Entwurfsskizzen	270
8.3.5	Versionsmanager	273
8.3.6	Architekturregeln	274
8.3.7	Arbeiten mit 3D-Grundkörpern.....	276
8.3.8	Generatoren für Routinearbeiten (Alberti)	276
8.3.9	Shapegrammars am Beispiel von Wachstumsgeneratoren	277
8.4	Softwareassistenten unterstützen den Entwerfer.....	278
8.4.1	Der Planungsassistent bildet die Plattform	279
8.4.2	Der Verwaltungsassistent.....	279
8.4.3	Formfindungsassistent.....	280
8.4.4	Unterstützung des Tragwerksentwurfs	281
8.4.5	Raumbucherfassungsassistent	281
8.4.6	Verhaltensassistent	281
8.4.7	Strömungsassistent zur thermischen Gebäudesimulation	282
8.4.8	Akustikassistent	282
8.4.9	Der Historienassistent	282
8.4.10	Entwurfskonzepte.....	283
8.4.11	Entwurfsassistent(en)	283
8.4.12	Modellierungsassistent – ein Ansatz?	286
8.5	Quantitative Entwurfsunterstützung	286
8.5.1	Planbeschriftung, Vermaßung	286
8.5.2	„Architekten“-Schnitserzeugung.....	286

8.5.3	Geschossübergreifendes Arbeiten	287
8.5.4	(Quantitative) Entwurfsunterstützung des Architekten	287
8.6	Zusatzprogramme	290
8.6.1	Workflow für den gesamten Projektablauf.....	290
8.6.2	Überbaubarkeitsprüfer	290
8.6.3	Editierhilfen	291
8.7	Vorschlag für ein GM-Programm, nutzbar ab der ersten Leistungsphase	291
8.7.1	Erfassen und Ergänzen der Raumanforderungen	292
8.7.2	Vorbelegungen	292
8.7.3	Umwandlung der alphanumerischen Daten in grafische Repräsentationen.....	293
8.7.4	Layout-Automat	294
8.7.5	Das Gliederungssystem	295
8.7.6	Blocking and Stocking	296
8.7.7	Gebäudeteilübergreifende Objekten.....	297
8.7.8	Paralleles Arbeiten in allen Views.....	297
8.7.9	Arbeiten im Volumen, Denken im Ganzen (ALBERTI „revers“)	298
8.7.10	Bauteile als Objekte in den frühen Phasen.....	299
8.7.11	Das Rastermodul.....	299
8.7.12	Visualisierung in 3D	301
8.7.13	Ausgabe an ein Modellierwerkzeug.....	302
8.8	Eine intuitive Bedieneroberfläche für Entwerfer	302
8.8.1	Der Nutzen des GM für die Softwareergonomie in den Entwurfsphasen.....	303
8.8.2	Planungsphasen angemessene Eingabe- und Editierhilfen	303
8.8.3	Maßstabsabhängiger Detaillierungsgrad in den Entwurfsphasen	304
8.8.4	Besonderheiten des Vorentwurfs	304
8.8.5	Eingabehilfen in den frühen Phasen des Entwurfs	305
8.8.6	Entwurfs- und Eingabeplanung	305
8.8.7	Konstruieren und Editieren von CAAD-Daten	306
8.8.8	Navigator.....	306
8.8.9	Unscharfe Eingaben	307
8.8.10	Unscharfe Darstellung	307
8.8.11	Frühe Phasen innerhalb des Planungsprozesses.....	308
8.8.12	Allgemeine Entwurfsregeln	309
8.8.13	Spracheingabe in der Erprobung?	309
8.8.14	Spracheingabe	309
8.8.15	Beschriftung von Bauzeichnungen.....	312
8.9	Hardware.....	313
8.9.1	Computer.....	313
8.9.2	Display.....	313
8.9.3	Eingabemedien.....	315
8.9.4	Direkte Eingaben auf dem Schirm (Tablett-PC)	317
8.9.5	Haptik zur Verinnerlichung der durchgeführten Aktion.....	319
8.9.6	Haptik für Freihandzeichnen.....	319
8.9.7	Simulation verschiedener Zeichenwerkzeuge	319
8.9.8	Simulation verschiedener Zeichenmaterialien.....	320

8.9.9 „Elektronische“ Handskizzen mit digitalen Stiften	320
8.9.10 Computerleistungen gestern, heute, morgen.....	321
8.9.11 Ausgabemedien	322
8.10 Vor- und Nachteile semantischer Gebäudemodelle	323
8.10.1 Vorteile	324
8.10.2 Nachteile	324
8.11 Woran der Einsatz von CAAD in den frühen Phasen des Entwurfs scheitern kann	324
FAZIT	327
LITERATURVERZEICHNIS	331

für:

Kiki

Moritz

Markus

Marie Sophie

Dank

Dank gilt Herrn Professor Junge, der jederzeit für ein Gespräch bereit war, und mich immer wieder in Phasen der Resignation aufgebaut hat, um das Vorhaben zu Ende zu bringen.

Unterstützung, vorallem in der heißen Schlußphase erhielt ich von den Kollegen und Kolleginnen am CAAD-Lehrstuhl der TUM.

Zusammenfassung

Diese Arbeit kann als interdisziplinäre Untersuchung verstanden werden, das Verständnis von Architektur und dem architektonischen Entwurfsprozess auf der einen sowie bekannten Methoden aus der Informatik mit den Grenzen heutiger Computer auf der anderen Seite in Einklang zu bringen. Hauptziel dieser Arbeit ist es aufzuzeigen, ob der Einsatz von Gebäudemolldaten (GM) in CAAD-Systemen bereits in den frühen Phasen des Entwurfs den architektonischen Entwurfsprozess positiv unterstützen kann.

Warum Gebäudemolldaten, die von einigen heutigen CAAD-Systemen bereits angeboten werden, vom Architekten nicht in den frühen Phasen des Entwurfs eingesetzt werden, kann dabei nicht unbeantwortet bleiben. So konnten bei heutigen CAAD-Systemen die Schwäche des Computers im kognitiven Bereich (Umgang mit unscharfen Eingaben) sowie die komplizierte Kommunikation des Anwenders mit dem CAAD-System (engl. Human User Interface, HUI) ausgemacht werden. Heutige CA(A)D-Systeme vereinfachen zwar das Zeichnen, verhelfen zu schnelleren Varianten und werden vor allem in den späten Phasen des Planungsprozesses effektiv eingesetzt, unterstützen aber nicht den eigentlichen Entwurfsprozess des Architekten. Der Umgang mit Objekten ist zwar möglich, setzt aber exakte Daten voraus. Deshalb kann im Entwurfsstadium, solange die Unschärfe groß ist, allenfalls bedingt nach der Bottom-Up-Methode verfahren werden.

Diese Dissertation macht deutlich, dass und warum Arbeiten mit heutigen CAAD-Systemen die Kreativität geradezu abwürgt. Es reicht nicht aus, einem CAAD-System ein GM zu hinterlegen, vielmehr muss ein intuitiv benutzbares Entwurfsmodul die Semantik im Entwurfprozess unter Ausnutzung der im GM vorhandenen Beschreibungsdaten ergänzen. Um die Anforderungen an ein solches GM-basiertes semantisches Entwurfsmodul zu erfassen, wird untersucht, wie Architekten entwerfen und welche Einflüsse aus der Architekturtheorie dabei eine Rolle spielen (können). Dabei wird auf Besonderheiten der Kreativität, der bewussten und unbewussten Denkprozesse eingegangen, ohne die kein „neuer“ Entwurf entstehen kann. Kreativität resultiert aus dem normalen Denkprozess einer Person, sie vollzieht sich langsam und stufenweise durch kreative Aktionen, die auf einer Grundlage von Erfahrungen basieren. Die unbewussten Denkprozesse spielen eine entscheidende Rolle bei der kreativen Arbeit. Im Gegensatz dazu steht die systematische Arbeit, die versucht, Lösungen durch logische Zusammenhänge herbeizuführen. Beide Problemlösungsansätze gehören nach Auffassung des Autors zusammen, keine Methode für sich allein führt zu optimalen Ergebnissen. Logik ist ein Mittel zur Kreativität, da die Analyse und deren Umsetzung in kreative Lösungen logisches Denken erfordern. Der kreative Denkprozess selbst kann zwar nicht direkt kontrolliert, aber die Kreativität kann durch geeignete Arbeitsbedingungen entscheidend motiviert werden. Die Haptik, der Verlust, die Linie am Bildschirm nicht direkt mit der Hand vollziehen zu können, nicht durch Druck auf den Stift die Bedeutung der Linie stärker zu gewichten, irritieren den Entwerfer. Skizzieren geschieht oft im Unterbewusstsein und stimuliert die kreativen Kräfte. Hingegen stört das bewusste Bedienen des Computers mittels Maus, Tablett, Tastatur und Bildschirm und leitet die Aufmerksamkeit weg von dem Entwurfsgedanken. Neuere Eingabegeräte, wie ein 3D-Stift mit Forcefeedback, der ein „fühlendes“ Modellieren mit Volumenmodellen am Bildschirm erlaubt, machen auf das Problem aufmerksam. Um Abhilfe zu schaffen, werden Lösungsansätze gezeigt, wie die Bedieneroberfläche entscheidend verbessert werden kann, damit Gebäudemodelle schon im Entwurf von kreativen Entwerfern angewendet werden.

Die Vorteile des Computers liegen, neben seiner Rechengeschwindigkeit, in seinem „Gedächtnis“, in der nahezu unbegrenzten Speicherung von Daten und dem schnellen Zugriff darauf. So können vom Entwerfer ausgelöste Aktionen durch direkt darauf bezogene begleitende Grundlagen und Fachwissen mit Hilfe des Computers bereitgestellt werden. Zusätzlich können zugeschaltete Prozeduren mit semantischen Mitteln aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) zu neuartigen Entwürfen führen.

Aufgeführte Beispiele unterschiedlicher Lösungsansätze aus der Forschung wie Case-based Reasoning (CBR), Computer-based Design (CBD) oder Shapegrammars wie bspw. Wachstumsgeneratoren (Cellular Automata, CA), machen diesen Gedanken deutlich, sowohl die kreative als auch die systematische Seite des Entwerfers zu unterstützen.

In dieser Untersuchung argumentiert der Autor, dass die Kommunikation (HUI) der CAAD-Systeme entscheidend verbessert werden muss, um damit entwerfen zu können. Dazu bieten sich Produktmodell-basierte Objekte an, wie sie bspw. als Bauteilobjekte in Gebäudemodellen verwendet werden. Erst wenn die Bedieneroberfläche wirklich intuitiv zu handhaben ist, werden auch Gebäudemodelle in den frühen Phasen des Entwurfs von entwerfenden Architekten akzeptiert. Deshalb sind semantische Gebäudemodelle Voraussetzung jeglicher notwendiger „Intelligenz“ für ein entwurfsunterstützendes CAAD-System.

Es werden Lösungsansätze sowohl für qualitative als auch quantitative Entwurfsunterstützung gezeigt. Die GMs heutiger Informationsmodelle, wie sie bspw. in den Industry Foundation Classes (IFC) durch Express (ISO-10303-11) beschrieben werden, müssen jedoch um sekundäre, intelligente Objekte wie Planungshilfen (bspw. Raster, Bemaßung, Raumstempel und Beschriftung usw.), aber auch um Bauteilgruppen (Treppenträume, Erschließungen, Gebäudeteile) erweitert werden, um diese direkt ansprechen und verwalten zu können. Der Umgang mit Produktmodelldaten zeigt neue Möglichkeiten der Kommunikation sowohl zwischen Mensch und Computersystem (HUI) als auch mit den anderen an der Planung beteiligten Personen. So wird Teamarbeit auch mit unterschiedlichen Softwarelösungen möglich. Als einheitliches Datenmodell, wie es vom internationalen STEP-Standard vorgeschlagen wird, ermöglicht es den Datenaustausch zwischen allen Projektteilnehmern und sichert weitgehend auch den Datenbestand für kommende Generationen. Ein weiterer Vorteil des einheitlichen Datenformates ist die beliebige Erweiterung durch Softwareprogramme, die den Entwurfs- und auch Planungsprozess unterstützen können (Simulationen von Licht, Akustik, Tragwerken, TGA, FM, Kosten über den Lebenszyklus). Der Architekt kann sich auf seine Entwurfsgedanken konzentrieren, indem er mit (Bauteil-)Objekten „hantiert“, statt mit einer größeren Anzahl Linien operieren zu müssen, die keinerlei Wissen über ihre Nachbarschaften haben. Das Hantieren mit semantischen (Bauteil-)Objekten eines GM, die sich automatisch ihrer Umgebung anpassen, ist wesentlich effektiver als der Umgang mit reiner Liniengrafik. Der Gedankenfluss des Entwerfenden wird dadurch weniger als bisher bei CAD üblich durch programmspezifische Aktionen unterbrochen. Der Umgang mit ganzen Baukörpern, Objektgruppen (Gebäudeteilen wie Erschließungsformen, Festpunkte usw.) sowie entwurfsrelevante Vorgänge im Zeitablauf des Entwurfsprozesses lassen ein Entwerfen auch nach der Top-Down-Methode möglich erscheinen.

Fazit:

Durch Einsatz semantischer Gebäudemodelldaten kann ein CAAD-System den Entwurfsprozess des Architekten schon in den frühen Phasen sowohl qualitativ als auch quantitativ unterstützen. Ein entwurfsunterstützendes CAAD-System sollte durch intuitive Bedienung die Kreativität des Entwerfers fördern und zusätzlich für unterstützende Hilfsprogramme jeglicher Art offen sein. Es sollte weder eine bestimmte Vorgehensweise vorschreiben noch Entwurfskonzepte oder die Anwendung des Entwurfswissens einschränken. Ein echtes entwurfsunterstützendes CAAD-System bietet mehr Informationen an und entfesselt kreative Vorstellungen in jeder Phase des Entwurfsprozesses. Auf diese Weise kann die Entscheidungsfindung des kreativen Entwerfers verbessert werden. – Der heute noch praktizierte kreative Entwurfsprozess hat sich über eine lange Zeitperiode entwickelt. Die Umstellung auf computerunterstützte Methoden wird nur schwerlich in kurzer Zeit möglich sein. CAAD hat die Arbeitsweise des Architekten wie auch die Architektur selber beeinflusst, nämlich da, wo die Realisierung großer komplizierter Bauwerke aus technischer und wirtschaftlicher Sicht durch Computerberechnungen erst möglich wird. Bleibt zu hoffen, dass entwurfsunterstützende CAAD-Software (Entwurfsmodul) auch im kommerziellen Markt verfügbar wird. Mit dem Quasi-Standard für ein Gebäudemodell (IFC) sind die entscheidenden Voraussetzungen dafür geschaffen worden.

1 Einführung

„Der Architekt übt die schönsten Tätigkeiten der Welt aus. Denn auf diesem kleinen Planeten, auf dem bereits alles entdeckt worden ist, ist das Entwerfen noch eines der großen möglichen Abenteuer.“ Renzo Piano

1.1 Motivation

„Architektur ist eine faszinierende Disziplin, in der ständig neue Instrumente zum Einsatz kommen. Das Resultat war, ist und wird Architektur sein. Die Maschine (machina) hat in der Form des Computers einen Entwicklungsstand erreicht, der sie zum nützlichen intellektuellen Instrument des Menschen macht. Die Weiterentwicklung dieser Maschine in Form von Hardware und Software ist zurzeit die dynamischste Erscheinung in den nachindustriellen Gesellschaften. Beide können voneinander profitieren: die Architektur von den neuen Möglichkeiten der Maschine, die Maschine von der Entwurfstradition der Architektur.“ [Schmitt 1993]

Schon Ende der 1970er Jahre lehrte William J. Mitchell, dass „during the 1980's everyday use of computer aided design techniques will radically transform the practice of architecture“. [Mitchell, W. J., 1977] Aber die Realität sieht anders aus, als man es erwartet hat. Es gibt eine große Anzahl verschiedener Zeichnungsprogramme im Angebot, aber diese Programme unterstützen nicht den traditionellen Skizziervorgang und sind so „inconsistent opinions“. [Achten 1996] Die Hauptursache liegt in der Basissoftware, die nicht für den Architekten-Entwurf, sondern für „Design“ von elektronischen Schaltungen (Schalterplattenlayout) und Teilen von Maschinen etc. entwickelt wurde. In diesen Disziplinen bedeutet „Design“ etwas ganz anderes, es ist in dem Zusammenhang eher mit dem wiederum dem Englischen entnommenen Wort „layouten“, was soviel wie „anordnen“ bedeutet, gleichzusetzen. Aus dieser Tatsache resultiert zwangsläufig eine für den kreativ entwerfenden Architekten komplizierte Bedieneroberfläche (HUI¹), da Objekte wie Wände, Öffnungen, Räume etc. nicht vorhanden sind und erst durch Linien (rein grafisch) „zusammengestellt“ werden müssen. Zudem haben diese (Bauteil-)

¹ HUI, Human User Interface, Bedieneroberfläche

Objekte variable Ausmaße, die sich im Laufe des Entwurfsprozesses mehrfach ändern können, was bei den Schaltungssymbolen vergleichsweise fremd ist. Diese starren, unbequemen und wenig intuitiven Bedieneroberflächen der CAD-Systeme haben bei Entwerfern eine negative Einstellung hinterlassen. Aber auch die Fähigkeiten der Entwerfer variieren. – Gleichwohl hat das Angebot an IT-Unterstützung im Architekturbüro stark zugenommen. Die Entwicklung war schnell im Vergleich zur Forschung und deren Umsetzung von Entwurfsmethoden.

Nachdem bereits 98% der Architekturbüros in Deutschland den Computer für CAD² einsetzen dürften, ist festzustellen, dass der Einsatz dieser Mittel erst mit den späteren Planungsphasen (Baueingabe/Werkplanung) erfolgt. So stellt Ulrich Flemming fest, dass die zuerst gelernte Metapher des Zeichnens auf Papier von CAD-Anwendern vielfach noch immer verwendet wird, obwohl die Programme eine wesentlich effizientere Vorgehensweise unterstützen würden. [Flemming 1996]

William Peña suchte bereits in den 1980er Jahren nach geeigneten Lösungen, den Architekten schon bei der Grundlagenermittlung zu unterstützen: „Programming the requirements of a proposed building is the architect’s first task, often the most important.“ Dabei stößt er auf ein heute nicht minder deutliches Problem: Die Denkweise von Programmierern und Architekten ist unterschiedlich. „The difference between programming and design is the difference between analysis and synthesis.“ Beide sind auf ihrem Gebiet hoch spezialisiert, von jedem werden sehr komplexe Abläufe gefordert, allerdings mit zwei unterschiedlichen Fähigkeiten: Der Programmierer ist fokussiert auf die Analyse, der Architekt auf die Synthese. Anders ausgedrückt: Programme manifestieren Möglichkeiten und Einschränkungen von Entwurfsproblemen. „We prefer ‚considerations‘ to ‚constraints‘ to avoid being petulant ...“. Hingegen akzeptiert der Architekt keine Beschränkungen, er verknüpft seine gedanklichen, auch gegensätzlichen Vorstellungen und überführt sie zu einem Ganzen. [Peña 1987]

² CAD, Computer Aided Design, computerunterstütztes Design, wobei „Design“ allgemein fälschlich mit Entwerfen gleichgesetzt wird, „Drafting“ oder „Drawing“ wäre die treffendere Bezeichnung

Folgt man Thomas Mitchell, der sich mit CAD-Software für Designer beschäftigt, so wurden in den vergangenen Jahren „besonders in den Bereichen Interface- und Softwaredesign verstärkte Anstrengungen gemacht, Nutzerinteraktionen in den Mittelpunkt zu stellen, aber in den meisten traditionellen Disziplinen dominiert weiter die Geometrie, nicht die Benutzung.“ Auch schreibt Mitchell, „dass die Methoden der wichtigen / kommerziellen Designprofessionen wenig oder gar keinen Bezug zur Design-erfahrung haben“. [Mitchell, C. Th., 2002] Dieses Hindernis kann erst überwunden werden, wenn mehr Architekten in den Bau neuer Software bestimmend einbezogen werden.

„Erst durch den alltäglichen Einsatz digitaler Technologie seit den späten achtziger Jahren haben sich die Arbeitsbedingungen für den Gestalter zum ersten Mal grundsätzlich revolutioniert und ihn in die Rolle der schnellen Adaption gezwungen. Die Praxis der gestaltenden Berufe wird zunehmend vom Einsatz elektronischer Werkzeuge bestimmt, da neue Möglichkeiten der Effizienz eröffnet wurden.“ schreibt Stephan in seinem Aufruf zur „Designforschung“, der die Problematik für den Designer aufzeigt: „Als Anwender von Computern steht er [*der Designer*] in einer Kompetenzspirale, deren Dynamik er nicht beherrscht. Die Hintergründe der technischen Entwicklung, deren Potenzial und Perspektiven sind ihm nicht transparent. (...) Allein eine fachspezifische Forschung kann helfen, tiefere Einsichten in die treibenden Kräfte zu gewinnen und sie der Gestaltung zugänglich zu machen. (...) Wir haben zwar Zeichenprogramme und Konstruktionssoftware und wir können Bilder und Töne bearbeiten und in synästhetische Strukturen integrieren. Aber Entwurfssysteme, die jene schwer erklär- baren Prozesse abbilden und unterstützen, die wir allgemein und unscharf als Entwurf bezeichnen, sind bisher nur ansatzweise entwickelt und stellen genuine Aufgaben für Designer dar.“ [Stephan 1997, S. 4]

Nicht viel anders ist die heutige Situation bei den Architekten. In der CAAD³-Forschung wird seit Jahren zum Thema „Entwurf“ geforscht, doch sind nur wenige Ergebnisse in die Praxis umgesetzt. Außerdem bestehen große Akzeptanzprobleme. Teilerfolge dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich die Entwicklung erst am Anfang

³ CAAD, Computer Aided Architectural Design

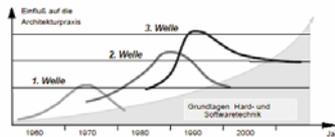


Abb. 1.1: Wellen der CAD-Entwicklungen [Steinmann]

befindet. Programmentwickler sollten sich immer wieder an die Mahnung von Paul Heckel erinnern: „The most important thing to know regarding your user is that he is not interested in using your product. He is interested in doing his work ...“ [Heckel 1991]

Steinmann [Steinmann 1997] und Liebig [Liebig 1993] sprechen von „drei Generationen von CAD-Systementwicklung“ bzw. den drei bisherigen „Wellen der CAD-Systementwicklung“, deren Euphorie und Ernüchterung. (Abb. 1.1)

Ein für die Praxis im Architekturbüro umgesetztes Forschungsergebnis ist die heutige Generation von CAAD-Systemen, die ein semantisches Gebäude(Produkt)modell⁴ (GM) verwenden, von dem Sichten⁵ (Views) der verschiedenen Fachdisziplinen abgeleitet werden können. Mit dem GM hat der Computer ein semantisches Modell „im Kopf“, soweit es ihm der Entwickler mitgegeben hat. Er kennt nach heutigem Stand der IFC⁶ die elementaren Bauteile wie Wände, Öffnungen, Stützen, Räume etc. sowie deren Zusammenhänge, Abhängigkeiten und Regeln. Softwareapplikationen greifen auf dieses implizite Wissen zu und können damit den Planungsablauf im Architekturbüro entscheidend vereinfachen und dabei die Baukosten senken. Allerdings wird diese neue Möglichkeit von den Architekten bisher nicht oder nur zögernd angenommen. Warum das so ist und welche Konsequenzen sowohl für Architekten und Planer als auch für die Softwareentwicklung zu ziehen sind, ist zwangsläufig Teil dieser Studie.

Der Computer als Assistent des Architekten sollte jedoch mehr können, als nur als besseres „Malprogramm“ zu dienen. Er sollte neben semantischem Andienen der klassischen Architekturregeln vor allem Entwurfsmethoden (auch) nach dem Top-Down-Verfahren unterstützen.

⁴ Ein Gebäude(Produkt)modell basiert auf Produktmodellldaten (PM), diese wiederum spezifizieren Kategorien von Informationen über ein Artefakt während seines gesamten Lebenszyklus. Das GM selber bietet eine abstrakte Beschreibung von Fakten, Zusammenhängen oder Anweisungen über ein Produkt oder eine Gruppe von Produkten (Bauteil).

⁵ Mit *Sichten*, sind Views auf ein GM gemeint. Um die Mehrdeutigkeit der dt. Sprache und möglichen Wortkombinationen (bspw. Ansicht) zu verhindern, wird die engl. Bezeichnung View verwendet (bspw. Ansichts-View).

⁶ IFC, Industry Foundation Classes, s. auch 1.5

Wie der Computer mit Hilfe semantischer Gebäudemodelle den Entwerfer beim Ausdrücken/Beschreiben seiner Entwurfsideen unterstützen sollte, wie ein CAAD-System die Intuition des auf zuvor erlangtem, individuellem Wissen aufbauenden Entwerfers umsetzen kann, ist Thema dieser Arbeit.

Die Arbeit richtet sich in erster Linie an Architekten, die sich mit den Vorteilen der Nutzung moderner CAAD-Systeme, evtl. auch schon in den frühen Planungsphasen, vertraut machen wollen bzw. ggf. auch aktiv an deren Weiterentwicklung aus der Perspektive des Architekten mitwirken möchten. In zweiter Linie sollen Informatiker angesprochen werden, die Software auf diesem Gebiet entwickeln, denen aber der Praxisbezug zur Architektur, Architekturtheorie, der Planung und erst recht zum Thema „Entwerfen“ fehlt. Der Autor ist sich bewusst, dass einige Ausführungen in Abhängigkeit der unterschiedlichen Zielgruppen entweder als zu ausführlich oder als zu fachspezifisch aufgefasst werden können. Dennoch können so beide Fachbereiche voneinander profitieren.

Es ist nicht Ziel dieser Arbeit, praktische Lösungen, z. B. für eine Bedieneroberfläche (HUI), zu erarbeiten. Vielmehr sollen Vorschläge und der Hinweis auf Lücken im HUI der Entwicklung Anreize liefern, hier tätig zu werden.

Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf dem Umgang und der Verwendung semantischer Gebäude(Produkt)modelle (GMs) während des architektonischen Entwurfs, wie sie in der Definition durch die IFC in heutigen CAAD-Systemen unterstützt werden. Die Ausarbeitung von semantischen GMs, besonders zum Einsatz in den frühen Phasen, der Planung steht noch am Anfang ihrer Entwicklung. Es fehlt u. a. ein Bindeglied, das Methoden des Entwurfsprozesses mit den GM-Daten verbindet. Eine theoretisch fundierte Auseinandersetzung dazu ist äußerst schwierig, da klare Definitionen über „Was passiert beim Entwerfen?“ oder „Was ist Architektur?“ sich im Wandel der Architekturtheorien immer wieder verschoben bzw. neu definiert haben. Dennoch ist die Auseinandersetzung mit dieser Materie von großer Bedeutung, sieht man doch bei anderen Branchen, etwa der Autoindustrie, die sich vergleichbarer Modelle bedient, wie sich die Entwicklungs- und Produktionszeiten neuer Modelle drastisch verkürzt haben.

Auch die „Designforschung“ [vgl. Stephan 1997] stellt sich die Frage „Design als Wissenschaft?“. Das zeigt deutlich, dass auch die Architektur vor diesem Thema nicht Halt machen kann. Um nicht ins Hintertreffen zu geraten, sollten die Chancen genutzt werden, bevor andere bestimmen, was Architekten (noch) machen dürfen, oder ihnen vorschreiben, wie sie es machen sollen.

Der erfolgreiche Einsatz von semantischen Gebäudemodellen in der Planung hängt entscheidend von der Akzeptanz durch den Architekten ab. Da der Architekt am Anfang der Wertschöpfungskette steht, wird er den vermeintlichen Mehraufwand zu Beginn eines Projektes nur akzeptieren, wenn der Nutzen für ihn selber erkennbar ist. Dieser ist besonders groß, wenn schon in den frühen Planungsphasen mit dem Gebäudemodell begonnen wird, was heute, objektiv gesehen, noch nicht möglich ist.

Der Autor vertritt die Auffassung, dass CAAD-Systeme verstärkt den Entwurfsprozess des Architekten unterstützen können. Daher soll diese Arbeit zu einem besseren Verständnis zwischen den beiden Spezialisten, Architekten und Programmierer, beitragen⁷.

Nachfolgende Fragen drängen sich auf:

- Welche Hemmnisse bestehen bei den Planern, ein GM einzusetzen?
- Gibt es technische Einschränkungen, die die Akzeptanz negativ beeinflussen?
- Was kann ein GM der aktuellen CAAD-Generation heute schon leisten?
- Wann ist zwischen „nur bauen“ und „entwerfen“, zwischen „Gebautem“ und „Architektur“ zu unterscheiden?
- Welche Erwartungen richten sich an die nächste Generation von CAAD-Systemen hinsichtlich Entwurfsunterstützung unter Anwendung der semantischen Gebäudemolldaten?
- Welcher Unterschied besteht zwischen Planen und Entwerfen?

⁷ Der Autor war als Architekt und Bauleiter tätig, bevor er CAAD-Software entwickelte, die – vorwiegend basierend auf AutoCAD – unter den Namen BITMAP, PALLADIO (GM-basierendes CAAD), ALBERTI (Raumprogramm/Layout), LUMINA (Rendering), TERRANO (Stadtbau) bekannt geworden ist.

- Wieweit beeinflussen Architekturströmungen den Entwurfsprozess und vice versa, und
- wie beeinflussen diese die Entwicklung künftiger CAAD-Systeme?
- Wann eignen sich GMs, entwurfsunterstützend eingesetzt zu werden?
- Welchen Nutzen können semantische GMs für den Entwurfs- und Planungsprozess bringen?
- Können Regeln der klassischen Architektur mit Computerprogrammen unterstützt werden?
- Kann auch nach der Top-Down-Methode entworfen werden?

1.2 Ausgangssituation heute

1.2.1 CAD-Einsatz in Architekturbüros heute

Im Planungsprozess werden derzeit neuere Projekte wenigstens teilweise digital, i. d. R. mit 2D-CAD-Systemen (nur zweidimensionale Daten, x und y), als Vektorgrafiken erstellt. Selbst bei 3D-Systemen⁸ wird „nur“ mit 2D-Informationen gearbeitet und zwischen Fachplanern (TGA⁹, Statik, Sanitär, Elektrik) ausgetauscht. Zur Kostenermittlung werden Massen und Raumbuchdaten um die Z-Koordinate nachmodelliert und an AVA¹⁰-Programme weitergegeben. Der Datenaustausch findet auf kleinstem Niveau (Vektordaten per DXF¹¹) statt. Den Liniengrafiken werden allenfalls Vermerke (Schlüsselnummern) angehängt, um Massen und Qualitäten für AVA berechnen zu können. Die Informationen fließen nur in jeweils eine Richtung, d. h., Änderungen in einer Fachdisziplin haben keinen direkten Effekt auf die „Ausgangszeichnung“. Anders wäre es bei der Verwendung von GMs anstelle von einfachen Zeichnungen. Im GM werden alle Informationen gehalten und während des Planungsprozesses sukzessiv verdichtet. Produkt-

⁸ 3D-CAD-Systeme sind in der Lage, dreidimensionale Daten (das geometrisch zugrunde liegende dreidimensionale mathematische Modell) zu verwalten und sie je nach Blickwinkel bzw. Projektion in einer zweidimensionalen Präsentation auf dem Bildschirm oder in einer Zeichnung (Plot) wiederzugeben.

⁹ TGA, Technische Gebäudeausstattung

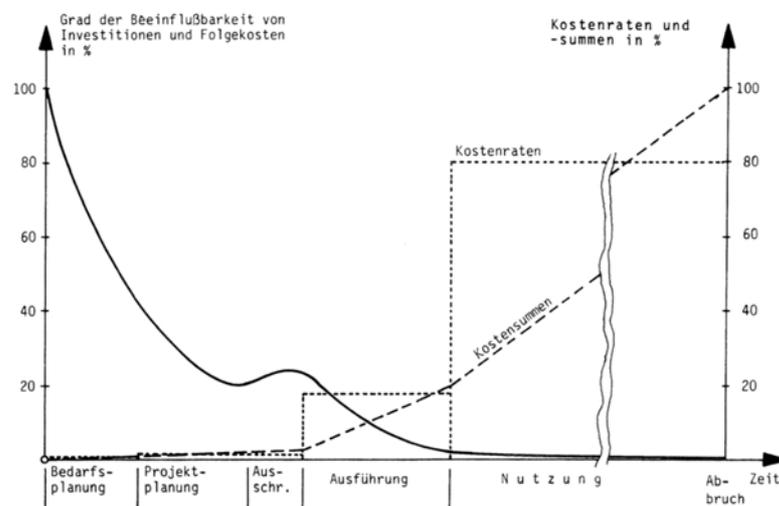
¹⁰ AVA, Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung

¹¹ DXF, Data Exchange Format der Firma Autodesk

daten, wie sie bspw. in Bauteilobjekten heutiger objekt-basierter CAAD-Systeme angeboten werden, werden noch nicht oder nur zögerlich eingesetzt. [vgl. Bretthauer et al. 2001] (s. auch unter 5.8)

CA(A)D-Eingaben heutiger Systeme verlangen präzise Angaben, die der Architekt in seinen frühen Phasen des Entwurfs noch nicht vollständig machen kann oder will. Darin liegt ein wesentlicher Grund, warum der Nutzen von CAD erst in der Werkplanung anerkannt wird, da dann alle Daten bekannt sind.

Abb. 1.2: Abnehmende Beeinflussbarkeit von Investitionen und Folgekosten bei wachsenden Kostenblöcken in fortschreitenden Projektphasen [Diederichs 1984]



Das Potenzial, mit Modelldaten zu arbeiten, die den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie begleiten, wird zwar erkannt, aber von Architekten am Anfang der Wertschöpfungskette noch nicht genutzt, obwohl schon im Entwurf die Weichen für die Baukosten wie auch für den Unterhalt festgelegt werden. (Abb. 1.2)

1.2.2 Softwareangebot

Die Informations-Technologie (IT) hat in allen Bereichen des Bauwesens Einzug gehalten. Noch wenig in der Konzeptionsphase, aber immer mehr hin zur Fertigung eines Gebäudes werden Software-Werkzeuge angeboten, die meist als Insellösungen mehr oder weniger effektiv eingesetzt werden. (Abb. 1.3)

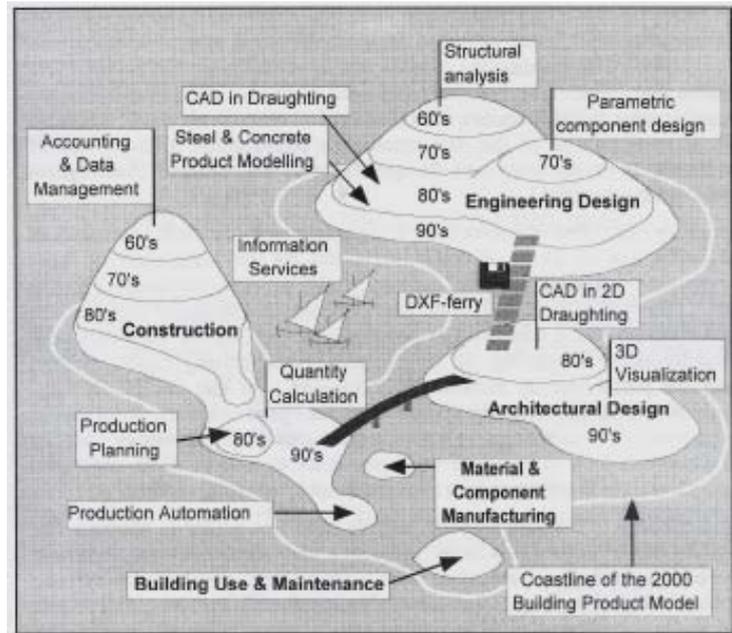


Abb. 1.3: This island of automation is used to describe the distribution and proliferation of information technology use in the construction project [Björk 1995, zit. nach Haapasalo]

Um die Durchgängigkeit der unterschiedlichen Softwarelösungen zu gewährleisten, nutzt es nicht, diese aus einer Hand zu beziehen. Selbst Softwarehäuser wie bspw. Nemetschek AG, bei denen das entsprechende Know-how vorhanden ist, haben ihre eigene Produktpalette (noch) nicht vollständig integriert. Auch bieten solche Produktpaletten nicht zwangsläufig auch die besten Einzelösungen. Auf der anderen Seite wird der Nutzen von Auswertungs-, Simulations- und Visualisierungsmethoden immer deutlicher. Diese Werkzeuge nutzen ihre eigenen Views auf das Bauwerk. Sie können bestens mit Gebäudemodelldaten agieren, da ihre Sichtweisen im Produktmodell berücksichtigt werden können. Will auch der Architekt frühzeitig auf solche Methoden zurückgreifen, muss er entsprechend früh seine Entwurfsideen in Gebäudeproduktmodelldaten (i. d. R. Bau- bzw. Gebäudeteile) des GM überführen. Es liegt also nahe, die Integration der Insellösungen auf Basis eines möglichst einheitlichen und neutralen Gebäudeproduktmodells (vorzugsweise IFC) durchzuführen. Doch wie kann der Entwurf mit Gebäudemodelldaten unterstützt werden? Und wenn es möglich ist, warum wird es bisher nicht genutzt?

1.2.3 Entwerfen mit dem Computer heute

CAD hat Papier, Bleistift, Zeichenbrett und Reißschiene ersetzt, ohne jedoch eigenständig etwas bewirkt zu haben,

was nicht der Entwerfer selbst ausgelöst hat. Der Einzug von IT ins Architekturbüro bedeutet die größte Veränderung dort seit den letzten Jahrhunderten. [Davies et al. 1991] Jede neue Technik überträgt zunächst die gewohnten Arbeits- und Denkweisen auf das Neue. Gottfried Daimler hat seine Erfindung Motordroschke genannt, schließlich wurde aus seiner Sicht nur das Pferd vor der Droschke ersetzt. Er konnte damals nicht ahnen, wie sehr seine Erfindung das Leben auf diesem Planeten ändern würde. – Auch wenn die Hilfsmittel wechseln, bleiben doch die Entwurfsmethoden die gleichen bzw. können zusätzlich neue entstehen. Es ist daher vorrangig notwendig, sich mit den Entwurfsmethoden gründlich auseinander zu setzen, um unterstützende Applikationen zu entwickeln. Die Herausforderung liegt in der Entwicklung entsprechender Softwareapplikationen, in denen sich die „intellektuellen Auseinandersetzungen“ abspielen. [vgl. Schmitt 1993] Dabei sind die Grenzen heutiger Computersysteme zu berücksichtigen. Der Umgang mit „unscharfen“, noch unbestimmten, unvollständigen oder sogar unzureichenden Beschreibungen eines Objektes, wie sie gerade den innovativen, kreativen Entwurf kennzeichnen, bereitet den Computern große Schwierigkeiten. (s. 4.4.2)

1.2.4 Von der Fertigungsindustrie lernen

Während der Architekt vorwiegend erst in den späteren Planungsphasen (Baueingabe/Werkplanung) CAAD einsetzt, zieht die Bauindustrie größeren Nutzen aus den einmal definierten Produktmodelldaten. Denn: Ist ein Objekt erst einmal vollständig definiert, können Automatismen im Planungsprozess (Simulationen) bis hin zur Fertigung erfolgen. Auf diesem Gebiet hat die Industrie in der letzten Zeit viel geleistet. Die Grundlagen von CAM und CIM¹² wurden angewandt, um auch Planungsprozesse und Produktionsabläufe zu optimieren. In der Fertigteilindustrie wird dazu CIC¹³ verwendet, um alle Arten von Softwareanwendungen und den gesamten Datentransfer über Netzwerke während des gesamten Konstruktionsprozesses zu steuern. Mit CIC glaubt die Industrie, die

¹² Computer Aided Manufacturing und Computer Integrated Manufacturing, um Automationsprozesse und Steuerungsaufgaben zu übernehmen

¹³ Computer Integrated Construction

Produktivität und die Qualität der Endprodukte verbessern zu können. [vgl. auch Björk 1995 „Intelligentes Haus“] Folgerichtig führt der nächste Schritt zu BIM¹⁴. Bau-Information-Modellierung ist ein integrierter Gesamtprozess, der die Planung, den Bau und die Bewirtschaftung von Gebäuden und baulichen Anlagen innovativ umgestalten soll. „Die internationale Fachwelt erwartet dabei eine Effektivitätssteigerung, eine Risikominimierung und eine Qualitätsverbesserung, die Resultate ähnlicher Veränderungen der Arbeitsprozesse sind, wie diese im Fahrzeug-, Maschinen- und Anlagenbau bereits vollzogen wurden. (...) BIM erzeugt Modelle, die Raum- und Bauteilinformationen mit Geometrie und Grafik verknüpfen.“ Damit sollen Geschäftsprozesse aus den Bereichen Planen, Bauen und Nutzen in den jeweiligen Lebensphasen eines Bauwerks integriert werden können, um Grundlagen für Analyse- und Berichtsplattform zu schaffen. [vgl. IAI 2004]

1.2.5 Anforderungen an entwurfsunterstützende CAAD-Systeme

Unter diesen Umständen hat sich der Druck erhöht, IT beim architektonischen Entwurfsprozess einzusetzen, da bspw. CAD-Daten unabdingbare Voraussetzung für den Fertigungsprozess sind. Gleichzeitig geben die stetigen Änderungen im Entwurfs-, Konstruktions- und Fertigungsprozess eine Menge Anforderungen (Objektdaten, Datenaustausch) vor, die aber auch Chancen für den architektonischen Entwurf bedeuten können. So haben in den letzten zehn Jahren die Architekturbüros große Veränderungen durch Rationalisierungsmaßnahmen erfahren. Dennoch erwarten sich einige Architekten mehr durch den Einsatz von CAAD. In diesen frühen Phasen, die nur etwa 2 % der Baukosten ausmachen, aber in denen 90 % der Baukosten einer Immobilie „determiniert“ werden [Abb. 1.10], ist aus heutiger Sicht noch am wenigsten Nutzen aus dem IT-Umfeld zu ziehen. (Abb. 1.3) So gesehen ist es für die weitere Entwicklung von CAAD-Systemen ausgesprochen wichtig, den Entwurfsvorgang des Architekten grundlegend zu verstehen und mit geeigneten Mitteln (bspw. Gebäudemolldaten) zu optimieren.

¹⁴ Building Information Modelling, s. auch Fußnote 125

1.2.6 Entwerfen – ein komplexer Vorgang

Entwerfen beinhaltet unumstritten kreatives Schaffen, auf der anderen Seite wendet es auch handwerkliche sowie künstlerische Elemente an, weswegen eine Beschreibung kompliziert und mitunter auch widersprüchlich ist. Entwerfer müssen technische wie auch praktische Probleme lösen und sie „künstlerisch“ ausdrücken. Funktionen, besondere Eignungen wie auch Schwächen können durch Systematik ausfindig gemacht und getestet werden. Deshalb wird auch die Logik zum Entwerfen benötigt. Die Entwurfsgeschichte kennt beides, die kreativen wie die rationalen Perioden, die den Entwurf und seine Fortentwicklung beeinflussen. Die Zeit des Rationalismus hat das Ende der Phase markiert, Methoden auf Logik und Systematik basierend zu entwickeln. Im Gegensatz dazu steht in der neueren Zeit die kreative Phase, die auf das Vermögen kreativer Entwurfsarchitekten auch bei größeren Projekten vertraut. Kreativität wird allgemein als ein irrationaler und inkonsistenter Prozess gesehen, der nicht besonders gut bekannt oder definiert ist. Es bedarf der genauen Erforschung menschlicher Methoden, herausragender unterschiedlicher Gedankenebenen und der Art und Weise ihrer Beeinflussung. Was bedeutet bewusstes und unbewusstes Denken? Welche Rolle spielt die Intuition im praktischen Entwurf? Zur Beantwortung dieser Fragen sind verschiedene Disziplinen gefordert, und trotz des Spezialistenwissens können wir nicht hoffen, eine eindeutige und endgültige Antwort zu bekommen. [vgl. Haapasalo 2000]

1.2.7 Kritische Anmerkung zur Softwareentwicklung

Während die Bauindustrie (Produkthersteller, Fertigteilindustrie ...) ihre Produktdaten in das Gebäudemodell (IFC) einfließen lässt, werden diese nach und nach auch durch sie genutzt (AVA, Simulationen verschiedener Art, Fertigung ...). Anders bei den Architekten, sie sind nicht nur in der Minderheit, sondern als Individualisten auch nur schwer zu organisieren. Sie haften an überlieferten traditionellen Entwurfsverfahren und sind nicht bereit, finanzielle Mittel für die Weiterentwicklung von CAAD bereitzustellen. Selbst wenn sie CAAD einsetzen, ist ihr Interesse daran, Modell-daten schon in den frühen Phasen des Entwurfs einzusetzen, sehr gering, sei es aus Unkenntnis der damit



Abb. 1.4: Konrad Zuse Z22 SN 13, 1957.
 Technik: Röhrenrechner
 Taktfrequenz: 140.000 Hertz - elektronisch -
 mechanisch stabilisiert
 Rechenwerk: Gleitkommarechenwerk,
 38 Bit Wortlänge
 Mittlere Rechengeschwindigkeit:
 Addition 0,6 ms; Multiplikation 10 ms;
 Division 60 ms; Wurzel 200 ms
 Eingabe: Lochstreifen (Fernschreibcode)
 Streifenleser bis 200 Zeichen/Sekunde
 Ausgabe: Schreibmaschine oder
 Lochstreifen Wortlänge: 38 Bit, Gleitkomma
 Anzahl Bauelemente:
 415 Röhren, 2400 Dioden
 Anzahl Schrittschalter: keine
 Speicheraufbau: Magnettrommel 6000
 U/min, 8192 Speicherplätze, 25 Speicher-
 plätze, Ferritkern. Z22R mit erweitertem
 Ferritkern-Speicher
 Leistungsaufnahme: ca. 3500 Watt
 Gewicht: ca. 1000 kg
 [Fotos: Wamhof]

verbundenen Möglichkeiten, wegen des vermeintlich höheren Aufwands oder unzureichender CAAD-Angebote für diesen Zweck. Doch welcher Softwarehersteller forscht und entwickelt in diese Richtung, wenn keiner wirklich interessiert ist? Wollen die Entwurfsarchitekten dennoch Unterstützung durch den Computer erlangen, müssen sie sich selbst einbringen. Die Designer sind auf dem Wege. [vgl. Stephan 1997]

1.3 Ein CAAD-Arbeitsplatz gestern, heute und in Zukunft

Zum besseren Verständnis, ohne jedoch zu sehr ins Detail zu gehen, wird nachfolgend ein Überblick der wichtigsten Komponenten eines CAAD-Systems aufgezeigt.

1.3.1 Die Rechnerleistung

Wurde der Computer zu Beginn vorwiegend für alphanumerische Zwecke eingesetzt, wurde mit steigendem Preis-Leistungs-Verhältnis das Interesse an grafischer Verarbeitung mit Unterstützung des Computers entfacht. Dabei hat sich das Interesse der Hersteller längst vom gewerblichen CAD-Anwender über die Filmindustrie hin in den Consumerbereich (Spiele und HDTV¹⁵) verlagert, was dennoch auch dem CAAD-Anwender zugute kommt, da damit einhergehend die Hardware immer leistungsfähiger wird (Rechengeschwindigkeit und Qualität in der grafischen Darstellung) und CAAD-Systeme komplexere Modelle realisieren können.

Konrad Zuse¹⁶ gilt heute als Schöpfer des ersten funktions-tüchtigen programmgesteuerten und frei programmierbaren Rechners in binärer Gleitpunktrechnung. Seine 1941 vollendete „Z3“ genannte Maschine geht auf seine ersten bereits 1934 gemachten Gedanken, logische wie technische Prinzipien zum Bau solcher „völlig neuartiger“

¹⁵ High Definition Television Quality

¹⁶ vgl. Zuse: Die algorithmische Revolution, Zur Geschichte der interaktiven Kunst, 2004
 [http://www01.zkm.de/algorithmische-revolution/index.php]

Rechensysteme, die wir heute Computer nennen, zurück. [vgl. Wamhof]

1946 glühten im ersten funktionsfähigen elektronischen Digitalrechner der Welt, „ENIAC“, 17.400 Elektronenröhren. Das Ungetüm kostete 750.000 US-Dollar und konnte 5.000 Dezimaladditionen/Sekunde durchführen, was damals als äußerste Grenze des Machbaren galt. Heute verfügt ein für jedermann erschwinglicher, zuverlässig und leicht zu bedienender Taschenrechner noch über eine ganze Reihe von Zusatzfunktionen. Heutige Supercomputer sind verglichen mit ENIAC fast eine Milliarde Mal schneller. Das Moore'sche Gesetz¹⁷: „Alle neun Monate halbiert sich der Preis und verdoppelt sich die Leistung auf der gleichen Fläche Silizium“ gilt bis heute. Dieser Entwicklung setzt die Physik natürliche Grenzen, da die Leistungsdichte auf einem einzigen Chip bald erreicht sein wird. [vgl. Warnecke]¹⁸ Als Ausweg werden bei künftigen Superrechnern die anstehenden Aufgaben auf mehrere Prozessoren aufgeteilt, eine Methode, die schon 1940 bekannt war. Diese Fortschritte eröffnen neue Einsichten und Möglichkeiten, die u. a. der KI¹⁹-Forschung nicht unberechtigte Hoffnung macht. Gleichzeitig wird eine Flut neuer Fragen aufgeworfen, deren Klärung wieder nach neuen, noch besseren Rechnern verlangt. Ein Ende dieser Spirale ist nicht in Sicht, so Warnecke.

Der nächste greifbare Entwicklungsschub, der auch den vernetzten Planungsbüros zugute kommt, wird die Internet-Telefonie sein. Durch sie werden die „Interactive Broadband“ DSL²⁰-Internetanschlüsse an Verbreitung, Geschwin-

¹⁷ Die als „Moore'sches Gesetz“ bezeichnete Behauptung wurde in den 1950er Jahren von dem Gründer der Firma Intel aufgestellt und erst 2002 auf einem Intel Developer Forum in San Francisco auch für die Zukunft bestätigt.

¹⁸ Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Warnecke, Brockhaus 2005

¹⁹ KI, Künstliche Intelligenz

²⁰ DSL steht für Digital Subscriber Line, diese Technik der Datenübertragung wurde Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre in den USA entwickelt. Es gibt verschiedene Varianten von xDSL, wobei das x als Platzhalter für die unterschiedlichen DSL-Technologien steht. Das bekannteste ADSL (Asymmetric DSL) erlaubt schnelle Downloads, während die Uploads wesentlich langsamer gehen. SDSL (Symmetric DSL) ist hingegen in beiden Richtungen gleich schnell. Quelle: © 1997-2004 teltarif.de Onlineverlag GmbH, 2005

digkeit und Nutzungsmöglichkeiten zunehmen²¹. Dadurch können größere Datenmengen in Echtzeit übermittelt werden. Das Arbeiten in dezentralen (Entwurfs-)Teams, aber auch die Zusammenarbeit mit Fachplanern an verschiedenen Orten kann dadurch deutlich verbessert werden.

1.3.2 Die Software – Betriebssystem (BS) und Applikationen

Zur Verwaltung und Funktionsfähigkeit der Rechner arbeiten je nach Rechenprozessor unterschiedliche Betriebssysteme (BS). Verwendete man in den 1980er Jahren für CAD noch so genannte Workstations unter dem BS UNIX²², so hat sich nach Einführung der Intel Prozessoren für so genannte Personal Computer (PC) unter dem BS DOS (16-Bit²³) und später in den 1990er Jahren mit dem Windows (32-Bit) ein Quasi-Monopol [Wikipedia] auch als Standard für CAAD-Arbeitsplätze durchgesetzt. Die nächste Generation von Windows mit Namen „Vista“ (soll Ende 2006 in den Handel kommen) wird als 32-Bit und als 64-Bit-Version erhältlich sein.

Die Software hat entsprechend den steigenden Rechengeschwindigkeiten und Speichervolumina stetig zugelegt. Ein 1985 unter DOS installiertes AutoCAD (Version 2.01) wurde auf vier 5½-Zoll-Disketten geliefert. Das eigentliche Programm hatte eine Dateigröße von ca. 1,2 MB (3 Overlays á 360KB), DOS konnte aber nur ganze 640 KB gleichzeitig verarbeiten. Im Jahr 2006 umfassen die

²¹ „New products will take advantage of DSL’s inherent components, merging telephony, data and video in new and exciting ways“
[www.adsl.com, DSL-Forum 6. Januar 2005]

²² UNIX ist ein eingetragenes Markenzeichen der *Open Group*. Es wurde Anfang der 1970er Jahre von Bell Laboratories (später AT&T) als Mehrbenutzer-Betriebssystem (ursprünglich zur Unterstützung der Softwareentwicklung) entwickelt. Neben zertifizierten UNIX-Betriebssystemen werden auch andere, wie Linux, der UNIX-Familie zugeordnet, auch wenn sie nicht auf dem ursprünglichen Quelltext basieren. Zu den UNIX-Derivaten gehören auch MAC OS X, HP-UX, AIX, IRIS und Solaris. [siehe <http://de.wikipedia.org/wiki/UNIX>]

²³ Bit [**B**inary **D**igit, binäre Stelle] ist die kleinstmögliche Informationseinheit innerhalb der EDV. Ein Bit kann den Wert 1 oder 0 annehmen. In Verbindung mit Prozessoren wird angegeben, wie viele Bits parallel verarbeitet werden können. Ein 32-Bit-Prozessor bspw. besitzt ein internes Speicherregister mit einer Größe von 32 Bits, die auf einmal verarbeitet werden können. [Brockhaus]



Abb. 1.5: Realität und Wirklichkeit wachsen zusammen.
Wettbewerb „Praterstraße 1, Wien 2“
von Jean Nouvel
[entnommen: Wettbewerbe
Architekturjournal 29. Jahrgang
247/248, S. 156]

Programmdateien Autodesk Architectural Desktop 2007 (Anwendungen, Programmbibliotheken, Runtime Extension) ca. 240 MB. Wobei Windows XP heute 2 GB Arbeitsspeicher unterstützt. Das von Microsoft angekündigte BS Vista soll 16 GB unterstützen.

Zuerst waren es Textverarbeitungen und Kalkulationsprogramme (Spreadsheets), die auch im Architekturbüro Einzug hielten. Mit den Datenbanken wurde bald auch AVA eingesetzt. Mit Beginn der 1980er und vor allem der 1990er Jahre wurde mit zunehmender Leistungsfähigkeit auch CA(A)D eingeführt. Heute kann man von einer 99 % (Marktsättigung) CAAD-Ausstattung bei den Architekturbüros ausgehen. Der Einsatz von CAAD hat die Architektur beeinflusst (Gehry, Hadid, Coop Himmelblau, Libeskind, um einige zu nennen). Die Analyse dieser Architektur wiederum gibt die Richtung künftiger Softwareentwicklungen vor. Eine freie, keinen Beschränkungen unterliegende Entwurfssoftware, nach der auch Top-Down-Methoden denkbar sind, ist allenfalls in der Forschung in einzelnen Ansätzen in Sicht (s. 5).

CAAD selbst, das computerunterstützte architektonische Entwerfen, ist eine noch junge Wissenschaft. Während im CAD-Bereich großes Wissen vorherrscht und hochentwickelte Programme für die Praxis entwickelt wurden, haben die Ergebnisse aus der Forschung, wie CBR²⁴, CBD²⁵ und CA²⁶, sich kaum in handelsüblicher Software niedergeschlagen. International auftretende Firmen wie Autodesk, Archisoft und Nemetschek, um nur einige zu nennen, sind am weitesten mit der Implementierung der IFC fortgeschritten, um den Umgang mit Gebäudemodell-daten zu ermöglichen. Testläufe, wie Liebich IAI-Test (s. 5.6.4), zeigen erste Erfolge auf dem Gebiet.

1.3.3 Preisentwicklung

Entsprechend dem Moore'schen Gesetz sind bei steigender Leistung die Computergöße geschrumpft und die Preise gefallen. Ein IBM AT, ausgestattet zur Anwendung von AutoCAD, kostete 1986 umgerechnet ca. 15.000 Euro.

²⁴ Computer-based Reasoning

²⁵ Computer-based Design

²⁶ Cellular Automation

2006 bekommt man einen gut ausgestatteten Rechner für CAAD-Anwendungen für 2000 Euro! Ein kompletter CAAD-Arbeitsplatz (ohne Software) einschließlich DIN-A0-Plotter kostete umgerechnet ca. 45.000 Euro. Heute muss man noch 15 % davon, ca. 7000 Euro, aufwenden, um einen weitaus leistungsfähigeren Arbeitsplatz hardwaremäßig auszustatten.

1.3.4 Neue Hardware und Technologien

Neue Hardware und besondere Technologien könnten für den computerunterstützten Entwurf eingesetzt werden.

1.3.4.1 Tablett-PCs und Großbildschirme



Abb. 1.6: Bildschirm Cintiq 21“ mit direkter Interaktion auf dem Bildschirm

Tragbare Tablett-PCs als „elektronisches Notizbuch“ erlauben die direkte Eingabe per Stift auf die Bildschirmoberfläche. Diese Systeme sind meist auf eine Größe von 12“ bis 14“ (etwa eine DIN-A4-Seite und kleiner) begrenzt und vor allem für den mobilen Einsatz gedacht. Anders ein Display „Quintiq“ mit 21“ Bildschirmdiagonale der Fa. Wacom, das den Designer stationär durch direkte Interaktion auf dem Bildschirm unterstützt. (Abb. 1.6)

Das Besondere an den Tablett-PCs ist die gelungene Einbindung der Stiftbedienung in die Windows Tablet PC Edition. Es existiert so gut wie keine Situation, in der man mit dem Stift nicht weiterkommt. Dazu hat ein Tablett-PC eine extrem leistungsfähige Handschrifterkennung, die ohne Lernmodus Geschriebenes erkennt. Man kann sogar handschriftlich Dateinamen vergeben und danach suchen. Tablett-PCs verwenden ein stiftbedienbares, aber berührungsunempfindliches Display. Der große Vorteil: Der Cursor bewegt sich nur durch den Stift, nicht aber, wenn die Hand auf der Oberfläche liegt. Eine Spule im Stift empfängt elektromagnetische Wellen vom Display und sendet diese zurück. Diese Technik von der Firma Wacom hat sich auf breiter Basis durchgesetzt. Drücken mit dem Stift entspricht der linken Maustaste, durch Drücken einer Taste am Stift simuliert man die rechte Maustaste. Die Wacom-Technik erlaubt außerdem eine druck- und neigungswinkelabhängige Stiftbedienung, was Zeichner unbedingt brauchen. Diese Technologie könnte für Entwurfsarchitekten sehr interessant sein. Allerdings sollte ein

möglichst großer Bildschirm zur Verfügung stehen oder ein Tablett-PC in Kombination (drahtlose Verbindung) mit einem stationären großen Bildschirm, auf dem Projekte übersichtlich und ggf. komplett dargestellt und animiert werden können. (s. 8.9.4)

Die Illusion, ein Abbild der dreidimensionalen Wirklichkeit auf eine zweidimensionale Fläche zu bannen (bspw. eine Perspektive, Isometrie oder ähnliche Projektion), wurde bereits in der Renaissance „erfunden“. Heute ermöglichen 3D-Bildschirmsimulationen nach dem stereoskopischen Prinzip einen verbesserten dreidimensionalen Eindruck (s. 8.9.2) am Bildschirm (vorausgesetzt, es liegen entsprechend dreidimensionale geometrische Modelldaten zugrunde), was bedeutet, bewegt man sich bspw. mit dem Kopf nach unten, blickt man entsprechend auch von unten auf das abgebildete Objekt. Neuerdings ermöglicht das autostereoskopische Verfahren²⁷ auch ohne solche Hilfsmittel eine 3D-Sicht auf dem Bildschirm; Objekte scheinen dort dreidimensional zu schweben. Ob dieses Verfahren hilfreich ist, zusammen mit entsprechender 3D-Modellierungssoftware eine intuitivere Eingabe – bspw. eine direkte Positionierung in der Tiefe (Z-Achse) – und gleichzeitig eine verbesserte optische Überprüfung des Resultats zu erlangen, sollte getestet werden.

1.3.4.2 Eingabemedien

Tastatur, Stift und/oder Maus sind für CAD-Arbeit nicht besonders ergonomisch, der stetige Wechsel zwischen Tastatur und Maus/Stift ist unbequem. Wird bspw. ein Eingabefeld mit Maus/Stift aufgerufen und danach mit der Tastatur die Eingabe getätigt, muss, um in das nächste (gewünschte) Feld zu kommen, wieder die Maus betätigt werden, und nach Vervollständigung der Eingaben mittels der Tastatur muss die gesamte Eingabe wieder mit Maus/Stift bestätigt werden. Diese Vorgehensweise wirkt sich hemmend auf die natürliche Arbeitsweise des Entwerfers aus (s. auch „Usability Tipp“ für grafische Bedieneroberflächen²⁸). „Die Dialogführung sollte so gestaltet werden, dass möglichst wenig zwischen verschiedenen Ein-

²⁷ Autostereoskopie bezeichnet ein Verfahren, bei dem durch eine so genannte Parallaxen-Barriere (ohne Spezialbrillen) sichergestellt wird, dass das für das rechte Auge vorgesehene Halbbild für das linke Auge unsichtbar ist und umgekehrt. [<http://www.wipo.int/ipdl/>]



Abb. 1.7: Gehrys Sandstein-Fassadenmodell für die Disney Konzerthalle, Biennale, Venedig 1980. Die Daten werden passgenau an eine Steinsäge zum „Ausschneiden“ der amorphen Fassadenplatten weitergegeben.



Abb. 1.8: Herzog & Demeuron, Allianz Arena, München, 2005: 3D-ComputermodeLL „bei Sonnenlicht“ gerendert. Schattenwurf und transparente Dachkonstruktion werden fotorealistic wiedergegeben



Abb. 1.9: Sportbauten, Modell mit 3D-Fräse „ausgedruckt“, Einzelteile werden mit der Hand montiert. [Junge TUM]

gabegeräten gewechselt werden muss.“ [siehe Fraunhofer-Institut FIT²⁸] Bei manchen CAD-Systemen (CATIA, IBM) kommen noch weitere Eingabemedien zur Navigation im 3D-Raum hinzu. (3D-Spacemouse, s.8.9.3)

Bei der Softwareergonomie für CAAD-Systeme müssen hier neben der Norm ISO 9241 neue Wege gefunden werden, um u. a. auch entwerfende Architekten zu erreichen. (s. 8.8)

1.3.4.3 Ausgabemedien

2D-Drucker, Plotter

Zum Drucken und Plotten haben sich heute die Farbtinten-drucker und bei großen Mengen auch Farblaserdrucker durchgesetzt. Diese Technik ist nicht nur nahezu geräuschlos, die Linien sind auch so fein, dass sie mit einer Ziehfeder manueller Tradition durchaus konkurrieren können. Diese Technik erlaubt die Kombination von Text, Grafik und Fotos, wodurch Präsentations-„Zeichnungen“, bspw. für Wettbewerbe, eine ganz neue Qualität erreichen. Die Kombinationsmöglichkeiten erlauben den nahtlosen Übergang von der geplanten virtuellen zur realen Welt. (Abb. 1.5)

3D-Fräsen, 3D-Drucker

Neben den (2D)Druckern und Plottern gibt es verschiedene Verfahren, auch ein physisches Modell aus dem Rechner generieren zu lassen, vorausgesetzt, es liegen 3D-Daten vor. Zu unterscheiden sind 3D-Fräsen, die aus einem Material das Modell ausfräsen, und Verfahren, die bspw. aus Kunststoff ein Modell aufbauen. 3D-Fräsen (und auch 2D-Fräsen) werden nicht nur für Architekturmodelle eingesetzt, sondern auch in der Produktion.

Renderings und Animationen

Zu Beginn der CAD-Einführung waren fotorealistic Bilder (Renderings) eines Projektes bei Architekten verpönt. Heute, nachdem die Farbpaletten (true colour) realistischere Farben zulassen, gleichzeitig der Umgang mit

²⁸ Dialogführung mittels direkter Manipulation (ISO 9241-16), Fraunhofer-Institut FIT (Stand 2006)
<http://www.fit-fuer-usability.de/tipps/manipulation/01.html>

„Tageslicht“ möglich wurde und die Oberflächen von Materialien der Realität immer vergleichbarer geworden sind, machen auch sie in zunehmendem Maße davon Gebrauch.

„Überzeugt von der ungleich höheren Öffentlichkeitswirkung durch die Visualisierung des zukünftigen Stadions, hat der Bauherr und Hauptsponsor weitere Visualisierungen in Auftrag gegeben. Vom Internet über Image Videos bis zur Broschüre zur Logovermarktung wurde das 3D-Modell in unterschiedlichster Form eingesetzt. Nicht nur für die Öffentlichkeitsarbeit, sondern gerade als Arbeitsgrundlage für die weitere Planung waren die Visualisierungen unumgänglich. (...) Auch wenn der Modellbau seine Berechtigung nicht verlieren wird, hat diese Art Visualisierung einen besonderen Reiz. Keine andere Technik vermittelt den zukünftigen Eindruck eines Bauwerks in seiner Umgebung besser. Im Vergleich zu Illustrationen gibt es kaum Möglichkeiten, im Sinne von Interessensgruppen durch Manipulation Entscheidungen zu beeinflussen: CAD-Daten lügen nicht, auch wenn sie visualisiert werden!“ So berichtet Atze vom Projekt Allianz-Arena, München. [Atze, Johannes 2005] (Abb. 1.8)

Um Renderings berechnen zu können, muss das entsprechende Projekt dreidimensional im Computer vorliegen. Diese 3D-CAD-Modelle zur Animation mit dem Computer zu erstellen, ist mit heutigen CAAD-Systemen sehr aufwändig, besonders, wenn der Baukörper unregelmäßig und detailliert ist. Bei Verwendung von Gebäudemodell-daten und entsprechendem Render-View könnte künftig die Rechenzeit drastisch verringert werden.

Bildschirme

Für den CAAD-Anwender ist die Darstellung auf dem Bildschirm entscheidend. Dabei spielen Auflösung (Pixel/Inch), die Bildwiederholrate, aber auch die Anzahl der darstellbaren Farben eine Rolle.

Heute verfügen durch das Zusammenschmelzen von Computer- und Videoanwendungen auf einem Gerät sogar Laptops mit 20"-Display (Apple PowerBook) über eine Auflösung von 1920/1200 oder sogar 2048/1536 (interlaced) mit einer Farbtiefe von 32 Bit, was einer Anzahl von 4,2 Milliarden ($32 \text{ Bit} = 2^{32}$ Farben) darstellbaren Farben entspricht. Wobei das menschliche Auge etwa 16 Millionen (24 Bit Farbtiefe) unterscheiden kann, warum 24 Bit Farbtiefe auch mit „true colour“ bezeichnet wird.

1.4 Hemmnisse, CA(A)D im Entwurfsstadium einzusetzen

1.4.1 Computer versus Papier und Bleistift

Entwurfsarchitekten stehen dem Einsatz von CAAD und erst recht von GM skeptisch gegenüber. In seiner Dissertation „Creative Computer Aided Architectural Design“ hat Haapasalo in den Jahren 1996-2000 eine repräsentative Auswahl finnischer Architekten nach ihren Entwurfsgewohnheiten in Verbindung mit IT befragt. [Haapasalo, 2000] Dabei kommt er zu folgenden Ergebnissen:

Zu komplizierte Handhabung der Programme

- Present user interfaces can make draughting and the creation of alternatives quicker and more effective in the final stages of designing.
- User interfaces are at present inflexible in sketching.
- Conscious efforts in using the computer shift the attention away from the actual design process.

Verlust der Unmittelbarkeit

- When working with the mouse, keyboard and screen, the natural communication channel is impaired, since there is only a weak connection between the hand and the line being drawn on the screen.
- In traditional sketching the pen is a natural extension of the hand, as sketching can sometimes be controlled entirely by the unconscious.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt eine Untersuchung in Deutschland. „Die Arbeit mit CAD-Systemen erzwingt von dem damit Arbeitenden eine andere Herangehensweise und damit Konstruktionslogik. Dadurch sind die eher künstlerischen Elemente von Entwurfsarbeit gefährdet. (...) Das Medium erzwingt eine bestimmte Umgangsweise mit ihm und eine Herangehensweise an Problemstellungen, die sich grundlegend von der ‚alten‘ unterscheidet.“ So Annegret Bolte in ihrer Untersuchung mit dem Untertitel: *Zum Einfluss des Einsatzes von CAD-Systemen auf das Arbeitshandeln von Planern*, u. a. mit einer direkten Befragung von (auch entwerfenden) Ingenieuren und Technikern mit den Arbeitsgebieten Brückenbau, Straßen-

bau und Tunnelbau (die aber in ihrer Befragung auch für Architekten gelten könnte; Anm. d. Verf.). [Bolte, 1998]
Nachfolgend Ergebnisse ihrer Studie:

- Erzwungene Arbeitsweise entspricht nicht der Logik und Geschwindigkeit des Denkens.
- Das durch CAD induzierte Vorgehen entspricht nicht der Logik (und der Geschwindigkeit) des Denkens beim Konstruieren, insbesondere in der Phase des Entwurfs.
- Beim Zeichnen stimmen die Idee, der Blick aufs Papier und die Bewegung der Hand sowohl zeitlich als auch logisch miteinander überein. Nicht so bei CAD. Der Strich entsteht nicht unmittelbar vor den Augen aus einer Handbewegung heraus, sondern durch den Wechsel von Blicken zwischen Bildschirm und Tablett, durch Bewegungen der Maus und „Anklicken“ der entsprechenden Parameter. Hier drängt sich das Medium zwischen Idee und deren Festlegung auf dem Stück Papier. (...) CAD ist somit kein geeignetes Medium für die Phase der Ideenfindung, für den ersten Entwurf, der erst im Prozess des Zeichnens entsteht.
- Der Verlust an Unmittelbarkeit wird als Umweg erlebt, als zeitliche Verzögerung, als Auseinanderreißen der als mittelbar miteinander verbundenen Handlungen. Denken und Handlungen koinzidieren nicht.

Bottom-Up statt (auch) Top-Down

- Der Zeichner am Brett geht vom Ganzen zum Detail. Dagegen ist im CAD-System das Detail der Ausgangspunkt, das dann durch Vervielfältigung oder im Zusammenwirken mit anderen Details zu einem Ganzen verbunden wird.
- Ausgangspunkt der Überlegungen – und der Darstellung am Brett – ist die Gestalt des Gesamtobjekts. Bei der Konstruktion mit dem CAD-System gibt es diese Übereinstimmung zwischen Vorstellung und Handlung nicht mehr: Gezeichnet werden die durch Dekonstruktion gewonnenen analytischen Elemente, die sich erst am Schluss des Zeichnungsprozesses wieder zur Gestalt schließen.

Leichte Veränderbarkeit verführt zu disziplinloserem Arbeiten

- Das Bewusstsein der „leichten“ Änderungsmöglichkeiten führt zu einem „disziplinloseren“ Arbeiten, bei dem man einfach anfängt, ohne sich die angestrebten Resultate vorher genau zu überlegen. (...) Die Vorstellung, „eben ganz schnell“ eine Änderung machen zu können, ist nur in wenigen Fällen realistisch: Eine Änderung induziert

andere Änderungen, und der vorgedachte Zeitaufwand ist überschritten.

Der zu kleine Bildschirm

- Die Arbeit am CAD-System unterscheidet sich nicht nur hinsichtlich der Vorgehensweise von der Arbeit am Zeichenbrett. Sie hat auch Auswirkungen auf die visuelle Wahrnehmung und das Vorstellungsvermögen. Das Zeichenbrett ist größer, man hat das ganze Blatt im Blick. Beim CAD kann man sich zwar auch den ganzen Plan am Bildschirm angucken, aber dann sind keine Details mehr zu erkennen. (...) Während der Arbeit am Plan kann man ihn dagegen nicht als Ganzes sehen, sondern immer nur in den Ausschnitten, die man gerade bearbeitet. Damit geht die Übersichtlichkeit verloren. (...) Wenn man am CAD-System ein Detail bearbeitet, sieht man am Bildschirm immer nur eben diesen Abschnitt, aber nicht den Gesamtplan. Damit wird es schwer, dieses Detail in einen Gesamtzusammenhang einzuordnen, das Bauwerk als Ganzes wahrzunehmen. (...) Aufgrund der geringen Bildschirmgröße kann man dann auf einem Gesamtplan auch nichts mehr erkennen.

1.4.2 Technische Einschränkungen

Es fehlt ein in der Praxis eingeführtes, einheitliches Gebäudemodell hinsichtlich der Bedienung, des Datenformates mit den impliziten Informationen und des Datenaustauschs. Ferner sind die unterschiedlichen Softwarelösungen in ihrer Bedienung zu uneinheitlich und zu wenig intuitiv. Sie sind „zu schwer zu erlernen und zu schnell zu vergessen“. Die Lösungen sind nicht wirklich untereinander kompatibel. Ein gemeinsam vereinbartes Produktmodell könnte dieses Problem lösen, setzt aber voraus, dass auch der Anwender mit den Objekten des GM arbeitet. Dazu gelten aber heutige Angebote als zu komplex in der Bedienung, außerdem ist der Planer nicht bereit, im frühen Stadium der Unschärfe schon mit Objekten zu hantieren.

Für den Laien sind die unterschiedlichen CAAD-Lösungen nur schwer unterscheidbar. Verwirrend ist die Werbung der Anbieter, die alle von 3D-Modellen sprechen, dabei aber nicht zwingend von einem neutralen Produktmodell ausgehen, sondern nur 3D-Daten meinen, um bspw. Renderings oder auch Massenermittlungen durchführen zu kön-

nen. Auch wenn die Rede von „Objekten“ ist, so kann der normale Interessent nur schwer zwischen intelligenten, sich der Umgebungssituation anpassenden Objekten eines GM und simplen 3D-Objekten eines bestimmten Gegenstandes unterscheiden. Oft werden Daten auch nur „gemapped“, das bedeutet, die Eigenschaften der Objekte bleiben bei Veränderungen der Situation nicht erhalten.

1.5 Semantische Gebäudemodelle

Ein semantisches Gebäudemodell repräsentiert als ein einziges Modell das jeweils gewünschte Gebäude. Es soll die gesamte Gebäudeinformation für alle Beteiligten enthalten. Das gilt für die Entstehung des Gebäudes und reicht weiter bis hin zur Verwaltung im gesamten Lebenszyklus des Gebäudes (FM²⁹). Schon in den frühen Leistungsphasen bringt das Arbeiten mit intelligenten 3D-Bauteilen erhebliche Vorteile, da Änderungen sehr schnell vorgenommen und intelligente Architekten-Schnitte (kein einfaches „Clipping“ wie mit dem Messer zerschnitten) sowie Ansichten, Visualisierungen, Flächen- und Massenermittlungen aus dem GM abgeleitet werden können. [acadGraph 2004] Ein (noch) großer Nachteil besteht darin, dass zur Zeit der Eingabe bereits Angaben gemacht werden müssen, auch wenn sie im Nachhinein jederzeit änderbar sind.

Die wichtigsten Vertreter solcher multifunktionaler, objekt-orientierter Gebäudemodelle sind heute die IFC³⁰ und STEP³¹. (s. 5.6)

1.6 Nutzen des frühen Einsatzes des Computers

Entwerfen bedeutet eine wichtige wissenschaftliche Untersuchung [Durand, vgl. Neumeyer, S. 39] sowohl in den

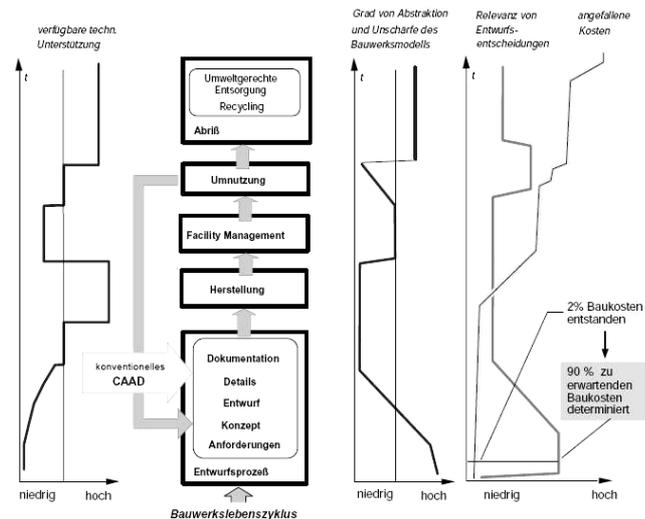
²⁹ Facility Management, FM überspannt den gesamten Lebenszyklus von Facilities. Die zeitlichen Zusammenhänge zwischen den Lebenszyklusphasen von Facilities werden erkannt und in die Planung einbezogen, um den nachhaltigen Unternehmenserfolg zu verbessern. [GEFMA, Deutscher Verband für Facility Management]

³⁰ IFC, Industry Foundation Classes

³¹ STEP, Standard for the Exchange of Product model data, international Standard ISO 10303

Ingenieurwissenschaften als auch in der Architektur. Der Entwurf ist der Schlüssel für die Konkurrenzfähigkeit im Wettbewerb. Die Verwendung von CAAD-Systemen hat sich spätestens ab der Werkplanung durchgesetzt und ist nicht mehr wegzudenken. Effizienz ist vor allem dort gegeben, wo auf einmal eingegebenen Daten (möglichst system-unabhängig) aufgebaut werden kann.

Abb. 1.10: Entscheidungsrelevanz und technische Unterstützung im Bauwerkslebenszyklus
[Steinmann 1997, S. 5, in Anlehnung an Richter 1988]



Je früher im Planungsprozess der Computer eingesetzt wird, desto nutzbringender wirkt sich das auf die Kostenbilanz aus. Schließlich werden 90 % der Gebäudekosten während des Entwurfsprozesses entschieden. (Abb. 1.10) Da drängt sich die Frage auf, weshalb nicht gleich beim Vorentwurf/Entwurf der Computer zum Einsatz kommt. In den nachfolgenden Kapiteln wird dieses Thema ausführlich behandelt, da die Frage nach dem Nutzen von Gebäudemodelldaten in den frühen Planungsphasen nur beantwortet werden kann, wenn der eigentliche Entwurfsprozess des Architekten verstanden und berücksichtigt wird. Das Gleiche gilt für die unter 1.4 aufgeführten Hemmnisse, ohne deren Behebung ein Entwurfsarchitekt gar nicht für CAAD zu gewinnen ist.

Wenn der Entwurf „steht“, bis hin zur Fertigung durch die Industrie, sind CAAD-Systeme offensichtlich gut ausgestattet und in der Praxis eingeführt. Fehlen tut es an wahrer Unterstützung und Nutzen in den Entwurfsphasen. (Abb. 1.10)

Der Nutzen von CAAD in den Entwurfsphasen kann u. a. in der Unterstützung von schnellen Wechseln unterschiedlicher Views auf das Entwurfsprojekt gesehen werden. Wann ist der Moment gekommen, auf den Computer zuzugreifen? So entsteht anfangs im Kopf des Entwerfers (Erfinders) eine Idee, aber spätestens, wenn er diese einer zweiten Person oder einem Computer mitteilen will, muss er sein Produkt beschreiben. Anfangs verbal mit einfachen Skizzen, später dienen in erster Linie Zeichnungen als Transportmittel seiner Ideen. Während der Entwurf im Kopf reift, findet ein ständiger Wechsel in den (An)sichten aber u. U. auch bei den Entwurfsverfahren statt (Top-Down oder Bottom-Up).

1.7 Fragen, die sich stellen

- Ist die traditionelle Vorgehensweise der Entwurfserstellung mit 6B und Skizzierpapier in der heutigen Zeit wirklich (noch) zeitgemäß?
- Ist unsere heutige Methode die einzig richtige, schließlich hat es vor dem 6B-Stift und dem Skizzenpapier auch nur Feder, Tusche und Pergament gegeben?
- Hat nicht gerade der Computer unsere Zeit auch in diesem Bereich revolutioniert? – Gero kommt zu dem Schluss: „It is proposed, supported by our empirical data, that a cognition-based CAAD system would have the potential to benefit designers during conceptual designing more than CAAD systems.“ [Gero 2001, S. 530]
- Wird die künftige Generation von CAAD- Systemen in der Lage sein, in meinem Sinne selbstständig für mich zu arbeiten?
- Kann ein künftiges CAAD-System Dinge selbstständig ausführen, mir eigene Vorschläge anbieten oder meinen Vorschlägen „widersprechen“? – Hierzu gibt es bereits verschiedene Ansätze von Entwurfsgeneratoren, wie bestimmte „well-defined problems“³² [Rowe 1987], also

³² vgl. Rittel und Simons: Bei *well-defined problems* handelt es sich um jeweils ein Problem, das vollständig beschrieben ist und das von einem entsprechend geschulten Menschen ohne weitere Informationen gelöst werden kann. Im Gegensatz zu *ill-defined problems*, die den Entwurfsbeginn charakterisieren, wo eine vollständige und abschließende Formulierung des Entwurfsproblems nicht möglich ist. [vgl. Liebich 1993, S. 29]

Routine-Design, zu optimieren sind. Beispiele dazu können bekannte Grundrisstypen (Zweispänner, Dreispänner, Ecklösungen) oder Städtebaulösungen (Reihenhaussiedlung ...) sein, aber auch Grundrisslayouts und Möblierungsgeneratoren sind denkbar. Dass durchaus komplexe Gebäude mit dieser Methode entwickelt werden können, zeigen verschiedene Softwarestudien der letzten 15 Jahre. Beispiele: ALBERTI, LOOS (s. 5.3)

- Doch wie kann eine intuitive Kommunikation mit dem CAAD-System hergestellt werden, damit auch entwerfende Architekten diese Systeme akzeptieren?
- Sind semantische Gebäudemodelle die Voraussetzung jeglicher „Intelligenz“ eines CAAD-Systems?
- Kann durch Erweiterung heutiger Informationsmodelle (bspw. IFC 3.0) in Form von vereinbarten Entwurfsregeln dem CAAD-System eine Pseudointelligenz ermöglicht werden, die eine Entwurfsunterstützung in den frühen Phasen ermöglicht?

2 Architektur – Regeln und Grammatiken

2.1 Einleitung

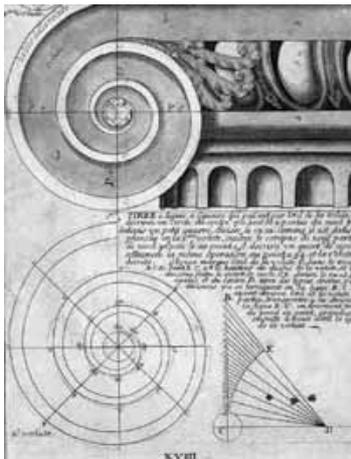


Abb. 2.1: Ionisches Kapitell,
(s. auch 2.5.3)

Was ist Architektur oder Baukunst? Wann sprechen wir von Architektur? Ist Architektur eine Kunst oder eine Wissenschaft oder doch nur Handwerk? Was zeichnet einen Architekten aus? Auf diese Fragen gibt es keine eindeutige Antwort. Vielmehr ändert sich die Einschätzung im Laufe der Architekturgeschichte und wird selbst unter heutigen Architekten und Architekturkritikern nicht eindeutig beantwortet. Als allgemeine Definition ist bei Wikipedia zu lesen:

„Während Architektur über Jahrhunderte im allerweitesten Sinne als Bauen jeglicher Art verstanden wurde (daher der Begriff Baukunst), wird inzwischen Architektur schon viel öfter über ihren Raum schaffenden Charakter definiert (Raumkunst). Architektur besteht aus diesem Blickwinkel in der Dualität von Raum und Hülle. Architektur schafft eine Grenze zwischen außen und innen. Architektur generiert durch diese Grenze bzw. Hülle einen Raum zum Aufenthalt und Tätigwerden von Menschen sowie zur Aufbewahrung seiner Dinge, geschützt vor den unerwünschten Einflüssen der Außenwelt (vergleiche Kleidung).“ [Wikipedia]

Aber auch Themen wie *Formfindung* und *Formgebung* sind Kernfragen der Architekten.

In diesem Kapitel geht es um „Regeln in der Architektur, die gesetzlich nicht festgeschrieben sind, die aber im Laufe der Geschichte unseres Berufs [des Architekten] immer wieder gesucht wurden und immer wieder verloren geglaubt werden.“ [Rieß et al. 1997] Dazu werden Anschauungen der abendländischen Architektur von der Urhütte (Abb. 2.5) bis zur Gegenwart auf verwertbare Regeln durchleuchtet. Diese Regeln bleiben unbewertet, sie können jedoch als Anregung zur Umsetzung für eine computerunterstützte Entwurfsumgebung Verwendung finden.

2.1.1 Architektur – Harmonie – Schönheit

Architektur steht am Anfang der bildenden Künste, ja der Kultur überhaupt. Sie befriedigt das elementare Bedürfnis nach Schutz und Geborgenheit und bildet eine Grundvoraussetzung menschlicher Lebensgemeinschaft. Architektur ist die gebaute Gestaltung unserer Umwelt; ihre Erscheinung hängt von den jeweiligen künstlerischen, technischen und sozialen Voraussetzungen ab.

So beschreibt Naredi-Rainer Architektur in der Einleitung zu seinem Buch *Architektur und Harmonie*, in Berufung auf bestimmte Quellen³³. [Naredi-Rainer 1982]

Für das Selbst- und Weltverständnis des abendländischen Menschen ist die Vorstellung von Harmonie ein grundlegendes Prinzip, welches über die Jahrhunderte im Mittelpunkt der Bemühungen stand, einen Einklang zwischen der „sichtbaren Welt und dem Bild des geistig geordneten Kosmos“ zu finden. Eng verbunden damit ist der Begriff der Schönheit, da das Schöne im menschlichen Werk zu verwirklichen, ein zentrales Anliegen der Kunst ist, die so auch immer Abbild eines Harmonie-Konzepts ist. [vgl. Schumacher 1938, Teil I]

2.1.2 Traktate zur abendländischen Architektur über die verschiedenen Epochen

Architekten, Philosophen und Mathematiker haben zu allen Zeiten Architekturtheorien aufgestellt, die die Architektur entscheidend beeinflusst haben. Architekten – von Vitruv über Alberti und Palladio, Schinkel und Semper bis in die Gegenwart von Le Corbusier bis Venturi, Ungers, Rossi und Eisenmann – haben Grundlagen der Architektur formuliert und dabei implizit den Entwurfsstil, aber auch das Entwerfen selber beeinflusst. Prof. Gerd Zimmermann schreibt dazu:

Architekturtheorie kann natürlich nicht einfach die Summe dieser Theorien sein. Sie argumentiert vielmehr als Reflexionswissenschaft auf einer Metaebene mit dem Ziel, Grundlagen der Architektur zu formulieren. (...) Dabei verfährt die Architekturtheorie nicht nur „posthum“ beschreibend, sondern sie ist performativ. „Le Corbusiers „5 Punkte“, der „Funktionalismus“ des Bauhauses usw. sind nicht bloß eine Deutung dessen, was Architektur ist, sie umreißen vielmehr ein Programm. Der Entwurf, der Bau ist eigentlich nur die Illustration der Theorie. (...) Dabei gibt es Schriften, die Architekturströmungen auslösen: das Futuristische Manifest zum Beispiel als Programmschrift

³³ Tatarkiewicz 1979, 49; Grassi 1980, 184 und Elvers 1939, 1



Abb. 2.2: Fünf Platonische Körper: Oktaeder, Tetraeder, Dodekaeder, Hexaeder und Icosaeder. Sie sind konstruierbar aus dem gleichseitigen Dreieck, dem Quadrat und dem Fünfeck, die wiederum mit „Zirkelschlägen“ als Polygone eines eingeschriebenen Kreises konstruierbar sind. Nichtkonstruierbare Polygone mit den Seitenzahlen 7, 9, 11 und 13 blieben ausgeschlossen. [vgl. Baum 1996]

der militanten „Maschinenästhetik“ oder Venturis Buch „Complexity and Contradiction ...“, das wichtig war für die Eröffnung der Postmoderne-Debatte, Hundertwassers „Verschimmelungsmanifest“ als Radikalkritik am Funktionalismus u. a. So wie es die Theorie zum Entwurf gibt, gibt es den Entwurf zur Theorie. Wir kennen solche Schlüsselbauten, in denen die Theorie exemplarisch wird: das Dessauer Bauhausgebäude, der Barcelona-Pavillon, oder auch Venturis Guild House, das die modernistischen Doktrinen abwarf, die Ablehnung der Geschichte, die sogenannte „konstruktive Ehrlichkeit“, die Negierung der Fassade usw. Interessant ist, daß die Kanonisierung zum Prototyp wiederum ein Werk der Interpretation und Theorienbildung in einer Rezeptionsgeschichte ist. Der Barcelona-Pavillon z. B. war zunächst nicht diese Ikone der Moderne, zu der er später stilisiert wurde. Aus solchen Überlegungen ist uns die enge Verbindung von Theorie und Entwerfen ein wesentliches inhaltliches Programm. Der Entwurf folgt der Theorie und stiftet diese wiederum.

Die Architekturtheorie entnimmt die Theorien und ihren Stoff aus der (Architektur)Geschichte. „Während jedoch die Architekturgeschichte empirisch und chronologisch arbeitet, verfährt die Theorie als angewandte Geisteswissenschaft „konstruktivistisch“, „systematisch“ und „spekulativ“, denn um der Welt habhaft zu werden, müssen geistige Modelle errichtet werden, die eine Interpretation von Architektur erst möglich machen. Wir verbinden die Theorie mit der Architekturanalyse und -kritik. [Zimmermann 2003]

2.1.3 Entwurfsregeln im Wandel der Architekturtheorien

Alle Theorie ist notwendigerweise Systemglaube und gründet, wie jeder Glaube, auf Metaphysik. Die Idee des Zusammenhangs, die Vorstellung von einer Ordnung der Dinge, in der sie als Teil eines größeren Ganzen aufgehoben sind, ist die Grundlage jedes Systemgedankens. Ohne einen Ordnungsglauben und Sinn für Zusammenhang ist die Welt für den Menschen nicht deutbar. Auch die Architekturtheorie, die sich mit der Frage beschäftigt, nach welchen Prinzipien die Teile eines Bauwerks zu einem festgefügt Ganzen zusammenzufügen seien, ist Teil einer solchen Weltdeutung. [Neumeyer 2002]

Platon spricht von „Weltgebäude“ und „Bau des Weltalls“ mit dem Schöpfer des Universums, dem „Baumeister“ der Welt. Auch moderne Philosophen wie Leibniz halten an dieser Vorstellung fest.

Göttliche Vernunft hat demnach den Bauplan des Universums ersonnen, ihm die Schönheit eines gesetzmäßigen geordneten Ganzen verliehen, ebenso wie die Schöpfung der Natur in der regelmäßigen Gestalt von Pflanzen, Menschen und Tieren den sichtbaren Beweis erbringt, dass sie kein Werk der Willkür und des Zufalls sind, sondern Teile eines großen Systems einer allgemeinen Harmonie. (siehe auch *symmetria* bei Vitruv 2.2.1)

Nach Pythagoras durchwirkt die Mathematik als Sprache der Schöpfung die ganze Natur. „Die Prinzipien von Zahl und Maß, von Beziehung und Anordnung, die sich in der



Abb. 2.3: Figurierte Darstellung der Tetraktys, wie die Pythagoräer die ersten 4 Zahlen nannten, aus deren Addition ($1+2+3+4=10$) die Zahl 10 entsteht, die sie für die vollkommenste hielten.



Abb. 2.4: Parthenon-Tempel auf der Akropolis von Phidias, dem Namensgeber für den in der Mathematik verwendeten Buchstaben Φ (griech. Phi) für das Verhältnis.
 „Ob diese Analyse korrekt ist, oder ob in Wirklichkeit die ganzzahligen Zahlenverhältnisse $3:2=1,5$ oder $5:3=1,6666$ zu Grunde lagen, ist allerdings ungeklärt.“
 [Richter-Gebert et al.]

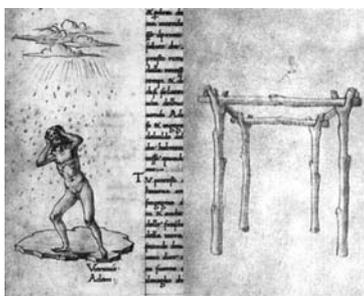


Abb. 2.5: Filarete,
 Links: Adam-Vitruv
 Rechts: Die Urhütte,
 Architekturtraktat (ca. 1461-64)

göttlichen Schöpfung offenbaren, werden dem Menschen zum Gleichnis für seine eigenen Schöpfungen.“ Für Platon fällt der Baukunst, die einem festgelegten Plan folgt, als Repräsentantin des sich in Zahl und Maß offenbarenden Wahren und Schönen ein besonderer metaphysischer Rang zu. (Abb. 2.3) „Umgekehrt werden Maß und Proportion seit der Antike zur unverzichtbaren architektonischen Voraussetzung und zum wichtigsten Kriterium aller Baukunst.“ so Neumeyer weiter.

Erst das neuzeitliche aufgeklärte Denken orientiert sich von der Sphäre des Absoluten, der universalia des göttlichen Jenseits, hin in die realia des irdischen Diesseits. Die moderne Wissenschaft löst im Zuge der Verweltlichung des Menschen die alte Metaphysik ab, indem sie die Architektur vom „hohen Pathos“ der Manifestation der göttlichen Vernunft entlastet, ohne sie aber aus der metaphysischen Funktion zu entlassen. „Auch das Zeitalter der Wissenschaft kann offenbar nicht der Sinnhaftigkeit der architektonischen Gestalt entbehren, um dem Glauben an die menschliche Vernunft als Schlüssel zur Ordnung der Dinge seinen angemessenen Ausdruck zu verleihen.“ Kant bedient sich der Architekturmetapher, indem er die Architektonik als die „Kunst der Systeme“ bezeichnet.

Nietzsche, „der das Denken von allen Glaubensartikeln reinigen und von allen metaphysischen Ur- und Abgründen befreien will und dem die Architektur gerade deshalb verdächtig vorkommt, weil sie so vernünftig wirkt“, zielt auf die Psychologie der Architektur, indem er hinterfragt, „warum denn bestimmte architektonische Anordnungen auf unser Gemüt überhaupt eine ganz besondere Wirkung ausüben können oder wodurch die Architektur uns das Staunen lehren kann. (...) Moderne Baukunst ist demnach nicht mehr eine vom Kosmos empfangene, sondern eine vom Individuum ausgehende Organisation und Steigerung der Natur, vorzüglich der eigenen, zur harmonischen Form.“ [vgl. Neumeyer 2002, S. 11]

In seinen *Zehn Bücher über die Baukunst* stellt Vitruv in der sogenannten Ursprungslegende der Baukunst Sprache und Architektur in der Entwicklungsgeschichte der Menschen auf eine Stufe. Die Voraussetzung des Bauens beginnt mit der Feuerstelle und damit einhergehend die Verortung des Menschen und das Entstehen von Gesellschaft und damit

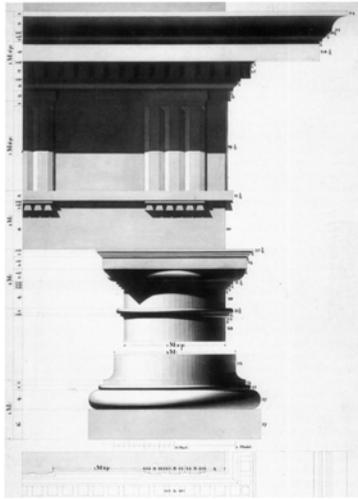


Abb. 2.6: Georg Friedrich Ziebland, Studienblatt, Proportionen der dorischen Ordnung, 1816, Architekturschule München [Nerdinger 1993]

auch das Bedürfnis nach Kommunikation und Behausung. In Vitruvs Geschichte entwickelt sich Bauen analog zur Sprache.

Semper weist auf die gemeinsamen Wurzeln der Begriffe „Wand“ und „Gewand“ sowie übernommene Worte wie „Decke“ und „Knoten“ und untermauert damit seine Theorie vom textilen Ursprung der Architektur und dem „Prinzip der Bekleidung“ als künstlerischer Urtechnik, die dem Schmuck- und Schutzbedürfnis des Menschen gleichermaßen entsprungen sei. [Semper 1860/63] Damit stellt Semper der hölzernen Urhütte Vitruvs erstmals ein kulturgeschichtliches Entwicklungsmodell zur Seite.

Vitruv sieht drei Ziele in der Architektur: „firmitas“ (Festigkeit), „utilitas“ (Zweckmäßigkeit) und „venustas“ (Anmut). Auf diese drei Begriffe beziehen sich alle Architekturtheoretiker bis heute. Allerdings haben die heutigen Begriffe „Konstruktion“, „Funktion“ und „Form“ an Bedeutungszusammenhang im vitruvischen Sinne eingebüßt. [vgl. Neumeyer 2002]

„Vitruvs harmonischer Dreiklang gleichwertiger Bedingungen, die als Voraussetzung der Architektur eine Einheit bilden,“ wird im Zeitalter der Aufklärung aufgebrochen. Schlagworte wie Funktionalismus, Konstruktivismus und Formalismus kennzeichnen die jeweilige Betonung eines einzelnen der drei vitruvischen Begriffe. Mitte des 18. Jahrhunderts treten Zweckgedanke und Materialgerechtigkeit in den Mittelpunkt der Lehre von Franziskanerpater Carlo Lodoli. Ein anderer, „der Jesuitenpater Marc-Antoine Laugier erklärt anhand der Urhütte die konstruktive Grundidee des Skeletts von Säulen, Gebälk und Giebel zum generativen Prinzip aller architektonischen Schönheit.“

Konsequente Zweckerfüllung und/oder bedingungslose Anwendung modernster Konstruktionsmethoden und Baumaterialien würden zwangsläufig zur Lösung des Formproblems sowie der Gestalt führen – diese Behauptung kennzeichnet den Standpunkt der Teleologie im modernen Funktionalismus. Die Form als solche verliert ihre Eigenständigkeit, sie wird zum mehr oder minder automatischen oder magisch-zufälligen Ausdruck der jeweiligen Verhältnisse. Das gilt auch für die heutige Theorie der Formlosigkeit, die sich zur Befreiung und Erlösung vom Zwang

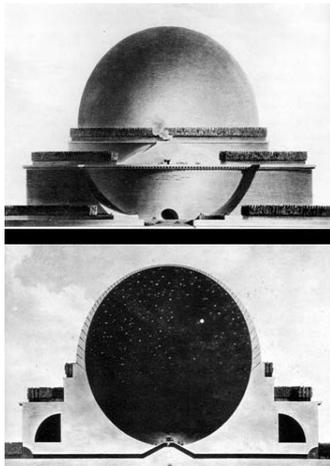


Abb. 2.7: Etienne-Louis Boullée (1728-1799), Newton Kenotaph, Ansichten und Schnitt [cabinet des etamps, Bibliothèque Nationale, Paris]

der architektonischen Form auf die moderne Wissenschaft und ein kosmologisches Prinzip der Emergenz, Komplexität und Selbstähnlichkeit beruft. So Neumeyer; er bezieht sich an dieser Stelle auf Jencks [Jencks 1997].

Anfang 1800 gibt es eine Gegenbewegung. Boullée sieht gegenüber den Fortschritten im Ingenieurwesen eine Vernachlässigung der künstlerischen Aspekte der Architektur, er appelliert an die Gefühle, die Architektur hervorrufen kann, und fordert „die Bildwirkung der Architektur, genauer die Wirkung ihrer Körper und Räume auf das menschliche Gemüt“. Er fragt nach dem Vermögen der architektonischen Form, Wirkungen auf unser Gemüt auszuüben und Anmutungen hervorzurufen. „Das Wissen um die Wirkungen und Stimmungen, die von den geschaffenen Objekten ausgehen und die der Architekt mit seinen Kunstmitteln bewusst erzeugen kann, unterscheidet in den Augen Boullées einen Handwerker von einem wirklichen ‚Künstler‘.“ [vgl. Neumeyer]

In den Folgejahrhunderten werden die klassischen Theorien immer wieder mit unterschiedlichen Schwerpunkten be- oder auch übertrieben.

Bis Ende des 19. Jahrhunderts war es vor allem die Verwendung bestimmter überlieferter Bauformen – der sogenannte Stil – mit meist reichen ornamentalen Ausschmückungen, in denen sich der künstlerische Rang als Mehrwert und Schönheit eines Bauwerkes in bewusster Opposition zu einer Sphäre purer Pragmatik manifestierte. Hingegen wurde mit dem sog. Funktionalismus des 20. Jahrhunderts ein Begriff von Architektur vorherrschend, der auf den ersten Blick nur zweckhaft bedingte Gebäude (auch Ingenieurkonstruktionen) als Architektur verstanden wissen wollte. Dabei wurden die konstruktiven, proportionsgebenden und raumbildenden Aspekte des Bauens zum eigentlichen gestalterischen Thema von Architektur erklärt. Mitunter hat man auch die geringfügigsten gestalterischen Interventionen im Rahmen funktionalistischer Planungen in den Rang einer (bau-) künstlerischen Leistung erhoben. Zugleich wurde mit zahlreichen Proklamationen zur „Modernität“, „Fortschrittlichkeit“ und dem „Ausdruck unserer Zeit“ eine symbolische Überhöhung oder Verklärung der funktionalistischen Architektur angestrebt. Nach mehreren Versuchen, diese Auffassung in der sog. Postmoderne und dem Dekonstruktivismus zu revidieren, lebte das funktionalistische Architekturverständnis wieder auf. Inzwischen kam die Frage nach dem Vorrang und der Bedeutung der Konstruktion in der Architektur im Verhältnis zu ihren formal-künstlerischen Aspekten zu erneuter Aktualität (s. dazu: Technizismus, Architektur ohne Architekten). [Wikipedia, Architektur]



Abb. 2.8: Anthropometrisches Gebälk und Kirchenfassade, Francesco di Giorgio [Kruft]

Soweit nur zur Historie und den Ursprüngen aller (abendländischen) Architekturtheorien. Interessant ist dabei der Wechsel im Laufe der „Moden“, die immer wieder andere Aspekte der überlieferten Traditionen betonen. Auch wenn

die heutige Repräsentations-Architektur eher neue oder andere Wege zu gehen scheint, gibt es dennoch Parallelen zu den alten Traditionen (Raster, Teilungen, Proportionen, auch in gekrümmten Flächen). Die ausgeprägte Sucht nach Harmonie bleibt vorherrschend. Außerdem hat, wie der nächste Abschnitt deutlich macht, die Vergangenheit gezeigt, wie trotz neuer Architekturströmungen immer wieder auch auf die alten Regeln (Säulenordnung), wenn auch nur zu ironischen Zitatzen verkümmert in abgewandelter Form (Postmoderne), zurückgegriffen wurde. – So wird im Rahmen dieser Arbeit untersucht, welche „Grammatiken“ als Entwurfsregeln zu erkennen sind, die im Rechner hinterlegt sind und den entwerfenden Architekten unterstützen können.

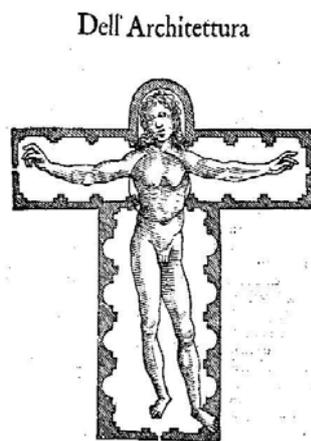


Abb. 2.9: Petro Cataneo,
L'architettura (1567)
Anthropometrischer
Kirchengrundriss

2.2 Architekturtheorie

Die Suche nach allgemein gültigen (Entwurfs-)Regeln – und wie vermeintlich totgesagte Regeln im historischen Kontext wiedererstehen, wenn auch in abgewandelter Form.

2.2.1 Vitruv

In seinem Buch *Geschichte der Architekturtheorie* befasst sich Hanno-Walter Kruft u. a. ausführlich mit Vitruv. Er stützt sich dabei vorwiegend auf die deutschsprachige Übersetzung von Vitruvs *De architectura libri decem – Zehn Bücher über Architektur* (1985), mit Anmerkungen von Curt Fensterbusch. [s. Kruft 1985]

Auch wenn die Lehren Vitruvs weitgehend bekannt sind, wird an dieser Stelle in groben Zügen auf das Wichtigste eingegangen, auf die *rationcinatio*, die geistige Auseinandersetzung mit der Architektur, da Architekturtheorien bis heute immer wieder auf diesen Lehren aufbauen. Die von Vitruv, später Alberti, Palladio u. a. weiterentwickelten Grundsätze kommen einer Grammatik gleich, die immer wieder von Architekten für ihre Werke aufgegriffen wurden. Sie lassen sich auch im Computer nachbilden, um entwurfsunterstützend zur Verfügung zu stehen. Siehe u. a. Forschungsergebnisse weiter unten: [vgl. Mitchell, W. J., 1992] (s. a. 5.3.3, Ein „berechenbarer“ Entwurfsprozess).

Bei Vitruv sind als Voraussetzung für Architektur die drei Begriffe gleichermaßen zu erfüllen:

- (1) *firmitas* (Festigkeit)
- (2) *utilitas* (Zweckmäßigkeit)
- (3) *venustas* (Anmut)

Dabei deckt *firmitas* den Bereich der Statik, Baukonstruktion und Materiallehre ab [vgl. Krufft S. 25], *utilitas* „betrifft die Nutzung von Gebäuden und die Garantie ungehinderter Funktionsabläufe“, während *venustas* alle ästhetischen Forderungen umfasst, wobei die Proportionen als besonders wichtig hervorgehoben werden.

Die Kategorie *venustas* wird wiederum in sechs Grundbegriffe unterteilt³⁴; sie soll hier etwas ausführlicher behandelt werden:

- (1) *ordinatio*
- (2) *dispositio*
- (3) *eurythmia*
- (4) *symmetria*
- (5) *décor*
- (6) *distributio*

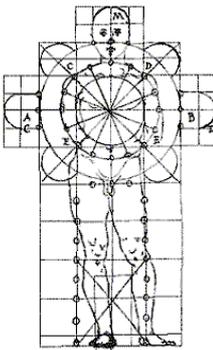


Abb. 2.10: Martini, menschliche Proportionen als Vorbild für den Kirchenbau

1. „*Ordinatio* ist das Ergebnis der Durchproportionierung eines Baues im ganzen und im einzelnen. Diese Durchproportionierung basiert auf *Quantitas*, dem aus dem Bauwerk selbst genommenen Modul (was voraussetzt, daß das Bauwerk beim Entwurf mit einer zugrundeliegenden Modulinheit geplant wurde).“ [Krufft 1985, S. 25]

2. „*Dispositio* bezeichnet den Bauentwurf (in Grundriß, Aufriß und Isometrie) und seine Ausführung, wobei offensichtlich für Entwurf *ordinatio* als Prämisse vorausgesetzt wird, während die Ausführung mit *qualitas* erfolgen soll, (...). Für den Entwurf sind Nachdenken (*cogitatio*)³⁵ und Erfindung (*inventio*)³⁶ erforderlich.“ [Krufft, S. 26]

³⁴ „... von denen lediglich eine auch an der *utilitas* teilhat (*distributio*).“ (Krufft, S. 25)

³⁵ Vitruv, Fensterbusch, S. 36 ff: Nachdenken [*cogitatio*] ist die mit viel Eifer, Fleiß und unermüdlicher Tätigkeit verbundene und mit dem Glücksgefühl gepaarte Bemühung um die Lösung einer gestellten Aufgabe.

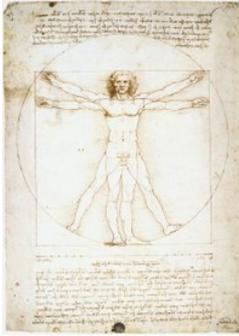


Abb. 2.11: Proportionschema Leonardo da Vinci. Venedig, Vitruvianische Figur

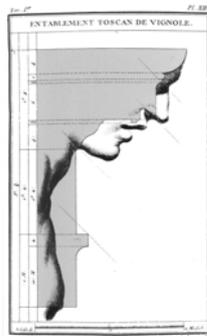


Abb. 2.12: Jacques François Blondel (1771), Gebälk, nach Vignola proportioniert [entnommen dem Einband Kruff]

3. „*Eurythmia* ist das anmutige Aussehen und der in der Zusammensetzung der Glieder symmetrische Anblick. Sie wird erzielt, wenn die Glieder des Bauwerks in zusammenstimmendem Verhältnis von Höhe zur Breite und von Länge zur Breite stehen, überhaupt alle Teile der ihnen zukommenden Symmetrie entsprechen.“ [Fensterbusch, S. 36 f]

„*Eurythmia* ist demnach das Ergebnis angewandter Proportion im Gebäude selbst und in seiner Wirkung auf den Betrachter. Sie entspricht etwa dem modernen Harmoniebegriff.“ [Kruff, S. 26] Neumeyer übersetzt es mit „Wohlgereimtheit des Anblicks“.

4. „*Symmetria* ferner ist der sich aus den Gliedern des Bauwerks selbst ergebende Einklang und die auf einem berechneten Teil (modulus) beruhende Wechselbeziehung der einzelnen Teile für sich gesondert zur Gestalt des Bauwerks als Ganzes. Wie beim menschlichen Körper aus Ellbogen, Fuß, Hand, Finger und den übrigen Körperteilen die Eigenschaft der Eurythmie symmetrisch ist, so ist es auch bei der Ausführung von Bauwerken.“ [Fensterbusch, S. 38]

„Symmetrie ist der Einklang der Teile mit dem Ganzen innerhalb des Ganzen in bezug auf einen modulus. Symmetrie entspricht im Gebrauch bei Vitruv dem heutigen Proportionsbegriff.“ [Kruff, S. 26]

Kruff sieht bei *ordinatio*, *eurythmia* und *symmetria* „verschiedene Aspekte des gleichen ästhetischen Phänomens,“ wobei er *ordinatio* mit Prinzip, *symmetria* als Ergebnis und *eurythmia* als die Wirkung bezeichnen würde. Allerdings hält er solche Abgrenzungen nur für bedingt sinnvoll, da es zu Begriffsverwirrungen führt, denen u. a. Vitruv selbst schon erlegen war. [Kruff S. 26]

5. „*Decor* ist das fehlerfreie Aussehen eines Bauwerks, das aus anerkannten Teilen mit Geschmack (*auctoritas*) geformt ist. Decor wird durch Befolgung von Satzung, die die Griechen Thematismos nennen, oder durch Befolgung von Gewohnheit oder durch Anpassung an die Natur erreicht: ...“ Soweit der Originaltext nach Fensterbusch. Es folgen noch Beispiele über Tempelbauten, die nach ihrer Bedeutung unterschiedlich zu errichten sind. Bspw. sind

³⁶ Vitruv, ed. Fensterbusch, p. 36 ff: Erfindung [*inventio*] aber ist die Lösung dunkler Probleme und die mit beweglicher Geisteskraft gefundene Entdeckung von etwas Neuem.

nach Geschlecht (männlich 1:; weiblich, jungfräulich) die gemäß Vitruv entsprechenden Säulen (*dorisch*, *ionisch* und *korinthisch*) zu verwenden.

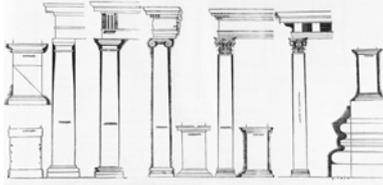


Abb. 2.13 :Jean Martin, Vitruv-
übersetzung (1547): Darstellung
der Säulenordnungen

So ist die Frage des decor „die Frage nach der Angemessenheit von Form und Inhalt, nicht die nach dem applizierten Ornament. Die Anwendung der Säulenordnungen ist eine Frage des decor. Die Zuordnung von Säulenordnungen zu bestimmten Eigenschaften weist über Ästhetik hinaus auf die Bedeutungsinhalte von Architektur, auf die Architekturikonologie hin.“ (Kruft S. 27)

6. „*Distributio* aber ist die angemessene Verteilung der Materialien und des Baugeländes und eine mit Überlegung auf Einsparungen ausgerichtete zweckmäßige Einteilung der Baukosten (...). Eine zweite Stufe der *distributio* wird es sein, wenn Gebäude zum Gebrauch von (einfachen) Familienvätern und im Hinblick auf (geringes) Vermögen oder im Hinblick auf die würdevolle Stellung eines Redners passend gebaut werden.“ [Fensterbusch S. 42 f]

Im zweiten Teil der *distributio* sieht Kruft einen Gedanken anklingen, der später „in der Aufklärung zum System erhoben wurde: die ‚architecture parlante‘, derzufolge Architektur Ausdruck ihrer Funktion bzw. der Stellung ihrer Bewohner sein soll.“

Zusammenfassend stellt Kruft fest, dass sich Vitruvs sechs Grundbegriffe um drei Komplexe ordnen:

- (1) *Ordinatio*, *eurythmia* und *symmetria* bezeichnen die verschiedenen Aspekte der Proportionen eines Gebäudes.
- (2) *Dispositio* betrifft den künstlerischen Entwurf, für den *cognitatio* und *inventio* erforderlich sind.
- (3) *Decor* und *distributio* betreffen die Angemessenheit bei der Verwendung der Säulenordnungen und der Relation von Haus und Bewohner.

Die Proportion³⁷ ist bei Vitruv kein ästhetischer Grundbegriff, sondern das reine Zahlenverhältnis, „nicht die

³⁷ Proportion [lateinisch] gilt in der Architektur als Maßverhältnis bspw. vom Gesamtbau und seinen Bauteilen in ihrer Höhe, Breite und Tiefe. So wurde von den Griechen der halbe untere Säulendurchmesser zum Ausgangspunkt der Proportion genommen, alle übrigen Bauteile bildeten ein Vielfaches oder Bruchteile hiervon.

durch die Anwendung entstehende Wirkung.“ Architektonische Proportion wird in dreifacher Hinsicht definiert:

- (1) als Verhältnis der Teile untereinander;
- (2) als Bezug aller Maße auf einen zugrunde liegenden Modulus;
- (3) als Analogie zu den Proportionen des Menschen.

Der Proportionsbegriff teilt sich so in zwei Teile: „Proportion als Verhältnis absoluter Zahlen und Proportion aus der Analogie zum menschlichen Körper (anthropometrische Proportion)“ [vgl. Kruff S. 28]

„Die Gestalt eines wohlgeformten Menschen liefert nach Vitruv den Beweis für das gesetzmäßige Walten eines Maßes in der Natur, wie an dem Verhältnis der Gliedmaßen zueinander, aber auch an den Gliedern selbst abzulesen ist.“ [Neumeyer S. 16] Zum Beweis dieses Proportionsgesetzes vermisst Vitruv den Menschen. Bei seinem Proportionskanon³⁸ wird die Gesichts- oder Nasenlänge (3 Nasenlängen = 1 Gesichtslänge) gleichsam als Modul zugrunde gelegt. Obwohl er diese anthropometrischen Proportionen auf die Malerei und Plastik bezieht, so sagt er doch: „in ähnlicher Weise aber müssen auch die Glieder der Tempel eine Symmetrie haben, die von ihren einzelnen Teilen her der Gesamtsumme der ganzen Größe genau entspricht.“ [Fensterbusch, S. 138 f]

Beim Vermessen des Menschen wird das Gesicht in Kinn, Nase, und Stirn je zu einem Drittel geteilt. Das Gesicht wiederum entspricht einem Zehntel, der Vorderarm einem Viertel, der Fuß einem Sechstel des Körpers usw. Das Maß selbst sieht Vitruv dem menschlichen Körper entlehnt, worauf Bezeichnungen wie Elle und Fuß hindeuten. „Die vitruvianische Figur vom Menschen in Kreis und Quadrat wird in der Renaissance zum humanistischen Emblem.“ Heute ist die Darstellung von Leonardo da Vinci (Abb. 2.11) am bekanntesten. [vgl. auch Neumeyer, S. 16 f]

³⁸ Kanon, [griechisch-lateinisch „Regel“, „Norm“, „Richtschnur“] der, die auf Polyklet zurückgehende Regel für die ideale Proportionierung des menschlichen Körpers; grundlegend für Antike und Renaissance (Leonardo da Vinci, A. Dürer). [vgl. Brockhaus, 2001]

Das Traktat von Vitruv gilt als das älteste schriftlich überlieferte Dokument über Normen für die Architektur und deren Beurteilung. Hegel doziert:

Die bekanntesten Säulenordnungen sind die dorische, ionische und korinthische, über deren architektonische Schönheit und Zweckmäßigkeit hinaus früher und später nichts mehr erfunden ist. Denn die toskanische oder nach Hirt [Geschichte der Baukunst, Bd. I, S. 251] auch altgriechische Bauart gehört in ihrer schmucklosen Dürftigkeit wohl dem ursprünglich einfachen Holzbau, doch nicht der schönen Architektur an, und die sogenannte römische Säulenordnung ist, als eine bloß vermehrte Verzierung der korinthischen, unwesentlich. [Hegel] (Abb. 2.13)

2.2.2 Leon Battista Alberti



Abb. 2.14: Albertis Palazzo Rucellai, Florenz, „verknüpft Intervallverhältnisse zu Proportionsgefüge“

„Architektur ist Harmonie und Einklang aller Teile, die so erreicht wird, dass nichts weggenommen, zugefügt oder verändert werden könnte, ohne das Ganze zu zerstören.“ [Alberti 1452] Mit Alberti, einem humanistischen Gelehrten und zugleich entwerfenden Architekten, „nimmt die Theorie der Architektur als eine intellektuelle Disziplin Aufschwung in neue geistige Dimensionen.“ ... „Albertis Werk hat das theoretische Fundament für eine moderne Architektur geschaffen.“ ... „Die Bedeutung beruhe vor allem auf dem Rang ihrer intellektuellen Leistung, Antike und Neuzeit, Tradition und Fortschritt dialektisch zu vereinen.“ [Neumeyer, S. 19]

In seinem Buch *De Re Aedificatoria* (um 1450) greift Alberti die Theorien Vitruvs auf, steht diesen aber kritisch gegenüber und beginnt, diese grundsätzlich neu zu durchdenken. Alberti bewundert kritisch die Antike, bei einem unbedingten Glauben an die Gültigkeit mathematischer Proportionen, glaubt aber an die Möglichkeit, in der Tradition weiterzudenken, um „durch neue, bessere Entwürfe gleiches oder womöglich noch größeres Lob zu ernten.“ [Alberti 1912, S. 50.]

„Während Alberti die kategorialen Grundbegriffe (*firmitas*, *utilitas*, *venustas*) von Vitruv übernimmt, unterscheidet er sich grundlegend in den ästhetischen Grundbegriffen. Alberti bleibt nicht, wie Vitruv, bei einer Deskription der Phänomene stehen, sondern fragt nach den ihnen zugrundeliegenden Prinzipien.“ [Kruft, S. 46] Demnach geht Alberti in seinen Definitionen weit über Vitruv hinaus. So definiert er den architektonischen Entwurf: „Daraus

ergibt sich, dass ein Riß (lineamentum) eine bestimmte bestehende Zeichnung ist, die, im Geiste konzipiert, mittels Linien und Winkeln aufgetragen wurde, ausgeführt von einem an Herz und Geist gebildeten Menschen.“ [Alberti 1912, S. 20.]

In seiner äußerst gründlichen Systematik benennt Alberti sechs Grundelemente der Architektur:

Regio	(Gegend)
area	(Baugelände)
partitio	(Einteilung, Grundriss)
paries	(Wand, Mauer)
tectum	(Decke)
apertio	(Öffnung)

[Alberti, *De Re Aed.* 1, 2.]

Ausgangspunkt allen Bauens ist für Alberti die Ortsbindung. „Die natürlichen Bindungen von Landschaft und Klima, aber auch der gesellschaftliche Kontext stehen für ihn an erster Stelle der Architektur. Der Ort geht als das erste Element der Architektur dem eigentlichen Objekt voraus. ... Bereits diese Verschränkung des Bauens mit dem Ort sagt etwas Grundsätzliches über den neuzeitlichen Standpunkt der Verweltlichung des Menschen aus. Seine humanistischen Ideale sind nicht auf ein abstraktes Dasein im Jenseits, sondern auf das konkrete Hiersein im Diesseits gerichtet. Zu dessen Überhöhung sollen die Künste verpflichtet werden.“ Alberti setzt an den Anfang der Baukunst die Kunst, die die räumliche Inbeziehungsetzung des natürlichen Raumes über das Grundstück bis in die Einteilung der Grundebene, in die kleineren Raumzusammenhänge des Grundrisses harmonisch fortsetzt. „Architektur ist seiner Auffassung nach Raumkunst und verlangt als solche zunächst eine Raumidee.“ [Neumeyer, S. 20]

Die nachfolgenden drei Elemente Wand/Mauer, Decke und Öffnung schaffen die physische, dreidimensionale Umsetzung der Raumidee. Ihre Teilung und seitliche Begrenzung sind mit der Wand sowie dem oberen Raumabschluss, der Decke, gegeben, mit der Öffnung, durch die das Raumbehältnis zugänglich und nutzbar wird, aber auch die Kommunikation zwischen „Raumspähren von

Innen und Außen, zwischen privatem und öffentlichem Raum, ermöglicht“. [Neumeyer, S. 21]

Während bei Vitruv die Säule als höchstes Bauglied im Mittelpunkt steht und als modularer Generator den ganzen Tempelbau in seinen Maßen bestimmt, wird sie bei Alberti wie in der Pilasterarchitektur der Renaissance in der Wand versteckt. Eine Säule, so Alberti, sei im Grunde nichts anderes als ein Teil einer Wand, eine Säulenreihe nichts anderes als eine Mauer, die an mehreren Stellen durchbrochen, also offen sei. Die Proportionierung der Wand wiederum wird nach den antiken Säulenmaßen berechnet, wobei Pfeiler und Säulen aufgrund der gemeinsamen Herleitung aus der Wand kein Widerspruch sind. (Abb. 2.14)

Erst bei der Abhandlung der Öffnung kommt die Säule zu Recht und Ehren, „nämlich als das höchste Schmuckelement, über das die Baukunst verfüge.“ Nackt solle man einen Bau zu Ende führen, bevor man ihn bekleide, ist Albertis Devise. Schmuck definiert er als einen „die Schönheit unterstützenden Schimmer, somit als Ergänzung der durch Maß und Beziehungsverhältnisse bedingten körperlichen Schönheit.“ (Neumeyer, S. 21) Der „wahre und echte Schmuck eines Gebäudes“ zeigt sich nicht im „Aufwand von Mitteln“, sondern im „Reichtum an Geist“, der notwendig ist, um nach dem Grundsatz von Zweck, Würde und Annehmlichkeit aus den Elementen und Teilen eines Bauwerks ein Ganzes zu schaffen, das den „Zusammenklang und Zusammenhang aller Linien und Winkel zu einer Wirkung“ erzeugt. [Alberti S. 473; S. 47] Alberti antizipiert damit eine Entwicklung, bei der Form und Dekoration immer weiter auseinander driften, bis zu der Forderung, dass Dekoration ganz aus der Architektur zu verschwinden habe.

Alberti nennt drei Kriterien der Schönheit:

- (1) numerus (Zahl)
- (2) finitio (Beziehung)
- (3) collocatio (Anordnung)

„Die Summe dieser Begriffe ist für Alberti das Ebenmaß (concinitas), der ästhetische Schlüsselbegriff seiner Architekturtheorie.“ [Kruft, S. 50] Alberti konstatiert die Ver-

wendung gerader und ungerader Zahlen aus der Natur und überträgt sie auf die Architektur. „Denn das Gerippe eines Bauwerks, d. h. die Säulen und Ecken und dgl. machen sie, der Natur folgend, niemals von ungleicher Anzahl. Denn es wird kein Tier geben, das auf einer ungeraden Zahl Füßen steht oder sich bewegt. Dann ordneten sie dagegen niemals Öffnungen gleicher Zahl an, worin sie selbstverständlich auch die Natur beobachten, da die den Lebewesen zwar hier und dort Ohren, Augen und Nasenlöcher gerader Zahl, doch in der Mitte nur einen einzigen und breiten Mund gab.“ [Alberti, *De Re Aed.* IX, 5; zit. nach Theurer (1912), p. 493 ff]

Die Zahlen 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, „welche der Natur näher stehen“, sind für Alberti bevorzugt und besitzen eine entsprechende Bedeutung für die Architektur. „Hingegen spielen irrationale Zahlen, deren Wert nur auf geometrischem Wege ermittelbar war, wegen ihrer Inkommensurabilität nur eine geringe Rolle.“ [vgl. Krufft, S. 50, er benennt im Anhang mehrere Quellen (39), S. 529]

Proportionen sind für Alberti als Naturgesetze unwandelbar, er beruft sich auf Pythagoras und stellt fest: „Es ist vollkommen sicher, dass sich die Natur in allem immer gleich bleibt“. [Krufft bezieht sich auf: Alberti 1912, S. 496]. Siehe auch Albertis Übereinstimmung von Harmonie in Musik und Architektur, Absatz 2.5.4.

Alberti, Zusammenfassung:

- Weiterentwicklung der antiken Vorgaben (Vitruv)
- Beibehaltung der Proportionslehren, Pythagoras, ganze Zahlen, gerade und ungerade aus der Natur abgeleitet, symmetrische Anordnung
- Gleichsetzung von Gesetz der Natur = Gesetz der Schönheit = Gesetz der Architektur
- Säule nur noch als Schmuckelement und Gliederung der Fassade, als Stütze zum Gerippe erklärt (*ossa*)
- Schönheit ist dem schönen Körper eingeboren, ist ohne Schmuck schon schön (> Proportionen, Raster)
- Unterscheidet verschiedene Gebäudetypen nach Notdurst des Lebens, Zweckmäßigkeit, dem zeitweiligen Vergnügen; unterscheidet zwischen öffentlichen und privaten Bauten

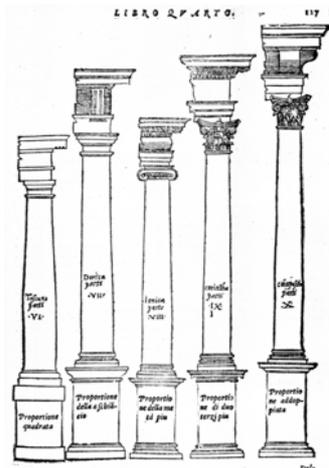


Abb. 2.15: Sebastiano Serlio entwickelt praktische Anleitungen für Architekten und Handwerker. Bspw. legt er für die Lehre der Fünf Säulenordnungen systematisch das Verhältnis von Höhe und dem unteren Durchmesser fest. „Von jetzt ab wird es üblich, Raster-Systeme, Musterbücher etc. für Typologische Elemente (Säulen, Portale, Wohnhäuser etc.) einzuführen.“ [Meisenheimer 1986] [Abb. 36 Krufft]

- Rückbeziehung der Architektur auf die individuelle und soziale Struktur der Menschen
- Varianten zulassen, um Gleichförmigkeit entgegenzuwirken
- Städtebauliche Ansätze, Verweltlichung der Baukunst durch individuelle Fassadengestaltung

2.2.3 Von der Säulenordnung zu Proportionen und Raster

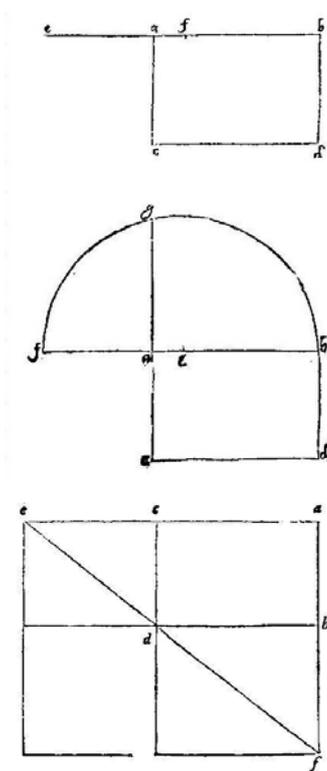


Abb. 2.16: Palladio:
Unterschiedliche Verfahren zur
Ermittlung der Raumhöhe:

1. „Die arithmetische Proportion des Überschusses“: $b - a = c - b$
2. „Die geometrische Proportion“:
 $a : b = b : c$
3. „Die harmonische Proportion“:
 $(b - a) : a = (c - b) : c$

„Der Mythos der antiken Autorität Vitruv überstrahlte den modernen Autor Alberti.“ Die kommenden Generationen betreiben „die Kodifizierung der Säulenordnungen zu einem verbindlichen Kanon und einer Art Grammatik der Architektursprache.“ Als Vorbereiter des Vitruvianismus gilt Sebastiano Serlio (1475-1554), mit seinem für Praktiker gedachten *Lehr- und Musterbuch der Architektur* (1537), das in einzelnen Büchern, *Regole generali*, die fünf Säulenordnungen in einem „leicht fasslichen System“ darlegt. Sein starrer Säulenkanon legt die Höhe als ganzzahliges Vielfaches des unteren Durchmessers fest. Zu Serlios schöpferischen Leistungen gehört auch „die Übertragung der Säulenordnungen auf die Architektur der Wand bis hin zu Tür- und Fensterrahmen und Kamineinfassungen. Als konsequenter Denker im modernen Raster-system entwirft er auch eine Typologie von Wohnbauten für alle Stände, selbst für die unterste Schicht der armen Bauern.“ [Neumeyer, S. 24]

Wie viel Bedeutung den Säulenordnungen beigemessen wird, zeigt die Tatsache, dass bis in das 19. Jahrhundert das meistgekauftete Lehrbuch (*Regola delli cinque ordini d'architettura* von 1652) ein Säulenbuch von Jacopo Barozzi, genannt Il Vignola, war. „Im Gegensatz zu Serlio geht Vignola von der Gesamthöhe als Modul aus, von dem jedes Einzelmaß durch Multiplikation mit dem für jedes Bauteil festgelegten Koeffizienten proportional bestimmt werden kann. (...) Die Konvention des vitruvianischen Erbes ist die Grundlage für Innovationen, mit denen die eigene Zeit Ebenbürtiges schaffen will.“ [Neumeyer, S. 25]

2.2.4 Andrea Palladio

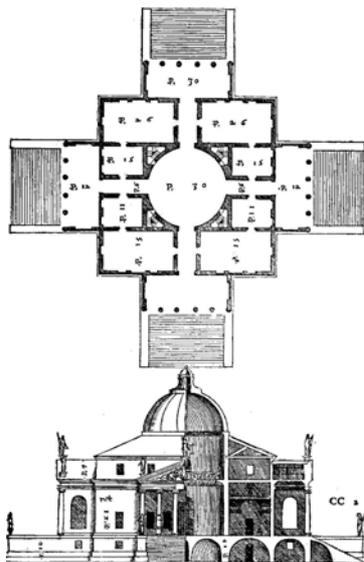


Abb. 2.17: Palladio Villa Rotonda

Ein Beispiel hierfür liefert Andrea Palladio (1508-1580). Mit seinen *Quattro libri dell'architettura* von 1570 [Palladio 1570] schafft er ein architekturtheoretisches Werk, in dem er als „reifer Künstler“ sein Lebenswerk reflektiert und „eine künstlerische Bilanz, die als Wegweisung in die Zukunft verstanden werden sollte“, zieht. Als folgsamer Schüler, als der er sich gerne darstellt, hält er sich mit seiner Entwurfspraxis doch nur bedingt an seinen „Meister und Führer“ Vitruv. „Der für Palladios Architektur typische symmetrische Zentralplan im triadischen Kompositionsschema, in dem das Zentrum als beherrschender Höhepunkt des Ganzen triumphiert, wird teils funktionalistisch, teil anthropometrisch begründet“. Symmetrische Anordnung von Wänden verhindert „große Unregelmäßigkeiten“, die bis „zum Zerfall des Gebäudes führen können“. [Neumeyer, S. 25] Palladio sieht das Wohnhaus „als wichtigste Architekturform“, als den Ursprung aller Bautypen an. [Kruft, S. 95] Sein oberstes Proportionsprinzip lautete: „... in allen Bauwerken müssen die Teile zusammenstimmen und solche Maßverhältnisse haben, dass jedes einzelne Maß dazu dienen kann, das Ganze und gleichermaßen alle anderen Teile damit zu messen.“

Sein *Buch II*, in dem er die Architektur behandelt, beginnt mit dem Wohnhaus. Neben Größe und Lage zur Himmelsrichtung der Räume, die besonders den Bedürfnissen im 16. Jh. entsprechen, macht Palladio auch Angaben zur Höhe und Proportionen von Zimmern, „Bei Flachdecken soll die Höhe zwischen Fußboden und Balkendecke so groß wie die Breite des Zimmers sein. Die oberen Zimmer müssen um den sechsten Teil niedriger sein als die unteren.“ Palladio zeigt mehrere Möglichkeiten, die gewünschte Gewölbehöhe zu finden. (Abb. 2.16)

Bspw.:

Wenn man weiß, wie viel Fuß ein Zimmer breit und lang ist, so finde man die Zahl, die zur Breite und zur Länge im gleichen Verhältnis steht. Dies geschieht durch Multiplizieren des kleineren mit dem größeren Maß: macht doch die Quadratwurzel des durch die Multiplikation erhaltenen Punktes die gesuchte Höhe aus. Zum Beispiel: Die Stelle, die wir überwölben wollen, hat eine Länge von 9 Fuß und eine Breite von 4 Fuß. Die Höhe ist dann 6 Fuß. Das Verhältnis von 9 zu 6 ist identisch mit dem von 6 zu 4, nämlich wie zwei zu drei.“

Palladio weicht mit dieser Methode von den Ganzzahlen ab, die noch bei Vitruv und Alberti verbindlich waren, wenn er einräumt, „dass es nicht immer möglich ist, die Gewölbehöhe numerisch zu ermitteln“. [Palladio, S. 86/87]

Palladios Nachfolger, der Architekt Vincenzo Scarmozza (1552-1616), in Salzburg tätig, der einige Bauten Palladios vollendete, brachte in seinem Traktat *Idea dell'architettura universale* (1615) in meist vereinfachter Form auch die architektonischen Muster und Typen Palladios. Diese Schrift, die Goethe als das „vollständigste, solideste und trefflichste, das die Architektur aufzuweisen hat“ bezeichnete, brachte die aktuellen Architekturtheorien nach Nordamerika, und schließlich war ganz Europa bis hin nach Nordamerika bis in das 20. Jahrhundert eingenommen. [vgl. Palladio 1570, Nachwort, S. 437] Bayer und Schütte führen diesen Erfolg auf die Ordnung zurück, die zugleich intellektuell und ästhetisch einsichtig sein sollte, was bei Palladios Bauten zutraf.

Die innere Organisation der Gebäude war dank der axialen Symmetrie und der proportionalen Verhältnisse der einzelnen Räume zueinander wie zum Gebäudeganzen transparent. Dem entsprach die Definition einzelner Räume und der gesamten inneren Struktur nach Kriterien der Benutzbarkeit – „Commodità“. Gleiches galt für die Gruppierung verschiedener Gebäude zu einer größeren Anlage, wie für die formale und ikonographische Struktur der Fassaden, mit ihrer präzise abgestimmten Staffelung von bedeutenden zu minder wichtigen Bauteilen.“

Architekten späterer Epochen orientieren sich immer wieder an Palladios Bauten, besonders der Villa Rotonda. (Abb. 2.17) Jean-Nicolas-Louis Durand (1760-1834) stellt in seinem „Précis des leçons d'architecture“ ein neues Entwurfsverfahren vor, „das sich bei der Entwicklung von Grundrissen schematisierender geometrischer Raster bedient, die auch die traditionelle Modularkonzeption der Säulenordnungstheorien hinter sich lässt. (...) Bezeichnend ist, mit welcher Vorliebe Durand auf Villen Palladios zurückgreift, um seine Ideen zu veranschaulichen. Auch hier ist die Villa Rotonda wieder bevorzugtes Objekt. Das gesamte Verfahren eliminiert den historischen Kontext der Gebäude Palladios vollständig, es will ausschließlich die Logik der Bauform und der räumlichen Anordnung thematisieren, nicht deren Benutzung.“ Das Gleiche gilt auch für die Entwürfe Claude-Nicolas Ledoux', „der bei seinem Projekt zum Château d'Eugères einen Baukörper –

ebenfalls in der Tradition der Rotonda – entwickelt, bei dem man, trotz der vielen und mächtigen Treppenanlagen, nicht erkennt, wie er zu betreten sei.“

„Goethe, der sich von allen Deutschen des 18. Jahrhunderts wohl am intensivsten mit Palladio auseinandersetzte“, schreibt, Palladio habe ihm den Weg „zu aller Kunst und Leben geöffnet“. Die Villa Rotonda bedeutet für ihn den Inbegriff des „Luxus“. [Palladio 1570, Nachwort S. 441 ff]

Palladio und Palladianismus, Zusammenfassung:

- Weiterentwicklung der antiken Vorgaben (Vitruv).
- Palladio hält sich nur bedingt an die strengen Regeln Vitruvs. Bei aller Antikenverehrung will er auf die eigenständige Bauweise der „Neuzeit“ hinweisen.
- Palladio weicht von den Ganzzahlen ab, die noch bei Vitruv und Alberti bindend waren.
- Kreis und Quadrat sind die beliebtesten Grundformen, die Rundform deswegen, weil sie „eine Abbildung der kosmischen Kreisbewegung sei“.
- Varianten zulassen, um Gleichförmigkeit entgegenzuwirken. Neue Funktionalität verlangt gegenüber den antiken Vorbildern neue Formen (Basilika Vicenza).
- Während in der Antike die Säulen *in* der Basilika stehen, sind sie in „modernen“ Basiliken gar nicht oder nur außen, zum Platz hin, zu sehen.
- Das Wohnhaus als wichtigste Architekturform steht im Mittelpunkt und gilt als Ursprung aller Bautypen.
- Palladio postuliert den Säulenportikus mit Giebel als ein wesentliches Schmuckmotiv römisch-antiker Bautradition. Er dient dem „ornamento“, indem er den sozialen Status der Bewohner anzeigt, und gleichzeitig der „commodità“. [Kruft, S. 100]
- Bevorzugt wird eine triadisch symmetrische Anordnung mit eindeutigem Höhepunkt im Zentralbau (z. B. Villa Emo).
- Symmetrie ist von ausschlaggebender Bedeutung (verhindert große Unregelmäßigkeiten im Grundriss).
- Geometrie wird zur normativen Proportions- und Schönheitslehre.
- Schön bauen heißt auch wahr und gut bauen; alles, was der Vernunft zuwiderläuft, verstößt auch gegen die

Natur. Architektur ist für Palladio rational, einfach, klassisch.

- Die Lage der Landschaft ist ausschlaggebend für den Bauentwurf (Hügel, beschiffbarer Fluss: Villa Rotonda).
- Palladio gibt klare Regeln vor, bspw. soll die Höhe eines Raumes mit „Flachdecke“ der Breite des Raumes entsprechen, die oberen Zimmer müssen um den sechsten Teil niedriger sein als die unteren.
- Die Struktur der Grundrisse folgt den Kriterien der Benutzbarkeit – „Commodità“, ein Speiseraum soll nicht größer sein als notwendig. Räume werden gemäß ihrer Nutzung nach der Himmelsrichtung ausgerichtet.
- Palladio versucht, aus seinen eigenen Bauten eine „generalisierte“ Typologie aufzustellen.
- Seine *Quattro Libri* gelten als Normen für die Folgezeit architektonischer Handbücher (Palladianismus).
- Nicht nur für die Baukörper und ihre Gliederung, sondern auch für die Innenräume gilt die Bedingung der Proportion.
- Die Ordnung seiner Gebäude wird als „intelligent“ und gleichwohl „ästhetisch“ angesehen, weshalb sie zum Vorbild für viele Generationen in Europa bis Übersee (vgl. auch Durand und seine Typologie, Abb. 2.72) wurde.
- Sein Grundrissraster, speziell das der Villa Rotonda, ist als Palladianisches Raster zu einem Begriff geworden. Viele Architekten (Frankreich, England, Amerika) haben es bis in die heutige Zeit (vgl. Le Corbusier, Villa Stein, Abb. 2.67, und Reclin u. Reinhart, Abb. 2.39) ihren Entwürfen zugrunde gelegt.

2.2.5 Gegenströmungen zur klassischen Proportionslehre im 18. Jahrhundert

Im Auftrag von Colbert, dem Gründer der Pariser Architekturakademie (1671), werden die Altertümer in Rom vor Ort exakt vermessen, um die künftige Antikenrezeption auf eine gesicherte Grundlage zu stellen. – Mit Guarino Guarini³⁹, Mathematiker und Philosoph, später berühmt als Architekt durch „aufregende Raumkompositionen und Kuppelkonstruktionen“, wird die Architektur als eine Wissenschaft anerkannt, der es aber „trotz ihrer Rationalität gelin-

³⁹ Guarino Guarini; in seinem unvollendeten Architekturtraktat *Architettura civile* wird die Architektur als Wissenschaft anerkannt. [Neumeyer, S. 27]

gen müsse, den Sinnen zu schmeicheln.“ ... „Guarini verzichtet auch auf eine kosmologische Abbildungstheorie und betrachtet die Regeln von Vitruv und Viola nicht als unbedingt verbindlich, wie er überhaupt die Antike nicht mehr als normativ betrachtet.“ [Neumeyer, S. 27]

Blondel (1617-1686), Ingenieur und Mathematiker, 1672 zum Direktor der Pariser Architekturakademie berufen, veröffentlicht seinen *Cours l'architecture*, in dem die klassische Auffassung von der Proportion verbindlich anerkannt wird. „Die naturgegebenen Proportionen seien sogar in den von klassischen Prinzipien abweichenden gotischen Bauwerken wiederzuentdecken (...). Nach seiner Auffassung sind die Proportionen eines Gebäudes ebenso wenig veränderbar wie die des menschlichen Körpers. Deshalb erscheint auch eine normative Proportionslehre als erforderlich.“ Im Widerstreit dazu sein Kontrahent an der Hochschule, der Naturwissenschaftler Claude Perrault (1613-1688), er bestreitet „das Angeborene von Ideen und damit die Apriori-Gültigkeit von Proportionen.“ Perrault will mit Messungen im alten Rom ebenso wie an Bauten der bedeutendsten Architekten der Renaissance nachweisen, dass sich kaum einer der Baumeister an die Vitruvschen Bauregeln gehalten habe. „Alle hätten geändert, und folglich widersprächen sich auch alle, die über Architektur geschrieben hätten, weil man weder in den Ruinen der Antike noch zwischen Autoren Übereinstimmung finden könne.“ Anders verhalte es sich in der musikalischen Harmonie, hier „seien die Proportionen mit absoluter Präzision festgelegt und können nicht verändert werden (...). Über die Richtigkeit eines Akkordes gebe es unter zwei Musikern keinen Streit. In der Architektur hingegen lägen die Dinge (...) anders, denn nicht einmal dem geübten Auge des Architekten falle ein Abweichen von der vermeintlich festen Regel als falsche Harmonie unmittelbar auf.“ Perrault schlussfolgert daraus, es gäbe zwei verschiedene Arten von Schönheit, „die unmittelbar überzeugende, leicht wahrzunehmende und einer Sache von Natur aus anhaftende, positive Schönheit (bspw. Musik) und eine schwer wahrzunehmende, arbiträre Schönheit (bspw. Architektur), die auf Gewohnheit und Übereinkunft beruht, also einer Sache zugesprochen worden und damit veränderlich ist.“ Perrault stützt seine Unterscheidungen auch auf die physiologische

Einsicht, „dass Wahrnehmungsgesetzlichkeiten für Auge und Ohr offenbar nicht identisch sind. [Neumeyer, S. 28 f]

Wenngleich Perrault Proportionen ausdrücklich nicht ablehnt, so sieht er diese aber nicht länger „an das kosmologische Modell der Zahlenreligion gebunden, in der das numerische System der Zahlen den unsichtbaren Grund für sinnliches Gefallen und Schönheit bildet. Damit wird der alte Proportionsbegriff als Substanzeigenschaft und Daseinsform mit mathematisch verbürgtem Gültigkeitsanspruch relativiert und einer modernen Betrachtung als Wirkungsform geöffnet (...). Die Berücksichtigung der positiven Schönheit darf seiner [Perraults] Auffassung nach als notwendige, maßgebliche Grundlage für Gewähr von Akzeptanz und Zugänglichkeit keineswegs außer Acht gelassen werden. In der arbiträren Schönheit eröffne sich hingegen ein neues Reich der Freiheit, mit dem der wirklich schöpferische Künstler über das Gewohnte hinausgehe und etwas Neues wage, das wiederum aber erst durch seine Absicherung überzeugend wirken und damit wieder zu einer neuen Konvention werden könne.“ [Neumeyer, S. 27]

Während die *beauté positive* für Perrault grundlegend ist, bezeichnet die *beauté arbitraire* den künstlerischen Freiraum, „der durch die Gewohnheit eingegrenzt wird.“ Zur „ästhetischen Prämisse“ wird von Perrault erstmals die Funktion (*usage*) eines Gebäudes als entscheidender Faktor seiner Schönheit erhoben. Eine Neubewertung erfährt der Symmetrie-Begriff, der bei Vitruv und Alberti sowie in der Folgezeit aus „der Spiegelbildlichkeit des Menschen“ begründet, weitgehend dem modernen Proportionsbegriff entsprach. Da Perrault diese Begründung ablehnt, wird die Symmetrie bei ihm „zu einer unerläßlichen Forderung an das Bauen“ und gehört für ihn zum Bestandteil der *beauté positive*. „Hier wird die moderne Symmetrie im Sinne der Axialität als entscheidendes, nahezu unumgängliches Kriterium für Schönheit theoretisch verankert. Die Symmetrie (...) wird zum Dogma des Klassizismus“ [Kruft, S. 151]

Architektur wird von nun an nicht länger auf das „umfassend mathematisch begründete Fundament der klassischen Tradition“ bezogen werden. Im 18. Jh. wird diese Entwicklung der ästhetischen Theorie zur wissenschaftlichen Vernunft noch verstärkt. So wird bei Sébastien Le Clerc die positive Schönheit „abschätzend zu den Akten“ gelegt.

Künftig solle nur noch die arbiträre Schönheit als „Ergebnis subjektivierten Geschmacks gelten“. Carlo Lodoli (1690-1761) stellt die vitruvschen Prinzipien rigoros in Frage, „Architektur brauche ein völlig neues System und müsse sich aus den Fesseln der bisherigen Formen befreien“. Er greift den avantgardistischen modernen Architekturströmungen des 20. Jahrhunderts vor, wenn er statt historischer Formvorstellungen Materialgerechtigkeit und Funktionalität entwurfsbestimmend in den Vordergrund stellt. [Neumeyer, S. 30]

Der Jesuitenpater Marc-Antoine Laugier (1713-1769) sieht die „Wahrheit“ und zugleich Schönheit der Architektur in ihrer konstruktiven Logik begründet, wie sie die „Urhütte“ als „Modell“ für alle „Herrlichkeit“ liefert, aus der die klassische Kombination von Säule, Gebälk und Giebel als normative architektonische Ordnung wie von selbst hervorgeht. In seinem Bestreben, die Architektur von allem Überflüssigen zu befreien, unterscheidet er drei Kategorien, was zum „Wesen“, was zur praktischen „Notwendigkeit“ und was zur „Freiheit“ der Baukunst gehört. „In den wesentlichen Teilen liege die Schönheit – in den Freiheiten lägen alle Fehler der Architektur.“ Nach diesem Muster will er die Architektur von allem Überflüssigen, sei es Masse oder Dekor, befreien und auf das „essentielle Minimum“ verschlanken. – Die Reduktion der Architektur auf das Skelett. „Laugier verabsolutiert die klassische Säulenordnung zur Wahrheit und zum Wesen der Architektur. Deshalb wird ihm die Trennung von Stütze und Wand, von Skelett und Füllung zum Ideal. Aus dieser reinen Quelle soll eine autonome, elementare Sprache der Baukunst schöpfen, die auf die Sichtbarkeit der Konstruktion und Durchdringung von Konstruktion und Ausdruck eingeschworen werden soll.“ Das Primat der Konstruktion wird zum Schlüsselargument der modernen Architektur auch im 18., 19. und 20. Jh. „beharrlich“ verfochten. „Die naturhaft-technische Auffassung der Gotik ließ diesen Baustil als das rationale Konstruktionsprinzip erscheinen.“ (Neumeyer, S. 31)

Goethe hat die Dogmatik der laugierischen Theorie in seiner Baukunst von 1772 als ein „Prinzipium“ abgestempelt. Goethe argumentiert, dass unsere Häuser „nicht aus vier Säulen in vier Ecken“, sondern aus „vier Mauern und vier Seiten“ entstünden. [Goethe, Johann Wolfgang von, Von deutscher Baukunst, 1772, in: Goethes Werke.

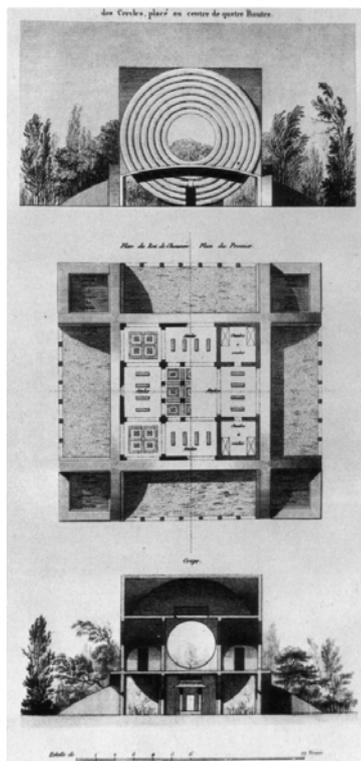


Abb. 2.19: Claude-Nicolas Ledoux, *L'architecture* (1804). Haus des Reifenmachers. Zusammen mit Etienne-Louis Boullée erarbeitet Ledoux ein reiches Repertoire an (zum großen Teil nicht gebauten oder baubaren) Entwürfen, „deren reine geometrische Formen – symbolisch überhöht – zum Katalog einer „architecture parlante“ werden. Architektur als Denkmodell, als Sprache, die nichts als sich selbst darstellt. [vgl. Meisenheimer, Abb. 101, Kruff]

Hamburger Ausgabe, Bd. 12, Schriften zur Kunst, München 1981, S. 9 f.] Damit gibt er dem seitlichen Raumabschluss Priorität gegenüber dem konstruktiven Gerüst und greift damit der Relativierung der Konstruktion durch Gottfried Semper (s. 2.2.8) vor.

Andere ästhetische Argumente liefert Germain Boffrand (1667-1754). Er weist in seinem *Livre d'architecture* (Paris 1745) mit dem Begriff „caractère“ einer „psychologischen Betrachtung der Architektur den Weg“. Mit seiner optischen Rhetorik, das Haus solle den „Charakter des Erbauers und der Bewohner ausdrücken und ablesbar machen“, liefert er bereits eine Vorlage für die „architecture parlante“ der so genannten Revolutionsarchitektur, deren Gedanke es ist, „ein Gebäude solle der bildhafte Ausdruck seiner Funktion sein“. [Neumeyer, S. 32]

Claude-Nicolas Ledoux (1736-1806), der Architekt der als Idealstadtprojekt begonnenen Salinenstadt Chaux, liefert in seiner *L'architecture considérée sous le rapport de l'art, des mœurs et de la législation* (Paris 1806) die Theorie, derzufolge Architektur ein aktives Instrument ist, „das die Veränderung der Ordnung und der Gesetze des gesellschaftlichen Zusammenlebens nicht nur ausdrücken, sondern auch bewerkstelligen kann“. „Er [Ledoux] stilisiert den Architekten zum Erzieher, dem eine Führungsaufgabe und eine fast religiös verstandene moralische und politische Rolle der Weltbekehrung zukommt. Nicht anders verklären die Expressionisten das Bauen nach 1918 zu einer heiligen Angelegenheit, und der Beruf des Architekten wird, wie von Bruno Taut, mit der Ausübung eines hohen, priesterhaft herrlichen, göttlichen Amtes verglichen.“ [Neumeyer, S. 32]

„Die Charakterlehre des 17. Jahrhunderts will Ausdruck und Funktion in der sprechenden architektonischen Form vereinen und wird damit zum Wegbereiter der modernen Wirkungsästhetik, zu deren Instrumentarium Erkenntnistheorie, Physiologie und Psychologie gehören.“ Deutlich wird diese Sichtweise bei Charles-Étienne Briseux (1660-1754); er geht von festen, im Menschen verankerten Wahrnehmungs- und Vorstellungsmustern aus. „Durch sie seien die Wirkungen der Proportionen auf jeden Menschen gleich, nur die unterschiedliche Nähe der Menschen zur

Natur, ihre physiologische Disposition, ihr Bewusstsein und ihr Wissen seien verschieden.“

Jaques-Francois Blondel (1705-1774) zieht in seiner umfassenden Architekturlehre *Cours d'architecture* (Paris, zwischen 1771 und 1777) Bilanz der theoretischen Positionen der französischen Architekturtheorie. Blondel vollzieht eine Rückwendung zur älteren Architekturtheorie, er verknüpft „die objektive Notwendigkeit der Proportionslehre“, die sich für ihn aus der Tatsache ergibt, dass Proportionen aus der Natur abgeleitet sind, mit der Charakterlehre. Dazu stellt er einen Katalog der Zuordnungen bestimmter Charaktere zu Bautypen auf. [Neumeyer, S. 32]

Am konsequentesten wird die aus der Malerei übernommene Charakterlehre von Étienne-Louis Boullée umgesetzt. So ist für Boullée Charakter ein Wahrnehmungsphänomen, nämlich „die Wirkung, die von einem Objekt ausgeht und auf uns irgendeinen Eindruck macht“. [Boullée, S. 66] „Die Architektur ist für Boullée gleichsam eine dreidimensionale Malerei, die mit den Mitteln von Körper und Raum, Licht und Schatten Stimmungen hervorbringt und damit ‚Bilder‘ schafft, die auf den Betrachter wirken.“ Dabei ist das Interesse an der Darstellung und optischen Wirkung der Architektur, wie sie in den Perspektivtraktaten der Renaissance zu finden sind, neu erwacht. „Im Vordergrund steht dabei zunächst die korrekte Darstellung nach der Methode der Zentralperspektive, deren Gültigkeit auch für die architektonische Wahrheit Verbindlichkeit hat. Im Barock verlagert sich das perspektivische Interesse jedoch auf die Bildwirkung der Architektur, die ins Illusionistische und Bühnenhafte gesteigert wird.“ Bei Piranesi etwa gilt nicht mehr das „vorbildlich Schöne, Harmonische, Erbauliche, sondern das Erhabene und Schreckensvolle“, wenn er die Größe der römischen Ruinen aus der Antike in Szene setzt. Der Betrachter soll „unmittelbar gepackt und in das Bildgeschehen hineingezogen werden“. Für Boullée ist das Erhabene der zentrale Aspekt seiner Erkundung der bildhaften Wirkung von Körpern und Räumen. Er bezeichnet es als die höchste Aufgabe des Architekten, „die Kunst zur Erhabenheit zu führen“. [Boullée, S. 151] „Die Kunst zu bauen ist dem ins Bild verliebten modernen Architekten zweitrangig. Deshalb ist Vitruv, der die Architektur nur als eine Kunst zu bauen definierte, in den Augen von Boullée lediglich ein be-

schränkter Handwerker, der Ursache und Wirkung miteinander verwechselte.“ [vgl. Neumeyer, S. 34 ff]

Ähnlich schlussfolgert auch Francesco Milizia (1725-1798) in seinem anonym veröffentlichten *Principi di architettura civile* von 1781, in dem er die vitruvschen Kategorien firmitas, utilitas und venustas in umgekehrter Reihenfolge gliedert, nämlich aus einer natürlichen Folge, die sich aus der Wahrnehmungsperspektive „wenn man ein Gebäude betrachtet“ ergibt: „Zuerst fällt einem die Schönheit in die Augen, hernach untersucht man die Bequemlichkeit, und zuletzt die Festigkeit.“ [Milizia, S. 5] „Milizia betont, dass es das erste Ziel aller Kunst sei, zu gefallen. Die Rücksicht auf das, was das Auge wahrnimmt, steht an erster Stelle. Lage und Plazierung, die Außenseite und die innere Beschaffenheit gehen daher dem Durchdeklinieren der einzelnen Bauteile voran.“ [Neumeyer, S. 35]

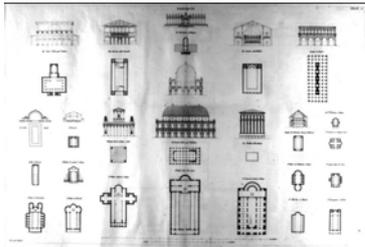


Abb. 2.20: Jean-Nicolas-Louis Durand, *Précis des leçons* (1802)
[Universitätsbibliothek Heidelberg]

2.2.6 Im Industriezeitalter führen neue Techniken zu tief greifenden Änderungen

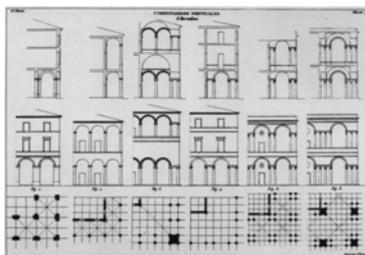


Abb. 2.21: Jean-Nicolas-Louis Durand: *Précis des leçons* (II, 1819)
Arkadensysteme, sein typologisch geordneter „Architekturatlas“ mit Grundrissen, Aufrissen und Schnitten behandelt in simplifizierter Weise alle Stile gleich und gleichwertig und wird so zur Vorlage des Historismus bis heute.
[vgl. Meisenheimer, Abb. 154, Kruff]

Im 19. Jahrhundert führen wissenschaftliche Techniken und Prozeduren zu einer „Umwertung“ der Architektur. „Das von tiefgreifenden Umwälzungen in Gesellschaft und Technik geprägte Industriezeitalter setzt die großen Themen auf die geschichtliche Tagesordnung, mit denen sich Architektur im Spannungsfeld von Kunst und Wissenschaft in Theorie und Praxis auch heute noch beschäftigt.“ Die Suche nach dem Stil der eigenen Zeit, verknüpft mit der Forderung nach einer modernen Architektur, „die sich als gesetzmäßiges Produkt der modernen sozialen und technischen Verhältnisse auf der Höhe der Zeit begreift.“ Als Ausweg aus der Geschichte der Baukunst erfährt die romantische Sehnsucht nach einer alternativen Architektur Auftrieb. „Die Überwindung des klassischen Formbegriffs der Tektonik durch einen zunächst naturhaften, von der Gotik abgeleiteten, später durch einen empirisch-naturwissenschaftlich argumentierenden Organismusbegriff ist seit dem 19. Jahrhundert ein fester Punkt auf der Tagesordnung der architekturtheoretischen Diskussion.“ (Neumeyer, S. 37) Der Begriff „Technik“ erfährt Einzug auf dem Weg zur Frage nach dem eigenen Stil. Dabei zeigt der wissenschaftlich-technische Fortschritt im Bereich neuer Materialien und Konstruktionen Auswirkungen auf die

architektonische Typologie. Systematische Anwendung wissenschaftlicher Methoden führt zum Interesse an Entwicklungsprozessen und Produktionsvorgängen. Produktionsmethoden der Architektur werden zum Gegenstand rationaler Betrachtungen, „sogar die bewusstseins-technischen Produktionsvoraussetzungen der Architektur, nämlich die psychologischen Wahrnehmungsgesetzmäßigkeiten von Körper und Raum,“ werden zum Gegenstand der wissenschaftlichen Betrachtungen. „Sogar die technischen Operationen des Entwurfsprozesses und dessen Prozesslogik werden Gegenstand wissenschaftlicher Analyse.“ [Neumeyer, S. 38]



Abb. 2.23: Münchener Glaspalast nach dem Londoner Vorbild 1854 für die Leistungsschau der Deutschen Industrie auf Beschluss Maximilian II. von Voit und Werder erbaut.

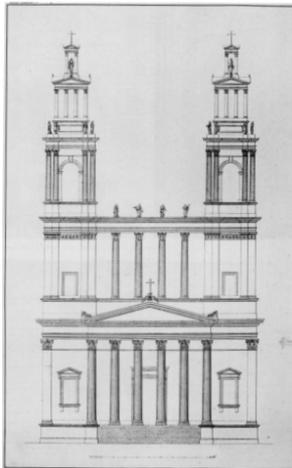


Abb. 2.22: Leo von Klenze, Anweisung zur Architektur des christlichen Cultus (1822). Domprojekt.

„Klenze erkannte in der griechischen Architektur ein festes **Princip für alle Zeiten**, ohne ihre Vorbilder zur Norm zu erheben.“ [vgl. Krufft, S. 350, u. Abb. 160]

Jean-Nicolas-Louis Durand (1760-1834) hat in seinem 1802 publizierten *Précis des leçons d'architecture* eine Versachlichung des Entwurfprozesses, „der auf mechanisch-wissenschaftlichem Wege unter dem obersten Gebot von Zweckmäßigkeit und Ökonomie objektiviert und didaktisch aufbereitet“, beschrieben. „Mit Durand (...) wird die Architektur zu einer angewandten Wissenschaft, zu einer methodischen Kunst, in der es in Analogie zur mathematischen Sicherheit auch Folgerichtigkeit in der Entwicklung des Entwurfes geben soll.“ [Neumeyer, S. 39] In „ingenieurmäßiger“ Denkweise erstellt er mit seinem *Recueil et parallèle des édifices de tout genre, anciens et modernes* (Paris 1800) einen typologisch geordneten ArchitekturAtlas der wichtigsten Monumente aller Zeiten und Völker klassifiziert nach ihren Unterarten und zwar Grundriss und Aufriss in einheitlichem Maßstab. „Die Entwurfslehre von Durand kehrt diese Logik der Analyse in eine Produktionstechnik um und entwickelt daraus eine für alle Bauaufgaben gültige Vorgehensweise des Entwurfes. Ausgehend von einem, man möchte sagen ‚anatomischen‘ System von primären und sekundären Achsen, dem Rückgrat für die Anordnung der tragenden Wände und Säulen, ergibt sich ein Quadratraster als ‚Skelett‘ aller architektonischen Anordnung und Grundlage aller baukünstlerischen Komposition.“ Mit diesem Quadratraster in Grundriss und Aufriss lassen sich „beliebige Kombinationsreihen für spezifische ‚Arten‘ von Gebäuden und Bautypen generieren, aber auch eine Vielzahl an Charakteren und damit auch künstlerischen Wirkungen erzeugen. Oberstes Gebot ist dabei, wie in der Natur, eine erkannte und anerkannte Anordnungsnotwendigkeit. (...)

Der künstlerische, ideelle Anteil der Architektur hat dem wissenschaftlichen Weg der logischen Konstruktion zu folgen. Dekoration als solche wird selbstverständlich überflüssig.“ Die moderne, aufgeklärte Kunst wird künftig nach „objektiv formal-logischen Regeln mit nachvollziehbaren Konsequenzen operierende ‚ars combinatoria‘, die nicht mehr von primären Proportions- und Raumvorstellungen, sondern im Extremfall nur noch von sachlich-mechanischen Ordnungsprinzipien geleitet ist.“ (s. auch Abb. 2.20 u. Abb. 2.21) Gleiches ist auch den Erklärungen der „Vertreter der rationalistischen Architektur der neuen Sachlichkeit um 1925“, Hilberseimer, Gropius und anderen, zu entnehmen. „Mit Durand, dem Erfinder des modernen Rasterdenkens und dem Verfechter des Funktionalismus von Zweck und Ökonomie, ist die Architektur zudem auch theoretisch an dem Punkt der Standardisierung und Fertigbauweise mit präfabrizierten Einzelementen angekommen. Auch in dieser Hinsicht wird das von wissenschaftlichen Produktionsmethoden des Automobils eingenommene 20. Jahrhundert Durand folgen und die Übersetzung seiner Theorie in die Baupraxis unternehmen.“ [Neumeyer, S. 39 ff]

Durand hat als einer der ersten die klassische Einfachheit (*simplicité*) als Faktor der Ökonomie begriffen „und leitete damit den Weg ein, der direkt zu der vorgefertigten Konstruktion des Londoner Kristallpalastes aus dem Jahre 1851 führte, einem Bauwerk, das nicht nur einen Meilenstein in der Geschichte der technologischen Architektur darstellt, sondern auch einen Grenzstein zur kommenden Reaktion, zur Epoche des beginnenden Historismus.“ [Baum 1996]

2.2.7 Weinbrenner / Immanuel Kant

Weinbrenners *Architektonisches Lehrbuch* (1810-1819) mit dem Vorsatz, „besonders auf die Verbesserung der deutschen Baukunst durch Bildung junger Architekten und Handwerker zu wirken ...“, ist „ein Tafelwerk mit knappen Lehrsätzen“ [Weinbrenner 1920, S. 211, 231], beschränkt sich jedoch nicht auf römischen Klassizismus orientierte Architektur, sondern ist auch von dem Funktionalismus Durands geprägt. „Schön ist demnach eine Gestalt, in deren Umrissen sich durchaus eine zweckmäßige Voll-



Abb. 2.24: Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, Entretiens (II, 1872). Gewölbter Saal mit Eisenkonstruktion und Ziegeln [Kruft, Abb. 156]



Abb. 2.25: Gottfried Semper, Orangerie, Bad Muskau (1840) [Wikipedia]



Abb. 2.26: Karl Friedrich Schinkel, Nikolaikirche Potsdam (1830-49)

endung zeigt. Die Zweckmäßigkeit selbst wird durch den Begriff der Gestalt bestimmt.“ [Weinbrenner 1819, S. 6] Weinbrenner gibt hierzu die Fußnote: „Kant: Schönheit sei die Form der Zweckmäßigkeit eines Gegenstandes.“ [s. Kruft, S. 337] Diese übereinstimmende Auffassung findet sich später auch bei Adolf Loos.

2.2.8 Gottfried Semper und Emmanuel Viollet-le-Duc

Der deutsche Architekt und Verfechter der Neorenaissance Gottfried Semper ist zur selben Zeit der erklärte Gegenspieler des Franzosen Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, der Vertreter der Neogotik ist. „Während Semper die Welt mit den Augen des Romantikers betrachtete, war Viollet-le-Duc durch und durch ein Klassiker. Semper war vor allem an der äußeren Form als Träger der semiotischen Bedeutung interessiert, während sich Viollet-le-Duc der Suche nach der inneren Form, der Effizienz einer minimalisierten Konstruktion, verpflichtet fühlte.“ Beide Architekten waren überzeugt, mit ihren Theorien die richtige Antwort auf die Fragen der neuen technischen Zivilisation zu liefern. Nach Sempers Auffassung „muß dem Wachstum des Wohlstands und der Freizeit eine neue internationale Architektur entsprechen, analog der antiken Architektur des kosmopolitischen Römischen Reiches.“ Die Konstruktion betrachtet er als zweitrangig, die Frage des Raumes, der semiotischen Bedeutung der raumbildenden Fassaden steht an erster Stelle.

Anders bei Viollet-le-Duc, er sieht das 19. Jahrhundert als das der Ingenieure, „in dem die Qualität eines Bauwerkes nach der konstruktiven Phantasie und dem Mut der Statischen Berechnung gemessen werden muß. Die Grundlage der Formfindung sieht er in der richtigen Einschätzung der im Bauwerk verlaufenden Kräfte und deren Übertragung in ein minimalisiertes Tragwerk. (...) Die Architektur des antiken Roms und der italienischen Renaissance (...) hält er für primitiv und eines modernen Zeitalters unwürdig.“ [vgl. Braun 1996]

In seiner zweibändigen theoretischen Schrift „Der Stil“ (1861-63) beschreibt Semper die Architektur als ein Konglomerat von unterschiedlichen handwerklichen Techniken,

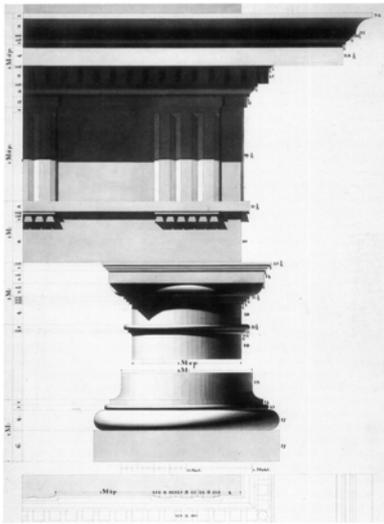


Abb. 2.27: Georg Friedrich Ziebland, Studienblatt, Proportionen der dorischen Ordnung, 1816 [Nerdinger 1993]

von der Verarbeitung des Textils und der Keramik bis zur Arbeit mit dem Mauerwerk und Holz⁴⁰. Nach antikem Vorbild trennt er die Zweckform von der Schmuckform und stellt die Tektonik vor die Konstruktion. „Der Stil“ ist kein Lehrbuch der Architektur, sondern mehr ein Katalog handwerklicher Techniken und Anweisungen, wie sie richtig zu gebrauchen sind. [vgl. Baum 1996]

Zur selben Zeit gibt Viollet-le-Duc sein zehnbändiges *Dictionnaire der französischen Architektur vom 12. bis 16. Jahrhundert* heraus. Wobei Titel und Zeitangabe täuschen, beide stehen „allein als Synonym für Gotik, und zwar vorwiegend für Gotik, die vom Verfasser selbst entworfen wurde.“ Das *Dictionnaire* soll zeigen, wie man konstruktiv (d. h. gotisch) baut, und versucht, Bedingungen der Gotik der modernen Technologie anzupassen. Das Verhältnis Leistung zu Gewicht wird als ökonomischer Faktor erkannt, der als logische Konsequenz zu den modernen Materialien, vor allem Eisen, führt, was Viollet-le-Duc „für das wichtigste stilbildende Material der künftigen Architektur hält.“ Das *Dictionnaire* gilt als Nachschlagwerk für Konstruktion. [vgl. Baum 1996]

Viollet-le-Duc beschreibt die Bauweise und Gestalt von Maschinen, Schiffen, Lokomotiven als „absoluten Stil“, den er in der Geschichte zuletzt in der Gotik erkennt. Nikolaus Pevsner bezeichnet ihn als „Wegbereiter der modernen Formgebung“, weil er mit dem Begriff der baulichen Ehrlichkeit einen Begriff eingeführt hat, der den Grundstein für das Moralempfinden und Sendungsbewusstsein des Funktionalismus legt.

2.2.9 Schinkel

Karl Friedrich Schinkel (1781-1841) ist ebenso wie Weinbrenner und Klentze von Durand beeinflusst. Er befasste sich mit mittelalterlicher Architektur, besonders in Hinblick auf Material und Konstruktion. Seine Schriften werden posthum zu einem fragmentarisch gebliebenen Werk *Das Architektonische Lehrbuch* geordnet. Darin sind seine

⁴⁰ Sempers Lehre: Die Architektur erwachse ursprünglich aus dem Bedürfnis, die Baukunst gleiche der Natur, insbesondere ihre vier Grundelemente Herd (Ton), Dach (Holz), Umfriedung (Textil) und Fundament (Stein).

frühen Erkenntnisse der gotischen Architektur gewidmet, in der er die Architektur in der Rolle als Ideenträger erkennt, während er später, nach seiner Englandreise (nach 1826) schreibt: „Für den Künstler gibt es nur eine Periode der Offenbarung, die Griechen.“ [vgl. Rieß et al. 1997]

2.2.10 Kant



Abb. 2.28: Louis H. Sullivan, *Setback Skyscraper City Concept* (1891) - In seinen Vorstellungen über Formen des Setback-Hochhauses nahm Sullivan die Konsequenzen der 'zoning laws' für amerikanische Großstädte (ab 1916 erlassen) vorweg. [vgl. Krufft, S. 412, Abb. 171]

Der Philosoph Immanuel Kant hat in seiner vielbeachteten Schrift *Kritik der reinen Vernunft* die Architectonik (Architekturmetapher) als „Kunst der Systeme“ dargestellt. Wissenschaft im Kantschen Sinne ist Systembau mit Vernunft. Die systematische Einheit unter einer Idee ist das entscheidende Kriterium, das die Wissenschaft von der nur anhäufenden Erkenntnis unterscheidet und zur reinen Vernunft erhebt. „Das Ganze ist also gegliedert (*articulato*) und nicht gehäuft (*coacervatio*)“ – so lautet Kants Schlüsselsatz, mit dem der wohlgeordnete Gliederbau in der Architektonik eines mannigfaltigen, in sich fest und logisch gefügten Ganzen zur adäquaten Gestalt kommt. – Bauen und Denken, Kunst und Wissenschaft gehen Hand in Hand. Für ihn gehört Architektonik zum methodischen Handwerk der Wissenschaft. [Weisedel 1956] Schinkel folgert im Umkehrschluss und bezeichnet Baukunst als „wissenschaftliches Handwerk“. [Peschken 1979, S. 150]



Abb. 2.29: Adolf Loos: *Haus auf dem Michaelerplatz*, 1910. Gegen große Widerstände, auch in der Öffentlichkeit, gelungener Durchbruch gegen das in Wien noch sehr verbreitete Ornament in den Fassaden. Allerdings musste sich Loos verpflichten, wenigstens Blumenkästen vor den Fenstern dauerhaft anzubringen und „das ganze Jahr hindurch mit lebenden Pflanzen auszuschnücken und diese Verpflichtung grundbücherlich einverleiben zu lassen“ [Czech et al. 1977, S. 43]

2.2.11 Sullivan: form follows function

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kam es in Amerika zur Gründung der so genannten Schule von Chicago (ca. 1885). Die Wurzeln sind in Paris an der Ecole des Beaux-Arts zu suchen, wo amerikanische Studenten über Jahrzehnte das größte ausländische Kontingent stellten. Unter ihnen auch Louis H. Sullivan, dessen theoretische Äußerungen auf den deutschen Idealismus des deutschstämmigen John Edelman zurückzuführen zu sein scheinen. „Edelman's theory of suppressed functions habe in ihm einen Funken entzündet, and the world of men began to assume a semblance of form, and of function.“ [vgl. Krufft, S. 410]

Der Funktionsbegriff ist der Kernbegriff bei Sullivan. „Gute Architektur muß ihrer Funktion entsprechen, sie in ihrer

Erscheinungsform ausdrücken, sowohl im Ganzen wie im Detail; dann ist sie ‚organisch‘.“ Krufft weiter: „Natürliche, soziale, geistige Faktoren, die Summe menschlicher Bedürfnisse machen die Funktion aus, die die Form eines Gebäudes bestimmen sollen. Der technologische, konstruktive Aspekt steht im Hintergrund (...). Es geht Sullivan darum, in der architektonischen Form menschliche Funktionen und Bedürfnisse auszudrücken, nicht konstruktive Gesetzmäßigkeiten.“ Die technologisch-funktionalistische Interpretation von Sullivans Formel *form follows function* sieht Krufft als falsch an, vielmehr sei Sullivans Funktionsbegriff ein romantisch-nationaler. [Krufft, S. 411]

Die Frage nach dem Verhältnis von Architektur und Ornament beschäftigte Sullivan bis zu seinem Lebensende. In seinem Aufsatz *Ornament in Architecture* (1892) stellt er fest, dass ein Gebäude auch ohne Ornament durch Masse und Proportion wirken könne, „Ornament sei geistiger Luxus, nicht Notwendigkeit“. Dennoch, so Krufft, bleibt für ihn das Ornament „prinzipiell als ein *garment of poetic imagery* für die Architektur wünschenswert und wichtig.“ Das von ihm propagierte Ornament soll aus dem organischen Prinzip von Funktion und Form erwachsen und diese ausdrücken. Ornament ist das Ergebnis einer Wachstumslogik und hat sich in der Form des Gebäudes nach der spezifischen Funktion zu richten. „Ornament muß individuell, darf nicht austauschbar sein, es darf nicht aufgesetzt erscheinen ...“.



Abb. 2.30: Otto Wagner, k. k. Postsparkassenamt Wien, 1903. Schnittperspektive [Peichl 1984]

2.2.12 Otto Wagner

Wagners (1841-1918) theoretischer Hintergrund ist die Theorie Sempers, die er „einseitig-positivistisch weiterentwickelt“ so Krufft. Wagner postuliert einen *Neustil*, der sich grundsätzlich vom Historismus abgrenzt. „Sein Werk ‚Moderne Architektur‘ (1895), später unter dem Titel ‚Die Baukunst unserer Zeit‘ nachgedruckt, ist ein Gründungsmanifest der Architektur des 20. Jahrhunderts. (...) Die moderne Architektur als Ausdruck der Anschauungsweise ist nach Wagner, praktisch – sogar *militärisch*. Symmetrie ist unerlässlich.“ Krufft bescheinigt Wagner eine enorme Wirkung auf die Architektur des 20. Jahrhunderts, resultierend „sowohl aus seinen eigenen Bauten, in denen er einen Weg vom Historismus zu einem funktional betonten

Jugendstil fand“, aber auch durch seine Schriften und fruchtbare Lehrtätigkeit an der Wiener Akademie. [vgl. Kruff, S. 367 f] – „Dabei ist meist angenommen worden, daß ein Bauwerk erst anfangs ein Kunstwerk zu werden, wenn es mehr tue als dem bloßen Bedürfnis zu genügen.“ Muthesius über den Architekturbegriff des 19. Jahrhunderts. [Muthesius 1908]

2.2.13 Adolf Loos, der Raumplan

„Die Vorstellung, das Wesen der Architektur sei es, Raum zu schaffen, entstand erst im Laufe des 18. Jahrhunderts auf Basis neuer naturwissenschaftlicher Raumkonzepte (Newtons ‚absoluter Raum‘) und diente insbesondere dazu, die Baukunst von der Malerei abzugrenzen.“ [Nerdinger 2002, S. 34]

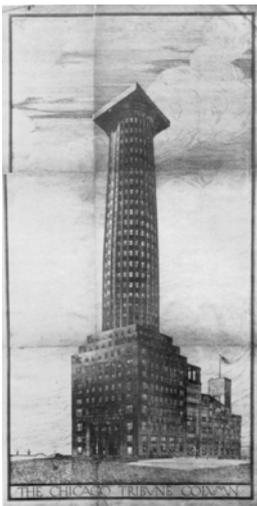


Abb. 2.31: Adolf Loos, Entwurf für den Zeitungspalast der Chicago Tribune in Chicago 1922.

„Die große griechische dorische Säule wird gebaut werden. Wenn nicht in Chicago, so in einer anderen Stadt. Wenn nicht für die „Chicago Tribune“, für jemand anderen. Wenn nicht von mir, so von einem anderen Architekten.“ [Adolf Loos in H. Kulka, entn. Kurrent 1982, S. 94]

Adolf Loos (1870-1933) greift in seinen Beiträgen zur Architektur die Bekleidungstheorie von Semper auf. In seinem Beitrag *Das Prinzip der Bekleidung* (1898) fordert Loos bspw. Materialgerechtigkeit: „Ein jedes material hat seine eigene formensprache, und kein material kann die formen eines anderen materials für sich in anspruch nehmen. Denn die formen haben sich aus der verwendbarkeit und herstellungsweise eines jeden materials gebildet, sie sind mit dem material und durch das material geworden. Kein material gestattet einen eingriff in seinen formenkreis.“ [Loos 1898, ed. 1981, S. 140]

Wie Semper vom textilen Gewebe ausgeht, so behauptet Loos: „Die decke ist das älteste architekturdetail“ und folgert, dass „die bekleidung älter als die konstruktion sei“. [Loos, S. 139, 141] Architektur, so Kruff, ist für Loos nicht primär Konstruktion, sondern Raum, der Wirkungen auslösen und „Stimmungen im Menschen erwecken“ soll: „Die aufgabe des architekten ist es daher, diese stimmung zu präzisieren. Das zimmer muß gemütlich, das haus wohnlich aussehen. Das justizgebäude muß dem heimlichen laster wie eine drohende gebärde erscheinen. Das bankhaus muß sagen: hier ist dein geld bei ehrlichen leuten fest und gut verwahrt.“ [Loos 1909, ed. 1982, S. 102 f]

Nach Kruff überträgt Loos „hier die Vorstellungen des 18. Jahrhunderts, die eine *architecture parlante* mit Massen-

formen und Dekoration erzielen wollten, auf die Kategorie des Raumes.“ Architektur ist für Loos primär eine Frage der Zuordnung von Räumen, die sich zum Konzept eines Raumplanes verdichtet, aber nicht als Theorie formuliert wurde. [vgl. Kruff, S. 420]

Mit dem *Raumplan* (ein Begriff, den sein Schüler und Mitarbeiter Heinrich Kulka prägte) schaffte Loos eine differenziertere Grundlage zur Raumökonomie, als dies in der Zeit vor ihm der Fall war. Kulka schreibt:



Das Planen von Räumen, die in verschiedenen Niveaus liegen und an kein durchgehendes Stockwerk gebunden sind, das Komponieren der miteinander in Beziehung stehenden Räume zu einem untrennbaren Ganzen und zu einem raumökonomischen Gebilde. Die Räume haben je nach Zweck und ihrer Bedeutung nicht nur verschiedene Grössen, sondern auch verschiedene Höhen. Loos kann dadurch mit denselben Baumitteln mehr Wohnfläche schaffen, da er auf diese Art in denselben Kubus, auf dieselben Fundamente, unter dasselbe Dach, zwischen dieselben Umfassungswänden mehr Räume unterbringt. Das Material und den Baublock nützt er dadurch bis aufs letzte aus. Anders ausgedrückt könnte man sagen: Der Architekt, der nur in der Fläche denkt, braucht einen grösseren umbauten Raum, um dieselbe Wohnfläche zu schaffen. Dabei werden die Verkehrswege im Haus unnütz länger, die Bewirtschaftung unrentabel, die Wohnlichkeit geringer, und ein solcher Bau wird daher teurer sein und grössere Instandhaltungskosten erfordern“. [s. Kurrent 1982, S. 26]



Abb. 2.32: Adolf Loos, Villa Müller, Raumplan: „im kubus schach spielen...“
oben: Modell S. Habermann,
[Kurrent 1982, S. 81]
unten: Aufnahme 1970
[Rukschcio et al., Abb. 387]

Adolf Loos prophezeit:

Denn das ist die grosse revolution in der architektur: Das lösen eines grundrisses im raum! Vor Immanuel Kant konnte die menschheit nicht im raum denken, und die architekten waren gezwungen, die toiletten so hoch zu machen wie den saal. Nur durch die teilung in der hälfte konnten sie niedrige räume gewinnen. Und wie es einmal der menschheit gelingen wird, im kubus schach zu spielen, so werden auch die anderen architekten den grundriss im raum lösen.

Auch heute müssen wir feststellen, „daß immer noch viel zu sehr in der Fläche gedacht wird, in Wohnfläche statt in Wohnvolumen“. [Kurrent S. 27]

Loos, den Kurrent als „der erste Moderne“ bezeichnet, ist gleichzeitig zutiefst der Antike verwurzelt. Oskar Kokoschka schreibt 1962:

Adolf Loos sagte von sich, er sei nur ein Maurer. Wir müssen dieses Wort in seiner edelsten, hellenistischen Bedeutung verstehen; in diesem Sinne baute er – wenn man ihn ließ. Das Werk des letzten Baumeisters in diesem Geiste, die Ordnung des Palladios, war für ihn Bibel und Gesetz. Loos verstand die antike Ordnung nicht als ein Muster, wie Klassizisten und Akademiker es kopieren, sondern als die Verbildlichung menschlicher Proportionen in ihrem Verhältnis zur Umwelt, somit als Versinnlichung der Beziehung des Menschen zur Außenwelt, zum Leben. [Kurrent, S. 9]

So sieht auch Krufft eine Diskrepanz, wenn er schreibt: „Doch in seinen Haus-Projekten der 20er Jahre treten im Außenbau oft starre Symmetrie, Monumentalität und ein Neuklassizismus auf, die zur Idee des Raumplans in einem schroffen Spannungsverhältnis stehen.“ Die Gründe dafür, so Krufft, dürften in Loos' Bewunderung für die antike Architektur liegen. So heißt es in einem Preisaufsatz 1898 *Die alte und die neue Richtung der Baukunst*: „Wir können daher behaupten: Der zukünftige große Architekt wird ein Classiker sein. Einer, der nicht an die Werke seiner Vorgänger, sondern direct an das classische Alterthum anknüpft“. [Loos 1898 B, 1983, S. 66] [vgl. Krufft, S. 420]



Abb. 2.33: Josef Frank,
Haus Wenzgasse 12, Wien
oben: Gartenansicht mit Proportionsstudie
(s. a. 2.5)
unten: Foto Gartenseite [Spalt 1981]
Verwirklichung seiner Raumplanidee



Abb. 2.34: Walter Gropius und Adolf
Meyer, Faguswerke, Alfeld 1911-1914.
Mit dem Deutschen Werkbund wurde der
bedeutende Schritt getan weg vom Kunst-
gewerbe hin zur Maschinenkunst.
[vgl. Pevsner, S. 452]

Es lohnt sich, an dieser Stelle doch noch näher auf den *Raumplan* einzugehen, da er konkrete Entwurfsregeln für sich manifestiert. Der Wiener Architekt Josef Frank (1885-1967) beschreibt 1931 in seinem Beitrag *Das Haus als Weg und Platz*, was mit moderner Architektur gemeint ist (auszugsweise):

Ein gut organisiertes Haus ist wie eine Stadt anzulegen mit Straßen und Wegen, die zwangsläufig zu Plätzen führen, welche vom Verkehr ausgeschaltet sind, so daß man auf ihnen ausruhen kann. (...)

Es ist sehr wichtig, daß dieser Weg ohne auffallende Mittel, ohne dekorativ-plakatartige Mittel vorgezeichnet wird, sodaß der Besucher nie auf den Gedanken kommen kann, daß er geführt wird. Ein gut angelegtes Haus gleicht jenen schönen alten Städten, in denen sich selbst der Fremde sofort auskennt und, ohne danach zu fragen, Rathaus und Marktplatz findet. (...)

Ein sehr wichtiges Element (...) die Stiege. Sie muß so ausgeführt werden, daß man bis zu ihr und auf ihr niemals das Gefühl hat, einen Weg hin und zurück machen zu müssen; man soll immer weiter gehen. Hat ein Haus mehr als zwei Stockwerke, so ist wohl zu überlegen, welche Bedeutung diese haben; ist etwa der zweite Stock ein untergeordnetes Dachgeschoß, so sollen die Stiegenarme nicht übereinander liegen, denn das würde ein Gefühl wie in einem Miethaus erwecken, und man weiß nie, wann man angekommen ist. (...)

Jede Wendung der Stiege dient ihrer kontinuierlichen Führung, nicht der Raumersparnis. Der in Quadratmetern gemessene größte Wohnraum ist nicht immer der brauchbarste, der kürzeste Weg ist nicht immer der angenehmste und die gerade Stiege ist nicht immer die beste, sogar fast niemals. (...)

Der rechteckige Wohnraum ist der zum Wohnen ungeeignetste; (...) Ich glaube, daß, wenn man einen Polygon wahllos aufzeichnet, sei es mit rechten oder stumpfen Winkeln, dieses, als Grundriß eines Zimmers betrachtet, viel geeigneter ist, als der regelmäßig-rechteckige. (...)

Praktische Notwendigkeiten dürfen niemals der Anlaß sein, eine planvolle Anlage formal zu zerstören, da der Betrachter ihren Sinn nicht verstehen kann, und es ist ja eben die hohe Kunst des Architekten, Form und Inhalt in harmonisches Gleichgewicht zu bringen. (...)



Abb. 2.35: Mart Stam, Weißenhofsiedlung, 1927, Stuttgart. Neue Materialien und Verarbeitungstechniken (Betongussverfahren, Trockenbauweise, Dachabdichtungen) ermöglichen neue Lebens- und Wohnformen (Flachdächer führen u. a. zu flexiblen Grundrissen) [vgl. Joedicke und Plath: „die Weißenhofsiedlung Stuttgart“]

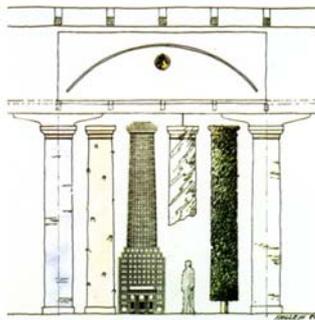


Abb. 2.36: Hans Hollein, La Biennale di Venezia unter dem Motto: „The Presence of the Past – First international Exhibition of Architecture“ 1980



Abb. 2.37: Le Corbusier, Villa Savoy in Poissy, 1931, Architektur ist Bewegung; das Erdgeschoss ist dem Auto vorbehalten (Vorfahrt Garage). Das Innere ist durch eine große, sanft ansteigende Rampe strukturiert, die den Besucher durchs ganze Haus führt.

Den Mittelpunkt des Hauses bildet der Sitzplatz, die Piazza des Hauses. Jedes Wohnzimmer muß ein Zentrum haben, um das es angeordnet wird und das dem Raum seinen Charakter gibt. (...) Heute, wo dieser Mittelpunkt oft entfällt, ist die Grundrißanlage viel schwieriger, denn dieses Zentrum muß architektonisch geschaffen werden. Die vielen Mittel hierzu sind Fenster, Nischen, Pfeiler, und anderes. Das Fehlen dieses formalen Zentrums ist es auch, was das rechteckige Zimmer so unbewohnbar macht. Der Weg, der diese einzelnen Plätze in den Wohnräumen miteinander verbindet, muß so abwechslungsreich sein, daß man seine Länge niemals empfindet. Verschiedenartige Beleuchtung, Stufen und anderes sind hier wichtige Hilfsmittel.

Das Öffnen einer Tür in einem Raum ist oft von großer, vielfach vernachlässigter Bedeutung; Ich möchte hier beispielsweise erwähnen, daß fast alle Türen falsch angeschlagen sind. (...) Ebenso ist es auch sehr wichtig, ob die Tür zum oder vom Öffnenden gedreht wird. (...)

All unsere Gebrauchsgegenstände, wozu wir auch das Wohnhaus rechnen wollen, sind ja Kompromisse zwischen Zweck, Material, Form, Qualität, Preis und anderem auf einer variablen mittlern Linie. Aber die Regeln für das gute Haus als Ideal ändern sich prinzipiell nicht und müssen nur immer neu betrachtet werden. Wie tritt man in den Garten ein? Wie sieht ein Weg zum Haustor aus? Wie öffnet man ein Haustor? Welche Form hat ein Vorraum? Wie kommt man vom Vorraum an der Garderobe vorbei ins Wohnzimmer? Wie liegt der Sitzplatz zu Tür und Fenster? Das ist moderne Architektur.

Auch Frank war ein Verehrer der alten Meister. In seiner Dissertation (1910) über Alberti bescheinigt er diesem: „Er hatte den römischen Stil zum erstenmal auf moderne Verhältnisse angewandt und erst damit wurde der moderne Stil begründet.“ [Spalt 1981, S. 171]

Heute schreibt Nerdinger:

Raum ist seit langem für alles, was irgendwie mit Architektur zusammenhängt, zu einem Universalbegriff geworden: Ob Treppen-, Bühnen-, Stadt- oder Landschaftsraum, ob organischer, dramatischer, barocker oder expressiver Raum – ohne diesen Begriff in seinen anscheinend unendlichen Möglichkeiten der Zusammensetzung kommt keine Baubeschreibung, kein Wettbewerb und kein Architekturvortrag mehr aus. [Nerdinger 2002, S. 34]

2.3 Definition von Architektur im 20. Jahrhundert

Das Auf und Ab in den Architekturstilen, der Wechsel zwischen archaisch minimalistischen und dekorativen, überladenen Bauformen wird immer deutlicher, bei vergleichsweise immer kürzer verlaufenden Intervallen auf der Zeitachse, bis zuweilen alle „Spielarten“ nebeneinander Platz haben. – Architekturanschauungen werden nicht mehr in Epochen von Jahrhunderten gesehen, sondern man

spricht über Architekturauffassungen einzelner Jahrzehnte innerhalb eines Jahrhunderts, die 20er Jahre, die 30er Jahre und nach dem Kriegseinschnitt die 50er, 60er, 70er, 80er, 90er Jahre. Alle Jahrzehnte werden von bestimmten Architekturströmungen gekennzeichnet.

So hat sich die herrschende Auffassung dessen, was Architektur ist oder zu sein hat, insbesondere seit Beginn des 20. Jahrhunderts, „erheblich gewandelt“. Die meisten Definitionsversuche können „nur im Kontext bestimmter Debatten um Inhalt, Aufgabe und Bedeutung von Architektur verständlich werden, wobei auch das jeweilige zeitgenössische Bauen mit seinen ästhetischen, technischen, ökonomischen und politischen Implikationen in Betracht zu ziehen ist.“ Mit der Gegenüberstellung von Architektur und bloßem Bauen soll Architektur anhand besonderer gestalterischer Qualität vom einfachen Nützlichen oder Notdürftigen unterschieden werden. „War es bis Ende des 19. Jahrhunderts vor allem die Verwendung bestimmter überlieferter Bauformen – der sog. Stil – mit meist reichen ornamentalen Ausschmückungen, in denen sich der künstlerische Rang als Mehrwert und Schönheit eines Bauwerkes in bewußter Opposition zu einer Sphäre purer Pragmatik manifestierte, so gelangte mit dem sog. Funktionalismus des 20. Jahrhunderts ein Begriff von Architektur zur Herrschaft, der auf den ersten Blick nur zweckhaft bedingte Gebäude (auch Ingenieurkonstruktionen) als Architektur verstanden wissen wollte. Dabei wurden insbesondere die konstruktiven, proportionsgebenden und raumbildenden Aspekte des Bauens zum eigentlichen gestalterischen Thema von Architektur erklärt. Mitunter hat man auch die geringfügigsten ordnungsgebenden gestalterischen Minimalinterventionen im Rahmen funktionalistischer Planungen in den Rang einer (bau-)künstlerischen Leistung erhoben. Zugleich wurde dabei mit zahlreichen Proklamationen zur ‚Modernität‘, ‚Fortschrittlichkeit‘ und dem ‚Ausdruck unserer Zeit‘ eine große symbolische Überhöhung oder Verklärung der funktionalistischen Architektur angestrebt⁴¹.“

⁴¹ Entnommen unter Architektur >> Definition und Theoriebildung
[<http://www.lexikona.de/art/Architektur.html>, upload März 2006]

2.3.1 Internationalität ist eines der Schlagworte der Architektur des 20. Jahrhunderts

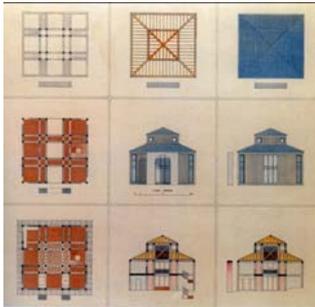


Abb. 2.39: Bruno Reichlin, Fabio Reinhart: Casa Tonini, Torricella bei Lugano, 1974.
„Transformation der Villa Rotonda (Palladio) ohne das Original zu kopieren“ [vgl. Flagge et al. 2004]

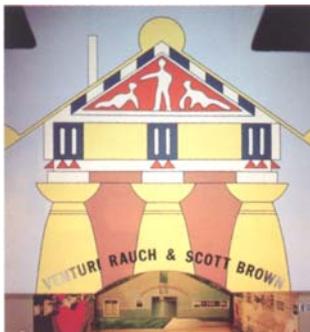


Abb. 2.38: Venturi, Rauch & Scott Brown: Entwurf für die Strada Novissima, Biennale, Venedig 1980



Abb. 2.40: Jørn Utzon, Ove Arup & Partners, Sydney Opera House, 1957-1973

Eine ausführliche Wiedergabe der verschiedenen Anläufe, sich von der (antiken) Geschichte zu trennen und einen neuen eigenen Stil zu finden, würde am Thema dieser Arbeit vorbeigehen. Dennoch soll verdeutlicht werden, wie vergleichsweise schnell sich die „Moden“ oder „Stile“ in der Architektur wandelten (und noch heute wandeln), nicht zuletzt auch unterstützt durch neue Materialien, wie Stahl, Beton und Kunststoffe. – So wurde unter Walter Gropius zu Bauhauszeiten in den 20er Jahren, aber auch später bei seiner Lehrtätigkeit in Harvard, der Lehrplan von der Architekturgeschichte befreit. Gropius propagierte: „Der schöpferische Architekt, der die Zukunft zu gestalten habe, müsse Kraft aus der Gegenwart beziehen. Die Architekturgeschichte könne nur zeitlose Strukturen, niemals aber bestimmte Formen liefern. Wenn der Architekt seine Aufgabe mit der nötigen Hingabe an das Ganze verrichte, würden Alt und Neu eine sinnvolle Koexistenz eingehen.“ Gropius beharrte bis zu seinem Tode, 1969, darauf, obgleich schon in den 60er Jahren die Stimmung in den USA allmählich gegen die Geschichtsfeindlichkeit der modernen Architektur umschlug. [vgl. Nerdinger 2004]

„Le Corbusier sah in Autos, Schiffen und Flugzeugen den Ausdruck einer neuen Zeit, den er auch in der Architektur entsprechend gestalten wollte.“ An der Villa Savoy kann man seine Definition von „Architektur ist Bewegung“ am besten ablesen.“ [vgl. Nerdinger 2002, S. 34]

Mit Robert Venturi, dem erklärten Gegner der Gropius-Richtung, kehrte die verdrängte Geschichte, „allerdings maskiert als Postmoderne, wieder an die Architektenausbildung in Harvard – und natürlich nicht nur dort – zurück. (...) Die moderne Architektur wurde selbst zu dem, was sie so bekämpft und abgelehnt hatte: Geschichte.“ [vgl. Nerdinger 2004]

Die 60er und 70er Jahre werden von der Postmoderne geprägt. Sie räumt mit der „Moderne“ auf, prangert sie an. „Die Abstraktion als leitendes Dogma der Moderne führte zu der Zweiteilung unserer Umwelt, zum weißen oder gläsernen Kasten oder aber zum grauen Betondenkmal, nichtssagend wuchtig.“ Weiter fragt Klotz in seinem Buch

Revision der Moderne: „(...) ob nicht unter den vom Dogma der Moderne verketzerten und zum Schutt der Geschichte geworfenen Möglichkeiten einige sind, die der Stadt des späten 20. Jahrhunderts aufhelfen könnten, so etwa die Elemente der Stadtbaukunst des 19. Jahrhunderts, wie sie O. M. Ungers, J. P. Kleihues und die Gebrüder Krier wiederentdeckt haben.“ [Klotz 1984, S. 7]

2.3.2 Verschiedene Auffassungen zur Architektur der letzten Jahrzehnte

Fritz Schumacher

Fritz Schumacher schreibt in seinem *Geist der Baukunst*: „Die Vorstellung der tönenden Sphäre bei Pythagoras ist gar nichts anderes als ein Ausdruck für Harmonie, die in dem ganzen Himmelsgebilde herrscht, so stark herrscht, daß sie sich tönend gleichsam entladen muß.“ Musik als Ausdruck einer metaphysischen Weltharmonie.

Theodor Fischer

Fischer resümiert, „daß gerade der heutige Zustand unserer Baukunst geeignet ist, den alten Bund mit der Mathematik zu erneuern – Mathematik nicht im Sinne moderner Wissenschaftlichkeit, sondern im Sinne elementarster Naturgebundenheit. Die Zahlenreihe 1-6 gibt die Grundlage für das ungeheure Gebäude unserer ganzen Musik. Sie kann auch ausreichen, jegliches Gebäude wieder ganz mit Musik zu füllen.“ [Fischer 1956, S. 84]

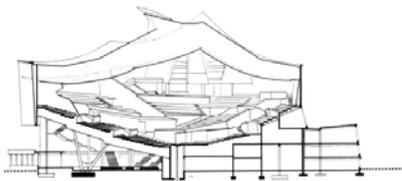


Abb. 2.41: Hans Scharoun, Philharmonie, Berlin 1963, Schnitt [Pevsner 1978, S. 488]

2.3.3 Die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts

In den 60er Jahren werden zur Korrektur des „platten Funktionalismus der Nachkriegszeit in Europa“ heftige Debatten geführt. „Die Revision der Moderne beginnt damit, daß wir die Dogmen des 20. Jahrhunderts überprüfen. Wir beginnen zu erkennen, daß die Moderne nicht die Sammlung von unveränderlichen Glaubenssätzen ist, sondern daß sie selbst eine Geschichte hat, dem Wandel unterworfen.“ Nach 60 Jahren haben die „reinen Formen unter dem Licht“ (Le Corbusier), nicht nur ihre



Abb. 2.42: Georgio Grassi: WB Studentenwohnungen in Chiati, 1976 [Klotz 1984]

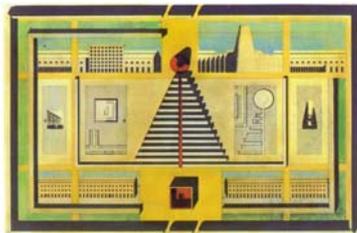
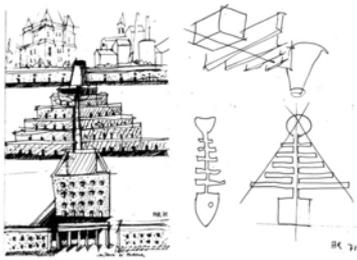


Abb. 2.43: Aldo Rossi:
Friedhof San Cataldo, 1976.
oben: Skizze (1971) [Savi 1981, S. 36]
mitte: Lageplan
unten: Eingangsgebäude vom Innenhof
„... ein Beinhaus, wo nur die Knochen
übrig sind. (...) eine Analogie zum Tod“
[Klotz 1980, S. 234]

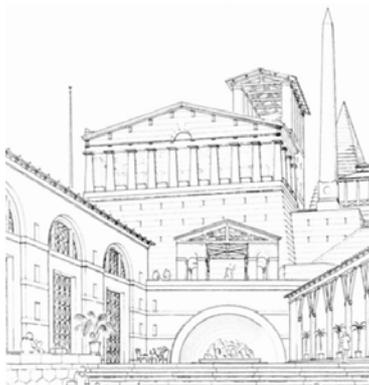


Abb. 2.44: Léon Krier: Projekt
Atlantis auf Teneriffa, 1988.

ästhetische Überzeugungskraft verloren, sondern sie sind zu einem Faktor der schwersten Umweltzerstörung geworden. [Klotz 1984, S. 7 f]

Auch wird auf drei verschiedenen Ebenen über organische Architektur diskutiert, über ökologische (sparsam mit den Ressourcen), das Organische als Denkschema (als Methode) und das Wiederauftauchen des Organischen als Idealbild. [vgl. Meisenheimer 2002] (s. 2.4.1)

2.3.3.1 Die Postmoderne

Die Architekten der Postmoderne, wie Moore, Venturi, Rossi und Ungers, haben trotz aller Unterschiede das gemeinsame Ziel, dass „das Bauwerk als Kunstwerk, als ein Werk des ‚Schönen Scheins‘, wieder möglich wird.“ – O. M. Ungers begann, aufbauend auf Durands Formen, eine Enzyklopädie der Raum- und Körperformen aufzustellen. Sein Prinzip „morphologische Formentransformation“ basiert auf den drei Grundformen: Kreis, Quadrat und Dreieck. Er beharrt auf einer reinen architektonischen Typologie, die, wie auch bei Rossi, historische Bezüge hat und am geschichtlichen Beispiel auch erkennbar bleibt. Das schließt das Finden neuer Formen nicht aus, vielmehr hilft Ungers' Morphologie, aus einem vorgegebenen Urtypus Varianten abzuleiten, wodurch eine neue Mannigfaltigkeit entstehen kann. Mit seiner Methode kann ein Durchgang bspw. eine Tür, eine Pforte oder ein Tor sein: „Alle Formen dieses Durchgangs unterscheiden sich nicht allein in der Größe, sondern auch als Charaktere. Die Form gewinnt eine neue Aussagekraft, die allein aus ihrer Zweckmäßigkeit heraus ebensowenig erklärt werden kann wie aus der geometrischen Grundform. Die Zufuhr an Inhalten, der Gewinn von Architekturthemen im Gegensatz zu ‚Funktionen‘, unterscheidet diese Architektur wesentlich von der traditionellen Moderne.“ „...vielfältige Formen der darstellenden Vermittlung von Inhalten und Botschaften (...), das heißt eine Architektur, die beigefügte Formen des Bildhaften und Abbildhaften, des Schmucks und Ornaments, der Symbole und Zeichen wieder zuläßt.“ [Klotz 1984, S. 9 f] Aldo Rossis theoretische Bestrebungen der „Architettura razionale“ „füßen auf dem Studium von Architekturgeschichte, Gebäudetypen und Stadtentwicklung. Dadurch sollen baukünstlerische Gesetzmäßigkeiten als „kollektives Gedächtnis“ erkennbar



Abb. 2.45: Coop Himmelb(l)au,
UFA-Kino, Dresden, 1998.
Dekonstruktivismus: Formen,
Konstruktion und Funktionen durch-
dringen sich. Regeln sind nicht
erkennbar, der Computer wird als
Cybertool eingesetzt.
[vgl. Steele 2001]



Abb. 2.46: Zaha Hadid:
Phaeno, 2006, Wolfsburg.
Mit 3D-Volumenmodellierungssoftware
„geformt“.

und schöpferisch kombiniert angewendet werden. Elementare Bauformen wie Säulen, Pfeiler, Balken, Wände, Giebel, Arkaden und die Betonung von Achsen und Symmetrie bestimmen die streng formalen Bauten⁴².“ Rossi beschrieb den Begriff der Typologie bezogen auf Bau-substanz „... als Lehre von den nicht weiter reduzierbaren Typen der städtischen Elemente (...) sowohl der Stadt wie der Architektur“. [Rossi 1965, S. 39-40]

Für Léon Krier, als Verfechter der klassischen Architektur, „verfügen die universellen Prinzipien klassischer Architektur über dieselben unerschöpflichen Fähigkeiten“ wie die Menschheit selber, die immer wieder aufs Neue fähig ist, „eine wunderbare Vielfalt von „originären“ und „einzigartigen“ Individuen hervorzubringen.“ Für ihn beziehen sich die klassischen Ideen „wie erdverbundene Permanenz, Dauerhaftigkeit, Schönheit und Bequemlichkeit (...) ganz eindeutig auf natürliche menschliche Konditionen und können somit außerhalb der menschlichen Existenz auf Erden keinerlei Bedeutung haben.“ Für Krier sind Zeitalter eines bestimmten „Prinzips“ oder „Systems“ belanglos, weil eine klassische Gebäudekultur in den „ewig-präsenten Ursprüngen der Vergangenheit“ wurzelt. „Architektur (Arche-tekton) bedeutet wörtlich den Ursprung der Form, nur diese Definition darf als inhaltliche Aussage von zeitlosem oder absolutem Wert gelten.“ Für Krier erreichten „Bauen und Gestaltung“ ihre höchste Vollendung durch die klassischen Ordnungen. Niemandem in den nachfolgenden Generationen sei es gelungen, diese Ordnungen zu verbessern. Er verweist auf Schinkel, dem zufolge „architektonischer Fortschritt in der Vergangenheit so unermeßlich gewesen sei, daß nur das geschulteste Auge eine mögliche Verbesserung klassischer Ordnung ausfindig machen konnte“.

Kriers Credo bedeutet „Klassizismus allein ist human“, „Behauptungen, denen zufolge die klassischen Prinzipien der Architektur durch Technologie des industriellen Bauens Außerkraft gesetzt worden seien, sind nicht weniger absurd als die Feststellung, daß Brot heutzutage altmodisch sei.“ Nur im Sinne dieses Bekenntnisses sei der Mensch fähig gewesen, „seine Landschaften und Städte, seine

⁴² *Rationale Architektur, Baukunst als objektive Wissenschaft*, in: www.schuelerlexikon.de, 30.04.2006

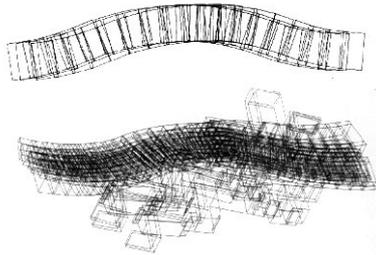


Abb. 2.47: Peter Eisenman, computergesteuerte Deformationen: Anreicherung geometrischer Körper und ihre Deformation durch Kurven. Projekt: University of Cincinnati, College of Design, Architecture, Art and Planning Office of Eisenman Architects [Bédard 1994, S. 45]



Abb. 2.48: Richard Buckminster Fuller: Geodesic Domes, Montreal 1967

großartigen Plätze und Monumente zu erschaffen. Ohne dieses Credo bliebe ihm nichts anderes übrig, als alles Geschaffene wieder zu zerstören“. [vgl. Krier, Leon 1984]

Ganz das Gegenteil von Krier vermitteln Coop Himmelblau, die heute wie Peter Eisenman, Zaha Hadid und Frank Gehry zu den sog. Dekonstruktivisten gehören. Sie kündigen die „heile Welt der Architektur“ auf. Um Architektur in Worte zu fassen, heißt es:

„Offene Architektur. Wer oder wie oder was ist das? Oder, wie sollen wir denken, planen, bauen in einer von Tag zu Tag zerfetzteren Welt? Sollen wir Angst haben vor dieser Zerfetztheit, sie verdrängen, und uns flüchten in die heile Welt der Architektur? Abgesehen davon, dass Verdrängen Kraft braucht, Kraft und Intelligenz, die wir lieber für andere Dinge einsetzen: Es gibt sie nicht mehr, die heile Welt der Architektur, und es wird sie auch nie wieder geben.

Wir glauben nicht an die architektonischen Dogmen, die uns weismachen wollen, dass Wahrheit und Schönheit in der Architektur zu erreichen sind, wenn man alte Regeln der Baukunst befolgt.

Es gibt keine Wahrheit. Und keine Schönheit in der Architektur. (...) Wir glauben nichts und niemanden. Weil alle recht haben, aber nichts, wirklich nichts, richtig ist. Alle haben recht, aber nichts ist richtig: Ein Aspekt der offenen Architektur.“ (Aedes 1984)

Die Architektur der Dekonstruktivisten kommt inzwischen ohne Computerprogramme nicht mehr aus. Gehry hat für sich einen Planungsprozess gefunden, bei dem er in der Vorentwurfsphase durch Einscannen eines haptischen Modells die erhaltenen Daten direkt für die Ausführungs- und Detailplanung nutzt; die direkte Maschinenfertigung der amorphen Formen erfordert konsequenterweise keine Vermaßung mehr.

2.4 Neue Materialien führen zu neuen Formen und Vorfertigungen

Die Werkstoffe Stahl, Beton und Kunststoff führen zu Konstruktionsweisen in der Architektur, die zuvor in der Architekturgeschichte nicht vorgekommen sind. Schlanke Stahlskelettkonstruktionen mit großen Spannweiten, dünne Schalenträgerwerke und leichte Membran- und Seilträgerwerke ermöglichen eine bisher nicht gekannte Formenwelt für das Bauen. Im Wesentlichen sind es die tragenden Konstruktionen, die die Architektur tief greifend beeinflussen und verändert haben. Struktur und Form folgen ihren eigenen

Gesetzmäßigkeiten, abhängig von den verwendeten Werkstoffen, der statischen Wirkungsweise, der Art der Herstellung und Montage. Auch diese technischen Konstruktionen müssen als Teil der Architektur entworfen und gestaltet werden. „Die Suche nach Einheit von Form und Konstruktion wird ein grundlegendes Thema. – Barthel unterscheidet drei in ihrer Charakteristik grundsätzlich verschiedene Kategorien: „die geometrisch definierten, die aus statischen Gesetzmäßigkeiten generierten und die ‚frei‘ gestalteten Formen.“ – In der Gegenwartsarchitektur besonders aktuell sind biomorphe Formen: Formen, die plastisch gestaltet sind und an biologische Objekte erinnern. Die Konstruktionen können nicht immer den drei Kategorien zugeordnet werden, vielmehr sind alle Arten von Misch- und Übergangsformen möglich. [vgl. Barthel 2002, S. 15 ff]

2.4.1 Organische Architektur

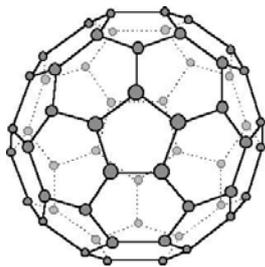


Abb. 2.49: Aufbau eines C_{60} – Buckminsterfullerenens –Kohlenstoff-clusters, benannt nach dem Architekten Richard Buckminster Fuller. Die Kohlenstoffatome bilden 15 fünf- und 20 sechseckige Ringe und befinden sich auf der Oberfläche einer (gedachten) Kugel von ca. 0,8 mm Durchmesser.

Modelle rationalisierter Naturformen sind in den letzten Jahren in das Repertoire von Architekten und Architekturtheoretikern eingegangen, u. a. auch Christopher Alexander, (s. 5.2.1) „Biologische Evolutionslehren formulieren neuerdings Theorien zur ‚biologischen Unsterblichkeit‘ von Zellen, Organen (Tissue-Engeneering⁴³ etc.), die weltweit Aufsehen erregen und auch versuchen, auf architektonische Entwurfstheorien einzuwirken (Koolhaas, Lynn, Watanabe). [s. auch 3.10 u. 8.3.9] Man spricht von selbstgenerierenden Systemen in Analogie zur Natur, digitalem Animismus, Agententechnologie, artificial life-systems etc. Auch die Formen der Natur selbst, besonders pflanzliche, werden aufmerksam als architektonische Matrizen beobachtet (Biotektur, Kalberer, Le Roy etc.). (...) Neue Raumkonzepte entwickeln sich aus Faltungen, Knickungen, Blobs, Bubbles und weichen Formen, die an Knoten, Zwiebeln, Wurzeln, Mikroorganismen und Vögel erinnern (Greg Lynn, Ben Berkel, Lebbeus Woods, Santiago Calatrava etc.).“ Als postmoderne Märchenerzähler bezeichnet Meisenheimer u. a. Charles Moore und Friedensreich Hundertwasser, die sich auf naive Naturbilder ein-

⁴³ Tissue Engineering – Gewebezüchtung, eine Methode in der regenerativen Medizin, lebende Zellen eines Organismus außerhalb des Zielgewebes zu kultivieren... [wikipedia]

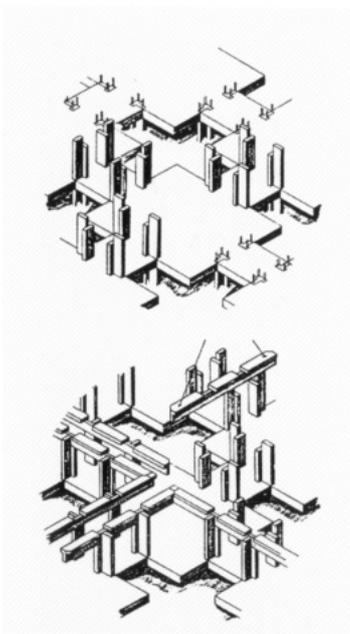


Abb. 2.50: Hermann Herzberger,
Central Beheer in Appeldorn,
1967-1972 Bausystem



Abb. 2.51: Herzog & de Meuron:
Allianz Arena, München 2005.
2760 luftgefüllte Membrankissen
(1380 Kissen sind jeweils
unterschiedlich groß)

lassen und das Gewachsene wieder als Ornament benutzen. – „So tritt in ausdrucksvollen Formen erneut die Sehnsucht hervor – wie schon oft im Lande der Theoriegeschichte der Architektur –, das Bauen und das Organische einmal materiell und pragmatisch, einmal philosophisch und poetisch miteinander zu verbinden.“ [vgl. Meisenheimer 2002]

„Paradigmenwechsel: Von der Konstruktion zur computer-generierten Entfaltung der Formen“ titelt Gabriele Gramelsberger in einer Spezialausgabe im *Leonardo – Magazin für Architektur*⁴⁴ „Die Zukunft der Architektur“. Der Weg führt von Frei Otto und Buckminster Fuller über Greg Lynn zu einer neuen Formensprache in der Architektur. „Evolution der Formen“ lautet heute das Motto, und der Computer dient dabei als Labor.

2.4.2 Industrielle Vorfertigung bestimmt die Zukunft

Neue Baumaterialien und Fertigungstechniken beeinflussen die Architektur. Die Industrie kann durch ihre elektronisch gesteuerte Produktion von Komponenten mit Genauigkeiten, die um Faktor 100 bis 1000 höher liegen als mit traditionellen handwerklichen Mitteln, vor Ort neue Bedingungen setzen und neue Möglichkeiten eröffnen. (Abb. 2.51) Diskussionen über kontroverse Glaubensfragen zwischen „einerseits auf Handwerkstraditionen insistierenden und andererseits an industriellen Möglichkeiten orientierten Architektenfraktionen“ konnten sich durch gemachte Erfahrungen und geänderte Aufgabenstellung korrigieren. „Natürlich ist jedes Gebäude als komplexer technischer Gegenstand ein in sich abgestimmtes System all seiner Subsysteme, Bauteile und Elemente.“ Weiter schreibt Herzog:

Wird jedoch nicht zuerst das Bauwerk in seiner Gesamtheit entworfen und erst im Nachhinein im Zuge der Werk- und Detailplanung sukzessive ‚zerlegt‘ in für den Einzelfall maßgebliche Bestandteile, sondern werden zuerst bauliche Elemente und ihre Korrelationen in einem Baukastensystem definiert, mit dem man unterschiedliche Anwendungsfälle realisieren kann, so werden die Details, ihre Verbindungen ebenso wie die Gebäudeteile nach Art einer sprachlichen Syntax oder musikalischer Regel soweit aufeinander abgestimmt, dass

⁴⁴ *Leonardo – Magazin für Architektur* 6, November/Dezember 2000, Spezialausgabe: Die Zukunft der Architektur (mit Beiträgen von Frei Otto, Gerhard Schmitt, Zaha Hadid u.a.)

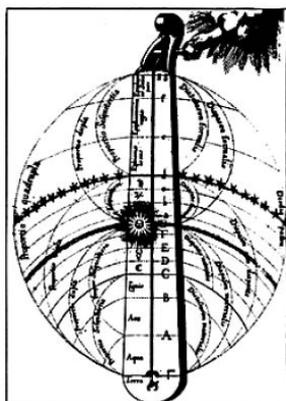


Abb. 2.52: Eine Symbologie der Harmonien im Kosmos: „Il Monocordo del Mondo“ [R. Fludd, *Utriusque cosmi ... historia*, Oppenheim 1617-21, Tractatus I (1617)]

die unterschiedlichsten Kombinationen für die Einzelanwendung möglich werden. Die äußere Form wird dadurch beim individuellen Bauwerk wesentlich zum Ergebnis der Anwendung dieser Regeln. Primär und dominant ist damit nicht das Bild einer Gesamtheit, welches sich aus einer Vielzahl von einzelnen Bauteilen und Elementen aufbaut, die sich alle dem gestalterischen Gesamtkonzept einer Großform unterzuordnen haben – im Sinne eines hierarchischen Systems –, sondern vielmehr, um es mit einem Wort von Karl Gerstner zu sagen, die „Entwicklung eines Programms für Lösungen an Stelle der Lösung einer einzelnen Aufgabe“⁴⁵. [Herzog 2002, S. 27 f]

An dieser Stelle sei angemerkt, was William Mitchell, ein Pionier in der CAAD-Forschung, in seiner Keynote anlässlich der 11. Internationalen CAAD Futures Konferenz 2005 in Wien sagte, „it argues, that the emerging architecture of the digital era is characterized by high levels of complexity, and that this enables more sensitive and inflected response to the exigencies of site, program, and expressive intention than was generally possible within the framework of industrial modernism. [Mitchell, W. J., 2005, S. 41]

2.5 Musik und Architektur – Proportionen, Farben, Empfindungen

Zahl, Maß und Proportion sind die wichtigsten Elemente architektonischen Gestaltens zur Verwirklichung harmonischer Gesetzmäßigkeiten. *Maßlosigkeit, maßvoll* oder *das rechte Maß finden* bekommen so auch sprachlich eine Doppelbedeutung. [vgl. Naredi-Rainer, S. 9]

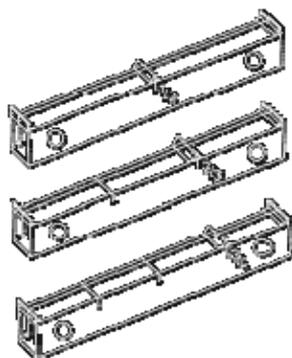


Abb. 2.53: Monochord mit der Darstellung der musikalischen Intervalle:

1:1 = Oktave
2:3 = Quinte
3:4 = Quarte

Theodor Fischer zitiert Leibniz mit: „Musica est exercitium arithmeticum occultum necientis se numerare animi“, zu deutsch: Die Musik ist die geheime Arithmetikübung der Seele, ohne daß diese weiß, daß sie mit Zahlen arbeitet.“ [Fischer 1956, S. 70]

Fritz Schumacher schreibt in seinem *Geist der Baukunst*: „Die Vorstellung der tönenden Sphäre bei Pythagoras ist gar nichts anderes als ein Ausdruck für Harmonie, die in dem ganzen Himmelsgebilde herrscht, so stark herrscht, daß sie sich tönend gleichsam entladen muß.“ Musik als Ausdruck einer metaphysischen Weltharmonie.

⁴⁵ Karl Gerstner, *Programme entwerfen*, Teufen 1964. Zur weiteren Vertiefung dieses Aspektes s. auch: Thomas Herzog, *Vom Sinn des Details*, Köln 1988 (= arcus 3).

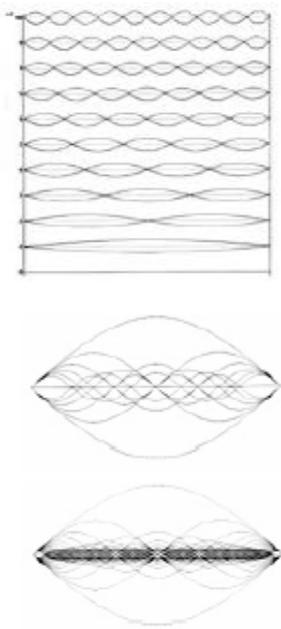


Abb. 2.54: „Wenn ich eine Saite anreiße oder spiele, klingen tatsächlich unendlich viele Töne mit, alle, die zwischen die beiden Stege des Instruments passen. Also neben dem Grundton mit einem Bogen der erste Oberton mit zwei Bögen. Danach folgen drei, vier und immer mehr Auslenkungen. Die Reihe der Töne, die hier mitklingt, heißt Obertonreihe. Sie besteht immer aus ganzzahligen Vielfachen des Grundtones.“
[Pythagoras Institut Dresden]

Aus Vitruvs Proportionsverständnis der ganzen Zahlen spricht die pythagoräische Zahlenlehre und die Vorstellung von der Gottebenbildlichkeit des Menschen als dem Maß aller Dinge. Dass ein Dreieck mit den Seitenverhältnissen 3:4:5 zu einem rechtwinkligen Dreieck führt, dessen Summen der Quadrate über den kurzen Seiten flächengleich mit dem Quadrat über der langen Seite ist, offenbart sich nach Pythagoras als „Walten göttlicher Kunst“. „Auf diese Weise lässt sich mit der musikalischen Harmonie eine Art mathematischer Schönheitsbeweis führen, der die sichtbare und unsichtbare Ordnung, Diesseits und Jenseits, aufeinander bezieht“ [Neumeyer, S. 18]. Bezogen hierauf wird Schellings Ausspruch „Architektur ist erstarrte Musik“⁴⁶ zu Beginn des 18. Jahrhunderts zur Metapher für die Verbindung beider Kunstgattungen.

Pythagoras wird auch der Ausspruch zugesprochen „Das Wesen des Kosmos ist die Zahl“, was gelegentlich auch mit Harmonie übersetzt wird. Pythagoras erkannte ganze Zahlenverhältnisse in den Intervallen der abendländischen Musik: Oktave 1:2, Quinte 2:3, Quarte 3:4, die einzigen aus den Zahlenverhältnissen der pythagoräischen Tetraktys ($1+2+3+4=10$) abgeleiteten Konsonanzen. [vgl. Baum 1996] Die Suche nach den Maßverhältnissen der harmonischen Klangempfindungen führte zur Entwicklung des Monochords⁴⁷, einem Musikinstrument mit einer einzigen Saite, die entweder ganz oder diesseits und jenseits des beweglichen Steges angeschlagen werden kann, um die genannten Akkorde zu hören (und auch sichtbar zu machen).

Eine Anmerkung sei hier angebracht: Es ist festzustellen, dass bspw. bei einer Oktave unsere Ohren durch den Gleichklang der beiden Saitenhälften die Mitte exakt ermitteln können, während auch ein geschultes Auge Mühe

⁴⁶ Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling (1775-1854) spricht in seiner 1802/03 in Jena und 1804/05 in Würzburg gehaltenen Vorlesung über die Philosophie der Kunst in folgender Form: „Wenn die Architektur überhaupt die erstarrte Musik ist - ...“

⁴⁷ Dem Mathematiker Eukleides, Griechenland um 300 v. Chr., wird die Schrift *Sectio canonis* zugeordnet. Darin wird in knapper Form eine mathematische Musiktheorie dargelegt. Das Wort Kanon (eigentl. Stange, aus dem Semitischen) bezeichnet hier das Monochord. Darunter versteht sich eine zu Versuchszwecken über ein Brett gespannte Saite. Mit Hilfe von Stegen kann man verschiedene Intervallteilungen experimentell durchführen. Quelle: Helmut Maier, Pädagogische Akademie der Diözese Graz-Seckau

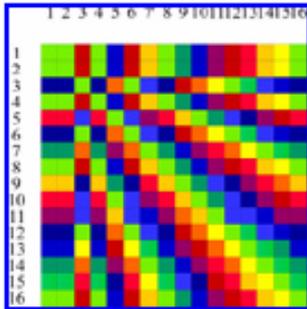


Abb. 2.55: Farben einzelner „Töne“ aus dem Farbspektrum des Lichts abgeleitet

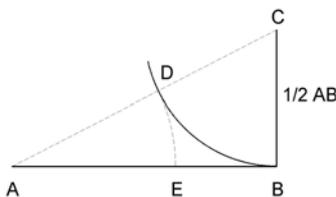


Abb. 2.56: Teilung einer Strecke im goldenen Schnitt:
Für das Dreieck ABC gilt:
 $1/2 AB = BC$ sowie $BC = CD$;
bestimmt man auf der Strecke AB einen Punkt E unter der Bedingung $AE = AD$, so ergibt sich eine Teilung der Strecke AB im goldenen Schnitt mit der Gleichung $AB:AE = AE:EB$

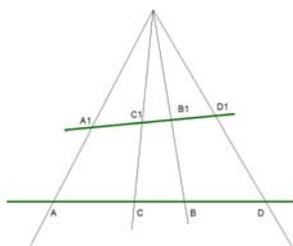


Abb. 2.57: harmonische Teilung

hat, die Mitte annähernd gut zu treffen. [vgl. Claude Perrault unter 2.2.5]

Vitruv geht in seinen *Zehn Büchern* auf die pythagoräisch-platonischen Motive ein. Harmonie beruhend auf objektiven Gesetzmäßigkeiten, insbesondere musikalischen Proportionen. Seine Schlussfolgerungen beschränken sich allerdings auf akustische Einrichtungen zur Schallverstärkung in Theatern (sog. Vitruvianische Gefäße), auf Schallweiterleitung in Gebäuden und Konstruktion von Wasserorgeln.

Mit Verwendung von Sexte und Terz hat sich Alberti über den pythagoräischen Kanon hinweggesetzt. (s. oben 2.2.2 u. s. unten 2.5.4)

2.5.1 Das Monochord macht Schwingungen sichtbar

Mit Hilfe imaginärer Teilungen der gegebenen Saitenlänge, durch bspw. positionieren des Steges im ersten Drittelpunkt, wird die Oktave 1:2 auf einer einzelnen Saite hörbar. Dabei entsteht eine Spannung im Raum (Ohr), durch das erklingen der Quinte (Obertöne) (2:3) kann diese durch das anklängen der Quarte (3:4) wieder ‚geschlossen‘ werden. „Während die Quinte einen Tonraum öffnet, schließt ihn die Quarte wieder.“

Die Schwingungen (Kurven) einzelner Töne können mit dem Monochord sichtbar gemacht werden. (Abb. 2.54) Durch „oktavieren“ können die Schwingungen eines Tones bis in den sichtbaren Bereich des Lichts „verlängert“ werden. „Damit läßt sich jeder Frequenz eine Farbeempfindung aus dem Spektrum des Lichtes zuordnen. C ist Grün, G wird als Orange empfunden etc.“ Wir sprechen auch von Farben, die miteinander „harmonieren“. (Abb. 2.55) [vgl. Pythagoras Institut Dresden]

2.5.2 Goldener Schnitt und harmonische Teilung

Goldener Schnitt (lateinisch *sectio aurea*), die Teilung einer Strecke AB durch einen Punkt E derart, dass sich die Länge

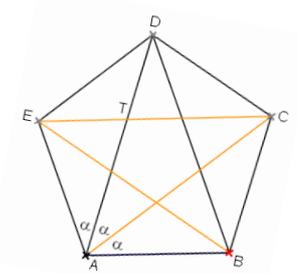


Abb. 2.58. Je zwei Diagonalen eines regelmäßigen Fünfecks, die keinen Eckpunkt gemeinsam haben, teilen einander im goldenen Schnitt. Beispielsweise teilt T sowohl die Diagonale AD als auch die Diagonale CE im goldenen Schnitt. – Das Verhältnis der Länge einer Diagonalen zur Länge einer Seite ist gleich Φ , deshalb ist bspw. das Dreieck ABD ein goldenes Dreieck, denn es ist gleichschenkelig und das Verhältnis der Länge eines Schenkels zur Grundseite ist gleich Φ . [vgl. Mathematische Begriffe dh Materialien]

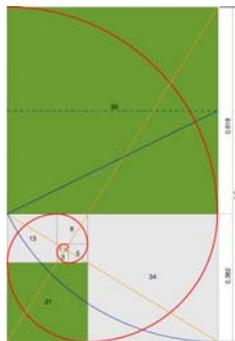


Abb. 2.59: eine sukzessive Teilung im goldenen Schnitt führt zu der Spiralstruktur, wie sie auch in der Natur zu beobachten ist. – Parallel oder senkrecht aufeinander stehende Diagonalen verweisen auf Flächen gleicher Proportion

der ganzen Strecke zu der größeren Strecke AE verhält wie diese zur restlichen Strecke EB. (Abb. 2.56)

Anders verhält sich die „harmonische Teilung,“ sie orientiert sich an der Sectio aurea. (Abb. 2.57) Eine harmonische Teilung ist die Teilung einer Strecke AB durch einen inneren Punkt C und einen äußeren Punkt D im gleichen Verhältnis, sodass die Proportion $AC:CB = AD:BD$ gilt; A, B, C, D heißen harmonische Punkte, vier durch sie gelegte Strahlen mit gleichem Ausgangspunkt harmonische Strahlen. Jede beliebige Gerade wird von ihnen wieder in harmonischen Punkten A1, B1, C1, D1 geschnitten. – Die Bezeichnung harmonische Teilung ist aus der Musiklehre übernommen. Gibt eine Saite AD den Grundton und liefert AB die große Terz und AC die Quinte dazu, so sind A, B, C, D harmonische Punkte. – Die so geometrisch gefundenen Proportionen sind keine „Ganzen Zahlen“ vielmehr erhält man eine Irrationale Zahl mit vielen Nachkommastellen.

Die Teilung einer Strecke im goldenen Schnitt ergibt auch numerisch die Fibonacci-Folge⁴⁸, wonach jede Nummer der Zahlenfolge jeweils aus der Summe der beiden vorherigen Zahlen gebildet wird, also:

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144 und so fort.

Die Rekursionsformel zur Fibonacci-Reihe lautet:

$$a_n = a_{n-1} + a_{n-2}$$

Das Besondere an dieser Reihe ist, dass deren Quotientenfolge gegen die Zahl des goldenen Schnittes konvergiert:

$$\lim(a^n/a_{n-1}) \Rightarrow 1.618\dots, n \rightarrow \infty.$$

Beispiel:

$$8 : 5 = (8+5) : 8$$

$$8 : 5 = 1,6$$

$$13 : 8 = 1,625$$

Je größer die gewählte Fibonacci-Zahl, desto genauer gilt dieses einzigartige Verhältnis.

⁴⁸ nach dem italienischen Mathematiker Leonardo da Pisa, genannt Fibonacci (* um 1180, † nach 1240) aus seinem Rechenbuch „Liber abaci“ von 1202

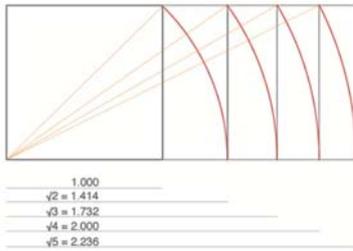


Abb. 2.60: Konstruktion von wurzelbasierten Rechtecken ausgehend von einem Quadrat:
Rechtecke der dynamischen Symmetrie werden über die Diagonale des vorangegangenen Rechtecks konstruiert. Ausgehend von einem Quadrat mit der Seitenlänge 1 entsprechen die folgenden Seitenlängen der entstehenden Rechtecke den Werten von Wurzel von 2, Wurzel von 3 usw. Man spricht dann von wurzelbasierten Rechtecken.
[Dehlinger 2003]

Mit diesem Verhältnis wird die natürliche Konstante Phi (Φ) angenähert. Die Goldene-Schnitt-Regel schneidet sozusagen „harmonisch“ eine Strecke c so in zwei Teile a und b , dass folgendes Gleichungssystem gilt:

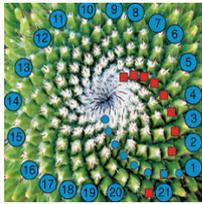
$$a : b = b : c \text{ und } c = a + b.$$

Diese Gleichungen aufgelöst ergeben $b = 1,618 \dots * a$.

$b = \Phi * a$, wobei $\Phi = 1,618033989 \dots = a_n / a_{n-1}$, wenn a_n eine Zahl der Fibonacci-Reihe ist. [vgl. Armand⁴⁹]

2.5.3 Fibonacci-Folge in Natur und Architektur

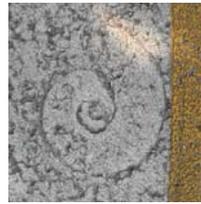
Es gibt nur wenige Grundformen in der Natur, weil sich der dreidimensionale Raum nicht beliebig nutzen lässt, schreibt Armand. „Die Natur hat bei ihrer Vorliebe für wachstumsgerechte Spiralstrukturen nur die Spiralzahlen der sogenannten Fibonacci-Reihe als Basis, eine andere Basis ist nicht bekannt. An den Schnittstellen der rechts- und linksdrehenden Spiralen liegen die Keimzellen (Samenkerne, Kaktusstacheln, Blattanordnung in Blumen usw.). Damit jede Keimzelle sowohl von einer rechts- als auch von einer linksdrehenden Spirale erfaßt werden kann, muß deren Anzahl eine FIBONACCI-Zahl sein.“ [Armand]



Kaktus, die Anzahl der gegenläufigen Spiralen entspricht mit 21 zu 13 (nicht eingezeichnet) der Fibonacci-Reihe.



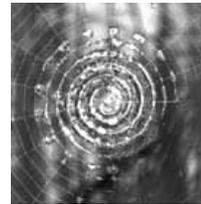
Nautilus



Nautilus, Versteinerung Fahrbahnbelag, Verona



Spiralgalaxie, Hubble 2006;



Spinnennetz

Abb. 2.61: Wachstumsspiralstrukturen in der Natur

2.5.4 Albertis Palazzo Rucellai

Alberti (s. auch 2.2.2 oben) definiert Harmonie als einen den Ohren angenehmen „Zusammenklang“. Für ihn vermögen dieselben Zahlen, die ein den Ohren ange-

⁴⁹ Armand, Gunter:
<http://www.bioniker.de/Naturformen/Phi-Regel/phi-regel.html>

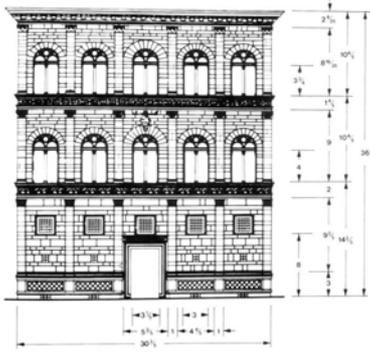


Abb. 2.62: Leon Battista Alberti, Palazzo Rucellai in Florenz, Rekonstruktion der Fassade mit fünf Achsen, nach Sanpaolesi, Maßangaben in florentinischen bracci à 58,3 cm [Naredi-Rainer, S. 170]

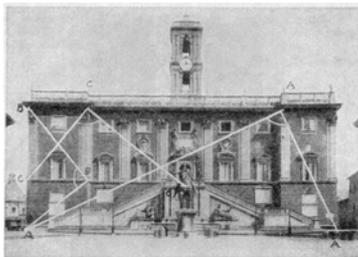


Abb. 2.63: Corbusiers Proportionsanalyse des Capitols von Michelangelo, 1922 [Bauweltfundamente 2, S. 70]

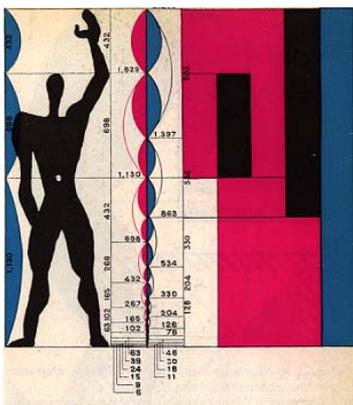


Abb. 2.64: Le Corbusier leitete aus Schlüsselmaßen des menschlichen Körpers zwei Fibonacci-Folgen ab und entwickelte daraus den Modulor [vgl. *Le Modulor* von Corbusier, Birkhäuser, 2000 (1948)]

nehmes Ebenmaß zustande bringen, auch „unsere Augen und unser Inneres mit wunderbarem Wohlgeföhle“ zu erfüllen. [Alberti 1912, S. 496.] Von der Musik sei „das ganze Gesetz der Beziehung“ abzuleiten. „Das Wort Zusammenhang ist für Alberti nur ein Synonym für ‚Zusammenklang‘, denn auch seine allgemeine Bestimmung der Schönheit trägt eine musikalische Grundierung, wenn sie von ihm als ‚eine Art der Übereinstimmung und ein Zusammenklang der Teile zu einem Ganzen‘ definiert wird.“ [vgl. Neumeyer, S. 19, bezogen auf Alberti, S. 492]

An der Fassade des Palazzo Rucellai lassen sich sehr anschaulich verschiedenste musikalische Zahlenverhältnisse feststellen. Fast jedes Maß bezieht sich auf ein anderes Einzelmaß bzw. auf das Gesamtmaß. Die besondere Qualität der Fassadengliederung liegt aber in der Differenzierung eines Grundrasters. Die Eingangssachse ist z. B. um das Verhältnis 9:8 (ein Ganzton) zu den übrigen Achsen verbreitert. Das Untergeschoß ist im Verhältnis einer Quarte (4:3) zu den Obergeschossen erhöht.

Die Proportion der Gesamtfassade entspricht dem Verhältnis 5:6 (eine kleine Terz). Das Komplementärintervall (die große Sexte) findet sich im Eingangssachsenfeld im piano nobile. Mit der Verwendung von Sexte und Terz hat sich Alberti allerdings über den pythagoräischen Kanon hinweggesetzt. Diese Intervalle galten als dissonant da ihre musikalischen Zahlenverhältnisse nicht von der heiligen Vierzahl, dem Tetraktys, ableitbar waren.

Nach pythagoräischer Vorstellung ist die große Terz aus 2 Ganztönen zusammensetzen.

$$8/9 \times 8/9 = 64/81$$

Die kleine Sexte entsteht durch die Differenz von Großterz und Oktave.

$$1/2 : 64/81 = 1/2 \times 81/64 = 81/128$$

[Rieß et al. 1997]

Anm.: Noch detaillierter hat Paul von Naredi-Rainer die Fassade untersucht. [vgl. Naredi-Rainer, S. 168-171]

2.5.5 Le Corbusier

Le Corbusiers *blaue und rote Modulor-Reihen* sind im Prinzip Fibonacci-Folgen, die von durchschnittlichen Zentimeter-Abmessungen des menschlichen Körpers 113 (Bauchnabelhöhe) bzw. 183 (Körpergröße) (*rote Reihe*) und 226 (Gesamthöhe mit ausgestrecktem Arm) (*blaue Reihe*) ausgehen. Von dieser angenommenen Standardgröße ausgehend markierte Le Corbusier Intervalle, die zueinander ungefähr in der Proportion des goldenen

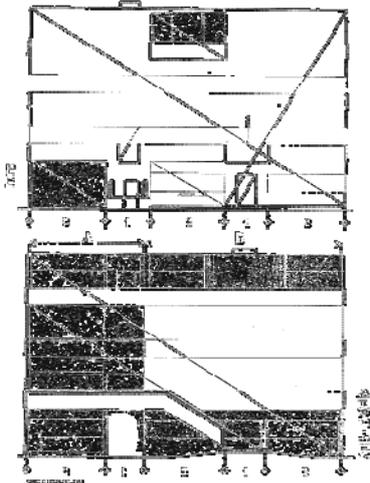


Abb. 2.65: Proportionskontrolle am Beispiel Villa Stein [Baum 1996]

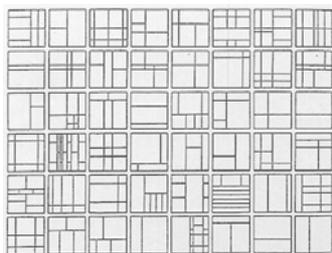


Abb. 2.66: „The Panel Exercise 9“
Goldene Teilungen einer quadratischen Fläche [Le Corbusier: *The Modulor*, London 1949, Abb. *The Panel Exercise 9*]

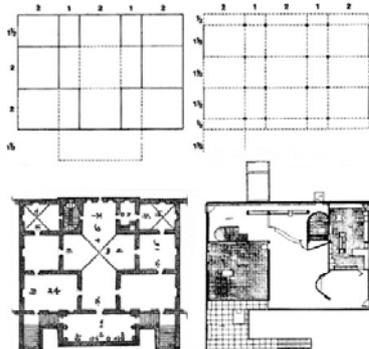


Abb. 2.67: Rasterschema, Vergleich: Corbusiers Villa Stein (1927) und Palladios Villa Malcontenta (1560)

Schnitts stehen⁵⁰. Durch sukzessive Teilung des Modulors (Abb. 2.64) entsteht die blaue Reihe (226, 140, 86, 53 cm etc.). Aus der Nabelhöhe ist die rote Reihe (113, 70, 43, 27) ableitbar.

Le Corbusier verwendet in seiner Proportionsmethodik ein System von *tracés régulateurs*, die er in vier unterschiedliche, voneinander unabhängige Arten gliedert:

- (1) Diagonaltrasse
- (2) numerische Trasse
- (3) sog. automatische Trasse
- (4) der goldene Schnitt

Mit dieser Gliederung wollte er weniger eine wissenschaftliche Methode als vielmehr eine freiwillige Selbstkontrolle verfolgen, die nichtsdestotrotz dieselben Ziele wie andere Kompositions- und Proportionierungsmethoden auch verfolgt, nämlich vor Willkür schützen und die Vielfalt innerhalb einer Einheit organisieren und steuern. [vgl. Baum 1996]

Die Villa Stein in Grarches ist ein Beispiel dafür, „wie alle Fassadenkomponenten und damit auch die Komponenten der Grundrissaufteilung mit der kombinierten arithmetisch geometrischen Methode in eine sinnreiche Beziehung untereinander gebracht werden.“

Die erste Regel, die *Diagonaltrasse*, besteht aus parallel oder senkrecht aufeinander zulaufenden Linien, die die einzelnen Fassadenkomponenten miteinander verbinden. Aus diesem aufgehenden Linienspiel leitet Le Corbusier die Gewissheit ab, dass alle Einzelteile als Teile einer derselben Einheit erkennbar werden. Die zweite Regel, die *numerische Trasse*, bestimmt die Massentwicklung in der Vertikalen auf dem Prinzip der ganzzahligen Verhältnisse. So werden die horizontalen Brüstungsbänder der Villa Stein von unten nach oben breiter und zwar in einem harmonischen Verhältnis 1 - 2 - 4. Die dritte, die s.g. *automatische Trasse*, regelt in der Übereinstimmung mit dem Vorgenannten die Massentwicklung der Fassade in der Horizontalen und zwar auf Blöcke, die ebenfalls zueinander in dem Verhältnis von ganzen Zahlen stehen. Nach dem Verhältnis des Goldenen Schnittes werden schliesslich die Hauptmasse des Fassadenvierecks gegliedert und zwar auf Strecken A und B, die zueinander in demselben Verhältnis stehen, wie B zu der gesamten Fassadenlänge. [Baum 1996, S. 3, bezieht sich auf *L'Architecture vivante*, Hrsg. Jean Badovici, Édition Albert Morancé, Paris 1929, S. 66]

⁵⁰ Durch Auf- oder Abrunden ist die Gesetzmäßigkeit der Fibonacci-Folge mehrfach durchbrochen. [vgl. Naredi-Rainer, S. 187]

Naredi-Rainer zieht auch Parallelen zwischen den Grundrissen Villa Stein und Palladios Villa Foscari alla Malcontenta (1560) „Obwohl le Corbusiers asymmetrischer Villengrundriß [Abb. 2.67] prima vista kaum mit der symmetrisch-strengen Raumaufteilung Palladios vergleichbar scheint, liegt ihm doch ein nahezu identischer Raster zugrunde: 2 + 1 + 2 + 1 + 2 (in der Breite), $1\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1\frac{1}{2} + 1 + 1\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ (in der Tiefe)“ [Naredi-Rainer, S. 183, in Berufung auf Wittkower 1969] (s. a. 5.3.1)

2.5.6 Beispiele aus neuerer Zeit

Skepsis bei der Anwendung des goldenen Schnitts sei angebracht; schon 1934 schrieb Fischer „Der [Goldene Schnitt] wird überall gefunden, weil er Mode ist, am Menschen, an Pflanzen und an Artefakten. Man tut gut, gerade dieser Allerweltsproportion gegenüber sich mit einiger Skepsis auszustatten.“ [Fischer 1956, S. 82]

Dennoch sind auch heute Beispiele sowohl in der Architektur als auch im Objekt-design zu finden. (s. a. 8.2.8) Als Empfehlung für Designer schreiben Butler und Lidwell: „Erfinden Sie keine Designs, nur um Fibonacci-Zahlen unterbringen zu können, aber lassen Sie trotzdem keine Gelegenheit aus, sie zu verwenden, wenn andere Aspekte des Designs nicht darunter leiden.“ [Lidwell et al. 2003]

Architektur als Klangkörper für Musik präsentierten Renzo Piano und der Komponist Luigi Nono gemeinsam mit dem Toningenieur Peter Haller in der venezianischen Renaissance-Kirche San Lorenzo mit „Il Prometeo“. Dazu bauten sie einen hölzernen Klangkörper, der Auditorium und Musikinstrument zugleich war. [vgl. Wikipedia „Architektur“]



Abb. 2.68: Goldener Schnitt:
 $A/B = 1,618$
 $B/A = 0,618$
 Eams Stuhl LCW
 Apple MP3-Player iPod
 [Lidwell et al. 2003]

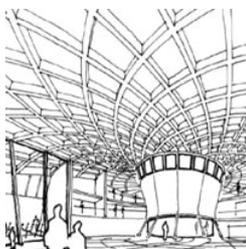


Abb. 2.69: Edenproject, St Austell,
 Cornwall, Grimshaw and Partner



Abb. 2.70: Cal Poly State University,
 San Luis Obispo, CA. College of
 Engineering Plaza: „Landscape
 Architecture '89 based on Fibonacci
 Sequence“

2.6 Typologie in der Architektur

In allen Einzelwissenschaften spielen Typologien (Lehre von den möglichen Typen) zur Unterscheidung von Typen eine fundamentale Rolle. Sie sind auch hilfreich bei der Wahl der geeigneten Mittel für den computerunterstützten architektonischen Entwurf. Als Meister des typologischen Denkens nennt Meisenheimer „Platon, Aristoteles, die Scholastiker,

Goethe, J. S. Bach, Schinkel, Brâncuși, Cézanne, Einstein, Mies, A. Rossi u.a.m.“

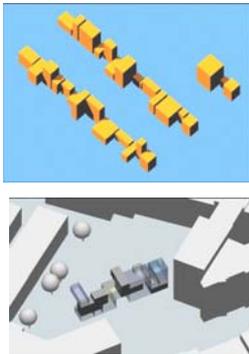


Abb. 2.71: „Studien zur Goldenen Explosion“

oben: „Golden Volume Explosion“ in x, y, z-Richtung. Ausgehend von einem Kubus mit 3 m Kantenlänge entstehen in erster Generation 27 „Goldene Volumina“, in den folgenden 27³ und so weiter.

unten: Städtebauliche Skizze mit „Golden Volumina“, Übungen in der Lehre [Kirschner 2000]

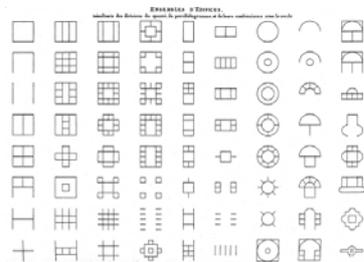


Abb. 2.72: Durand (1760-1834): Resultate von Teilungen eines Quadrates, eines Parallelogramms und ihrer Kombination mit dem Kreis. [Durand 1802]

Die Merkmale, nach denen Gebäudetypen zu unterscheiden sind, haben sich im Laufe der Jahrhunderte immer wieder geändert. Üblich sind Analysen nach Parametern des Gebrauchs wie *Funktionstypen* (Wohnbauten, Sportbauten etc.), Wohnungsbauten wiederum nach deren Erschließungsform (Einspänner, Zwei- und Dreispänner, Laubengang, aber auch Reihenhäuser, Doppelhäuser, Atriumhaus etc.), nach Merkmalen der Konstruktion und des Materials *technische Typen* (Skelettbauten, Massivbauten, Holzbauten etc.) oder nach Gestalt-eigenschaften *formale Typen* (Rundbauten, Turmhäuser, Bandstädte etc.). Dazu gibt es Bezüge zu aktuellen oder historischen Typen, wie *Prototypen* (erstmalig in der Geschichte aufgetretene Typen), *eingebürgerte Typen* (Meisenheimer führt dazu den Bungalow der 50er Jahre in der BRD an), den *Stilistischen Typ* (Renaissance, Gotik etc), den *Urtyp* (Urhütte etc.), den *Idealtyp* (die römische Stadt, Idealstädte der Renaissance etc.). [vgl. auch Meisenheimer 1986]

Vitruvs drei Kategorien seiner Typologien *firmitas*, *utilitas*, *venustas*, besonders nach dem Vorbild des menschlichen Körpers, verbunden mit den *Urtypen* (Laubhütte, Schwalbennester, Höhlen), dienten über Jahrhunderte als Vorbild für weitere Architekturtheorien (s. oben). Alberti typisiert, wie auch Fillarete, im Wesentlichen nach Primärfunktionen (Bedarf). Martini unterscheidet fünf Grundtypen nach Nutzfunktionen und betrachtet Stadt und Haus nach analogen Prinzipien (bspw. „der Platz ist der Nabel der Stadt“). Grundrisstypen werden nach Modulen geordnet. Serlio entwickelt praktische Brauchbarkeit der typologischen Theorie als Arbeitsanleitung für Architekten und Handwerker, indem er bspw. bei den fünf Säulenordnungen systematisch das Verhältnis von Höhe und unterem Durchmesser festlegt. Von da an wird es auch üblich, Raster-systeme, Musterbücher etc. für typologische Elemente (Säulen, Portale, Wohnhäuser etc.) einzuführen. Palladio bezeichnet das Haus als Ursprung aller Bautypen.

Mit der französischen Aufklärung (Descartes, Blondel d. Ä.) wird versucht, *objektive* Kriterien für architektonische Qua-

lität zu formulieren. (Dazu wurde unter 2.2.5 ausführlich berichtet.)

Durands Typologien konzentrieren sich auf einfache Geometrien wie Kreis, Quadrat, einfache Achssysteme, symmetrische Anlagen und primäre Bauelemente und lehren den Umgang mit den Grundelementen der Formensprache. (Abb. 2.72)

Eine bedeutende Wende, so Meisenheimer, „nimmt das Typenverständnis mit der Formulierung des klassischen Funktionalismus der frühen Moderne. Le Corbusier (Vers une Architecture, 1928) stellt den Parthenon und Bugatti-Rennwagen als Standards, d. h. als gültige Typen nebeneinander und meint damit höchste Leistungen der Gestaltung bei Minimum an Mitteln. Damit wird mechanistisches Ingenieurdenken mit Entwicklungen nach dem ‚trial-and-error-Prinzip‘ auch in der Architektur durchgesetzt.“ Es entsteht aber keine systematische Architektur-Typologie, wenngleich man auch versucht war, Form-Typen Funktionen zuzuordnen, „... es bleibt aber bei einem divisionistischen Funktionenverständnis und totalem Verzicht auf Geschichtsbezüge.“

„Dies will die neuere Typologie-Diskussion korrigieren, deren Grundlage in den städtebaulichen Arbeiten der ‚Venezianischen Schule‘ gelegt wird. Bei Aldo Rossi ist nicht mehr die Ausgestaltung der Wohnung, wie noch bei Le Corbusier, Ausgangspunkt des Entwurfsvorganges, sondern die schematisierte Übertragung typischer Stadtstrukturen (Straße/Laubengang als lineare Reihung, Markt/Hof als Gruppenform). [Meisenheimer] „Rossis Ausgangspunkt ist eine leere Bühne. In diesen dramatisch entleerten abstrakten Raum setzt er seine ‚Personen‘: die Architekturteile. Jedes Teil ist autonom, eine Figur aus dem Gedächtnis der Zunft nicht Typos, sondern Archetyp.“ [Hoffmann-Axthelm 1996, S. 200]

2.7 Fazit

Über den ästhetischen Wert des goldenen Schnittes wie auch über Fibonacci-Muster wird heftig diskutiert. Werden die Muster als ästhetisch empfunden, weil die Menschen

sie als solche empfinden, oder weil die Menschen gelernt haben, sie als ästhetisch zu empfinden⁵¹.

Karl Menninger gibt in seinem Buch *Mathematik und Kunst* zwei Antworten auf die häufig gestellte Frage nach der Beziehung von Mathematik und Kunst. Die erste Antwort: „Die verstandeskalte Mathematik hat mit der Kunst, die aus heissem Herzen geboren ist, gar nichts zu tun. Ein Künstler muss schauen, nicht rechnen und konstruieren. Wo immer Mathematisches in ein Werk eindringt, stirbt das Künstlerische ab.“ Die zweite Antwort: „Die Mathematik dient an vielen Stellen der Kunst. Sie ist eine Hilfswissenschaft, wie in der Malerei die Perspektive. Diese entwickelt die Gesetze des Sehbildes und hilft damit der Kunst, ihre Bilder sehrichtig zu machen.“ [Menninger 1959, S. 5/6]

Der Umgang mit Phi in Verbindung mit genormten Maßeinheiten, wie auch bei den Korrekturen des *Modulors* zu sehen, sind für den „analogen“ Entwerfer mühsam, doch im Computerzeitalter kein Hindernis mehr. „Die CAAD Werkzeuge ermöglichen einen von Berechnungen entlasteten, spielerischen Umgang mit überlieferten Harmonien und Proportionen. Proportionslehren können in einem CAAD gestützten Kontext besonders instruktiv vermittelt werden; die aus Berechnungen mit der irrationalen Zahl Phi resultierenden inkommensurablen Maße lassen sich heute wieder wie zur Zeit der Bauhütten direkt auf die Bauwerke übertragen“, schreibt Kirschner in ihrer Dissertation, mit der sie Computerunterstützung in der Architektur-entwurfslehre untersucht hat. [Kirschner 2000] In dem Zusammenhang sei an Albert Einstein erinnert, der über den Modulor an Le Corbusier schrieb: „Er ist ein Maßsystem, das das Schlechte schwierig und das Gute leicht macht.“⁵² Damit ist der Sinn einer Maßordnung treffend beschrieben.

⁵¹ Gustav Theodor Fechner (1801-1887), Mitbegründer der experimentellen Psychologie, hat in mehrfach wiederholten Experimenten festgestellt, dass unter zehn verschiedenen proportionierten Rechtecken das dem goldenen Schnitt am meisten angenäherte mit dem Seitenverhältnis 21:24 von der Mehrzahl der Testpersonen als das wohlgefälligste empfunden wurde. [vgl. Naredi-Rainer, S. 191, mit div. Quellenangaben]

⁵² Albert Einstein, in: Hrsg. Willy Boesiger: *Le Corbusier*, Zürich 1979, S. 86.

Zusammengefasst:

- Der Begriff Architektur (Inhalt wie Umfang) hat sich im Laufe der Geschichte gewandelt, so wie sich das Verhältnis des Menschen zur gegenständlichen Umwelt verändert.
- Die neuzeitliche Architektur wird zunehmend mit Computerunterstützung geplant und teilweise auch schon durchgeführt (Vorfertigung).
- Die spektakulären Repräsentationsbauten sind bei den allgemeinen Bauaufgaben eher die Ausnahme.
- Regeln, die heute nicht mehr gelten, können morgen wieder gefragt sein (siehe den Verlauf der Architekturauffassung allein im letzten Jahrhundert).
- Es gibt mathematische Regeln (Proportionen, Kanon, etc.), die vergleichsweise leicht mit einem Computerprogramm umgesetzt werden können, sogar mit einfachen CA(A)D-Programmen, die noch keine semantischen Zusammenhänge ihrer einzelnen Bauteile kennen (GM). (s.8.3.6.3)
- Es gibt semantische Regeln (Funktionen, Grammatiken), die auf Objekte wirken. Dazu bedarf es eines CAADs mit integriertem Gebäudemodell.

Man kann Regelwerke als so genannte Tools einem Programm beifügen (wie etwa bei der Lehre in der Dissertation Kirschner). Ob es auch Regeln gibt, die den eigentlichen Entwurfsprozess unterstützen können, wird im folgenden Kapitel untersucht, wenn es um die Frage von Entwerfen in der Architektur und unterschiedliche Entwurfsmethoden geht.

3 Entwerfen in der Architektur

3.1 Einleitung

Es liegt auf der Hand, dass der Architekt seine Baukunst mindestens genauso gut beherrschen muss wie der Denker seine Grammatik. Aber da das Bauen eine schwierigere und kompliziertere Wissenschaft ist als die Grammatik und die schöpferische Leistung des Architekten für längere Zeit an Ort und Stelle verbleibt, dürfen sie sich nicht darauf beschränken.⁵³

Ziel dieses Kapitels ist es, die Begriffe *Architektur* sowie *Entwerfen* speziell von Architektur zu hinterfragen. Überschneidungen mit dem vorangegangenen Kapitel sind dabei unvermeidbar. Zur Eingrenzung des Themas für Branchenfremde, bspw. Softwareentwickler, wird der Begriff *Architektur* im Sinne von gebauter Umwelt verwandt und der Begriff *Entwerfen* im Unterschied zu *Planen*, aber auch zu *Designen*, in der Architektur. Danach wird auf *Entwerfen* von unterschiedlichen Seiten eingegangen. Dabei werden Kriterien angesprochen, die für eine Computerunterstützung zu berücksichtigen sind.

3.2 Begriffe Architekt und Architektur

Was ist Architektur? Bei einer Internetsuchmaschine erzeugt der Suchbegriff *Architektur* heute mehr Treffer über XYZ-Architekturen als über gebaute Umwelt im ureigensten Sinn.

Eine einfache Definition von Architektur⁵⁴ und Baukunst gibt der Brockhaus: Danach ist Architektur gleichbedeutend mit Baukunst. Während der Duden Architektur gleichzeitig

⁵³ Le Corbusier, in: *Vers une architecture*, Verlag Crès et Cie, Paris, 1923 [Le Corbusier 1922, Bauweltfundamente 2]

⁵⁴ [griechisch] die (Baukunst). Unter Architektur versteht man im Allgemeinen den Hochbau, in dem sich, im Unterschied zum Tiefbau, Zweckerfüllung mit künstlerischer Gestaltung verbindet, [Brockhaus AG, 2001]

Ar|chi|tek|tur die; -, -en: 1. a) (ohne Plural) Baukunst [als wissenschaftliche Disziplin]; b) Baustil. 2. der nach den Regeln der Baukunst gestaltete Aufbau eines Gebäudes [Duden 5, Das Fremdwörterbuch. 7. Aufl., Mannheim 2001, CD-ROM].

auch als wissenschaftliche Disziplin angibt. Architektonik⁵⁵ präzisiert der Duden als „kunstgerechter Aufbau eines Bauwerks“ oder allgemein als „künstlerischer od. geistiger Aufbau“. – Die Anschauungen sind von jeher unterschiedlich bis kontrovers. Ist Architektur eine Wissenschaft, ist es Handwerk, ist es Kunst?

3.2.1 Anschauungen der vergangenen Jahrhunderte

Alberti charakterisiert die Aufgabe von Architektur und Architekt aus ihrer sozialen Bindung, als Dienst an der Menschheit und begründet ihre Vorrangstellung unter den Künsten.

Wenn Du dennoch eine [Kunst] findest, welche sowohl derart ist, daß Du derselben in keiner Beziehung entbehren kannst, als auch, daß sie Nutzen (utilitas), verbunden mit Vergnügen (voluptas) und Ansehen (dignitas), gewährt, so wirst Du meiner Ansicht nach aus der Zahl (derselben) [Künste] die Baukunst nicht ausschalten dürfen, denn diese ist, wenn Du genauer hinsiehst, sowohl öffentlich als privat für das Menschengeschlecht besonders geeignet und äußerst dankenswert, sowie an Würde (dignitas) nicht die letzte unter den ersten.“ [Alberti, *De Re Aed.*, Vorrede; zit. nach Theurer (1912), p. 9]

Mit Albertis Definition grenzt sich der Renaissance-Architekt vom Handwerker ab:

Die Hand des Arbeiters dient ja dem Architekten nur als Werkzeug. Ein Architekt wird der sein, behaupte ich, der gelernt hat, mittels eines bestimmten und bewundernswerten Planes und Weges sowohl in Gedanken und Gefühl zu bestimmen, als auch in der Tat auszuführen, was unter der Bewegung von Lasten und der Vereinigung und Zusammenfügung von Körpern den hervorragendsten menschlichen Bedürfnissen am ehesten entspricht und dessen (möglichste) Erwerbung und Kenntnis unter allen wertvollen und besten Sachen nötig ist. [Alberti, *De Re Aed.*, Vorrede; zit. nach Theurer (1912), p. 9]

„Mit der Wahl des Standortes beginnt bereits die Architektur,“ so Neumeyer in seinen Auslegungen zu Albertis Werk, „denn sie bedeutet einen Eingriff in ein gegebenes räumliches Beziehungsgefüge, dessen topologische und historische Eigentümlichkeit eine bestimmte bauliche Verhaltensweise in der Gestaltung des Objekts als angemessene Interpretation verlangt. An diesem Punkt beginnt die Baukunst, verstanden als eine Kunst räumlicher

⁵⁵ Ar|chi|tek|to|nik die; -, -en: 1. (ohne Plural) Wissenschaft von der Baukunst. 2. a) [kunstgerechter] Aufbau eines Bauwerks; b) strenger, gesetzmäßiger [künstlerischer od. geistiger] Aufbau. [Duden 5, Das Fremdwörterbuch, 7. Aufl., Mannheim 2001, CD-ROM]

Inbeziehungssetzung, die sich vom großen Maßstab des natürlichen Raumes über den kleinen Raumausschnitt des Grundstücks selbst bis in die Art und Weise der Einteilung der Grundebene in die noch kleineren Raumzusammenhänge des Grundrisses harmonisch fortsetzt.“ [Neumeyer, S. 20]

Für den Revolutionsarchitekten Claude-Nicolas Ledoux ist Architektur „ein aktives Instrument, das die Veränderung der Ordnung und der Gesetze des gesellschaftlichen Zusammenlebens nicht nur ausdrücken, sondern auch bewerkstelligen kann“. [Neumeyer, S. 32]

In der Literatur werden Metaphern zur Architektur verwandt die im Umkehrschluss die Deutung zulassen, was mit Architektur gemeint ist. „Für Descartes verfährt richtiges Denken, das auf festem Grund als Ursache ein in sich stimmiges Ganzes baut, so, als würde man sich ein Haus bauen.“ (Neumeyer 2002, S. 10)

In seinem Beitrag *Kritik der reinen Vernunft* betrachtet Kant die „Architektonik“ als die Kunst der Systeme. „Wissenschaft im Kantschen Sinne ist Systembau der Vernunft“. „Die systematische Einheit der Erkenntnis unter „einer“ Idee ist das entscheidende Kriterium, das die Wissenschaft von der nur anhäufenden „gemeinen Erkenntnis“ unterscheidet und zur reinen Vernunft erhebt. „Das Ganze ist also gegliedert (articulatio) und nicht gehäuft (coacervatio)“, wird Kant zitiert, „als der Schlüsselsatz, mit dem der wohlgeordnete Gliederbau in der Architektonik eines mannigfaltigen, in sich fest und logisch gefügten Ganzen zur adäquaten Gestalt kommt. (...) Bauen und Denken, Kunst und Wissenschaft gehen Hand in Hand. Architektonik gehört für Kant zum methodischen Handwerk der Wissenschaft.“ [Neumeyer 2002, S. 10]

Für Schinkel ist „Baukunst“ ein „wissenschaftliches Handwerk“. [Peschken 1979]

„Mit Durand (...) wird die Architektur zu einer angewandten Wissenschaft, zu einer methodischen Kunst, in der es in Analogie zur mathematischen Sicherheit auch Folgerichtigkeit in der Entwicklung des Entwurfes geben soll.“ [Neumeyer, S. 39]

Für Loos ist Kunst subjektiv und zweckfrei, Architektur muss der Allgemeinheit dienen. Einen Zusammenhang zwischen Kunst und Handwerk (was er sehr hoch schätzte) bestreitet er. Die Schönheit eines Gebrauchsgegenstandes richtet sich nach dem Grad seines Gebrauchswertes. Folglich ist auch Architektur für ihn keine Kunst: „So hätte also das Haus nichts mit Kunst zu tun und wäre die Architektur nicht unter die Künste einzureihen? Es ist so. Nur ein ganz kleiner Teil der Architektur gehört der Kunst an: das Grabmal und das Denkmal. Alles andere, was einem Zweck dient, ist aus dem Reiche der Kunst auszuschließen.“ [vgl. Loos 1909, ed. 1982, S. 101]

Cotelo beschreibt Architektur folgendermaßen:

Architektur ist im Wesentlichen eine Frage der Ordnung, ein rigoros strukturierendes Denken im Raum, das während eines konstruktiven Prozesses Gestalt annimmt und die Materie zu einem authentischen und einzigartigen Träger dieses Denkens macht. Es handelt sich um ein historisches Produkt, dessen Beschaffenheit sich nach seinem Gebrauch und den örtlichen Gegebenheiten richtet und entsprechend konkret werden sollte. Die Architektur ist Ausdruck der sozialen und individuellen Bedürfnisse des Menschen sowie seiner komplexen Probleme, die in einer solchen Weise identifiziert und gelöst werden müssen, daß die Verwirklichung von Leben in seiner vollständigen Form ermöglicht wird. [Cotelo 1999]

Die Aufzählung ließe sich unendlich weiterführen. Fest steht, eine eindeutige Definition dessen, was Architekt/Architektur ist oder ausmacht, gibt es nicht und wird es auch nicht geben, sie ist vielmehr abhängig von vorherrschenden religiösen, sozialen, politischen, technischen oder wirtschaftlichen Strömungen. Die jeweilige Sichtweise wird uns auch in den nachfolgenden Kapiteln stetig begleiten.

3.2.2 Was macht Entwerfen von Architektur aus?

Dichter schreiben selten darüber, wie sie schreiben. Ähnliches kann von Architekten gesagt werden: Wenn es heute in der Arbeit von Architekten noch so etwas gibt wie letztes auratisches Geheimnis, dann dürfte es der Akt des Entwerfens sein. Nun wird aber gerade diese Königsdisziplin, das Entwerfen mitsamt den begleitenden Prozessen in der Architekturgeschichte selten wahrgenommen. Dies verwundert kaum, denn fragt man Architekten genauer, wie sie bei ihren Entwürfen konkret vorgehen, erhält man meist recht nebulöse oder anekdotische Antworten: So soll Alvar Altos Methode, wie sie Bruno Reichlin unlängst beschrieb, angeblich darin bestanden haben, „... mit kindlichem, vertrauensvollem – und genialem – Instinkt der Bleistiftspitze zu folgen, von Schnörkel zu Schnörkel, direkt hin zum Meisterwerk, wenn der Verstand längst benebelt von der soundso-

vielten Zigarette und dem letzten Whisky im Morgengrauen dahindöst.“ [Forster⁵⁶]

Um das „letzte auratische Geheimnis“ der Architekten zu lüften, wurden unterschiedliche Entwurfsmethoden und auch -mentalitäten bei Architekten ausgemacht. Das Interesse daran hat besonders durch den Computereinsatz neue Nahrung gefunden. – Um das komplexe Gebiet des architektonischen Entwerfens zu durchleuchten, werden nachfolgend Beiträge und Zitate aufgeführt, die helfen sollen, das Thema zu durchleuchten.

Wie schon zuvor Kant zitiert: „Das Ganze ist gegliedert und nicht angehäuft“, schreibt Nietzsche: „Faszinosum der Struktur gehört zum elementaren Bestand der Ästhetik der Architektur“. [Neumeyer S. 10 f]

Mirko Baum schreibt in seinem Beitrag *Die begründete Form* mit dem Untertitel *oder über die Schönheit der strengen Schreibart*:

Nicht nur die nachschlagbaren s. g. allgemein gültigen Regeln der Kunst sind entscheidend für die Qualität eines Werkes, sondern diejenigen Regeln, die man sich selbst stellt und denen man sich freiwillig unterordnet. Was sie genau sind und wie und wo sie zu finden sind, kann nur andeutungsweise beantwortet werden. Sie sind in einer Grauzone zwischen dem Glauben und dem Wissen angesiedelt und kreisen um das Geheimnis der Gestalt. Die Suche nach ihnen ist mühsam, aber unbedingt empfehlenswert. Sie schärft das ganzheitliche Denken und richtet den Blick auf das Wesentliche. [Baum 1996]

Die überragende Bedeutung des „Alleskönners“ Hans Döllgast als Lehrer führt Nerdinger u. a. darauf zurück, „daß er durch die Vielzahl der von ihm vertretenen Fächer eine ‚ganzheitliche‘ Architekturausbildung vermitteln konnte. Ausgehend von Zeichnungen und Perspektiven, verknüpfte Döllgast Darstellung, Bauaufnahme, Baugeschichte, Entwerfen und Städtebau, sodaß Architektur aus der Einheit von Kenntnissen und Fähigkeiten, von Geschichte und Gegenwart als ganzheitlicher Gestaltungs- und Denkprozeß entstand.“ [Nerdinger 1993]

⁵⁶ Vorlesungsverzeichnis SS 04 S, wo 4S; Architekturgeschichte III – Entwerfen lernen ...? (6 ECTS-CP), [Uni Weimar: http://www.uni-weimar.de/cms/uploads/media/1_architektur_02.pdf (Download 04.06.2006)]

3.2.3 Entwerfen von Architektur im Sinne von gebauter Umwelt

Wenn wir über Entwerfen von Architektur sprechen, drängt sich wieder die Frage auf: Was ist Architektur? Wenn Pevsner sagt: „ein Fahrradschuppen ist ein Gebäude, aber Lincoln Cathedral ist ein Stück Architektur“, dann wird der Begriff „Architektur“ heute gerne auch auf andere Bereiche übertragen, die im weitesten Sinne nichts mit Architektur (gebauter Umwelt) zu tun haben, vielmehr eher mit einer Ingenieurleistung vergleichbar sind, bspw. Prozessorarchitektur (Computerindustrie), Softwarearchitektur etc. Ingenieure gehen rational vor, gehen logischen Überlegungen nach, die man ggf. auch beweisen kann. Die Ästhetik ist nachgeordnet. In der Politik mag die Metapher eher greifen: Ein „Architekt der Einheit“ (Kohl) muss weitaus kreativer sein, muss weit in die Zukunft schauen, der Beweis für die richtige *Architektur* ist nicht unbedingt voraussehbar. Vergleicht man die Entwurfsarbeit eines Architekten mit der eines Ingenieurs, so steht beim Architektenentwurf neben der Funktion immer auch die Form, die Ästhetik, das Ergebnis als langlebiges Gut, als gestaltete Umwelt im Vordergrund. Ganz anders urteilen die Architekten selbst, Otto Wagner wird der Spruch nachgesagt: „Poesie, da fängt Architektur an“.

„Die Planung von Städten und Gebäuden ist komplizierter als früher. Weil Architektur kein kurzlebiges Konsumgut ist, das man nach Gebrauch wegwerfen kann, muß sorgfältig geplant werden. (...) Die Menschen (...) brauchen gut ausgebildete, qualifizierte Architektinnen und Architekten, wenn es um die gebaute Lebensqualität, wenn es um die Architektur und den Städtebau geht.“⁵⁷

3.2.4 Entwerfen als Bestandteil einer (Bau-)Planung

Im täglichen Sprachgebrauch wird oft nicht klar zwischen Planen und Entwerfen unterschieden. Eine Planung gliedert eine größere zu bewältigende Aufgabe in Teilbereiche, die möglicherweise Entwürfe beinhalten. Dabei kann ein größeres Entwurfsvorhaben wiederum eine eigene Planung

⁵⁷ Auszug aus der Berliner Erklärung der Bundeskammerversammlung, des „Parlaments der deutschen Architekten“, vom 28. Oktober 1999

des Entwurfs voraussetzen. Da jeder Planung ein gewisses Maß an Fachwissen der jeweiligen Materie abverlangt wird, wird ein Architekt i. d. R. die Planung (Organisation) seines Entwurfs selber wahrnehmen. Das zeichnet ihn gleichzeitig auch als Planer aus, da er das kreative, Neues schaffende Element des Entwerfens einer (Bau-)Aufgabe ebenso beherrscht wie die notwendige Organisation (Planung) zur Durchführung seiner Artefakte. Das unterscheidet ihn eindeutig vom reinen Planer, der ingenieurmäßig Fakten aneinander reiht und bewertet ohne jedoch gestalterischen Einfluss zu nehmen. – Es sind Planungsmodelle⁵⁸ für die Planungspraxis entwickelt worden, deren Theorien der Vielschichtigkeit des Planungsprozesses gerecht werden sollen. Wenngleich auch Parallelen, bspw. in den Bewertungsverfahren von Varianten, im Vergleich zu den Entwurfsmethoden zu finden sind, würde eine Vertiefung dieses Themas am Ziel dieser Arbeit vorbeigehen. – Bei CA(A)D muss also deutlich zwischen planungsunterstützenden und entwurfsunterstützenden Computerprogrammen unterschieden werden.

3.2.5 Abgrenzung „Designen“ versus „Entwerfen“

Während der Engländer zwischen Design und Styling unterscheidet, wird im deutschen Sprachgebrauch gerne Design mit Entwurf gleichgesetzt. Dabei wehrt sich der Architekt, als „Designer“ bezeichnet zu werden, er entwirft ein Möbelstück, während der Designer ein Möbelstück designt. Ist das nur Ständesdünkel? Wohl nicht, wie sich nachfolgend zeigen wird.

„Design“ übersetzt der Brockhaus mit „Konstruktion“, „das, ästhetische Gestaltung von Produktionsmustern und ihr Ergebnis, im Gegensatz zur Formgebung aus rein funktionaler Sicht“. Oder allgemein ausgedrückt: „Art der Gestaltung. Bei Software: Konzept, Entwurf.“

„Statt dessen wird vorausgesetzt, daß Design weder Wissenschaft, noch Technik, noch Kunst ist, sondern quer zu diesen etablierten Diskurs- und Praxisfeldern liegt.“
[Stephan 1997]

⁵⁸ [vgl. Schönwandt, Walther L.: Planung in der Krise?, Theoretische Orientierung für Architektur, Stadt- und Raumplanung, Uni Stuttgart 2002]

Das „Design“ entstand im 19. Jahrhundert im Zuge der Industrialisierung. Entscheidend dabei war die Trennung von Gestaltung und Herstellung des Produkts, was bis dahin allein der Handwerker leistete. Es entstand eine eigenständige Aufgabe.

Julius Posener schreibt über den Werkbund und dessen Bemühungen, die Kluft zwischen dem „erfindenden und dem formenden Geist“ zu überbrücken. „Das drückt sich in dem Ausdruck ‚Formgebung‘ aus – und auch in dem des industrial design: Der erfindende Geist hat offenbar die Beziehung zur Form verloren, der Künstler muß die Sache in die Hand nehmen und die Form, welche bei der handwerklichen Arbeit selbstverständlich war oder sein sollte, künstlich wieder herstellen: eine fatale Art der Arbeitsteilung.“ Forderungen jener Zeit, „daß der Ingenieur selbst die Beziehung zur Form wiedergewinnen solle“, sieht Posener nicht als gelungen an, vielmehr konstatiert er: „Das Problem der Form in der Architektur und in der Produktion der Industrie besteht also (...).“ [Posener 1980]

Die Reformbewegungen⁵⁹ forderten, die Produkte in „neue zeitgemäße, in industriellen Herstellungsweisen angepaßte Formen zu kleiden“. Den Berufsstand des Designers gibt es erst seit Mitte des 20. Jahrhunderts. Die „Gestalter“ von Industrieprodukten kamen aus den Ingenieurwissenschaften, der Architektur, der Werbung oder verwandten Branchen. Im Laufe der Jahrzehnte wurde Produktdesign immer mehr auch zur Imagefrage und zu einem Marketingfaktor für die Unternehmen. Längst hat sich Design auf andere Branchen wie die grafische Gestaltung und Typografie, die Mode und die Verpackungsindustrie ausgeweitet.

Design wird als komplexe Dienstleistung angesehen, die nicht nur die Gestaltung der Produkte und das gesamte Erscheinungsbild eines Unternehmens, die „Corporate Identity“ (CI) betrifft, sondern als „Designmanagement“ auch ein wichtiger Bestandteil der Unternehmensführung geworden ist.

⁵⁹ Arts and Crafts Movement, Jugendstil, Deutscher Werkbund und Bauhaus verlangten u. a. qualitativere Produkte, Rückbesinnung auf das Handwerk, „ehrliche“ Materialien.

Stephan beschreibt Design folgendermaßen:

„Design ist weniger ein Substantiv als vielmehr ein Verb. Design ist in erster Linie „machen“. Was macht der Designer? Er entwirft. Was bedeutet „entwerfen“? Die Beschreibung dieser Tätigkeit wird auf jeden Fall die Bestandteile „Innovation“ und „Pragmatismus“ enthalten. Was keinen Neuigkeitswert enthält, qualifiziert sich nicht als Entwurfsarbeit, ebenso wie alles, was sich nicht der Absicht verdankt, praktikabel zu sein, also bestimmte Randbedingungen zu akzeptieren und innerhalb ihrer zu funktionieren.“ [Stephan 1997]

Bleibt festzustellen, dass:

- Design eine vergleichsweise junge Disziplin ist;
- Design produkt- und markenorientiert ist;
- Design den Konsum fördern soll;
- Design den Moden stark unterworfen ist;
- die Sinnhaftigkeit des Begriffs als Metapher auf andere Gebiete übertragen wird (Mediendesign, Industriedesign): Etwas ist dafür „designed“ im Sinne von bestimmt.

3.3 Der architektonische Entwurf

3.3.1 „Ein qualitativ-synthetischer Entwurfsansatz“

In seinem Beitrag *Entwerfen mit Vorstellungsbildern, Metaphern und Analogien* bezieht sich Oswald Mathias Ungers [Ungers 1977, S. 312 ff] auf Kant, der die These aufstellt, „daß die Erkenntnis ihren Ursprung in zwei Grundkomponenten hat: in unmittelbarer Erkenntnis (Intuition) und dem Denken. Nach Kant steht unser gesamtes Denken in enger Beziehung zu Vorstellungen, schöpferischen Bildern, d. h., es steht in enger Beziehung zu unseren Sinnen, weil wir einen Gegenstand nur mit Hilfe solcher Vorstellungen beschreiben können. Der Intellekt ist unfähig zur Wahrnehmung, und unsere Sinne können nicht denken. Erkenntnis kann also nur durch ein Zusammenwirken von beiden gewonnen werden.“ Der Gesichtssinn (Sehvermögen) und der Tastsinn sind Gegensätze, die entweder visuell oder haptisch sind. [Friedmann, zit. in Ungers, S. 312] Nach Friedmann ist der Tastsinn unproduktiv, „er mißt, ist geometrisch und wirkt aufgrund von Übereinstimmung, Folgerichtigkeit (congruity)“. Dagegen sei die visuelle Wahrnehmung produktiv. Der Gesichtssinn „... interpoliert, ist

ganzheitlich und wirkt aufgrund von Ähnlichkeiten (similarities).“

Ungers schreibt weiter:

Der Tastsinn schreitet von der besonderen Bedingung zum Allgemeinen, der Gesichtssinn vom Allgemeinen zum Besonderen. Der visuelle Erkenntnisprozeß, dessen Grundlage die Bildung von Vorstellungen ist, geht von einer Idee aus und betrachtet einen Gegenstand zunächst ganz allgemein, um ein Vorstellungsbild (image) zu finden, auf dessen Grundlage man dann zu speziellen Eigenschaften übergehen kann. (...)

Es ist jedoch offensichtlich, daß das, was wir allgemein „Denken“ nennen, nichts anderes ist als die Anwendung von Vorstellungskraft und Ideen auf einen gegebenen Satz von Tatsachen und nicht etwa nur ein abstrakter Prozeß, sondern ein visuelles und sinnliches Ereignis.

Ohne eine umfassende Vorstellung erscheint die Realität als ein Wust von beziehungslosen Erscheinungen und bedeutungslosen Tatsachen – mit anderen Worten: als ein totales Chaos. (...)

Das Bewußtsein, das die Realität durch sinnliche Wahrnehmung und Phantasietätigkeit begreift, ist wirklich kreativ, weil es eine höhere Stufe der Ordnung erreicht als die einfältige Methode des Probierens, Aufzeichnens, Nachprüfens und Beobachtens. (...)

Wenn zum Beispiel Planen und Entwerfen als rein technischer Prozeß verstanden wird, dann sind die Resultate ein pragmatischer Formalismus oder mathematische Formeln. Wenn Entwerfen aus einem rein emotionalen Vorgang besteht, dann gleicht das Ergebnis dem Ablegen eines Glaubensbekenntnisses. Wenn jedoch Entwerfen aufgefaßt wird als eine Konzeptualisierung von Vorstellungen, dann handelt es sich um ein morphologisches Entwurfskonzept.

Ungers sieht Planen und Entwerfen als einen morphologischen Prozess, als eine Transformation von einer Gestaltform in eine andere.

Dieser Vorgang bedeutet nichts anderes, als eine ungeordnete, meist zufällige Realität durch Vorstellungen, Bilder, und Analogien im Sinne eines Konzepts zu begreifen. (...)

Eine solche Methode beinhaltet gleichzeitig das Denken in Alternativen. Diese Art zu denken heißt, daß zu einer Gegebenheit gleich die Alternative mitgedacht wird.

Ungers denkt in Metaphern, Modellen und Analogien:

Metaphern

Metaphern sind Umformungen eines Ereignisses in der Wirklichkeit in einen bildhaften Ausdruck, der Vorstellungsbilder erzeugt, indem er eine abstrakte Bezeichnung durch eine mehr bildhaft-beschreibende ersetzt. (...)

Die Bedeutung von Metaphern basiert häufig auf anthropomorphen Vergleichen und Ähnlichkeiten, etwa wenn der menschliche Körper als Metapher für den Grundriß einer romanischen Kirche verwendet wird.

Nach der Definition von Aristoteles ist die Metapher „die intuitive Wahrnehmung von Ähnlichkeiten im Unähnlichen“.

Modelle

Als Modell⁶⁰ wird gewöhnlich der Prototyp, der eine ideale Form repräsentiert, verstanden. Allgemeiner gesagt ist das Modell die Struktur, das Muster, nach dessen Grundzügen etwas gestaltet ist. Es zeigt, wie etwas zusammengesetzt ist. Ein Modell zu konstruieren bedeutet, Zusammenhänge in einer gegebenen Beziehung bestimmter Kombinationen und festgelegter Anordnungen zu finden.

Dazu werden zwei Arten von Modellen verwendet: Visuelle Modelle und Denkmodelle.

Mit Hilfe dieser beiden Arten von Modellen formulieren wir eine objektive Struktur, die die Tatsachen in etwas Bestimmteres und deshalb „Realeres“ verwandelt. Es ist nichts anderes als ein formales Prinzip, das es möglich macht, die Komplexität von Ereignissen in einer geordneten Weise zu veranschaulichen, und das umgekehrt ein kreativer Ansatz zur Strukturierung der Realität entlang der Erkenntnis des Modells ist.

Analogien

Analogien begründen eine Ähnlichkeit oder die Existenz einiger ähnlicher Prinzipien zwischen zwei Ereignissen, die ansonsten völlig verschieden sind. Kant hielt die Analogie für unerlässlich, um neue Erkenntnisse zu gewinnen.“

Ungers verweist in dem Zusammenhang auf Le Corbusier, „als der das Gebäude mit einer Maschine verglich, sah er eine Analogie, wo niemand zuvor eine gesehen hatte.“ Mit seinen „Überlegungen zum Denken und Entwerfen in Vorstellungsbildern, Metaphern, Modellen, Analogien, Symbolen und Allegorien“ zeigt Ungers einen Weg von einem pragmatischen Ansatz zu einer kreativen Denkweise. „Gemeint ist ein mehr mit Qualitäten als mit quantitativen Daten arbeitender Denkprozeß, der mehr auf der Synthese als auf der Analyse basiert. Dabei geht es nicht um die Verbannung analytischer Methoden, sondern um ein natürliches Wechselspiel von Analyse und Synthese – etwa so wie beim Ein- und Ausatmen.“ Sämtliche Ansätze sind Teil eines morphologischen Konzepts, „das als Untersuchung von Strukturen und Transformationen von Gedanken,

⁶⁰ Im Zusammenhang mit GM definiert sich der Begriff Modell nach Junge so: Ein Modell ist eine Abstraktion der Wirklichkeit, wobei die Abstraktion einem Ziel/Zweck unterworfen wird. Es stellt sich bspw. für ein Flugzeugmodell die Frage: Was soll das Modell können, soll es naturgetreu aussehen oder soll es fliegen können? (Beides zusammen lassen die Naturgesetze nicht zu.) Für Datenbanken ist ein „Produktmodell“ (PM) ein „Schema“. Ist das „PM“ in Bearbeitung oder mit Daten gefüllt, spricht man von „Instanzen“.

Tatsachen, Gegenständen oder Bedingungen, soweit sie sinnlichen Erfahrungen zugänglich sind, verstanden wird.“

3.3.2 Entwerfen (Designen) in der Forschung

Was sind Skizzen in der Architektur? Sind sie ein wissenschaftlicher Vorgang? Mit Durand wird die Architektur zu einer „angewandten Wissenschaft“, zu einer methodischen Kunst.

Design kann im Englischen sowohl Substantiv als auch Verb sein. Im Nachfolgenden wird es hauptsächlich als Verb benutzt. Seit den 1960er Jahren wird Designforschung betrieben. Dabei sollte versucht werden, Design wissenschaftlich zu untersuchen, um so Design selber zur Wissenschaft zu erklären. Glanville charakterisiert in seinem Aufsatz *Das Erforschen des Entwerfens und das Entwerfen der Forschung* „Design als Hilfsmittel der Ausübung unserer Kreativität“. Er unterscheidet beim Designakt zwischen Problemlösung und dem eigentlichen Entwerfen (Design) als einer Konversation, „die normalerweise mittels eines Mediums wie Papier und Bleistift mit jemand Anderem (entweder ein ‚tatsächlich‘ Anderer oder man selbst in der Rolle des Anderen) als Konversationspartner geführt wird.“ Er kommt zum Schluss, „... dass (wissenschaftliche) Forschung (...) richtigerweise als ein Zweig von Design aufgefasst werden muss: (wissenschaftliche) Forschung ist eine Untermenge von Design und nicht umgekehrt.“ Gleichsam empfiehlt er, auf den Erfolgen der Forschung aufzubauen. „Es gibt für Design wesentliche (und allzu oft vergessene) Qualitäten, die in der (wissenschaftlichen) Forschung beachtet werden und Priorität besitzen, wie etwa Strenge, Ehrlichkeit, Klarheit und das Testen sowie die relative Stärke der Argumentation gegenüber der Behauptung.“ Er fordert auf, nach Disziplinen Ausschau zu halten, die Zirkularität und den eingeschlossenen Beobachter-Teilnehmer untersuchen, um davon ggf. profitieren zu können. [Glanville, 1999]

3.3.3 Anforderungen an den Entwerfer

Die Ausübung der Architektur ist eine Disziplin, die profunde Kenntnisse erfordert. Fundamentale Bedeutung erfährt sie nur als Ausdruck eines kohärenten, persönlichen Universums, welches erlaubt, die

Lösung architektonischer Probleme als kreativen Prozeß zu betrachten, als Ergebnis von Intelligenz, Sensibilität und Freiheit. [Cotelo 1999]

Hans Dehlinger umschreibt in sieben Punkten allgemeinverständlich, über welche „Fähigkeiten“ Entwerfer verfügen sollten (auszugsweise): In erster Linie soll er „Entwerfen“ können. „Hier liegt das eigentliche Feld der Expertise (...) eines Architekten.“ Es gilt „Wissen und Fähigkeiten zu entwickeln, auf deren Basis man Problemen mit entwerferischem Denken und Handeln entgegentreten kann.“ Entwerfen geht über das eigentliche Entwerfen von Gebäuden hinaus, es gibt „eine große Klasse von Problemen, die sich als Entwurfsprobleme darstellen lassen und die mit den Methoden des Entwerfens vorteilhaft zu bearbeiten sind.“ Da realisierte Entwürfe „in vielfältiger Weise Auswirkungen auf den Menschen“ haben, fordert Dehlinger vom Entwerfer die „Analyse des menschlichen Verhaltens, die Erfordernisse des menschlichen Körpers, seine Maße seine Möglichkeiten und Begrenzungen. (...) Der Entwerfer braucht Fähigkeiten, um Ideen, Konzepte, Pläne usw. adäquat darzustellen. Er braucht Methoden der Darstellung, um seine Ideen sich und anderen vorzustellen. Es ist die Sprache der schnellen räumlichen Skizzenreihe, der körperhaften Zeichnung, der skizzenhaften dreidimensionalen Arbeitsmodelle, der systematischen morphologischen Variationen, der Sprünge zwischen Detailüberlegungen und ganzheitlichem Vorgehen, zwischen gedanklicher Schärfe und künstlerischer Sensibilität. Es ist das mühevoll Wechseln zwischen den unterschiedlichen Medien, die flüssige Beherrschung dieser ‚Sprache‘ von der größten Bedeutung.“ In seinem letzten Punkt geht Dehlinger auf die kulturgeschichtlichen Wurzeln ein: „Er (der Entwerfer) muß zu dem geschichtlichen und kulturellen Erbe, in dessen Tradition er steht, eine Beziehung entwickeln und versuchen, Zusammenhänge aus der Kulturgeschichte zu verstehen. Er muß wollen, seine Arbeit in die zeitgenössischen Zusammenhänge einzuordnen.“ [Dehlinger 2003]

3.3.4 Entwurfsmethoden

In der Literatur finden sich zahlreiche Versuche, über „Design-Methoden“ den Entwurfsprozess zu erklären. Schönwandt beschreibt es so:

Jede konstruktive Entwicklung von „Neuem“ ist Ergebnis einer bewussten und unbewussten Methodik. Die individuelle Entwurfsmethodik ist dabei eingebettet in ein Umfeld verschiedenster erlebter, erlernter und entwickelter Parameter und Einflussfaktoren, die Folge kultureller, sozialer, gesellschaftlicher etc. Einflüsse sind. Kreativität entsteht während des Entwurfsprozesses und begründet sich in einer ständigen Reformulierung der Problem-Lösungs-Beziehung und einem damit verbundenen Wissenstransfer. Daraus folgt eine detaillierte, mögliche Beschreibung des Entwurfes als konstruktiver, zielgerichteter, interdependent kognitiver Entwicklungsprozess abstrahierter subjektiver Wirklichkeiten, bei dessen Verlauf das Abstrakte zum „Realen“ wird. Der Entwerfende befindet sich dabei in unterschiedlichsten Abstraktionsebenen der eigenen dargestellten Gedankenwelt. Entsprechend der Varianz der Struktur dieses Prozesses und des Abstraktionsgrades der Problem-Lösungs-Beziehung läßt sich der Entwurfsprozess vor allem in drei sich vielfach überlagernde Vorgehensweisen unterteilen: methodisch, heuristisch und kreativ. [Schönwandt et al.]

3.3.5 Strukturierung des Entwurfsprozesses

Um den Entwurfsprozess zu strukturieren, wird versucht, ihn in überschaubare Teilabschnitte (Stufenmodelle) zu zerlegen, um so Rückschlüsse über angemessene Verhaltensweisen und Strategien zu dessen Steuerung zu erhalten. In der Literatur sind mehrere solche Versuche zu finden. Dehlinger führt verschiedene Autoren auf, ihnen gemein ist eine hypothetisch postulierte zeitliche Abfolge in ihren Modellen, die letztlich (nach Rittel) verallgemeinert beinhalten [Rittel 1970, S. 17]:

- (1) Verstehe das Problem
- (2) Sammele Informationen
- (3) Analysiere die Information
- (4) Kreativer Akt
- (5) Synthese
- (6) Ausführung und Kommunikation der Ergebnisse

Der Versuch, die Schrittfolgen, das Problemverständnis, Information und Problemlösung als zeitlich trennbare Prozesse zu sehen, hat sich in der Entwurfspraxis für komplexe Bauaufgaben als nicht praktikabel erwiesen. Vielmehr fällt es dem Entwerfer schwer, sich jeweils ausschließlich in der definierten Phase zu bewegen. Entwerfen (in der Architektur) läßt sich nicht mit chronologisch aufeinander folgenden Entwurfsschritten beschreiben. Stufenmodelle eignen sich nicht, ein besseres Verständnis des Entwurfsprozesses zu begründen. „Es ist erstaunlich, wie hartnäckig sich trotz des offensichtlich geringen Wertes hinsichtlich

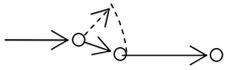


Abb.: A

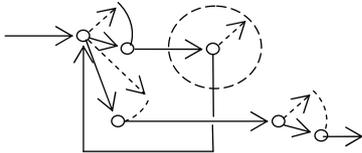


Abb.: B

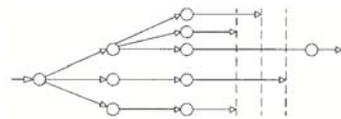


Abb.: C

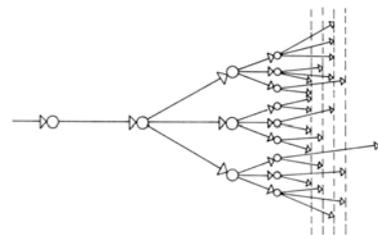


Abb.: D

Abb. 3.1: Strategiemuster nach Rittel. [Rittel 1970, S. 19 ff]

einer Erklärung des Entwurfsprozesses und der deutlichen Mängel bei der praktischen Umsetzung während des Entwerfens/Planens sich solche Listen bis in unsere Tage großer Popularität erfreuen.“ [Dehlinger] Die zugrunde liegenden Annahmen, bemerkt Rittel, sind typisch für die „Systemforschung der 1. Generation“, die für Militär-Weltraumprojekte entwickelt wurde. [Dehlinger 2003; Rittel 1970, S. 17]

... die Feststellung dessen, was durch ein Projekt erreicht werden soll, ist gerade der langwierigste und schwierigste Aspekt der Planung, und er ist nicht vom Problemlösungsprozeß zu trennen. (...) Problemformulierung geht Hand in Hand mit der Entwicklung eines Lösungsvorschlages; Informationen kann man nur dann sinnvoll sammeln, wenn man an einem Lösungsprinzip orientiert ist, und ein Lösungsprinzip kann man nur in dem Maße entwickeln, wie man über das Problem informiert ist, usw. [Rittel 1970]

Eine Trennung in Projektphasen ist daher nicht durchführbar. Strategien zur Varietätserzeugung (Ideen haben) und Varietätseinschränkung (Ideen verwerfen), wie sie Rittel als Mikrostruktur des Planungsprozesses ausmacht, können als alternierende Folge zweier Elementarprozesse verstanden werden, als ständiges Wechselspiel von Hypothesieren und Analysieren, unterbrochen von Perioden der Routine, d. h. unproblematischer Tätigkeit.

Die Elementartätigkeiten sind:

- Varietät erzeugen
- Varietät reduzieren

Tritt eine Situation auf, aus der man spontan keinen Ausweg weiß, wird mindestens nach einem Kandidaten für die Lösung gesucht, „Varietät erzeugt“. Bei mehreren Kandidaten muss nach Gründen gesucht werden, um alle bis auf einen auszuschließen, so wird „Varietät reduziert“.

Rittel unterscheidet verschiedene Stile oder Strategien, wie dieser Prozess ablaufen kann. Nachfolgend wird eine Auswahl dieser Strategien wiedergegeben.

3.3.5.1 Sequenz

Der routinierte Entwerfer, der auf seiner Erfahrung aufbaut und mit Hilfe individueller Heuristiken seine Aufgabe erledigt, kennt keine Probleme.

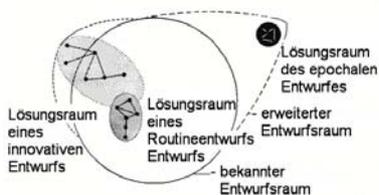
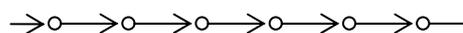


Abb. 3.2: Der epochale Entwurf: Der Entwurfsraum muss neu definiert werden, die entwickelte Struktur ist dabei neuartig und wird, gestützt auf noch unzureichendes Wissen, erprobt. [Liebich 1993]

3.3.5.2 Scanning-Prozess

Der Scanning-Prozess versucht, mit der erstbesten Lösung ein Problem zu lösen. Führt die Lösung nicht zum Ziel (Abb.: A) oder verhindert sie die Lösung anderer Probleme, wird zum Ausgangspunkt zurückgekehrt und der Prozess mit einer anderen Lösungsmöglichkeit erneut durchlaufen (Abb.: B). Diese Strategie des „Abtastens“ ist möglich, wenn der Entwerfer bewährte Lösungen zuerst assoziiert.

3.3.5.3 Einstufige Alternativenbildung

Durch Erzeugen von Varietät werden zunächst alternative Lösungsmöglichkeiten entwickelt, die dann durch einen Bewertungsfilter, der alle relevanten Aspekte für die Problemlösung enthält, bis auf eine, die möglichst „beste“ Lösung, reduziert wird. Fallen keine Alternativen ein, kehrt man zum Ausgangspunkt zurück und meidet das Problem. Passieren mehrere Alternativen den Bewertungsfilter, kann, da alle Alternativen gleiche Güte besitzen, der Zufall eine Lösung bestimmen oder man verändert den Bewertungsfilter durch strengere Aspekte, bis nur noch eine Lösung passiert. Umgekehrt, passiert keine Alternative, kann man zum Ausgangspunkt zurückgehen, das Problem meiden oder neue Varietät erzeugen, schließlich aber auch den Filter soweit abschwächen oder einen neuen erstellen, bis die „beste“ Lösung passiert (Abb.: C).

3.3.5.4 Mehrstufige Alternativenbildung

Während bei der einstufigen Alternativenbildung nach jedem Generierungsschritt direkt der Bewertungsprozess nachgeschaltet ist, werden bei der mehrstufigen Methode auch die Konsequenzen jedes Entwurfskandidaten vorausschauend bestimmt (Abb.: D). „Vorbild ist der gute Schachspieler, der mehrere Spielzüge im Voraus zu durchdenken sucht“. Das Passieren einer Alternative kann nicht ausschließen, dass der verfolgte Weg an einer späteren Stelle in die Sackgasse führt. Hier muss durch eine Schleife zurück zu einem früheren Problempunkt eine andere Variante verfolgt werden, in der Hoffnung, dass diese zum Ziel führt. Der Aufwand dieser Strategie mehrstufiger Alternativenbildung nimmt „ungefähr exponential“ mit der Zunahme der zu siebenden Varietät zu. [vgl. Rittel 1970, S. 21]

3.3.6 Entwurfsstrategien

Während sich der Problemlösungsprozess einer Entwurfsaufgabe als zielgerichteter Suchprozess darstellt, „vollzieht sich das architektonische Entwerfen in Phasen zunehmender Konkretisierung, vom Abstrakten bzw. Allgemeinen hin zum Konkreten bzw. Besonderen“. [Liebich 1993]



Abb. 3.3: Bottom-Up-Methode, aus dem „Repertoire“ einzelner (Baustein-) Module wird eine Idee entwickelt und eine „Form gegeben“.



Abb. 3.4: Top-Down-Methode des Bildhauers, der mit dem Werkstück bereits das fertige „Werk“ mehr oder weniger vor dem geistigen Auge hat, die „Form findet“. Brâncuși: Der Kuss, 1921

Grundsätzlich wird zwischen zwei Grundstrategien unterschieden, zwischen *Top-Down* (Abb. 3.4) und *Bottom-Up* (Abb. 3.3). Vereinfachend könnte man sagen, die Planung vollzieht sich von außen nach innen bzw. umgekehrt. Genauer betrachtet, sucht die *Top-Down*-Strategie bei jeder neuen Entwurfsaufgabe nach einem allgemeinen Lösungsprinzip, wobei sich Teillösungen erst relativ spät abzeichnen, während die *Bottom-Up*-Strategie von der empirischen Analyse der Problemstellung ausgeht, um so schrittweise zu einer Lösung zu gelangen. Dabei wird eine möglichst vollständige Dekomposition⁶¹ in Einzelprobleme angestrebt und untersucht, ob entsprechende Teillösungen zur Verfügung stehen. Danach werden die bereits detaillierten Teillösungen auf einer nächst höheren Stufe kombiniert. Diese Vorgehensweise kommt den heutigen Computersystemen entgegen, da nur etwas in den Computer eingegeben werden kann, was in seiner Geometrie weitgehend fertig entworfen ist. [vgl. Liebich 1993, S. 56]

In der Praxis sind es die wenigen „Top-Architekten“ der Welt, denen ein tatsächlich neuer „(Ent)Wurf“ nach der *Top-Down*-Methode gelingt, mit dem sie neue Richtungen in der Architektur manifestieren. Mehrheitlich wenden Architekten beide Methoden an, die sich wechselseitig nicht ausschließen, sondern eher bedingen.

3.3.6.1 Top-Down

Die *Top-Down*-Methode geht von einer festen Zielvorstellung aus. Wie ein Bildhauer seinen „Entwurf“ vor dem geistigen Auge hat, wenn er sein Werkstück bearbeitet und nach und nach sich der vorgestellten Form nähert. In der Architektur wird die Gesamtlösung durch Ableitung und Zerlegung in Teilprobleme erreicht. – Die Zielvorstellung als geeigneter Lösungstyp wird an die Aufgabe angepasst

⁶¹ Die Zerlegung des Problems in möglichst unabhängig voneinander lösbare Teilprobleme [Alexander 1977]



Abb. 3.5: Top-Down, hier: die Form, die sich ergibt, wenn „Offices“ als Prismen durch die Schwerkraft auf ein Parkdeck knallen.
[Owen Moss, Parking Garage and Offices (Pterodactyl) Culver City, California, Completion 2007, <http://www.ericowenmoss.com>]

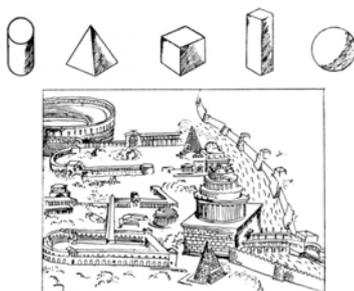


Abb. 3.6: Bottom-Up:
Le Corbusier, aus „Vers une architecture“ [1923], zeigt, wie mit einfachen volumetrischen Grundformen architektonische Kompositionen zusammengestellt werden können.

und im Detail verbessert (vgl. Abb. 3.8, formorientierter Entwurf). Diese Strategie geht davon aus, dass bei jedem Entwurf von neuem mit der Suche nach einem allgemeinen Lösungsprinzip begonnen werden muss und sich Teillösungen erst relativ spät abzeichnen. Die Zieldekomposition erfolgt sukzessiv mit der Lösungsentwicklung. Die Detaillierungsniveaus des Entwurfs werden nacheinander durchschritten. – Die Top-Down-Strategie benötigt zu Beginn eine abstrakte und wohldefinierte Problemspezifikation. Erfahrene Architekten und Künstler arbeiten nach dieser Methode, sie beginnen mit der schematischen Skizze des Gesamtprojekts und verfeinern diese schrittweise, bis der verlangte Grad an Detaillierung und Vollständigkeit erreicht ist.

3.3.6.2 Bottom-Up

Anders bei der Bottom-Up-Methode. Hier wird die Gesamtlösung schrittweise durch iterative oder rekursive Kombinationen von Einzelementen empirisch gefunden. Nach der Formulierung des Gesamtproblems wird zunächst eine möglichst komplette Dekomposition in Einzelprobleme angestrebt und untersucht, ob ggf. Teillösungen schon vorliegen oder gefunden werden können. Danach werden die weitgehend detaillierten Objekte oder Teilsysteme zu einer höheren Stufe bis zur Gesamtlösung kombiniert. Auf jeder Stufe des Kombinations- und Generierungsvorgangs wird die neu erzeugte Information darauf geprüft, ob die anfangs definierte Zielvorstellung erfüllt wird. – Architekturforscher glauben nachweisen zu können, dass diese Methode mehrheitlich bei unerfahrenen Architekten zur Anwendung kommt. Auf jeden Fall verlangt sie Wissen über das formale und funktionale Architekturvokabular, um aus Einzelementen eine Gesamtlösung zu komponieren. – Der Umgang mit volumetrischen Grundformen (Abb. 3.6) und deren Kombinationen ist ein beliebtes Thema im frühen Entwurfsunterricht. [Schmitt⁶²]

„Traditional computer drafting systems and three-dimensional geometric modelling systems work in bottom-up fashion.“ [Mitchell, W. J., 1990, S. 137] Wissensbasierte Systeme (Produktionssysteme) und deren grafisches Äqui-

⁶² <http://caad.arch.ethz.ch/CAAD/xhtml/aem/aem2.html#topdown>

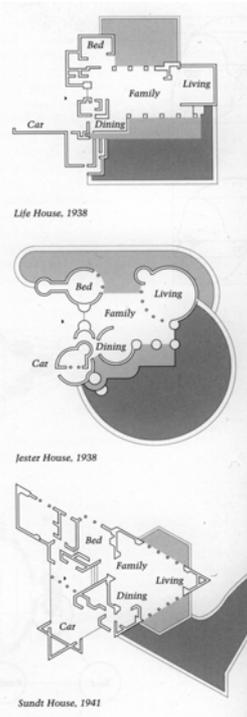


Abb. 3.7: Drei Grundrisse von F. L. Wright, die dem gleichen (oberen) Funktionsdiagramm folgen, aber (darunter) in unterschiedlichen Formen ausgeprägt sind. [vgl. Mitchell, W. J. 1992]



Abb. 3.8: Peter Cook und Colin Fournier: Kunstmuseum Graz „Spacelab“, 2004. Ein biomorphes Gebilde: In jeder Hinsicht ein formorientierter Entwurf, allein 1500 unterschiedlich geformte Kunststoffplatten bilden die hinterleuchtete Fassade. [Detail, 11/2003, S. 1252]

valent, die Formengrammatiken (Shape Grammars, s. 5.3) nutzen diese Vorgehensweise. [vgl. Schmitt 1993⁶³]

3.3.6.3 Fallbasiertes Schließen

Fallbasiertes Schließen (engl. Case-based Reasoning, CBR) ist die Methode, die jeder Architekt benutzt, wenn er aus eigenen Fällen oder aus der Literatur, also „Fällen“ aus der Vergangenheit, Neues synthetisiert. CBR ermöglicht die Lösung neuer Probleme durch Anpassung von erfolgreichen Lösungen vorheriger ähnlicher Probleme. Vorteil dieser allgegenwärtigen Methode ist das Lernen aus der Vergangenheit: Vermeiden begangener Fehler, Wiederholung erlebter Erfolge. (s. 5.4)

3.3.7 Vorgehensweisen in der Konzeptphase (Vorentwurf)

Was verstehen Architekten unter Entwerfen? „What do they understand under sketch? With the attempt to support, the question must be answered to the architect when sketching with the computer or other aids: what is sketch particularly in architecture? Is it a scientific procedure? Joedicke calls three possible proceedings for the concept phase of buildings: 1. the functional draft; 2. the form-oriented draft; 3. the construction-oriented draft“ [Gero 1998]

Joedicke's drei mögliche Vorgehensweisen für die Konzeptphase von Bauwerken:

- Der funktionsorientierte Entwurf
- Der formorientierte Entwurf
- Der konstruktionsorientierte Entwurf

3.3.7.1 Der funktionsorientierte Entwurf

Beim funktionsorientierten Entwurf wird die Form durch die Funktion bestimmt (s. 2.2.11 oben). Zu Beginn des 20. Jahrhunderts, zur Bauhauszeit (Mies), wurde der Leitsatz auch für den Wohnungsbau propagiert und umgesetzt.

⁶³ Schmitt, aus: *Architectura et Machina: Methoden für den computer-unterstützten Entwurf*
<http://caad.arch.ethz.ch/CAAD/xhtml/aem/aem2.html#topdown>
 (Download 30.04.2006)



Abb. 3.9: Norman Foster: Swiss Re Headquarters, London, 2003. Der Formorientierte Entwurf. Unten: Formvergleiche [Jencks in Flagge und Schneider 2005, S. 27]



Abb. 3.10: Zaha Hadid: Phaeno, Wolfsburg: Sogn. Konen tragen das Gebäude und bilden gleichzeitig Raum für Kioske, Treppenaufgänge etc.

Heute können komplexe Aufgaben durch Entwurfsautomaten (ALBERTI, LOOS) unterstützt werden.

3.3.7.2 Der formorientierte Entwurf

„Form ist ein entscheidender Faktor der Architektur und bestimmt den Ausdruck; Form entsteht aber nicht von selbst, wenn der Grundriß in Ordnung ist, wie häufig behauptet wird. Entscheidend ist vielmehr, in welchem Stadium des Entwurfsprozesses Formfestlegungen notwendig und sinnvoll sind“. [Joedicke 1993]

In der neueren Zeit sind hier Biomorphe, organische Blasen, Schläuche, wie Gedärme anmutende Gebilde (Abb. 3.8) in der Realisierung, die zwar ohne Computer nur schwer realisierbar sind, sich aber für ein allgemeines Modell nicht eignen. In der Gebäudemodellierung sind diese Projekte eher die Ausnahme und in einem allgemeinen Gebäudemodell nicht abbildbar, da bspw. Wände in Decken übergehen, ohne dass eine klare Trennung auszumachen ist. So werden tragende Konstruktionen in räumliche Schalen aufgelöst und sind so gleichzeitig auch raumbildend (siehe Hadid, Wolfsburg, wo die so genannten Konen die Decken und das Dach tragen, gleichzeitig aber Räume wie Kioske, Treppenaufgänge etc. umschließen, Abb. 3.10).

3.3.7.3 Der konstruktiv orientierte Entwurf

Der konstruktiv orientierte Entwurf wird durch die Konstruktion bestimmt (Abb. 3.11, Abb. 3.12). Das statische System und das Material beeinflussen die Form. Der konstruktionsorientierte Entwurf wiederum unterliegt Regeln, die sich in einem Modell nachbilden lassen. Technische Konstruktionen werden als Teil der Architektur entworfen und gestaltet. Barthel unterscheidet grundsätzlich drei verschiedene, in ihrer Charakteristik unterschiedliche Kategorien: die geometrisch definierten, die sich aus statischen Gesetzmäßigkeiten ergebenden und die „frei“ gestalteten Formen. Siehe dazu bspw. das Programm EASY 8.0 zur „formfindung leichter flächentragwerke“ in Anwendung von Prof. Barthel, TUM (8.4.3).

3.4 Kreativität

Allgemein wird Architekten Kreativität zugestanden, doch scheint es da unterschiedliche Bewertungen zu geben. Zieht



Abb. 3.11: Shigeru Ban Architects, Beratung Frei Otto: Japanischer Pavillon, Expo 2000, Hannover. Das Material bestimmt die Form: eine gewellte, gitternetzartige Tonnenschale aus Pappröhren, Karton und Papier [vgl. Flagge und Schneider]



Abb. 3.12: Doppelgekrümmte Flächentragwerke: Die von Schlaich und Schöber vor etwa 10 Jahren entwickelten Translationsnetzschalen (TNS) knüpfen an die Palmenhäuser des 18. und 19. Jahrhunderts an. Die TNS bestehen aus ebenen, verglasten Vierecksmaschen, die mit Seil-diagonalen ausgesteift sind.

man bspw. Intelligenz mit in Betracht, muss auch die Künstliche Intelligenz (KI) beurteilt werden. Nachfolgend soll eine Abgrenzung vorgenommen werden.

Kreativität wird allgemein als „die Fähigkeit intelligenter Lebewesen, neue und unübliche Kombinationen für bestehende und neue Aufgabenstellungen zu finden“, beschrieben. [Wikipedia] Oder kurz: die Fähigkeit des Menschen zu schöpferischem Denken und Tun. Bei genauer Betrachtung stellt sich heraus, dass Kreativität ein weiteres Feld verschiedener und komplexer Abläufe ist als eine normale Aktivität des Gehirns und des ganzen menschlichen Körpers. Sie ist auch eine grundsätzliche Fähigkeit des menschlichen Seins. (Descartes: „Ich denke, also bin ich.“) Kreativität zeigt sich auf verschiedenen Ebenen, sie kann sich in einer umfassenden Idee oder in einer plötzlichen Erkenntnis (Intuition) auf der Detailebene manifestieren. Der Begriff selbst ist schwer zu fassen. Kreativität⁶⁴ gibt es in einer Vielzahl von Definitionen, die den Begriff unscharf erscheinen lassen und keine allgemein gültige (wissenschaftliche) Definition zulassen. – Das Phänomen Kreativität scheint abhängig von gesellschaftlichen Bedingungen unterschiedlich gesehen zu werden. Nachfolgend soll der Begriff an Beispielen von Hilfsdefinitionen eingegrenzt werden, um schließlich eine Definition für die Domäne der Architekten bzw. den architektonischen Entwurf zu finden.

3.4.1 Definitionen

Die Beantwortung der drei wichtigsten Fragen – Wie wird Kreativität definiert? Wie kommt sie zustande? Und wie wird sie anerkannt? – ist eine Angelegenheit der Gesellschaft, der Kultur, in welcher der Kreative lebt. Kreativität (vom lateinischen *creare* abgeleitet) tauchte ursprünglich fast ausschließlich in der Theologie auf. Die Fähigkeit, etwas erschaffen zu können, sprach man nur dem Schöpfer zu. [Brodbeck 1997] In der Pädagogik bekam der Begriff Kreativität eine Bedeutung, als man in den 1950er Jahren die Intelligenztests zu kritisieren begann, die bis dahin keine

⁶⁴ „Auf einem Symposium über Kreativität wurden teilnehmende Wissenschaftler zum Begriff „creativity“ befragt. Die Antwort war (...): Es wurden nicht weniger als 400 verschiedene Bedeutungen genannt.“ [Brodbeck 1997]

Aussage machten, wie schöpferisch (engl.: creative) ein Mensch sei. „Man hatte bis dahin offensichtlich nicht zwischen erwarteter und unerwarteter, eigenwilliger, ungewöhnlicher Leistung unterschieden.“ [Hentig 1998, S. 15] Damit wird der Gegensatz zu Intelligenz deutlich. Ein Schüler bspw. mit hohem IQ tut, was er soll, der andere, was er will, so Hentig. Demzufolge hat die Forschung den Begriff der Kreativität geprägt, weil es nötig war, zwischen geforderter und eigenwilliger Leistung zu unterscheiden. Guilford⁶⁵ hatte 1950 vermutet, dass alle intellektuellen Fähigkeiten zu kreativen Leistungen beitragen können. Die von Thurstone 1941/43 entwickelten Intelligenztests wurden von Thorndike⁶⁶ noch weiter aufgesplittet. Die verwendeten Definitionen erwarteten, dass Intelligenz nicht befähigen soll, Probleme zu entdecken, aber eine gewisse Schwierigkeit voraussetzt, auf bereits vorhandene Probleme adäquat zu reagieren, was bei der Kreativitätsdefinition fehlt. Während kreatives Verhalten zu *mehreren* guten Lösungen führen soll, wird vom intelligenten Verhalten nur *eine* richtige Lösung verlangt. Abstraktes Denken wiederum wird als ein wichtiger Aspekt von Intelligenz gesehen, der bei der Kreativitätsdefinition *nicht* verlangt wird. [Thorndike 1962] Eine Korrelation zwischen Intelligenz und Kreativität (aus den Tests) konnte nicht festgestellt werden.

Als „Abweichen vom Üblichen“ wurde divergierendes Denken zum Synonym für kreatives Denken. Dabei werden in ihrer alltäglichen Bedeutung Genialität und Kreativität in engem Zusammenhang gesehen. Genialität wird dabei eher in Zusammenhang mit einem hohen Intelligenzquotienten verwendet (Genie), während *Erfinden* und *Entdecken* synonym mit dem Begriff Kreativität gebraucht werden. Während *Erfinden* etwas zuvor nicht Dagewesenes zu erdenken bedeutet, wird unter *Entdecken* verstanden, etwas vorher schon Dagewesenes, aber Unbekanntes, gefunden zu haben. Erfinden und Entdecken sind beides Teilaspekte des kreativen Denkens. – Der Spontaneität, der plötzlich einsetzenden Erkenntnis, auch als Geistesblitz oder „Aha-Erlebnis“ (Bühler, K. 1907) bezeichnet, geht meist eine Phase der Stagnation voraus, die sogenannte Inkubationszeit (s. weiter unten).

⁶⁵ Joy Paul Guilford (1897-1988), US-amerikanischer Psychologe, bekannt durch seine Beiträge zur Intelligenzforschung

⁶⁶ Edward Lee Thorndike, bekannter Psychologe an der Columbia University

Guilford begreift Kreativität als Fähigkeit, die einer Person innewohnt, und nicht als Prozess. Er unterscheidet in konvergierende Operationen, das Fokalisieren der Gedanken auf eine richtige Idee und divergierende Operationen, die in vielen, ganz verschiedenen Ideen zu einem Problemgebiet resultieren. Als Faktoren und Phasen der Kreativität werden gesehen:

- Flüssigkeit in der Ideenproduktion, dazu fünf Faktoren:
 - figurale Flüssigkeit
 - Wortflüssigkeit
 - Ideenflüssigkeit
 - Assoziationsflüssigkeit, Gedanken oder andere Inhalte rasch miteinander verbinden
 - Expressionsfähigkeit, die angemessene Ausdrucksform finden
- Flexibilität, Wendigkeit im Denken, Vorhandenes zu etwas Neuem umzustrukturieren, dazu zwei Gruppen:
 - spontane Flexibilität, sich aus Gegebenheiten umzustrukturieren, etwas Neues zu finden
 - adaptive Flexibilität (Originalität), in notwendigen Situationen bestimmte Anweisungen befolgen zu können
- Originalität, ist die adaptive Flexibilität ungewöhnliche Lösungsansätze zu finden. Nach Rausch werden drei Arten unterschieden [vgl. Schönplflug 1989]:
 - Eine Lösung ist völlig neu (niemand hatte zuvor die gleiche Erkenntnis)
 - Eine Person hat für sich (ohne fremdes Vorbild) eine Lösung neu entdeckt
 - Eine Person hat eine ihr früher geläufige (aber zwischenzeitlich vergessene) Lösung wieder entdeckt
- Elaboration, sorgfältige Planung bestimmter Vorhaben, die Fähigkeit etwas sorgfältig ausarbeiten zu können [vgl. Guilford 1957]
- Bewertungsfähigkeit, betrachtet Guilford als wichtig für die Produktion

Nach Hilgard ist das Finden von Problemen ebenso wichtig wie das Finden von Lösungen. Das selbstständige Entdecken des Problems ist ein Aspekt, der kreatives Denken

vor bloßem Problemlösen auszeichnet. [vgl. Hilgard 1959, zit. nach Ulmann⁶⁷ 1968]

3.4.2 Phasen der Kreativität

Eine bis heute im Wesentlichen beibehaltene Analyse stammt von Poincaré (1913) [vgl. Ulmann], er unterscheidet vier Stufen:

- Die Vorbereitungsphase – Problem selbstständig erkennen, entdecken. Motivation als wichtige Triebfeder.
- Die Inkubationsphase – auch Frustrationsphase genannt, hier kann nicht mehr produktiv gedacht werden.
- Die Erleuchtung – auch als Illumination bezeichnet, die überraschende Lösung, die einen ereilen kann, während man andere Dinge tut oder sogar schläft.
- Die Verifikation – feststellen, ob das Produkt den Kriterien der Neuigkeit, Richtigkeit und Brauchbarkeit genügt.

3.4.3 Abgrenzung von KI

Natürliche Intelligenz zeichnet sich durch die sorgfältige Auswahl individueller Ziele aus. Dieser Auswahlprozess erfolgt durch Reflexion, wobei man die Qualität der Ziele von der Sinnhaftigkeit des eigenen Empfindens abhängig macht. Computern oder KI-Systemen fehlt nach wie vor diese Form einer perspektivischen Entwicklungsmöglichkeit. Sie arbeiten reflexionslos, ohne Frage nach Ursache und Sinn. [Dengel⁶⁸ 2005]

Die KI unterscheidet sich von der klassischen Informatik durch die Betonung von Wahrnehmung, Schlussfolgern und Handeln und unterscheidet sich von der Psychologie durch die Betonung des Aspekts der Berechnung. [Dengel 2005] Im CAAD-Forschungsbereich bewerten Gero, Gauchel u. a. ihre Arbeiten der KI als zugehörig. [Junge]

⁶⁷ Gisela Ulmann fasste 1968 die englischsprachige Literatur zur Kreativitätstheorie, wie sie aus Anlass des „Sputnik-Schocks“ entwickelt wurde, zusammen.

⁶⁸ Dr. Andreas Dengel ist Professor am Deutschen Forschungsinstitut für Künstliche Intelligenz, DFKI, Leiter des Forschungsbereichs Wissensmanagement.

3.4.4 Kreativität in der Domäne Architektur

Unter den vielen Kreativitätsdefinitionen finden sich die beiden Elemente *Neuheit* und *Wert* wieder. Wobei sich die Frage stellt: neu oder wertvoll *für wen?* Folgt man Brodbeck, dann kann man von Kreativität auch sprechen, wenn man für sich selbst etwas Neues entdeckt oder ausprobiert. „Die Kreativität ist – wenn auch sicherlich nach Art und Inhalt sehr stark differenziert – bei allen Menschen vorhanden.“

Bezogen auf die Domäne der Architekten, lautet die Frage: Sind nur die fünf großen „tonangebenden“ Architekten (die „Corbusiers“ von heute) kreativ, weil sie etwas Neues schaffen? Ist nicht mehr oder weniger jeder Architekt kreativ, auch wenn er nur für sich Neues schafft? Muss nicht, nach Schönplugs Originalitätsunterscheidung, eher eine Kreativitätsskala vorstellbar sein, wonach es viele Zwischenstufen von „völlig neu“ bis „für sich zwischenzeitlich vergessene, nun wiederentdeckte Lösung“ unterschieden werden? Ist nicht ein Architekt „Müller/Schulze“, der ein Einfamilienhaus baut, auch – wenn auch weniger – kreativ? Sind nicht, nach allen zuvor aufgeführten „Hilfsdefinitionen“, auch Lösungen als kreativ zu betrachten, die aus verschiedenen Teilaspekten etwas „annähernd“ Neues schaffen? Wenn das bejaht werden kann, dann sind nicht nur alle Architekten als mehr oder weniger kreativ zu bewerten, sondern auch Computerprogramme, die Erkenntnisse der „Künstlichen Intelligenz“ (KI) anwenden (s. 4.7)

Ich glaube, dass der Architekt beide Momente in sich vereinen muss: auf der einen Seite die Lust an der Entdeckung, an der Grenze, an der Weigerung, die Dinge so hinzunehmen, wie sie sich bieten; auf der anderen Seite eine tiefempfundene, nicht bloß beteuerte, Dankbarkeit gegenüber Geschichte und Natur, den beiden nicht zu umgehenden Kontexten seiner Arbeit. [Piano 1997, S. 258]

3.5 Die Macht der Intuition

Schon Einstein hat die „göttliche“ Gabe der Intuition über die treuen Dienste des Verstandes gestellt. „Der intuitive Geist ist ein heiliges Geschenk und der rationale Geist ein treuer Diener. Wir haben eine Gesellschaft erschaffen, die den Diener ehrt und das Geschenk vergessen hat.“

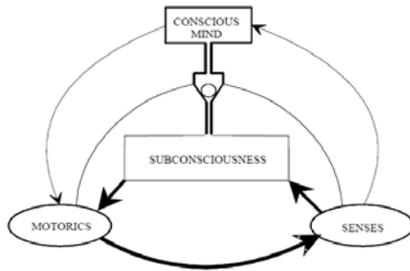


Abb. 3.13: An engineering model of human information processing and communications.
Das Unterbewusstsein hat ein größeres (längeres) Gedächtnis, und der Informationskreislauf ist viel schneller als beim bewussten Verstand [see Heikkilä et al. 1996, Tuomala 1996, vgl. Haapasalo, S. 70, eigene Übersetzung].

3.5.1 Der unbewusste Einfluss

Der Mensch bewertet sämtliche Eindrücke (senses), die auf ihn einwirken, danach, ob er sie mag oder nicht. Die Kriterien, nach denen er urteilt, sind seinem Bewusstsein meist unbekannt, „oft laufen sie diesem sogar direkt zuwider“. Zwischen unbewusstem Urteil (aus dem subconsciousness) und Handlung liegt dann meist nur noch ein kurzer Weg. Denn das Unterbewusstsein hat einen direkten Kanal, der in die motorischen Steuerzentren des Gehirns führt. So wie die Körpersprache mitunter eine andere (ehrlichere) Sprache spricht als das verstandesgesteuerte Wort. Hier spielen Emotionen eine wichtige Rolle. [vgl. Haapasalo, S. 70 f]

3.5.2 Intuition und Emotionen versus Verstand

Emotionen wirken sich auf unser Handeln und Denken aus. Sie beziehen ihr Wissen aus intuitiv gefällten Entscheidungen. Heutige Forscher glauben inzwischen, dass die Intuition einen „erstaunlichen“ Fundus impliziten (unbewussten) Wissens über unsere Welt aufweist. [vgl. Gigerenzer, S. 163] Folgt man Damasio, dann sind Gefühle für Rationalität unerlässlich, sie geben uns beim Denken die Richtung an.

Da die Welt kaum überschaubare Wahlmöglichkeiten besitzt, sendet der emotionale Erfahrungsspeicher, den wir im Laufe des Lebens erworben haben, Signale aus, um für uns die Entscheidung zu vereinfachen, indem er von vornherein gewisse Optionen ausschließt und andere hervorhebt. Emotionen besitzen demnach eine Intelligenz, die in praktischen Fragen von großem Gewicht ist. Im Wechselspiel von Gefühl und Rationalität lenkt das emotionale „Wissen“ unsere aktuellen Entscheidungen. Denken geschieht also nie ohne Beteiligung von Gefühlen, denn reine kognitive Botschaften sind gar nicht möglich, da sie weder Relevanz bilden, noch Aufmerksamkeit wecken können. Solange Botschaften, die sich an den Verstand richten, selbst wenn sie mehrere hundert Mal wiederholt werden, keinen emotionalen Eindruck, keinen „affektiven Stempel“ (Imprint) hinterlassen, werden sie nicht beachtet. Dies gilt vice versa auch für Emotionen, die stets an die Kognitionen gebunden sind.“ [Langenbach 2004]

Für Plesser steht fest: „Die Intuition arbeitet messerscharf, der Verstand ist schwach.“ [Plesser S. 162] (s. auch unten 3.7.3)

3.6 Entwurfsmentalitäten

Es gibt zwei Entwurfsmentalitäten, die sich einander bedingen: Ratio (Kopf) versus Gefühl (Intuition), auch als das vielzitierte „Bauchgefühl“ bezeichnet. Je nach Aufgabengebiet scheint die eine Methode zu überwiegen, auch wird behauptet [Schmitt], dass diejenigen, bei denen die intuitive Herangehensweise verstärkt vorkommt, eher unter den erfahrenen Architekten zu finden seien. – Diese Aussage kann m. E. so nicht aufrechterhalten werden. Diese „scheinbare“ Intuition täuscht, weil die routinierten Architekten auf ihr großes „verborgenes Wissen“ aus dem kognitiven Bereich zurückgreifen können, was bspw. dem jungen Architekturstudenten (noch) fehlt.

Dazu ein Interview mit Architekt Prof. Dieter Patschan vom 29.03.02:

Autor: Was geht vor, wenn jemand, im speziellen Fall ein Architekt, etwas entwirft? Geschieht etwas aus dem „Bauch heraus“ oder wird es vom Kopf gesteuert? Kann man sich hinsetzen und einfach entwerfen, quasi auf Kommando?

Patschan: Ja, man kann sich zwingen und jederzeit entwerfen! Es muss ein gewisser Leidensdruck aufgebaut werden, der einen zwingt, die gesteckten Ziele (Kriterien), die beim Entwurf vorgegeben wurden und auch selbst gegeben wurden, zu verarbeiten (Kopf) und im Bauch zusammenzuführen, um es schließlich aufs Papier zu bringen.

Meinen Studenten stelle ich Aufgaben, die innerhalb von 40 Minuten gelöst und anschließend besprochen werden sollen. Beispiel: „Entwerfen Sie ein auf Ihre Person zugeschnittenes Logo (vgl. Deutsche Bank ...). Sie haben dazu 20 Minuten Zeit.“

„Es gibt kaum Schöpfungen aus dem Nichts. Die meisten Ideen verändern Vorhandenes, formen es neu, erneuern Teile, stoßen alte Lösungen um und machen das Gewohnte fragwürdig“, schreibt der Brockhaus.

Pablo Picassos „Der Stierkopf“ aus dem Jahr 1942 gilt als eines der beeindruckendsten Werke, die der spanische Maler nach dem surrealistischen Verfahren des „Objet trouvé“ kreiert hat.



Abb. 3.14: Pablo Picasso, „Der Stierkopf“, 1942 [Traufetter] Intuition kann überall und jederzeit ereilen.

„Eines Tages fand ich unter altem Kram einen Fahrradsattel und daneben eine verrostete Lenkstange. Blitzschnell sind in meiner Vorstellung beide Teile zusammengewachsen“, erklärt der Künstler. Aus diesen Alltagsgegenständen formte er – „ohne Nachdenken“ – den abstrakten Tierkopf. [Traufetter 2006, S. 170; Mitchell, W. J., 1992, S. 204]



Abb. 3.15: Antonio Gaudí: *Sagrada Família*, begonnen 1882. Gaudí arbeitete über 40 Jahre an dem Bau und widmete die letzten 15 Jahre ausschließlich diesem Bauwerk. Auf die Unmöglichkeit einer baldigen Fertigstellung angesprochen, antwortete Gaudí humorvoll: „Mein Kunde hat keine Eile.“ [Wikipedia]



Abb. 3.16: Rudolf Steiner: *Das zweite Goetheanum*, 1924-1928. „Von Weitem eine architektonische Skulptur: das Goetheanum im Frühling“ [www.goetheanum.org] „Rudolf Steiner fertigte für das zweite Goetheanum ein Außenmodell an, das Grundlage für die Baueingabepläne war.“ [Wikipedia]

Der erste Schritt fängt demnach mit Denken (Gehirn) statt. In dieser *konzeptionellen* Phase muss sich die Idee entwickeln, was man denn entwerfen will. Gesucht werden Grundsätze, bezogen auf die Art, wie etwas gedacht ist; das Augenmerk ist zunächst auf das *Sein* und noch nicht auf den *Schein* gerichtet. Erst die *perzeptionelle* Phase bezieht sich auf die optische Aussage, wie etwas aussehen soll, wie die Erscheinung sein soll. – Entwerfen ist immer auch ein intuitiver Akt. Dabei wird das Intuitive in der Reflexion kognitiv bearbeitet. Der kognitive Apparat, den das schon zitierte Bauchgefühl widerspiegelt, wird dazu benutzt, die Intuition im Nachhinein zu reflektieren (auf seinen „Bauch“ hören).

Entwerfen ist also ein Prozess, der auf ganz verschiedenen Ebenen immer wieder die Balance zwischen analytischem und intuitivem Denken sucht. Innerhalb dieses Prozesses entsteht Gestalt als Produkt der strukturellen Überlagerung unterschiedlicher Systemüberlegungen: Baukonstruktion, Funktion, Kontext, Erschließung, Statik, technische Gebäudeausrüstung usw. [vgl. TU-Darmstadt⁶⁹]

So gesehen gibt es keinen ausgesprochenen „Kopf“- oder „Bauch“-Typ als Architekten, wenngleich Neigungen in die eine oder andere Richtung sichtbar sind. Bei einer Kirche, einem Kunstmuseum oder einem Opernhaus, die eine starke, ausdrucksvolle, eher expressive Form erwarten lassen, wird offensichtlich die Intuition eine größere Rolle spielen als bei Fabrikgebäuden, Großkliniken oder Behördenbauten. Zweifellos aber muss bei beiden mit dem „Kopf“ die äußere Form mit den übrigen Anforderungen in Einklang gebracht werden.

3.6.1 Der überwiegend „aus dem Bauch heraus“ entwickelte Entwurf

Der Bauchtypus ist der *emotionale Typ*, ihn kennzeichnet emotionales Verhalten und Besessenheit, er zeichnet sich als Querkopf aus und ist gerne auch Autodidakt (Gaudí⁷⁰,

⁶⁹ http://www.architektur.tu-darmstadt.de/forschung/fachgruppe_d/302,1513.fb15 (download 22.05.2006)

⁷⁰ *Sagrada Família*: „Mit zunehmendem Fortschritt am Bau zeigten sich immer phantastischere Elemente, von spindelartigen Türmen und Zusammenstellungen wie bei einer Sandburg, deren Dächer gekrönt sind von geometrischen Formen, die vom Kubismus beeinflusst scheinen (diese wurden etwa 1920 errichtet). Überall finden sich

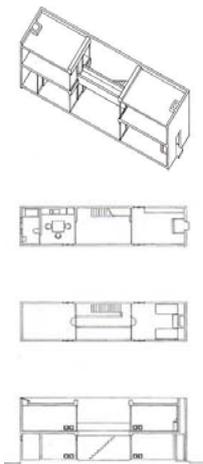


Abb. 3.17: Tadao Ando: Row house, Sumiyoshi, Osaka, Japan 1975-1976.

[Bilder:

<http://www.geocities.com/arquiuel/ando/andorw.html>]

„Seine ersten Versuche bestanden sowohl aus kleinen Häusern als auch Stadtplanungsprojekten. Row house Sumiyoshi ist wohl die überzeugendste Botschaft, das soziale Bewusstsein für ein urbanes Leben im Einklang mit der Natur zu schärfen.“ [Auszug aus der Einladung zu Andos Vortrag über „Potenzielle Architektur“, 2005 in Basel, www.burckhardtpartner.ch/aktuell/presse.php, 29.04.2006] Auch wenn seine Architektur klaren Geometrien folgt, so zeichnen sich Andos Arbeiten doch durch radikale neue Ideen, wie hier ein „Reihenhaus“, aus, die neben einer erhabenen Eleganz dennoch Bescheidenheit ausdrücken.

Steiner⁷¹, Le Corbusier⁷², Tadao Ando⁷³ Behnisch, Scharoun). Er läßt sich von Gefühlen leiten und will dies auch zum Ausdruck bringen. Klassische Vertreter dieses Typs sind in der Malerei bspw. die Romantiker und die Expressionisten, die die Auffassung vertraten, ihre Gefühle zum Ausdruck bringen und den Verstand zurückhalten zu müssen. – Um ebenso agieren zu können, braucht der Architekt einen großen Fundus an verborgenem Wissen⁷⁴, da Architektur im Unterschied zur Malerei i. d. R. den elementaren menschlichen Bedürfnissen Rechnung tragen muss, wie Schutz bieten, beherbergen, orientieren, aber auch ökonomischen, ökologischen etc. Belangen.

Ein praktisches Beispiel für eine ausgeprägte intuitive Entwurfsmethode beschreibt Aalto von seinem 1948 entworfene

komplexe Verzierungen und dekorative Elemente, die vom Jugendstil beeinflusst scheinen.

[http://de.wikipedia.org/wiki/Sagrada_Fam%C3%ADlia, 28.04.2006]

⁷¹ Rudolf Steiner: „Beim zweiten Goetheanum finden wir nun die Gestalt des ganzen Baues von dieser Bewegung ergriffen. Im Osten gleicht er einem verschlossenen Kubus, der aber, je weiter er sich nach Westen erstreckt, immer bewegter und dynamischer wird. Es schiene im Osten des Baues im Inneren verborgen etwas zu entstehen, was im Westen seine Offenbarung und Verwirklichung hinaus in die Welt fände. So brängen sich in diesem Bau zwei polare Weltenkräfte zum Ausdruck. Die eine sei in sich verschlossen, verberge etwas in sich, tendiere in die Schwere (Osten), die andere wende sich nach außen, teile sich mit und tendiere in die Leichte (Westen). Doch zeige sich in diesem Bau noch eine dritte Kraft, welche die ersten beiden ergreift und verbindet. Sie führt diese in eine gesteigerte Bewegung.“

[<http://de.wikipedia.org/wiki/Goetheanum>, 28. 04. 2006]

⁷² Le Corbusier: „Im Jahr 1900 beginnt er eine Lehre zum Graveur und Ziseleur in der Kunstgewerbeschule École d'Art in La Chaux-de-Fonds. Unter dem Einfluss seines Lehrers Charles L'Éplattenier wendet er sich der Malerei und der Architektur zu, wobei er zunächst mehr dem ersteren zuneigt. Künstlerisch ist er zu dieser Zeit stark von der Arts-and-Crafts-Bewegung und Art nouveau beeinflusst.“

[http://de.wikipedia.org/wiki/Le_Corbusier, 29.04.2006]

⁷³ Tadao Ando: „In den Sechzigern beschloss Ando, auf seine eigene autodidaktische Reise zu gehen, um die Gebäude der westlichen Welt zu besuchen. Diese Reise war für ihn auch eine Reise in sein Inneres und veranlasste ihn dazu, die traditionellen japanischen Wurzeln der Architektur in Verbindung mit den aufstrebenden modernen Architekturbewegungen zu betrachten. Er kehrte nach Japan zurück und eröffnete 1969 unverzüglich sein eigenes Büro.“

[www.burckhardtpartner.ch/aktuell/presse.php, 29.04.2006]

⁷⁴ Mit verborgenem Wissen sind jene Muster und internen Handlungsanweisungen gemeint, die Entwerfer parat haben, wenn sie mit Entwurfsituationen konfrontiert werden. Verborgenes deshalb, weil Fachexperten über diese oft im Unterbewusstsein ablaufenden Prozesse meist keine erschöpfende Auskunft geben können. [vgl. Liebich, S. 60]

nen Viipuri city library, für dessen Durchführung er über fünf Jahre Zeit verfügte:

I spent long periods getting my range, as it were, through naive drawings. I drew all kinds of fantastic mountain landscapes, with slopes lit by many suns in different positions, which gradually gave birth to the main idea of the library building. (...) My childlike drawings were only linked very indirectly with the architectural idea, but in any case they led to an interweaving of the section and the plan shape, and to a kind of unity of horizontal and vertical construction. [Aalto 1948, zit. nach Haapasalo, S. 45 f]



Abb. 3.18: „Kritzeln, Überzeichnen, Ornamente aneinander reihen gehören zum beiläufigen Zeichnen. Während des Telefonierens, Wartens kommt es häufig vor, dass wir gedankenlos vor uns hinkritzeln.“ [Jenny 1999, S. 31]

Jeder Mensch handelt auch intuitiv, „aus dem Bauch heraus“, wenn er es auch ungern zugibt und lieber nach einer Erklärung (nach außen) für seinen „Einfall“ sucht. Erst seit den 1980er und 1990er Jahren befassen sich Wissenschaftler zunehmend mit „Intuition“, die sie lange Zeit nur als „impliziten“, „automatischen“ oder „prozeduralen“ Vorgang im Kopf verstehen wollten. Neue Experimente im Kernspintomografen beginnen Erkenntnisse über das Funktionieren unseres Gehirns herauszufinden. (s. auch „Zusammenfassung“) Klar wird, dass selbst auf den passiven (nur dahindösenden) Menschen pro Sekunde elf Millionen Sinneseindrücke einprasseln. Die Verarbeitung, das Filtern, was ist wichtig und was nicht, wird vom Unterbewusstsein automatisch vorgenommen. In kritischen Situationen im Alltag kann es, ohne vorher logisch gedacht zu haben, zu spontanen Entschlüssen oder Reaktionen kommen, die oft selber nicht wahrgenommen werden, weil intuitives Handeln als irrational und überflüssig abgetan wird. [vgl. Regine Steude⁷⁵]

Der von Architekten oft zitierte Bauch, aus dem heraus der zündende Einfall kommt, bei dem sich beim Entwerfer schlagartig, eingebungsartig Sachverhalte klären, Strukturen erkannt, Zusammenhänge aufgedeckt werden und es zu neuartigen Lösungswegen kommt, ist mit *Intuition* gleichzusetzen. Architekten wie Eisenman (s. Abb. 3.50, Abb. 3.51, Abb. 3.52), Moss (Abb. 3.5, Abb. 5.53), die dieser Methode anhängen, können in ihrer Entwurfsphase mit heutigen am Markt befindlichen Computerprogrammen⁷⁶ nur begrenzt unterstützt werden, da ihre Intuition nichtvorhandenem Neuem folgt. Anders, wenn die Intuition

⁷⁵ Regine Steude
[<http://www.infoquelle.de/Management/Kreativitaet/Intuition.cfm>,
infoquelle.de 1999-2002, Stand vom 24.04.2006]

⁷⁶ sog. Hybride Modelle: durch grafisch-digitale Annäherungen

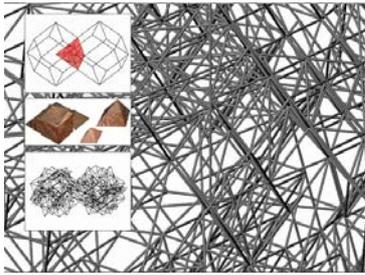


Abb. 3.21: Veronoi-based Foams sind dreidimensionale Veronoi Diagrams, sie lassen sich im Computer gemäß Bottom-Up-Methode erstellen, die dann wieder nach Drop-Down-Manier „gestört“ werden können, wie mit Seifenblasen.

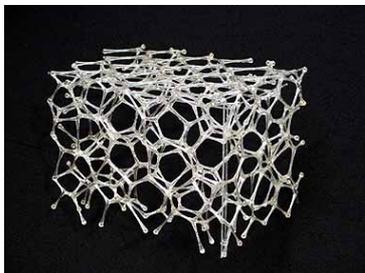


Abb. 3.22: Beijing National Swimming Centre, (PTW/ARUP/China State Construction Engineering Co.)
Angewandte 3D Voronoi-tessellation (mit theoretisch nur drei verschiedenen Knoten und vier verschiedenen Stablängen)

durch Zufallsstrukturen entfaltet werden kann. Hier liefern 2D-Computerprogramme (Fraktale, Transformationsprozesse) oder volumenorientierte 3D-Programme (vgl. Abb. 3.21 u. Abb. 3.22) amorphe oder mehr oder weniger zufällige Strukturen⁷⁷, die dem Entwerfer Anreize geben, Formen zu erkennen, die einer Entwurfslösung zugrunde gelegt werden können. So wie „Gekritzelttes“ auf dem Papier (Abb. 3.18) oder die Fotokopie eines entknüllten Papiers zufällige oder auch manipulierte Strukturen liefern, die Anreize zu spontanen Entwürfen liefern können. In solchen Fällen wird der Computer in Bezug auf objektorientierte Entwurfsunterstützung, die ein GM ermöglichen könnte, vergleichsweise als „dummes“, wenn auch dreidimensionales, mathematisches Zeichenbrett genutzt. Ähnlich einem Faxgerät (Text wird nicht als Text erkannt, sondern als unterschiedliche Anhäufung von Pixeln), lassen solche Daten keinerlei digitale Weiterverarbeitung zu. Die Kognition wird ganz der Interpretation des menschlichen Betrachters überlassen. Siehe dazu auch Eisenman unter Abb. 3.50, Abb. 3.52, Abb. 3.51, der diese Technik für sich verfeinert hat.

Ein anderes Beispiel hierfür zeigt das für die Olympiade 2008 im Bau befindliche National Swimming Centre in Beijing (vgl. Abb. 3.22, Abb. 3.21, Abb. 4.6 u. Abb. 4.7). Fischer versucht, mit dem Programm Surface Evolver⁷⁸ unregelmäßige *Dodecahedral Frames* in „dry foam“-Strukturen – er nennt sie Veronoi-based Foams⁷⁹ – umzuwandeln. Mit Veronoi-based Foams lässt sich unter bestimmten Bedingungen eine dreidimensionale Zufallsstruktur erzeugen, die zusätzlich auch die Anzahl der Knoten und Längen der Stäbe optimiert. [vgl. Fischer 2005, S. 229 f]

⁷⁷ Auf die Frage, ob sein Entwurf für das Max-Reinhardt-Haus in Berlin vollständig mit dem Computer geschaffen wurde, äußerte Peter Eisenman: „... ich habe es [den Entwurf – Anm. d. Verf.] mir nicht vorstellen können. Wir können doch nur das zeichnen, was wir wissen. Ein Computer aber ist fähig, etwas Neues zu schaffen. (...) Er kann – und daher hat dieser Entwurf eine ganz mystische Qualität – etwas zeichnen, was wir vorher nicht gekannt haben.“ [Eisenman 1993, zit. nach Liebich 1993, S. 67]

⁷⁸ Brakke, K. 2004. Surface Evolver v. 2.23b
URL: <http://www.susqu.edu/facestaff/b/brakke/evolver/>; 2. Febr. 2004

⁷⁹ Veronoi-Diagramme, benannt nach dem russischen Mathematiker Georgi Voronoi, beschreiben eine Methode, nach der eine Fläche komplett mit Polygonen gefüllt werden kann, wobei allen Punkten der Polygonfläche gemein ist, dass sie am nächsten zu dem Messpunkt liegen, der zentral in diesem Polygon liegt. [Wikipedia]

3.6.2 Der „kopfbetonte“ Entwurf

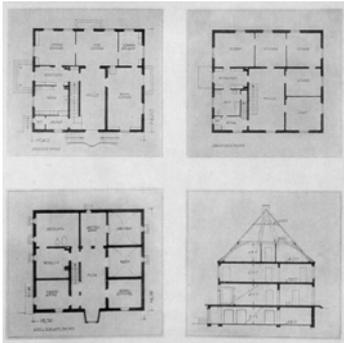


Abb. 3.23: Paul Schmitthenner, Villa für die Fabrikantenfamilie Roser, 1925/26. Ein typisches großbürgerliches „Schmitthennerhaus“. Der Grundriss besitzt die für Schmitthenner charakteristische geschlossene Form. [Taschen Architektur Theorie, S. 748]

Ein Architekt, dessen Architektur man als rational bezeichnet, beschäftigt sich eher mit der Gesamtkomposition oder besonderen Techniken (Modul-Raster, Typologien, Proportionen). Im Vergleich zum Bauchtyp ist er der Theoretiker unter den beiden. Die Vorgehensweise entspricht der alter Traditionen, den Dombauschulen. Typische Vertreter in der Vergangenheit waren Palladio, Brunelleschi, Michelangelo. Nach den 1968er Jahren haben u. a. Rossi, Grassi, Reichlin, Reinhard, Kleihues, Ungers eine „Rationale Architekturströmung“ begründet, die die Baukunst als objektive Wissenschaft, also auf Logik und Gesetzmäßigkeit beruhend, begreift. – Wenngleich zu der Zeit die CAAD-Systeme noch nicht so weit entwickelt waren, haben spätere wissenschaftliche Studien von Flemming (Queen Anne Houses), Stiny und Mitchell (über Palladio) eindrucksvoll nachgewiesen, wie die rationale, auf Formgrammatiken aufgebaute Vorgehensweise im Entwurf, besonders mit objektorientierten CAAD-Systemen unterstützt werden kann. (s. 5.3)

3.7 Entwerfen



Abb. 3.24: Kleihues + Kleihues, Wohn- und Geschäftshaus Leipziger Platz, Berlin 1998-2001. Sichtbare Rationalität

Nachfolgend werden Besonderheiten gezeigt, wie ein kreativer, intuitiver, zum Teil im Unterbewussten sich entwickelnder Entwurf entstehen kann. Diese Erkenntnisse haben, wie sich anschließend (unter 5.8 ff) herausstellen wird, erheblichen Einfluss auf die Interaktionen (und Akzeptanz) von CAAD-Systemen in den frühen Phasen des Entwurfs.

Entwerfen ist ein Hilfsmittel zur Entfaltung unserer Kreativität. Glanville sieht Zirkulation als den zentralen Akt des Entwerfens an, wodurch Kreativität „ins Spiel“ kommt. Er unterscheidet dabei klar zwischen dem *Akt des Entwerfens* von dem *Lösen gestellter Probleme*; so wichtig sie auch sein mögen, er sieht darin eine andere Disziplin. Gero „sees the early phases of design as a continuous chain of drawing and observing. The designer sees the current form of a picture, makes some adjustments, sees the effects of modifications and gets new visual information.“ [Gero 1985]

Design-als-Konversation ist vertraut, vom Gekritzeln auf der Rückseite eines Umschlags an aufwärts. Ich glaube, der Wert des Gekritzels liegt

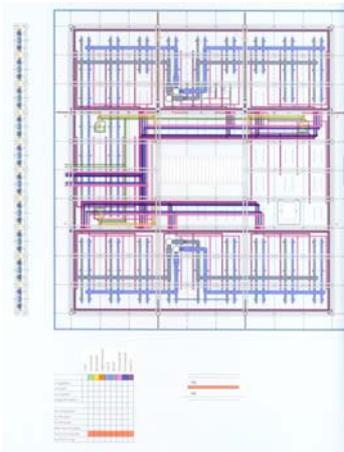


Abb. 3.25: Fritz Haller, MIDI-ARMILLA, ab 1962

Funktionsgeprägter Entwurf: Formstückplan des Deckenhohlraums über dem Erdgeschoss
Zu Beginn der 1960er Jahre als „flexibles“ und „variables“ wandelbares Gebäude der Zukunft postuliert. Während der Entwicklung des Systems entstand das „computergestützte, hochdifferenzierte“ Platzierungswerkzeug ARMILLA, an dem noch heute weitere Forschungen vorgenommen werden. (s. 8.1) [vgl. Nerding 2003]

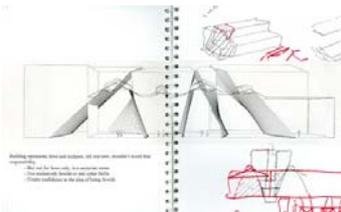


Abb. 3.26: Eric Owen Moss:
Jewish Museum Project,
San Francisco, California, 1997
<http://www.ericowenmoss.com>
Hybridbilder:
Computerausdrucke werden
überlagert mit Skizzen

in dem Moment der Kreativität, der den Enthusiasmus des Kritikers, seinen persönlichen Forschungsdrang und sein Engagement anfeuert. Kreativität ist auch anderswo zu finden. Aber dieser zirkuläre Prozeß ist sicher einer, in dem Neuheit ein kennzeichnendes Merkmal von Design [gemeint ist Entwerfen] und so typisch für Kreativität generiert werden kann, ob diese Neuheit nun global ist oder nur für die entwerfende Person in diesem Augenblick besteht. [Glanville 1999]

3.7.1 Ein üblicher Entwurfsablauf

Kreativität, als Grundvoraussetzung schöpferischer Leistungen, verlangt nach einer notwendigen Motivation. Diese versetzt den Architekten durch hervorgerufene kognitive Prozesse in eine aktive, von eigenen Entscheidungsvorgängen getragene Rolle.

Ein Entwurf verläuft in verschiedenen Phasen. „Zuerst werden viele Ideen gesammelt, bis zu einem gewissen Grad weiterverfolgt, geändert, neue Ideen kommen dazu usw. In dieser Phase werden verschiedene Varianten entworfen und verworfen. Diese Ideen sind bewußt vorläufig, nicht festgelegt, nicht perfekt ausgearbeitet. Dies ist – im ‚klassischen Vorgehen‘ – die Phase der Handskizze.“ Die Handskizze ist ein flüchtiges Medium, sie kann spontan entstehen, ohne großes Equipment. Sie entspricht damit dem vorläufigen Charakter der Varianten; sie dokumentiert und unterstützt ein sukzessives Herantasten, ein tentatives Vorgehen.“ [Bolte, 1998, S. 367]

Diese ersten Vorstellungen über Form, Gestalt und Funktion seines zu schaffenden Werkes sind ungenau, vage, lassen viel Spielraum zur Interpretation und besitzen eine typische, persönliche Handschrift des Architekten. Diese „noch“ ungenaue, unmaßstäbliche Skizze ist das, was der Architekt benötigt, um quasi eine Momentaufnahme seiner Gedanken „zu Papier“ zu bringen, um so zur Entlastung seines Gehirns und gleichzeitig zur Stimulans seiner Kreativität beizutragen. Durch Addition von Elementen, durch mehrfaches Überzeichnen von Konturen soll schließlich die „gewünschte“ Kontur gefunden werden. Dabei werden gleichzeitig die Sinne angereizt, weiter zu „forschen“. Perspektivische Skizzen, kleine Modelle überprüfen und ergänzen die Vorstellungen. Seit Einführung des Computers in den Architekturbüros werden auch computergenerierte Bilder oder komplexe computergenerierte Modelle als Grundlage für weitere Entwurfsarbeit (per

Hand) genutzt. (Abb. 3.26) Sichtbar wird, „mit Zeichnen hat man mehr Freiheiten“ (im Vergleich zur rigiden Bedienung heutiger CAAD-Systeme).

Aalto beschreibt den Entwurfsablauf selbst so:

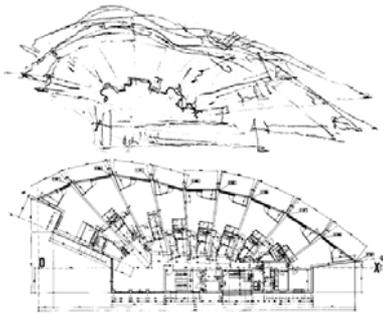


Abb. 3.27: A sketch and final plan made by Alvar Aalto [Lehti & Ristola 1990] The forms existing in the picture represent the current idea and are directing at becoming solutions and dimensions. The development of the design is, according to Dick (1985), a conversation or communication of subconsciousness and design. The interpreting forms of design are important both conceptually and in the abstract. [Gero 1985, zit. nach Haapasala, S. 81]

When I personally have to solve some architectural problem, I am constantly almost without exception, indeed – faced with an obstacle difficult to surmount, a kind of courage de trois heures du matin (three in the morning feeling). The reason seems to be the complicated, heavy burden represented by the fact that architectural design operates with innumerable elements, which often conflict. Social, human, economic and technical demands combined with psychological questions affecting both the individual and the group, together with the movements of human masses and individuals, and internal frictions – all these form a complex tangle which cannot be unravelled in a rational or mechanical way. The immense number of different demands and component problems constitute a barrier from behind which it is difficult for the basic architectural idea to emerge. I then proceed as follows – though not intentionally. I forget the entire mass of problems for a while, after the atmosphere of the job and the innumerable different requirements have sunk into my subconscious. I then move on to a method of working which is very much like abstract art. I just draw by instinct, not architectural syntheses, but what are sometimes childlike compositions, and in this way, on this abstract basis, the main idea gradually takes shape, a kind of universal substance which helps me to bring the innumerable contradictory component problems into harmony. [Aalto 1948, zit. nach Haapasalo 2000, S. 45]

3.7.2 Stimulans der kreativen Kräfte



Abb. 3.28: Buckminster Fuller „Geodesic Dome“
Ein Musterbeispiel, wie „Mathematik als Prüfstein des Machbaren und Quelle der Inspiration“ einander ergänzen und gegenseitig bedingen.

Das Vermögen, entwerfen zu können, räumliche Dimensionen wahrzunehmen, hängt in zunehmendem Maße davon ab, wie der Entwerfer in der Lage ist, die dominante (rationale) linke Hemisphäre aus- und die rechte (intuitive) einzuschalten. „Wir erinnern uns an bestimmte Formen mit der Genauigkeit, die es uns erlaubt, eine exakte Vorstellung von „etwas“ zu haben. Beim Umsetzen auf ein Blatt Papier sehen wir sofort, daß etwas von der Formvorstellung abweicht. Die abweichende Sicht produziert dadurch das annähernde Bild.“ [Jenny 2001] Dazu bedarf es der analysierenden, denkenden „Kopf-Konzentration“. Reize aus der Umwelt werden dabei ausgeblendet. „Man versinkt völlig in die zielgerichtete Gedankenwelt, (...)“ [vgl. Steude⁸⁰]

⁸⁰ <http://www.konzentration.biz>

Hier liegt ein Problem im Zusammenspiel mit der Bedienung heutiger CAAD-Systeme, die diese Gedankenwelt stören oder sogar zerstören. (s. dazu 4.2)

Wie versetzt sich der Entwerfer in diese „zielgerichtete Gedankenwelt? Es gibt verschiedene Methoden, sich in die „richtige“ (Entwurfs-)Stimmung zu bringen; der eine braucht absolute Ruhe, der andere hört die ihn motivierende „schöne“ Musik⁸¹, raucht Zigarre und hat ein Glas Rotwein oder Whiskey (s. Aalto, 3.6.1) dabei. Tatsächlich wird Kreativität Gefühl unterstellt. Gefühle sind Interpretationen zum Verändern, Wahrnehmen und Erkennen von Emotionen. Damasio „Korrektur“ von Descartes Ausspruch „Ich denke, also bin ich“, nämlich „Ich fühle, also bin ich“, stellt *Gefühle* einem Sinnesorgan gleich, mit dessen Hilfe das Gehirn seinen eigenen Körper wahrnimmt. „Das Gehirn lauscht wie ein aufmerksamer Zuschauer ununterbrochen in den Körper hinein und wird von dort pausenlos mit Signalen bombardiert.“ Die Wahrnehmung dieser Signale wird dann als Gefühl empfunden. Wie besonders Musik eine „tief greifende“ Wirkung auf unser Gefühlszentrum ausübt, zeigt, wie „schöne“ Musik diese Bereiche stimuliert, indem sie Weinen, Gänsehaut oder beklemmende Gefühle in der Magengegend auslösen kann. Der Musikwissenschaftler Altenmüller hat nachgewiesen, „dass die als schön empfundenen Klänge für Erregung in der linken Schläfen- und Stirnregion des Großhirns sorgten. Bei unangenehmer Musik feuerten die Neutronen rechts.“ [Bethge, Spiegel 4/2003, S. 57]

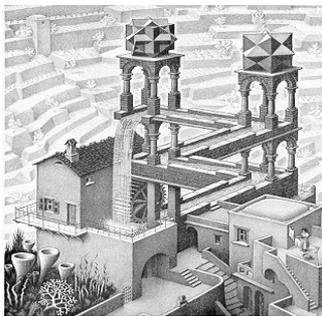


Abb. 3.29: M. C. Escher
Wassermühle, ein unendlicher
Kreislauf

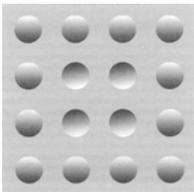


Abb. 3.30: Dreidimensionale Struktur
schattierter Scheiben. Die inneren
Scheiben werden meist als Vertiefung,
die äußeren als Erhebung wahrgenommen.
Durch Drehen des Bildes um
180° kehrt sich die Wahrnehmung um.
Grund dafür ist unsere im Laufe der
Evolution und unseres Lebens
gemachte Erfahrung, dass das Licht
von Oben kommt. [vgl. Gegenfurtner]

D. h., Gefühle sind bei Entscheidungen ausschlaggebend. „Im Hippocampus werden ankommende Sinneswahrnehmungen mit gespeichertem Wissen angereichert. Mit negativen Erlebnissen abgeglichen werden diese abgelehnt, im positiven Fall sorgt das ‚Belohnungszentrum‘ für ein starkes Verlangen. Diese Vorgänge laufen zu einem großen Teil ohne willentliche Kontrolle des Bewusstseins.“ [Traufetter, S. 161]

⁸¹ Die Psychologin Sandra Trehub von der Universität Toronto hat nachgewiesen, dass Musik schon bei Babys stressmindernd wirkt. [Spiegel 4/2003]

3.7.3 Grenzen menschlicher Wahrnehmung

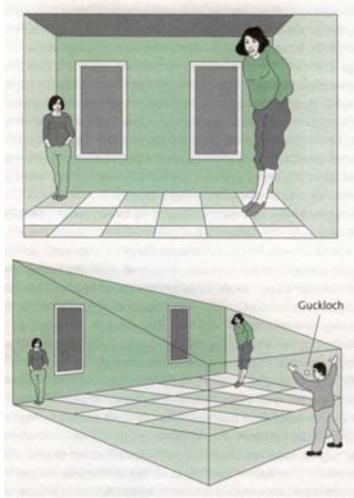


Abb. 3.32: Der schiefe Raum von Ames:
Die beiden Frauen im Bild oben sind in
Wirklichkeit gleich groß, aber der
Abstand vom Betrachter und die Höhe
der Decke sind unterschiedlich.
[Gegenfurtner, S. 9]

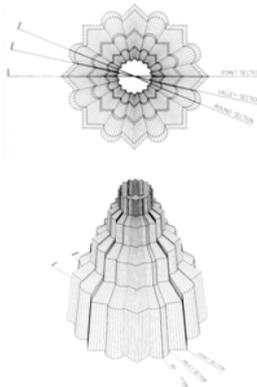


Abb. 3.31: Cesar Pelli: Petronas
Tower, 1996.
Die rechnergestützte Auflösung
komplizierter Geometrien hat
Neuinterpretationen traditioneller
Formen ermöglicht. [Steele 2001]

Unter 3.5.2 wurde dargelegt, wie unser Unterbewusstsein, der emotionale Arbeitsspeicher, eine eigene Intelligenz besitzt, Entscheidungen zu vereinfachen und zu beschleunigen. Um die Datenflut zu bewältigen, die auf unser Gehirn stetig einwirkt, wird diese durch einige Tricks reduziert, was für unsere Wahrnehmung Folgen hinterlässt. „Wie ‚wahr‘ ist die Wahrnehmung?“, titelt Gegenfurtner. „Wegen dieser immensen Reduktion der Datenmenge können wir immer nur einen Bruchteil der uns umgebenden physikalisch messbaren Reize wahrnehmen.“ Dabei werden unserem Gehirn keine physikalischen Messwerte übermittelt, vielmehr weicht unsere Wahrnehmung manchmal mehr manchmal weniger von den Gegebenheiten ab. (Beispiel Temperatur: Messung und „gefühlte“ Temperatur). Hin und wieder kann es auch zu dramatischen Abweichungen kommen, die zu Wahrnehmungstäuschungen führen (Abb. 3.29). Unsere Sinnessysteme streben dabei die wahrscheinlichste und sinnvollste Konstruktion aus den ihnen zur Verfügung stehenden Daten an. „Fehler kommen durch die Reduktion der Datenmenge zustande oder sind durch die Struktur unserer Sinnessysteme bedingt. So wird in unseren Augen die drei-dimensionale Welt auf die zwei-dimensionale Oberfläche der Netzhaut abgebildet. In vielen Fällen ist es daher rein mathematisch unmöglich, die „wahre“ räumliche Welt zu errechnen, die dieser zwei-dimensionalen Abbildung zu Grunde liegt.“ Unser Sehsystem sucht unter unendlich vielen möglichen Interpretationen auf geschickte Weise die wahrscheinlichste aus. Werden sehr unwahrscheinliche Rahmenbedingungen gewählt, wie bspw. das Ames-Zimmer mit schiefen Wänden (Abb. 3.32), kann es zu Sinnestäuschungen kommen. [Gegenfurtner 2003, S. 5 ff]

Es gibt viele solcher Illusionen, wie sie auch vom Künstler M. C. Escher gern benutzt wurden. In manchen Fällen können sogar alle möglichen Hinweisreize über die tatsächliche Tiefe vorhanden sein, und trotzdem wird die „falsche“ Interpretation bevorzugt, wenn denn das Netzhautbild ausreichend unwahrscheinlich ist. Die meisten dieser Täuschungen geben Aufschluss darüber, „welche Algorithmen das Sehsystem benutzt, um Rückschlüsse über die Reizsituationen zu gewinnen, die zum zwei-dimensionalen Bild



Abb. 3.33: Petronas-Tower in Kuala Lumpur. Symmetrien, von jeher Ausdrucksmittel herrschaftlicher Macht, können aufgrund der „bauhandwerklichen“ Fortschritte in immer größerem Maßstab errichtet werden. [vgl. Richter-Gebert et al.]



Abb. 3.34: leoh Ming Pei, Friedrichstadtpassage, Das Quartier 206, Berlin. Fliesenmuster heute



Abb. 3.35: fraktale Strukturen in Malerei und Architektur:
oben: Eduardo Chillida: „Homenaje a Heidegger“ (1994)
[<http://www.boisseree.com>]
unten: Eduardo Chillida: Realiza la Plaza de los Fueros de Vitoria en colaboración con el arquitecto Peña Ganchegui. Presenta en Valladolid su escultura Homenaje a Jorge Guillén. (1982) [Internet]

auf der Netzhaut geführt haben. Das Gehirn hat die Aufgabe, mit Hilfe einer Fülle von intelligenten Prozessen diese Mehrdeutigkeit sinnvoll aufzulösen.“ – so Gegenfurtner. In unserem Gehirn werden die Informationen aus den verschiedenen Modalitäten des jeweiligen Sinnesorgans zu einem kohärenten Ganzen – unserer Sicht der Welt – integriert. [vgl. Gegenfurtner 2003]

Beispiele, die nicht nur für Computer (noch) schwer wahrnehmbar sind, zeigen: Abb. 3.29, Abb. 4.2, Abb. 3.32, Abb. 4.3. – Wie komplex die semantische Interpretation von Grafiken (Gestalttrichtlinien) oder Text für den Computer ist, machen auch die Beispiele unter 5.3.3 [Mitchell, W. J. 1992] deutlich.

3.8 Mathematik zur Entwurfsunterstützung

Von jeher spielt die Mathematik eine dominierende Rolle in der Architektur, wie schon zuvor bei Vitruv, Alberti, Palladio etc. nachgewiesen wurde. Das Verhältnis zur Architektur „ist ein spannungsreiches Wechselspiel von Inspiration und Emanzipation, Notwendigkeit und gestalterischer Freiheit, Formvielfalt und Beschränkung auf das Wesentliche.“ Die Mathematik „ist ein reichhaltiger Quell von Strukturen und Metaphern, deren Umsetzung in Gebäude, Städte oder Räume oftmals als Inspiration und Motivation für Architekten dient.“ Das Zusammenspiel lässt sich auf Jahrtausende zurückverfolgen, dabei spiegelt die Auswahl der von den Architekten umgesetzten Strukturen häufig die Zeit, die Funktion des Gebäudes sowie die kulturellen Themen und Aktivitäten eines Volkes wider. [vgl. Richter-Gebert und Kortenkamp 2003]

Der „Zeitgeist“, der sich in den mathematischen Grundformen widerspiegelt, wird auch in der heutigen Architektur sichtbar. Der propagierte Fortfall von rechten Winkeln, und ebenen Flächen sowie der Verzicht auf Wiederholungen bedeutet keinesfalls die Abkehr von der Mathematik „als Grundlage und inspirative Quelle“, so Richter-Gebert und Kortenkamp. „Es werden lediglich die inneren Gesetzmäßigkeiten anderer Strukturen wichtig. Amorphe Formen folgen ebenso strengen mathematischen Gesetzmäßigkeiten wie rechte Winkel; es sind nur andere!“



Abb. 3.36: M. C. Escher:
oben: Schlangen, Holzschnitt 1969
Ornamente und das Auftreten von
Symmetrien in filigranen Strukturen
gelten als „Ausdruck künstlerischer
Verfeinerung sowohl handwerklicher
als auch intellektueller Art“ [vgl.
Richter-Gebert und Kortenkamp]

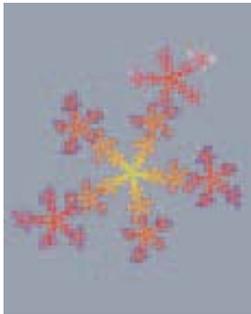


Abb. 3.37: ein mathematisches
Fraktal [Richter-Gebert u.
Kortenkamp]

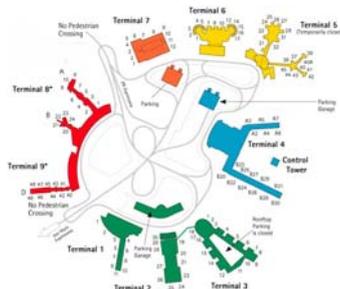


Abb. 3.38: Terminalplan JFK Airport
New York

Konstruktionen wie der Geodesic Dome (Abb. 3.28), aber auch die Arbeiten von Frei Otto und anderen machen deutlich, wie durch Ausnutzung geeigneter mathematischer Grundprinzipien mit einem minimalen Materialaufwand freitragende und dennoch überaus stabile Hallen oder Kuppeln realisiert werden.“ [vgl. a. Richter-Gebert und Kortenkamp]

3.8.1 Symmetrie und Ornamente

Wie das „Wechselspiel von Formfindung, Formgebung, mathematischer Notwendigkeit (Konstruktion, Statik) und metaphorischer Inspiration“ entsteht, machen die beiden Autoren am Beispiel von Symmetrie und Ornament deutlich. Dabei ist „der mathematische Symmetriebegriff eng an die Begriffe Wiederholung und Transformation gekoppelt“. Architektonisch zeigt sich der Symmetriebegriff auf (mindestens) zwei verschiedenen Ebenen: im Großen, ein Gebäudes oder eine Stadt betreffend, und Symmetrien im Kleinen, welche ihren Sinn in ornamentaler Ausschmückung eines Gebäudes finden. Symmetrie als stilistisches Element ist seit jeher und bis in die heutige Zeit als „Ausdrucksmittel herrschaftlicher Macht anzusehen“. Ornamente hingegen und das Auftreten von Symmetrien in filigranen Strukturen gelten als „Ausdruck künstlerischer Verfeinerung sowohl handwerklicher als auch intellektueller Art“. Dies kommt vor allem in der islamischen Ornamentik, aber auch in der Rosettenkultur der Gotik vor, ebenso wie in der neueren Zeit die „metaphernreiche Ornamentik des Jugendstils“. [vgl. Richter-Gebert und Kortenkamp]

3.8.2 Neue Formen mit Hilfe von Fraktalen

Heute können Computerprogramme helfen, mittels Fraktalen⁸² den Entwerfer zu unterstützen. Richter-Gebert und Kortenkamp machen dies an Beispielen deutlich: Eine typische Entwurfsituation ist die Gestaltung von Flughäfen. Es gilt, möglichst viele Flugzeugfinger zu ermöglichen bei ver-

⁸² Fraktale (fraktal = gebrochen) sind komplexe geometrische Gebilde, die sich feiner und feiner verästeln oder falten und die auf jeder Vergrößerungsstufe eine weitere filigrane Verästelung aufweisen. In der Natur gibt es vergleichbare Strukturen, bspw. die Lunge. [s. a. Richter-Gebert und Kortenkamp]

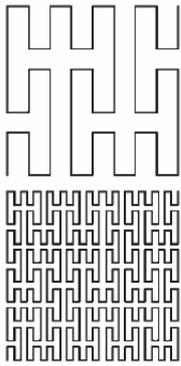


Abb. 3.39: Flächenfüllende Beano Kurven, „das Labyrinth einer IKEA-Möbelausstellung“ [Richter-Gerbert und Kortenkamp]

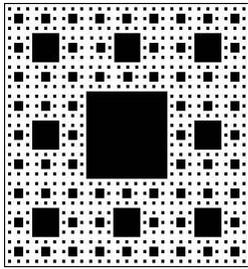


Abb. 3.40: Sierpinski-Teppich in seiner 4. Iterationsstufe [Wikipedia]

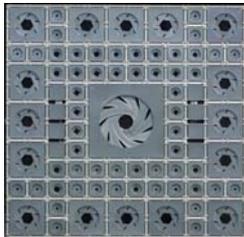


Abb. 3.41: Jean Nouvel, Institut du Monde Arabe, Paris, 1988. Variable Sonnenblende: Variationen mit Sierpinski-Teppich [Foto Internet, bearbeitet]



Abb. 3.42: Modell eines Mengerschwamms in der 4. Iterationsstufe. Hergestellt mit einem 3D-Drucker von Z-Corporation durch Dr. Daniel Lordick, Institut für Geometrie, TU Dresden

hältnismäßig kleinem Innenraum. „Der Begriff fraktal beschreibt hier das Verhältnis zwischen Raum, Fläche und Umfang. Normalerweise wächst eine Fläche im Vergleich zu ihrem Umfang quadratisch. D. h.: „Verdoppelt man in alle Richtungen die Ausmaße eines beliebigen Gebäudes, so verdoppelt sich auch deren Umfang, während sich die Grundfläche vervierfacht.“ Eine angenehme Relation, um großräumige Innenräume zu schaffen. Will man bspw. bei Flughäfen das Gegenteil erreichen, nämlich größtmögliche Außenfläche, um möglichst viele „Flugzeugfinger“ anbringen zu können bei gleichzeitig verhältnismäßig kleinem Innenraum, so greift man auf fraktale Strukturen zurück. Die Natur kennt solche Probleme: Bäume sollen mit minimalstem Materialaufwand möglichst viele Blätter dem Sonnenlicht entgegenstrecken. Oder in der Lunge sollen möglichst viele Lungenbläschen mit der Atemluft in Kontakt kommen. (Abb. 3.37) [vgl. Richter-Gerbert]

Ein umgekehrtes Beispiel, möglichst viele aktive Innenwände bei gleichzeitig maximaler Verschachtelung und geringstmöglicher Außenfläche, zeigen Kaufhäuser, insbesondere das „Labyrinth einer IKEA-Möbelausstellung“. Dort werden flächenfüllende Kurven, wie sie bereits im 19. Jahrhundert von Hilbert und Peano untersucht wurden, angewandt. (Abb. 3.39)

Der Sierpinski⁸³-Teppich wendet Fraktale, bspw. ausgehend von einem Dreieck oder Quadrat, an. „Aus einem Quadrat wird in der Mitte ein Neuntel der Fläche entfernt. Aus den von dem Quadrat um das Loch verbliebenen acht quadratischen Feldern wird wiederum je ein Neuntel der Fläche entfernt. Und so weiter. (...) Wenn man den Sierpinski-Teppich nun auf einen Würfel überträgt, dann bekommt man ein Gebilde, das einem Schwamm nicht unähnlich ist. In jedem Iterationsschritt wird der Würfel in 27 ($3 \cdot 3 \cdot 3$) Teilwürfel zerlegt und 7 dieser Teilwürfel werden entfernt. Das Volumen des Schwammes konvergiert dabei gegen 0, während die Oberfläche gegen unendlich strebt.“ [Wikipedia] (Abb. 3.40, Abb. 3.41, Abb. 3.42 u. Abb. 3.43)

⁸³ Wacław Franciszek Sierpinski (* 14.03.1882 in Warschau; † 21.10.1969 in Warschau) war ein polnischer Mathematiker.

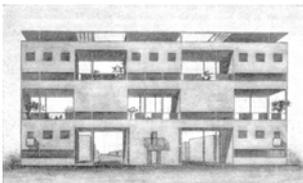


Abb. 3.43: Le Corbusier, Immeuble Villas, 1922; oben: Villen-Block: „Ansicht eines Blocks (120 Villen über- und nebeneinander)“
mitte: Fassaden-Ausschnitt. Jeder Garten ist streng vom Nachbargarten getrennt.“
unten: „Ein erster Block der noch im Bau begriffenen Neuen Frugès-Viertel in Bordeaux“ (1925) [Bauweltafentunde 2]

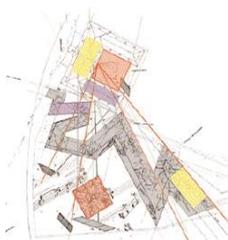


Abb. 3.44: Daniel Libeskind : Entwurf für das jüdische Museum in Berlin. „... die Blitzform folgt sowohl der Lage verschiedener jüdischer Wohnungen im Stadtraum Berlin wie auch der historischen städtebaulichen Struktur ihrer unmittelbaren Umgebung.“ [Kuhlmann]

Benoît Mandelbrot⁸⁴ bringt als Beispiel aus der Architektur Le Corbusiers *Immeubles Villas* von 1922. Philipp Oswalt schreibt darüber in seinem Beitrag *Wohltemperierte Architektur*, (Auszug):

Der Luftschwamm

(...) Daß Le Corbusier die Architektur der Lunge in eine Gebäudeform überträgt, ist noch weitaus überraschender, wenn man bedenkt, dass es eigentlich die einfachen primären Formen der platonischen Körper sind, die er bevorzugt. Sein Entwurf für die ‚Geschlossene Siedlung in Alveolenform‘ basiert hingegen auf einer Formenwelt, die der klassischen Geometrie fremd ist, und die wir erst seit kurzer Zeit mit der fraktalen Geometrie beschreiben können. Eines der wichtigen Charakteristika fraktaler Körper ist, dass sie bei einem begrenzten Volumen eine (nahezu) unendlich große Oberfläche haben. Als Beispiel dafür führt Benoît Mandelbrot in seinem Buch ‚Die fraktale Geometrie der Natur‘ eben gerade die von Le Corbusier so detailliert beschriebenen Lungenbläschen an. (...) In ähnlicher Weise verfährt Le Corbusier bei seinem Entwurf für die Immeubles Villas, indem er auf jeder Maßstabsebene – Stadt, Gebäudeblock, Wohnung – aus dem Bauvolumen Leerräume ausschneidet. So entsteht ein ‚Luftschwamm‘, dessen äußerst große Oberfläche eine optimale Belüftung und Beleuchtung ermöglicht. [Oswalt 1994]

3.9 Architektonisches Entwerfen mit Informationstechnologie

Kreatives Arbeiten, wie zuvor beschrieben, wird entscheidend vom Unterbewusstsein beeinflusst. Entwerfen bedeutet aber auch rationale Schlüsse ziehen, die durch logische und mathematische Methoden unterstützt werden können. Aber letztlich besteht Entwerfen aus einer wortlosen „Diskussion“ zwischen Papier und Entwerfer.

Architect Scarpa draws, because he wants to see. He has also noted the magical connection between hands, eyes, brains, pencil and paper. According to Ferrare (1996) it may even be harmful to design totally by computer, because man has the instinctive ability to interpret his own thoughts in cooperation between hands, eyes and brain. [Ferrare 1996, zit. nach Haapasalo, S. 84]

Es stellt sich die Frage, ob wir uns nicht in einer Umbruchzeit befinden, in der der Jahrhunderte gewohnte Umgang mit Papier und Bleistift uns wegführt, hin zu Semantik, Volumina, Bauteilen, Simulationen usw. Es gab ja auch

⁸⁴ Die Mandelbrot-Menge, im allgemeinen Sprachgebrauch oft auch „Apfelmännchen“ genannt, ist ein Fraktal, das in der Chaostheorie eine bedeutende Rolle spielt. Es wurde 1980 von Benoît Mandelbrot erstmals computergrafisch dargestellt und untersucht. Die mathematischen Grundlagen dafür wurden bereits 1905 von dem französischen Mathematiker Pierre Fatou erarbeitet.



Abb. 3.45: Greg Lynn, *Embryological House Model*, Biennale Venedig 2000

oben: A prototype was carved out of a solid block of foam using a computer-controlled robotic mill that more easily allows units to be custom-manufactured

unten: South View, „Model built using computer-controlled cutting robots, showing the house, with its windows and flexible photovoltaic shades, sited in a landscape of formal gardens and beams“ [Greg Lynn FORM http://www.time.com/time/innovators/design/gallery_lynn1.html]]



Abb. 3.46: Franc O. Gehry: *Guggenheim Museum Bilbao*, „erstarrte amorphe Formen“ [Kuhlmann 2003]



Abb. 3.47: Renzo Piano, *Modell: Kulturzentrum Jean-Marie, Nouméa, Neukaledonien, Tjibao* 1991-1998
Es ist bekannt, dass Renzo Piano mit großen Arbeitsmodellen „entwirft“.

Zeiten, in denen noch kein Papier zur Verfügung stand (Renaissance, Dombauhütten), und doch wurde Architektur von bleibendem Wert entworfen und errichtet. Zweifellos birgt Transparentpapier mit immer wieder neuen Deckblättern zum Weiterentwickeln einer Entwurfsidee Vorteile gegenüber den alten Traditionen, aber bieten nicht auch CAAD-Systeme mit GM erneut Möglichkeiten, den Entwurfsprozess zu verbessern? – Vergleicht man die Arbeitsweise von Piano oder Gehry, die ihre komplexen Architekturen an großen Arbeitsmodellen, die sie zuvor am Bildschirm entwickelt haben, „weitermodellieren“, um ihre gewünschten ganzheitlichen Formen zu erschließen, dann wird ein Wandel in der Arbeitsweise deutlich. Der Umgang mit der Form, den dreidimensionalen Gebäudeteilen, steht deutlich im Vordergrund gegenüber der sonst (noch) verbreiteten geschossweisen zweidimensionalen Erschließung eines Entwurfes.

„Die Idee ist nur der Anfang...“. [Piano 1997] Der erste Entwurf muss weiterentwickelt werden, auf Tauglichkeit geprüft hinsichtlich des Ortes, der Topologie, der Konstruktion des Systems, bezüglich der erwarteten Nutzungen bis hin zur Umsetzbarkeit mit den gewählten Materialien. Die Übergänge vom Vorentwurf zum Entwurf bis zur ausführbaren Lösung sind fließend. CAAD-Systeme werden längst in diesen Prozess eingebunden, wenn auch bisher nur teilweise und (noch) nicht für die frühen Phasen des Entwurfs.

Da Kreativität bisher nur ansatzweise erforscht wurde, ist es schwierig, mathematische Algorithmen zu finden, um Kreativität zu imitieren oder zu verbessern. Dennoch sind Fortschritte in der Forschung zu erwarten. Diese Ergebnisse bleiben abzuwarten, aber jetzige Erkenntnisse lassen bereits Defizite der CAAD-Systeme für den Entwurfsinsatz erkennen und geben Hinweise, wie diese schon heute verbessert werden könnten. (s. 4.2)

3.10 Architekt und Architektur im Wandel durch Computereinsatz

Durch den CAAD-Einsatz sind ganz neue Architekturen möglich bzw. finanzierbar geworden, nicht zuletzt auch



Abb. 3.48: Santiago Calatrava, Alamillo-Brücke, Sevilla, Spanien (1992) „... ist die einzige Schrägseilbrücke der Welt, die keine Rückverankerung hat.“ [Wikipedia]

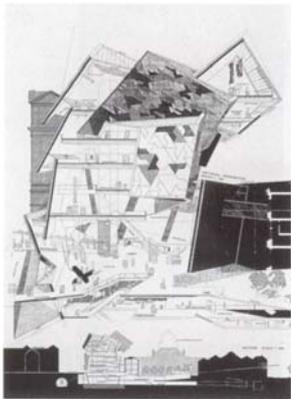
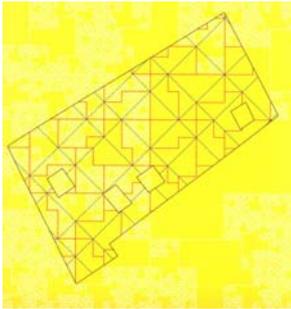


Abb. 3.49: Studio Daniel Libeskind mit Cecil Balmond Ove Arup & Partners: The Spiral – Erweiterungsbau, Victoria and Albert Museum, London (2004) Die evolutionale Spirale, ausgehend von Libeskinds ersten dreidimensionalen Pappmodellen, wandelte sich sukzessive von einem verschachtelten Körper zu einer Abfolge von selbsttragenden Wänden. Die so genannten Fractiles, Wandfliesen, überziehen das Äußere des Gebäudes lückenlos mit einem mathematischem Mosaik, das der Mathematiker Robert Ammann entdeckt hatte, das Verhältnis der Teile zueinander verhält sich wie der goldene Schnitt. [vgl. Balmond, in: Nerding 2002, S. 168, Bild oben: Balmond und Smith 2002, S. 257]

deshalb, weil Computermodelldaten direkt an die produzierende Maschine gegeben werden.

3.10.1 Neues Paradigma in der Architektur: New Organism

Amorphe Formen, erstarrte Varianten, Biomorph, generative Entwurfsmethoden, Scaling, Morphing, Animate Form, Datascares, Transarchitektur „sind weniger Methoden als vielmehr künstlerische Strategien zur Formfindung“. Die Übergänge von Architekturstilen und deren Bezeichnung sind fließend geworden. Zur Technomorphologie schreibt Gramelsberger:

... Die Fusion von Biologie und Technik, Biologie und Architektur, nicht nur bezüglich der Konstruktionen, sondern vor allem durch die Entschlüsselung ihrer Konstruktionsprinzipien, bestimmt das Paradigma der computergenerierten Evolution einer neuen Formensprache.⁸⁵

Erst seit wirklich sehr kurzer Zeit entwickeln Architekten ein neues ästhetisches Vokabular für Kurven, Oberflächen, Dimensionen, das auf computergestützten Berechnungen basiert. Vor mehr als 300 Jahren wurde Differenzial- und Integralrechnung erfunden, und diese neue Mathematik eröffnete eine Welt von Kurven und unendlich teilbaren Dimensionen – statt von geraden Linien und fixen Punkten. Wenn man unter dieser neuen intellektuellen und technischen Prämisse intuitiv entwerfen will, braucht man einen Computer, um die Komplexität von Form und Dimension zu bewältigen. Wir leben heute in einer Zeit, in der mehr als 300 Jahre alte mathematische Formeln Einfluß darauf haben, wie wir Dinge herstellen. (...) Natürlich könnte man die Software lediglich nutzen, um alte ästhetische Vorstellungen umzusetzen. Aber damit ließe man sich alle Innovationschancen entgehen. (...) „Der Würfel ist heute nicht mehr das Maß aller Dinge.“ Geht es nach Lynn, so sind boxenartige minimalistische Formen nur eine Designer-Mode. Simple rechteckige Konstruktionen sind nicht länger eine Notwendigkeit. (...) alle Innovationen in der Architektur waren verbunden mit einem technischen Fortschritt. (...) Natürlich trifft die Software keine ästhetischen Entscheidungen. (...) Um mit dem Computer zu arbeiten, muß man mehr denn je Experte sein. ... sonst läuft man Gefahr, die stereotypen Voreinstellungen in mehr oder weniger sinnloser Weise zu benutzen.⁸⁶

Lynns Bauwerke beziehen ihre Form aus „einer Synthese komplex wirksamer Richtkräfte. Grundlegend für Lynns Konzept ist die Integration von Zeitlichkeit und Bewegung in den architektonischen Formfindungsprozess. Dazu speist er den Computer mit den topografischen, städtebaulichen,

⁸⁵ Gabriele Gramelsberger, *Leonardo – Magazin für Architektur* 6, November/Dezember 2000 Spezialausgabe: Die Zukunft der Architektur

⁸⁶ Lynn, *Kultur SPIEGEL*, Heft 8, August 2002

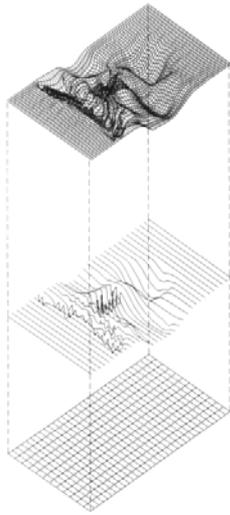


Abb. 3.50: Peter Eisenman:
Conceptual diagrams on memory:
 1. Activity below the synaptic
 threshold. 2. Synaptic activity.
 3. Consolidation of memory.
 Die Struktur folgt den „human
 neurological activities“ und (soll)
 architektonische Möglichkeiten für
 Modellierungen von Räumen bieten.
 [vgl. Galofaro]

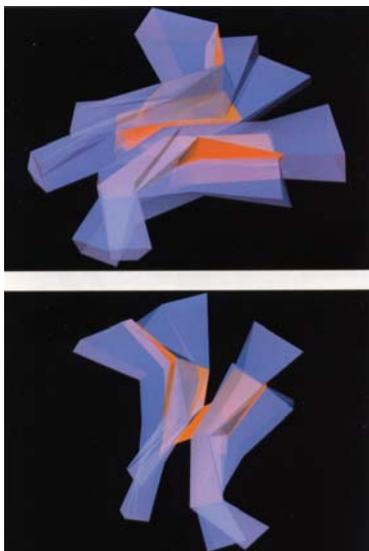


Abb. 3.51: Peter Eisenman: *Library in
 Place des Nations, Genova.*
 „Models of the building body: the
 development process of the project
 entails constant passages between the
 computer and the designer who alters
 the models.“ [Galofaro 1999, S. 36]

thermischen etc. Gegebenheiten einer Örtlichkeit und lässt ihn anhand von Parametern möglicher Veränderung den Bewegungsfluss dieser Faktoren errechnen. In einem Animationsvorgang erzeugt der Computer amorphe räumliche Körper, deren starke Deformationen ein sichtbares Ergebnis der vorherrschenden raum-zeitlichen Dynamik einer bestimmten Örtlichkeit darstellen.“ [Lynn 1999]

Kuhlmann beschreibt die virtuellen Computeranimationen von Greg Lynn oder Marcos Novak, deren Arbeiten mit amorphen Formen sich als erstarrte Variation in Frank Gehrys Guggenheim Museum in Bilbao (Abb. 3.46) wiederfinden oder in dem an ein Organ erinnernden Dachaufbau des Grazer Kunsthauses von Peter Cook und Colin Fournier (Abb. 3.8):

Bei genauer Betrachtung dieser neuen Organicism fällt auf, dass sich Architekten verschiedener Entwurfsstrategien bedienen, um ihre oft biomorph anmutenden Formen zu erschaffen. Ein wichtiges Konzept der letzten Jahre war die Entwicklung generativer Entwurfsmethoden, deren Zielsetzung darin bestand, einen Entwurf aus vorgegebenen Parametern abzuleiten, ohne die persönlichen, subjektiven Präferenzen des schaffenden Architekten dominieren zu lassen. Zu nennen seien Scaling, Morphing, Animate Form, Folding, Datascape und Transarchitecture, wobei man einschränkend anmerken muss, dass es sich nicht wirklich um strikte Methoden handelt, sondern eher um künstlerische Strategien zur Formfindung, die jeweils einen mehr oder weniger großen Entscheidungsfreiraum für Architekten offen lassen.

Beim Scaling wird die neue architektonische Form aus der Überlagerung von vorhandenen Grundrissen (der Stadt, der umgebenden Gebäude etc.) verschiedenen Maßstabs erzielt, die durch die Größenänderungen und Verdrehungen neue Interpretationen erhalten.

Jünger noch ist die Strategie des Morphings, bei dem zwei ausdrucksstarke Ausgangsformen zu einer Form „dazwischen“ („weak form“) verschmolzen werden.

Um eine ähnliche Idee geht es beim Folding, das sich auf René Thom's Katastrophentheorie bezieht. Auch hier werden die traditionellen Typologien in der Architektur in Frage gestellt. Die Architektur wird als Entfaltung in Zeit und Raum verstanden und damit als ein „Ereignisenvironment“ und nicht als statische Form. Beim Projekt Rebstockpark in Frankfurt faltete Eisenman die vorhandenen städtebaulichen Typologien der Blockrandbebauung und des Zeilenbaus zu neuen Baukörpern, die eine Zwischenform dieser Typologien bilden. [Kuhlmann 2003]

3.10.2 Immer höhere Ansprüche an den (Entwurfs-) Architekten

Der Mathematiker und Architekt Christopher Alexander hat mit seiner „Pattern Language“ die rationalen Planungs-

methoden der frühen Moderne mit Hilfe des Computers zu erneuern gesucht, indem er das einzelne Problem durch Dekomposition in lösbare Teilprobleme strukturierte (s. 5.2.1). Auf die Frage, wie denn die Alten Meister ganz ohne „Dekomposition“ und Computer zu hervorragenden Lösungen kommen konnten, lautete seine Antwort:

Die Bedingungen hätten sich radikal geändert. Im Gegensatz zu den geschlossenen Gesellschaften früherer Kulturen, die aufgrund fester Traditionen innerhalb eines engen Spektrums von zulässigen Lösungen sicher verankert gewesen wären, habe der moderne Gestalter ungleich größere Wahlmöglichkeiten und daher auch Irrtumsrisiken. Die Krise des Funktionalismus bestehe nicht zuletzt darin, daß er sich in seinen Standards, Typen und stilistischen Vorgaben einen künstlichen Traditionersatz geschaffen hätte. Das sei durchaus verständlich: Unter den Bedingungen einer offenen Gesellschaft ist der Architekt mit einer unglaublichen Fülle von Planungsfaktoren konfrontiert, deren Zusammenhänge er nicht mehr intuitiv durchschauen könne. Selbst bei nur 20 Faktoren ergeben sich 2 hoch 20 mögliche Kombinationen, aus denen eine richtige Auswahl getroffen werden müsse – für einen Gestalter ohne Computerunterstützung ein schier unmögliches Unterfangen. [Kühn und Kögl 2000]

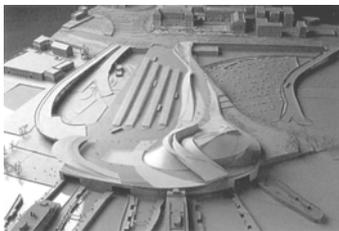


Abb. 3.52: Peter Eisenman: Staten Island Project, New York.
Kontextuelle Faktoren werden heute in den Entwurfsprozess einprogrammiert, um eine Verbindung von Bau und Umgebung zu gewährleisten.
[Steele, S. 27]
oben: Computermodell
unten: (physikalisches) Modell

Im Mittelalter bediente man sich der Regeln, die aus dem Modul (Säulenordnung) abgeleitet wurden. Seit dem 19. Jahrhundert, der Industrialisierung, wollte man Neues schaffen, neue Materialien wie Stahl, Beton und Glas ausprobieren. Architekten entdeckten die Handwerker, um ihre Ideen industriell umzusetzen. (Kristallpaläste, Brücken, Eiffelturm ...)

Heute muss ein Architekturbüro über gut ausgebildete CAAD-Spezialisten verfügen. Und betrachtet man die aufgeführten Beispiele, dann sind die Grenzen zwischen Architekt und Bauingenieur wieder fließend geworden. Architekten entwerfen Tragwerke (Calatrava, Abb. 3.48) und Tragwerksplaner (Balmond und Libeskind Abb. 3.49). Aber auch vor dem Zurateziehen von Mathematikern etc. macht die Entwicklung keinen Halt. Sicherlich ist diese Art von Ausnahmearchitektur nicht das „täglich Brot“ eines „normalen“ Architekturbüros, doch erfahrungsgemäß färben solche „Stile“ ab, und es besteht die Befürchtung, dass bei dem notwendigen (auch technischen) Aufwand die Ergebnisse weit hinter den Erwartungen zurückbleiben werden. Wieweit künftige CAAD-Systeme hier unterstützen können, bleibt abzuwarten. Unterstützung erwartet sich auf jeden Fall W. J. Mitchell. In seinem Beitrag *Constructing Complexity* argumentiert er,

„... that the emerging architecture of digital era is characterized by high levels of complexity, and that this enables more sensitive and inflected response to the exigencies of site, program, and expressive intention than was generally possible within the framework of industrial modernism.“ [Mitchell, W. J. 2005, S. 41]

3.11 Kritische Anmerkungen zur heutigen Entwurforschung

Design, Erfolg und Fehlschlag titulierte C. Thomas Mitchell einen Aufsatz zum PARADOX⁸⁷-Projekt. Er beklagt die einseitige Ausrichtung heutiger Designforschung. Das größte Risiko im Design bestehe darin, „daß ein Gebäude die Aktivitäten, welche in ihm stattfinden sollen, nicht vollständig unterstützt (...). Wenn ein Design ‚den Nutzungstest nicht besteht‘, dann werden die Klienten der Designleistungen und diejenigen, die mit dem Gebäude interagieren, unbefriedigt sein. Die Konsequenzen dieser Unzufriedenheit können variieren von Murren und schlechter Publicity bis hin zur Ablehnung der Anmietung von Räumen in einem Gebäude und gerichtlichen Klagen.“

Ein erfolgreicher Entwurf ist relativ; für die einen ist es eine gelungene, oft diskutierte und angestrebte dreidimensionale formale Lösung, eben das „Gute Design“, während für die anderen, die unterschiedlichen Typen von Nutzern, die Erfahrung der Interaktion mit einer gebauten Umgebung über die Zeitachse von viel größerer Bedeutung ist. Eine Folge dieser unterschiedlichen Sichtweisen von Designerfolg sieht Mitchell darin, dass in der Architektur häufig „preisgekrönte, ästhetisch angenehme Entwürfe den Nutzungstest nicht bestehen“. Mitchell resümiert: „Designmethoden wie *planning by drawings* (auf Papier oder am Monitor) sind nicht in der Lage, die Nutzung von Gebäuden im Laufe der Zeit vollständig zu berücksichtigen. Diese Methoden beschränken das Fällen von Entscheidungen erfolgreich auf ästhetische Fragen und beruhen wesentlich auf Intuition des individuellen Entwerfers.“

„Einige Designer und Forscher haben begonnen“, so Mitchell, „die Nutzung im Zeitverlauf ausdrücklich in Betracht zu ziehen und Nutzerinteraktionen anstelle formaler Eigenschaften in den Mittelpunkt ihrer Designanstren-

⁸⁷ <http://home.snafu.de/jonasw/PARADOX0.html>

gungen zu stellen.“ Unterstützung könnte von den Interfacedesignern (Internet) kommen; die haben mit „situated research“ einen Ansatz gefunden, zu beobachten, was in der realen Umgebung passiert, um ein systematisches Verständnis dafür zu entwickeln, „was Menschen tun und welcher Art ihre Erwartungen sind. Das Entwerfen geschieht dann auf der Grundlage dieser direkten Beobachtung, um die Erfahrungen von Menschen in einem gegebenen Kontext zu verbessern.“

Voraussetzung für diese Ideen ist, zumindest wenn an Computerunterstützung gedacht wird, die Verwendung eines semantischen Gebäudemodells, da einfache Liniengrafiken für Simulationen von bspw. Verhaltensmustern nicht geeignet sind.

3.12 Fazit

- Die Anschauung über das, was Architektur ist, ist zu jeder Zeit abhängig von vorherrschenden religiösen, sozialen, politischen, technischen oder wirtschaftlichen Strömungen.
- Was Entwerfen von Architektur ausmacht, ist ein ganzheitlicher Gestaltungs- und Denkprozess, der neben zeichnerischen Fähigkeiten Kenntnisse von Geschichte und Gegenwart, Mathematik und Naturwissenschaften, Anthropologie und Ökologie, Ästhetik und Technologie, Klima und Gesellschaft umfasst.
- Renzo Piano sieht die Tätigkeit des Architekten in der „Schwebe zwischen Kunst und Wissenschaft, auf dem Grat zwischen Erfindung und Gedächtnis, zwischen Mut zur Modernität und der Achtung der Tradition.“ [Piano 1997]
- Architektur im Sinne von gebauter Umwelt besteht neben der Funktion immer auch aus Form, Ästhetik, als langlebiges Gut, als gestaltete Umwelt im Vordergrund.
- Design, im Gegensatz zum Entwurf (von gebauter Umwelt), ist ein produktbezogenes, vergleichsweise kurzlebige Gut, das den Konsum fördern soll und den Moden stark unterworfen ist.
- Der Entwerfer muss Zusammenhänge aus dem geschichtlichen und kulturellen Erbe, in dessen Tradition er steht, verstehen und sie bei seiner Arbeit in zeitgenössische Zusammenhänge einordnen.

- Der Entwerfer muss seine Ideen einem Dritten (oder auch sich selbst) darstellen. Dabei findet ein ständiger Wechsel in der Darstellung statt. Die Methoden der Darstellung verlangen einen schnellen Wechsel von räumlichen (unscharfen) Skizzen, körperhaften Zeichnungen, skizzenhaften dreidimensionalen „Arbeitsmodellen“ und Sprünge zwischen Detailüberlegungen und ganzheitlichem Vorgehen, zwischen gedanklicher Schärfe und künstlerischer Sensibilität.
- Es muss deutlich zwischen planungsunterstützenden und entwurfsunterstützenden Computerprogrammen unterschieden werden. CAAD-Modelle, die das Entwerfen unterstützen, verbessern diesen Prozess *auch* qualitativ, während Planungsmodelle die Vielschichtigkeit des Planungsprozesses rein organisatorisch, also quantitativ, unterstützen.
- Unter den Architekten sind unterschiedliche Entwurfsmethoden und Mentalitäten festzustellen.
- Der Entwurfsprozess kann allgemein in sechs Phasen unterschieden werden, die auch für CAAD-Programme gelten können. Allerdings lassen sich in der Praxis die Schrittfolgen Problemverständnis, Information und Problemlösung zeitlich nicht trennen. Die elementaren Tätigkeiten sind: Varietät erzeugen und Varietät reduzieren.
- Grundsätzlich wird zwischen zwei Strategien oder Methoden unterschieden: der Top-Down- und der Bottom-Up-Methode. Beide können aber auch im Wechselspiel zur Anwendung kommen.
- Fallbasiertes Schließen (CBR) ist die Methode, die jeder Architekt benutzt, um aus eigenen oder fremden Quellen zu schöpfen, um auftretende Probleme durch Anpassung bereits erfolgreicher Lösungen in ähnlicher Situation zu nutzen.
- In der Konzeptphase unterscheidet Joedicke drei Vorgehensweisen: den funktionsorientierten, den formorientierten oder den konstruktionsorientierten Entwurf.
- Kreativität und Intelligenz schließen einander nicht aus, bedingen sich aber nicht. Selbstständiges Entdecken eines Problems ist ein Aspekt, der kreatives Denken vor bloßem Problemlösen auszeichnet.
- Intelligenz zeichnet sich durch die sorgfältige Auswahl individueller, nach eigenem Empfinden ausgewählter Ziele aus, mit dem Ziel einer guten Lösung. Hingegen erwartet die kreative Herangehensweise mehrere gute Lösungen.

- Kreativität in der Domäne der Architekten muss in einer Kreativitätsskala gesehen werden. Grundsätzlich ist jeder Architekt kreativ, sonst könnte er nichts Neues schaffen.
- Computersystemen muss bei Anwendung von KI ein – wenn auch (noch) begrenzter – Level Kreativität zuerkannt werden.
- Zeichnen und Skizzieren sind (heute noch) die grundlegenden Methoden der kreativen Arbeit des Architekten.
- Entwürfe entstehen als visionäre Ziele in den Köpfen der Architekten, dort findet der Denkprozess statt.
- Die Entwurfsmentalitäten Kopf (Ratio) versus Bauch (Intuition) bedingen einander, wenngleich bei bestimmten Architekten die eine oder andere Mentalität zu überwiegen scheint. Die Bauaufgabe, ob Zweckbau (Kaserne) oder Prestigebau (Art-Museum) bestimmt die Gewichtung der beiden Methoden.
- Ein Großteil des intuitiven Entwurfsprozesses findet im Unterbewusstsein statt, was bedeutet, dass Regeln dazu nicht bekannt sind und somit keinem Computerprogramm mitgegeben werden können.
- Entwerfen braucht auch Zeit zur Reflexion. „Über Nacht“ haben sich Probleme aufgelöst und können neu angegangen werden. Der Computer ist zu schnell!
- Intuition ist eine Voraussetzung, aber Ratio auch. Wirklich gute, dauerhafte Architektur ist schwer (oft auch langjährig) erarbeitet. (Vgl. Rathaus Göteborg; für den Anbau hat Asplund 25 Jahre entworfen.)
- Anfangs noch ungenaue, unmaßstäbliche Skizzen bringen eine Momentaufnahme des Entwurfsgedankens „zu Papier“ zur Entlastung des Gehirns bei gleichzeitiger Stimulans der Kreativität.
- Skizzieren, bspw. auf einer Papierserviette, wirkt spontan, ist persönlich, hat Charme und lässt dem Betrachter Freiraum, gibt ihm sogar das Gefühl, selbst an der Idee teilzunehmen.
- Dagegen wirken mit dem Computer erstellte Zeichnungen unpersönlich, könnten von jedem stammen; erst der „architektonische Wurf“, wenn es denn einer ist, lässt den Betrachter das fertige Werk bewerten. Erst dann erkennt man den Wert der Architektur (des Meisters).
- Kreative Kräfte müssen stimuliert werden („gute“ Musik, Rotwein, Zigarre), um sich in die zielgerichtete, analysierende, denkende „Kopf-Konzentration“ zu bringen (auf

seinen Bauch hören). Dazu müssen störende Reize (alles, was einen ärgert, wird als störend empfunden) der Umwelt ausgeblendet werden (u. a. die mühsame Bedienung der CAAD-Systeme.)

- Mathematik (Proportionen, Symmetrie, Fraktale) sind Regeln, die prädestiniert sind, durch Computerprogramme entwurfsunterstützend eingesetzt zu werden.
- Änderungen in der Entwurfspraxis des Architekten gehen, verglichen mit der Entwicklung der Computerumgebung, nur sehr langsam voran; man hängt an alten Traditionen.
- Dennoch: Wir befinden uns in einer Umbruchphase. Die alte Tradition, mit „Papier und Bleistift“ zu entwerfen, wird schon heute durch Computereinsatz eindrucksvoll abgelöst (Hybridtechniken).
- CAAD-Einsatz hat neue Architekturen (New Organism, künstliche Strategien zur Formfindung) möglich und finanzierbar gemacht (CAM).
- Will man neben den individuellen, intuitiven, ästhetischen Gesichtspunkten auch Verhaltensmuster (bspw. Nutzungstests, Simulationen) in den Entwurf einbeziehen, braucht man ein GM, das semantische Zusammenhänge kennt, die man auswerten kann.
- CAAD-Unterstützung soll sich nicht nur auf das „Design“, sondern auch auf die Nutzung des Gebäudes über die Zeitachse erstrecken.

4 Schwachstellen heutiger Computersysteme

Will man CAAD-Systeme nicht nur als verlängertes Zeichenbrett verwenden, muss man nach intelligenteren Lösungen suchen, die zusätzlichen Nutzen bringen.

4.1 Die menschliche Informationsverarbeitung

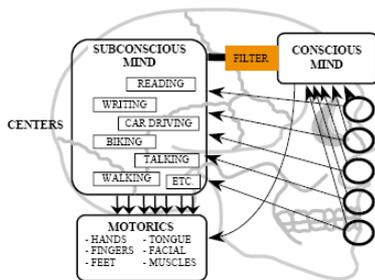


Abb. 4.1: A system of human functions: Human information communication can be illustrated as the interaction between conscious and unconscious thinking and also the connection of human brains to motorics and senses [Tuomaala 1999, aus Haapasalo, S. 70].

Die menschliche Wahrnehmung (vgl. Kap. 3.7.3) und deren „Informationsverarbeitung“ sind nicht nur zum Ergründen des intuitiven Entwurstils von großer Bedeutung, sondern spielen auch eine entscheidende, bisher sträflich vernachlässigte Rolle bei der Interaktion mit dem CAAD-System. Begleiterscheinungen sind die Akzeptanzprobleme der CAAD-Systeme durch den entwerfenden Architekten. [vgl. Bolte, 1998] Vereinfacht dargestellt, besteht eine Verbindung zwischen der Wahrnehmung durch unsere Sinnesorgane (Eingang unseres Gedächtnisses) und der Motorik (Ausgang unseres Gedächtnisses).

Wahrnehmen findet bewusst, aber auch unbewusst statt. Die Motorik unserer Hand bspw. wird entweder bewusst oder unbewusst kontrolliert, andere Dinge können wir synchron ausüben. Beispiel Tennisspielen: Der ankommende Ball wird voll konzentriert (bewusst) fixiert, während der Arm mit dem Schläger „automatisch“ (unbewusst) ausholt. Wieder andere Dinge geschehen ganz im Schlaf (die Atmung). Um die Dinge so ins „Unterbewusstsein (implizites Gedächtnis) zu bekommen“, dass wir sie „im Schlaf“ können, bedarf es zuvor eines unterbewussten Lernens⁸⁸, hervorgerufen durch die persönliche Wahrnehmung unse-

⁸⁸ Beispiel 1: Radfahren kann man nicht durch Lesen eines Handbuchs erlernen, hier spielt die *persönliche* Erfahrung (Wahrnehmung) eine Rolle. Bewusstes, „mit Verstand“ Radfahren-Wollen führt eher zu verkrampftem Handeln und dadurch im ungünstigsten Fall zum Sturz.

Beispiel 2: Arbeitsweise mit einer tablettgesteuerten Menüauflage für ein CAAD-System. Nach einer „Eingewöhnungszeit“ bewegte sich meine Hand automatisch (unbewusst) „zielsicher“ auf das Feld zu, auf dem der notwendige auszuführende Eingabebefehl abgelegt war.

rer Sinnesorgane. Bewusste Aufmerksamkeit erhöht den Druck auf das Unterbewusstsein, das dann „abschaltet“. Der dann einsetzende Verstand ist für motorische Dinge viel zu langsam, er ist anstrengend und führt, bspw. bei Computerbedienung, frühzeitig zu Ermüdungen mit nachfolgender Ablehnung des Systems.

Ein Beispiel für die Leistungsfähigkeit unseres Unterbewusstseins ist der Traum: Er dauert wenige Sekunden, doch um seinen Inhalt zu beschreiben, braucht es „tausend“ Worte und eine Menge Zeit. Auf der anderen Seite würde bspw. Radfahren ohne die unterbewusste Kontrolle nicht funktionieren. Denkt man an Entwerfen, stellt man fest, dass die besten Ideen offenbar ausnahmslos zufällig entstehen. Denn Ideen werden meist plötzlich „bewusst“ durch unbewusste Informationen vom Unterbewusstsein. Das bedeutet, das Unterbewusstsein verarbeitet, manipuliert und organisiert Informationen mit undefinierten, uns unbekanntem Prozessen. [vgl. Tuomaala, zitiert nach Haapasalo, S. 71 f]

Es erfordert Sensibilität, Geduld und vorübergehende Entlastung (Befreiung) von unerfreulichen und unbequemen Gedanken, um im Unterbewusstsein entstandene Ideen auszuwerten. Zusammenfassend können nachfolgende Beobachtungen gelten:

- Unterbewusste Handlungen sind schneller und weitaus genauer als bewusstes Handeln.
- Gefühlshandlungen können direkt im Unterbewusstsein ausgelöst werden, und Bewegungsabläufe werden direkt von dort „ohne Verstand“ kontrolliert.
- Wenn es anstrengend wird, sind unterbewusste Handlungen rationeller.
- Alle unterbewussten Handlungen mussten einmal bewusst erlernt werden. Lernen kann schwer sein, und was einmal in den automatischen Level gelangt ist, ist noch schwerer zu korrigieren.

4.2 CAAD-Systeme: zu schwer zu erlernen, zu leicht zu vergessen

Eine ungeliebte, weil zu komplizierte Software, ebenso ein umständlich, weil nur indirekt zu bedienendes Computersystem (Tastatur, Maus), wird als „unerfreulich“ abgelehnt. Sie stören das schnelle intuitive, unbewusste Handeln und dämpfen die positive (Entwurfs-)Stimmung. – Es bleibt zu untersuchen, wieweit ikonische und haptische Verbindungen zwischen Entwerfer und CAAD-System (HUI) entscheidende Verbesserungen hin zu einer intuitiven Bedienung bewirken können. Ebenso wie „unerfreuliche“ technische Belange (EingabeprozEDUREN) die Aufmerksamkeit nicht überstrapazieren dürfen.

4.2.1 Schwachstelle: Benutzeroberfläche

Die Schwäche der Benutzeroberfläche (UI)⁸⁹ spiegelt sich u. a. in der Fülle unterschiedlicher Kommandos wider, die für den anwendenden Architekten in den frühen Phasen des Entwurfs als eine unüberwindbare Barriere gelten und die zur Blockade beim Entwerfen und schließlich zur Ablehnung des CAAD-Systems führen. Mit anderen Worten, wenn ein CAAD-System nicht ohne großes Nachdenken darüber, wie es anzuwenden ist, funktioniert, werden alle Anstrengungen, den Entwurfseinstieg mit dem Computer vorzunehmen, scheitern. (s. a. 5.10), [Tang and Gero 2001] Zur Verbesserung der Situation müssen statt einfacher Liniengrafiken semantische Komponenten, wie sie die innenwohnenden Objekte eines GM ermöglichen, einfließen, die dann auch dem Gedächtnis des Menschen gerecht werden können. Geeignete Mittel dazu bietet der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI). Außerdem kann durch Berücksichtigung von Ergonomie und differenzierten Eingabemitteln (Maus, Tablett, Stift, Sprache) die Benutzeroberfläche intuitiver und einfacher gestaltet werden.

⁸⁹ UI = User Interface

4.2.2 Unterstützung in den frühen Phasen des Entwurfs

Um speziell den Entwurfsvorgang, wie in Kap. 3 dargelegt, durch Computereinsatz vorteilhaft zu unterstützen, müssen Methoden gefunden werden, die neben den Entwurfsmethoden auch das Denkvermögen des Menschen berücksichtigen bei gleichzeitiger Ausnutzung der besonderen Fähigkeiten des Computers. Dabei kommt dem visuellen menschlichen Gedächtnis eine Schlüsselrolle zu, da es die Schnittstelle zum Computersystem, zur Benutzeroberfläche darstellt. Ein Architekt, der nach Synthes Gesichtspunkten uneingeengt entwerfen will, unterliegt heute (noch) den Restriktionen des zuvor implementierten Expertenwissens des verwendeten CAAD-Systems. Die Verwendung von GM-Daten ermöglicht neue Softwaremodule (Entwurfsmodule) und auch eine verbesserte Bedienungs-führung (Handling). – Das Problem der Interaktion mit dem Computer scheint allgemein erkannt worden zu sein: „Instead of people learning how to interact with the computer, the computer starts to interact with them“, so Intel’s Vice President Pat Gelsinger⁹⁰.

4.2.3 Die Wahrnehmung und das (visuelle) Gedächtnis bestimmen maßgeblich die Interaktion mit dem Computer

Um ein CAAD-System vergleichbar dem Autofahren automatisch aus dem Unterbewusstsein („im Schlafe“) zu nutzen, müssen möglichst viele basale Areale des Gehirns bei der einzelnen Entscheidung mit angesprochen werden. „Je mehr basale Areale des Gehirns bei einer Entscheidung angesprochen werden, desto unbewusster ist sie“, so der anerkannte „Brain-Forscher“ Elger⁹¹. Emotionen wirken als Verstärker jeder neuen Information, um das Langzeitgedächtnis auch unbewusst zu füttern, berichtet Roth⁹².

Bei der Interaktion mit dem Computer bedarf es besonderer Sorgfalt, da nur begrenzte Wahrnehmungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Im Vergleich zum direkten

⁹⁰ Intel Developer Forum, 1.-3. März 2005

⁹¹ Christian Elger, Professor an der Universität Bonn

⁹² Gerhard Roth, Neurowissenschaftler und Professor an der Universität Bremen

Gespräch, wo Augenkontakt, Gestik, Stimme und Berührung selbst dann noch auf unsere Wahrnehmung Einfluss nehmen, wenn die Sprache versagt, müssen beim Computer alle Botschaften vornehmlich über Text und Bild verstanden werden. „Sprache, Textorganisation, Farbe und Layout geben Signale, die von Augen und Gehirn der Benutzer empfangen, verstanden und behalten werden sollen. Das funktioniert nur, wenn die Gesetze der menschlichen Wahrnehmung eingehalten werden. (...) Auch Empfindungen (schön, abstoßend, attraktiv) werden gemeldet.“ [Büchner 2002] Hier wird nach zusätzlichen akustischen und haptischen Wahrnehmungsmöglichkeiten zu suchen sein.

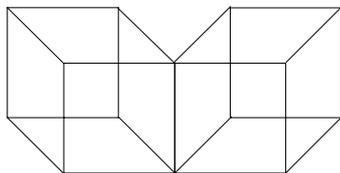


Abb. 4.2: Fixierbild mit zwei Würfeln [Buzan 2005]. Als dreidimensionales Bild ergibt sich für den Betrachter ein von ihm weisendes oder ein ihm entgegenstrebendes „V“.



Abb. 4.3: Das positive oder negative „Sehen“ macht aus schwarzen unregelmäßigen Farbkleckschen „Buchstaben“.

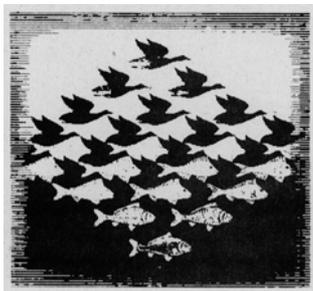


Abb. 4.4: M. C. Escher. Der Übergang eines Musters in ein anderes (engl. *amorphing*) ist für den Computer (noch) äußerst schwierig.

4.2.4 Semantik in der Grafik

Für Computerprogramme (noch) sehr schwer zu interpretieren ist, außer den auch für den Menschen nur begrenzt wahrnehmbaren Beispielen aus Kap. 3.7.3, Grafik, die zusätzlich noch Semantik enthält.

Unsere rechte Gehirnsphäre ist in der Lage, ein zweidimensionales Bild (Abb. 4.2) als dreidimensionales Gebilde wahrzunehmen. Dabei ergeben sich zwei unterschiedliche „Körper“; je nachdem, welche parallel zur Bildfläche verlaufenden Flächen in den Vordergrund bzw. Hintergrund „verschoben“ werden, sieht der trainierte Betrachter ein liegendes, von ihm weisendes „V“ oder ein ihm entgegenstrebendes „V“.

Das implizite Gedächtnis erkennt automatisch Objekte. Abb. 4.3 zeigt, wie der Text als solcher erkannt wird, in dem Moment, wo wir zu wissen glauben, dass es sich um einzelne Buchstaben handelt. – Für Computer gibt es inzwischen Texterkennungsprogramme, die Schrifttypen entziffern können, die sie wenigstens annähernd in ihrem „Vokabular“ „eingelernt“ haben. Schwieriger wird es bei beliebigen Mustern (Abb. 4.4), wo ein „Amorphing“ stattfindet. Das Thema der Bilderkennung oder Mustererkennung gehört zum festen Fachgebiet der Forschung von KI. „Unser Ziel ist es, Computern das Sehen beizubringen“, um-

schreibt Thomas Breuel vom DFKI⁹³ sein Fachgebiet. „Dies wird den Umgang mit Computern grundlegend vereinfachen und ganz neue Anwendungsgebiete erschließen. Der bildverstehende Computer kann dem Benutzer als intelligenter Assistent zur Seite stehen und ihm bei der Suche und Verwaltung großer Datenmengen langweilige oder schwierige Aufgaben abnehmen.“

4.2.5 Semantik in der Sprache

Die Verarbeitung von Sprache gilt als eines der komplexesten Phänomene menschlicher Intelligenz überhaupt.

„Gerade deshalb ist es umso verwunderlicher, mit welcher Mühelosigkeit das menschliche Gehirn Sprache erfasst und deutet. Die unbewusste Leichtigkeit, mit der dies geschieht, kann mit den heute verfügbaren Computern auch nicht annähernd simuliert werden. Um die Mitteilung eines Satzes zu verstehen, reicht es nicht aus, nur die Bedeutung der Wörter zu kennen. Vorstellungen und Wissen der an der Kommunikation teilnehmenden Personen müssen nachvollzogen werden können, und zudem muss das System die Fähigkeit besitzen, mit unvollständigem und teilweise inkonsistentem Wissen umzugehen, wie es in der Umgangssprache oft auftaucht.“ [Benesch 2005]

Es reicht aber auch nicht aus, das gesprochene oder geschriebene Wort verstanden zu haben, vielmehr muss der Computer jetzt die grammatikalische Korrektheit und die Bedeutung erkennen, also eine syntaktische und eine semantische Analyse durchführen. Schon einzelne Worte können isoliert mehrere Bedeutungen haben. Wie schwierig es für einen Computer ist, Text inhaltlich zu verstehen, machen die nachfolgenden Beispiele deutlich:

Montage können Wochentage sein oder aber die Tätigkeit des Montierens beschreiben. Andere Mehrdeutigkeiten birgt ein Satz wie: Ich beobachte den Mann mit dem Teleskop. Ob hier jemand ein Teleskop benutzt, um einen Mann zu beobachten, oder einen Mann beobachtet, der ein Teleskop trägt, ist diesem isolierten Satz nicht zu entnehmen. Andere Schwierigkeiten liegen, gerade bei der deutschen Sprache, in den zusammengesetzten Worten: Mädchen-handels-schule. Auch Satzzeichen, Pausen und Intonation (Stimmverlauf) können zu ganz unterschiedlichen

⁹³ Dr. Thomas Breuel, Professor am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Kaiserslautern, Fachgebiet Bildverstehen und Mustererkennung

Ergebnissen führen, z. B. bei dem bekannten Satz „Der Mensch denkt, Gott lenkt!“

Dennoch, „Für bestimmte Probleme der Bild- und Spracherkennung sind neuronale Netze [s. 4.7.8] (...) besonders gut geeignet.“ [vgl. Dengel⁹⁴ 2005, Benesch⁹⁵ 2005]

4.3 Unser Gedächtnisspeicher

Nach weit verbreiteter, nicht unumstrittener Auffassung sind beim menschlichen Gedächtnis drei Einheiten zu unterscheiden, die auch gerne mit Computern verglichen werden: das Ultrakurzzeitgedächtnis, auch als sensorisches Register (SR) oder ikonisches (visuelles) Gedächtnis bezeichnet, das Kurzzeitgedächtnis (KZG) und das Langzeitgedächtnis (LZG). [vgl. Benesch 2005, Gegenfurtner 2003, S. 105]

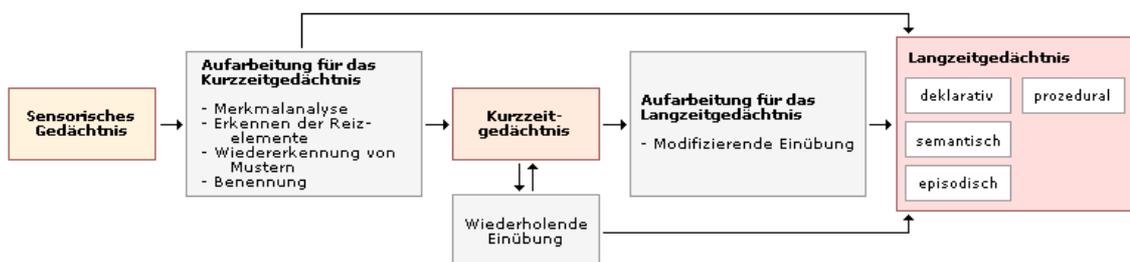


Abb. 4.5: Modell des menschlichen Gedächtnisses. [Wikipedia]

4.3.1 Das sensorische Register (SR)

Das SR speichert große Mengen von außen kommender Informationen, allerdings nur für extrem kurze Zeit. Die Halbwertszeit für das optische SR wurde mit circa 0,5 Sekunden errechnet. [Benesch]

Für die Benutzeroberfläche bedeutet das: Das sensorische Register nimmt kurzfristig alles wahr. Es „scannt“ Farben, Töne, Formen, Strukturen, Proportionen, Raum und An-

⁹⁴ Andreas Dengel, Professor für Informatik, TU Kaiserslautern (Wissensbasierte Systeme), und Wissenschaftlicher Direktor am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH)

⁹⁵ Hellmuth Benesch, Emeritus, Professor für Klinische Psychologie an der Universität Mainz

mutung. Das ist ein unwillkürlicher Vorgang, „gelesen“ oder „verstanden“ wird hier – noch – nicht. Die Merkfähigkeit des SR dauert [nach Büchner] eine bis anderthalb Sekunden. Mit dem „ersten Blick“ werden Struktur, Farbigkeit, Bilder und Proportionen erfasst. Wenn die Signale verschwinden, beginnt sofort wieder das Vergessen. Bildschirmseiten werden vom sensorischen Gedächtnis als Gesamtbild gescannt. Akzeptanz oder Ablehnung setzen bereits hier ein. Klarheit, Anmutung und Prägnanz sind daher wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz statt Ablehnung einer Bedieneroberfläche. [vgl. Büchner 2002]

4.3.2 Das Kurzzeitgedächtnis (KZG)

Auf dem KZG beruht das unmittelbare Behalten. Im Unterschied zum SR ist es auf eine begrenzte Kapazität von ungefähr sieben Einheiten begrenzt. Dieser Tatbestand, der an vielen Stellen in der Literatur festgestellt wird, bedeutet, „dass bei kurzzeitiger Darbietung vieler verschiedener Informationen nur etwa sieben Einheiten gemerkt werden können, es sei denn, die dargebotene beziehungsweise erhaltenen Informationen (z. B. Zahlen, Gebrauchsgegenstände) können zu Klassen oder Gestalten zusammengefasst werden (Chunking). Die Inhalte des KZG gehen sehr schnell nach etwa 20 Sekunden verloren, wenn sie nicht ständig wiederholt und so im Bewusstsein gehalten werden.“ [Benesch; vgl. Gero 2001]

Zu ähnlichem Ergebnis kommt Carol A. Parkhurst⁹⁶. Bei ihrer Recherche beruft sie sich u. a. auf Wilbert O. Galitz: „Human can remember ‚seven plus or minus two chunks‘ of information at a time, and can behold them in short-term memory for 15 to 30 seconds.“ [Galitz 1993, S. 37, zit. nach Parkhurst 1996]

Galitz fordert daher, diese Tatsache stets zu berücksichtigen: „Human memory is a weak link in the human-machine interface and should be supported whenever possible. Complexity should be commensurated with the capabilities of the system user.“ Um die Komplexität zu minimieren, wird empfohlen:

⁹⁶ Carol A. Parkhurst, Director of Library Systems University of Nevada, Reno

- Use progressive disclosure, hiding things until needed
- Make common actions simple
- Uniformity and consistency
- Any element that does not communicate information that the user may need right now is superfluous.

Der Tatsache, dass nur sieben Einheiten gleichzeitig im KZG gehalten werden können, wird in der Softwareergonomie allgemein, besonders aber auch bei eingeführten CAAD-Systemen bisher keine Bedeutung beigemessen, was bei Entwurfsarchitekten zu der schon erwähnten Ablehnung des Systems führt.

Die fünf bis sieben besonders gewichteten „Informationseinheiten“ wählt das KZG aus den gescannten Informationen aus. „Behalten wird“, so Büchner, „Deutliches, Klares, Lesbares, Augenfälliges, Überschaubares. Manchmal auch Störendes oder Ästhetisches.“ Wie: Namen, Logos, Begriffe, Metaphern, die neugierig machen. „Der Auswahlprozess in der Information wird stark von der individuellen Nutzenerwartung und Motivation der Benutzer gesteuert.“ Für das User Interface bedeutet das: Ikonen, Buttons, Menüpunkte sind überschaubar auf dieses Maß zu reduzieren, denn: Nicht Selektiertes wird vergessen.

Um ein CAAD-System wie ein Auto „im Schlaf fahren“ zu können, muss das erlernte Wissen im Langzeitgedächtnis gespeichert werden.

4.3.3 Das Langzeitgedächtnis (LZG)

Die zentrale und zugleich umfangreichste Gedächtniskomponente ist das LZG. Es enthält „die Gesamtmenge der überdauernden, aber nicht unbedingt abrufbaren Informationen. Die Inhalte des LZG bilden jedoch keine bloße Anhäufung von Informationen, vielmehr muss man sich das LZG als ein Netzwerk denken, in dem die Inhalte nach bestimmten Regeln miteinander verknüpft sind (Assoziationsgedächtnis). (...) Jeder gelernte Inhalt benötigt eine Konsolidierungsphase von ungefähr 10 bis 30 Minuten, um im LZG inventarisiert zu werden.“ Emotionale Faktoren spielen, wie schon vorher erwähnt, eine außerordentlich wichtige Rolle, positive Inhalte werden meist länger behalten als emotional negative. [Benesch]

Benutzerorientierte Bedieneroberflächen nutzen dies, indem sie vorhandenes Wissen aus dem KZG mit bereits vorhandenem Wissen und Erfahrungsmustern des Anwenders verknüpfen. Dazu werden bekannte Worte, Ikonen, Symbole aus der Welt der Zielgruppe als Basis der Verständigung verwendet. So wird über Sinnzusammenhänge Neues dauerhaft „angedockt“. Mit systematischem Farbeinsatz wird zusätzlich die Orientierung unterstützt. Intuitive Navigation ist ausschlaggebend für die Benutzerfreundlichkeit und Akzeptanz von Benutzeroberflächen. [Büchner 2002]

4.3.4 Computer versus menschliche Denkweise

Der Computer und das menschliche Gehirn werden gerne miteinander verglichen. Bei allen Analogien muss festgestellt werden, dass dabei die Rechnerleistung des Computers das menschliche Gehirn an Schnelligkeit und Menge der zu verarbeitenden Informationen (bits) übertrifft, jedoch mit der wesentlichen Einschränkung, dass das Gehirn nicht nur Informationen verarbeitet, sondern auch Emotionen. Die Leistungsfähigkeit des Gehirns wird erreicht durch die Verbindung jeder einzelnen Gehirnzelle mit zigtausend anderen. Die Peripherie des Menschen, seine Motorik und seine Sinnesorgane haben wesentlich mehr „Intelligenz vor Ort“ als die eines PCs (Bildschirm, Tastatur, Maus, Drucker, Plotter).

4.4 Überlegenheit und Grenzen von Rechnern und CAAD-Systemen aus heutiger Sicht

Die aufgeführten Punkte werden an dieser Stelle nur angerissen. In den nachfolgenden Kapiteln wird detaillierter darauf eingegangen.

4.4.1 Stärke des Computers

4.4.1.1 Rechengeschwindigkeit

Der Computer ist eine Rechenmaschine, die an Geschwindigkeit und Genauigkeit dem menschlichen Gehirn weit überlegen ist. Dabei sind Programme zur Bewältigung von

numerischen Aufgaben (Statik, kaufmännische Berechnungen) vergleichsweise leicht zu erstellen, da sie logischen Gesetzen folgen (es gibt nur richtig oder falsch).

4.4.1.2 Ausgabekanäle

Die eigentlichen Vorzüge des Computers sind seine Ausgabekanäle. Er kann in kurzer Zeit eine Fülle von Entscheidungsprozessen „durchspielen“ und zu einer Lösung zusammentragen. Da sein „Gedächtnis“ quasi nur durch seine Hardware begrenzt ist, können Regeln verwandt werden, die rückwärts gerichtete Verkettungen von der Lösung bis zum Ausgang des Problems erlauben und mit neuen Vorgaben die ganze Prozedur selbstständig erneut durchlaufen. So ließen sich auch Entwurfsideen gedanklich bis zum Problembeginn zurückverfolgen, um mit neuen Ansätzen das Problem selbstständig erneut anzugehen. [s. Joedicke, Iterationsprozesse, 3.3.5] Dazu müssen allerdings die „Entwurfsideen“ als Objekte erkannt und verwaltet werden, was heute (noch) nicht der Fall ist.

4.4.1.3 CAAD-Software ist entscheidend

Computer verstehen wir als Maschine (Hardware), die mit Hilfe von Programmen (Software) Informationen verarbeitet. „Das für CAAD interessante Gebiet ist jedoch die Software. Hier spielen sich die intellektuellen Auseinandersetzungen ab.“ [Schmitt 1993] Die ständig fortschreitende Geschwindigkeitssteigerung der Rechenprozessoren, aber auch neue Programmiersprachen kommen dabei der Lösungsfindung von semantischen „Interpretationen“ entgegen.

Inzwischen sind Computersysteme fester Bestandteil eines jeden Architektur- und Planungsbüros. Computer sind schneller und exakter als Menschen, wenn es sich um Kalkulationen mit einer großen Zahl von iterativen oder rekursiven Schritten handelt, also um Syntax. Beispiele sind die Berechnung verdeckter Kanten in Perspektiven, Auswerten von Kostenalternativen oder die Simulation von Klima, Akustik oder Ähnlichem.

4.4.2 Schwächen heutiger (CAAD-) Computersysteme

4.4.2.1 Die Wahrnehmung: Computer sind „blind“

„Das Sehen ist der wichtigste unserer Sinne, doch Computer sind noch fast vollständig blind.“ [Thomas Breuel] Auch Schmitt räumt die Schwächen ein, „die auf der semantischen Interpretation hauptsächlich grafischer Objekte beruhen: das direkte und sofortige Erkennen von wichtigen Umrissen oder Details in Umgebungen mit viel überflüssiger Information, das Interpretieren eines Grundrisses, die blitzschnelle Beurteilung eines Entwurfs“.

4.4.2.2 Der Umgang mit Unschärfe (unsicherem Wissen)

Die große Schwierigkeit im Umgang mit unsicherem Wissen, wie unter 4.4.2, dargelegt, bleibt auch in Expertensystemen erhalten. Wo Menschen zur Lösung eines Problems scheinbar ohne Nachdenken mühelos intuitiv das Wichtige vom Unwichtigen trennen und schnell zum Kern des Problems vordringen, müssen Expertensysteme mit ausgefeilten Mechanismen einen Ballast von Vorschriften und Wissen verwalten, in dem Wesentliches von Unwesentlichem nur nach starren Regeln zu unterscheiden ist. Abhilfe sollen hier künftig neuronale Netze schaffen, die sich direkt am Vorbild des menschlichen Gehirns orientieren, „da das Gehirn so ganz anders arbeitet als die symbolverarbeitenden Routinen der klassischen Expertensysteme: es ist ein neuronales Netzwerk von unerhörter Komplexität.“ [vgl. Dengel] (s. 4.7.8)

4.4.2.3 Die Interaktion mit dem Computer entspricht nicht grafischen Bedingungen

Das Handling, Eingabe, Positionierung und Editieren von grafischen Elementen im dreidimensionalen „Raum“, ist wegen der zweidimensionalen Projektion kompliziert und wird nur indirekt wahrgenommen (nicht gefühlt). Deshalb kommt der Weiterentwicklung der Benutzeroberfläche (UI) sowie dem Eingabemedium (Tastatur, Tablett, Stift, Maus oder auch der sprachlichen Ein- und Ausgabe) besondere Bedeutung zu. Grafische Eingaben, besonders im 3D- oder sogar 4D-Raum (wenn die Zeitachse hinzukommt), sind weitaus komplexer als die Eingabe von „eindimensio-

nalen“, hintereinander prozedural ausgerichteten alphanumerischen Texten, die mit Tastatur und Maus gut bedient sind.

4.4.2.4 Es gibt keine Entwurfsunterstützung

Rechnersystemen kann mittels Programmen vom Menschen „geliehene“ Intelligenz und Lernfähigkeit mitgegeben werden. Solche „Expertensysteme“ sind durch die Analyse des Programmierers begrenzt. (s. 4.7.10) Hier helfen in erster Linie Gebäudeproduktmodelle (GM) weiter, die nach allgemein gültigen Regeln aufgestellt sind und als Syntax für den Rechner vorliegen. (s. IFC, 5.6.2 ff)

4.4.2.5 CAAD-Programme kennen keine Emotionen

Besonders in den frühen Phasen des Entwurfs spielt Intuition eine große Rolle. Sie verfolgt Ideen, die zunächst ein „offenes Ergebnis“ zulassen müssen. Das bedeutet, es müssen auch Interpretationen zugelassen werden, die in die Irre führen können. Hier stoßen selbst Expertensysteme an ihre Grenzen, weil irrationale, für den Rechner unverständliche Maßnahmen einbezogen werden, die abseits der (vom Experten berücksichtigten) „normalen“ Norm liegen. Immerhin kann der Computer zum Testen der „Sackgassen“ neuronale Netze, nach ihrem Erfinder auch „Petri⁹⁷-Netze“ genannt, einsetzen, um beliebig viele Varianten, allerdings *unqualifiziert*, auszuprobieren. (s. 4.7.8.1 unten)

4.4.2.6 Fehlende Unschärfe bei der Eingabe

Der Umgang mit unscharfen Eingaben bereitet große Schwierigkeiten. Damit sind nicht nur freihändige Skizzen gemeint. Ähnlich dem vorherigen Punkt sind CA(A)D-Systeme nicht in der Lage, vage, für sie nicht vollständig definierte Eingaben zu akzeptieren. Exakte Platzierung wird erwartet, unvollständige Objektdaten (bspw. Fensterbreite 1,20 m, aber Öffnungshöhe und Brüstungshöhe sind noch nicht bekannt) werden nicht akzeptiert.

4.4.2.7 Fehlende unscharfe Präsentation

Für die Wiedergabe einer ersten Idee (Vorentwurf) ist eine Darstellung erforderlich, die gerade nicht die Perfektion

⁹⁷ benannt nach ihrem Erfinder Carl Adam Petri (1962)

einer CAD-Zeichnung hat, um Freiräume für Interpretationen durch den Betrachter offen zu halten.

4.5 Überlegenheit des Menschen liegt in der Kreativität

Auch wenn wir dem Expertensystem eine begrenzte Kreativität zugestehen, hier ist der Mensch dennoch dem Computersystem überlegen. Der Mensch kann differenzieren, erkennt Zusammenhänge, interpretiert Bilder, ist lernfähig, kreativ, intuitiv. Während der Computer durchaus in auf Regeln basierenden Modellen eine scheinbare Intelligenz erreichen kann, kann diese doch immer nur so weit gehen, wie der Programmierer die Situation vorausgedacht und in ein Regelwerk für den Rechner umgesetzt hat. Die kognitive Denkweise des Menschen ist so umfassend auf alle Sinne ausgelegt, dass ihr ein Computer nicht folgen kann. Da der Mensch die Gründe seiner Intuition oft selbst nicht herausfinden kann (unterbewusstes Handeln), kann er auch für kein Computerprogramm diese Regel aufstellen. Routinemäßiges Vorgehen unterliegt bestimmten Regeln und kann mittels Expertensystemen (Automaten) berücksichtigt werden. Kognitive Programme, die auf heuristischem⁹⁸ Weg das Ziel verfolgen, neuartige Lösungen zu kreieren, sind erst ansatzweise in der Forschung zu sehen.

⁹⁸ „Als **Heuristik** (abgeleitet von [alt]griechisch εὐρίσκω, heurísko, zu Deutsch: ich finde) bezeichnet man eine Strategie, die das Streben nach Erkenntnis und das Finden von Wegen zum Ziel planvoll gestaltet. In der Psychologie sind Heuristiken kognitive Eilverfahren, denn sie organisieren Faustregeln für kognitive Strategien. Vier der vielen Heuristiken sind: Verfügbarkeit (Wahrscheinlichkeiten); Repräsentativität (Zugehörigkeit zu bestimmten Kategorien); Anker- oder Anpassungsheuristik; Trial and Error (Versuch und Irrtum). Solche Eilverfahren führen oft zu Lösungen einer Problemstellung, können aber auch verfälschte Entscheidungen hervorbringen. Entscheidungsfindungen laufen, wenn es schnell gehen muss, über diese Faustregeln. Wenn aber mehr Zeit zur Verfügung steht, sollte man sich anderer Wege bedienen bzw. Urteilsschlüsse (Konklusion) genauer überprüfen.“ [Wikipedia, Heuristik]

4.6 Computersysteme im Bauwesen heute

Inzwischen sind CAAD-Systeme mit der Möglichkeit von AVA und Terminplanungsanbindungen in Architekturbüros eingeführt. Auch sind Renderings oder sogar Videos von fotorealistischen Darstellungen üblich. Es besteht allgemeine Übereinkunft darüber, dass CAAD die Planung von Gebäuden schneller, genauer, vorhersehbarer und preiswerter gemacht hat. So ist ein CAAD-System beim Zeichnen und Konstruieren (Werkplanung) der traditionellen Methode weit überlegen. Einer der größten Vorteile der CAAD-Anwendung gegenüber dem herkömmlichen Zeichenbrett ist die schnelle Veränderbarkeit der Geometrien (solange sie miteinander semantisch verknüpft sind) und der damit verbundenen Daten sowie auch die Ableitung von Alternativen. Durch die Verknüpfung mit entsprechenden Massen- und Kostenmodulen lassen sich jederzeit die Kosten verfolgen und miteinander vergleichen. Auch Aufmaß und Abrechnung können direkt aus den CAAD-Daten abgeleitet werden. Die weitere Entwicklung sieht die automatische Fertigung vor. [vgl. Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA 6626]

Allgemeine CAD-Systeme, die vorwiegend mit Freiformflächen operieren, haben eine neue Architektur ermöglicht, die Freiform-Architektur, die ohne solche Systeme nicht bezahlbar wäre. (s. 4.6.2). In seiner Dissertation hat Choo dargelegt, wie von bekannten, international führenden Architekturbüros CA(A)D in unterschiedlicher Weise genutzt wird. [s. Tabelle 1, Choo 2005]

Tabelle 1: Types of computer-use in architecture

<i>Types of computer-use</i>	<i>Architect</i>
<i>Conceptual, initial exploration of more dynamic and unpredictable forms</i>	<i>Peter Eisenman</i>
<i>Transformation of an idea into physical reality for achieving design goal</i>	<i>Frank Gehry</i>
<i>Standard tool which has replaced traditional design planning, tool for acoustic effects</i>	<i>Günter Behnisch</i>
<i>Analysis of existing objects and exploration of objects involved</i>	<i>Mark Burry</i>
<i>Structural analysis</i>	<i>Nicholas Grimshaw</i>

4.6.1 Facilities Management (FM)

FM steht für ganzheitliche Erstellung und Unterhaltung einer Immobilie über eine vorgegebene Nutzungsdauer. Mit dem Computer können Herstellungs- und Wartungskosten über den gesamten Zeitablauf simuliert werden. Bspw. verpflichtet der Fahrstuhlbau, gekoppelt mit einem Wartungsauftrag, über einen längeren Zeitraum zu einer besonderen Kalkulation, da eine vermeintlich „billige“ Ausführung im Nachhinein zu erhöhten Unterhaltsfolgekosten führen kann. Die Folgekosten, die 90 % der Herstellungskosten einer Immobilie ausmachen, können so schon während der Planung kostenbewusst beeinflusst werden.



Abb. 4.6: „Water Cube,“ China 2008
The system, based on a concept from two Irish Professors of Physics at Trinity College, Dublin, consists of three different steel nodes and steel members that will be fabricated from steel plate and bolted together on site

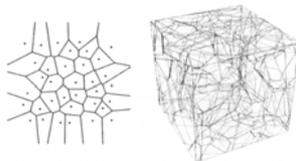


Abb. 4.7: Two- and Three-Dimensional Voronoi Diagrams (similar to the initial design for the „Water Cube“) [Fischer, Th. 2005]

4.6.2 CA(A)D beeinflusst die Gegenwartsarchitektur

Längst hat der Computer Einfluss auf die Architektur genommen: Frank Gehrys, Norman Fosters oder Zaha Hadids Bauten, um nur einige Architekten zu nennen, die mit ihren Freiformflächen neue Wege gehen, sind ohne CAAD-Einsatz nicht denkbar. Im Gegenteil, die Herausforderung für die Architektur des 21. Jahrhunderts sieht William J. Mitchell in der Chance, Komplexität in der Architektur durch Computereinsatz zuzulassen. Ähnlich wie zur Zeit der Industrialisierung das Ornament, was zuvor den Handwerkern überlassen war, zur Massenware wurde, kann künftig die Verwendung komplizierter Konstruktionen die Architektur neu beleben, da mit Computerunterstützung komplexe Konstruktionen durch Reduzierung auf möglichst wenige, aber gleiche Einzelteile rentabel gerechnet werden können. (Abb. 4.6)

Buildings were once materialized drawings, but now, increasingly, they are materialized digital information – designed and documented on computer-aided design systems, fabricated with digitally controlled machinery, and assembled on site with assistance of digital positioning and placement equipment. Within the framework of digitally mediated design and construction we can precisely quantify the design content and the construction content of a project, and go on to define complexity as the ratio of added design content to added construction content. (...) Many architects have simply exploited technology to reduce the time and cost of producing buildings in the conventionally modernist mode, (...). But others have recognized that the digital revolution has opened up new domains of architectural form for exploration, and they have seized the opportunity to produce projects that break the old rules. [Mitchell, W. J. 2005]



Abb. 4.8: The State Centre at MIT
 „Form follows function in a new sense“
 [Mitchell, CAAD future 05]

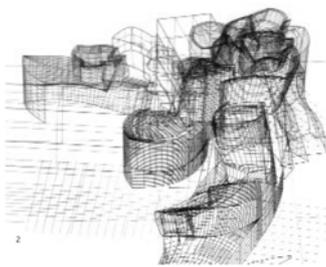


Abb. 4.9: Freie Formen werden gerastert und beschrieben: Frank O. Gehry, Guggenheim Museum Bilbao, Computermodell [Fritz ETH]
 „Gehry hat durch seine Weiterentwicklung der CATIA-Software eine stille Revolution in der Architektur ausgelöst.“ [Steele, S. 132]



Abb. 4.10: Kuppel der ETH Zürich:
 oben: das Computermodell
 unten: Stereolithographiemodell
 [http://caad.arch.ethz.ch/projects/acm/kp2/kp2_59.html]

Mehr und mehr werden auch Simulationen eingesetzt, wenngleich es auch immer noch ein großes Thema in der Forschung ist, wie: Strömungsverhalten von Verkehrssituationen in der Rushhour, menschliches Verhalten in besonderen Situationen (Wien, Brunnen), Menschen vor dem Fahrstuhl in der Hochhausplanung (Fluchtwegoptimierung), Lüftungstechnik, Akustik, Lichtberechnungen. – Am ehesten verbreitet sind Kostensimulationen: Durch gekoppelte AVA können Kosten während der Planung verfolgt bzw. die Wirtschaftlichkeit der Planung beurteilt werden.

4.6.3 Nur ansatzweise Entwurfsunterstützung in den frühen Phasen des Entwurfs

Die Freiformflächen der Architektur von Gehry, Foster und Hadid werden vorwiegend mit 3D-modellierender Software (Freiformmodeller wie CATIA⁹⁹, Rhino) nach dem Top-Down-Prinzip erstellt, sie beinhalten kein GM. Wenn die Form gefunden ist, werden die Volumenkörper als Hülle an CAAD-Systeme (bspw. AutoCAD) übergeben, um die weitere Durcharbeitung (Baueingabe, Werkplanung, AVA usw.) vorzunehmen.

Freie Formen werden gerastert und beschrieben: Ungeachtet der modernen Fertigungsmöglichkeiten werden handwerklich Modelle hergestellt. Der nicht zu unterschätzende Einsatz des Computers liegt in der Strukturierung bisher nicht beschriebener mathematischer Formen: Ein 3D-Scan des Modells digitalisiert den haptischen Entwurf und macht ihn in einem präzisen Transformationsprozess maschinenlesbar – und so mit computergesteuerten Maschinen (CNC) produzierbar. Der Computer gibt die Möglichkeit, Formen frei von strukturellen und konstruktiven Überlegungen zu entwerfen: Die angewandte Technologie ermöglicht erst die Formenvielfalt und befreit von den Beschränkungen der Rasterung. [Fritz¹⁰⁰]

Gehry bspw. „hält daran fest, Computergrafiken nicht im Entwurfsstadium zu nutzen, da sie ‚einer anfangs formulierten Idee den Lebenssaft entzögen‘. [Steele 2001] Gleichzeitig setzt er CATIA ein, ein Programm, das ur-

⁹⁹ CATIA ist ein Produkt der Firma IBM, es wurde 1982 von deren Tochterfirma Mirage-Düsenjäger Dassault Aviation zur Oberflächenmodellierung entwickelt.
<http://www.catia.ibm.com/contact/ibmets.html>

¹⁰⁰ Oliver Fritz: Programmieren statt zeichnen? Vom Einfluss digitaler Technologie auf den architektonischen Entwurf, ETH Zürich
<http://architektur-informatik.scix.net/data/works/att/-programmierenstattzeichnen.content.09919.pdf>
 (Download 08.5.2006)

sprünglich zum Flugzeugbau entwickelt wurde. Die Vorzüge CATIAs gegenüber anderen Programmen sieht Gehrys Juniorpartner Jim Glymp darin, dass das Programm ‚fähig ist, jede Oberfläche als Gleichung zu definieren. Wenn man also irgendeinen Punkt an der Oberfläche abfragt, liefert CATIA ihn.‘ Den Arbeitsprozess des Entwurfsteams beschreibt er als „Digitalisierung und Visualisierung am Bildschirm (...), wo wir den realen Modus zu verwirklichen begannen. Im Unterschied zu Kollegen konnten wir immer auf das physische Modell zurückkommen.“ [Bruggen 1997, S. 135]

Der Vorteil liegt in den digital vorliegenden Freiformflächen, die direkt an die Fertigung übergeben werden können. Gehrys Modell eines Fassadendetails im Maßstab 1:1 (Kalksteinplatten auf Stahlträgerfachwerk) war der Beginn seiner „Freundschaft mit CATIA“, weil mit der Software nicht nur eine präzise Darstellung, sondern auch eine direkte Steuerung der Steinsäge per Diskette möglich war, und so der Ausstellungstermin auf der Biennale in Venedig eingehalten werden konnte. Das heißt aber, Architekten können durch Verwenden eines Freiformmodellers in ihrer Kreativität stimuliert werden, eine eigentliche semantische Entwurfsprozessunterstützung findet jedoch nicht statt, da Freiformmodellern kein GM hinterlegt ist und das heutige GM noch nicht in der Lage ist, derartige Formen semantisch abzubilden.

Als Resümee schreibt Steele:

CATIA hat mit Sicherheit einer neuen Baugestaltung Tür und Tor geöffnet, viele fragen sich jedoch, wohin die CAD-Technologie führt und wo ihre Grenzen liegen, das sie reine Formen ohne solide theoretische Basis erzeugt. In Bezug auf Gehry besteht das Wunder seines Durchbruchs darin, dass auch er nach Bilbao in der Lage ist, Werke von formaler Dynamik und Vielfalt hervorzubringen.

CAAD-Systeme wie AutoCAD, Archicad, Allplan beinhalten ein GM und erlauben auch in der Entwurfsphase die Eingabe von Architekturen. Doch verlangen sie stets eine genaue (scharfe) Eingabe, ohne die eine Positionierung im GM nicht möglich ist. Was daher in erster Linie fehlt, ist die Möglichkeit der „unscharfen“ Eingabe, die je nach Fortschritt des Entwurfs nach und nach genauer (schärfer) werden kann. Hier kann die Verwendung von künstlichen neuronalen Netzen weiterhelfen. (s. 4.7.8.1 unten)

4.7 Künstliche Intelligenz

Mit zunehmender Rechenleistung gewinnt die Disziplin der KI an Bedeutung. KI befasst sich mit Systemen, die wie Menschen denken, wie Menschen handeln, rational denken und rational handeln. Solange es nicht gelungen sein wird, ein selbstständig denkendes Artefakt geschaffen zu haben, kann streng genommen nur von einer vom Menschen „geliehenen“ Intelligenz gesprochen werden. [Junge] – KI ist die wissenschaftliche Disziplin, die ihre Aufgaben darin sieht, zum einen kognitive Systeme zu simulieren (rationales/menschenähnliches Denken) und zum anderen „intelligente“ Systeme zu konstruieren (rationales/menschenähnliches Handeln).“ Als zentrales technisches Medium dient der Computer, „der eine strikte Formalisierung voraussetzt, aber auch exemplarische Realisierungen durch ihre Implementation ermöglicht.“ KI hat zum Ziel, Artefakte (Computerprogramme oder Roboter¹⁰¹) zu bauen, die von Menschen vorgegebene Aufgaben in einer rationalen und menschenähnlichen und damit nachvollziehbaren Weise erfüllen können. Für die CAAD-Forschung hat sich unter John Gero (Mentor) der Arbeitskreis AID¹⁰² gebildet. KI wendet Methoden der Informatik an, ergänzt sie um heuristische Verfahren und befasst sich mit Problemen, die (noch) nicht in der üblichen Präzision in der Informatik vorliegen und für die es noch keine allgemein anerkannten Lösungen gibt. „Die Entwicklung, Simulation und Überprüfung heuristischer Verfahren ist der zentrale Arbeitsbereich der KI.“ [Görz und Nebel 2003]

KI-Forscher Patrick H. Winston fasst die KI-Forschung mit den Worten zusammen, dass die „Künstliche Intelligenz die Untersuchung von Berechnungsverfahren ist, die es ermöglichen, wahrzunehmen, zu schlussfolgern und zu handeln“.

¹⁰¹ Mit „Roboter“ sind hier autonome künstliche Wesen (Maschinen) gemeint, die sich selber steuern und auf äußere Einflüsse selbst reagieren. Als Vertreter dieser Richtung ist Rodney A. Brooks hervorzuheben. [vgl. Brooks 1991]

¹⁰² AID = Artificial Intelligence in Design, a biannual series of conferences and workshops; Mentor: John Gero.

4.7.1 Anwendungsbereiche

Die Anwendungsbereiche von KI haben zum Ziel, Artefakte zu schaffen, die bei ihrer Aktion mit der Umwelt ähnliche Fähigkeiten wie der Mensch aufweisen. Die Bereiche sind u. a.:

- Verfahren zur Verarbeitung der natürlichen Sprache; durch Einsicht in den „Mechanismus“ der Sprache – ihren Aufbau, ihre Verarbeitung und Verwendung – sollen diese zur Mensch-Maschine-Interaktion nutzbar gemacht werden.
- Verstehen von Bildern; hier sollen durch Aufgaben in der Wahrnehmung Merkmale aus optischen Daten gewonnen werden, um daraus Interpretationen von stehenden und bewegten Bildern zu erzeugen.
- Expertensysteme sind von besonderem Interesse, da sie bei heutigen CAAD-Systemen zunehmend angewandt werden.

4.7.2 Möglichkeiten der KI für CAAD-Systeme

„Es herrscht breite Übereinstimmung darin“, so die Informatiker und Buchautoren Görz und Nebel, „unter Intelligenz ‚höhere‘ mentale Prozesse wie Erkenntnisvermögen, abstraktes Denken, Repräsentation, Urteilsfähigkeit, Problemlösen und Entscheidungsfindung zu subsumieren.“ Neben logischem Denken, Rechnen und „allerlei Gedächtnisleistungen“, besonders auch der Fähigkeit zur Reflexion, wird Intelligenz sichtbar im Sprachgebrauch sowie beim Erkennen von Gegenständen und Situationsverläufen. Neben der konvergenten Fähigkeit, durch Kombinieren aus einer Vielzahl von (vorgegebenen) Informationen eine Lösung zu finden, „spielt bei der Problemlösung aber auch die Kreativität eine wichtige Rolle, insbesondere auch das Vermögen, außerhalb der aktuellen Informationen liegende Lösungsmöglichkeiten einzubeziehen.“ Aber auch die Fähigkeit, in besonders hartnäckigen Fällen die Suche nach Lösungen zu begrenzen, ist eine „typische“ Leistung der Intelligenz.

Spätestens an dieser Stelle, wenn wir den konstitutiven Raum verlassen, um Kreativität und Emotion zuzulassen, sehen wir die Grenzen heutiger Expertensystemen, wie sie auch als CAAD-Systeme vermehrt verfügbar sind. Diese

Systeme haben mehr oder weniger Wissen „mitbekommen“, um den Anwender beratend zu unterstützen. Der offensichtlich große Schritt vom „beratenden“ Expertensystem, bei dem das System dem Anwender mit seinem begrenzten Wissen „beratend“ zur Seite steht, hin zum „coachenden“ System, welches lernfähig ist, welches davon ausgeht, dass der Anwender die beste Lösung selbst findet bzw. zu entwickeln weiß, kann als Herausforderung an die nächste Generation von CAAD-Systemen gesehen werden.

Um Möglichkeiten und Grenzen der Entwicklung künftiger CAAD-Systeme einschätzen zu können, bedarf es einer genaueren Betrachtung über den Stand der KI.

4.7.3 Vier Orientierungen in der KI-Forschung

In der KI-Forschung (s. a. 3.4.3) werden vier unterschiedliche Orientierungen verfolgt:

- (1) Systeme, die wie Menschen handeln
- (2) Systeme, die wie Menschen denken – zielt auf die Modellierung kognitiver Prozesse
- (3) Systeme, die allgemeingültigen Regeln des rationalen Denkens folgen, unterschieden in:
 - inhaltliche, sachlogische Regeln, bspw. in Gebieten der Wissenschaft
 - praktische Schlussformen, bspw. bei Gerichtsverhandlungen
- (4) Systeme, die rational agieren

4.7.4 KI-Methoden

Nachfolgend eine Auswahl von KI-Methoden (4.7.5 bis 4.7.8), die entwickelt wurden, um verschiedene Probleme in Anwendungen zu lösen, die auch in anderen Gebieten der Informatik verwendet werden. Sie greifen teilweise ineinander und könnten zur Entwicklung künftiger CAAD-Systeme geeignet sein:

- Wissenspräsentation und -verarbeitung
- Handlungsplanung, Agenten
- Unsicherheit und Wahrscheinlichkeit
- Lernfähige Systeme

- Neuronale Netze
- Wissensrepräsentation

Ein Forschungsansatz beruht auf der so genannten Symbol-Hypothese, nach der die Repräsentation und Verarbeitung von Symbolen die konstituierende Grundlage für kognitive Fähigkeiten ist. Symbole werden dabei als Bezeichner von Objekten, Eigenschaften und Beziehungen in der realen Welt verstanden. Ein Ansatz dieser symbolischen Vorgehensweise ist das logische Programm, das versucht, kognitive Fähigkeiten mit Hilfe von formaler Logik zu beschreiben. Die Idee dabei ist, ein System zu schaffen, das mit Hilfe von Hinweisen des Anwenders in der Lage ist, Probleme zu lösen. „Dieses hypothetische System wurde schon frühzeitig als Advice Taker von McCarthy [vgl. McCarthy 1959] formuliert.“ Mit dieser formalen Logik lassen sich Methoden und Techniken aus der Mathematik übernehmen, doch viele Dinge im realen Leben lassen sich nur sehr schwer formal präzise beschreiben, was zu Entwicklungen wie dem „nichtmonotonen Schlussverfahren“ geführt hat. [vgl. Görz und Nebel] (s. a. 4.7.5.1)

Beispiele dieser Art im Bauwesen finden wir heute in den Gebäude(Produkt)modellen (GM) gängiger CAAD-Systeme.

4.7.5 Softwareagenten und Avatare

In der Informatik werden Softwareagenten (auch Agents oder besser Assistenten genannt) als intelligente Agenten bezeichnet. Sie sind selbstständig agierende Systeme mit folgenden Eigenschaften [Wikipedia]:

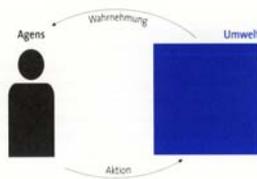


Abb. 4.11: Agenten und Umgebung
1. falls Schalter nach unten, dann Licht an, 2. falls Schalter nach oben, dann Licht aus. [Görz und Nebel]

- autonom – das Programm arbeitet weitgehend unabhängig von Benutzereingriffen
- proaktiv – das Programm löst Aktionen aufgrund eigener Initiative aus
- reaktiv – das Programm reagiert auf Änderung der Umgebung
- sozial – das Programm kommuniziert mit anderen Agenten
- lernfähig/anpassungsfähig – das Programm lernt aufgrund zuvor getätigter Entscheidungen bzw. Beobachtungen

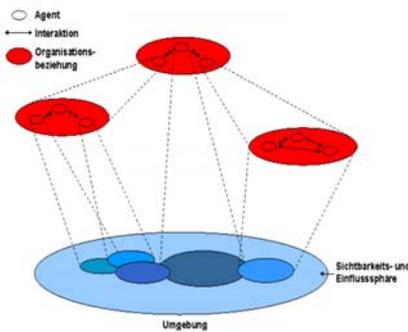


Abb. 4.12: Sicht auf ein Multiagentensystem (MAS) nach Jennings [Jennings 2001]

Unterschieden werden die Abstraktionen:

- Agenten, von denen das MAS gebildet wird
- Umwelt, in die das MAS eingebettet ist
- Tasks, die von den Agenten in der Organisation erfüllt werden
- Interaktion zwischen den Agenten
- Organisationsregeln und -strukturen

Weitere Anforderungen werden gestellt:

- Flexibilität/Mobilität – Sie müssen auf verschiedenen Plattformen, Betriebssystemen und Netzen funktionieren und technische Probleme ohne Benutzereingabe lösen
- Transparenz/Verantwortlichkeit – Falls gewünscht, müssen Agenten über die Möglichkeiten der Protokollierung verfügen (*wann sie wo waren, was sie getan und mit wem sie kommuniziert haben*)

Intelligente Agenten zeichnen sich durch Wissen, Lernfähigkeit, Schlussfolgerungen und die Möglichkeit zu Verhaltensänderungen aus.

Ein Softwareagent kann für einen Benutzer bestimmte Aufgaben erledigen und seine Aufgaben in Teilen autonom durchzuführen. Er ist in der Lage, mit seiner Umwelt auf sinnvolle Art und Weise zu interagieren. Da das Wort „Agent“ negativ belegt ist, wird der Begriff im nachfolgenden als „Assistent“ bezeichnet, so er sich auf die Anwendung speziell im CAAD-Bereich bezieht; das Wort „Agent“ soll nur verwandt werden, wenn es sich auf die reine Informatik bezieht. In Wirklichkeit meinen beide das Gleiche. Heute spricht man von rationalen Agenten statt von intelligenten Systemen.

Es wird unter drei verschiedenen Agenten unterschieden. Der so genannte reflexbasierte Agent, der mit einfachen Situation-Aktions-Regeln auf seine Umwelt reagiert, geht davon aus, dass alle wesentlichen Aspekte der Umwelt mit Hilfe von Sensoren direkt wahrnehmbar sind, was aber nicht immer gegeben ist. Sind mehrere einzelne Wahrnehmungen gleichzeitig notwendig, die in Beziehung gesetzt werden sollen, muss man sich Beobachtungen merken können, um die nächste Größe bestimmen zu können. Hierzu ist der zustandsbasierte Agent bestimmt, der neben den direkten Wahrnehmungen auch einen internen Zustand bei der Aktionsauswahl mit einfließen lässt. Dieser Agent arbeitet reflexhaft und kann daher noch nicht als intelligent bezeichnet werden. Soll ein Agent auch über Konsequenzen seiner Handlung rasonieren und womöglich auch wechselnde Ziele verfolgen, so können, abhängig von diesen Zielen, Aktionsketten bewertet werden, inwieweit sie das jeweilige Ziel erreichen. Ein solcher Agent muss in der Lage sein, die Konsequenzen der eigenen Aktionen zu berechnen und die wahrscheinliche Entwick-

lung der Umwelt vorherzusagen. Basierend auf der Bewertung kann man dann die Aktion auswählen, welche vermutlich dazu führen wird, dass die aktuellen Ziele erfüllt werden. Man spricht hier von zielbasierten Agenten. Neben diesen drei Agentenarchitekturen gibt es weitere Vorschläge, etwa die Möglichkeit, Ziele selbstständig zu wählen oder die Fähigkeit zu lernen in die Architektur der Agenten zu integrieren. [vgl. Görz und Nebel, S. 37 f, Siemens 2001¹⁰³]

4.7.5.1 Multiagentensysteme

Agenten lassen sich zu Multiagentensystemen zusammenfassen. Mehrere, u. U. mit unterschiedlichen Fähigkeiten ausgestattet, arbeiten zusammen, um von Menschen vorgegebene Ziele zu verfolgen und damit einen Beitrag zur Lösung komplexer praktischer Aufgaben zu leisten.

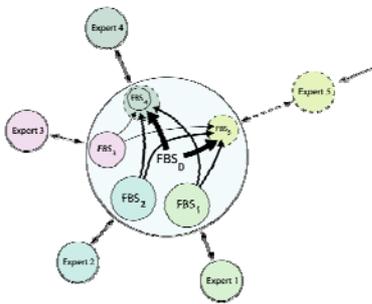


Abb. 4.13: Beispiel eines Expertensystems unter Verwendung eines Multiagentensystems. Jeder Experte verwendet mehrere Agenten. Aus: „Modelling Expertise of Temporary Design Teams“ [Gero and Kannengiesser 2003]

In der klassischen, symbolischen KI stehen die Repräsentation der Umwelt und die Verarbeitung dieser Repräsentationen im Vordergrund. (s. 5.6, CAAD-Systeme mit GM) Eine Weiterentwicklung wird in intelligentem Verhalten in der verteilten Tätigkeit und der Interaktion vieler (meist sehr einfacher) Systeme gesehen. Hierbei liegt die aufgabenbezogene Kooperation im Wettbewerb unabhängiger Teilsysteme, bei welcher kein System eine globale Sicht des gesamten Problemlösungsprozesses innehat. Man spricht hier von Multiagentensystemen, wenn eine Modellierung als Gruppe von Subsystemen verwendet wird. – Im Bauingenieurwesen wird die agentenorientierte Softwareentwicklung als geeigneter Lösungsansatz zur Entwicklung leistungsfähiger Softwaresysteme gesehen. Dort wird der Gebrauch von Algorithmen deterministischer¹⁰⁴ Teilprobleme ergänzt durch Methoden der KI für nicht-deterministische¹⁰⁵ Teilprobleme. [Hovestadt A4-Digitales Bauen] (s. Kap.8.1)

¹⁰³ Siemens, PoF 2/01, Artikel 14, Agententechnologie – Siemens Entwicklung, www.siemens.com (download 30.05.06)

¹⁰⁴ Deterministische Algorithmen sind vordefinierte und reproduzierbare Zustände

¹⁰⁵ Nicht-deterministische Turingmaschinen (mathematisches Modell, nach Alan Turing 1936 benannt) ermöglichen es einem Algorithmus quasi zu „raten“. Damit werden viele Probleme mit sehr viel weniger Aufwand lösbar [Wikipedia]

Das Problem aller Agenten-Architekturen liegt darin, das gesamte Weltwissen vollständig verfügbar zu erfassen. Durch *Situiertheit* konnten Robotikarchitekturen entscheidend in ihrer Entwicklung vorangetrieben werden. *Situiertheit* bezeichnet die Fähigkeit eines intelligenten Systems, die aktuelle Situation durch Wahrnehmung seiner Umgebung oder durch Kommunikation mit kooperierenden Partnern in weitestgehendem Maße als Informationsquelle auszunutzen, um Situationen auch ohne komplettes Weltbild bewältigen zu können. Die Handlungsfähigkeit eines intelligenten Agenten hängt daher entscheidend von seiner Verankerung in der aktuellen Situation ab. [Brooks 1991] – Eine Alternative zu den symbol- und logikzentrierten Ansätzen stellen die neuronalen Netze dar. (s. 4.7.8 unten)

4.7.5.2 Handlungsplanung

Hinter Handlungsplanung verbergen sich Agenten, die nicht nur reagieren, sondern proaktiv tätig werden. Sie antizipieren, was ihre Aktionen bewirken, und sind in der Lage, Ketten von Aktionen zu bestimmen, die ein erstrebtes Ziel erreichen – sie können Handlungen planen. Aktionen wie auch Zielbedingungen werden mit Hilfe logischer Formeln in einer für alle verständlichen Sprache beschrieben. Diese Idealisierung einer strikten logischen Formalisierung stößt aber in der Praxis technischer Anwendungen an Grenzen. „Hier können Methoden zum Umgang mit unsicherem und vagem Wissen weiterhelfen.“ [vgl. Görz und Nebel, S. 43, 101 ff]

4.7.5.3 Avatare

Unter Avatar¹⁰⁶ versteht man heute eine künstliche Person oder einen grafischen Stellvertreter einer echten Person in der virtuellen Welt. Er wird genutzt, um Agenten im Netz sichtbar zu machen. Avatare können zwei- oder auch dreidimensional sein. Sie können animiert werden (Computerspiele) und zu Kommunikationszwecken (virtuelle Konferenzräume¹⁰⁷) eingesetzt werden. Dabei können Mimik und Gesten über ihren Gefühlszustand Auskunft geben.

¹⁰⁶ Der Begriff Avatar (von Sanskrit: Avatara, „Herabkunft“) bezeichnet aus dem Hinduismus: die körperliche Manifestation eines unsterblichen Wesens, z. B. einer Gottheit, z. B. in Menschengestalt, auf der Erde [Wikipedia]

¹⁰⁷ Vgl. EU-Forschungsprojekt „Avatar Conference“, 2001, Siemens und Fraunhofer-Institut [www.info-engineering.iao.fhg.de]

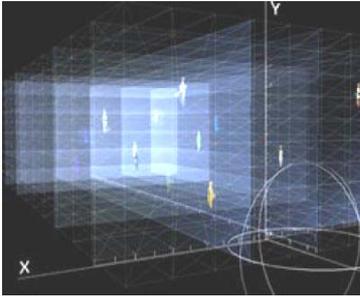


Abb. 4.14: M. Abendroth et. al.: i-skin: collective space.
Avatare in einer virtuellen 3D-Welt

4.7.5.4 Abschließend

Zur Thematik der Agententechnologie wird seit Ende der 1970er Jahre international geforscht, ohne dass eine Standardisierung stattgefunden hat. Die Thematik ist komplex, weil verschiedene Disziplinen (KI, Verteilte Systeme, Linguistik oder Sozialwissenschaften) vereint zu berücksichtigen sind. Zum anderen benötigen Agenten einen entsprechenden Aktionsraum, die so genannte Plattform, die darüber wacht, dass ein fremder Agent nur die Tätigkeiten ausübt, die ihm zugestanden werden (alles sehen, auf alles zugreifen, Daten ändern oder löschen). In dem Zusammenhang tun sich Fragen auf, die in einer solchen Plattform zu beantworten sind: Wie lassen sich böartige Agenten (von außen) enttarnen, die etwa Daten entwenden wollen? Ist der eigene Agent manipuliert worden? Die Frage der Zugriffsrechte (Sicherheit und Rechtsverbindlichkeit) ist bei einer CAAD-Entwurfsplattform bereits bei der Grundlagenermittlung zu berücksichtigen. – Das BMWi hat 2001 ein Forschungsprojekt MAP (Multimedia-Arbeitsplatz) gestartet, an dem 18 Partner teilnehmen mit dem Ziel, ein Assistenzsystem für die Arbeitswelt zu schaffen. „Der Schwerpunkt liegt in der Baubranche.“ Der Kerngedanke von MAP ist die Verknüpfung aller Informationen und die leichte Bedienbarkeit des Systems. Der Nutzer soll frei wählbar seine Informationen per Tastatur, Gestik oder Sprache eingeben können. [vgl. Siemens 2001, BMWi 2002¹⁰⁸]

Agenten sollten bestimmten Gesetzen folgen. In Abwandlung der drei Robotikgesetze von Isaac Asimov¹⁰⁹ hießen die:

- Agenten dürfen ihrem Auftraggeber (Menschen) nicht schaden oder durch Untätigkeit zulassen, dass er geschädigt wird.
- Agenten müssen die vom Auftraggeber (Menschen) erteilten Befehle befolgen, es sei denn, die Befehle stehen im Widerspruch zum ersten Gesetz.
- Ein Agent muss seine eigene Existenz schützen, solange dies nicht dem ersten oder zweiten Gesetz widerspricht.

¹⁰⁸ BMWi-Leitprojekt „MAP“: Multimedia-Arbeitsplatz der Zukunft, Pressemitteilungen 2001, 2002, http://www.map21.de/publikationen/pressemitteilungen/bmwi_020625-01.html?p

¹⁰⁹ Isaac Asimov, Wissenschaftler und Science-Fiction-Autor

4.7.6 Unsicherheit und Wahrscheinlichkeit

Weil strikte logische Regeln nicht alles erfassen, was wir über eine Anwendungsdomäne wissen, macht man Gebrauch von wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen. Statt von strikten Zusammenhängen auszugehen, wird nach Vergleich verschiedener Diagnosen diejenige ausgewählt, die am wahrscheinlichsten ist.

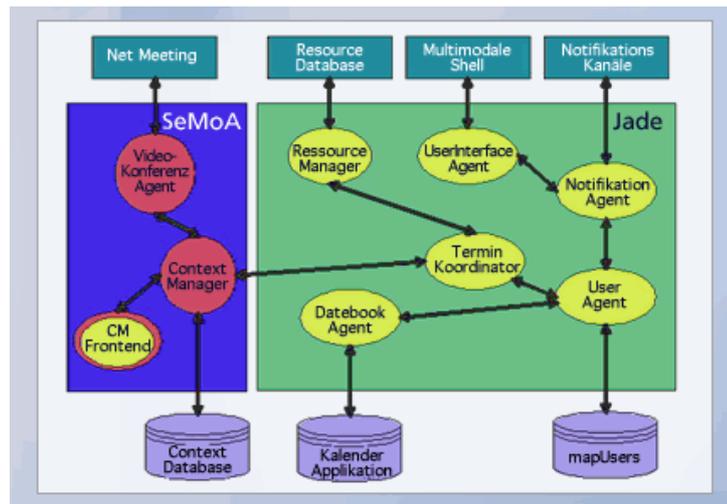


Abb. 4.15: MAP, Komponenten im Feldversuch Virtual Office [BMWi 2005]

4.7.7 Lernfähige Systeme

„Verfahren des maschinellen Lernens sind die Grundlage von Programmsystemen, die aus ‚Erfahrung‘ lernen, also neues Tatsachen- und Regelwissen gewinnen oder Priorisierungen adaptieren können.“ KI wird von den meisten Forschern erst als solche voll anerkannt, wenn das System die Fähigkeit besitzt, einmal gemachte Erfahrungen zu bewerten und zu behalten. Lernen, als wichtige Funktion der Intelligenz, ist daher ein Ziel von KI.

4.7.8 (Künstliche) neuronale Netze

Zum besseren Verständnis wird zunächst auf „natürliche“ neuronale Netze eingegangen.

4.7.8.1 Funktionsweise neuronaler Netze

Eine genauere Betrachtung unseres „mentalen Apparats“ macht deutlich, wie grundverschieden die Denkweise des menschlichen Gehirns im Vergleich zu den symbolverarbeitenden Routinen der klassischen Expertensysteme ist. Bereits

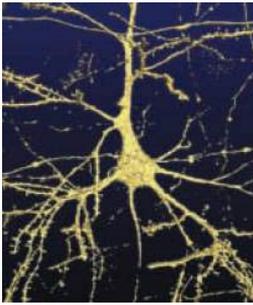


Abb. 4.16: Computerdarstellung einer Nervenzelle im Gehirn
Durch fortwährendes Training verstärken sich die Verbindungen zwischen den Nervenzellen

1949 postulierte der Physiologe Donald Hebb, „dass sich die Verbindung zwischen zwei Neuronen¹¹⁰ verstärkt, wenn sie intensiv genutzt wird.“ Neuronen empfangen über die Dendriten¹¹¹ elektrische Impulse (Signale) von anderen Nervenzellen und können so in „Erregung“ versetzt werden. Als Folge erhöht sich das Membranpotenzial in der Zelle über einen bestimmten Schwellenwert hinaus, so dass das Neuron einen elektrischen Impuls über das Axon¹¹² abgibt. Über die Verzweigung des Axon pflanzt sich der Impuls im neuronalen Netzwerk immer weiter fort und wird über Synapsen¹¹³ auf andere Neuronen vermittelt. „Diese Impulse sind quasi die Träger der Information.“ Synapsen können sowohl hemmend als auch anregend auf ein Neuron wirken und so den elektrischen Aktivierungszustand einer Zelle negativ oder positiv beeinflussen. Außerdem haben die Synapsen die Fähigkeit, die Beeinflussung stärker oder schwächer ausfallen zu lassen. Nach dem Postulat von Hebb lernt der Mensch, „indem bestimmte Verbindungen zwischen den Nervenzellen seines Gehirns durch fortwährendes Training stärker werden, andere sich hingegen nicht verändern! Verkürzt ausgedrückt: Menschliches Lernen ist im Wachsen von Synapsen begründet.“ [vgl. Dengel 2005]

Die spannende Frage, auf welche Weise sich die kleinen elektrischen Impulse in unserem Gehirn zu komplexem Wissen, zu unseren Intelligenzleistungen formen, ist teils in Ansätzen verstanden, teils noch Gegenstand der aktuellen Forschung. Auf alle Fälle ist klar, dass hier nicht ein einzelnes Signal von Neuron zu Neuron eine logische Ja-Nein-Information trägt, wie wir dies bereits von „klassischen“ KI-Systemen mit Wissensbasis und Inferenzmechanismus kennen, sondern dass hier eine grundlegend andere Form der Informationsverarbeitung vorliegt: Erst im komplexen Zusammenspiel einer Vielzahl von einfachen, uniformen Einheiten bildet sich die Information aus. [Dengel 2005]

4.7.8.2 Künstliche neuronale Netze

Für die Entwicklung künftiger CAAD-Systeme, die auch in den frühen Phasen des Entwurfs einsetzbar sein sollen, ist

¹¹⁰ Das menschliche Gehirn besteht aus ungefähr 100 Milliarden Nervenzellen, Neuronen genannt. Diese Neuronen sind in vielfältiger, unüberschaubarer Weise miteinander verknüpft. Jede der Zellen erhält von ungefähr 10.000 anderen Neuronen im Gehirn Informationen und sendet Botschaften an weitere tausend Nervenzellen. [Dengel]

¹¹¹ Dendriten sind dünne, röhrenförmige, stark verästelte Nervenfasern, die am Zellkörper des Neuron angebracht sind.

¹¹² Das Axon bildet den Ausgangskanal des Neuron.

¹¹³ Synapsen stellen die Übertragungswege zu anderen Neuronen dar.

die Anwendung künstlicher neuronaler Netze (KNN) von Bedeutung. Um die Funktionsweise, Möglichkeiten und Grenzen von KNN zu verstehen, bedarf es einer genaueren Betrachtung.

KNN werden zur Realisierung kognitiver Fähigkeiten eingesetzt, bei denen künstliche Neuronen einige Strukturen eines Nervensystems in „karikativer“ Weise imitieren, indem sie Aktivitäten miteinander austauschen. Es handelt sich dabei um Verarbeitungsmodelle, die sich vor allem durch Lernfähigkeit, Darstellung und Verarbeitung von Unschärfe, hochgradig parallele Aktion und Fehlertoleranz auszeichnen. Dazu werden genetische Algorithmen verwendet, sie greifen ebenso wie KNN auf eine Analogie zu biologischen Prozessen zurück. Im Wesentlichen gilt dabei die Evolution (Darwin) als Vorbild, gute Lösungen für Probleme zu finden, für die es keine geschlossenen Lösungen gibt. Dabei handelt es sich um Suchalgorithmen, die die Metapher der Evolution nutzen. Einzelne Lösungskandidaten werden miteinander gekreuzt, was zu Mutationen führt, von denen mit einer Fitness-Funktion jeweils festgestellt wird, welche neuen Lösungskandidaten überlebensfähig sind und sich in der nächsten Runde fortpflanzen dürfen. [vgl. Görz und Nebel, S. 114 f, Mielke 2005, S. 4]

Genetische Algorithmen eignen sich vor allem für Optimierungsaufgaben. Man gibt eine einfache Aufgabe (die „schlechte“ Lösung) vor, und durch Einsatz des genetischen Algorithmus wird eine komplexere („bessere“) Lösung entwickelt. Dabei wird der Lösungsraum nicht durch „gelöst“ und „ungelöst“ begrenzt, sondern durch „schlechtere“ und „bessere“ Lösung eingeteilt.

Ein Beispiel in der Anwendung liefert das Programm ALBERTI¹¹⁴, bei dem durch vorgegebene (Wunsch-)Parameter von Raumgrößen, Lage und Beziehungen der Räume zueinander, wie auch deren Ausrichtung zur Himmelsrichtung, Grundrissvarianten automatisch entwickelt und optimiert werden können. Durch rekursive Prozeduren (auch mehrere hundert Mal) wird das System durchlaufen, bis keine „bessere“ Lösung mehr zu erwarten ist. (s. 8.7.4)

¹¹⁴ ALBERTI ist eine Programmentwicklung des Autors und heute ein Produkt der acadGraph GmbH

4.7.9 Der Aufbau künstlicher neuronaler Netze (KNN)

Mit künstlichen neuronalen Netzen (KNN) in der KI wird heute versucht, die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns durch Softwareprogramme wenigstens in Ansätzen nachzubilden. Dies gilt derzeit in der KI als einer der vielversprechendsten Ansätze, insbesondere in der Bild- und Mustererkennung.

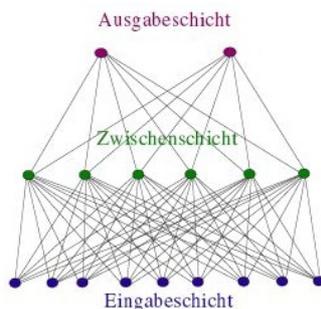


Abb. 4.17: Ein künstliches neuronales Netz besteht aus einer Menge Knoten und deren Verbindungen untereinander. Jeder Knoten modelliert eine einzelne Nervenzelle. Er wird durch eine Variable beschrieben, die den Zustand anzeigt. Für jede Verbindung zweier Knoten wird eine weitere Variable eingeführt, die die Stärke der Verbindung zwischen zwei Nervenzellen modelliert. [Mielke 2005]

Die Informationsverarbeitung in den KNN erfolgt durch Wechselwirkung vieler einfacher, uniformer Einheiten, die anregende und hemmende Signale an andere Einheiten schicken. Man spricht von „subsymbolischer Verarbeitung“, da das Wissen nicht symbolisch und explizit, sondern in einem Netzwerk auf sehr indirekte und subtile Weise in den Verbindungen der Neuronen und im Zustand der Neuronen versteckt ist. [vgl. Dengel]

Die Elemente der ersten Schicht (Abb. 4.17), der Eingabeschicht, erhalten ihre Signale von außen, die letzte Schicht entspricht der Ausgabe des Systems, an der das Ergebnis des informationsverarbeitenden Erinnerungsprozesses angezeigt wird. Die Zwischenschicht kann auch aus mehreren Schichten (typischerweise fünf) aufgebaut sein. Die KNN müssen nicht explizit programmiert werden, sondern werden in einer Trainingsphase auf ihre Aufgabe hin getrimmt. Mechanismen in den Zwischenschichten bewirken, dass sich die Gewichte des Netzwerks einem gegebenen Eingabe-Ausgabe-Paar anpassen. Neuronale Netze werden mit vollständigen Datensätzen trainiert. Ein vollständiger Datensatz besteht aus den Eingabedaten und den Ausgabedaten. Man variiert die Parameter, die das Netz beschreiben, im Wesentlichen also die Kopplungen zwischen den Knoten, in geeigneter Weise, sodass das Netz bei den vollständigen Datensätzen die richtigen Ausgabedaten liefert. In einem zweiten Durchgang wird das neuronale Netz mit einem zweiten, unabhängigen Satz von vollständigen Datensätzen getestet. [vgl. Mielke 2005, S. 5]

Als Vorteile künstlicher neuronaler Netze gelten heutzutage ihre Eigenschaften der verteilten Repräsentanz, der Darstellung und Verarbeitung von Unschärfe, der hochgradig parallelen und verteilten Verarbeitung und die daraus resultierende Geschwindigkeit und hohe Fehlertoleranz.

Allerdings beschränkt sich die Einsetzbarkeit von solchen Systemen eher auf sensorische und effektorische Aufgaben, während Planung, Schlussfolgern usw. nicht überzeugend behandelt werden können. – Anders verhalten sich sogenannte Bayes'sche Netzwerke, die eine explizite Modellierung unterstützen. Zur Verarbeitung unsicheren und vagen Wissens wird die Wahrscheinlichkeitstheorie oder Fuzzy-Logik eingesetzt, um die vorhandenen Unsicherheiten zu modellieren und Schlussfolgerungen durchzuführen. Sie ermöglichen Kausalstrukturen und können Wahrscheinlichkeitsverteilungen sehr kompakt repräsentieren. [vgl. Görz und Nebel, S. 41]

Für die Entwicklung künftiger CAAD-Systeme, die auch für den Einsatz in den frühen Phasen des Entwurfs verwendet werden sollen, wird man diese KI-Techniken nutzen können. Ein Beispiel dafür ist das Programm „A4“ der Universität Karlsruhe, das auf den Programmen ARMILA und MIDI von Haller aufbaut. (s. 8.1.2)

4.7.10 Aufgabenstellungen an Expertensysteme

Expertensysteme sind wissensbasierte Systeme zur Lösung von Problemstellungen. Bei deren Konstruktion liegt das grundsätzliche Problem im Erwerb des Wissens und in der Wahl eines geeigneten Formalismus für den Entwurf der Wissensbasis. Beim Prozess des Entwerfens, wie zuvor in Kap. 3 ausführlich erläutert, schaffen es die menschlichen Experten nicht, ihr Wissen systematisch zu reflektieren und zu explizieren, weil sie ihr Wissen um das Entwerfen spontan und intuitiv anwenden, ohne sich genaue Gedanken über den Ablauf zu machen, oder sich an konkrete Vorgaben zu halten.

Um dem Problem entgegenzuwirken, hat sich das Berufsbild des Wissensingenieurs (englisch: knowledge engineer) etabliert. Durch zielbezogene Befragung und Beobachtung eines Experten sowie gemeinsame Sichtung von Normen und Vorschriften nimmt er die Formalisierung des Wissens vor. Typischer Fall bei CAAD-Systemen ist die Erarbeitung und Formalisierung eines Gebäudeproduktmodells bsw. IFC von der IAI (Industrie Alliance for Interoperability)¹¹⁵.

¹¹⁵ Die IAI wurde 1995 in den USA als „International Alliance for Interoperability“ gegründet. Im selben Jahr hat sich Deutschland als

(s. 5.6.3) Die Qualität eines Expertensystems steht und fällt mit der Qualität und dem Umfang des in der Wissensbasis gespeicherten Wissens. Ein Wissensingenieur muss fundiertes Wissen als Informatiker besitzen sowie Grundlagen der entsprechenden Expertendomäne des zu erstellenden Systems kennen.

Expertensysteme können nicht als Ersatz für menschliche Experten angesehen werden, können aber die Lösung von Problemen beschleunigen oder „gewisse oft wiederkehrende Aufgabenstellungen auf Sachbearbeiter-Ebene lösen helfen, in denen sonst die Hinzunahme eines Experten grundsätzlich notwendig ist“. Expertensysteme sind heute nicht als selbstständig problemlösende Automaten anzusehen, sondern eher als unterstützende Systeme in Zusammenarbeit mit dem menschlichen Experten. [vgl. Dengel]

4.7.11 Kritische Anmerkungen zu KI

„Die begründete Annahme, daß alles, was wir heute als Semantik ansehen, in Zukunft als Syntax definierbar sei, gewinnt mit jeder erfolgreichen Simulation von Denkvermögen an Gewicht – sie beweist aber nicht die Denkfähigkeit der Maschine im menschlichen Sinn.“ [Schmitt 1993] Auch Dengel stellt sich der Frage:

Sind unsere heutigen Maschinen denn nun tatsächlich intelligent, besitzen sie Geist wie ein Mensch? Letztlich wohl nicht. Viele geistige Leistungen des Menschen gehen auf eine intuitive Bewertung zurück und sind oft weder kalkulierbar noch nachvollziehbar. Die meisten logischen Umsetzungen kreativer Ideen sind emotional getrieben, also von komplexen Strukturen subjektiver Empfindung tief in unserem Innern. Die emotional gesteuerte Intuition schärft unseren Verstand und erlaubt es uns, den über unsere Sinnesorgane aufgenommenen Informationsfluss zu bewerten. Der einfache Umgang und das Rechnen mit Zahlen reicht nicht aus, um eine gefühlsmäßige Vorstellung von Dimensionen, Zeit und Ausdehnung zu bekommen; gerade das ist es aber, was wir benötigen, um eine konkret gegebene Situation im Kontext richtig einschätzen zu können.

weiteres Land angeschlossen. Der Autor ist Mitbegründer der deutschen IAI. Seit der Zeit haben sich alle wichtigen Industrienationen der Welt mit ca. 700 Mitgliedern (Stand 2005) angeschlossen. Später wurde das deutschsprachige Chapter in Industriallianz für Interoperabilität e.V. umbenannt.

4.8 Fazit

- Die menschliche Wahrnehmung ist bei der Interaktion mit CAAD-Systemen sträflich vernachlässigt worden.
- Die Wahrnehmung findet bewusst und unbewusst statt.
- Handlungen aus dem Unterbewusstsein sind schneller und genauer als das bewusste Handeln.
- Wenn es anstrengend („eng“) wird, sind unterbewusste Handlungen rationeller.
- Um „Dinge“ wie im Schlaf „zu beherrschen“, muss das Wissen ins schnelle Unterbewusstsein (das implizite Gedächtnis) gelangen und dauerhaft verankert werden.
- Bewusste Aufmerksamkeit erhöht den Druck auf das Unterbewusstsein, das dann „zumacht“ und stattdessen den (zu langsamen, anstrengenden) Verstand einsetzt, was zu Fehlern führen kann und früher oder später zu Ermüdungserscheinungen führt.
- CAAD-Systeme sind zu schwer zu handhaben. Die Bedienung (Tastatur, Maus, Tablett) erfolgt nur indirekt. Differenzierte ergonomischere Eingabemedien (Sprache, direkte Eingabe) müssen erschlossen werden.
- Die Benutzeroberflächen sind nicht intuitiv und entsprechen nicht den grafischen Bedingungen. Leichtes und schnelles Erlernen der Software ist Voraussetzung einer intuitiven, im Schlaf zu bedienenden Software, um die Kreativität des entwerfenden Architekten zu erhalten.
- Die intuitive Eingabe ist als Schlüssel zur Überwindung der Hemmnisse zu sehen.
- Entwurfsideen, Entwurfsobjekte, Konstruktionsmerkmale sind als Objekte mit ihrer Semantik zu erfassen, um Iterationen durchführen zu können
- Die Gesetze der menschlichen Wahrnehmung sind bei der Umsetzung in ein intuitives (im Schlaf zu bedienendes) UI zu beachten. Dabei sollen möglichst viele „basale“ Regionen des Gehirns angesprochen werden. Emotionen (durch Layout, Bilder, Ikonen, Farben, Sprache) verstärken den wünschenswerten „unbewussten“ Lerneffekt (Unterbewusstsein).
- Zur Verbesserung der Situation müssen Objekte (statt Liniengrafiken) semantischer Gebäudemodelle für das UI besser genutzt und Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz einbezogen werden.

- Die Komplexität der Bedieneroberfläche muss mit den Möglichkeiten des Users schritthalten (Anfänger, Fortgeschrittener, Experte).
- Das sensorische Register (SR) scannt Farben, Töne, Formen, Strukturen, Proportionen, Raum und Anmutung als unwillkürlichen Vorgang, ohne wirklich gelesen oder verstanden zu haben. Klarheit und Anmutung des Gesamtbildes der Oberfläche entscheiden über Akzeptanz oder Ablehnung der Software.
- Nur fünf bis sieben „Informationseinheiten“, die innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde gespeichert werden können, gelangen für 15 bis 30 Sekunden ins Kurzzeitgedächtnis (KZG) (Arbeitsspeicher).
- Kommandosprache, verschachtelte Menüs dürfen die mentale Kapazität des Anwenders nicht strapazieren.
- In puncto Rechenleistung ist der Computer dem Menschen weit überlegen, allerdings verarbeitet das menschliche Gehirn neben Informationen auch Emotionen. Dazu nutzt der Mensch seine Sinnesorgane.
- Der Mensch ist dem Computer bei der Interpretation semantischer Zusammenhänge (bspw. von Bildern und Sprache) weit überlegen.
- Heutige CA(A)D-Programme erfordern eine exakte und komplette (scharfe) Eingabe.
- Gefordert wird der Umgang mit „Unschärfe“, sowohl bei der Eingabe als auch bei der Präsentation, was durch KI-Techniken nur annähernd zu erreichen ist.
- CA(A)D-Systeme haben die Zeichenbretter in den Architekturbüros abgelöst und den Nutzen ab der Phase der Baueingabe (Werkplanung, Massenermittlung mit Verknüpfung zur Ausschreibung und Abrechnung) erbracht.
- Der Einsatz von GM-Daten macht es möglich, Verhaltensstudien (Versammlungen, Fluchtpläne, Licht, Akustik, Temperaturverläufe etc.) zu simulieren.
- Der lohnende Einsatz ab den frühen Phasen des Entwurfs (Beeinflussung 90 % der Folgekosten) findet nicht statt.
- CAD hat die Architektur (Freiformflächen) beeinflusst. Auch wenn Freiform-Programme (noch) keine GM unterstützen, besteht die Chance, die Komplexität in der Architektur zuzulassen, weil durch unterstützende Softwaremodule die komplexe Konstruktion rentabel „gerechnet“ werden kann.

- Künstliche Intelligenz (KI) besitzt nur eine vom Menschen „geliehene“ Intelligenz. Selbstständiges Denken, Lernen und Handeln ist ihr nicht möglich.
- Das Fachgebiet KI bietet u. a. Methoden, um unscharfe Eingaben zu ermöglichen.
- Es ist zu prüfen, inwieweit Software-„Assistenten“ auch die Bedieneroberfläche der CAAD-Systeme vereinfachen können.
- KNN haben gegenüber herkömmlichen Algorithmen den Vorteil der Darstellung unscharfer nichtlinearer Zuordnungen. Sie können ähnlich wie Menschen lernen und abstrahieren.
- KNN arbeiten wie ihre natürlichen Vorbilder: Sie lernen durch Verstärkung/Dämpfung und Herstellen/Lösen von Verbindungen.
- Mit genetischen Algorithmen lassen sich Probleme lösen, bei denen sich zur Lösung gewisse Regeln ableiten lassen, ohne dass die Regel im Detail bekannt ist, da deren Festlegung im genetischen Algorithmus stattfindet.
- Expertensysteme, die diese Technik nutzen, müssen zunächst von „Wissensingenieuren“, die sowohl das Domainwissen als auch Kenntnisse der Informatik besitzen, „formuliert“ werden (Beispiel: Thomas Liebich für IFC).
- Auch wenn Expertensysteme immer mehr Semantik implizieren, sind sie doch nur als unterstützende Systeme in Zusammenarbeit mit den menschlichen Experten zu sehen.

5 CAAD in Forschung und Praxis

5.1 Einleitung

Seit 45 Jahren wird CAD in der Forschung betrieben. 1962 zeigte Ivan Sutherland am MIT in Boston mit seinem *Sketchpad*¹¹⁶, dass es möglich ist, an einem computer-gesteuerten Radarschirm interaktiv mit Lichtstift und Tastatur einfache Zeichnungen zu erstellen und zu verändern. 1965 wurden bei Lockheed für den Flugzeugbau erste 2D-CAD-Systeme für den kommerziellen Einsatz entwickelt¹¹⁷. Ende der 1960er Jahre folgten die ersten Forschungsarbeiten in England, ob es möglich ist, mit 3D-Grundkörpern Abbildungen komplexer Zusammenhänge (Rohrleitungsbau im Chemieanlagenbau) darzustellen und zu nutzen. – Vor etwa 20 Jahren ist auch in der Praxis (Architekturbüros und Architekturhochschulen) der Durchbruch gelungen, als CA(A)D-Systeme bedeutend preiswerter und gleichzeitig leistungsfähiger wurden. – Heute ist Architekturinformatik als Fachbereich an Architekturhochschulen eingeführt.

„Once the principles of encoding, storage, input, and output of architectural data are understood, the development of programs to solve architectural problems of various types are virtually limitless.“ [Mitchell 1977, S. 379]

In den 1970er Jahren begann man, zunächst numerische wissenschaftliche, logische und linguistische Entwurfsmodelle (s. 5.2) zu entwickeln, denen zehn Jahre später ihre grafischen Repräsentationen folgten. Unter dem Begriff *Shapegrammars* (s. 5.3) wurde nach Regeln und Grammatiken gesucht, die man bspw. bestimmten Haustypen

¹¹⁶ *Sketchpad* war eine Pioniertat für das ganze Gebiet des Graphical Computing. Es verwendete bereits Memory-Strukturen, um Objekte zu speichern, das so genannte Rubberbanding von Linien, das Hinein- und Herauszoomen auf der Anzeige und die Fähigkeit, perfekte Linien, Ecken und Knotenpunkte zu erstellen. Dies war das erste GUI (Graphical User Interface), lange bevor dieser Begriff überhaupt geprägt wurde. [W. Mitchell 1977]

¹¹⁷ Teile des Programms sind in CATIA, IBM, später Avions Marcel Dassault (heute Dassault Aviation) aufgegangen; vgl. auch Gehry, der das Programm heute mit einer eigenen Gesellschaft für seine Architekturzwecke anpasst.

„herauslesen“ kann oder selber aufstellt (s. 8.3.9), um daraus die Programmierung von Automaten zu ermöglichen, die in der Lage sind, eine größere Anzahl von Varianten selbstständig zu generieren. Bei der Bewertung der generierten Ergebnisse stieß man auf die Grenzen der Wahrnehmung heutiger Computersysteme (s. 5.3.3), so dass eine eigenständige Qualitätsprüfung nicht gewährleistet ist. Hier wird die Überlegenheit des Menschen deutlich, der in der Lage ist, komplexe Zusammenhänge zu erkennen und daraus seine Schlüsse zu ziehen.

W. Mitchells Untersuchungen zu den Grenzen der Wahrnehmung durch Computersysteme zeigt aber auch einzelne Möglichkeiten (bspw. Manipulationen, Dürer), die durch Computereinsatz gut geleistet werden können und unterstützende Ansätze für den frühen Entwurf aufzeigen (s. 8.4.11.1).

Eine andere viel versprechende Herangehensweise, den Entwurfsprozess zu unterstützen, ist das *fallbasierte Schließen* (Case-based Reasoning, CBR), das auf dem Sich-Erinnern an ähnliche Lösungen aus der Vergangenheit beruht (s. 5.4). Dabei wird versucht, durch künstliche Intelligenz den Computer in diesen Prozess einzubinden. Voraussetzung dazu ist semantisches Wissen, wie es u. a. in einem GM impliziert ist (s. 5.6).

Bei der Betrachtung heutiger GM-basierter CAAD-Systeme in Forschung und Praxis werden große Möglichkeiten vor allem in Hinblick auf die Nachfolgeprozesse sichtbar (s. 5.8), während für den Entwurf in den frühen Phasen gravierende Mängel festzustellen sind (s. 5.9).

Das Kapitel deckt diese Schwächen auf (5.10), begründet sie und gibt Hinweise für Lösungen (die in den nachfolgenden Kapiteln vertieft werden), wie ein CAAD-System für den Einsatz in den frühen Phasen des Entwurfs attraktiv gemacht werden kann (s. 5.15), nicht ohne zuvor auf die allgemeine Problemstellung der Softwareentwicklung für Architekten einzugehen (s. 5.12).

5.2 Verschiedene Modelle des Entwurfs

Auf das Objektivierbare beim Entwerfen zielt die Wissenschaft des Entwurfs, „Science of the Artificial“ [Simon 1970, zit. nach Liebich, S. 25], und wurde speziell vom *Operations Research* aufgegriffen. „Der Entwurf (...) als Elementartätigkeit des Menschen, kann je nach Betrachtungsweise als Modell innerhalb von verschiedenen und dabei allgemeinen Paradigmen der Wissenschaft, Logik und Sprache platziert werden. Das Elementare ist hierbei gleichzeitig das Ambivalente.“ [Liebich, S. 25] Unterschiedliche Modellvorstellungen liefern differenzierte Ansätze, den Entwurfsprozess zu formalisieren, ohne dass sich einer besonders durchgesetzt hat.

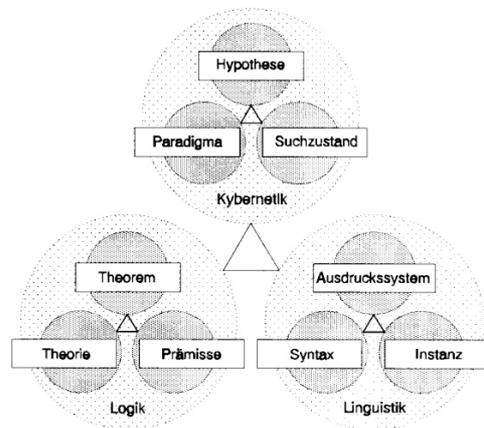
Die Logik liefert Hilfen als kritische Argumente im Entwurf und für das Bewerten, wie es in Entwurfsmodellen durch Deduktion, Induktion und Abduktion verlangt wird. Das linguistische Modell kann gleichsam auf den Entwurf bezogen werden. Grammatische Regeln, denen eine Anzahl von Elementen eines Vokabulars unterworfen ist, sind geeignet, die syntaktische Gültigkeit eines Systems zu prüfen, während die Semantik des Systems, zur Aufgabe der Kommunikation, sich über die Theorie der Zeichen, die Semiotik, erklärt. [vgl. Liebich]

Die Modelle des Entwerfens sind vielfältig und in sich konfliktreich, sie können hier nur angerissen werden. Coyne [Coyne 1988, zit. nach Liebich, S. 25 ff] stellt neun gleichberechtigte Modelle des Artefakts auf:

- Die kybernetischen Modelle: „Wissenschaft“
 - Artefakt als Hypothese (der generate-and-test-Zyklus)
 - Artefakt als Paradigma (die Entwicklungsspirale)
 - Artefakt als Suchzustand (der Suchprozess durch den Zustandsraum potenzieller Lösungen)
- Die logischen Modelle: „Logik“
 - Artefakt als Theorem (das Analyse-Synthese-Modell der Deduktion)
 - Artefakt als Theorie (das induktionslogische Modell)
 - Artefakt als Prämisse (das zyklische Entwurfsmodell der Abduktion)

- Die linguistischen Modelle: „Sprache“
 - Artefakt als Syntax (das grammatische System)
 - Artefakt als Ausdruckssystem (das semiotische System)
 - Artefakt als Instanz (das typologische System)

Abb. 5.1: Die Ambiguität der Entwurfsmodelle [Liebich, S. 26]



5.2.1 Christopher Alexanders „Pattern Language“-Architekturtheorie

In seinem Buch *Notes on the Synthesis of Form* versucht Alexander, Möglichkeiten aufzuzeigen, die rationalen Planungsmethoden der frühen Moderne mit Hilfe des Computers zu erneuern. Er sieht den professionellen Planer im „Netz seiner Sprache“ gefangen, aus dem er sich mit Hilfe des Computers befreien könnte. Die vom Computer geleistete, korrekte „Dekomposition“¹¹⁸ des Problems führe über den Zwischenschritt des Diagramms gewissermaßen von selbst zur „richtigen“ Lösung.

In seinem Buch *A Pattern Language*¹¹⁹ (1977) schlägt Alexander Muster (Patterns) vor, in denen er den „Schlüssel zum Prozeß der Formfindung“ sieht. Er bietet 253 Muster an, beginnend mit der Region, über die Stadt, Stadtquartiere, Gebäude, Konstruktion, bis hin zu Ausstattungsdetails wie Fußleisten. Die Muster sind nicht als Regeln, sondern als „Strukturen von Argumenten“ zu verstehen. Ein Pattern ist jeweils durch das Problem (den Konflikt), die Lösung und die Begründung beschrieben. Durch eine Language sind alle Patterns miteinander verbunden: Jedem

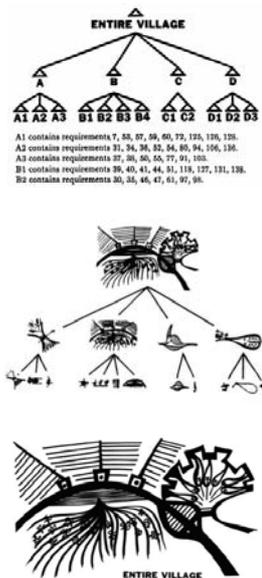


Abb. 5.2: Alexanders „constructive diagrams“, so von ihm benannt, weil sie eine „Brücke zwischen den Bedürfnissen und der formalen Lösung herstellen“.

¹¹⁸ Zerlegung des Problems in möglichst unabhängig voneinander lösbare Teilprobleme

¹¹⁹ In deutscher Übersetzung unter: *Eine Mustersprache*, Jöckerverlag GesmbH, Wien (1995) erschienen. Siehe auch unter: <http://www.patternlanguage.com/>

Pattern sind die mehr detaillierten Subpatterns oder die allgemeinen Patterns zugeordnet.

Jedes Pattern besteht aus seinem Namen; einer kurzen Beschreibung des Problems, um das es geht; einer Abbildung, in der eine reale, möglichst typische Lösung des Problems dargestellt ist; einer Diskussion des Problems und schließlich einer klaren Handlungsanweisung und einem Diagramm, das die Lösung symbolisiert.

Entwerfen setzt für Alexander die korrekte Zerlegung einer Planungsaufgabe in möglichst unabhängige lösbare Teilprobleme voraus. Der Übergang von der Problembeschreibung zur formalen Lösung führt über Diagramme. Durch die Kombination von Teillösungen entsteht die Gesamtlösung. Unterschieden wird in zwei Gruppen, die relativ unabhängig voneinander gelöst werden können: das vom Entwerfer *intuitiv* oder durch *rationales* Zerlegen in Teilprobleme zu lösende Problem. [vgl. Kühn und Kögl 2000]

5.3 Shapegrammars, Regeln und Grammatiken

Bereits 1986 untersucht [Flemming 1987] an der Carnegie-Mellon Universität in Pittsburg USA die Möglichkeit, Grammatiken aus vorhandenen Bauwerken herauszulesen, um sie in Regeln für den Computer umzusetzen. Was zuerst mit einfachen Rechtecken begann, wurde danach auf 2D-Architektur (Grundrisse) und später um die dritte Dimension erweitert angewendet.

5.3.1 2D-Grammatiken in der Architektur

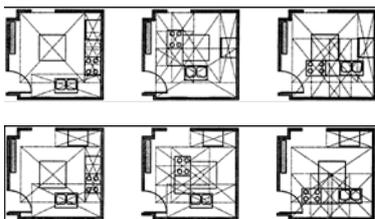


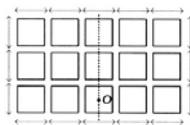
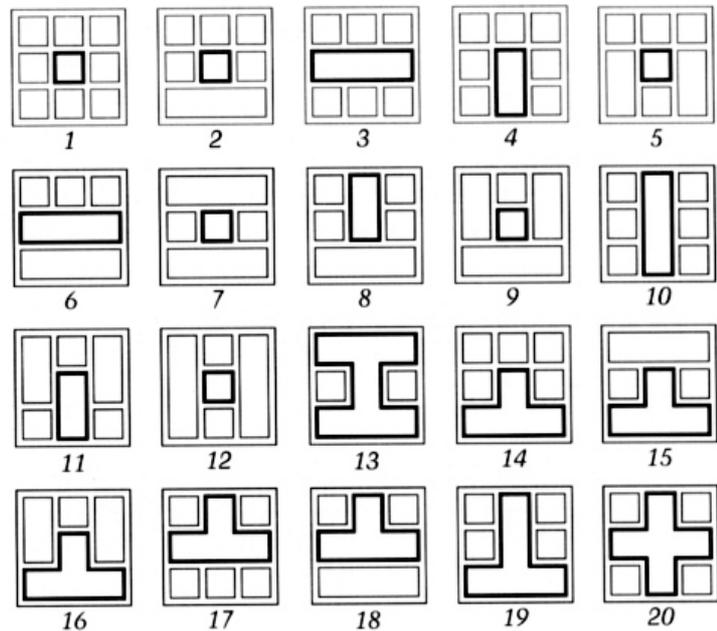
Abb. 5.3: Grundrissvarianten einer Küche durch das System LOOS [Flemming 1990]

Ein erstes Beispiel für die Anwendung regelbasierter Anordnungen von Rechtecken war ein Küchenprogramm. Das Programm verknüpfte Objekte (Kücheneinbauteile) mit Regeln und konnte so automatisch Lösungen für Küchenplanungen anbieten. (Abb. 5.3)

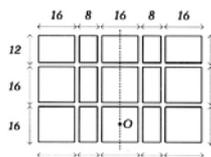
W. J. Mitchell entwickelte (1980) „A Grammar of Palladian Villa Plans“. Die Grammatik ist in der Lage, neben den be-

kannten Villen alle weiteren Grundrisse zu generieren, die der „Palladian Language“ folgen. (Abb. 5.4 und Abb. 5.5)

Abb. 5.4: rechts:
Complete enumeration of designs
in the language generated by the
Palladian grammar: all the 3 by 3
schematic plan layouts produced
by rules 1 to 19



Undimensioned layout



Layout with correct Palladian values
assigned to dimensioning variables

8.37
The underlying wall pattern of the
Villa Malcontenta

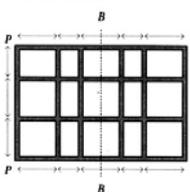


Abb. 5.5:
oben: The tartan grid generated
for the Villa Malcontenta with
undimensioned layout
mitte: Layout correct Palladian
values assigned to dimensioning
variables
unten: The underlying wall
pattern of the Villa Malcontenta
[Mitchell 1992, S. 158]

5.3.2 3D-Grammatiken in der Architektur

Flemming untersucht dazu Grundrisse und Stil der Queen Anne Houses, die seit 1880 in Pittsburgs historischem Distrikt „Shadyside“ heimisch wurden und bis heute in abgewandelter Form angewendet werden. Flemming erkennt zwei separate Grammatiken: eine für die Generierung von Grundrissen, die andere für deren dreidimensionale Ausbildung in verschiedenen Stilen. Er stellt fest: „Both grammars emphasize aspects of geometry and overall design and explain how individual parts and features are related to each other.“ Beide Grammatiken heben die Aspekte der Geometrie wie auch die Gesamterscheinung hervor und verdeutlichen, wie individuelle Details und Anforderungen zueinander in Beziehung stehen.

5.3.2.1 Die Grammatik der Grundrisse

Erkennbare Gemeinsamkeiten der untersuchten Haustypen führten zur Vereinfachung der Regeln. Die Studie unterscheidet zwischen vier Haustypen:

- The side hall house – 1 1/2 Fensterachsen breit
- The corner hall house – 2 Fensterachsen breit
- The center hall house – 2 1/2 Fensterachsen breit
- The corner room house

Flemming behandelt alle Typen als Variationen (Instanzen) desselben Typs, um so die Gemeinsamkeiten herauszustellen.

So haben die Häuser eine ausgeprägte Straßenfassade und eine Rückfassade sowie die beiden Seitenfronten. Die Bauten sind zweigeschossig mit ausgebautem Dach. Die vorgesehene Nutzung der Räume bestimmt deren Lage. Flemming berücksichtigt die Gewohnheiten der Bewohner, wodurch neben der Funktion auch die Zuordnung und Erschließung der Räume bestimmt werden. Unabhängig von der Himmelsrichtung folgen alle bestimmten Regeln. Demzufolge betrachtet er die Grundrisse seiner Beispiele als Variationen eines gleichen Typs, und nutzt den Teil der Grammatik, die sich aus der Organisation der Flächen ergibt, um die Grundregeln für zukünftige Entwürfe zu entdecken und auszuformulieren.

Zunächst erfolgt die Gruppierung der Räume um die zentrale Eingangshalle im Erdgeschoss. In einem späteren Schritt folgt die Positionierung der Treppe. Die Anordnung um eine Halle herum führt zu kompakten Grundrissen. Zusätzlich kommt es zu Gruppierungen verbundener Räume.

Abb. 5.6:

- | | |
|---------------|------------|
| 1 Entry | 5 Kitchen |
| 2 Parlor | 6 Chamber |
| 3 Library | 7 Bathroom |
| 4 Dining room | |

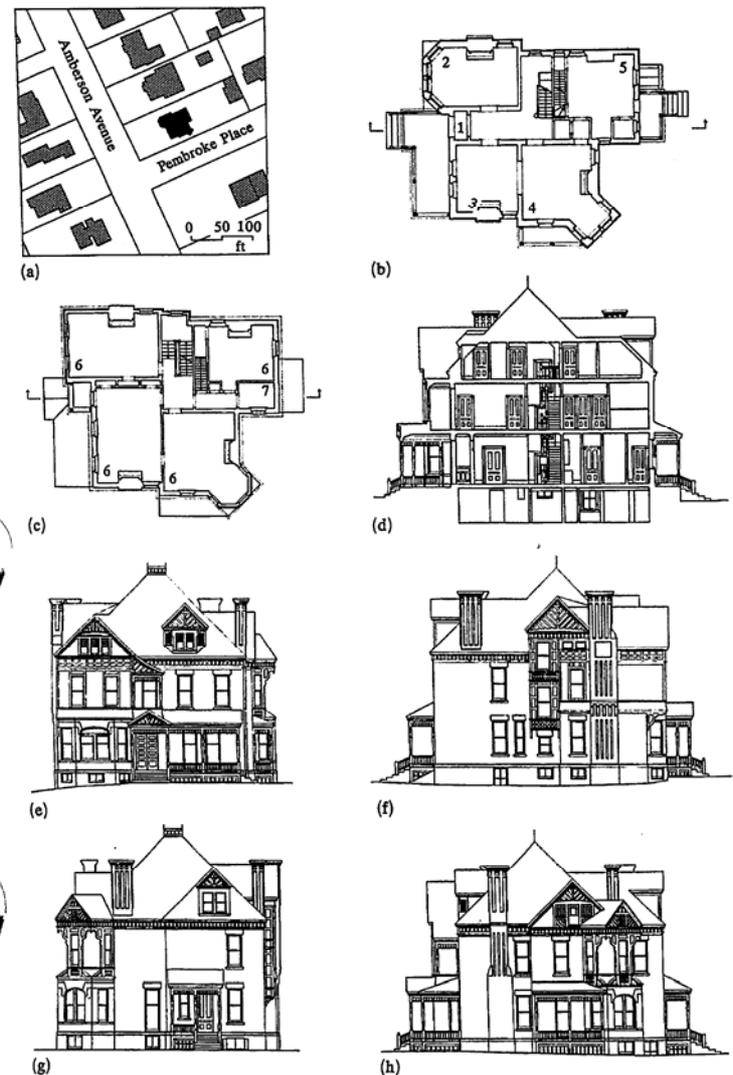
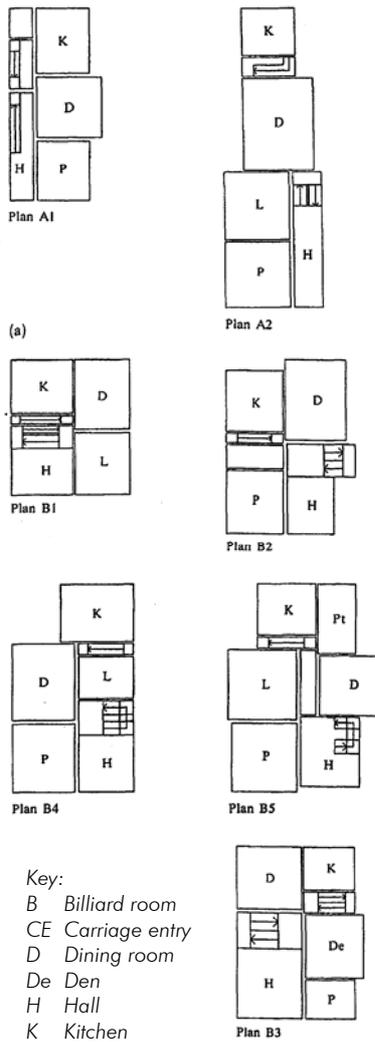


Figure 1. 719 Amberson Avenue

- (a) context (1985)
- (b) first floor
- (c) second floor
- (d) section
- (e) Southwest (front) elevation
- (f) Northwest elevation
- (g) Northeast elevation
- (h) Southeast elevation

(All drawings show the original state, except for the attic floor in the section, which cannot be reconstructed in its original form.)

Flemming stellt fest, dass der Zusammenhang und die Bestimmung der Räume in die Grammatik eingehen müssen, da dadurch deren Lage und Verbindung untereinander bestimmt werden. Es ist erstaunlich, mit wie wenigen Regeln (17) für die Grundrisse Fleming auskommt, nachdem durch gründliche Untersuchungen bestimmte Zwänge bzw. Möglichkeiten ausgeschlossen werden konnten. So führt die additive Anordnung um eine Halle herum zu nicht „offenen“ Grundrisslösungen. Jeder Raum ist durch Wände umschlossen und hat eine einfache regelmäßige Geometrie. Weiterhin ist jeder öffentliche Raum mit der allgemeinen Verkehrsfläche verbunden. Auch begrenzen Küchen immer die Rückseite und reichen nie bis zur Frontseite eines Hauses. Sie haben eine starke Bindung zum Essraum und bleiben dem Auge der Allgemeinheit verborgen.



- Key:
- B Billiard room
 - CE Carriage entry
 - D Dining room
 - De Den
 - H Hall
 - K Kitchen
 - L Library
 - P Parlor
 - Pt Pantry
 - S Study
 - SP Sun porch
 - SR Smoking room

Abb. 5.7: Sample of plans of Queen-Anne-Houses:
 (a) side hall plans
 (b) corner hall plans
 (c) center hall plans
 (d) corner room plans

Zur Vereinfachung wird in der Studie die Halle gleich breit mit den Räumen dargestellt, obwohl in der Realität diese meistens schmaler sind. Solche Feinheiten seien aber trivial und werden weiteren Studien überlassen.

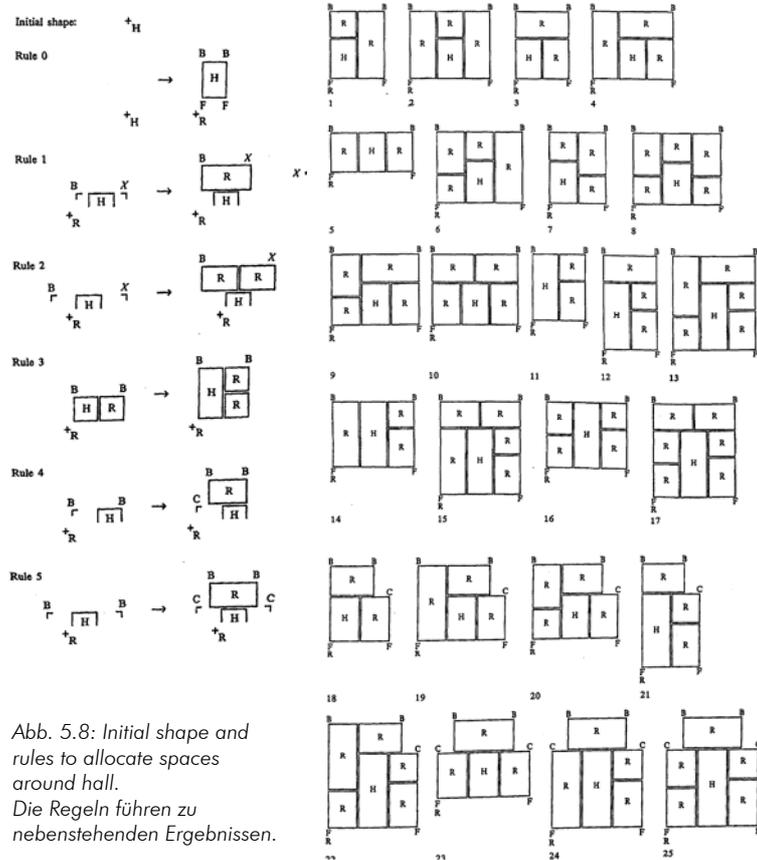


Abb. 5.8: Initial shape and rules to allocate spaces around hall.
 Die Regeln führen zu nebenstehenden Ergebnissen.

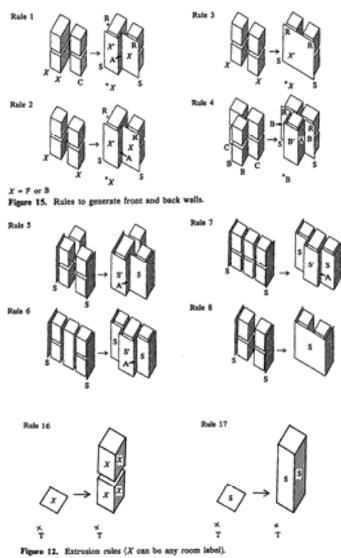
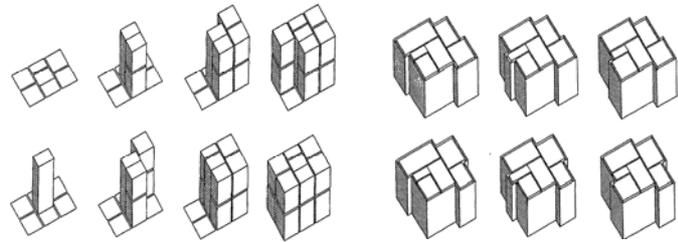


Abb. 5.9: Grammatik für die 3. Dimension führen zu den Ergebnissen (rechts)

Charakteristisch für die untersuchten Häuser ist, dass deren Obergeschoss eine Kopie des darunter liegenden Erdgeschosses bedeutet. So werden im Programm das Erdgeschoss nach oben kopiert, während das Treppenhaus als eine zusammenhängende Einheit geführt wird.



5.3.2.2 Die äußere Gliederung

Ihr besonderes Erscheinungsbild erlangen diese Queen Anne Houses durch ihre Bauteile, wie Kamine, Fenster, Überdachungen, Veranden. Dazu kommen unregelmäßige „kapriziöse“ Hausformen mit steilen Dächern und eingeschnittenen Giebeln, Türmchen usw. Die Lösung hierzu führt zu der Erkenntnis, dass diese Grammatik sehr einfachen Regeln folgt, die auch von nicht ausgebildeten Architekten verstanden wird. [vgl. Flemming]

5.3.2.3 Abschließende Bewertung

Alles, was Regeln folgt, lässt sich in Computerprogrammen wiedergeben und ggf. auch weiterentwickeln. Es ist erstaunlich, wie doch komplexe Gebilde in Grammatiken zerlegt werden können. Solange Regeln aber nur von bestimmten Gebäudetypen, also vorhandener Architektur, abgeleitet werden, können die Ergebnisse nur rückwärtsgewandt sein, eine zukünftige Architektur kann so nicht unterstützt werden. Wird die Methode „Shapegrammar“ auf die Architektur angewendet, lautet die Kritik: Diese Methode ist immer rückwärtsgewandt, schon nach der zweiten oder dritten Anwendung wird es langweilig. – Programme dieser Art sind aber durchaus denkbar für Anwendungen im Bereich traditioneller Grundrissformen, Haustypen im Wohnungsbau, wie Reihenhäuser, Zweispänner/Dreispänner usw. (vgl. Loos, Abb. 5.3)

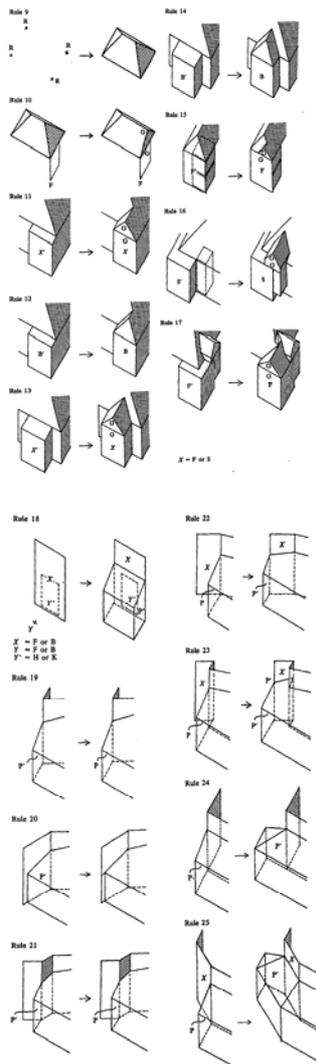
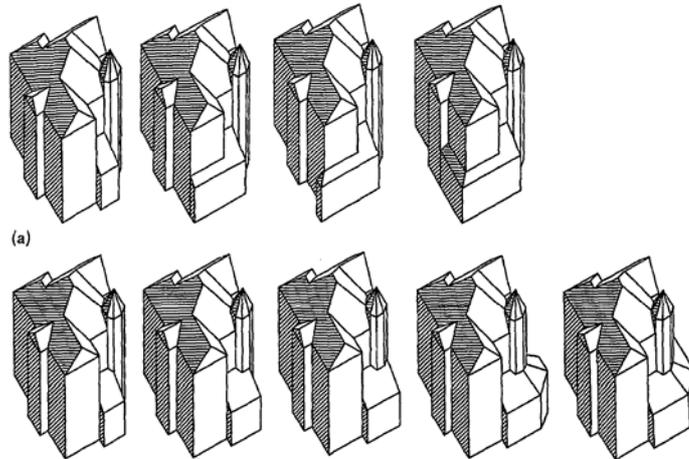


Figure 20. Rules for addition of porches.

Abb. 5.10: Regeln zur Generierung von Dächern und Eingangshallen (rechts)



5.3.3 Ein „berechenbarer“ Entwurfsprozess

In seinem vielbeachteten Buch *The Logic of Architecture – Design Computation and Cognition* beschreibt William J. Mitchell ein Gebäude mit Worten (Gebäudemodell) und überträgt diese in eine eigene Formelsprache, die vom Computer verstanden und zu eigenen Entwürfen genutzt werden kann. Er berücksichtigt die bekannten Auffassungen über Gestalt, Harmonie, Schönheit, Proportionen etc. Das Buch gibt zudem Einblicke in Gestaltgesetze und in die Grenzen deren Wahrnehmung heutiger Computersysteme, sodass hier nachfolgend näher darauf eingegangen wird.

Mitchell baut in seinen Untersuchungen auf einigen Ideen moderner Logik, Künstlicher Intelligenz und „cognitive science research“ auf.

Bevor ich Architektur verstehen will, muss ich sie erkennen können. Das gilt gleichermaßen für den Betrachter/Kritiker wie für Computer, so Mitchell. Was aber ist Architektur? Welchen Regeln unterliegt sie? Hierzu hat Mitchell Grundlegendes zusammengetragen und computergerecht verar-

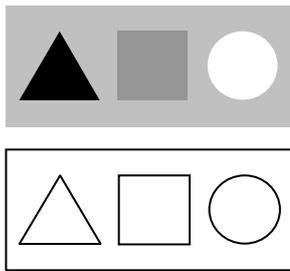


Abb. 5.11: Extraction of a primal sketch:
oben: A visual field
unten: The corresponding primal sketch,
eine einfache Ansicht, umgewandelt in
eine korrespondierende „primal sketch“.
[vgl. Marr 1979, zit. von Mitchell, S. 3]

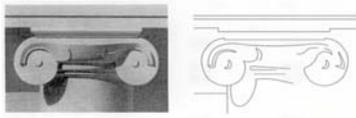
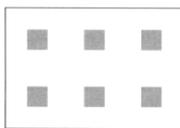
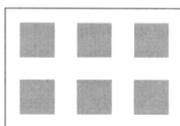


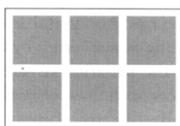
Abb. 5.12: Open and ambiguous
contours



Punched openings



Ambiguous



Frame

Abb. 5.13: Different figures appear as
proportions of solid and void in a wall
are varied

beitet. – Er betrachtet den Entwurfsprozess als berechenbar in der Entwurfswelt. Mit seiner eigens entwickelten „critical language for speaking about the qualities of buildings“ werden Form und Funktion mit sachlichen verbalen Aussagen in einer eindeutigen Sprache beschrieben und sind nach grammatikalischen Gesetzen manipulierbar.

In seiner zentralen Thesen geht er von drei grundsätzlichen Behauptungen aus:

- Beziehungen zwischen einzelnen Kriterien des Entwurfs werden als eine Art von Richtig/Falsch (truth-functional) Semantik eindeutig in der Entwurfswelt verstanden (critical language).
- Die Entwurfswelt könnte in formale Grammatiken spezifiziert werden.
- Die Regeln solcher Grammatiken beinhalten das Wissen darüber, um daraus die Funktionen von Gebäuden zu entwickeln.

Folglich, so Mitchell, ist die Beziehung von Form zu Funktion entscheidend durch die Syntax und die semantischen Regeln beeinflusst, unter denen der Entwerfer operiert. Die Aufteilung von wahrnehmbaren Bereichen (insbesondere visuelle Bereiche) in unterschiedliche Teile, die wir als „Erdachtes“ durch unsere Wahrnehmung erkennen, ist dabei einer der wichtigsten Grundsteine. Verfolgt man Konturen gleicher Intensität/Helligkeit, so lassen sich leicht Konturen (ab)zeichnen, die das Gesehene in Figuren gleicher Intensität unterteilen. Dieses so erzeugte zeichnungsähnliche Abbild des Gesehenen nennen Entwickler in der Bilderkennung (image analysis) „primal sketch“. (Abb. 5.11) Nach diesem Prinzip wurden Computerprogramme entwickelt, und einige neue Theorien über die menschliche Wahrnehmung deuten darauf hin, dass vergleichbar auch die menschliche visuelle Wahrnehmung nach diesem Mechanismus auf bewusster Ebene arbeitet. [vgl. Fischler and Firschein 1987, zit. nach Mitchell, Eigenübersetzung]

Doch durch Extraktion von Kanten aus einer Ansicht ergeben sich nicht immer einfache geschlossene Regionen. Oftmals entstehen neben geschlossenen auch offene Konturen. (Abb. 5.12) In einem weiteren Schritt sucht Mitchell Figuren vor ihrem Hintergrund, vor dem sie erscheinen, zu differenzieren.

We naturally interpret the façade of Gunnar Asplund's Villa Snellman [Abb. 5.14], for example, as a collection of well defined figures (windows and decorative motifs) arranged on the ground of the wall surface. But the distinction between figures and ground is not always so clear. Rudolf Arnheim (1974) has noted that we can interpret solids and voids in an façade in several different ways. [Abb. 5.13] Small windows may appear as discrete figures upon a continuous ground of wall. If we enlarge the ratio of opening to wall surface, as in Gothic architecture, we can reach a point where we interpret a façade as an alternation of open and solid elements, neither of which is unambiguously figure or ground. If we carry this process still further, as perhaps in the glazed wall of a modern office building, we eventually produce the figure of a structural frame seen against a continuous ground of window surface. [Mitchell, S. 4]

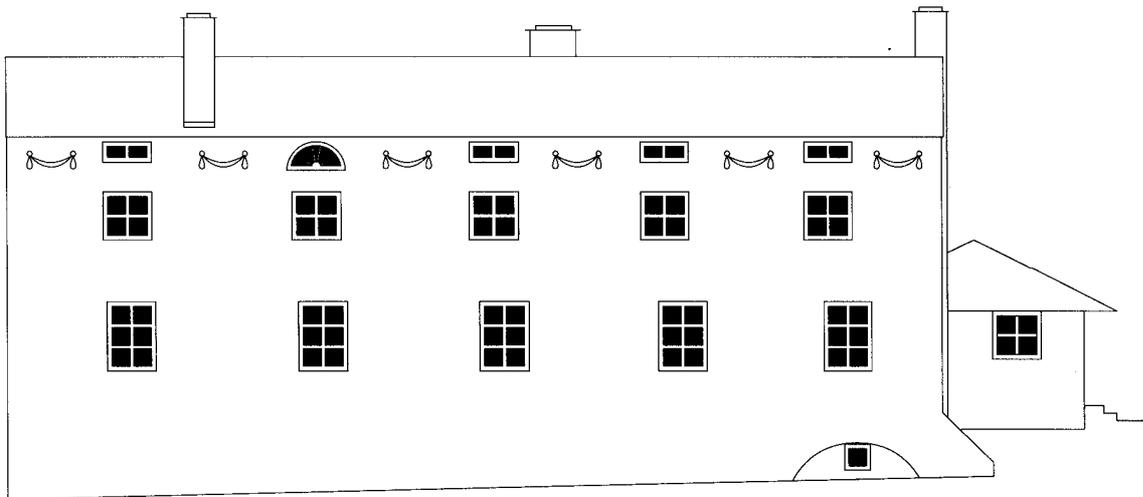


Abb. 5.14: Villa Snellman,
Gunnar Asplund (1917-1918)

Notice how Asplund knowingly manipulated all these effects to inject a restless vitality into the apparently simple façade of the Villa Snellman. Proximity and similarity allow us to read horizontal and vertical rows of openings, but this reading is subverted by the complex rhythm of the top row and the variation of windows sizes from storey to storey. The effects of the law of good continuation are disrupted (but not totally destroyed) by introduction of slight horizontal and vertical offsets. The closed figures of arched openings are contrasted with the opening curves of the decorative motifs. [Mitchell]

„Gestaltpsychologen“ haben herausgefunden, dass wir oft in unserer Wahrnehmung Strukturen von Fläche und Zwischenraum weiterführen, indem wir elementare Figuren in eine übergeordnete Figur überführen. Sie haben die verschiedensten Gestaltungsgesetze entwickelt.

Wenn Dinge substantiell, räumlich kohärent und über die Zeit beständig sind, erkennen wir diese als physikalische Objekte. Sie behalten ihre Identität (deshalb erkennen wir sie, wenn wir sie sehen), und wir nutzen verbale oder andere Namen, um sie zu identifizieren.



a: Diesen „Haufen“ interpretieren wir als Kreis ...



b: ... während wir überraschenderweise diese Anordnung als zwei überlappende Dreiecke interpretieren

Abb. 5.15: Grouping of elementary figures into higher-order figures

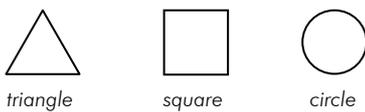


Abb. 5.17: Recognition is the correct application of labels



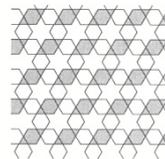
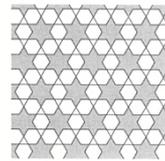
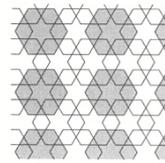
a: proximity creates columns



b: Similarity creates diagonals



c: Both rows and columns
Abb. 5.16: Grouping by proximity and similarity



Some of the figures that can be found within a tessellation

... object recognition is a crucial step in the process of understanding and describing what we see. It provides basis for interpreting visual fields as collections of physical objects, for predicating properties of these objects, and for specifying relationships of objects. [Mitchell]

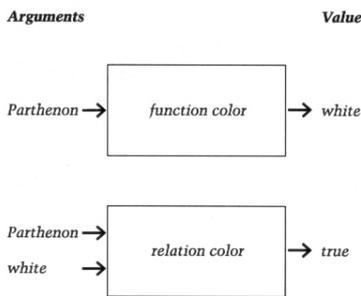


Abb. 5.18: Arguments and values of a function and a relation expressing the same information



Abb. 5.19: Decomposition of the Parthenon into primary and secondary parts

5.3.4 References and Description

Da Objekte durch Daraufdeuten eindeutig identifiziert werden oder durch konsequente Namensgebung und Benutzung dieses Namens bestimmt werden können, überführt Mitchell diese Erkenntnisse in programmierfähige Formeln. Ein simples Beispiel: Der Parthenon ist weiß (Abb. 5.18). Daten können dabei wesentlich komplexer sein, wenn die genaue Lage, Größe, Abstände, Zwischenräume, das Material usw. festgelegt werden. – Alle Daten werden in eine Datenbank überführt und können fortan mit anderen Werten oder Gesetzmäßigkeiten in andere, neue Ergebnisse überführt werden. Nimmt man die klassischen Säulenordnungen, so liegen hier die Schlüssel für den ganzen Aufbau des Gebäudes. Durch Attribute wird die Mächtigkeit der first-order logic entscheidend erweitert, indem bestimmte Werte Gruppen von Objekten vorgegeben werden können.

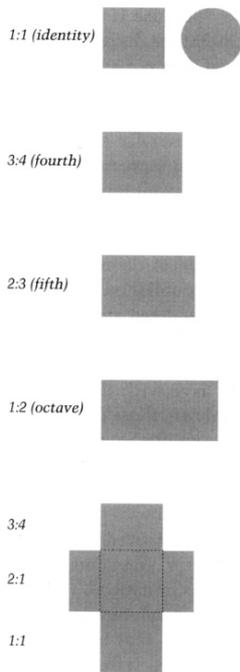


Abb. 5.20: Symmetria: harmonic proportions for rooms as recommended by Palladio

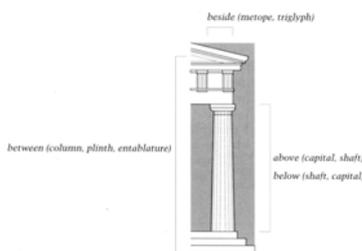


Abb. 5.21: Some spatial relationships among the construction elements of the Parthenon

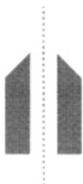


Abb. 5.22: Bilateral symmetry: reflection across an axis is the symmetry operation

Würde man diese Idee ausbauen und auch Variablen für Prädikate und Funktionen zulassen (that is quantification over predicates and functions), so Mitchell, würden wir eine second-order logic erhalten, eine universelle Ordnung.

Zusammenfassend stellt Mitchell die Forderung auf, der er anschließend weiter nachgeht:

We must have a strategy for segmenting architectural composition into parts and a way to refer to parts by name. (in the tradition of classical architecture, for example, there is a standard system of segmentation and naming.) We must also have a sufficiently extensive and finely differentiated vocabulary of relation and function symbols for use in specifying the properties and interrelationships of parts. Finally, we need a system for constructing assertions from names of parts, relation symbols, and function symbols: we might assign values to variables in a data structure, we might construct a set of first-order logic sentences, or we might allow the discourse to unfold as a sequence of English sentences.

5.3.4.1 Architectural Form

Form definiert Mitchell in der Weise, „... that the form of a building is its internal physical structure, as described under some appropriate conceptualisation (...). This Definition is in the spirit of the general usage of the term in aesthetics.“

Thus we should not look for a universal definition of aesthetic value in terms of particular formal qualities, but should recognize instead that different people, at different times, will seek and value different formal qualities in compositions. This will be reflected in different critical terminology and differing usages of predicates such as *beautiful*. [Mitchell, S. 33]

Die Suche nach dem, was Architektur ausmacht, führt auch bei Mitchell zunächst zur Ästhetik und den Regeln von Rhythmus, Proportion und Symmetrie (Fibonacci, Le Corbusier). Er erweitert das Vokabular um formalistische Kriterien wie:

- Rhythmic (repetition of columns)
- Well-proportioned shape (portico)
- Symmetria: harmonic proportions for rooms as recommended by Palladio

Formalists criticism attend to rhythms, ratio, symmetries and other aspects of the form of a building. It makes us use vocabulary of descriptive predicates: rhythms may be regular or irregular, ratios may be harmonic, symmetries may be dihedral and so on. It also employs predicates such as *graceful*, *harmonious*, and *beautiful*, which express judgments of aesthetic value. [Mitchell, S 36]



2.4
A composition in which rotation is
the symmetry operation



2.5
A composition in which translation
is the symmetry operation

Abb. 5.23: A composition of
translations, rotations, and
reflections as symmetry operations

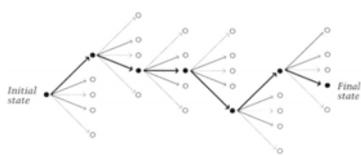


Abb. 5.24: Part of the state-action tree
for a design world and a designer's
path through it from the initial state to
a final state. Circles represent states,
and arrows represent available actions.
[Mitchell, S. 56]

Im nächsten Schritt behandelt Mitchell den Entwurf in erster Linie als Angelegenheit von Formkompositionen, basierend auf Anwendung von Rhythmus, Verhältnis, Symmetrie, Asymmetrie, Kontrasten, Harmonien usw., um Schönheit herzustellen. Abb. 5.24 zeigt den „Ariadnefaden“, den der Entwerfer durchschreitet, wenn er sich der gewünschten Form nähert.

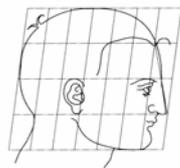
5.3.5 Manipulationen

Transformationen einer gegebenen Form können zu neuen Lösungen im Entwurf führen. Dürer verdeutlichte das Vorgehen an menschlichen Proportionen. (Abb. 5.25)

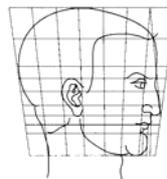
Transformationen durch Verändern des zugrunde liegenden Rasters, mit dem die Gebäudeteile im Gebäudemodell verknüpft sind, wie in Dürers Skizzen (Abb. 5.25) und am Beispiel Trajan's Market, Rome (Abb. 5.26), [Mitchell S. 117] dargestellt, könnten mit heutigen GM-basierten CAAD-Systemen i. d. R. durch Strecken und Verzerren mit wenigen „Handgriffen“ geleistet werden (bspw. PALLADIO).



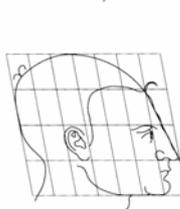
Abb. 5.25: Dürer's use
of stretch transforma-
tions to generate
images of human faces
(after "Four Books of
Human Proportion",
1528)



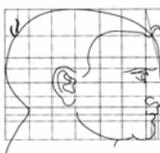
Dürer's use of
shear
transformations



Dürer's use of two-
dimensional
perspective
transformations



Dürer's use of
nonlinear continuous
transformations



5.4 Case-based Reasoning (CBR)



Abb. 5.26: Trajan's Market, Rome:
The right side becomes a
perspective transformation
of the left

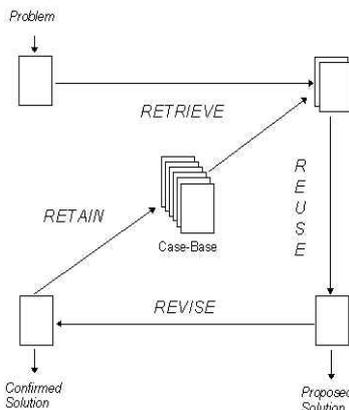


Abb. 5.27: Figure 1 The CBR Cycle
[Gero, adapted from Aamodt & Plaza,
1994]

Die allgemeine Erkenntnis, dass das wertvollste Wirtschaftsgut eines erfolgreichen Unternehmens sein Wissen ist, gilt auch für Architekten. „Die Fähigkeit, Wissen und Erfahrungen aufzunehmen, anzusammeln und in effektiver und effizienter Weise wiederzuverwenden, verschafft Unternehmen bedeutende Vorteile im globalen Wettbewerb.“ So die Fraunhofer-Gesellschaft¹²⁰ in einem Aufruf zu einem Tutorial, das sich an Wissenschaftler und Praktiker wendet, die „an Ansätzen und Lösungen für Wissensmanagement-Systeme in der Praxis interessiert sind.“

Fallbasiertes Schließen (Case-based Reasoning, CBR) ist der Versuch, das Gedächtnis von Experten oder ein reales Objekt in seiner Gesamtheit zu simulieren. Dadurch unterscheidet sich CBR von anderen wissensbasierten Systemen, die Expertenwissen vor der Anwendung auf neue Probleme, zum Beispiel in Form von Regeln, kompilieren. Fallbasiertes Schließen benutzt die Funktion des Sich-Erinnerns, um ähnliche Lösungen in der Vergangenheit zu finden. Anwendungen des seit Beginn der achtziger Jahre aktiven Forschungsgebiets reichen von der Planung über militärische Anwendungen bis hin zur Architektur. Ein fallbasiertes System geht neue Probleme an, indem es zunächst den am nächsten verwandten Fall sucht und ihn an die neue Situation anpaßt. Zu diesem Zweck sind die Fälle nach verschiedenen Gesichtspunkten indexiert. Ist eine Adaptation nicht möglich, kombiniert und adaptiert das System Teilproblemlösungen mehrerer Fälle. Dies vermeidet die wiederholte Lösung ähnlicher Probleme sowie die Schwierigkeiten in der Formulierung allgemeingültiger Regeln und deren Modifikation für Spezialfälle. Fallbasiertes Schließen bietet auch die Möglichkeit, die eigene Fähigkeit durch die Lern- und Erinnerungskapazität der Maschine zu verbessern. [Schmitt 1993]

Case-based Reasoning in Designsystemen einschließlich CAD wird auch mit Case-based Design (CBD) in Verbindung gesehen. „The interest in CBR as a relevant paradigm for design has led to a series of successful AID¹²¹ workshops over the last few years. Most of these workshops were focused on traditional issues and topics in CBR such as indexing, retrieval, and adaptation.“ [Oxman 2000] Die bisherigen Untersuchungen zeigten eine starke Verwandtschaft zwischen CBR und CBD. Dabei stehen zwei Punkte im besonderen Interesse:

- Visual reasoning is a fundamental attribute of design ...
- ...to investigate the possible integration of CBR paradigms and techniques with existing computational tech-

¹²⁰ Fraunhofer-Gesellschaft:
<http://wm2005.iese.fraunhofer.de/tutorial1.htm>

¹²¹ s. Fußnote 102

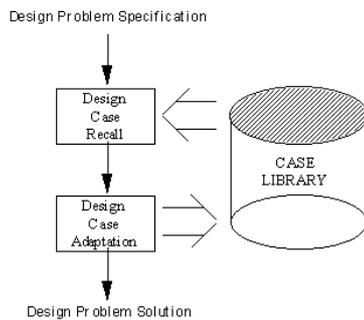


Abb. 5.28: Computational model of design as case-based reasoning [Gero]

nologies, including CAD, and electronic media. [Oxman 2000]

Case-based Reasoning kann durchaus den Entwerfer dabei unterstützen, sich in neuen Situationen an zuvor gemachte Erfahrungen zu erinnern. Ein Entwerfer lernt aus den Erfahrungen, die er während bestimmter Entwurfsaufgaben gemacht hat. „We learn to analyze through the use of formal methods, but creating a new design requires previous experience, or at least, exposure to another’s design experiences. As a cognitive model of design, case-based reasoning provides the basis for a computational model of design, as illustrated in (...).“ (Abb. 5.28) [Gero and Maher 1997]

Gero führt zwei Gründe auf, warum CBR eine sinnvolle (attractive) Unterstützungsumgebung für den frühen Entwurfsprozess ist:

- the knowledge is represented as design cases that can be proprietary and/or familiar to the designer, and
- the knowledge as case memory can be maintained and updated automatically with the use of the system.

Bei seinen Forschungen in rechnerunterstütztem Entwerfen (*Design Computing*) zeigt Gero *An Artificial Intelligence Framework* auf und schlägt dazu drei verschiedene wissenschaftliche Verfahren vor:

- (i) empirically-based research (cognitive models);
- (ii) axiom-based research (computational models); and
- (iii) conjecture-based research (computational models).

Empirically-based research involves the development of experimental studies of designers that result in cognitive models of designing, which then form the basis of artificial intelligence models. Axiom-based research involves the identification of a set of axioms and their consequences to derive a logic-based computational model of designing. Conjecture-based research involves an analogy between a cognitive or computational process that leads to a computational model specific to designing. [Gero, J. S. 1998]

In dieser Arbeit ist Geros Verfahren „Conjecture-Based Design Computing Research“ von besonderem Interesse. Gero unterscheidet in seinem Papier zwischen zwei Prozessen, die das Erahnen, Mutmaßen oder Erkennen (Conjecture) beeinflussen können: „Conjectures Based on Analogies with Human Design Process“ und „Conjectures Based on Analogies with Other Processes“. Auf ersteres

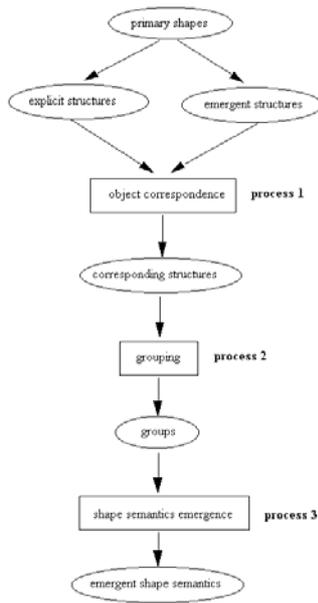


Abb. 5.29: Process model for shape semantic emergence which includes shape emergence as a subprocess [Gero et al. 1998]

wird an dieser Stelle näher eingegangen. Unter verschiedenen Beispielen, die Gero zu seinem „computational model of design“ anführt, gehören: „graphical emergence (emergence of shapes, objects, semantics and style from drawings); design by analogy (between domain analogies in particular); and qualitative reasoning in design (qualitative representation and reasoning about shapes and spaces).“ Dabei zeigt Gero, dass derartige rechnerbasierte Entwurfsmodelle nicht zwingend auf dem Wahrnehmungsvermögen des Entwerfers aufbauen müssen. Vielmehr kann diese Art von Forschung stark von anderen Computerfeldern, wie der „artificial intelligence“, profitieren, um spezielle Rechenmodelle zum Entwerfen zu entwickeln, bspw.: „evolutionary systems (generic engineering and co-evolution); and neural networks (emergence models)“, so Gero.

Mit „shape emergence“ zeigt Gero am Beispiel von Gottschaldt und Granovskaya (Gottschaldt 1926; Granovskaya et al. 1987) in Abb. 5.29 den Prozess, wie (Bestand-)Teile entstehen, die zuvor zwar implizit, nunmehr aber auch explizit vorhanden sind und sogar ohne menschliches Zutun vom Computer erkannt werden. „If the right-hand figure is drawn using a CAD system, its representation will be that of six objects located in geometrical space. However, for humans the dominant features are the central star and triangles. None of the features seen by the human observer can be ‚seen‘, ie, are represented by the CAD system.“



Abb. 5.30: A single object and a composite object, made of 12 copies of the single object, which exhibits strongly emergent shapes

Gero bedient sich nach eigenen Angaben bei den „Gestaltpsychologen“ und mehr noch bei den „cognitive psychologists“, die in ihrer Forschung Konzepte aufzeigen, die Rechenmodelle von „shape emergence“ ermöglichen. So scheinen Menschen zwischen Vordergrund und Hintergrund zu unterscheiden, wenn sie Figuren (shapes) „lesen“. „In order to emerge shapes which were not previously represented a process which manipulates the foreground and background can be constructed. What is done is to take the primary or originally represented shape and ‚unstructure‘ it so that it now becomes part of the background, producing an image composed of unstructured shapes only. A structuring process is then passed over this background to emerge foregrounds which may include both the primary shape and newly represented shapes.“

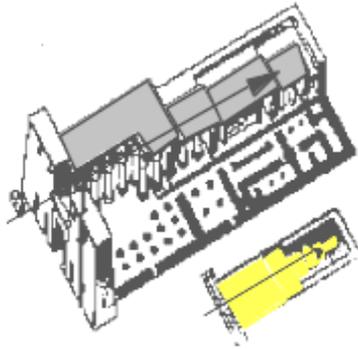


Abb. 5.32: The Temple of Thebes which exhibits emergent visual movement

Gero verweist an der Stelle auf seine Arbeit mit Yan [Gero et al. 1993] Das Konzept hinter „shape emergence“ kann, so Gero, um „emerge shape semantic“ erweitert werden, wobei diese durch „visual patterns of shapes“ abgeleitet wird. „Since these patterns were not originally represented they are emergent when there is a computational process which can find and represent them. From seeing drawings, various visual patterns are perceived by the human viewers.“ Die so neu entdeckten „Patterns“ können eine ausschlaggebende Bedeutung für künftige Ideen des gleichen Entwurfes haben, wenn der Entwerfer bereit ist, die Muster, die zuvor nicht da waren, anzunehmen, so Gero. Ungeachtet dessen, „visual patterns from shapes are defined as shape semantic when the patterns match the criteria for predefined labels, such as visual symmetry, visual rhythm, visual movement and visual balance. [Abb. 5.32] shows the Temple of Thebes which exhibits emergent visual movement.“

Gero und Jun haben ein Rechenmodell für „shape semantic emergence“ entwickelt, welches auf drei Rechenprozessen basiert:

- object correspondence
- grouping
- shape semantics emergence

Shape semantics play an important role in organising decisions, providing order, and generating final form in visually-oriented design. They appear to have a special role in architectural design in particular. Architecture reflects its main design concept through visual organization of structures. Visual organization of structures is shown as visual semantics of the design and is perceivable to designers. However, current computer-aided drawing, computer-aided drafting and computer-aided design systems prevent the discovery of visual shape semantics. Inadvertently such systems have enforced fixation so that it is not surprising that they are not used in the early stages of architectural design. [Gero et al. 1998]

5.4.1 Voraussetzung zur Entwurfsunterstützung durch CBR

Visual Reasoning¹²² setzt semantisches Wissen voraus. Nur so kann Case-based Design¹²³ stattfinden. Wie zuvor beschrieben, gibt es hier erhebliche Schwierigkeiten bei der

¹²² Visual Reasoning: auf bildhaftes Schlussfolgern

¹²³ Case based Design: fallbasiertes Entwerfen

Recognition. Selbst CAAD-Systeme, die ein GM verwenden, also nicht nur auf Liniengrafiken aufbauen, kennen i. d. R. keine entwurfsbedingte Semantik.

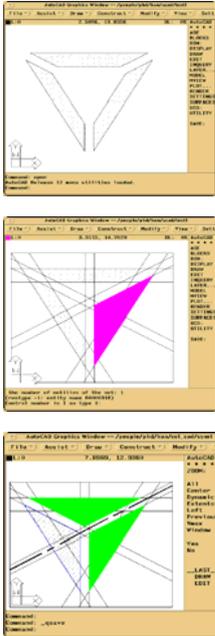


Abb. 5.33:
Erkennen und Weiterentwickeln von
impliziten Formen mit dem Computer:
oben:
the primary shape as input in AutoCAD
darunter:
(a) discovering emergent shapes
(b) discovering and using reflectional
symmetry based on the emergent
shapes
(Gero und Maher, 1997)

Die Hauptprobleme sind: die Vollständigkeit der Falldatenbank, Methoden der Auffindung korrekter Fälle und die Anpassung an die neuen Anforderungen sowohl in geometrischer als auch in topologischer Hinsicht. Die größte und kompletteste Falldatenbank ist die gebaute Umwelt, die wir täglich erleben und die als Basis für alle neuen Entwürfe dient. Eine erste Stufe der Abstraktion sind die beschreibenden Werke der Architekturgeschichte, die verschiedene, nicht aber alle Aspekte eines Gebäudes erläutern und einen bestimmten Anspruch auf Ausgewogenheit erheben. (...) Die Erfahrungen mit gebauter Architektur entwickeln sich mit den ersten eigenen Projekten. Erst gegen Ende einer Architektenkarriere ist die Falldatenbank von überzeugender Größe. (...) Fallbasiertes Schließen könnte eine große praktische Bedeutung erlangen, indem Bauteile sich automatisch an Anforderungen des Entwurfs anpassen würden. Im Unterschied zu Bauteildatenbanken, in denen sämtliche Parameter der einzelnen Elemente bereits vordefiniert sind, könnte ein fallbasiertes System auch neue Parameter erzeugen und dem Hersteller übermitteln. Auf diese Weise könnten von seiten des computerunterstützten Entwurfs inhaltliche Impulse an andere Partner im Bauprozeß ausgehen. [Schmitt 1993]

Solange wir kein GM haben, wird Case-based Design sich auf Indexieren und wieder Auffinden von Bildern [aus der Architekturgeschichte] beschränken müssen. [Junge]

Will man CBR bei CAAD-Systemen zur Entwurfsunterstützung verwirklichen, wäre ein semantisches Gebäudemodell (GM) die unabdingbare Voraussetzung dafür. (s. Kap. 7)

5.5 Analyse und Synthese

[Peña 1987] unterscheidet mit seinem „Problem Seeking“ (CRSS) in Anforderungen und die jeweilige Betrachtung darauf. Das Ergebnis von Grundlagenermittlung (programming) ist das „statement“, das für Peña gleichzeitig der erste Schritt zum Entwurf ist. Dabei wird methodisches Erarbeiten komplexer Entwurfsaufgaben in fünf Schritten unter wiederum jeweils vier grundsätzlichen Betrachtungen (considerations) vorgenommen. Der „five-step process“ kann für die meisten Disziplinen angewandt werden. Speziell im Architekturbereich bedarf es besonders vieler prinzipieller Beziehungen zum architektonischen Produkt (Raum, Gebäude, Stadt).

Nach Peña hat ein Produkt prinzipiell bessere Chancen, erfolgreich zu sein, wenn vier grundsätzliche Betrachtungen gleichzeitig berücksichtigt werden :

- Function
- Form
- Economy
- Time

Seine Grundlagenermittlung (Programming) beinhaltet eine organisierte Methode von fünf Anforderungen :

- Establish goals
- Collect and analyse Facts
- Uncover and test Concepts
- Determine Needs
- State the Problem

Diese Anforderungen interagieren jeweils mit den vier grundsätzlichen Betrachtungen.

Die Methode zeigt, wie und wo unterstützende Computerprogramme in den einzelnen Ermittlungen hilfreich sein können. Bspw. Programme zur Aufstellung von Flächenbedarf, zur Überführung in Raumprogramme (Excelsheets), die wiederum in grafische Repräsentationen überführt werden (ALBERTI). Dabei können Bubblediagramme erzeugt und Constraints vergeben werden, die die Lage der Räume zur Himmelsrichtung, aber auch zueinander, festlegen, sodass Grundrissempfehlungen automatisch evaluiert werden können. Diese Programme sind aber nicht Thema dieser Arbeit, vielmehr soll hier nur deutlich gemacht werden, welch großes Potenzial noch vor uns liegt und wie bedeutend es ist, dass alle Programme auf ein Gebäudemodell fixiert sind, sodass über den ganzen Lifecycle einer Immobilie darauf zurückgegriffen werden kann (FM). Erst dann beginnt der formale Entwurf.

Bei großen komplexen Entwurfsaufgaben bietet sich diese Vorgehensweise an, indem kleine Schritte schließlich zum Ganzen führen. In den Planungsphasen I und II der HOAI – Grundlagenermittlung und Vorentwurf – können Softwaretools diesen Findungsprozess unterstützen. Erst wenn die Rahmenbedingungen feststehen, beginnt der eigentliche

gestalterische Prozess, der ggf. mit einem semantischen Gebäudemodell unterstützt werden kann.

5.6 Gebäudemodelle (GMs)

5.6.1 Produktmodellierung

Es besteht weitgehend Übereinkunft darüber, dass Verbesserung der Planungseffizienz und Planungsqualität bis hin zur Fertigung nur durch eine Automatisierung des Planungs,- und Konstruktionsprozesses zu erreichen ist. Die Lösung wird dabei in der Integration des Informationsflusses der einzelnen Disziplinen der am Entstehungsprozess Beteiligten gesehen.

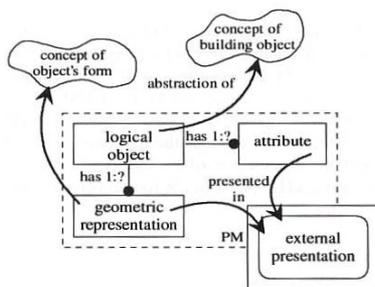


Abb. 5.34: The logical object as basic entity [Junge, 1997]

Um komplexe Sachverhalte zu verstehen, werden Produktmodelle (Product Model¹²⁴) aus den unterschiedlichen Sichtweisen der jeweiligen Beteiligten erstellt (Aspect Models). Product Models verwenden intern ein Information Model, das Wissen, Kommunikation und Daten verwaltet. So hat eine Zahl „1964“ keine Bedeutung, erst wenn das Wort „Jahr“ zu 1964 hinzugefügt wird, ist die Information brauchbar. Ein „Information Model“ stellt eine formale, korrekte und konsistente Beschreibung von Typen aus Ideen, Fakten und Prozessen, die zusammen ein Modell eines bestimmten Gegenstandes der realen Welt definieren, gemeinsam mit einer expliziten Anzahl von Regeln zur Interpretation bereit. Die hinterlegten Daten sind dabei (Softwareprodukt) neutral gehalten. Verwendet wird meist die objektorientierte Beschreibungssprache EXPRESS, die neben der textuellen Repräsentation auch über eine grafische Notation, EXPRESS-G als Untermenge, verfügt. [vgl. Schenk et al. 1994, S. 6, eigene Übersetzung]

Der wesentliche Vorteil einer solchen Beschreibungssprache ist, dass der Inhalt produktmodellbasierter Daten sowohl von Menschen als auch von Softwareapplikationen interpretiert werden kann. Letztere können dazu benutzt

¹²⁴ According to ISO (1994), a product information model or, for short, product model is defined as „an information model which provides an abstract definition of facts, concepts and instructions about a product“.

werden, auch die Daten von Gebäude(Produkt)modellen (GMs) zu analysieren.

Es können viele unterschiedliche Modelle entwickelt werden, die alle bestimmte Zwecke für Analyse, Entwurf oder Implementierung einer gewünschten Anwendung erfüllen. Für das Bauwesen sind das Objekt-Modell (GM) und das Prozess-Modell (Gebäude-Informationsmodell, BIM¹²⁵) von Bedeutung.

5.6.2 Das abstrakte Gebäude(Objekt)modell

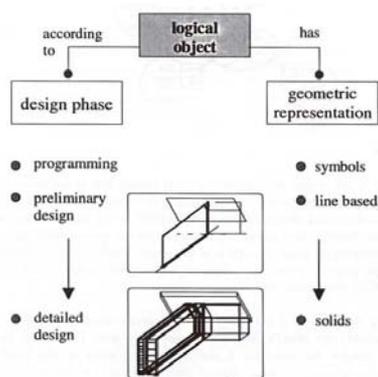


Abb. 5.35: Different geometric representations of a design object [Junge, 1997]

Als Modell wird gewöhnlich der Prototyp, der eine ideale Form repräsentiert, verstanden. Allgemeiner gesagt ist das Modell die Struktur, das Muster, nach dessen Grundzügen etwas gestaltet ist. Es zeigt, wie etwas zusammengesetzt ist. Ein Modell zu konstruieren bedeutet, Zusammenhänge in einer gegebenen Beziehung bestimmter Kombinationen und festgelegter Anordnungen zu finden. Dazu werden zwei Arten von Modellen verwendet: Visuelle Modelle und Denkmodelle. [Ungers, 1977]

Vereinfacht ausgedrückt: „Ein Modell ist die Abstraktion der Realität mit einem bestimmten Zweck.“ [Zitat Prof. Junge]

The existence of an object is not based on the presentation of its geometry on the screen respectively the object's definition in geometry data. This is the fundamental step, which creates the basis for a consistent application of the product model philosophy. An object is a more abstract entity that can be viewed from different viewpoints. Thus it has different representations, e.g. different geometric representations, characterized by different sets of attributes. [Junge und Liebich 1997, S.579 f] (Abb. 5.34)

An application converting a whole area, such as CAAD the discipline of architecture, has to be dynamic by its own nature. It should be possible to shift the focus from, e.g. the spatial layout, to the building components and again to the bill of quantities. [Junge 1997, S. 579] (Abb. 5.35)

A building product model is a digital framework to manage all information within the disciplines of architecture, engineering, construction and facility management (AEC/FM), throughout the design and building process, also covering the use and maintenance of the building. [Penntila 2005, S. 225]

¹²⁵ BIM steht für „Building Information Modeling“. Bau-Information-Modellierung ist ein integrierter Gesamtprozess, der die Planung, den Bau und die Bewirtschaftung von Gebäuden und baulichen Anlagen innovativ umgestalten soll. Die internationale Fachwelt erwartet dabei eine Effektivitätssteigerung, eine Risikominimierung und eine Qualitätsverbesserung, die Resultate ähnlicher Veränderungen der Arbeitsprozesse sind, wie diese im Fahrzeug-, Maschinen- und Anlagenbau bereits vollzogen wurden. [http://www.iai-ev.de, 05.08.2004]

Neben der Geometrie einzelner Objekte wird bei einem Produktmodell auch die Produktstruktur abgebildet. Objekte enthalten außer den Materialeigenschaften auch funktionale und administrative Eigenschaften. Zusätzlich können Objekte in unterschiedlichen Relationen zueinander stehen.

Damit unterschiedliche Partner Produktdaten austauschen können, gibt es zwei Möglichkeiten: die eine ist, man übersetzt jeweils die Daten des anderen in sein System, oder die andere, bessere Methode, man einigt sich auf ein gemeinsames Datenaustauschformat. Dabei übersetzt ein Preprozessor die CAD-Daten in das neutrale Datenaustauschformat, während ein Postprozessor das neutrale Format in CAD-Daten umwandelt. Vorteil der zweiten Methode ist: Man braucht nur einen Pre- und einen Postprozessor zu entwickeln und kann mit jedem anderen System, das dieses Austauschformat unterstützt, Produktdaten austauschen.

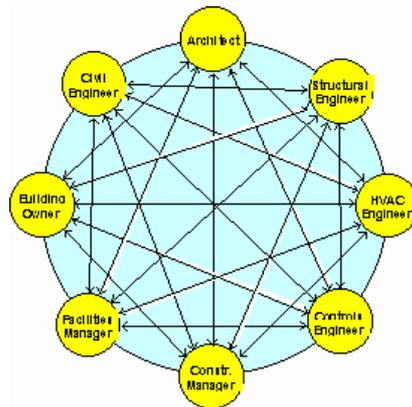


Abb. 5.36: Jeder Teilnehmer muss mit jedem anderen, mit dem er kommunizieren will, ein eigenes Austauschformat für Senden und Empfangen schreiben und pflegen

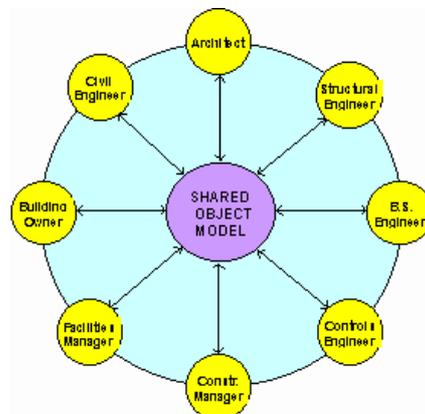


Abb. 5.37: Das Shared Object Model (bspw. IFC) verlangt von jedem Teilnehmer nur ein Sende- und ein Empfangsmodul. Die Pflege des Modells wird von der IAI getragen.

Die fünf gebräuchlichen neutralen Austauschformate sind:

- Drawing eXchange Format (DXF), proprietäres Format von Autodesk
- Initial Graphics Exchange Specification (IGES), American national Standard ANSI Y14.26M.
- Standard d'Echange et de Transfert (SET), French national Standard AFNOR z68300
- Verband der Automobile – Industrie-Flächen-Schnittstelle (VDA-FS), übernommen als German Standard DIN 66301
- Standard for the Exchange of Product model data (STEP), international Standard ISO 10303.

DXF von Autodesk ist ein firmeneigenes Format, das als allgemeines Austauschformat auch von anderen CAD-Systemen für einfache CAD-Zeichnungen verwendet wird. Produktmodelldaten gehen dabei verloren.

Im Bauwesen haben sich zum Austausch von Produktdaten zwei Ansätze etabliert: Das STEP (AP225) und die Industry Foundation Classes (IFC). STEP bietet drei weitere Anwendungsprotokolle speziell für den Stahlbau (AP230), für Heizung, Lüftung und Klima (AP228) und für die Fabrikplanung (AP227)

Im Bauwesen stehen der Prozess und das Objekt im Mittelpunkt des Interesses. Abb. 5.38 zeigt exemplarisch mögliche Produktphasen eines Gebäudes.

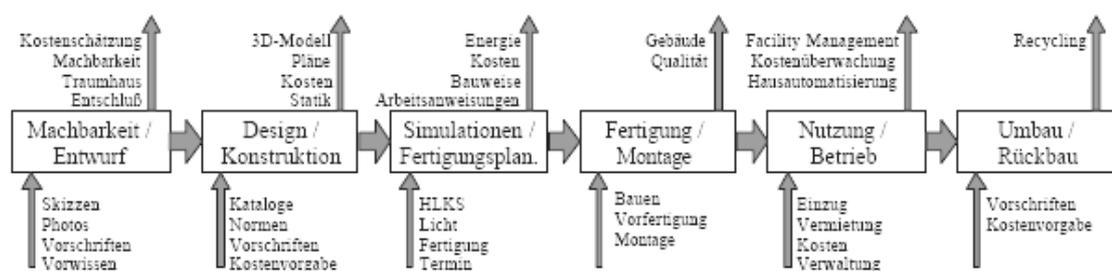


Abb. 5.38: Erzeugung und Nutzung von Produktinformationen in verschiedenen Produktphasen [FZKA 6626, Karlsruhe]

Die frühen Phasen des Entwurfs sind zu Beginn unter Machbarkeit/Entwurf zu finden. Das Schema macht den Einfluss der frühen Phasen auf die restlichen Produktphasen deutlich.

5.6.3 Objektorientierte Gebäude(Produkt)modelle heute

1995 wurde die IAI gegründet mit dem Ziel, ein einheitliches digitales Gebäudemodell für alle an einer Immobilie beteiligten Fachbereiche zu erarbeiten und zur Verfügung zu stellen. Diese von der „Industrie“ eingeleitete Initiative verfolgt eine praktikable Lösung, weshalb zu Beginn überwiegend Architekten und Ingenieure aus den einzelnen Fachdisziplinen die Anforderungen an die Informatiker stellten. Von der „privaten“ Initiative versprach man sich schnellere Ergebnisse, als sie von der internationalen ISO-Normung zu erwarten waren. Die ISO 10303¹²⁶, seit 1983 tätig, war zunächst auf den „verlustfreien Datenaustausch der Geometrie bedacht (Step 2DBS). Im Laufe der Jahre kam es zu Überschneidungen mit dem von der IAI erarbeiteten Austauschformat (IFC)¹²⁷, das neben den Geometriedaten auch die inhaltlichen, semantischen Daten übergibt. Wie wichtig der Umgang mit semantischen Gebäudedaten ist, zeigen die seinerzeitigen Bestrebungen, die beiden unterschiedlichen Formate zu harmonisieren, wie in dem Aufruf zum STEP-Meeting 2003 in Poitiers¹²⁸ zu lesen ist:

A draft paper concerning harmonization of STEP parts with IFC2x platform. I concentrated on the STEP backbone architecture as described in parts 41/43 and AP225 – AIM. We will probably not have any official IAI representation at the meeting in Poitiers. However we should discuss harmonization issues.

Der Lebenszyklus eines Gebäudes wird von der IAI in vier Phasen gesehen: Machbarkeit (Feasibility), Entwurf und Planung (Design), Bau (Construction) und Betrieb (Operation). Für alle vier Phasen wurden Prozessmodelle (Process Models) entworfen, die mögliche Aktivitäten und Informationsflüsse beschreiben. Die erzeugten Daten werden in einem Gebäudemodell (Object Model) gehalten. Der Aufbau des so genannten IFC-Modells lehnt sich an die Modellierung von STEP an und besteht aus vier Schichten: Resource Layer, Core Layer, Interoperability Layer und Domain Layer. [Junge 1997, Liebich 1999] Die hierarchi-

¹²⁶ ISO 10303-225 mit dem Titel „Building Elements Using Explicit Shape Representation“ ist ein in Entwicklung befindlicher internationaler Standard für den Austausch räumlicher Gebäudemodelle. [Haas 1997] [http://www.haspar.de/Ap225/index_eng.htm]

¹²⁷ Industry Foundation Classes, die aktuelle Version ist IFC2x

¹²⁸ <http://www.steptools.com/mail-archive/step-building/msg00022.html>

sche Struktur des IFC-Gebäudemodells ist in Projekt, Lage, Gebäude, Geschosse, Räume und Elemente gegliedert.

Wie wichtig es ist, „ein“ quasi Meta-Modell zu haben, wird dadurch deutlich, dass alle wichtigen, international aufgestellten Softwarehäuser auf dem Gebiet der CAAD sich in der Non-Profit-Organisation IAI zusammengeschlossen haben, um ein einheitliches Modell zu erarbeiten und, was ebenso wichtig ist, auch mit ihrer Software zu unterstützen. Neben den primären CAAD-Anwendungen aus der Architektur wurden inzwischen auch andere Branchen, wie CAD-Software für Elektro und Haustechnik, Energiesimulationsprogramme, Kostenberechnungsprogramme, E-Plan Checking Software für Singapore, Facility Management, zertifiziert.

Die von der IAI erarbeiteten IFC sind inzwischen unter ISO 16739 registriert. Die aktuelle Version 2.x soll mit der nächsten Version 3.0 erheblich erweitert werden. (Abb. 5.39 und Abb. 5.40)

Abb. 5.39: IFC 2.0

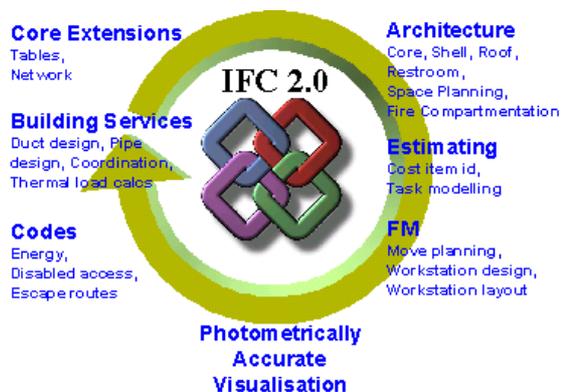


Abb. 5.40: erweiterte IFC 3.0



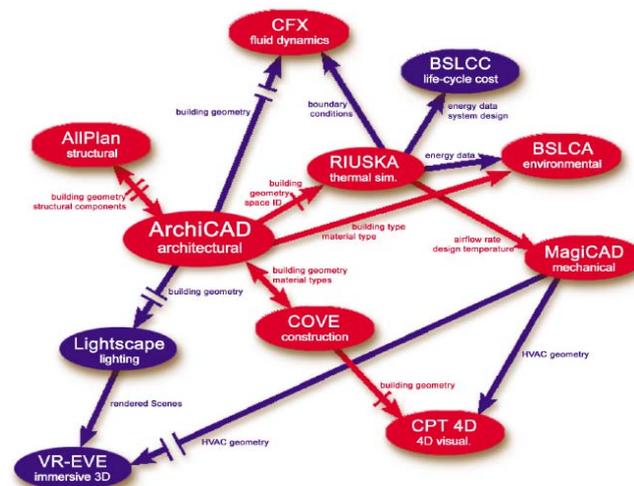
In einem 2002 abgeschlossenen Pilotprojekt „HUT 600“ der Helsinki University of Technology (HUT) wurden auf Basis der IFC-Standards (Version 1.5.1, damaliger Stand) außer dem Datenaustausch auch produktmodellbasierte Methoden getestet. Aufgabe war: „To test the design of complex spaces, visualization, simulation and analysis tool in a product model based environment.“ [Penntila 2005, S. 231, Fischer und Kam 2002]

In dem von Fischer und Kam dokumentierten Projekt werden die Vorteile der Verwendung eines GM im IFC-Format herausgestellt:

Object-orientated software and IFC shortened the design interaction time, expedited design in time, and helped in developing and keeping a reliable budget;

Less redundant design data (less needs to re-enter geometric, thermal and material property data);

The models supported early design phase visualisation for project participants and improved collaboration between participants.



Legend:

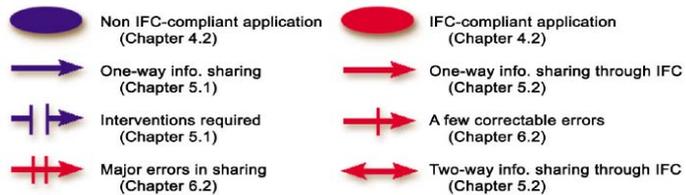


Abb. 5.41: Datenaustausch zwischen den Softwareapplikationen des HUT 600 Projekt der Helsinki University of Technology (HUT) [Fischer and Kam 2002]

5.6.4 Heutige Gebäudemodelle

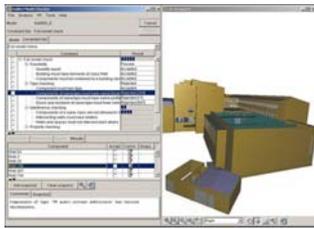


Abb. 5.43: SOLIBRI model checker allowed construction managers to validate the design and accuracy of product model

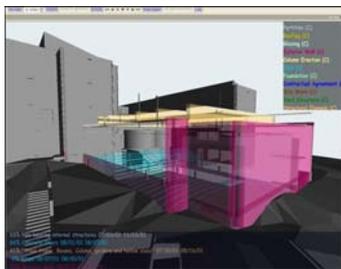


Abb. 5.42: The architects cut section and other views from the ArchiCAD product model in support for spatial visualisation and communication with the clients and end-user

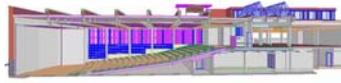
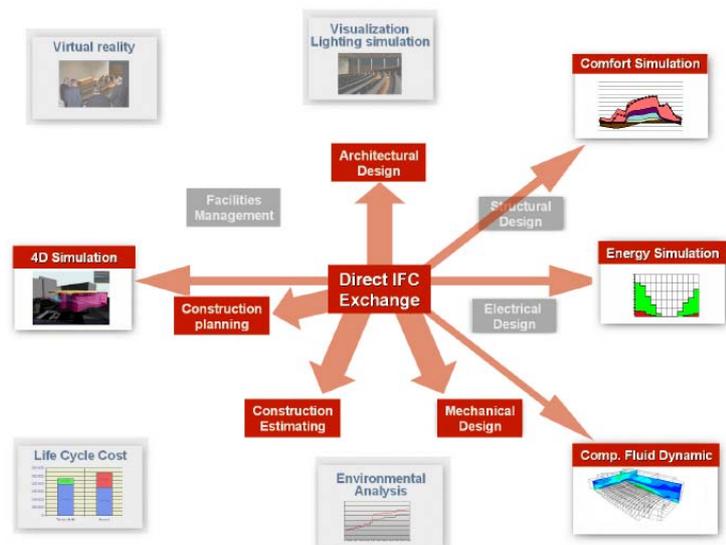


Abb. 5.45: Scope of testing IFC-based project data exchange on the HUT-600 project (rechts)



Abb. 5.44: Granlund consultants used the 3D HVAC-CAD software MagiCAD to extract actual object information from the manufacturer's data

Ein weiterer Vorteil intelligenter Objekte ist die Möglichkeit, ein Bauteil in verschiedenen Maßstäben mit jeweils unterschiedlichem Detaillierungsgrad darzustellen. Musste der Bauplaner früher beim Übergang von einer Planungsphase in die nächste sämtliche Pläne neu zeichnen, so genügt heute ein Mausklick, um die benötigte maßstabsgerechte Darstellung anzuzeigen. Ein Neuzeichnen ist dabei nicht nötig – das Gebäudemodell wird einmal aufgebaut und dient anschließend als Datenpool, aus dem Informationen für alle weiteren Planungsphasen herausgefiltert werden. Dies gilt nicht nur für maßstäblich unterschiedliche Darstellungen, sondern auch für alle anderen benötigten Views: Es stehen alle Daten bereit, um daraus sofort sämtliche Grundrisse, Ansichten oder beliebige Perspektiven des Gebäudemodells abzuleiten. Expertensysteme der Fachplaner können frühzeitig Entwurfsentscheidungen beeinflussen oder Schwachstellen des Entwurfs entdecken und Alter-



nativen anbieten. Alle projektspezifischen Informationen werden dem GM entnommen. So werden Berechnungen und Simulationen von Licht, Klima, Akustik usw. möglich. Visualisierungen (Views) jeglicher Art können zu allen Zeiten aus dem GM entwickelt werden. Mit wenig Aufwand erhalten Bauherren und Planer auf diese Weise eine foto-realistische Vorschau auf das geplante Gebäude. Der Informationsgehalt des GM verdichtet sich mit fortschreitender Planung. U. a. liefern Tragwerksplanung und im besonderen Maße die TGA-Planung Informationen, die für



Abb. 5.46: LIGHTSCAPE renderings showed the end-user the proposed lighting designs for the auditorium hall in lecture mode (oben) and slide presentation mode (unten)

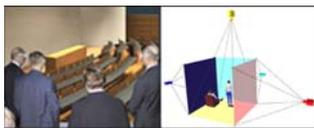


Abb. 5.48: The owners and end-users of HUT-600 reviewed the auditorium design in the EVE (left). A diagram illustrating the configuration of rear and top projection in the EVE (right).

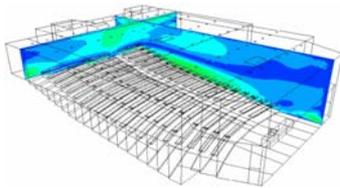


Abb. 5.49: CFX provided CFD cross-sectional profiles of air velocity in the displacement cooling scenario

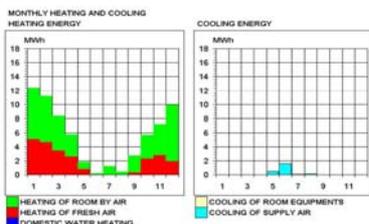


Abb. 5.50: Eine besondere Sicht auf das GM sind die Energiekosten über einen bestimmten Zeitraum: RIUSKA project the annual heating and cooling energy consumption for HUT-600

den späteren Gebäudeunterhalt (FM) von großem Wert sind. Einen Eindruck davon, was Gebäudemodelle leisten können, zeigen die verschiedenen Views auf das GM in Abb. 5.42 - Abb. 5.50 (alle dem HUT-Projekt entnommen).

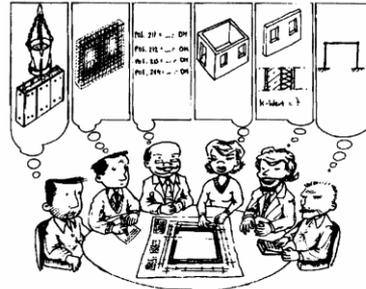


Abb. 5.47: „Collaboration today“ [Junge 1997]

5.6.5 Views (Sichten) auf das Gebäudemodell

Views sind unterschiedliche Repräsentationen oder Sichten auf das Gebäudemodell. Jeder am Planungsprozess oder auch später am Unterhalt eines Gebäudes Beteiligte hat eine eigene Sicht auf das Gebäude oder Projekt (Abb. 5.47). Sie können grafischer, aber auch alphanumerischer Art sein. Einige solcher Views werden in den Abbildungen von HUT (5.6.4) wiedergegeben.

Für den entwerfenden und planenden Architekten bieten sich die geometrischen Präsentationen (Views) entsprechend den Planungsphasen in ihrer Maßstäblichkeit und dem jeweiligen Detaillierungsgrad in 2D und 3D an: Vorentwurf, Entwurf, Baueingabe, Werkplanung (Detailplanung). Renderings, Isometrien und Perspektiven, Work-through ... sind weitere heute mögliche Views. Mehr darüber in 8.2.

5.6.6 Was heutige GMs leisten und was nicht

Heutige GM-basierte CAAD-Systeme, die dem IFC-Standard folgen, stellen den Projektpartnern immer mehr Informationen zur Verfügung (s. HUT-Projekt). Liegen die Daten erst einmal digital als Objekte (IFC) vor, lassen sich alle denkbaren Views ableiten. Auch Prozessabwicklungen werden geleistet. Der Datenaustausch ist quasi als Abfallprodukt geregelt. Es spielt plötzlich keine Rolle mehr, wer mit

welcher Software an dem Projekt mitarbeitet, entscheidend ist nur, dass seine Software das Shared Object Model (vorzugsweise IFC) des anderen bedienen kann. Auch wenn heute noch nicht alle wünschenswerten Objekte als IFC implementiert sind, überwiegen die Vorteile.

Nicht wirklich unterstützt werden der frühe quantitative Planungsprozess (Grundlagenermittlung) und der kreative ganzheitliche Entwurfsprozess. Die Systeme setzen zur Eingabe ihrer Daten präzise Angaben voraus, sie können nicht mit Unschärfe umgehen, wie es der Entwurfsprozess verlangt, da nicht alle Parameter von Anfang an bestimmbar oder schon bekannt sind. Sie unterstützen durchaus die Entwurfseingaben, wenn die exakten Maße der Objekte bekannt sind. Vorbelegungen, bspw. von Fensterbrüstungs- und Öffnungshöhen, Wandhöhen (Geschosshöhen) oder Wandtypen und -dicken, helfen, diese Festlegungen auch zu einem späteren Zeitpunkt exakt zu bestimmen. Diese „Krücken“ erschweren aber eine echte Unterstützung im eigentlichen Entwurfsprozess. Dazu kommt, dass die Eingaben und vor allem deren Änderungen zu kompliziert sind, als dass der Entwerfer den Faden seines Entwurfsgedanken nicht verliert. (s. 5.9) Dennoch, die Objektdaten des Gebäudemodells sind unabdingbare Voraussetzung für ein noch zu entwickelndes Entwurfsprozessmodell, das mittels eines Entwurfsmoduls den Entwerfer unterstützen kann.

Gründe, die den Entwurfsarchitekten heute daran hindern, die vorhandene Software zu nutzen:

- Dem Entwurfsarchitekten fehlt die Möglichkeit zur unscharfen Eingabe. Die Eingabe in frühen Phasen ist zu zeitaufwändig, da die Programme bereits zu Beginn genaue Details zur Verarbeitung brauchen, die zu dem Zeitpunkt normalerweise noch nicht exakt bekannt zu sein brauchen (Geschosshöhen, Fensterhöhen, Brüstungshöhen).
- Grundlagenermittlung wird nicht unterstützt bzw. fließt nicht ein. Raumbuchanforderungen, Funktionsschemata usw. fließen nicht direkt in das Modell ein.
- Geschossübergreifendes Arbeiten ist nicht oder nur schwer möglich.
- Die Bedienung heutiger CAAD-Software ist zu komplex für den Entwerfer, der sich in erster Linie auf seine kreativen Ideen konzentrieren muss.

- Nicht alle zeichnerisch erfassten Objekte, wie freie Linien, Texte, Bemaßung etc., werden im derzeitigen IFC-Modell erfasst¹²⁹.
- Verschiedene Wandaufbauten müssen als Wandstile vorbereitet werden, Gleiches gilt für alle übrigen möglichen Objekte [Liebich et al. 2005]

5.7 Chancen für ein einheitliches Gebäudemodell

Die Grundidee hierzu lieferte die US-Navy, die für den Bau und Unterhalt ihrer Flotte die Planungs-, Wartungs- und Lieferzeiten und damit die Kosten mit Hilfe eines semantischen Modells zu optimieren suchte. Von den Forschungsaufträgen profitieren auch die Architekten mit ihrem Modell, schließlich ist ein Schiff vergleichbar einem Haus, das schwimmt, nur eben aus Stahl ist und wesentlich kompakter in seiner Bauweise und dabei mit weitaus höherem technischen Installationsangebot. Das erklärt auch das besondere Interesse der „Industrie“ an der Einführung eines gemeinsamen Modells.

Doch bereits hier laufen die Parallelen auseinander.

- Es gibt im Bauwesen selten den einheitlichen, immer gleichen Auftraggeber.
- Die Bauten sind, mit Ausnahme von Siedlungshäusern oder Fertighäusern für den Wohnungsbau oder gelegentlich auch Gewerbebauten, mehrheitlich individuell als Solitäre mit langer Lebensdauer gedacht und nicht als wiederholbare, vergleichsweise kurzlebige Massenware, wie Schiffe oder Autos, vorgesehen.
- Bauteile sind zwar meist genormt, sind aber selten einfach durch ein anderes Fabrikat austauschbar.
- Die ureigenste Aufgabe der Architektur, nämlich kreativ zu sein, etwas Neues zu schaffen, lässt eine vorweggenommene Normung nicht zu.

¹²⁹ „Generell wäre es wünschenswert, wenn die IFC-Schnittstelle nicht ausschließlich dreidimensionale Daten, die eigentlichen Modell-daten, übermitteln würde. Es ist gängige Praxis, dass Pläne durch zweidimensionale Elemente ergänzt werden. Diese Informationen gehen bei der Übertragung verloren und müssen parallel durch die übliche DXF/DWG-Übertragung übergeben werden. Eine Weiterentwicklung der IFC-Schnittstellen sollte auch die zweidimensionalen Planergänzungen (wie freie Linien, Text, Bemaßung etc.) enthalten.“ [Liebich, 2003]

- Damit entfällt das gesteigerte Interesse der „Industrie“, nämlich der Zulieferer, sich an einem Modell auch mit den notwendigen Kosten zur Erstellung zu beteiligen.

Dabei ist der Aufwand, der hier betrieben werden muss, immens groß. Nicht nur, dass hierfür keine Gelder verfügbar sind (die IAI arbeitet ehrenamtlich), sondern es fehlt bisher noch die nötige Akzeptanz, die Ergebnisse auch anzuwenden. Während die „Industrie“, vor allem in den USA, sich der Vorteile bewusst ist und sich dieser gerne bedient, stehen hierzulande vor allem die Architekten der Sache skeptisch bis abwartend gegenüber. Dabei kommt den Architekten hier eine Schlüsselrolle zu, schließlich sind sie es, die mit ihrem Entwurf zum ersten Plan für die Ausführung beitragen, auf dem alles weitere aufbaut. So liegt die Hauptlast der Entwicklung und der Kosten bei den Softwarehäusern, die die Chance der Planungstätigkeit von Architekten und Ingenieuren erkannt haben, die Chance zu einer echten Evolution, weg vom Computer Aided Design, hin zum Computer Aided Architectural Design (CAAD), dem computerunterstützten Architektur-Entwurf. Dabei nehmen die Architekten als Schöpfer eines neuen Bauwerks die Schlüsselrolle ein. Sie stehen am Beginn der Wertschöpfungskette, die sich durch die Verwendung von Modelldaten ergibt. Leider stehen bis heute noch keine geeigneten Werkzeuge zur Unterstützung in den frühen Phasen des Entwurfs zur Verfügung.

5.8 Der Planungsprozess im Bauwesen heute

Pilotprojekte wie das oben aufgeführte HUT-600 dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass in der gängigen Praxis noch sehr wenige der Möglichkeiten umgesetzt werden. Derzeit werden Projekte mehr und mehr – wenigstens teilweise – digital (i. d. R. 2D-CAD-Systeme) in Form von Vektorgrafiken erstellt. Selbst bei größeren Projekten, die mit 3D-Systemen geplant werden, werden in der Regel nur 2D-Dateien (DXF) erstellt, zwischen den Projektpartnern ausgetauscht und entsprechend ergänzt (Heizung, Elektro, Sanitär usw.). Zur Massen- und Kostenbestimmung oder FM-Analyse wird unter Umständen mit 3D-CAAD-Systemen nachmodelliert. Obwohl objektbasierte CAAD-Systeme verfügbar sind, bei denen Objekte wie Wand, Fenster, Türen usw. sämtliche Produkteigenschaften sowie ihre Be-

ziehungen untereinander aufweisen, kommen Modelldaten beim Datenaustausch so gut wie noch gar nicht oder nur zögernd zum Einsatz. (s. 1.4) [vgl. auch FZKA 6626]

Hemmnisse, Modelldaten (GM) im Architekturbüro zu verwenden, sind:

- Der Mehraufwand kompletter Modelldaten kommt dem Architekten nur bedingt zugute, da er an der weiteren Wertschöpfung finanziell nicht beteiligt ist.
- Der Zeitdruck hindert ihn, mehr als für seine Zwecke notwendig einzugeben.
- Der Einstieg mit dem Computer beginnt erst in einer späteren Leistungsphase, wenn mehr oder weniger alle Details festliegen (Baueingabe/Werkplanung).
- Die einmal erstellten Daten werden nicht durchgängig weitergenutzt bzw. weitergegeben.
- Die digitalen Daten sind mitunter nicht kompatibel mit den Programmen der anderen am Planungsprozess beteiligten Planer; so gehen entscheidende semantische Informationen im Zuge der Datenkonvertierung verloren. (s. DXF-Datenaustausch)

5.9 CAAD-Systeme sind Kreativitätskiller

In den letzten Jahren wurden Fortschritte in der Formulierung und Anwendung von Gebäudemodellen¹³⁰ (GMs) gemacht. Allerdings gibt es immer noch weitverbreitete Hemmnisse unter den Anwendern, diese neue Technik, vor allem in den frühen Phasen des Entwurfs, auch zu benutzen. Ein Grund dafür kann in der gestiegenen Leistungsfähigkeit und der damit einhergehenden komplexeren Bedienung der CAAD-Systeme gesehen werden. Ein weiterer Grund liegt in der unzureichend berücksichtigten Arbeitsweise der menschlichen Wahrnehmung und deren Informationsverarbeitung sowie der entsprechenden Umsetzung bei der Bedienung von CAAD-Systemen. Schlagworte wie Intuition, Kreativität, Motivation, Emotion und

¹³⁰ Gebäudemodell, auch Gebäudeproduktmodell (GM) genannt, umfasst die Repräsentation eines Gebäudes mit all seinen Funktionen und internen Verknüpfungen. Die Teile eines Gebäudes sind darin genau beschrieben, ebenso ihre Interaktionsmöglichkeiten. Seine abstrakten, intelligenten Objekte können selbstständig miteinander interagieren und Entscheidungen treffen, sie beinhalten künstliches Wissen. [Schmitt] (s. auch Kap. 5.6)

Gefühle etc. werden nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt.

Das Vorhaben, mit heutigen Computerprogrammen entwerfen zu wollen, verhält sich in Kontrast zur geforderten Entwurfsstimmung. Nach allem, was wir heute wissen, trägt der Computer wenig zur Stimulans und Motivation bei. Im Gegenteil, der Zwang zur Perfektion gilt als Voraussetzung zur Kommunikation mit dem Computer von heute.

Abb. 5.51: The analysis framework of the theory and literature of this research. Note: There is no closed loop or area, which means that there is some theory diffusion between topics and the possibility to attain more. [Haapasalo 2000]

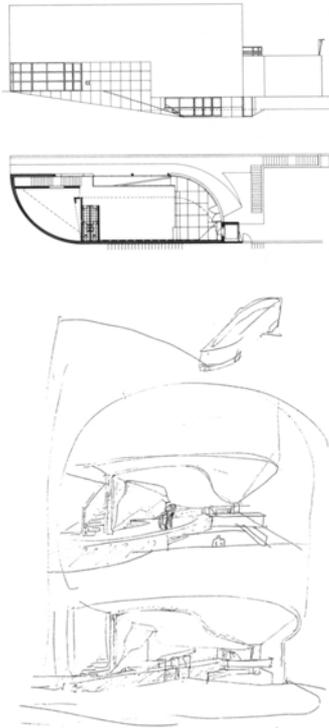
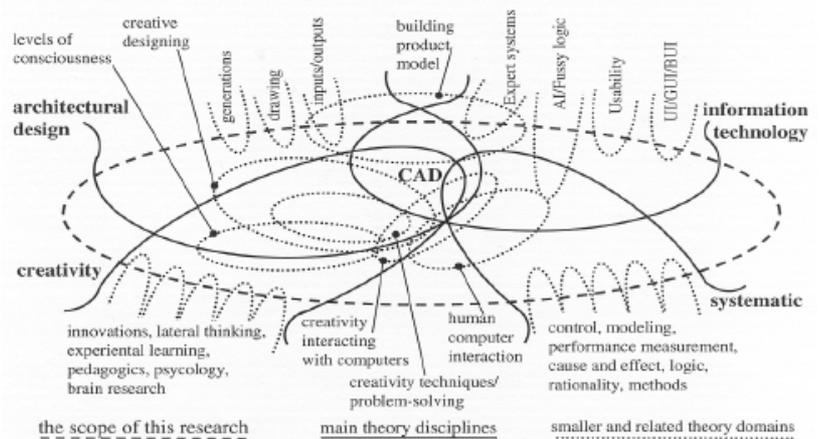


Abb. 5.52: Álvaro Siza, Borges & Irmão Bank, Portugal, 1978. oben: Die perfekte Zeichnung lässt keinen Spielraum für Emotionen, alles scheint schon unveränderbar fertig zu sein. unten: Die Skizzen laden den Betrachter zum Mitplanen ein.

Im Gegensatz zur Handskizze sind heutige CA(A)D-Systeme nicht für Entwurfsaufgaben „auf die Schnelle“ geeignet. „Denn mit CAD muß man genau wissen, was man machen will. Da kann man nicht mittendrin sagen: Ach, das gefällt mir jetzt nicht, jetzt mache ich was Neues. Das geht nicht.“ zitiert Bolte den Ingenieur B. Die Arbeitsweise mit dem CAD-System „hat auch Auswirkung auf die visuelle Wahrnehmung und das Vorstellungsvermögen. Das Zeichenbrett ist größer, man hat das ganze Blatt im Blick.“ Ein ganzer Plan, reduziert auf einen herkömmlichen Bildschirm, lässt keine Details mehr erkennen. Beim Hineinzoomen sind alle Details im beliebigen Maßstab zu betrachten, aber die Übersichtlichkeit geht verloren. [Bolte 1998, S. 368 f]

5.9.1 Handskizzen haben eine persönliche Note

Handskizzen weisen eine persönliche Note auf, die den jeweiligen Autor begeistern und in seiner Kreativität stimulieren kann. So weist Masaki Suwa¹³¹ auf die großen Unter-

¹³¹ Masaki Suwa ist Forscher am Advanced Research Laboratory der japanischen Firma Hitachi



Abb. 5.53: Eric Owen Moss:
„Green Umbrella“, Los Angeles.
„Die endgültige Form des
Glasdachs entstand unter
Verwendung zahlreicher
Computergrafiken. [Steele, S. 185,
<http://www.ericowenmoss.com>]

schiede zwischen visueller und abstrakter Repräsentation hin, wie sie sich in der Interpretation grafischer Objekte niederschlägt. Eine zusammen mit Psychologen an der Stanford University durchgeführte Untersuchung kam zu dem Schluss, dass Skizzen deshalb so produktiv sind, weil sie zugleich konzentriert und mehrdeutig sind. [Suwa et al. 1996, S. 73-96] CAAD-Systeme können (noch) nicht mit „Unschärfe“ umgehen. Selbst die heute gängigen CAAD-Systeme erwarten von Beginn an exakte Eingaben von allen Abmessungen, da unvollständige Datensätze nicht verarbeitet werden können. Der Computer ist nicht in der Lage zu bewerten. Er kann nicht erkennen, welches als die letztlich gewünschte Kontur gelten soll, die sich oft aus dem Mittel mehrerer Linien oder auch Bruchstücken von Linien zusammensetzt. Er weiß nicht, was welche einzelne Linie bedeuten soll. Diese Überlegenheit der rechten menschlichen Gehirnhemisphäre läuft diametral zur Arbeitsweise des Computers.

5.9.2 CAAD-Systeme zu kompliziert zu bedienen

CAAD-Systeme heutiger Generation lassen keinen Spielraum zum Träumen, vielmehr wird der Anwender (Entwerfer) immer wieder durch lästige, auferzwungene, oft auch komplizierte Befehle in seinem Gedankenfluss unterbrochen. Hsien-Hui Tang und John S. Gero [Gero 2001] haben nachgewiesen, dass ein trainierter Entwerfer im Durchschnitt 8 Sekunden benötigt, um von einer Aktion zur nächsten zu gelangen. [s. a. 5.10] Dabei behält er nur etwa sieben Vorgänge gleichzeitig im Kurzzeitgedächtnis; wenn der achte Anreiz einer Idee oder Aktion neu hinzukommt, muss der älteste Vorgang Platz machen, er wird „aus dem Speicher verdrängt“. Folglich ist es äußerst wichtig, Ideen schnell zu Papier/Computer zu bringen, damit Platz für neue Gedanken geschaffen wird.

Wird nun der begrenzte dynamische Gehirnspeicher (ca. sieben Aktionen) durch programmnotwendige Befehlsabläufe (Aktionen) besetzt anstatt durch die einzelnen Aktionen, die durch eine Entwurfsidee ausgelöst werden, verliert der Entwerfer den Faden und die Geduld und greift wieder zu Papier und Bleistift. – Seit Einführung des Computers in den Architekturbüros werden auch computer-generierte Bilder oder Modelle als Grundlage für weitere

Entwurfsarbeit (per Hand) genutzt. (s. Moss, Abb. 3.26; Piano, Abb. 8.35) Sichtbar wird, „mit Zeichnen hat man mehr Freiheiten“.

Hier zeigt sich das Dilemma, in dem sich alle heutigen CAAD-Programme befinden, die aktiv das kreative Entwerfen unterstützen wollen. Auch heutige Programme der Produktmodell-Generation sind hier nicht ausgenommen, obwohl sie das Potenzial besitzen, im Entwurfsprozess eingesetzt zu werden. Zukünftig wird der Rolle des User Interface eine Schlüsselstellung zukommen, die über die Akzeptanz von Programmen zur „aktiven Entwurfsunterstützung“ entscheidet.

5.10 Intuitives User Interface – Voraussetzung zum computerunterstützten Entwerfen

„Softwareergonomie ist in gleichem Maß Kunst, wie sie Ingenieurwissenschaft ist. Der ideale Systementwickler sollte nicht nur ein guter Informatiker, sondern auch ein guter Designer, Arbeitswissenschaftler, Psychologe und Physiologe sein.“ [Herczeg 1994]

Voraussetzung und Schlüssel zur Akzeptanz des CAAD-Systems durch den kreativen Anwender ist eine intuitive Bedieneroberflächen. Diese wiederum setzt Objekte, wie sie im GM verwendet werden, voraus. (s. dazu auch Kap. 8.8, Eine intuitive Bedieneroberfläche für Entwerfer)

5.10.1 Die 7-Memory-Regel, ausschlaggebend für alle weiteren Entwicklungen im CAAD für Entwerfer

Welche Bedeutung einem ausgefeilten, intuitiven User Interface zukommt, haben die Forschungsarbeiten von Tang und Gero gezeigt. Sie haben den unmittelbaren Entwurfsprozess analysiert und sind dabei auf unerwartete Ergebnisse gestoßen, die in Bezug auf das Kurzzeitgedächtnis und den Ablauf des kreativen Entwurfsprozesses entscheidende Rückschlüsse auf die Anforderungen an die Bedieneroberfläche eines entwurfsunterstützenden CAAD-Systems zulässt.

Hsien-Hui Tang und John S. Gero [Tang and Gero 2001] haben die Vorgänge des *cognitive process of design thinking* untersucht. In ihrer Studie zum Thema Cognition-based CAAD an der Universität in Sydney haben sie u. a. die Geschwindigkeit des Wechsels der Intentionen untersucht. Vier Vorgänge (actions) und deren Beziehungen untereinander werden als das Wesentliche des kognitiven Entwurfsgedankenprozesses ermittelt:

- Physical actions, die eine direkte Relevanz für die Darstellung der Zeichnung oder eine Überarbeitung der Gestalt beinhalten
- Perceptual actions, die sichtbar räumliche Merkmale aufweisen, mit oder ohne physical action
- Functional actions, die das Konzept der Darstellung abstrahieren oder Bezüge ergänzen
- Conceptual actions, die Funktionen oder vereinfachte Darstellungen verändern, während Ziele gefasst, Ästhetik überprüft und Entwurfskenntnisse erweitert werden

Während einer 45-minütigen Sitzung für einen Vorentwurf mit Papier und Bleistift benötigte ein Entwurfsexperte im Mittel 8 Sekunden, um von einer Aktion zur nächsten zu gelangen. Untrainierte benötigten dazu 20 Sekunden. Dieses Tempo war nicht erwartet worden. Beim Verwenden eines CAAD-Systems wird die Zeit schon benötigt, um ein Pulldown-Menü abzurollen, eine Funktion zu wählen und Parameter einzugeben. Dies allein macht deutlich, warum Entwerfer lieber bei Bleistift und Papier bleiben. Mit den vertrauten Skizzierfähigkeiten kann der Planer mit der Geschwindigkeit seiner Gedanken, Ideen und Kreativität mithalten. Dabei ist dieses Tempo nicht relevant für die Geschwindigkeit des Rechners, vielmehr ist selbst das neueste CAAD-System, bedingt durch unzulängliche Ergonomie der Oberflächen, nicht in der Lage, diese Effizienz in der Entwurfsphase zu unterstützen. Als Problem wird erkannt, dass das Interface zwischen Entwerfer und Maschine nicht intuitiv und einfach genug ist, um dem Gedankengang von Ideen folgen zu können. Das CAAD-System blockiert so die Entwicklung von Gedanken und Ideen. Das Ergebnis der Studie zeigt, dass zu viel Aufmerksamkeit und Zeit für die Bedienung der Software statt für den Entwurf geopfert werden. Im Falle von Kognition, ausgehend von der „magischen Anzahl Sieben“ für das Fassungsvermögen des Kurzzeitgedächtnisses (im Nachfolgenden mit 7-Memory-

Regel bezeichnet), bleibt dem Entwerfer nur sehr wenig Kapazität zur Nutzung von Hilfsmitteln übrig, will er das gleiche Tempo beibehalten. Folgerichtig kommt die Studie zu dem Schluss, dass ein kognitives CAAD-System eine sehr einfache und intuitive Bedienung benötigt.

Tang und Gero unterscheiden weiter zwischen drei verschiedenen Verfahrensweisen während des (Vor-)Entwurfs:

- Sensor-driven mode ist die Phase, wo der Entwerfer sich durch kleine, scheinbar willkürliche Kritzeleien stimuliert, um Ideen zu kreieren. In der Phase sind Linien oft mehrfach übereinander und nebeneinander, ungenau, eben unscharf.
- Concept-driven mode, hier werden konzeptionelle Aktionen getätigt, die immer auch eine tatsächliche Veränderung der Darstellung (des Entwurfs) herbeiführen. In dieser Phase hat der Entwerfer bereits genauere Absichten und zeigt Entschlossenheit. Es entstehen weitere Skizzen, um die eigenen Gedanken zu prüfen, die dann in das dargestellte Objekt übernommen und auf ihre Durchführbarkeit überprüft werden. Typisch hierfür ist auch die Vorgehensweise, große Ziele in kleine Aufgaben herunterzubrechen, um sie dann dem Ganzen zu integrieren.
- Hybrid mode ist ein Mix von beiden, Sensor- wie Concept-driven mode. Die Herangehensweise des Entwerfens lässt sich in zwei Vorgängen beschreiben, die Produktion einer Zeichnung und deren Interpretation. Beide Handlungen lassen sich nicht immer klar voneinander unterscheiden. Das wesentliche Merkmal ist die Rückkopplung von physical oder conceptual actions bis hin zu physical oder conceptual actions über perceptual und functional actions.

5.10.2 Beides, unscharfes Skizzieren und einfache Eingabeunterstützung für exaktes Zeichnen, ist erforderlich

Als Empfehlung für ein auf Recognition beruhendes entwurfsunterstützendes CAAD-System kommen Tang und Gero zu dem Schluss, dass ein solches System beides bereitstellen muss: unscharfes Zeichnen (Skizzieren) ebenso wie eine einfache grafische Eingabeunterstützung für exakte grafische Konturen. Beide Methoden müssen nebeneinander bzw. miteinander existieren. Skizzenhafte Veränderungen kommen in jedem Segment vor, sodass dieser Pro-

zess ein optischer Gedankenfindungsprozess und weniger ein reiner Informationsprozess ist.

Dazu sind Programme notwendig, die diese notwendigen Regeln kennen und computergerecht aufbereiten. Nicht zuletzt entscheidet die Eingabemethode (User Interface), wie der Anwender mit dem Computer kommuniziert und inwieweit der Anwender die Leistungsfähigkeit dieser Programme überhaupt ausnutzt.

5.10.3 Vergleich zu DTP in den 70er Jahren

Wenn der Architekt seine seit Jahrhunderten gewachsene Vorgehensweise beim Verfassen von Entwurfsskizzen auf den Computer umstellen soll, müssen CAAD-Computerprogramme grundsätzlich neu gestaltet werden. Vorbildlich wurde in den 1970er Jahren eine vergleichbare Umstellung von der Schreibmaschine auf den Computer umgesetzt, das Desktop Publishing (DTP), dessen Regeln auch auf die grafische Oberfläche heutiger Computersysteme wie Apple, Windows etc. angewendet werden. Die Ausgangssituation war durchaus mit der CAD-Situation von heute vergleichbar. Um auf einer Schreibmaschine schneller als von Hand zu schreiben, musste man geübt sein und der zu schreibende Text musste zuvor ausformuliert sein. Dabei galt die Schreibmaschine nicht als besonders kreativitätsfördernd. Man erkannte es zuerst bei Xerox, dass die Methode, über eine Kommandosprache mit Software zu kommunizieren, für „normale“ Büroangestellte unnatürlich und fremd ist und die Verbreitung des Computereinsatzes im Büro behindern würde. Xerox studierte in seinem PARC (Palo Alto Research Center) die typischen Elemente der Büroarbeit und setzte sie teils über direkte Entsprechungen (Schreibtisch, Dokumente, Ordner, Ablage, Ausschneiden, Kopieren, Einkleben, Verschieben, etc.), teils über nicht mehr als solche wahrgenommene Zwischenkonstrukte (Fenster, Menüs, Maus, Maustastenklicks) in die Benutzeroberfläche STAR um. Viebahn über die Entwicklung von DTP:

Die Tastatur diente fast nur noch zur (unvermeidlichen) Eingabe von Text. Die Manipulation von Textblöcken und Datenstrukturen dagegen geschah wie bei konventioneller Arbeitstechnik mit der Hand: Textbruchstücke, Bilder, Dokumente, Ordner, Programme, Werkzeuge, Schreibtischzubehör konnten mit dem Cursor auf dem Bildschirm z. B. aktiviert, bewegt, kopiert, abgelegt, umbenannt werden. Der Bild-

schirm stellte die Schreibtischoberfläche und der Cursor die Hand mit einigen ihrer Fähigkeiten (draufdrücken, greifen, festhalten, loslassen, zeigen, zusammenraffen etc.) dar. Die Maus war lediglich der ergonomische Manipulator für die Steuerung des Cursors.

Dieses Prinzip einer grafischen und intuitiven Oberfläche ermöglichte allen, die schriftlich etwas mitzuteilen hatten, den Inhalt (Text) und sogar die Form (Satz) ihres Textes in bis dahin ungeahnter Leichtigkeit und Schnelligkeit zu gestalten und zu ändern. Mit der Verbreitung dieses sogenannten Desktop Publishing wurde die Kreativität und Produktivität der ehemaligen Schreibmaschinenbenutzer erheblich gesteigert.

Strikte Intuitivität, Einheitlichkeit der Benutzeroberfläche und die Leichtigkeit der Bedienung erschlossen darüber hinaus zwei neue und große Anwendergruppen: Die Gruppe der gelegentlichen Anwender (Personen, deren Tätigkeiten so differenziert sind, dass nur Teiltätigkeiten von einem Computerprogramm erledigt oder unterstützt werden können) und die Gruppe der Mehrfachanwender (Personen, die abwechselnd mit verschiedenen Programmen (z. B. Textverarbeitung, Grafik, Tabellenkalkulation) arbeiten).

Schon nach 2 bis 3 Jahren reiften die Programme schon so, dass sie auf dem Bildschirm qualitativ und quantitativ mindestens das konnten, was in der Realität auch ohne sie schon möglich war – nur viel schneller. Eine weitere Steigerung des Nutzens bestand darin, dass sie Dinge konnten, die zwar in der Realität nicht, aber in der Vorstellung des Nutzers sinnvoll möglich sind, wie z. B. das Ungeschehen machen.

Dieser heute gültige De-facto-Standard für grafische Benutzeroberflächen wurde, wenn auch leider nicht immer ganz einheitlich, für CAD-Programme übernommen. [Viebahn, U. 1993, S. 6 ff]

Mit den einheitlichen intuitiven Bedieneroberflächen und den offensichtlichen Vorteilen von DTP gegenüber der eindimensionalen (nur in eine Richtung verlaufenden) Schreibweise auf der Schreibmaschine sind nicht nur Gestaltungsfreiheit, Kreativität und auch Rationalität entschieden gesteigert worden, sondern es ist darüber hinaus gelungen, selbst „Computermuffel“ von den Vorzügen des Rechners zu überzeugen.

Auch in den Architekturbüros nutzt der Entwurfsarchitekt den Computer, aber vorwiegend für DTP, weniger oder gar nicht zum direkten Entwerfen am Bildschirm. Für die gegenüber der textverarbeitenden Zunft vergleichsweise kleine Gruppe der CAD-Anwender hat sich bisher kein Unternehmen oder Interessenverband stark gemacht, um vergleichbare Richtlinien für intuitives Zeichnen am Computer zu finden. Offenbar unterscheidet sich CAD von Branche zu Branche zu sehr, was die potenziellen Kundengruppen noch mehr reduziert. Auch haben technische Probleme i. d. R. drei Dimensionen, was die Problemstellung zusätzlich vergrößert. Skepsis ist auch angebracht, wenn man

bedenkt, dass die USA als maßgeblicher Softwarelieferant sich bis heute nicht dem weltweiten metrischen Maßsystem anschließen konnten. Aber auch scheinbar triviale Unterschiede wie der Dezimalpunkt (0.00) bzw. das Dezimalkomma (0,00) bereiten nicht nur ergonomisch Probleme (Tastaturbelegung, Maßeingaben bei amerikanischer Software, Datenaustausch etc.), sondern wirken sich auch erschwerend auf die Softwareentwicklung aus (Kalkulationen).

5.11 Kritik am Status quo

5.11.1 Vom CA(A)D-Drafting zum abstrakten gedanklichen Objekt

Die 1:1-Übernahme des traditionellen Bauzeichnens auf den Computer mittels CAD-Systemen ist kaum weiter zu entwickeln. Dieses CAD hat eine fixe Geometrie mit Attributen (z. B. Linien + Attribute: Wand, Breite, Höhe, Material) etc. Es werden im Wesentlichen nur (dumme) Linien und Beschriftungen verwendet (Fax¹³²-Eigenschaften). Diese Daten sind nur schwer zu interpretieren und daher nur begrenzt zur weiteren Bearbeitung verwendbar. (vgl. DXF-Datenaustausch)

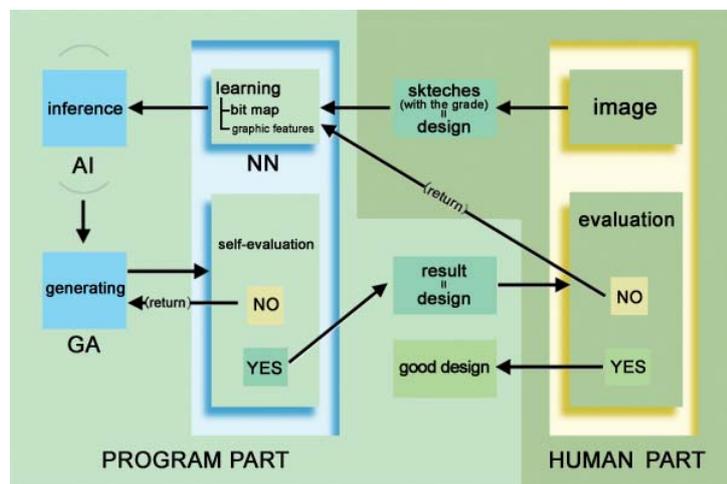
5.11.2 Shapegrammarsbasiertes CAAD

Diese Systeme (vgl. 5.3) verwenden bekannte (Entwurfs-)Muster und sind in der Lage, innerhalb dieser eigene Entwurfsaufgaben zu lösen. – Dieser beschrittene Weg führt zur Erleichterung von Routineaufgaben, löst aber nicht alle Probleme, da nur die Muster zur Verfügung stehen, die dem „Meister“, dessen Handschrift dem Programm mitgegeben wurde, bekannt waren. Selbst wenn man die Entwurfsgrammatiken aller „großen Meister“ hinterlegen würde, würde das Programm dennoch keinen neuartigen Entwurf zulassen. Solche computergenerierten „Entwürfe“ enthalten keine schlüssige Herleitung des Entwurfsergebnisses. Sie können aber den Entwurfsprozess erweitern und mannigfaltige Lösungsvorschläge verfolgen, während der Architekt

¹³² Fax ist die Verkürzung von Telefax, was wiederum eine Verkürzung von Telefaxsimile ist. [vgl. Wikipedia]

aus Zeit- und Kapazitätsmangel schon zu Beginn einer komplexen Aufgabe die Lösungspfade einschränkt. Durch die Fähigkeit des Computers, in kürzester Zeit viele Operationen durchführen zu können, kann er Lösungsvarianten „durchspielen“ und so die Entwurfstätigkeit des Entwerfers ergänzen. Dabei liegt die Schwäche solcher Generatoren, wie in Kapitel 4 ausführlich beschrieben, in der Wahrnehmung und damit der Bewertung „seiner“ Lösungsvorschläge. Hier muss der Mensch in den Rechenprozess eingreifen können, indem er seine Überlegenheit in kognitiven Denkprozessen nutzt. So ist die Interaktion durch ihn zwingend notwendig, um die Bewertungskriterien einzugrenzen und den Entwurfsprozess zu steuern. (s. Abb. 5.54 und Kap. 8.3.9, Shapegrammars am Beispiel von Wachstumsgeneratoren)

Abb. 5.54: Makoto Sei Watanabe:
The 4th Generation: The program
to meet „emotional“ conditions



5.11.3 Wissensbasierte CAAD-Systeme unterstützen den Planer

Diese inzwischen eingeführten Programme verwenden Modelldaten, erleichtern den Datenaustausch und unterstützen durch hinterlegtes Fachwissen den Architekten und Fachplaner. Dabei sind die Anforderungen der jeweiligen, oft fachspezifischen Anwendung entsprechend unterschiedlich und kaum untereinander vernetzt. Wünschenswert wäre eine Vernetzung des Fachwissens rund um die Entwurfsaufgabe und auch weiter über den gesamten Lebenszyklus der Immobilie hinaus.

5.12 Allgemeine Problemstellung der Softwareentwicklung für Architekten

5.12.1 Der Markt ist vergleichsweise klein

Die Architekten weltweit sind eine kleine Zahl, vergleicht man sie mit der Zahl der Anwender im Maschinenbau. Auch das Auf und Ab der Auftragslage macht es ihnen nicht leicht, in CAAD zu investieren und die Anlagen auf dem neuesten Stand (die Schulung der Mitarbeiter eingeschlossen) zu halten. Das betrifft vor allem kleinere und mittlere Bürogrößen. Oftmals sind es Rationalisierungsgründe oder auch der Zwang der Bauherrschaft, die zum Einsatz von CAAD führen.

Die heute am deutschen Markt etablierten CAAD-Systeme werden mehr oder weniger von allen im Bauwesen planenden Fachleuten gleichermaßen genutzt. Dabei handelt es sich meist um Insellösungen, d.h., andere Fachgebiete wie Heizung, Elektro, Sanitär usw. (TGA), aber auch FM und AVA, sind meist nicht integriert, sondern werden über Schnittstellen mit den entsprechenden Lösungen ausgetauscht, was wiederum zu Übertragungsfehlern, Datenverlust und unnötigen Redundanzen führt¹³³. Der Markt ist zu klein, als dass Softwareunternehmen es sich leisten könnten, auf eine der Zielgruppen zu verzichten, deshalb wachsen vorhandene Programme gemäß den Anforderungen der Anwender entsprechend der so genannten Bottom-Up-Strategie.

Aufsetzend auf den traditionellen Bauablauf und die dabei ausgeführten Tätigkeiten wird versucht, diese Tätigkeiten zu automatisieren. Das bedeutet, dass die herkömmliche Bauweise (Baukonstruktion), Fertigungstechnologie ebenso wie der Ablauf beibehalten werden. So erfolgt die Planung kleinerer Gebäude meistens mit 2D-CAD-Systemen. Selbst bei größeren Projekten, die mit 3D-Systemen geplant werden, werden in der Regel nur 2D-Zeichnungen erstellt, zwischen den Projektpartnern ausgetauscht und entsprechend ergänzt (Heizung, Elektro, Sanitär usw.). Zur Massen- und Kostenbestimmung oder zur FEM-Analyse wird unter Umständen mit 3D-CAAD-Systemen nachmodelliert. [vgl. Bretthauer et al. 2001]

¹³³ „Im Laufe der Planung bis zur Ausführung und Abrechnung wird heute jedes tragende Bauteil mindestens ein halbes Dutzend Mal in eine Datenverarbeitung eingegeben.“ [Junge]

Das bedeutet letztlich, dass sich die weitere Entwicklung der Software eher auf den potenten Baumarkt als auf die Entwurfsbelange der Architekten konzentrieren wird.

5.12.2 Architekten haben eine andere Problemstellung als Bauingenieure

Obwohl beide Gruppen Bauten planen, hat der Architekt andere Forderungen an die CAD-Software. Das liegt schwerpunktmäßig daran, dass der Architekt „entwirft“ und bis zum endgültigen Entwurf ständig gezwungen ist, seinen (Vor-)Entwurf zu verfeinern, zu überarbeiten, Varianten bereitzustellen usw. Für ihn ist es besonders vorteilhaft, wenn er zwischen verschiedenen Views, wie Grundriss, Ansicht, Schnitt, 3D-Modell usw., nicht nur hin- und herschalten, sondern auch in diesen Views arbeiten (Eingaben in das GM vornehmen) kann und sich diese redundanzfrei in allen Views wieder finden. Dabei helfen Abstraktionen in den Views (Stile, s. Kap. 8.2.1), sich auf das Wesentliche des entsprechenden Views zu konzentrieren.

Leicht handhabbare, Konsistenz bewahrende Änderungsdienste sind die größte Arbeitserleichterung des Architekten. Auf diese Dienste können Fachingenieure meist verzichten, da sie auf den abgeseigneten Entwurf des Architekten aufbauen und diesen durch ihre fachspezifischen Ausarbeitungen ergänzen. Das spiegelt sich auch in den Softwareangeboten wider. Je nach ursprünglicher Zielgruppe tendiert die Software mehr in die eine oder die andere Richtung. Ein allgemeines CAD, wie bspw. AutoCAD, braucht eine fachspezifische ergänzende Applikation (PALLADIO oder ADT-Aufsatz), die diese Änderungsdienste am Grundriss bzw. Modell möglich machen oder mindestens erleichtern. Der Bauingenieur kann darauf eher verzichten, er benötigt fachspezifische Ergänzungsprogramme (Finite Elemente, Verlegepläne etc.).

Obwohl CAAD heute, besonders wenn es bereits ein GM beinhaltet, eine Menge Änderungsdienste ermöglicht, scheint hier immer noch ein Defizit vorzuliegen. Ein Grund dafür, weshalb viele Planungsbüros CAAD erst mit Beginn der Baueingabe oder Werkplanung einsetzen, wenn alles feststeht und keine signifikanten Änderungen mehr zu

erwarten sind. Modelldaten, die ein leichtes Verändern des Modells erlauben würden, werden nicht genügend genutzt, weil zum einen die Eingabe zu aufwändig sei, zum anderen die Möglichkeiten der Modelle noch zu eingeschränkt seien. Erst der Nutzen schon in den frühen Entwurfsphasen kann das Ganze zum Positiven wenden.

5.13 Was heutige Anwendungsprogramme leisten bzw. nicht leisten

Was kann der Computer erkennen, was könnte er eindeutig interpretieren, wie weit kann der Programmierer Regeln mitgeben, wann muss der Anwender „helfend“ eingreifen, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen? (s. dazu auch die Ausführungen in Kap. 6, 7 und 8)

5.13.1 Kann ein Computerprogramm kreativ sein?

Je nachdem, wie man Kreativität definiert (vgl. 3.4), so Junge, kann ein Computer bis zu einem gewissen Grad durchaus auch kreativ sein, wenn bspw. Grundrissgeneratoren den optimalen Reihenhausgrundriss „entwerfen“ (Queen-Anne Houses) oder Küchenplanungen optimiert werden.

5.13.2 Entwurfsbedingte Iterationen

Iterationen, die den Entwurfsgedanken berücksichtigen, sind nicht möglich; hierzu wird ein Entwurfsmodul benötigt. Versuche dieser Art sind in Kap. 8.1 aufgeführt.

5.13.3 Komplexe Eingabeabläufe für einen simplen „Eingriff“

Die Verwendung von Objekten, seien es Bauteil- oder andere grafische Objekte, wie Beschriftungen, Schraffuren, Bemaßungen, Raster, Schnittführungslinien, kann zu einer verbesserten Bedieneroberfläche genutzt werden. Für die einfachen „primären“ Objekte, wie Linien, Kreise, Bögen usw., fehlen entwurfsunterstützende Hilfen weitestgehend.

5.13.4 CAD-Systeme arbeiten im 3D-Raum

CAD-Systeme legen ein 3D-Koordinatensystem in den Raum. Darin kann der Anwender komfortabel in *einer* Ebene (Fläche), bspw. X/Y, agieren, während die dritte Koordinate, i. d. R. die Z-Achse, nur mühsam unterstützt wird.

Der Anwender ist gezwungen, das Koordinatensystem in positiver Richtung in den Raum oder an das Objekt zu legen, um nicht auch noch mit negativen Zahlen operieren zu müssen. Der Entwurfsarchitekt tut sich besonders schwer, wenn er in einer 3D-Darstellung öfter hin- und herspringen muss. Gänzlich unhandlich wird es, wenn er mit räumlichen Linien oder mit konkaven oder konvexen Flächen operieren will.

Dem Anwender wird eine Vielzahl von programmtechnischen Eingaben abverlangt, die leicht die magische Grenze von sieben Aktionen überschreiten und damit von dem Entwurfsgedanken ablenken.

Die Fülle der Informationen auf dem Bildschirm ist bei 3D-Views besonders groß, weil während des Editierens keine verdeckten Linien ausgeblendet werden können. „Sichtkanten“ sollten sich deutlich von den „verdeckten Linien“ unterscheiden lassen. Die Informationsdichte sollte auf den augenblicklichen Bedarf abgestellt sein. Ein Hineinzoomen in ein Detail sollte automatisch (an der entsprechenden Stelle) wie mit einer Lupe nicht nur den Ausschnitt vergrößern, sondern auch detailliertere Informationen liefern.

5.13.5 Überführen unscharfer Freihandlinien zu exakten Geometrien

Der Umgang mit Unschärfe, bezogen auf die Repräsentation, ist ein generelles Problem für den Computer, da er nur exakte Daten einordnen kann. Es sollten Programme angeboten werden, die mit Unschärfe umgehen können, um auch Skizzen in den Entwurfsprozess einbinden zu können. Auch für die Präsentation von Computerzeichnungen im frühen Stadium des Entwurfs (Vorentwurf) fehlen unscharfe Wiedergaben aus dem GM. Da wegen seiner notwendig exakten Eingabe eine Computerzeichnung zu

perfekt ist, glaubt der Betrachter, dass alles schon unveränderbar fertig sei und keine Änderungen mehr anzu bringen sind. Dem Betrachter bleibt kein Raum für seine eigenen Fantasien. (vgl. Abb. 5.52)

5.14 Kritik am Status quo der CAAD-Systeme

- Ein CAAD, das nur Liniengrafik unterstützt, ist nicht weiter ausbaufähig.
- Ohne Einsatz des Anwenders von Objekten wie Wand, Decke, Stütze etc., wie sie in derzeitigen Gebäude-modellen verwendet werden, ist eine Steigerung des Nutzens durch den frühen Computereinsatz nicht erreichbar.
- Heutige CAAD-Systeme vermindern Motivation und vermindern so die Kreativität des Anwenders.
- UI heutiger CAAD-Systeme sind zum Skizzieren zu unflexibel.
- Ohne erheblich verbessertes UI wird Entwerfen mit dem Computer nicht möglich sein.
- Maus, Tastatur und Bildschirm erweisen sich als Schwachpunkt in der direkten Kommunikation zwischen der Hand und der am Bildschirm „gezeichneten“ Linie.
- Eine direkte Kommunikation zwischen Hand und Bewegung am Schirm findet nicht statt.
- Entwurfsintentionen, bspw. einem Strich durch Druck auf den Stift mehr Bedeutung zu geben, werden nicht unterstützt.
- Skribbeln, was aus dem unbewussten Denken resultieren kann und stimulierend auf den kreativen Denkprozess wirkt, ist nicht möglich.
- Die Konzentration auf die Bedienung des Computers lenkt vom eigentlichen Entwurfsvorgang ab.
- Auch wenn der Computereinsatz zu neuen Entwürfen führen kann, ist es letztlich doch das Werk des Architekten.

5.15 Was fehlt, um CAAD für die frühen Phasen attraktiv zu machen?

- Ein Entwurfsprozessmodell (wünschenswert, aber schwer erreichbar, da keine einheitlichen Prozesse ableitbar sind; jeder Entwerfer ist ein Individualist, hat seine eigenen Methoden)
- Ein um den Entwurfsprozess tangierende Objekte erweitertes GM
- Objekterkennung durch KI-Anwendung (Assistenten, Avatare)
- Qualitative Entwurfsunterstützung (entwurfsfördernde Unterstützung)
- Quantitative Entwurfsunterstützung (Routineaufgaben beim Entwerfen abnehmen)
- Die intuitive, exakte grafische Eingabe
- Ermöglichen unscharfer Eingaben (Skizzen)
- Beibehalten unscharfer Skizzen zusätzlich zur möglichen exakteren Darstellung

6 Anforderungen

Die Entwicklung der CAAD-Systeme hat eine neue Richtung eingeschlagen, die es weiterzuführen gilt. Hatte ein einfaches CAD-System eine fixe Geometrie mit Attributen (Linie + Attribute = Wand, Beton, Länge, Breite, Höhe etc.), so steht heute bei CAAD-Systemen das Entwurfsobjekt als abstraktes gedankliches Objekt (Objekt Wand = notwendige Geometrie + Attribute Beton, Länge, Breite, Höhe) im Fokus, das im Laufe des Projektes zunehmend verfeinert wird. Die abstrakten Entwurfsobjekte und ihre Beziehungen zueinander werden in EXPRESS¹³⁴ definiert im GM abgebildet.

Kommerzielle CAAD-Systeme gestatten heute den Umgang mit den Objekten, setzen aber von Beginn an exakte Daten voraus, sodass im Entwurfsstadium, solange die Unschärfe nicht zu groß ist, allenfalls bedingt nach der Bottom-Up-Methode verfahren werden kann. Ein Grund, warum in der Praxis CAAD meist erst bei der Eingabeplanung verwendet wird. Die Herausforderung an die Entwicklung künftiger CAAD-Systeme liegt daher in deren Eingabe und Umgang mit Unschärfe, damit u. a. auch Top-Down-Methoden angewandt werden können. Das künftige CAAD-System soll außer den (Bauteil-)Objekten auch entwurfsrelevante Zusammenhänge unterstützen.

In den frühen Entwurfsphasen wird mehr in räumlichen Bereichen und Vorgängen als mit physikalischen Bauteil-Objekten agiert. „Eine Modellierung muß daher zunächst bereichs- und vorgangsorientiert sein und sich dann allmählich im Laufe des Entwurfes in ein produktorientiertes Modell umwandeln lassen. Sie muß den Übergang von schwach strukturierten Daten zu Anfang des Entwurfes hin zu den stark strukturierten Daten zu seinem Ende schaffen.“ Außerdem muss der besonderen Charakteristik des Entwurfsprozesses entsprochen werden, die sich durch „häufi-

¹³⁴ EXPRESS Language wird als ISO-Standard unter ISO 10303-11 geführt und unter STEP entwickelt. This language has a lexical form that can be compiled by machines and a graphical form that can be understood by people.
[<http://www.steptools.com/projects/niip/> (2002)]

ges Zurücksetzen und Revidieren schon getroffener Entwurfsentscheidungen in beliebigen Ausschnittsbereichen des mehrdimensionalen Entwurfsraumes“ auszeichnet. [ArchE 1997]

Anmerkung: Um Wiederholungen zu vermeiden und ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind in diesem Kapitel Themenpunkte teilweise nur aufgezählt, ohne auf ihre Inhalte näher einzugehen. Erörterungen dazu wurden in vorhergehenden Kapiteln behandelt oder sind in den nachfolgenden Kapiteln exemplarisch enthalten.

6.1 Das Gebäudemodell (GM)

Ein Gebäudemodell, das alle Bauteile als Objekte kennt, ist die Voraussetzung jeder weiteren Entwicklung einer entwurfsunterstützenden Software. Das allein reicht aber nicht aus. Will man schon in den frühen Phasen mit dem Computer beginnen, muss das GM, auf dem das CAAD-System aufbaut, um zusätzliche Objekte erweitert werden, die während des Entwicklungsprozesses des Entwurfs von Bedeutung sind. Nur so kann auch der Entwurfsvorgang mit dem Computer unterstützt werden. (s. 6.4.3 und 6.5.2)

6.2 Das Entwurfsmodul

Eine Entwurfssoftware soll der Kreativität während des Entwurfsvorgangs dienlich sein. Dabei müssen Entwurfsmethoden zur Anwendung kommen können. [s. a. Schönwandt und Foerster] Voraussetzung dafür ist die Unterstützung folgender Möglichkeiten:

- Reformulierung der Problem-Lösungs-Beziehung durch den Entwerfer und des damit verbundenen Wissenstransfers;
- Beschreibung des Entwurfs als konstruktiver, zielgerichteter, interdependent kognitiver Entwicklungsprozess, in dessen Verlauf das Abstrakte durch unterschiedliche Abstraktionsebenen der Gedankenwelt des Entwerfers zum Realen vollzogen wird (Views);
- schrittweise Verfeinerung (Bestimmtheit) der Abstraktionsebenen (Views, Stile, Vorbelegungen);

- die drei sich vielfach überlagerndem Vorgehensweisen der Problem-Lösungs-Beziehungen: methodisch, heuristisch und kreativ (Arbeiten in allen Views gleichzeitig).

6.2.1 Erzeugung und Reduktion von Varietät

Varianten erstellen und Varianten reduzieren [Rittel 1970] kann durch das Mitführen eines Zeitattributs erreicht werden. – Es ergeben sich völlig neue Perspektiven, wenn CAAD-Systeme sich über Zeiträume unterschiedlicher Länge semantische Zusammenhänge von Aktionen des Anwenders in Verbindung mit seinem (Entwurfs-)Modell merken können. Auf diese Weise kann Kognition auch über die nächsten Tage/Wochen oder noch länger bewahrt werden, länger, als es das visuelle Gedächtnis des Entwerfers zulässt. Der Entwerfer vermag so jederzeit genaue Rückkopplung zu erfahren über „Was habe ich mir dabei gedacht, als ich *das* gemacht habe? Wie bin ich auf diese Idee gekommen?“

6.2.2 Views – die unterschiedlichen Abstraktionsgrade

Der Begriff *View* reflektiert die jeweils gewünschte Sicht (grafisch oder alphanumerisch) des jeweiligen Betrachters auf das Gebäudemodell. Durch die unterschiedlichen Abstraktionsgrade, wie sie bspw. durch die HOAI vorgegeben sind, können Views durch steigende Verfeinerung der Informationsinhalte für Vorentwurf, Entwurf, Baueingabe und Werkplanung vordefiniert werden. Views können 2D- oder 3D-Darstellungen beinhalten, sie können Isometrien oder Perspektiven darstellen oder auch nur Raumbücher füllen. Andere an der Planung beteiligte Fachingenieure haben wieder ihren eigenen View auf das GM. (s. a. 6.3.2) Views können auch schon in der Grundlagenermittlung (Raumprogramm) wirksam sein.

6.2.3 Stile – die persönliche Handschrift

Der Begriff *Stil* soll die grafische Darstellung eines Objektes in einem bestimmten View bezeichnen. Durch selbst definierbare Stile durch den Anwender kann die Individualität des Einzelnen oder eines ganzen Büros gewahrt werden.

Vorbelegungen sind auch für bestimmte wiederkehrende Bauteile sinnvoll, da sie Routinearbeit abnehmen und Fehler vermeiden helfen.

6.2.4 Die Vorgehensweisen beim Entwerfen

Die drei Vorgehensweisen – methodisch, heuristisch und kreativ – sollen durch beliebiges Hinundherschalten zwischen den einzelnen Views ermöglicht werden. Eine Änderung in einem View, die auf das GM wirkt, wirkt sich gleichzeitig auf alle Views aus. So sind auch die Entwurfsstrategien Top-Down und Bottom-Up möglich.

6.3 Anforderungen an die qualitative Entwurfsunterstützung

Qualitative Entwurfsunterstützung fördert die Kreativität und die Intuition des Entwerfers und soll zu einer besseren Architektur führen.

6.3.1 Unscharfe Eingaben

In den frühen Phasen des Entwurfs läuft alles auf die Objekterkennung und die Beziehung der Objekte zueinander hinaus, da diese nicht zwingend als (Bauteil-)Objekte im Sinne des GM eingegeben werden können. Die Objekterkennung ist der entscheidende Schritt im Verständnis dessen, was wir beschreiben, was wir sehen. Dabei sehe ich nur das, was ich auch kenne. Die Objekterkennung gibt uns die Grundlage zur Interpretation dessen, was wir als Sammlung von physikalischen Objekten sehen, die Aussage über die Eigenschaften dieser Objekte und über genaue Angaben der Beziehungen dieser Objekte zueinander. [Mitchell, W. J., 1990] Erst dann können die nachfolgenden Punkte auch erfüllt werden:

- Ein CAAD-System soll fehlerhafte und unvollständige Eingabedaten im Kontext erkennen, um so eine Handlung zu vollenden oder abzulehnen.
- Ein CAAD-System speichert oder hat Zugang zu Expertenwissen und stellt dieses in Entscheidungsprozessen zur Verfügung.

- Ein CAAD-System ist lernfähig, liefert auch bei unvorhergesehenen Eingaben brauchbare Ergebnisse.
- Ein CAAD-System liefert inhaltsunabhängige Strukturhilfen, u. a. Ermittlung und Bewerten von Handlungsalternativen, Festlegung und Gewichtung von Bewertungskriterien, und kontrolliert deren Erfüllung.

6.3.2 Unscharfe Darstellung

Besonders für die frühen Phasen des Entwurfs unterstützt eine unscharfe Darstellung die Kreativität des Entwerfers. [vgl. Jenny 1999] Will man wirklich am Computer entwerfen im Sinne von kreativen Skizzen (kreativer Kommunikation), dann muss diese persönliche Handschrift (Kommunikations-View) möglichst lange, nach Möglichkeit bis zum Abschluss der eigentlichen Entwurfsphase, erhalten bleiben. Parallel sind andere Views, etwa zur 3D-Visualisierung, aber auch der Bearbeitung in 3D notwendig. Schließlich ist der Kommunikations-View in einen maßstäblichen Entwurfs-View zu überführen.

Als Kommunikations-View ist der Sketch-View („künstlich“ als „Freihandzeichnung“ verfremdete CAD-Zeichnung, meist als Report erstellt) nur vorstellbar, wenn er das Original der persönlichen „Handschrift“ des Entwerfers trägt. Ein „künstlicher“ Sketch-View, der von einer präzisen Eingabe abgeleitet wird, mag für eine frühe Präsentation geeignet sein, dient aber nicht wirklich dem kreativen Entwurfsprozess des Entwerfers. – Nur die selbst mit dem Stift erfahrene Linie habe ich verinnerlicht und nur sie regt mich zu weiteren Aktionen (Gekritzeln) an, so Jenny. „Wer zeichnet, denkt und verlangsamt die Wahrnehmung zu Gunsten des anschaulichen Denkens; wer zeichnet, ist ganz bei sich selbst und geht aus sich heraus, wer zeichnet, wechselt die Augen aus (aber vielleicht auch die Ohren); wer zeichnet, formuliert eine Leere, die Raum lässt für einen Gedanken.“ [Jenny 1999]

Aus diesem originalen Kommunikations-View soll durch Überfahren mittels differenzierter Farben, Schraffuren, Rastern etc. ein für den Rechner exaktes, in sich maßstäbliches Modell entstehen, der Übergang zum Entwurfs-View.

6.3.3 Architekturregeln anbieten

Soweit sich Architekturregeln ableiten lassen, sollen diese zuschaltbar sein:

- Gestaltungsregeln
- Symmetrien
- Proportionen
- Gliederungen
- Raster
- Farbharmonien
- Lichtsimulationen

6.3.4 Arbeiten mit 3D-Grundkörpern

Positive und negative Körper können einander durchdringen (s. Sculptor¹³⁵, Abb. 6.1) und durch Bool'sche Operationen neue Körper bilden. Die Körper sollten das gesamte Spektrum der Platonischen Körper (vgl. Abb. 2.2) abbilden.

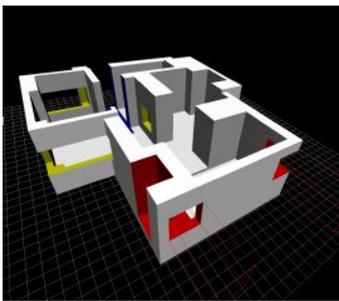


Abb. 6.1: Sculptor, ein „Interaktives Solids Modelling,“ von David Kurmann an der ETH entwickelt, arbeitet mit positiven und negativen Volumen, Sound-Agenten wurden später hinzugefügt, die bspw. in Realtime, während des virtuellen Durchschreitens der Räume, dem Anwender den Nachhall seiner Schritte akustisch vermitteln. Andere Eigenschaften des Programms sind Schwerkraft- und Kollisionsprüfungen.

6.3.5 Generatoren zur Entwurfsunterstützung

Entwurfsgeneratoren sollen Routinearbeiten abnehmen, aber auch Lösungsvarianten anbieten. Dabei soll der Entwerfer durch Interaktionen Filter setzen können, die den Lösungsraum eingrenzen, um den Entwurfsprozess im Gesamtkontext steuern zu können. Denkbare Generatoren sind:

- Wachstumsgeneratoren
- Grundrissoptimierer, Haustypen (Reihenhaus, Zwei-, Dreispänner ...)
- Küchenplaner (Loos, Abb. 5.3)
- Büroplaner

¹³⁵ http://www.arch.ethz.ch/~kurmann/sculptor/sculpt_talk/sculpt_t4.html

6.3.6 Gebäudeelemente (GE) aus Bauteilgruppen

Einzelne Bauteilobjekte können zu Gebäudeelementen zusammengefügt werden (Fassaden, Dächer, kleinere Anbauten wie Erker, Terrassen, Veranden). Durch zugewiesene Regeln können diese GE auch für andere Objekte genutzt werden.

6.4 Anforderungen an die quantitative Entwurfsunterstützung

Semantische Gebäudemodelle können das Entwerfen erleichtern, wenn sie quantitative Vorgänge anbieten, durch die der Architekt seine Gedanken beschleunigt umsetzen kann. Dabei muss für den Anwender/Entwerfer auch bei Teilaufgaben der erkennbare Nutzen den Aufwand bei der Eingabe überwiegen.

Als besonders wichtig in diesem Zusammenhang ist das geschossübergreifende Arbeiten zu sehen. Der Anwender muss vom Gesamtkörper bzw. der Fassade auf den Grundriss springen können und umgekehrt, statt in einzelnen Grundrissen (meist auch einzelnen Dateien) zu agieren.

Die quantitativen Anforderungen sind u. a.:

- (1) Arbeiten im Ganzen ermöglichen
- (2) Wissen über Randbedingungen bereitstellen
- (3) Sekundäre Planungshilfen als Objekte im GM integrieren
- (4) Routineaufgaben in der Planung abnehmen
- (5) Prüfung der Konzepte anhand der Anforderungen
- (6) Vernetzung mit anderen Programmen

6.4.1 Arbeiten im Ganzen ermöglichen

Der Entwerfer muss wechselseitig top-down wie auch bottom-up agieren können. Dazu gehören:

- Geschossübergreifend/Gebäudeteil/Gebäude/Standort
- Gestalten im Volumen zulassen (Zupfen, Stauchen, Amorphing)
- Verzerrungen im 3D-Raum ermöglichen

6.4.2 Wissen über Randbedingungen bereitstellen

- Abstandsflächen, Verkehrsflächen, Baulinien, Beschattungen, Verkehrserschließung etc.
- Vorgaben des Bauherrn quantitativ aufbereiten, Raumprogramm
- Regeln der Normen, Bauordnungen etc. bereitstellen und ggf. prüfen (Plan-Checker)
- Allgemeine Entwurfsregeln vorhalten und checken (Mindestbreite eines Badezimmers zum Einbau einer normalen Badewanne, oder: „stimmt“ die Aufschlagrichtung der Tür?)
- In extremen Situationen statische Auswirkungen überprüfen (ist die verbleibende Sturzhöhe ausreichend oder muss mit einer Sonderkonstruktion gerechnet werden?)

6.4.3 Sekundäre Planungshilfen als Objekte im GM integrieren

Zur Manipulation der Entwurfsobjekte während des Entwicklungsprozesses von der abstrakten zur realen Abstraktionsebene sind nachfolgende Objekte im GM zu integrieren oder durch das Entwurfsmodul abzudecken:

- Raster
- Bemaßung
- Raumstempel
- Beschriftung
- Schnittlinien (-führungen)

6.4.4 Routineaufgaben in der Planung abnehmen

- Views bereitstellen (2D/3D, Renderings, Planlisten etc.)
- Eigene Stile zu den einzelnen Views ermöglichen
- Vorbelegungen von immer wiederkehrenden Dimensionen und Größen zulassen
- Allgemeine Entwurfsregeln durch den Anwender festlegen lassen (Türanschläge min. 12,5 cm)
- Den so genannten Designintent, bspw. ein Fenster mittig auf die Wand (vom Raum aus gesehen und nicht auf die gesamte Wandlänge bezogen) zu platzieren

- Generatoren zuschalten, die Routinearbeiten abnehmen bzw. eine größere Anzahl Varianten durchspielen, als der Mensch es könnte (s. a. 6.3.5)

6.4.5 Prüfung der Konzepte anhand der Anforderungen

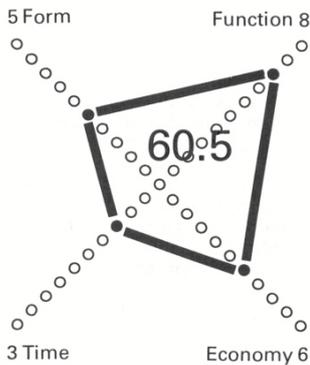


Abb. 6.2: Grafische Qualitätskontrolle durch Ermittlung eines „Quality Quotient“

Zwischen Funktion, Form, Economy und Zeit wird nach einer festgelegten Bewertung von 1 (völlig verfehlt) bis 10 (perfekt) der „Quality Quotient“ ausbalanciert. Die sich errechnende Fläche wird wiederum in einer 7-stufigen Ratingskala von bspw. 0-49 (nicht akzeptabel) bis 200 (perfekt) eingeordnet. [Peña 1987, S. 188] (vgl. auch 5.5)

- Flächen, Funktionen, besondere an den Entwurf gestellte Anforderungen (Himmelrichtung, Aussicht, Akustik etc.)
- Kosten, Einfluss auf die Entwurflösung (Material, Konstruktion, Form)
- Qualität (Abb. 6.2)
- Realisierungszeit

6.4.6 Vernetzung mit anderen Programmen

Die existierenden Modelle der Fachplaner sind einzubeziehen. So können Simulationen frühzeitig den Entwurf beeinflussen (Besonnung, Belichtung, Beleuchtung, Akustik, Statik etc.)

6.5 Anforderungen an die Benutzerschnittstelle (UI)

Die Akzeptanz eines CAAD-Systems durch den entwerfenden Architekten wird entscheidend vom UI bestimmt. Dabei ist zwischen der eigentlichen Benutzeroberfläche (der Software) und dem Eingabemedium (der Hardware) zu unterscheiden.



Abb. 6.3: Erik Liebermann, ...ein Bild sagt mehr als tausend Worte (d. A.)

Architekten sind es gewohnt, ihre Ideen mit Bleistift zu Papier zu bringen. Der einfache Umgang mit den Hilfsmitteln ist zur Routine geworden und lässt ihren Gedanken ungehindert freien Lauf. Diese Technik wünschen sie auf den Computer zu übertragen, um dessen inzwischen unbestrittenen Vorteile zu nutzen. „Man müsste mit dem Füllhalter auf den Bildschirm zeichnen können“, so Prof. Gernot Nalbachs überspitzte Forderung an die Softwareentwickler (Abb. 6.3). Auch wenn ein CAAD-System so nie zu bedienen sein wird, wird doch klar, dass das Hauptaugenmerk auf dem Entwurfsgedanken und nicht auf der

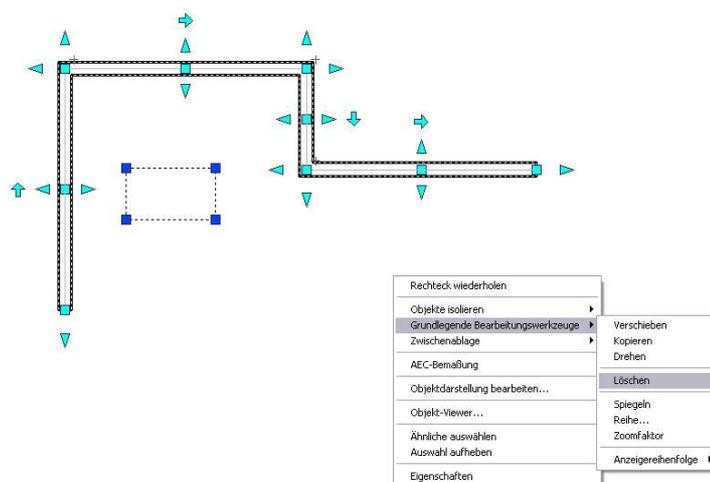
Bedienung einer Software liegt. Ein CAAD-System muss daher leicht erlernbar und bedienbar sein, um intuitiv verwendet werden zu können.

Die Bedieneroberfläche ist das Kommunikationsmittel zwischen Mensch und Maschine, wobei mit Mensch der Anwender und mit Maschine die verwendeten Computerprogramme gemeint sind, die wiederum von Menschen erdacht wurden. So gesehen, ist die Anwenderoberfläche eigentlich ein Kommunikationsmittel von Mensch zu Mensch – nur mit technischen Mitteln. Während im direkten Gespräch, wenn selbst die Sprache versagt, Augenkontakt, Gestik, Stimme und Berührung eingesetzt werden können, wird der Computer in erster Linie über Text, Bild und Reaktion auf bestimmte Eingaben seine Botschaften übermitteln. Akustische Signale oder gar akustische Dialoge sind eher die Seltenheit. Die Dialogsprache, Anordnung der Menüs, Farbe und Layout geben Signale, die von Augen und Gehirn der Benutzer empfangen, verstanden und behalten werden sollen. Das funktioniert nur, wenn die Gesetze der menschlichen Wahrnehmung beachtet werden.

6.5.1 Die intuitive Bedieneroberfläche

Ein mächtiges CAAD-System, das dem Entwerfer frühzeitig Unterstützung bietet, wird nur Erfolg haben können, wenn eine intuitive Benutzerschnittstelle implementiert ist. Eingaben müssen intuitiv, mit extrem kurzer Reaktionszeit und für

Abb. 6.4: Während so genannte „Griffpunkte“ das Editieren enorm erleichtern, können die einfachsten Operationen den Anwender zum Verzweifeln bringen; um diese getroffene Auswahl an Objekten zu löschen muss der (ungeübte) Anwender mehrfach klicken, im Kontextmenü Untermenüs finden, auswählen und bestätigen. Erst der „geübte“ Anwender weiß, dass er mit der „Entf“ (ernen)-Taste schneller zum Ziel kommt. Bei anderen Editieroptionen muss der umständliche Weg über kaskadierende Untermenüs gegangen werden, solange die „Griffpunkte“ nicht zielführend sind.



den Entwerfer nachvollziehbar verfügbar sein (7-Memory-Regel). Sie müssen in sich logisch sein und sich bei allen Operationen gleich verhalten. Jede vermeidbare Eingabe durch den Anwender ist wegzulassen, seien es auch nur Bestätigungen durch die „Eingabetaste“ (Return), erst recht das Aufrufen und Scrollen durch womöglich noch kaskadierende Bildschirmmenüs. Die wichtigen Editierbefehle (Schieben, Kopieren, Spiegeln, Versetzen, Löschen etc., Abb. 6.6) dürfen nicht in tiefen Befehlsstrukturen verborgen werden, sondern müssen für den Anwender jederzeit direkt anwählbar sein. (Abb. 6.4)

Software-Ergonomie erhebt höhere Anforderungen als etwa die klassische Hardware-Ergonomie.

Sieben Merksätze [Moelle 1998] (unveröffentlicht):

- Der Schwerpunkt im Fach Human Factors verlagert sich von Technik und Medizin zur Wissenschaft und Kognition. Es gibt nicht mehr nur eine richtige Lösung. Schon im Entwurf werden in bedeutend höherem Maße schöpferische Leistungen und Designqualitäten verlangt.
- Kenntnisse der Informatik allein befähigen nicht zur Gestaltung guter Software. Für die Gestaltung guter Software sind technische Kenntnisse der Informatik eher hinderlich. Das Wissen, was nach dem Stand der Technik realisierbar sein könnte, reicht aus. Wichtiger sind Informationen über den voraussichtlichen Benutzer und seine kognitive Welt sowie Kenntnisse über die Aufgabe, die Werkzeuge und das Umfeld, in dem die Arbeit ausgeführt wird.
- Die Unterschiede zwischen grafischer Windows-Oberfläche und klassischer kommandoorientierter DOS-Oberfläche sind gering. Der Menüablauf, die Zerstückelung von Arbeitseinheiten, unterscheidet sich in beiden Welten nicht prinzipiell. Deshalb verschwindet der Vorteil der anschaulichen, grafischen Oberfläche mit zunehmender Kenntnis der Benutzer.
- Der naive Benutzer arbeitet auf ein Ziel hin. Jeder Schritt, der nicht in natürlicher Weise zu diesem Ziel führt, bedeutet im Ablauf der Aktionen des Benutzers einen hinderlichen Umweg, der den Fluss der Gedanken oder der Arbeit behindert. Die vom Programmierer vorgesehenen Teilziele müssen im Allgemeinen gelernt werden. Technikbedingte Ziele entsprechen nur selten den Teilzielen des Benutzers.



Abb. 6.5: Dieser „virtuelle Arbeitsplatz“ zeigt die üblichen Aktivitäten eines „Büromanagers“ in Form von Ikonen der realen Welt auf seinem Bildschirm an. Klicken auf das entsprechende Symbol startet das interne Programm, ohne dass der Anwender tief in Menü-Strukturen abtauchen muss. [Symantec, Just Connect, 1997]

- Bei der Gestaltung und dem Aufbau von Masken sind kognitive Gestaltungsprinzipien zu beachten. Die Aufnahmefähigkeit des visuellen Systems ist beschränkt. Die spezielle Art der Informationsverarbeitung mit einer Auflösung von Sehobjekten in Merkmale verschiedener Dimension (zum Beispiel Form und Farbe) für die Informationsaufnahme, aus denen mit erlernten Strategien ein internes Bild der Wahrnehmung der objektiven Außenwelt aufgebaut wird, führt dazu, dass der Mensch in der Flut visueller Informationen auf einem üblichen Bildschirm auf Navigationshilfen angewiesen ist.
- Metaphern erleichtern die Navigation in Softwaresystemen. Metaphern sind Bilder aus der gewohnten Umwelt des Benutzers. Sie stehen z. B. für gewohnte Arbeitsabläufe mit einer gewohnten, d. h. erlernten, Abfolge von Teilzielen auf dem Weg zum Gesamtziel. Die Verwendung von Metaphern gewährleistet eine stereotypische Handlungsabfolge in der Software und mindert Probleme bei der Informationsvermittlung über die Funktion eines Programms.
- Bei der Beurteilung der ergonomischen Qualität von Software ist die Zahl der Funktionen von geringerer Bedeutung als die kritische Betrachtung des Spannungsfeldes Funktionalität - Attraktivität - Individualisierbarkeit. Studien zeigen, dass in der Mehrzahl der Fälle nur ein Bruchteil der in einem Softwarepaket zur Verfügung stehenden Funktionen auch tatsächlich eingesetzt wird. Eine Reduktion der Handlungsmöglichkeiten steigert deshalb in der Mehrzahl der Fälle die Handlungsfähigkeit des Benutzers.

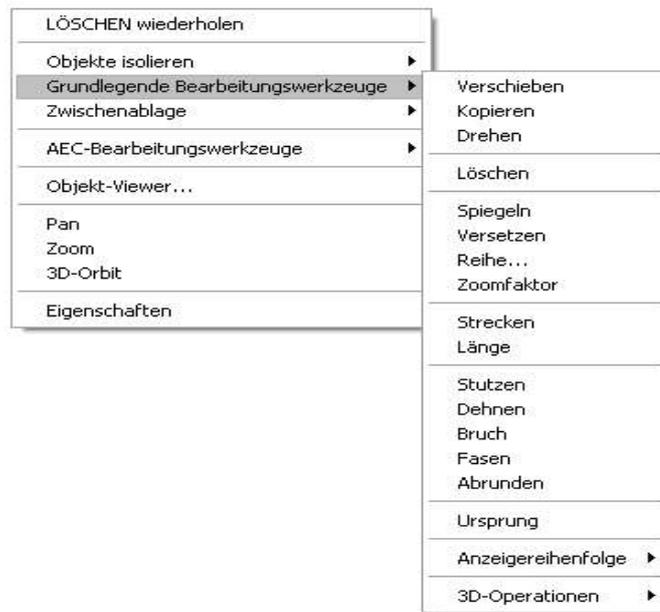


Abb. 6.6: übliche Editierfunktionen der CAAD-Software „ADT 2005“ von Autodesk

6.5.2 Automatismen, die eine intuitive Benutzung der Software zulassen

Eine intuitive Kommunikation mit dem Computer setzt voraus, dass alle in diesem Fall in der Entwurfswelt vorkommenden „Dinge“ als Objekte dem Computer bekannt sind, also über die Definitionen eines Gebäudemodells hinausgehen. Dabei können diese Objekte je nach Fachdisziplin unterschiedlicher Natur sein.

Jede vom Entwerfer gezeichnete Linie wird von ihm als Teil eines Objekts (Grenzkante, Fuge, Wand, Glastrennwand, Raster usw.) interpretiert. Das verschafft ihm die nötige Geschwindigkeit, in seinem Entwurfsgedankenprozess zu verbleiben. Dem Rechner fehlen diese entscheidenden Informationen, um ein Modell aufbauen zu können. Erst dann wäre er in der Lage, Automatismen vornehmen zu können. Daher ist es notwendig, Gedanken, die sich der Anwender während der grafischen Eingabe macht, möglichst einfach dem Programm zu übermitteln. Dazu können neben primären Objektdaten (Wand, Öffnung, Treppe) auch semantische Zusammenhänge (Gebäudegruppe, Gebäudeteil, Bauteil A, B ...) oder auch rein grafische „Anmerkungen“ (Skizzen), die eine besondere Eigenschaft wiedergeben, (Besonnung, Schall, Aussicht, Platzbildung) gehören. Je

mehr Gedankengut des Entwerfers als Information übermittelt wird, umso mehr kann ein Entwurfsmodul den Entwurfsakt durch gezielte „Ansprache“ der einzelnen Objekte unterstützen. Voraussehbare Kommandos sind dem Anwender abzunehmen. Dabei ist strikt darauf zu achten, dass keine Automatismen passieren, die der Anwender nicht überschauen kann. Er muss sich immer als Herr seines Handelns wiederfinden.

6.5.3 Ein intuitives CAAD

Ein intuitiv zu bedienendes CAAD-System nutzt die Kenntnisse über das GM. Wiederholungen des gleichen Befehls (Endlosschleifen), solange bis der Anwender den Befehl abbricht, sind nur bei Grundgeometrien wie Linien akzeptabel, da das Programm nicht wissen kann, wie viele Linien man in einem (Polygon-)Zug zeichnen will. Anders verhält es sich bei Linien, die eine Wand im GM repräsentieren. Hier kann das CAAD wissen, dass es, wenn eine Wand auf eine andere stößt, zum Abschluss der Wand und deren Befehlssequenz kommt. Der Befehl „Wand“ bleibt zwar in der Schleife, aber anders als bei der „Linie“, wo das nächste Liniensegment immer am vorherigen Endpunkt angeknüpft wird, wird die nächste Wand im vorliegenden Fall nicht eine Fortsetzung vom letzten Endpunkt erfahren, sondern einen neuen ersten Anfangspunkt vom Anwender verlangen. Ein intuitives CAAD erkennt z. B. das zu editierende Objekt (Primitive) in der Datenbank selbstständig, egal ob es die Linie (Polylinie, 2D-Linie, 3D-Linie oder Radial-Linie) eines geschlossenen Kreises, eines Bogens, einer Sehne oder einer Geraden ist. Erst recht, wenn es sich um ein Bauteil (Wand) handelt, wählt das System intern automatisch die notwendige(n) Aktion(en) aus, um dem Benutzer das Editieren ohne komplizierte Aktionen zu ermöglichen. Hier kommen die Vorzüge des GM voll zum Tragen.

Beispiele:

- Wand anschließen durch ungefähres Antippen der Anschlusswand
- Wand kopieren innerhalb zweier Zwischenwände = automatisch Anschluss der Begrenzungswände oder außerhalb eines umschlossenen Raumes = Größe beibehalten

- Fenster/Tür kopieren in andere Wand, egal ob gerade oder rund, nur nicht außerhalb einer Wand möglich.

6.5.4 Editieren

Das Editieren, Eingeben bzw. Ändern von bereits vorhandenen Objekten während der Entwurfsphase ist eine der häufigsten Tätigkeiten des Entwerfers. Dies muss am gesamten Baukörper, unabhängig von der geometrischen X-, Y- oder Z-Achse, für den Anwender gleichermaßen möglich sein. Das heißt bspw., dass Maße immer einen positiven Wert haben, gleichgültig ob man sie in Richtung oder in Gegenrichtung einer Achse anmisst.

Koordinatensysteme legen sich automatisch in die Fläche des zu editierenden Objektes.

6.6 Hardware

6.6.1 Benutzerschnittstelle aus Hardwaresicht

Die Steuerung eines Computersystems oder Programms wird i. d. R. am Bildschirm verfolgt, doch bei den Eingabemedien, vergleichbar mit den Sinnesorganen des Menschen, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten. So sind neben Tastatur und Maus auch Tablett mit Stift oder Lupe, aber auch andere Messinstrumente wie (3D-)Scanner oder auch Fotoauswertungen denkbar. Gerade im grafischen Bereich, ob Foto, Bildverarbeitung oder CAD, ist bspw. ein Stift das geeignetere Instrument zur Eingabe und Manipulation von grafischen Daten, da der Stift auch direkt auf dem Bildschirm (Touchscreen) angewendet werden kann, wodurch eine direktere Wahrnehmung ermöglicht wird. Auch das Mittel der Spracheingabe gehört mit zur Benutzerschnittstelle. Die Möglichkeit, die Bewegung der Augen als Steuerung zu verwenden, sollte nicht ausgeschlossen werden. (Tests, um die Aufmerksamkeit des Autofahrers zu überprüfen.)

6.6.2 Direkt beschreibbare Bildschirme

Bildschirme, die gleichzeitig auch als Eingabefläche fungieren (Tablett-PC). Mit einem Stift kann direkt auf dem Schirm gearbeitet werden. Dabei kann der Stift sowohl zur Steuerung des Programms als auch direkt zum Zeichnen verwendet werden. Außerdem kann man mit den Fingern direkt den Cursor bewegen, und auch die Standardfunktionen Zoomen und Pannen erfolgen ähnlich dem Touchpad eines Notebooks (Wacom, Nemetschek Dboard, Info-board Fraunhofer-Gesellschaft). Handelsübliche Tablett-PCs sind von der Technik her geeignet, für den Einsatz im Entwurf muss aber ein weit größeres Display zur Verfügung stehen.

6.6.3 Spracheingabe zur Kommunikation mit dem Computer

Der Dialog mit dem Computer soll per Sprachein- und -ausgabe erleichtert werden. Auf diese Weise können Kommandos schneller und leichter erfolgen, aber auch entwurfsbedingte Informationen dem Computersystem mitgegeben werden. Der Computer kann bei Fehleingaben akustisch verbal in ganzen Sätzen mit dem Anwender kommunizieren, anstatt nur, wie heute üblich, ein akustisches Fehlersignal auszugeben. (Brauche Bauherrn!) Dazu bieten sich drahtlose Headsets an.

6.6.4 2D-Scanner

Texte, Fotos, Handskizzen, Lagepläne (soweit sie nicht digital verfügbar sind) können eingescannt und ggf. auch digital (in Vektoren, Texte und Symbolen) aufbereitet werden.

6.6.5 3D-Scanner

3D-Scanner können vorhandene Modelle in ein entsprechendes digitales Abbild im Computer überführen. Bauen im Bestand, Um- und Anbauten können so leicht unterstützt werden.

6.6.6 3D-Plotter

3D-Plotter erzeugen ein 3D-Modell des Entwurfs im beliebigen Maßstab zur besseren Beurteilung, zur Präsentation vor einem größeren Publikum oder zum Einpassen in ein vorhandenes Umgebungsmodell. Auch Teile des Entwurfs lassen sich besser „begreifen“. Bspw. können verschiedene Fassadenvarianten an einem bestehenden Modell beurteilt werden.

6.7 Fazit

- Die Methode Trial and Error ermöglichen.
- Das Programm muss möglichst weit vorausahnen, was der Anwender bewirken will.
- Die primären Objekte, wie Linien, Kreise, Konturen, Vielecke, geschlossene Polygonzüge etc., müssen intern die notwendige Struktur erhalten, sie müssen hin und her mutieren können, so wie es die Operation des Eingebenden erfordert.
- Die dritte Dimension muss jederzeit zuschaltbar sein (3D-View).
- Veränderungen an der Skizze durch den Anwender können rechnerinterne Veränderungen der Primitiven erfordern (Kreis aufgebrochen = Bogen; Linie verbogen = Bogen; Bogen verkrümmt = Polygonzug, Spline etc.; umgekehrt kann ein Bogen zur Linie „verbogen“ werden, wobei ein „Snap-Magnetismus“ den Bogen mit Radius unendlich = Gerade zulässt und einschnappt).
- Um Redundanzen auszuschließen, muss in einem Modell gearbeitet werden. Ansichten, Grundrisse, Schnitte etc. sind Views auf das Modell und keine getrennten Dateien.
- Verschiedene Views müssen nebeneinander sichtbar und veränderbar sein.
- Eine „zweidimensionale“ perspektivische oder isometrische Skizze soll mit wenigen Eingaben (Fluchtpunkte) in ein echtes dreidimensionales Modell umgewandelt werden können.
- 3D-Scanner ermöglichen den Übergang von physischen 3D-Körpern zu virtuellen 3D-Geometrien im Computer.
- 3D-Plotter erstellen dreidimensionale Modelle des Entwurfs als Massenmodell, als Entwurfsmodell in beliebigen Maßstäben, als Detail einer Fassade o. Ä.

7 Chancen künftiger CAAD-Systeme

Entwerfen am Computer, beginnend mit der ersten Skizze, ist zum heutigen Zeitpunkt nicht sehr aussichtsreich. Zwischen unmaßstäblicher Skizze (M:1: SCHÖN) und deren Überführung in ein (notwendiges) maßstäbliches 3D-Gebäudemodell (GM) entstehen zu viele (noch) unlösbare Konflikte. Bisherige wissenschaftliche Versuche, die gewohnte Arbeitsweise auf den Computer 1:1 zu übertragen, wurden bisher nicht für die Praxis übernommen. (VR Sketchpad¹³⁶, EsQUiSE¹³⁷)

Dabei kann mit Unterstützung des Computers im Entwurfsprozess großer Nutzen generiert werden. Die Herangehensweise an eine Entwurfsaufgabe wird sich dabei von der überlieferten Papierform radikal unterscheiden. So wie sich die Arbeitsmethoden mit Tusche und Ziehfeder durch die Einführung von industriell produziertem, billigem Transparentpapier¹³⁸ änderten, auf dem man bequem mit nahezu beliebig oft radierbarem Graphitstift zeichnen konnte, wird sich durch Einsatz des Computers die Arbeitsweise ändern. Gestaltungsgrundsätze (vgl. Kap. 5), bestimmte Architekturregeln (Stile), Materialien, Konstruktionsgrundsatzdetails, Regeldetails [vgl. Neufert], um nur einige Beispiele einer Entwurfsaufgabe zu nennen, könnten vordefiniert werden und den Entwerfer von Beginn an unterstützen.

Das Mitführen der Entwurfshistorie in einem Entwurfsmodul wird die Akzeptanz bei Architekten steigern, da dadurch die Unterstützung des iterativen Entwurfsprozesses möglich wird. Zudem kann die Benutzeroberfläche intuitiver gestal-

¹³⁶ VR Sketchpad „is a pen-based computing environment for inputting and locating 3D objects in a virtual world“. [Ellen Yi-Luen Do 2001, S. 161 ff]

¹³⁷ EsQUiSE „is a geometrical interpreter of descriptive architectural sketches.“ [Leclercq 2001]

¹³⁸ Als man plötzlich auf scheinbar unendlich vielem, industriell produziertem (Transparent)papier mit bequem radierbarem Graphitstift zeichnen konnte, anstatt mit Ziehfeder auf teurem Pergament etc., setzte ein Wandel in der Entwurfspraxis ein: Ausprobieren, Verwerfen und Wegwerfen war die neue Methode. Aber auch das Überarbeiten vorhandener Strukturen durch Auflegen eines neuen Transparentpapiers führte zu neuen Entwurfsmöglichkeiten.

tet sein und so helfen, den eigentlichen Entwurfsgedankenfluss aufrechtzuerhalten.

7.1 Ansätze zu Alternativen

Eine künftige Generation von CAAD-Systemen vereint die Vorteile der Vorgängergenerationen und liefert zusätzlich auch für die frühen Phasen des Entwurfs tatkräftige Unterstützung. Dabei wird man die Stärken des Computers nutzen, ohne die Überlegenheit des Menschen gegenüber dem Rechner zu vernachlässigen. Das bedeutet, die Schwachstelle, das menschliche Gedächtnis, durch quasi uneingeschränkte Ausbaufähigkeit des Computermemories zu verbessern. Auch Routinearbeiten, bspw. schneller eine größere Anzahl von Varianten durchzuspielen (Case-based Reasoning), können vermehrt dem Computer überlassen werden, wohingegen bei der optischen Bewertung der Mensch seine Überlegenheit ausspielen wird. Ebenso ist die Intuition des Menschen den Möglichkeiten selbst eines Computerexpertensystems haushoch überlegen, da das Computersystem nur aus dem hinterlegten Expertenwissen schöpfen kann und bei der Wahrnehmung und Interpretation in Zusammenhang von Gestalttheorie größte Schwierigkeiten hat. Dennoch kann die Intuition des Menschen durch vom Computer erzeugte Strukturen zusätzlich angeregt werden.

Heute ist vorwiegend noch das Denken in Zeichnungen mittels einfachem CAD (Drafting), bei dem fixe Geometrien bestenfalls mit Attributen versehen sind, vorherrschend, doch wird hier ein Umdenken stattfinden. Entwurfsunterstützung beginnt dort, wo Regeln des Entwerfens übernommen werden. Dazu steht künftig das Entwurfsobjekt als GM im Zentrum als abstraktes gedankliches Objekt, das im Laufe des Entwurfs und erst recht später im Laufe des Projekts und Lebenszyklus verfeinert wird. Alle Informationen laufen im GM zusammen. (vgl. IFC, s. a. 5.6.3) Dieser Prozess hat gerade begonnen.

Entwicklung der CAAD-Systeme

statt:

1.) CA(A)D = fixe Geometrie + Attribute

hin zu:

2.) CAAD = abstrakte Objekten = kontextabhängige Geometrie + Attribute

und die Einbindung in ein:

3.) GM (Gebäudeproduktmodell) mit semantischen, entwerfsbedingten Prozesszusammenhängen

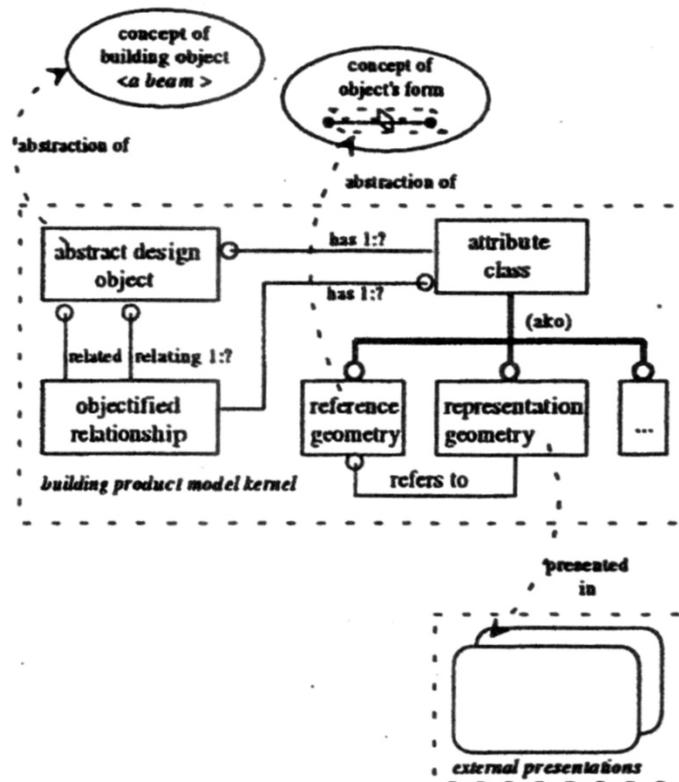


Abb. 7.1: Junge: The definition of the abstract design object, [Junge 1995, S. 571]

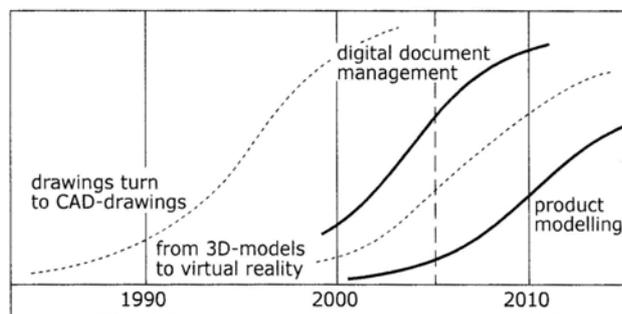


Abb. 7.2: Some significant and recent features in building data management [Pennila, Hannu 2005, S. 227] (rechts)
Der Weg vom CAD zum CAAD mit Produktmodell

Die Abläufe eines architektonischen Entwurfs unter Verwendung des Computers bereits in den frühen Phasen werden sich anders gestalten als in der hergebrachten Weise. Das Entwurfsmodul muss möglichst einfach und nachvollziehbar die Computerumsetzung des Entwurfsvorganges abbilden.

Voraussetzung dafür ist das Wissen über Entwurfsabläufe und Zusammenhänge der verwendeten Objekte des Entwurfs. Über Constraints wird der Entwurfsraum im Laufe des Entwurfsprozesses immer stärker eingeschränkt.

Um schon in den frühen Phasen des Entwurfs mit Computerunterstützung zu arbeiten, wird das Entwurfsmodul die semantischen Zusammenhänge zu Verbindungen der einzelnen abstrakten Objekte des GM nutzen. Es kann so semantische, entwurfs- und konstruktionsbedingte Belange implementieren, wie bspw. Himmelsrichtungen, Raumbeziehungen, Nutzungsanweisungen und Entwurfsregeln. Das Mitführen der Zeitkomponente sowie weiterer Aspekte als „Achsen“ (s. 7.1.7) – *wann wurde was warum gemacht* – setzt ebenfalls auf dem GM auf. Forschungen im universitären Bereich lassen erste Ansätze erkennen. (vgl. ArchE-Projekt UNI Karlsruhe, s. a. 8.1.2)

7.1.1 Nutzen des GM in der Entwurfsphase

Sobald ein Entwurf ganz oder in Teilbereichen als GM vorliegt, können die unterschiedlichsten Simulationen (Besonnung, Statik, Verkehr, Fluchtwege, Bauvorschriften etc.) frühzeitig, vor der Realisierung, den Entwurf prüfen. Das Zirkulieren während des Entwerfens, mal dem Top-Down mal dem Bottom-Up folgend, wird durch „Umschalten“ in unterschiedliche Views auf das Entwurfsobjekt unterstützt und kann so schon in den frühen Phasen des Entwurfs zu einer gesicherteren Entwurfslösung verhelfen.

7.1.2 Views

Alle Objekte des GM sind in Views der einzelnen Abstraktionsgrade abgebildet und können editiert werden. Besonders neu zu entwickeln ist der Kommunikations-View, der Freihandskizzen zulässt. (s. 7.1.4) In Ausnahmefällen können Views auch Reportcharakter haben, d. h., sie wirken wie ein aktuelles Abbild nur in einer Richtung und müssen bei Änderung erneut „aktualisiert“ werden (Beispiel: Listen jeglicher Art).

7.1.3 Stile

Stile der einzelnen View-Repräsentationen können vom Anwender individuell eingestellt werden. (s. 8.1.4)

7.1.4 Unscharfe Darstellung (Kommunikations-View)

Im Unterschied zum Sketch-View, der eine skizzenhafte grafische (synthetische) Darstellung aus dem GM ableiten kann, bewahrt der Kommunikations-View die ursprüngliche, intuitive Eingabe des Entwerfers. – Freihandskizzen können mit dem elektronischen Stift eingegeben werden. Sie werden entsprechend ihrem Informationsgehalt sukzessiv in das GM überführt. Mit zunehmender „Schärfe“ können die erkannten Objekte in allen Views wiedergegeben und auch editiert werden. Die ursprüngliche Skizze bleibt möglichst lange (bis zum Entwurfsstadium) erhalten. Auch mit dem Stift „handschriftlich“ eingegebene Texte verinnerlichen die damit verbundenen Aussagen und unterstützen das visuelle Gedächtnis (Mindmapping). Die inhaltlichen Aussagen können auch semantische entwurfsbedingte Belange bergen, die auch mit kleineren Grafiken (Umschließung einer Gruppe/Zone, Besonnungsrichtung, Verkehrsfluss etc.) verbunden sein können. Diese entwurfsentscheidenden „Aussagen“ beherbergen Entwurfswissen, das als Objekte eingebunden werden soll, um auf Veränderungen in der Zielsetzung oder in den Rahmenbedingungen des Entwurfs reagieren zu können. Texterkennungsoftware überführt handschriftliche Texte in andere Views.

7.1.5 3D-Skizzen in Modelldaten (3D-Geometrie) umwandeln

Freihändige 3D-Skizzen (Isometrien, Perspektiven) können in räumliche Modelldaten überführt und anschließend editiert werden.

7.1.6 Arbeiten mit Gebäudeelementen

Ein Gesamtbaukörper kann je nach Nutzung oder Aufgabenstellung in unterschiedliche Gebäudeelemente (GEs) unterteilt werden, die wiederum durch (Bauteil-)Objekte

bestimmt werden, bspw. Geschosse, Fassaden, Dächer, aber auch Erschließungen mit Treppen, Liften und Versorgungsschächten, Rampen oder auch Raumgruppen wie Toiletten (Damen/Herren) usw. Beim Umgang mit diesen Elementen können Regeln hinterlegt werden, die beim Editieren Berücksichtigung finden. Der Anwender kann gleich mit GEs beginnen oder die mit einem 3D-Modeller entworfenen Strukturen (Quader, Pyramiden, Prismen, Zylinder usw.) in GEs überführen. Editieren dieser GEs soll wie mit einem 3D-Modeller erfolgen können, dabei sollen hinterlegte Regeln durch Constraints einen sinnvollen Umgang mit den Körpern gewährleisten. Die GEs kennen ihre Beziehungen zueinander und verschmelzen entsprechend, sind aber auch einzeln in ihrer Gesamtheit editierbar.

Beispiele:

- Dem Gesamtbaukörper wird ein Raster (Stützraster, Ausbauraster etc.) zugewiesen. Eine Veränderung des Hauptkörpers wird vorzugsweise nur in Stützraster-schritten angeboten. Achsen und Stützen werden entsprechend ergänzt oder entfernt. Das kann durch einfaches Ziehen oder Stauchen an einer Gebäudekante erfolgen. Festpunkte (Treppenhäuser, Lifte, Flure etc.) bleiben unberührt, solange eingebaute Regeln es zulassen. Brandabschnitte werden angezeigt oder angeboten. Das Gleiche gilt auch für die Veränderung in der Höhe. Diese erfolgt sinnvollerweise im Höhenausbauraster, jedoch in Geschossschritten.
- Zu einer Treppenhauerschließung (Festpunkt), deren zu erschließende Gebäudehülle drei Geschosse mit unterschiedlichen Geschosshöhen umfasst, werden die Treppenauflängen entsprechend der Norm ausgerichtet und ggf. Vorschläge für eine Optimierung durch Veränderung der Bauwerksgeometrie des GE „Treppenhaus“ angeboten. – Ein zylindrisches GE wird vorzugsweise eine Wendeltreppe anbieten, während gerade Treppenläufe nur in Sonderfällen gewendelte Stufen aufweisen würden.
- Ändern einer Geschosshöhe wirkt sich auf Treppenläufe, Rolltreppen und Rampen aus.
- Per Drag & Drop kann das geforderte Raumprogramm auf das GE Geschoss gezogen werden. Ein Automat bietet optimierte Grundrisslösungen an, dabei kann der Anwender wählen, ob sich das Raumprogramm an die Grundrissform strikt anpassen soll oder sich die Hülle an der optimierten Grundrisslösung ausrichten soll.

- Grundrissgruppen, Festpunkte, WC-Anlagen unterliegen strengen Regeln (Anzahl, Abstand, Raumfolge etc.). Sie können als Typ aus einem Katalog per Drag & Drop an die gewünschte Stelle gezogen werden, wo sie sich an die vorgefundene Grundrissituation anpassen. Eine Veränderung der zugeordneten Grundrissgröße wirkt sich auf die Anzahl der notwendigen WCs, PB etc. aus.
- Aus Katalogen können Dachtypen oder Dachgauben ausgewählt und per Drag & Drop dem GE Dach zugeordnet werden. Der Typ passt sich dem entsprechenden Baukörper (Dachneigung, Traufüberstände etc.) an.
- Das GE Fassade nimmt das Stütz- und Ausbauraster auf. Gestaltungsregeln bieten eine Fassadenaufteilung an. Änderungen in der der Geschosshöhe werden nachgeführt. Sturzhöhen und Fensterproportionen können vom Anwender beeinflusst werden.

7.1.7 Anpassen semantischer Gebäudeelemente an veränderte Situationen

Bauteile können einem digitalen Katalog (als Ikone) entnommen und per Drag & Drop in die Planung übernommen werden. Dabei passen sie sich der jeweiligen Situation an. Ein „normales“ Fenster bspw. kann sowohl in eine gerade als auch in eine runde Wand platziert werden, gleichgültig, ob die Wand lotrecht oder schräg ausgerichtet ist. Das Positionieren der Öffnung kann durch Hin- und Herschieben mit dem Cursor nur innerhalb der Wand erfolgen. Bei Ecksituationen würde ein Eckfenster generiert werden, ohne dass der Anwender besonders eingreifen muss. Komplizierter, aber umso zeitsparender für den Anwender, ist das Einpassen einer Treppe in eine vorhandene räumliche Situation. Die Treppenläufe erhalten die Anzahl der Stufen, die benötigt werden, um das jeweilige untere bzw. obere Stockwerksniveau zu erreichen (vgl. 3D-Home¹³⁹). Sie schmiegen sich aber auch der vorhandenen Raumkontur an. Eine zweiläufige U-Treppe würde sich in einem V-förmigen Treppenhaus entsprechend aufspreizen. Durch Bewegen des Cursors kann die Anzahl der Stufen je Lauf hin- und herverteilt werden.

¹³⁹ 3D-Home ist ein einfaches, objektorientiertes 3D-CAD-Programm zur Planung von Einfamilienhäusern der Firma Broderbund

7.1.8 Wer hat was wann und warum gemacht?

Entwurfsentscheidungen, das *Warum*, schränken den Entwurfsraum in Richtung des Zielprodukts ein. Dahinter verbirgt sich das Entwurfswissen des einzelnen Entwerfers, das als Historie mitverwaltet werden soll. Dabei reicht der Umgang mit bloßen (Bauteil-)Objekten nicht aus, vielmehr sind diese Entwurfsentscheidungen auch an räumlichen Bereichen und mit ihnen verbundenen Vorgängen festzumachen. Das Mitführen des *Wer* in der Datenstruktur erlaubt die (auch dezentrale) Teamarbeit unter Entwerfern und erleichtert die Kommunikation mit Fach- und Spezialingenieuren.

7.1.9 Daten der Grundlagenermittlung nutzen

In der Computer-Praxis noch weitgehend unentdeckt sind vorhandene Daten der Grundlagenermittlung. Werden diese digital für den Planungsprozess aufbereitet, ist ein bedeutendes Potenzial an Automatismen erschlossen, um den Planungsprozess selbst, aber auch Aufgaben anderer am Bau bzw. der Immobilie Beteiligter zu unterstützen. Dem Entwerfer wird Unterstützung bei Raumprogrammen, Organisationsdiagrammen und Funktionsschemata ermöglicht. Für Gebäudeunterhaltung werden dem Auftraggeber Daten für den gesamten Lebenszyklus der Immobilie zur Verfügung stehen. Ingenieurleistungen der Projektphase bleiben nachfolgenden Generationen für spätere Umnutzung erhalten. Es werden Fehler vermieden und eine deutliche Produktivitätssteigerung erreicht. Zu diesem Zweck sollen die unterschiedlichen Expertensysteme (Teilmodelle) anderer Fachbereiche (Statiker, Haustechniker, Stahlbau, Belichtungs-, Gebäudesimulation usw.) dem CAAD-System zuschaltbar sein, sodass jederzeit darauf zugegriffen werden kann.

7.1.10 Möglichkeiten und Nutzung eines einheitlichen GM in Baubetrieb und Bauunterhaltung (FM)

Die Nutzung eines einheitlichen GM sorgt für den ungehinderten Datenaustausch zwischen allen an einer Immobilie beteiligten Fachgruppen. Dabei kann von der ersten Idee an, ein Bauwerk zu erstellen (Grundlagenermittlung), über

dessen Planung und Ausführung, Unterhalt und Umnutzung bis hin zum Abriss und Recycling auf die gleichen Daten zugegriffen werden. Durch Verwendung eines herstellerneutralen GM bleibt die Unabhängigkeit bewahrt und wird größere Gewähr geboten, die Daten auch in Zukunft noch lesen zu können.

7.1.11 Qualitative Entwurfsunterstützung in frühen Phasen des Entwurfs

Qualitative Entwurfsunterstützung zeichnet sich durch Maßnahmen aus, die dem Entwerfer zu einer „besseren“ Lösung verhelfen können.

Komplexe Entwurfsaufgaben werden bereits im Raumprogramm als Objekte erfasst und durch intelligente Funktionsdiagramme leichter handhabbar gemacht. Mit dem Stift (ähnlich dem Tablett-PC, Tablet oder Digital Pen) können in gewohnter Weise auch skizzenhaft Räume oder Raumfolgen gezeichnet und in intelligente Objekte des GM überführt werden. Planungsrelevante Informationen werden digital vorgehalten und helfen, den Planungs- wie auch den Entwurfsprozess sowohl qualitativ als auch quantitativ zu verbessern. Durch die frühzeitige Überführung der Eingaben in Objekte des GM können diese in 2D wie auch 3D leicht editiert werden. Zugeschaltete Automaten können den Entwerfer unterstützen.

Die qualitative Entwurfsunterstützung im Einzelnen:

- Recherchen zu internen wie externen Domänen zum geplanten Bauvorhaben können über Suchfunktionen (Google o. Ä.) vorgenommen werden und projektbezogen in einer Datenbank gespeichert und jederzeit zugänglich gemacht werden.
- Planungsrelevante Daten werden digital vorgehalten.
- Räume werden mit einem Raumbuchprogramm alphanumerisch erfasst und in grafische Objekte des GM überführt.
- Beziehungsmatrizen und Bubblediagramme bilden die ersten Views auf das GM.
- Automaten können unterstützend erste Layouts anbieten.
- Regelbasierende Automaten (CBR) können „Regelgrundrisse“ bspw. Einspanner, Zweispänner oder Reihenhaus-

grundrisse und auch deren städtebauliche Gruppierung erzeugen. Automaten können auch Strukturen für Tragkonstruktionen generieren oder neue Gebäudeformen erzeugen. Sie helfen bei der Optimierung von aufwändigen Konstruktionen.

- Mathematische Funktionen, wie Fraktale zur Optimierung des Verhältnisses zwischen Raum, Fläche und Umfang, können unterstützend abgerufen werden.
- Die mit Stift als Freihandskizzen (Kommunikations-View) eingegebenen Objekte können schrittweise in das GM überführt werden.
- Ein Volumeneditor ermöglicht sowohl das Formen mit regelmäßigen geometrischen Körpern als auch das Arbeiten mit freien Formen.
- Einzelne Bauteile (Bauteilobjekte des GM) können frei zu Baugruppen (Eingangerschließung, Festpunkte wie Treppenhäuser, geschossübergreifende Fassaden, Wintergärten, Erker etc.) gruppiert und so als Einheit auch angesprochen werden.
- Entwurfsregeln aus der Architekturtheorie können hinterlegt werden (Harmonie in Proportion, Teilung, Symmetrie, Farbe etc.)

7.1.12 Quantitative Unterstützung im Entwurfs- und Planungsprozess

Quantitative Entwurfsunterstützung bezieht sich in erster Linie auf organisatorische Unterstützung von Routineaufgaben und weniger auf qualitätsverbessernde Unterstützung des Entwurfs.

Strukturen des Entwurfs können variiert werden, ohne die angrenzenden Bereiche mit verändern zu wollen, wenn man diese gezielt ansprechen kann. Will man bspw. nur die Flurbreite in einem bestehenden Entwurf verändern, muss man diese Flurbreite bzw. deren Achsmaß gezielt ansprechen können. Manipulationen dieser Art setzen voraus, dass alle Elemente, in diesem Fall die Flurwände mit Fenstern und Türen, als Objekte verwaltet werden, wie es in einem GM der Fall ist. Dabei müssen Bindungen getroffen werden, die vom Nutzer aber auch gelöst bzw. anders vergeben werden können. Dass bspw. die Stützen beim Verschieben von Wänden mit versetzt werden sollen, mag bei einem Neubau sinnvoll, für eine vorhandene Bebauung aber nicht zwingend sein. Die Bindung/Ver-

knüpfung mit der Bemaßung aber ist zwingend. Es muss daher unter zwingenden und gebotenen Bindungen/Verknüpfungen unterschieden werden. Die zwingenden sind im Gebäudemodell bzw. der Grundsoftware zu implementieren.

Als Nichtbauteile müssen planungsnotwendige Objekte bzw. Methoden vorhanden sein, deren Verknüpfungsmöglichkeiten geboten (aktivierbar) aber nicht zwingend sind:

- Achsen, an die Bauteile angekoppelt werden können.
- Bemaßung, die bidirektional wirken kann, d. h., Ändern eines Maßes bewirkt auch die grafische Veränderung mit all ihren Konsequenzen auf die benachbarten Bauteile.
- Erläuterungstext und Beschriftung als Objekte, die sich dynamisch an das Objekt anpassen (Beispiele: Achserweiterung (Bezeichnung), Beschriftung des Konstruktionsaufbaus einer Decke in Verbindung mit Aufbauhöhe der Decke, ggf. der Statik und der AVA).
- Entwurfsbedingte Kenntnisse über semantische Zusammenhänge nutzbar machen. Bspw. würde ein Verändern der Geschosshöhe sich auf die Treppenläufe (Stufenanzahl/Steigungsverhältnis) auswirken.
- Planstempel für blattschnittfreie Darstellung und Führen von Planlisten.
- Schnittführungen (nach Sichtweise des Architekten).
- Regeln, die der Anwender frei vorbelegen kann, bspw. Mindestabstand eines Türanschlages aus der Ecke eines Raumes oder Öffnungsanordnung mittig zur Fassade (außen) oder mittig zum Raum (innen).
- Regeln durch Anwender festlegen, bspw. Massivbauweise wie: Fensterfläche, Belichtungsgröße/Raum; Abstand Öffnungen von angrenzender Wand.
- Reduzierte Menüführung der augenblicklichen Aufgabe angepasst. Vergleichbar mit der Windowsoberfläche werden seltene oder tief greifende Expertenbefehle verborgen.

7.2 Benutzerschnittstelle (UI)

Die Akzeptanz und damit der Nutzen aller vorgenannten Entwurfsunterstützungen hängen von der radikalen Vereinfachung der Interaktion mit dem CAAD-System ab. Nur ein

System, das weitestgehend „im Schläfe“ zu bedienen ist und die Eingaben seines Benutzers versteht oder wenigstens erahnt, hat eine Chance, in den frühen Phasen eingesetzt zu werden.

7.2.1 Unscharfe Eingaben

Wie zuvor beschrieben, ist die Bilderkennung die schwächste Stelle des Computers. Hier soll der Anwender helfend eingreifen können. So steht zu Beginn des Entwurfsprozesses die unscharfe Eingabe einer Entwurfsidee. Ob freihändig skizziert oder mit Primitiven des CAD-Systems hantiert wird, in der Regel reichen die Informationen nicht aus, um ein GM für die wichtigsten Views zu bedienen. Selbst wenn der versierte Anwender gleich zu Beginn mit Bauteilobjekten des GM arbeitet, wird er nicht alle Parameter (meist die dritte Dimension) mitgeben wollen oder können, da sie für ihn zu dem Zeitpunkt (noch) nicht relevant oder bekannt sind und er zu ihrer Bestimmung aus seinem Gedankenfluss gerissen wird (unerfreuliche, Emotion hemmende Aktion). Aber nach und nach können durch seine Mithilfe die grafischen Daten an Schärfe zunehmen und entsprechend dem jeweiligen Informationsgehalt im GM und damit in den unterschiedlichen Views abgebildet werden. Dazu notwendig sind:

- Überführen von Freihandskizzen in (gewollte) geometrische Formen,
- Überführen der geometrischen Formen in Gebäudeelemente (GE),
- Erkennen semantischer Bezüge während des Entwurfsprozesses.

7.2.2 Editieren

Alle üblichen Editierbefehle der CAD-Software sind sinngemäß auf alle GEs sowie Objekte des GM anwendbar.

7.2.3 Navigator

Der Navigator ist das abstrakte Abbild des Entwurfsobjekts in der jeweiligen Ausprägung. Als zentrale Schaltstelle laufen hier alle Informationen der Softwareassistenten der

einzelnen (Experten-)Teilsysteme zusammen. Avatare helfen den Anwendern beim Navigieren. Der Navigator bietet verschiedene Views (Lageplan, Grundriss, Draufsicht, Schnitte, Ansichten, Listen, Baumstrukturen etc.) auf das Entwurfsobjekt, welches mit zunehmender Informationsdichte an Schärfe gewinnt und sich dem CAD-Abbild angleicht. Als zentrales Steuerungsinstrument nimmt der Navigator unterschiedliche Aufgaben wahr:

- Die Aufnahme von Grundeinstellungen für erste Informationen für das GM, wie: Gebäudeabschnitte, Anzahl ihrer Geschosse, Gebäudeelemente, Himmelsrichtung etc.
- Globale Einstellungen: Geschosshöhen, Bauweise, Deckenstärken, Rastergrößen etc.
- Art der Nutzung: Wohnen, Produktion, Krankenhaus, Versammlungsstätte usw., soweit hier Regeln (bspw. Fluchtwege, Brandabschnitte etc.) ableitbar sind.
- Nimmt Schnittführungen ins GM auf zur automatischen Generierung.
- Zeigt den Grad der (notwendigen) Informationsdichte an bzw. macht deutlich, wo noch etwas fehlt oder verändert wurde.
- Teilt das Projekt in einzelne zu erstellende Pläne (Planlisten) auf und legt sie an (Planstempel mit Lageplan und Hervorhebung des Planinhalts).
- Zeigt die zur Zeit parallel am Projekt beteiligten Anwender an und sperrt entsprechend die Bereiche für „fremde“ Zugriffe.
- Führt den Anwender zielgenau an die gewünschte Stelle im Projekt, sowohl im CAD-Teil als auch im alphanumerischen Bereich (Grundlagenermittlung, Raumprogramme, Tabellen, Auswertungen, AVA, Schriftverkehr etc.)
- Dient als schwarzes Brett. Anwender können Nachrichten, Informationen über Änderungen etc. an bestimmte Objekte „heften“ bzw. automatisch die Nachrichten zu den Beteiligten weiterleiten lassen.
- Als Historienmanager lässt der Navigator ein „Zurückblättern“ zu, um an bestimmten „Weichenstellungen“ im Entwurf noch einmal neu anzusetzen. Dabei können einzelne schon definierte Teillösungen (Inseln) ausgenommen werden.

7.2.4 Spracheingabe

Zur schnellen, unkomplizierten Programmsteuerung dient die Spracheingabe. Im Dialog mit dem CAAD-System erspart sie dem Anwender den Handlungsaufwand, der zur Programmsteuerung notwendig ist. Übrig bleiben Eingaben, die sinnvollerweise grafisch leichter und schneller übermittelt werden können. Diese Vorgehensweise hilft, den Gedankenfluss des Entwerfers aufrechtzuerhalten. Beschriftungen können „diktiert“ werden, ebenso wie Anmerkungen, Notizen oder Anweisungen (gelbe Notizzettel), die anderen an der Planung beteiligten Anwendern übermittelt werden sollen. Solche Notizen können auch mit Handskizzen oder Planausschnitten aus dem Navigator oder der Zeichnung gemischt sein.

7.3 Datenhaltung, Modelldatenaustausch

Alle Daten sind in einem neutralen Format zu halten, um größte Gewähr zu haben, sie auch für künftige Programme und Betriebssysteme verwenden zu können.

Vorzugsweise werden sie als IFC abgebildet und in einer objektorientierten Datenbank (ODBC¹⁴⁰) gehalten. Sie sind so weitestgehend betriebssystemneutral und durch andere Programme austausch- und ergänzbar. Das Format ist sehr komprimiert. Die in den IFC beschriebenen Daten machen nur ein Fünftel¹⁴¹ der üblichen Dateiformate (DWG, DXF u. ä.) aus, belegen weniger Platz auf den Speichermedien und sind schnell zu übertragen.

Der Inhalt der Daten sollte ständig auf dem aktuellen Stand gehalten werden. Das Datenformat und die Datenträger müssen mit den sich wandelnden Standards mithalten, was eine gelegentliche Konvertierung notwendig machen könnte. Das Gleiche gilt auch für die verwendeten Softwarelösungen. Hier sollen internationale Standards, wie sie bspw. von der IAI erarbeitet werden, Bevorzugung finden,

¹⁴⁰ ODBC, Open DataBase Connectivity, bedeutet eine „offene Datenbank-Verbindungs-fähigkeit“, sie ist standardisierte Datenbankschnittstelle. [Wikipedia]

¹⁴¹ „The IFC representation files were up to five times the size of the original file formats.“ [Fischer und Kam 2002]

da deren Pflege und Aufwärtskompatibilität am ehesten gewährleistet ist.

Diese Vorgehensweise ist besonders bei Großprojekten mit mehreren Fachingenieuren anzuraten, die u. U. mit unterschiedlichen Insellösungen arbeiten und deren Projekte über eine große Zeitspanne – mit Unterhalt, Umnutzungen bis zum Recycling der Anlage – den gesamten Lebenszyklus verfolgen.

7.4 Hardware

Die Hardware soll Neuerungen aus der Medienwelt aufgreifen, wie sie bei Computerspielen, Videoprojektionen etc. zu finden sind.

7.4.1 Bildschirm

Flachbildschirme können endlich eine Größe annehmen, die an Zeichentische aus der „alten“ Welt erinnert. Das Argument, „der Bildschirm und seine Auflösung seien viel zu klein, der Anwender könne nicht mit dem notwendigen Abstand das gesamte Projekt überblicken“¹⁴², gilt nicht mehr. Flachbildschirme, ggf. auch als Touchscreens vergleichbar mit heutigen Tablett-PCs, eignen sich zur Einrichtung einer „Schaltzentrale“: dem elektronischen Schreibtisch. Nicht nur alle Steuerungen des Navigators können darüber bedient werden, sondern auch alle übrigen bürospezifischen Kommunikationsleistungen wie (Bild-)Telefon, E-Mail, Projektüberwachung der Baustelle per Kamera usw. Projekte, Zeichnungen und alle anderen Views auf das Projekt können auch per Projektor (Beamer) in jeder Größe projiziert und so einer größeren Anzahl Personen gleichzeitig vorgelegt werden. Alle digital vorliegenden Daten eignen sich auch für Videokonferenzen.

¹⁴² Dies war Anfang der 1990er Jahre eines der am meisten vorgebrachten Hemmnisse von Entwurfsarchitekten, CAD im Architekturbüro einzuführen. [Anm. d. Verf.]

7.4.2 Eingabemedium

Üblicherweise diente die Tastatur zu DOS-Zeiten dem Anwender zur Steuerung des Computers. Inzwischen wurde sie durch eine grafische Benutzeroberfläche auf dem Bildschirm und eine Maus ergänzt, durch die eine schnellere Positionierung des Cursors möglich ist. Beide Eingabemedien sind für den Zeichner nicht nur ungeeignet und ungewohnt, sie sind auch ungeeignet, präzise Positionen effizient anzusteuern. Auch blockieren sie den Anwender beim freihändigen Skizzieren. Da bei grafischen Eingaben i. d. R. genaue Positionen „gezeigt“ werden, eignet sich hier ein Stift besser, dazu noch, wenn direkt auf dem Medium Grafikbildschirm (Touchscreen) „gezeichnet“ werden kann und keine weitere Koordination erfolgen muss.

Für die ersten freien Skizzen sind auch digitale Stifte nach dem ANATO-Prinzip denkbar. Mit ihnen kann wie gewohnt auf (Spezial-)Papier mit einem Kugelschreiber gezeichnet werden. Eine eingebaute Kamera nimmt jede „Notiz“ auf dem Papier auf, speichert sie und überträgt sie später auf den Computer. Ob Skizzen oder handschriftliche Texte, alles wird „notiert“. Texterkennungssoftware ist in der Lage, Handschrift in „Computertext“ zu übertragen.

7.4.3 Ausgabemedium

Als Ausgabemedien gelten nicht nur Drucker und Plotter zum Ausdrucken der Zeichnungen, sondern zunehmend werden auch Daten erzeugt, um Fotos (Renderings) von virtuellen Szenarien zu erstellen, die zu Videos verarbeitet werden können. Damit kann Virtuelles in reale Welten eingebaut werden (Bauen in Bestand). Aber virtuelle Welten können auch mit realem Bildmaterial animiert werden. Großprojekte wie Flughäfen, Stadien etc. können mit fließendem Verkehr kombiniert werden. Entwürfe können so ganz anders einem größerem Publikum präsentiert werden. Letztlich können die Daten eines komplett virtuell erstellten Entwurfsmodells auch an geeignete Maschinen zur Erstellung realer Modelle übergeben werden. Je nach Leistungsfähigkeit der Maschine sind keinerlei zusätzliche Handarbeiten notwendig. Der gewünschte Maßstab und das Ausmaß des filigranen Objekts bestimmen die Wahl der Modellierungswerkzeuge.

7.4.4 Vernetzung

Die Vernetzung mittels schneller Datennetze ist heute Realität geworden. Nicht nur alle Mitarbeiter im (Entwurfs-)Team (ob lokal oder dezentral), sondern alle am Projekt Beteiligten können je nach Berechtigungsschlüssel auf die Daten zugreifen, sie „nur lesen“ oder „auch schreiben“ oder sogar „verändern“. Heute gehört die Vorfertigung (Fertigteile) oder Vorfabrikation ganzer Bauelemente dazu, ebenso wie die Baustelle selber, die die Pläne vor Ort plottet, statt Zeichnungen per Post zu erhalten. Berechtigungen, Unterschriften und Freigaben werden per „elektronischem Fingerabdruck“ geleistet. Der Baufortschritt wird im Datenbestand ständig mitgeführt und per Videofernüberwachung überprüft. Die Daten werden direkt zur Abrechnung an die Verwaltung weitergeleitet.

7.5 Fazit

- Das semantische Gebäudemodell beginnt nicht erst mit der Entwurfsplanung oder Werkplanung, vielmehr wird es von Beginn an aufgebaut und stetig durch Informationen in seinem Detaillierungsgrad verdichtet. Der Nutzen eines durchgängigen GM ist auch für vorhandene Bauwerke (Immobilien) erkennbar (FM).
- Der Umgang mit „Unschärfe“ ist Voraussetzung für die Top-Down-Entwurfsmethode mit Computerunterstützung.
- Ein Entwurfsmodul soll semantische Zusammenhänge des Entwurfsvorganges unterstützen.
- Unschärfe Eingaben sind für den Entwerfer zwingend. Unschärfe Darstellungen unterstützen seine Kreativität (kreative Kommunikation).
- Workflow für die gesamte Planungs- und Projektphase.
- Frühzeitige Überprüfung der Erfüllung des geforderten Raumprogramms.
- Frühzeitige Kostengenauigkeit.
- Frühzeitige Wirtschaftlichkeitsanalyse durch Verhältnis von Nutzfläche zu Verkehrs- und Nebenflächen.
- Qualitäts-Check durch quantitative Bewertung der Qualität nach Form/Funktion/Zeit/Wirtschaftlichkeit (Abb. 6.2)
- Es gibt weitaus mehr Views als nur die der HOAI angepassten Leistungsphasen.

- Mit Rastern kann echte Entwurfsunterstützung durch Proportionen (Vitruv, Alberti, Palladio, Le Corbusier, Ungers u. a.) geboten werden.
- Regeln aus der Architekturtheorie (Proportionen, Anzahl Glieder) können angeboten werden [vgl. Choo 2005].
- Auch Bauteilen können (Verhaltens-)Regeln mitgegeben werden.
- Große Bedeutung kommt dem späteren Unterhalt der Immobilie zu (FM). (Dies ist aber nicht Thema dieser Arbeit.)
- Der erhöhte Aufwand der Dateneingabe scheint erst lohnend zu sein, wenn das Projekt auch in die entscheidende Ausführungsphase geht.
- Architekten könnten größeren Nutzen aus dem GM ziehen, wenn auch die Objekte als IFC abgebildet würden, die nicht Bauteile, aber dennoch planungsrelevant sind (Raster, Schnittlinien, Beschriftungen).
- Die Abbildung in softwareneutralen Datenformaten (z. B. IFC) entscheidet über die Wahrscheinlichkeit, dass Daten über den gesamten Lebenszyklus elektronisch verfügbar sein können und sich so der größte Nutzen des GM erzielen lässt.
- Das macht auch deutlich, wie wichtig ein einheitliches, herstellernertrales Format ist. Alle am Lebenszyklus einer Immobilie Beteiligten (Planer, FMer, Betreiber, Zulieferer, Industrie) sollten hier an einem Strang ziehen, nur so ist eine Pflege und Weiterentwicklung für künftige Generationen denkbar.

8 Machbarkeit und Aussichten – Lösungsansatz

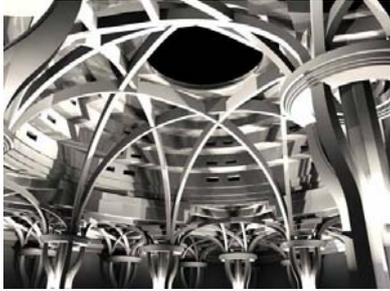


Abb. 8.1: Rome's Mosque, modelliert mit Rhino(ceros), gerendert mit 3D Studio MAX, von Robert de Angelis [Rhino]
Ein Modellierer, ein „fremder“ Renderer, aber kein GM zur Entwurfsunterstützung im Sinne dieser Arbeit

In den letzten Jahren sind die Computersysteme der unterschiedlichen Branchen mit hoher Leistungsfähigkeit und vielseitigen Möglichkeiten den kreativen Entwerfer, Architekten oder Designer zu unterstützen entwickelt und am Markt eingeführt worden¹⁴³ – ob CAAD- oder Modellierungssysteme für Produktdesign, die Visualisierung virtueller Welten im frühen Stadium des Entwurfs bis hin zur Präsentation des Entwurfs in Bild und auch (physikalischem) Modell. Auffallend ist, dass die Anwendungen der unterschiedlichen Fachdisziplinen sehr ausgereift sind, ohne dass die Vorzüge des einen Systems (3D-Modellierer) auf das System des anderen (CAAD-Modellierer) übernommen worden sind. Mit anderen Worten, es besteht ein großes Potenzial, die Vorzüge der einzelnen Computerwelten zu untersuchen und für seine eigene Disziplin zu nutzen.

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie künftige CAAD-Systeme unter Verwendung eines Gebäudemodells den Entwurfsarchitekten in den frühen Phasen des Entwurfs unterstützen können. Dabei werden Ansätze in diese Richtung, soweit sie schon verfügbar sind oder in Forschungsvorhaben vorgestellt wurden, unabhängig von ihrer Fachdisziplin einbezogen.

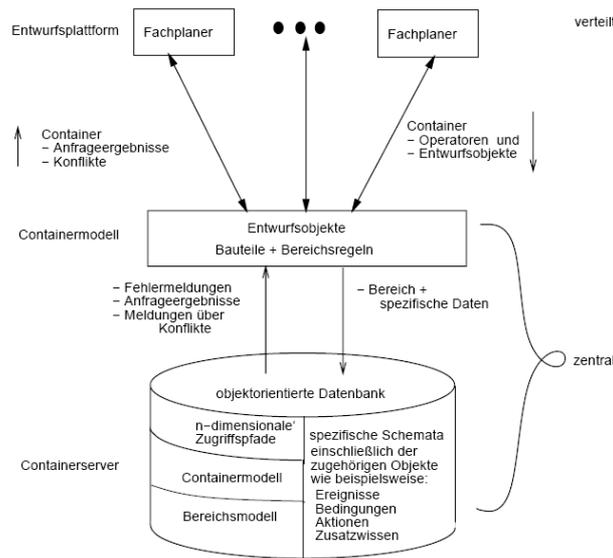
8.1 Das Entwurfsmodul

Die Schwierigkeit, ein allgemein gültiges Entwurfsmodul zu entwickeln, liegt darin, dass gerade im Entwurf wie auch im Entwurfsprozess nur schwer gültige Regeln für alle andern Architekten abzuleiten sind. Gerade der Entwerfer will sich

¹⁴³ CA(A)D-Programme und (oder) Volumen-modellierungs-Programme und (oder) Rendering-Programme, die auch in Europa eine bedeutende Verbreitung haben: AutoCAD mit ADT (Fa. Autodesk), Revid (Fa. Autodesk), VektorWorks (Fa. ComputerWorks), Allplan (Fa. Nemetschek), ArchiCAD (Fa. Archisoft), Spirit (Fa. Softtech), CATIA (Fa. Dassault Systemes), Rhinoceros (Fa. McNeel), 3D-Studio MAX (Fa. Autodesk), SketchUP (Google)

nicht in ein vorgefasstes Schema zwingen lassen. Vielmehr wird er auf seine Erfahrung aufbauen und der Aufgabenstellung entsprechend seine persönliche Vorgehensweise wählen wollen. So wird sich das Entwurfsmodul auf die wenigen allgemein gültigen Regeln beschränken, die der Entwerfer nach Bedarf nutzen kann. Darüber hinaus unterstützt es den Entwerfer durch Wissen über semantische entwurfsbedingte und konstruktionsbedingte Zusammenhänge des GM, den gesamten Datenraum auch über längere Zeiträume zu beherrschen.

Abb. 8.2: Eine entwurfsintegrierte, umfassende Systemarchitektur, Beispiel ArchE: Prinzipielle Systemarchitektur (rechts)



8.1.1 Der Dialog mit dem Computer

Von Beginn an wird das zu planende Projekt durch einen Navigator (s. 8.8.8 unten) angezeigt und entsprechend der Informationsdichte bis zu einem gewünschten Abstraktionsgrad auf dem Bildschirm dargestellt. Checklisten (s. 8.4.2) befragen den Anwender im Dialog nach den Grundlagen (Grundlagenermittlung) und legen so erste Verknüpfungen¹⁴⁴ (Constraints) fest, die im Laufe des Prozesses weiter den Entwurfsraum einengen. Erste Skizzen in Lageplan, Grundriss und Schnitt werden vom Navigator übernommen

¹⁴⁴ Verknüpfungen (Constraints) werden verwendet, um Regeln definieren zu können. Grundsätzlich muss gelten, dass es (kaum) eine Regel ohne Ausnahme geben darf. Das bedeutet, der Anwender muss in der Lage sein, seine Constraints und Regeln zu revidieren. Beispiel: Ein Objekt *Tür(Element)* darf nur innerhalb einer Wand platziert werden. Das scheint plausibel, Ausnahmen wären Abschluss-tür(Elemente), die einen Flur in einzelne (Brand)Abschnitte unterteilen. Sie sollten sich den Wandkonturen des Flures „anschmiegen“.

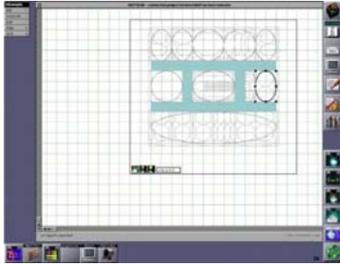


Abb. 8.3: „Der geometrische Editor M5PSEdit. Dargestellt ist eine Planungssituation, in der das Raumlayout eines Bürogebäudes in der Maßordnung des Gebäudebaukastens MIDI geplant wird. Die Planung befindet sich auf der Abstraktionsstufe der Bereiche. Es werden Räume und Nutzungsbereiche definiert. Ein Raum ist selektiert.“

und dienen zur ersten Orientierung auch für die Höhenangaben. Gleichzeitig dient dieser Navigator auch zur räumlichen Navigation innerhalb des Projektes. Jederzeit können architekturegerechte Schnitte durchgelegt werden, die dann automatisch generiert werden.

Während der Planungsphase laufen alle (Produkt-)Informationen beim Architekten zusammen, er bleibt der Dirigent. Innerhalb der Prozesskette (s. 5.6.3) können Zugriffsrechte vergeben werden. Dazu werden neben der Zeit auch die Autoren oder Nutzer mit den Objekten in der Datenbank vorgehalten, so kann von mehreren Teammitgliedern gleichzeitig am Projekt gearbeitet werden.

Zur Steuerung werden Softwareassistenten und Avatare eingesetzt. Diese erlauben u. a. unscharfe Eingaben, wie es gerade in den frühen Phasen erforderlich ist.

8.1.2 Erzeugung und Reduktion von Varietät

Der iterative Vorgang von Varietätserzeugung und Varietätseinschränkung, wie er gerade die frühen Phasen des Entwurfs kennzeichnet, kann durch Mitführen der Zeitachse ermöglicht werden. Außer den Geometrieachsen x , y , z wird u. a. eine Achse t (Zeit) eingeführt. Sie erlaubt die Zuordnung zeitlicher Interaktionen, die zur Historienverfolgung unabdingbar ist.

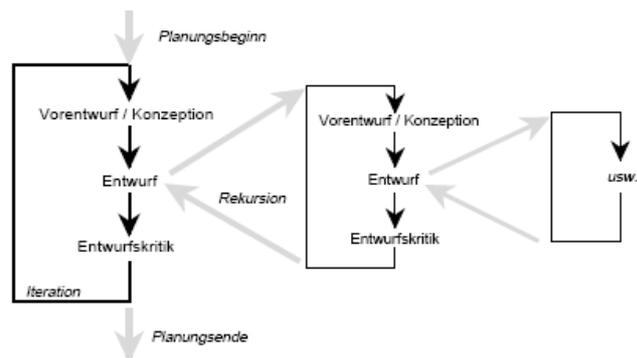


Abb. 8.4: Iterationsmodell: Studienarbeit zu ArchE [Dirk Henkel]

Die Implementierung dieser Zeitachse (und weiterer Achsen, s. 8.4.8 unten) wurde experimentell nachgewiesen. In dem Forschungsprojekt „Datenbankgestützte Koordination und Integration von Planungswerkzeugen im Baubereich (ArchE)“ der Universität Karlsruhe werden mit dem sog. A4-Modell vielversprechende Konzepte gezeigt, die

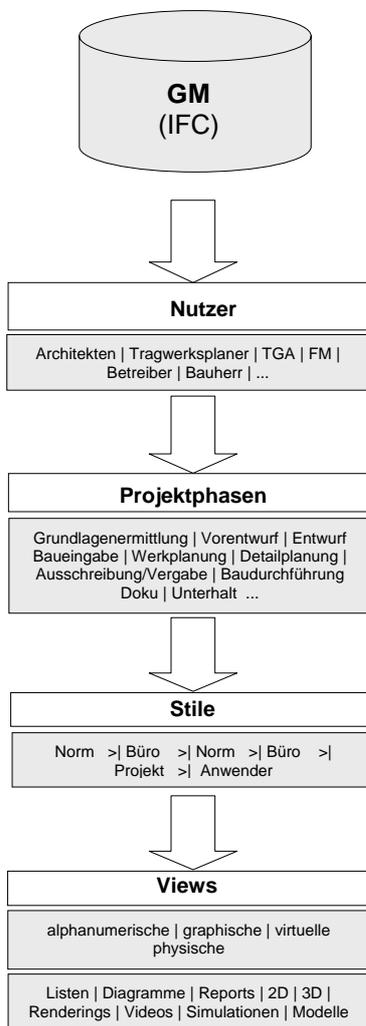


Abb. 8.5 Das Viewsystem mit seinen Stiloptionen [vgl. Moelle 1996]

diesen Aspekten gerecht werden. Das A4-Modul basiert auf dem Planungsmodell des Allgemeinen Installationsmodells „ARMILLA“ [Haller, F. 1985, Hovestadt, a4-digitales bauen¹⁴⁵] Allerdings ist die Anwendung von vornherein auf nur orthogonale Entwürfe beschränkt.

8.2 Das Viewsystem

Die Darstellung der Pläne in unterschiedlichen Maßstäben und entsprechenden Detaillierungsgraden wird in erster Linie durch das Gebäudemodell bestimmt, in dem alle notwendigen Informationen beschrieben sind. Ein View-System erlaubt individuelle Views unterschiedlicher Interessenten auf das Gebäudemodell. Die dem GM innewohnenden Informationen können dazu bedarfsgerecht abgerufen und mit entsprechenden Softwarelösungen dargestellt werden. Um kreative Vorstellungen zu entfesseln und zu bewahren, wird empfohlen, die authentische Skizze des Entwerfers als Kommunikations-View zu erhalten und parallel in das GM zu überführen. Um die kognitiven Schwachpunkte des Computers zu mildern, muss der Mensch helfend eingreifen. Dabei kann Spracheingabe und -ausgabe helfen, unkomplizierter mit dem Computer zu kommunizieren.

Der Informationsgehalt der im Computer gehaltenen Daten nimmt mit fortschreitendem Planungsprozess zu. Der konsequente Einsatz von Gebäudemodellen macht den technischen Zeichner alter Prägung nahezu entbehrlich, da die Bauzeichnungen größtenteils automatisch generiert werden.

8.2.1 Views und ihre Stile

Views und ihre *Stile* entsprechen der Planungsphase und orientieren sich in ihrer Informationsdichte an dem adäquaten Maßstab. Jeder View kann für unterschiedliche Präsentationen in unterschiedlichen Stilen dargestellt werden. Beim Hineinzoomen kann die Informationsdichte dem

¹⁴⁵ a4-digitales bauen, Ein Modell für die weitgehende Computerunterstützung von Entwurf, Konstruktion und Betrieb von Gebäuden http://www.ifib.uni-karlsruhe.de/web/ifib_dokumente/downloads/-ARMILLA4.pdf

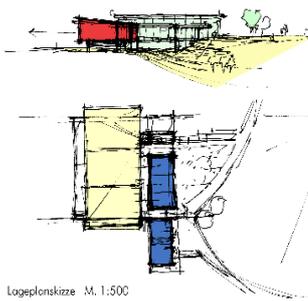


Abb. 8.6: Kommunikations-View:
Lageplan 1:500, digitale Skizze mit
ALLplan Sketch von Nemetschek
[Architekten Stadtplaner Zoll, Stuttgart]



Abb. 8.7: Vom 3D-Modell
(Zeichnung) zur gerenderten
Lichtsimation.
oben: 3D-View
mitte: Tageslichtsimulation
unten: Künstliche Beleuchtung
[Bilder: www.rendertaxi.de]

jeweiligen Maßstab angepasst dargestellt werden. Das Zoomen sollte vorzugsweise (voreingestellt) in den „gewohnten“ Maßstäben 1:1000; 500; 200; 100; 50; 25; 20; 10; 5; 1 erfolgen, da der Anwender besseren „Halt“ erfährt¹⁴⁶.

8.2.2 Verschiede Views (Auswahl)

Views wirken sich auf die Auswahl und Darstellung der Objekte des GM aus. Beeinflusst werden primär: Layout, Beschriftung, Farben, Strichstärken, Schraffuren. Aber auch Regeln können berücksichtigt werden, bspw., wie die Verknüpfungen/Verbindungen unterschiedlicher Wände in den einzelnen Maßstäben dargestellt werden sollen oder wie sich Einbauten, Fenster und Türen in den unterschiedlichen Views präsentieren sollen. (s. a. 8.2.3)

Normalerweise wirken Views in beide Richtungen, das bedeutet, jeder View ist auch geeignet, Veränderungen und Ergänzungen am GM vorzunehmen. Eine Ausnahme bilden die Report-Views, sie sind meist Listen oder Diagramme, die nur in einer Richtung, i. d. R. als Ausgabe, verwendet werden. Eingaben oder Veränderungen sind in solchen Views nicht erwünscht oder aus anderen Gründen nicht möglich. Die Ausgabe der Massen (AVA) kann in einer Richtung gesehen werden. Das Ändern der Materialien innerhalb der AVA könnte durchaus sinnvoll auch eine Rückkopplung zum GM haben (bspw. würden sich Änderungen im Konstruktionsaufbau von Decken zumindest in der Beschriftung der Schnittzeichnungen aktualisieren). Allerdings wird es hier sehr komplex; wenn bspw. auch die Bodenaufbauhöhe sich ändert, können nicht mehr alle Konsequenzen automatisiert werden. So kann die Betongüte „leicht“ geändert werden, aber Materialänderungen, die sich auf die Geometrie auswirken, sind nur schwer zu handhaben, besonders wenn sie sich an mehreren Stellen ergeben. Es bleibt zu testen, wieweit hier mit Hilfe von Assistenten ein weiterer Nutzen erreicht werden kann.

¹⁴⁶ Bereits hier setzt das intuitive Handeln ein. Ein routinierter Architekt skizziert bspw. im Maßstab 1:100 maßstäblich „ziemlich“ genau, auch ohne ein Maß explizit (mittels Maßstab/Lineal) einzugeben. Gerade das spielt bei den frühen Phasen eine große Rolle. Bei „freien“ Zoomfaktoren würde er diese Fähigkeit verlieren und ins „Schwimmen“ geraten. [vgl. PALLADIO 1995]

Nachfolgend einige Beispiele:

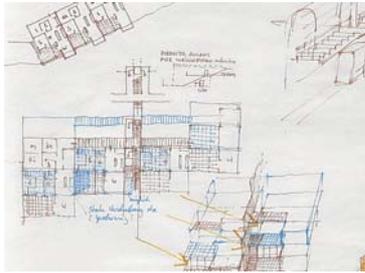
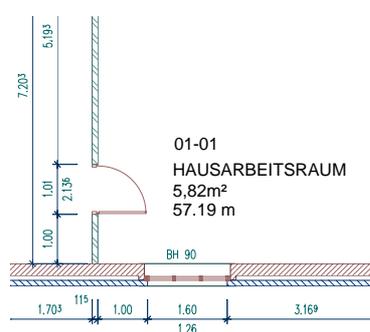
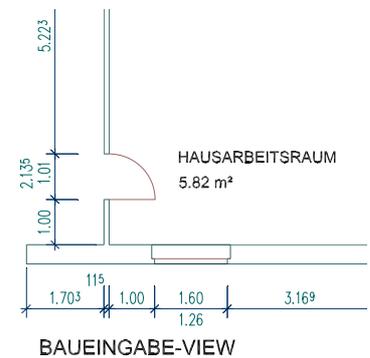
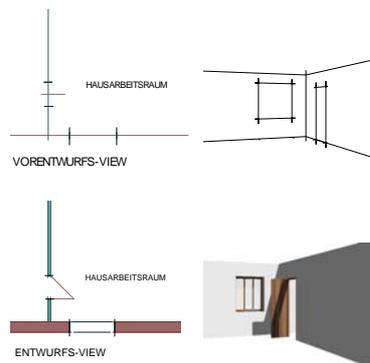


Abb. 8.8: Kommunikations-View (eingescannt)



WERKPLAN-VIEW

Abb. 8.9: Bauteil-Ausschnitt dargestellt in verschiedenen Views. Alle Informationen sind implizit im GM beschrieben. Die Views sind auch geeignet, die Informationen zu verdichten.

8.2.2.1 Kommunikations-View

Besonders wichtig in den frühen Phasen des Entwurfs ist der Kommunikations-View (KV). Er ist die originale, authentische Handschrift des Architekten. Die Inhalte dieses Views, ob freihändig skizziert (und eingescannt), am Bildschirm „freihändig“ erstellt oder mit Geometrien (Rechtecke, Kreise, Linien, Bögen etc.) am Bildschirm entworfen, werden im Laufe der weiteren Bearbeitung in (Bauteil-)Objekte des GM überführt, ohne diesen KV zu „vernichten“. Vielmehr soll nach Möglichkeiten gesucht werden, dass Änderungen, die nachfolgend schon im GM getroffen werden, auch im KV nachvollzogen werden können oder eine hybride Darstellung die Abbildung beider Formen ermöglicht. Der Entwerfer wird sich so schneller in seinen ursprünglichen Ideen wiederfinden und lässt sich leichter (bei Rückschritten/Iterationen) erneut inspirieren. (vgl. Kap. 3 und 4)

8.2.2.2 Vorentwurfs-View

Will man Präsentationen im Stadium des Vorentwurfs herstellen und der KV nicht aussagekräftig genug ist, kann eine unscharfe oder auch exakte Stilvariante als Vorentwurfs-View das Ergebnis des Entwurfs wiedergeben.

8.2.2.3 Entwurfs-View

Der Entwurfs-View unterscheidet sich vom ähnlichen Baueingabe-View durch die jeweilige Informationstiefe. Er kann noch stark durch persönliche Stile beeinflusst werden, was in der weiteren Bearbeitung des Projektes immer mehr durch normgerechte Darstellungen eingeschränkt wird.

8.2.2.4 Baueingabe-View

Der Baueingabe-View kann auf Besonderheiten (Beschriftungs- und Bemassungsangaben) der jeweiligen Baubehörde eingestellt werden.

8.2.2.5 Werkplan-View

Der Werkplan-View ist nicht mehr Thema dieser Arbeit, aber hier wird deutlich, wie hoch der Nutzen ist, wenn die Modelldaten des Entwurfs bereits vorliegen (blattschnitt-

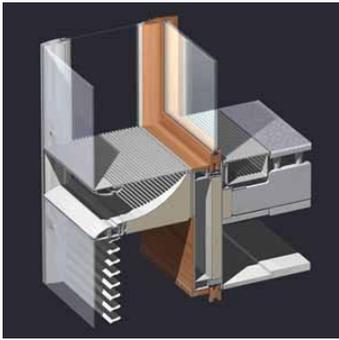


Abb. 8.10: Ein gerenderter Detail-View: virtueller 3D-Fassadenausschnitt, Materialstudien, Lichtreflexionen, können veranschaulicht werden. [acadGraph]

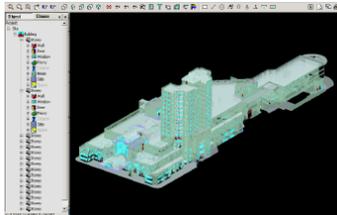


Abb. 8.11.: IFC-View(er): zur Prüfung der Konsistenz der IFC-Objekte. [Building Construction Authority & NovaSprint, Singapore Building Code Checking System, Graphisoft R&D, 2003]



Abb. 8.12: 3D-Modell-View: Die Ausgabedatei an einen 3D-Drucker ist ein typischer Report-View. Hier wird festgelegt, welche Daten zur 3D-Modellierung herangezogen werden sollen.

freies Arbeiten, Massenauszüge, Kosten, Raumbücher etc., um nur einige Vorteile zu nennen).

8.2.2.6 Detail-View

Der Detail-View ermöglicht die Darstellung der exakten Geometrie, auch vergrößert im Maßstab 1:2 oder größer, als Ausschnitt an einer beliebigen Stelle in 2D- oder 3D-Darstellung. Auch können nach Bedarf Verknüpfungen mit den Informationen der gewählten einzelnen gewählten Materialien oder auch Fabrikate hergestellt und dargestellt werden (Assistenten).

8.2.2.7 IFC-View(er)

Der IFC-View dient zum Prüfen der Konsistenz und, als IFC-Viewer, gleichzeitig zum Navigieren durch das Objektmodell (Abb. 8.11).

8.2.2.8 2D-Render-View

Der 2D-Render-View ermöglicht neben der Belegung der Objekte mit Texturen auch, die Schattenwürfe wiederzugeben. Das geplante Objekt kann in seine Umgebung (Luftfoto) realistisch „eingepasst“ werden.

8.2.2.9 Bubble- Diagram-View

Der Bubble-Diagram-View ermöglicht, in den frühen Phasen die Funktionsabläufe eines Entwurfes zu prüfen und zu verändern, bevor die Räume physikalische Dimensionen erhalten haben. (vgl. 8.7.3)

8.2.2.10 Bezugsmatrix-View

Auch der Bezugsmatrix-View dient der frühen Organisation der Räume (s. Abb. 8.63)

8.2.2.11 Der Render-View

Der Render-View (Abb. 8.7; Abb. 8.10) liefert nicht nur das fotorealistische Ergebnis einer zuvor gewählten Ansicht, er bereitet auch die Geometrie und Informationen für Renderingsprogramme auf. Er hält die entsprechenden Strukturen und Eigenschaften der Materialien (Holz, Glas etc.) vor, kennt die Lichtquellen und ihre Auswirkungen, berücksichtigt die Informationen für die Oberflächenstruktur (glanz, matt, transluzent u. a.), kann Renderingzeit (die



Abb. 8.13: Präsentations-View (Entwurf), eine unscharfe Wiedergabe.

Ein „fertiger“ Entwurf im GM wird „unscharf“ in einem vom Architekten gewählten Zeichenstil aus dem Modell abgeleitet.

Dieser View wird in der Regel ein Report-View sein, dennoch kann es interessant sein, Veränderungen daran vornehmen zu können, bei denen die Kenntnis der Objekte von Vorteil ist (bspw. Ändern der Textur aller Glasflächen)

Beispiel: Piranesi (ComputerWorks), speichert aus jedem Pixel einer 3D-Zeichnung zusätzlich neben dem Farbwert auch die Position im Raum und das zugeordnete Material ab.

[Bauer Bernius, Architekten, Projekt Palazzo Cubico, Frankfurt]

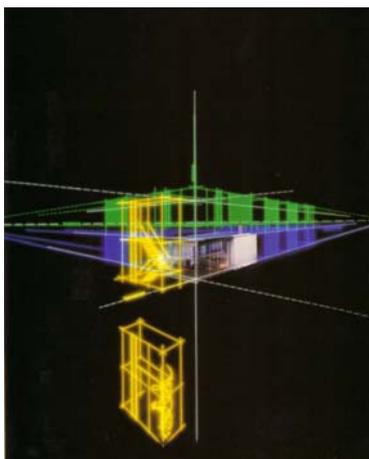


Abb. 8.14: Pavillon-Baukastensystem: „Früher“ Perspektiv-View, im individuellen Stil, hier mit überzogenen Linien und verbleibenden Hilfslinien und gerendertem Teilergebnis.

[Bildschirm-Foto, db 3/93]

auch bei heutigen Rechnern noch Tage dauern kann) drastisch verkürzen, da der Render-View die Anzahl der zu berechnenden Dreiecke (alle Flächen werden intern als Dreiecke abgebildet) auf das Notwendige reduzieren kann. In diesem View wird die Anzahl der Flächen (Dreiecke) auf ein Mindestmaß reduziert. Bspw. werden die Glasflächen aller (einzelnen) Fensterscheiben, die in einer Ebene liegen (i. d. R. einer Fassade), durch nur eine einzelne Fläche ersetzt, ohne dass es Einfluss auf das Erscheinungsbild hat, aber die Rechenzeit wird drastisch verkürzt.

Materialstudien können realitätsnah erstellt werden. Wie wirken die gewählten Farben und Materialien in ihrer Gesamtwirkung (nicht nur als „Handmuster“) auf einen Raum oder eine Fassade, wie beeinflusst getöntes Glas (Sonnenschutz) die Farben?

Ebenso können Lichtstudien (Abb. 8.7) helfen, die Besonnung/Beschattung oder die Lichtverteilung im Raum frühzeitig zu prüfen. Bspw. kann bei Tageslicht (Sonne / bewölkter Himmel) oder nachts bei künstlicher Belichtung die optimale Auswahl und Anordnung der Beschattungs- und/oder Beleuchtungskörper virtuell getestet werden.

Für die Ausgabe als Repräsentation für den Bauherrn, für Wettbewerbe etc. muss ein Rendering-View der Fantasie des Betrachters genügend Spielraum ermöglichen. (s. Abb. 8.16) Hierzu sei an Otto Wagner erinnert, der 1895 zur Zeichnung des Architekten schrieb:

(...) Jede architektonische Zeichnung hat den Geschmack des Künstlers zu dokumentieren, und es darf nie vergessen werden, daß KÜNFTIGES, nicht Bestehendes dargestellt werden soll. Die Sucht ein möglichst täuschendes Zukunftsbild zu bieten, ist schon deshalb als Fehler zu bezeichnen, weil sie eine Lüge involviert. Alle reizenden Zufälligkeiten und Stimmungen der Natur abgelauscht, (...) und auf ein bestehendes Objekt übertragen, sind absichtlich Täuschungen, also schon darum zu verwerfen.

Näher liegend, richtiger und daher natürlicher ist es, durch eine, sagen wir individuelle und impressionistische Darstellung das Werk, Interesse erweckend und mit Gedanken erfüllt, dem Beschauer vor das Auge zu führen. Der Künstler hat dabei Gelegenheit, Phantasie, Geschmack, Wollen und Können zu zeigen, den Beschauer anzuregen und zu fesseln, ohne von der Wahrheit abzuweichen. [Peichel 1984, S. 77]

8.2.2.12 Walkthrough-View

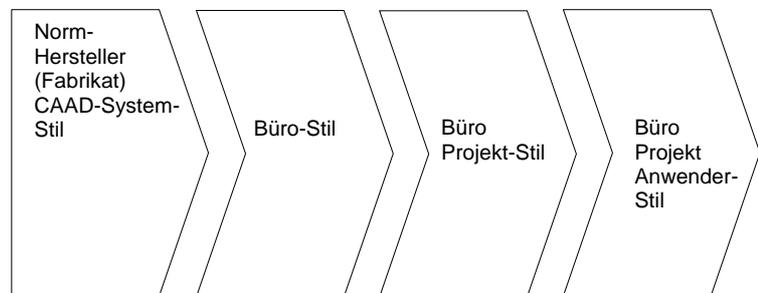
Ähnlich wie beim Render-View werden die Daten zum schnellen Rechnen optimiert. Dabei wird die Umgebung

entlang des Kamerapfads im Voraus berechnet (bspw. nur der jeweilige Innenraum mit seinen Lichteinflüssen).

8.2.3 Stile – CAAD-Präsentationen müssen nicht alle gleich aussehen

CAAD-Zeichnungen eines bestimmten CAAD-Systems (Hersteller) können durch eigene Stile individuell angepasst werden. Dazu sollte jedes Büro einmal seinen persönlichen Stil definieren, um sich vom Wettbewerb auch weiterhin durch die Darstellung seiner Zeichnungen unterscheiden zu können. [vgl. Moelle 1996, PALLADIO 95, S. 4-7]

Abb. 8.15: Stile:
Stile der einzelnen Views werden vom Hersteller der CAAD-Systeme oder vom Hersteller bestimmter Fabrikate vordefiniert und „weitervererbt“. Der Anwender kann diese Vorgaben für sich abändern und weitervererben usw. [vgl. Moelle 1996]



Jedem View können unterschiedliche Stile zugeordnet sein. Ausgehend von der normgerechten Darstellung (bspw. DIN 1356 für Bauevorlage) oder den Herstellervorgaben (bspw. Fensterkataloge, Haustechnik-Geräte ...) können individuelle Stile der einzelnen Architektur- oder Planungsbüros von den normgerechten Stilen vererbt und variiert werden. Büro-Stile wiederum können für einzelne Projekte weitervererbt und individuell angepasst werden. Während der allgemeine Büro-Stil des Architekturbüros „A“ noch einmal in Unterklassen der einzelnen Mitarbeiter variieren kann, wird man sich bei Projektarbeit unter allen Mitarbeitern für einen einheitlichen „Projekt-Stil“ entscheiden. Vorteil dieser Stile ist nicht nur das Wiedererkennungsmerkmal einer eigenen Bürohandschrift, sondern dass ohne Zutun des einzelnen Anwenders im Team diese Stile automatisch eingehalten werden.

Zu unterscheiden sind:

- normgerechter Stil (soweit es sich um ein normgerechtes Objekt handelt) oder
- Hersteller-Stil (so wie das CAAD-System oder der Hersteller des Objekts es vordefiniert hat)
- Büro-Stil (erbt den CAAD-System-Stil und passt ihn an den eigenen Büro-Stil an)

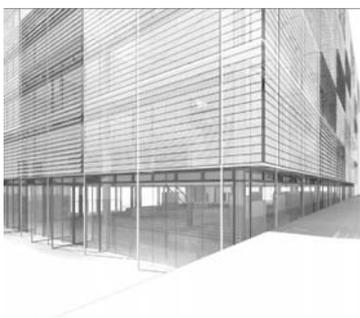
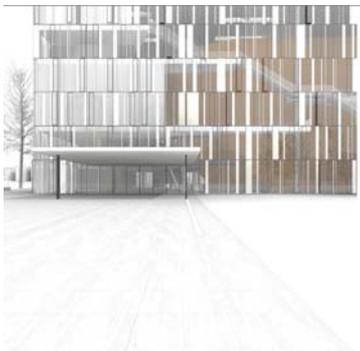


Abb. 8.16: Render-View und Präsentations-View.
Materialstudien und Darstellung im eigenen „Bürostil“ lassen der Fantasie genügend Freiraum. [Bild: www.Rendertaxi.de]

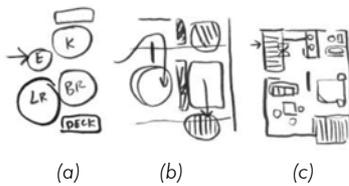


Abb. 8.17 Funktionsdiagramme (Bubble Diagrams)
(a) rough diagram; (b) with additional details; (c) with alternative details.
Die Skizzen (a) und (b) sind weitere Ausführungen des Diagramms (a). Sie haben keine Relevanz zum Grundschema, sie bringen nur verfeinert die Ideen des Entwerfenden zum „Ausdruck“. Bereits (a) birgt alle „entscheidenden“ Details.
[Do und Gross 2001]

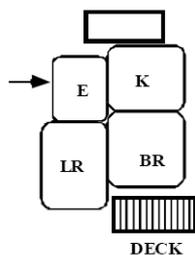


Abb. 8.18: „a ‚beautified‘ version of the diagram“ (a). Sieht zunächst gut aus, verleitet aber zu der Annahme, es handle sich um einen genauen Grundriss, was aber nicht der Fall ist.
[Do und Gross 2001]

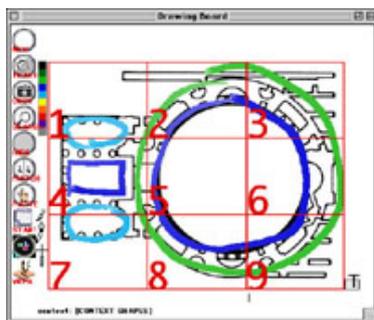


Abb. 8.19: GIDA, Picture underlay with analytical diagram and location identifier on a 3x3 grid [Do 2001]^{b)}
Durch das 3x3 Raster werden einmal erkannte Objekte lokalisiert, um sie im Nachhinein auch einzeln ansprechen zu können. Diese Funktionalität könnte GEs erkennen und sie im „Versionsmanager“ verwalten. (s. 8.3.5)

- Projekt-Stil (erbt den Büro-Stil, für Projekte können noch individuelle Einstellungen gemacht werden. Bspw. haben Wettbewerbe des Büros einen eigenen Wettbewerbs-Stil)
- Mitarbeiter-Stil (der individuelle Mitarbeiter erbt den Büro- oder Projekt-Stil und wandelt ihn (nur) für sich ab)

An dieser Stelle sei noch einmal auf die Besonderheit des Kommunikations-View (s. 8.1.2) hingewiesen, der keine weiteren Stile zulässt, da es sich um das direkte Ergebnis des Anwenders handelt. Im Gegensatz dazu der „Präsentations-“ oder Vorentwurfs-View, der lediglich eine unscharfe Wiedergabe des Entwurfs präsentiert und dabei durchaus eigene unterschiedliche Stile zulässt.

Anmerkung:

Die konsequente Anwendung des View-Systems mit seinen Stiloptionen verlangt auch eine andere Arbeitsweise vom Architekten. Wurde bisher bei konventioneller Herangehensweise mit jeder Maßstabsänderung der Entwurf neu überdacht, geprüft und verfeinert, bleibt jetzt dem Architekten die Aufgabe, seinen „Assistenten“, den Computer, sorgfältig zu prüfen und die Informationsdichte zu erhöhen. Dabei sollte man sich Zeit zu Reflexionen nehmen.

8.3 Qualitative Entwurfsunterstützung in den frühen Phasen

8.3.1 Konzeptskizzen (Diagrams)

Erste Konzeptskizzen (Lageplanskizzen, Situationsskizzen) repräsentieren konzeptionelle Ideen des Entwerfenden. Sie helfen, Probleme zu lösen, und dienen der eigenen Kommunikation wie der zu einem Dritten. Diese Art von Skizzen werden im englischen „Diagrams“ genannt (Abb. 8.17 u. Abb. 8.18). Diagrams helfen dem Architekten, Zwänge (Constraints) eines Grundrisses und die Konsequenzen bei Veränderungen in seinem Entwurf zu verdeutlichen. Meist wird die Umgebung mit einbezogen, um Verkehrsverbindungen, Nachbarschaft aber auch bestimmte Besonnung/-Belüftung oder bevorzugte Aussichten (Panoramen) auf die Umgebung zu berücksichtigen. Konzeptskizzen können ganz oder auch nur teilweise dreidimensionalen Charakter annehmen.

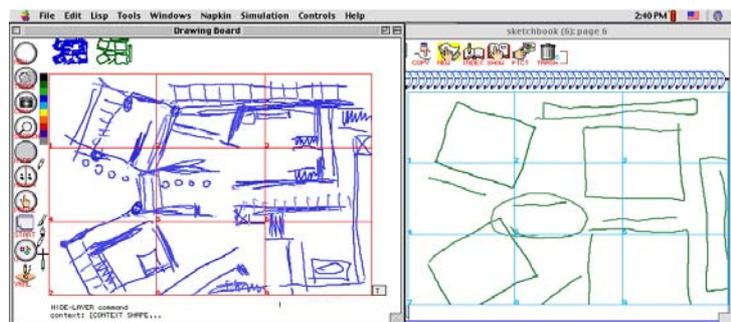
Werden Sichtlinien wie in Abb. 8.29 als bindend (Constraints) verstanden, sollen diese als Semantik in das GM mit übernommen werden und dem Entwurfsmodell zur Verfügung stehen. Dadurch wird der Sektor (ggf. in einer bestimmten Höhe) gesperrt, sodass kein künftiges Element diese Sicht beeinträchtigen kann. (s. a. 8.3.4.3)

8.3.2 Funktionsdiagramme (Bubble Diagrams)

Funktionsdiagramme (engl. Bubble Diagrams) sind oft der nächste Schritt, sich vom konzeptionellen Layout der konstruktiven Lösung zu nähern. Dabei handelt es sich nicht um eine maßstäbliche Anordnung, vielmehr sind die „Bubbles“ einzeln und untereinander maßstabslos und lassen Überschneidungen zu (Abb. 8.18). Die exakte Darstellung (Abb. 8.18) erinnert bereits an genaue Grundrisse mit Räumen und Wänden, was „Diagrams“ aber nicht sind. [vgl. auch Do und Gross 2001].

Diese Skizzen der ersten Layoutgedanken machen deutlich, dass die Kommunikation mit der eigenen Handschrift mehr aussagt als eine exakte computerisierte Nachbildung und warum es so wichtig ist, diese Form des Funktionsdiagramms als Kommunikations-View so lange wie möglich aufrechtzuerhalten.

Abb. 8.20: GIDA, The filter function extracts sketch lines (left) to configuration of simple shapes (right). [Do 2001^b 2001]
Unscharfe, mehrfach überzeichnete Konturen werden „gefiltert“ und in eindeutige Objekte überführt.



Do und Gross glauben, diese Denkphase des Architekten in den nachfolgenden Punkten mit dem Computer unterstützen zu können:

- Freehand drawing input, as opposed to structured diagram entry and editing.
- Maintaining spatial relations among elements as the diagram is transformed.
- Recognizing ‚emergent‘ patterns and configurations in a diagram.

- Performing transformations that carry one diagram to another.
- Identifying similarities and differences among diagrams.
- Representing designs at varying levels of abstraction and detail.

Mit dem Graphik-Interpreter GIDA zeigt Do, wie unscharfe, mehrfach überzeichnete Konturen zu einer eindeutigen Kontur überführt werden können. Gleichzeitig werden diese „Objekte“ (z. B. GE) lokalisiert und können in einem „Storyboard“ (s. 8.4.9) verwaltet werden.

Abb. 8.21: So könnten sehr frühzeitig noch unscharfe Konturen an „Schärfe“ zunehmen. – Mit jeder weiteren Information lassen sich die Views vom Konzept bis zu einem ersten Render-View mit transparenter Fassade und Schattenwurf ableiten. (s. a. Abb. 8.59) [Revit, Autodesk]

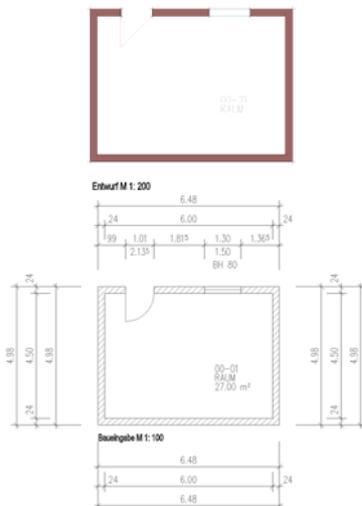
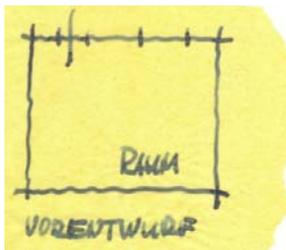
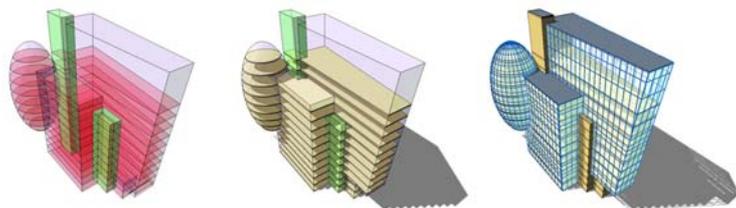


Abb. 8.22: Überführung „klarer“ Entwurfsskizzen:
oben: Kommunikations-View
mitte: Entwurfs-View
unten: Baueingabe-View
Räume, Wände, Decken, Fenster, Texte, Symbole werden erkannt und in (IFC-)Objekte überführt. Alle Views können vom KV abgeleitet werden. Korrekturen durch den Anwender sind jederzeit möglich.

8.3.3 Skizzen in GM-Daten überführen

Frühe Entwurfsskizzen, seien es eingescannte Freihandzeichnungen oder am Computer direkt vorgenommene Skizzen, sind für ein CAAD-System bislang als Bauteile nicht erkennbar, da diesen „Bildern“ keine Bauteilinformationen mitgegeben wurden. Die Skizzen in den frühen Phasen des Einwurfs bestehen aus Linien, die Grenzkanten, Fugen, Raster, Flächen oder Räume markieren/bestimmen, und aus Symbolen, seien es Texte oder Figuren, die der Erläuterung (Nordpfeil, Erschließungsrichtung etc.) oder Ergänzung (bspw. Pflanzen) des Entwurfes in dem Stadium dienen.

Es gibt heute mehrere Möglichkeiten der „Verständigung“ mit dem Computer. Die einfachste ist, von Beginn an das entsprechende Objekt (Wand / Raum / Grenzkante ...) zu wählen/oder per Spracheingabe zu bestimmen, dann weiß das System sofort, worum es sich handelt. Eine Beschränkung dieser Methode liegt in dem begrenzten Wissen, das vom (Software)Experten im CAAD-System hinterlegt wurde. Will man frei bleiben, bietet sich eine Lösung wie unter 8.3.2 (GIDA) beschrieben an. Die dritte Methode, ohne solch einen Graphik-Interpreter, ermöglicht Anwendern bei „klaren“ Entwurfsskizzen (s. weiter unten), Graphikobjekte

einzel am Bildschirm zu markieren und ihnen eine Bauteilbeschreibung zuzuweisen (bspw. ein Raum, Wandtyp oder auch einen Linientyp für Grenzlinien, Raster etc.). Je nach Einstieg in den computerunterstützten Entwurf – aber auch durch das Entwurfsobjekt – bietet sich die eine oder andere Lösung als geeigneter an.

8.3.3.1 Das Problem mit der *Unschärfe* entschärfen

Je nachdem, ob am Bildschirm direkt entworfen oder eine „fertige“ Skizze eingescannt wird, können CAAD-Systeme heute in der Lage sein, geschlossene Konturen zu erkennen. Das gilt während des Skizzierens, sobald eine Kontur sich „nahezu“ schließt (s. SmartSketch, Abb. 8.26). Ist eine Kontur erkannt, kann sie als Flächenobjekt (Grundstück, Grundfläche oder Teilgrundfläche eines Gebäudes) ausgewiesen und jederzeit auch bezeichnet werden. Dabei kann es zu Überlagerungen oder Inseln (Abb. 8.23) kommen, die ohne Nachhilfe des Anwenders nicht eindeutig zu lösen sind.

Abb. 8.23: Grenzen der Erkennbarkeit für den Computer: Welche Variante ist gewollt?

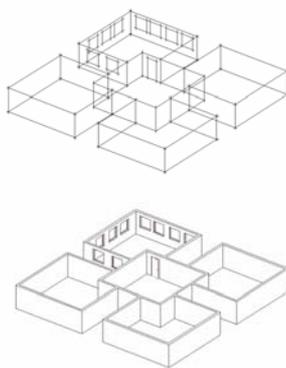
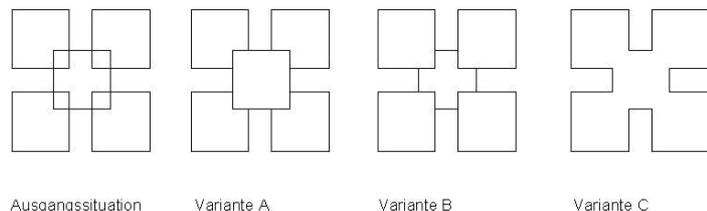


Abb. 8.24: Variante „A“ durch eindeutige Zuordnung der Raumkonturen (Klicken in den „Raum“) oben: 3D-Sketch-Vorentwurfs-View unten: 3D-Entwurfs-View

Das Beispiel Abb. 8.23 zeigt sich überlagernde Shapes, die in geschlossene Raumkonturen (Raum, Wände und Decken) überführt werden sollen. Doch sich überlagernde Rechtecke zur Aufteilung in einzelne Räume sind für den Computer nicht mehr interpretierbar. Welcher Raum bleibt? Was ist innen, was außen? Das Beispiel zeigt, wie viele Varianten (ohne deren nicht dargestellte Mischformen) das CAAD-System erkennen würde, ohne zu wissen, was der Anwender wirklich will. Hier soll der Anwender „unterstützend“ eingreifen können, indem er bereits entstandene, aber vom System nicht eindeutig erkannte Räume durch „ungefähres“ Umfahren beschreibt oder in die Flächen tippt und durch „+“ oder „-“ auch Abzugsflächen definieren kann oder eine vom System durchgerechnete Variante auswählt (Abb. 8.24).

8.3.3.2 Objekte *Wand* einzeln bestimmen

Durch die Auswahl einer oder mehrerer (Wand-)Linien kann diesen ein Wandtyp (aus dem vorgehaltenen Katalog) zugewiesen werden. Höhe und Dicke, ebenso wie die Bezugs- Ebene (angenommen 0,00), auf der die Wand aufgeht, sind mit (eigenen, oder als Büroeinstellung zugewiesenen) Erfahrungswerten vorbelegt und können jederzeit geändert bzw. ergänzt werden. Auf diese Weise kann das Problem der Unschärfe, mit der das CAAD-System (noch) nicht umgehen kann, „entschärft“ werden. [vgl. Moelle 1996, *PALLADIO* 95 „Linie zur Wand“]

8.3.3.3 Automatische Überführung „klarer“ Entwurfsskizzen

Beispiel: „Raumzuweisung“

Durch Tippen mit dem Cursor in einen skizzierten Raum (geschlossene Kontur) können, wie bei allgemeinen Grafikprogrammen üblich, mit dem „Füllen-Befehl“ geschlossene Konturen erkannt und so mit Raumstempel (Name, m², m³, Nutzflächenart etc.) versehen werden. Gleichzeitig können die umschließenden Linien als Wände und die Flächen als Decken interpretiert werden.

Beispiel: „Öffnungen“

Es ist auch denkbar, kleinere, „ungefähr“ senkrecht die Wandlinien kreuzende kurze Linien als Öffnungen (Öffnung/Fenster/Tür) und, mit zusätzlicher Mittellinie, eindeutig als Tür zu interpretieren und entsprechend als (IFC-)Objekt in das GM zu überführen. Gleiches mag für Stützen und Treppen gelten. Das bedeutet, dass zwischen Entwerfer und CAAD-System bestimmte Muster vereinbart werden, wobei die Gewohnheiten des jeweiligen Entwerfers, solche Muster zu erstellen, dem Rechner antrainiert werden sollten und nicht umgekehrt. (s. 4.7.8 ff) Was bei dieser Methode nicht in das System eingeht, ist die Semantik, die dem Entwurf durch den Entwurfsprozess mitgegeben wurde (s. unten).

8.3.3.4 Objekterkennung während des Entwurfsprozesses

Ein ganz anderer Ansatz besteht in der Methode, grafische Eingaben schon bei der Eingabe zu erkennen und in GM-

Objekte umzuwandeln. Dabei wird mit dem Wissen über einzelnen Shapes zugeordnete Inhalte umgegangen. In einem Forschungsprojekt der University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, berichtet Henri Achten: „we classified 24 conventions that are used in drawings such as ‚grid‘, ‚zone‘, ‚contour‘, and ‚axial‘ ‚system‘ [Achten 1997].

In seiner theoretischen Studie „on automated understanding of design drawings“ [Achten 2005] wird mit einem „Multi-Agent Approach“ versucht, den natürlichen Skizzivorgang zur Laufzeit, also während der Eingabe, zu interpretieren. „This can lead to design support through the natural interface of sketching.“ Dabei wird nicht die Darstellung der Grafik interpretiert, sondern versucht, die Bedeutung, die die Shapes verkörpern, aufzuspüren. „There is nothing inherently ambiguous in graphic representations. Ambiguity through multiple interpretation is what the architect does

Abb. 8.25: The decision tree:
Zur Erläuterung der Graphik: „... the path ABDGK17 is the series of questions that must be answered to determine the graphic unit. There are currently stated in natural language: A. Is it a graphic or a symbol element; B. Is it a closed shape or a set of one or more lines; D. Is it a coordinating system or not; G. Is it a zone, grid, or proportion system; and K. Is it a modular field, grid, refinement grid, tartan grid, or structural tartan grid. The leaves 1-27 are the specific graphic units.“

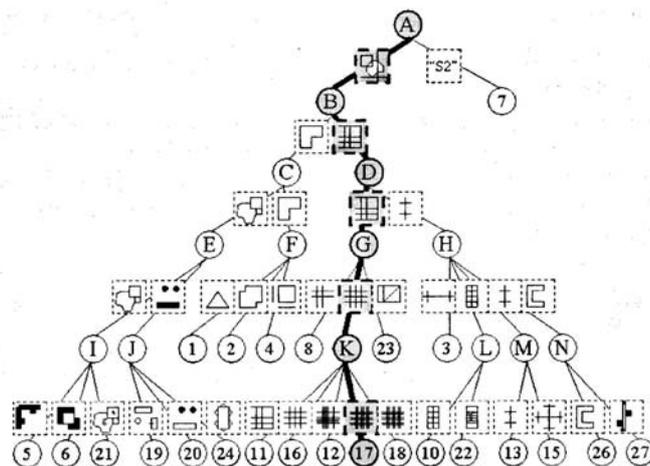


Figure 1 Decision Cluster ABDGK For Graphic Unit Tartan Grid

with the graphic representation, not the graphic representation itself.“ Zu diesem Zweck werden entsprechend den „24 classified conventions“ eigene Agenten aufgestellt: „Thus, there is a Grid-agent, Zone-agent, Circulation System-agent, Simple Contour-agent, etc.“ Das Ziel eines jeden Agenten ist es, nach den für ihn vordefinierten Kriterien die Grafik zu untersuchen, ob es sich um „sein“ Element handelt. Alle Agenten werden in einem Multiagentensystem zusammengefasst. (Abb. 4.13) Hat ein Agent seinen Grenzwert erreicht, werden die gleichzeitigen Ergebnisse der anderen Agenten damit verglichen. In einem „decision

tree“ [Achten 2000] wird entschieden, um welches Grafikelement es sich handelt. (Abb. 8.25)

Hier muss kritisch hinterfragt werden, ob der Aufwand dem Nutzen gerecht wird. Durch die hohe Anzahl „Constraints“ wird die Auswertung jeder einzelnen Aktion des skizzierenden Entwerfers durch den „decision tree“ mit zunehmender Zeichnungsdichte nur stockend zu bewerkstelligen sein, wodurch der Gedankenfluss gehemmt, wenn nicht sogar unterbrochen wird. Eine Spracheingabe (s. 8.8.14 unten) hingegen, verbunden mit den Aktionen des Entwerfers, würde das gleiche Ergebnis liefern, ohne den Verarbeitungsfluss bedeutend zu verlangsamen. Der Anwender muss praktisch nur „laut“ denken oder kommentieren, was er gemacht hat bzw. machen will. – Dennoch kann in dieser Studie ein Ansatz dazu gesehen werden, Gewohnheiten oder das unmittelbare Handeln des Anwenders zu interpretieren, um semantische Entwurfszusammenhänge zu erfassen und zusätzlich das UI zu verschlanken, wie es der Autor für künftige CAAD-Systeme fordert. (s. a. 6.5.2 und 7.4.2)

8.3.4 Unscharfe Darstellung der Entwurfsskizzen

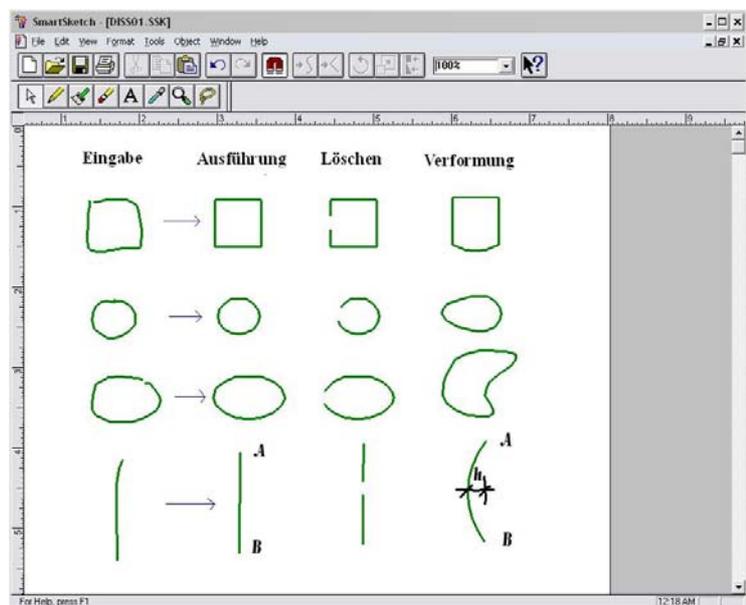
Zur Unterstützung der Kreativität des Entwerfers in den frühen Phasen soll seine unscharfe Freihandskizze (Kommunikations-View) möglichst lange während des Entwurfsprozesses erhalten bleiben. [vgl. Tang und Gero] (s. 5.10 und 6.3.2 Unscharfe Darstellung) Je nach Eingabemedium (Maus, Stift und Tablett, Tablett-PC, Digital Pen oder gescannte Bilder) kann unter verschiedenen „Stiften“ (6B-Bleistift, Buntstift, Filzstift, Feder und Pinsel) gewählt werden. Abhängig von der Hardware können drucksensitive Stifte auch den Andruck beim Zeichnen wiedergeben. Als Zeichnungsmedium kann zwischen unterschiedlichen Papiersorten (bspw. Transparentpapier, getönter Karton, Büttenpapier oder der oft zitierten „Papierserviette“) gewählt werden. (s. 8.9 unten).

8.3.4.1 Der Umgang mit dem Kommunikations-View

Diese als Kommunikations-View zu bezeichnende Sicht auf das GM kann, wie zuvor beschrieben, in Modelldaten umgewandelt werden. Dazu wird, wenn nötig, eine Pixelgrafik intern in Vektorgrafik überführt. Die so entstandenen

Shapes können dann ohne Qualitätsverlust beliebig vergrößert oder verkleinert werden (zoomen und Ausdrucke) und dabei die Datenmenge klein gehalten werden. Softwareassistenten sind in der Lage, innerhalb vordefinierter Toleranzen Kreise, Bögen, Rechtecke, Quadrate und Winkelbezüge zu deuten und in eine exakte Vektorgrafik zu überführen. Sinnvollerweise können so umgewandelte Vektoren auch als Gebäudeelemente (GEs) (s. 7.1.6) zu Objekten „erklärt“ werden, die dann als Gebäudeteile in den frühen Phasen schon direkt angesprochen werden können. – Der Anwender wird nur mit „seiner“ Handskizze konfrontiert. Er löscht Teilbereiche, als wären es Pixel, oder verändert die Formen Zupfen, Stauchen etc., als wären es Vektoren (Splines).

Abb. 8.26: Mit dem Programm SmartSketch werden (als Option) Freihandlinien automatisch in „offensichtlich“ gewollte geometrische Grundformen (Vektoren) überführt. Dennoch lassen sich die Formen mit intuitiv handhabbaren Mitteln (Radiergummi, zupfen, stutzen, schieben, drehen, kopieren, Farbe, Strichtyp und Strichdicke ändern ...) editieren.



So wird aus einer vorhandenen *Linie AB* ein *Kreisbogen AB* mit einem „gezupften“ *Stich h*. Diese scharfe Darstellung bleibt mit der Freihandskizze verknüpft, sie kann zur Kontrolle sichtbar zugeschaltet werden. So kann die Forderung von Tang und Gero nach einem Hybrid mode, der unscharfes Zeichnen (Skizzieren) ebenso wie einfache grafische Eingabeunterstützung für exakte grafische Konturen zulässt, ermöglicht werden. (Abb. 8.26)



Abb. 8.27: Semantik in Skizzen: Pfeile verweisen auf bevorzugte Sichtverbindungen, Verkehrsverbindungen oder Hinweise auf Besonnung etc. [Do und Gross 2001]

8.3.4.2 Handschriftliche Texteingabe

Das Gleiche gilt für handgeschriebenen Text. Er bleibt im Kommunikations-View erhalten, kann gleichzeitig von Texterkennungsoftware für andere Views in digitalen Text über-

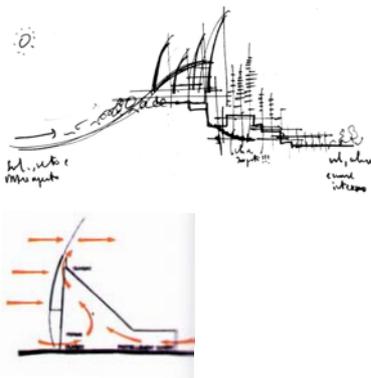


Abb. 8.28: Skizze mit Annotationen, Sonne, Windrichtung und (unten) gewollte Belüftungswirkung. Renzo Piano, Skizzen zum Kulturzentrum J. M. Tjibaou, Nouméa, 1993-98 [Piano 1997]



Abb. 8.29: A sequence of arrows in the floor plan sketch indicates places of interest and provides a guided tour to the 3D VRML scene. The bottom left arrow on the drawing (left) shows a location and view into VRML scene on the Web browser (on the right). [Do 2001^o, S. 170]



Abb. 8.30: Shape-recognition. „eingelernte“ Symbole werden als Objekte erkannt. [VR-Sketchpad, Do 2001^o, S. 164]

Abb. 8.31: System architecture of VR Sketchpad. [Do und Gross] (rechts)

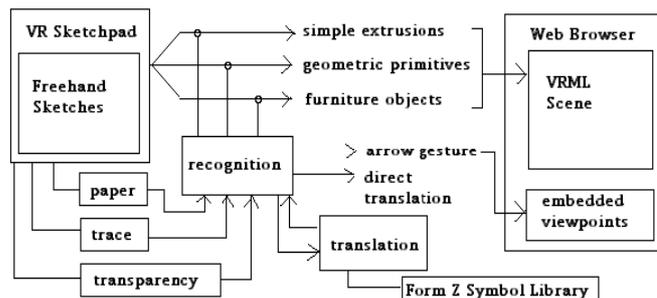
führt werden (bspw. Beschriftungen und Legenden). (Abb. 8.33)

8.3.4.3 Annotationen, Semantik in den Skizzen

Annotationen¹⁴⁷ beinhalten in der Regel semantische Aussagen in Form von Text. Annotationen können aber auch in Form von graphischen Zeichen/Symbolen (Sonne, Richtungspfeile) auftauchen, die bspw. eine implizite/verborgene Aussage, ggf. mit persönlicher Kodierung (z.B. eine bestimmte Farbe) aufweisen. Gerade in den Skizzen der frühen Phasen wird häufig davon Gebrauch gemacht (s. Shape-recognition Abb. 8.26 u. Abb. 8.30). Häufig beinhalten sie eigene Ideen und Interpretationen zum Entwurf bzw. zur Entwurfsaufgabe. Diese sollten im Kommunikations-View erhalten bleiben und vom Entwurfsassistenten als „Anweisungen“ aufgenommen und verarbeitet werden.

Das VR-Sketchpad von Do [Do 2001^o] (Abb. 8.30 und Abb. 8.31) zeigt eine Anwendung dieser Art, in der „Frei-hand“-Symbole als Objekte erkannt und in eine VR (Virtual Reality) –Darstellung überführt werden. Abb. 8.27 zeigt auch Pfeile, die besonders interessante Kamerapositionen und ihre Richtungen angeben.

Ähnlich wie in Abb. 8.29 könnten im Kommunikations-View semantische Eigenschaften aufgenommen werden und dem Entwurfsmodul (s. 8.1) zur Verfügung stehen.



8.3.4.4 Digitale Skizzen mit dem Digital Pen

Hinter „ANOTO¹⁴⁸ Digital Pen and Paper“ stehen digitale Stifte in Verbindung mit Spezialpapier (Abb. 8.33, s. a. 8.9.9) Sie könnten eine Brücke schlagen zwischen der

¹⁴⁷ Annotation (lat. anotatio) bedeutet schriftliche Bemerkung oder auch erläuternder Text zu einer bibliographischen Anzeige [vgl. Duden]

¹⁴⁸ ANOTO, siehe www.anoto.com



Abb. 8.33: Digital-Pen io² mit Bluetooth von Logitech erlaubt neben Texteingaben auch das freie Skizzieren auf unterschiedlich präparierten Papiersorten. Die „gefilmten“ Eingaben werden an den Computer übertragen und digitalisiert.



Abb. 8.32: Different States in a conversion Study (...) (Ausschnitt)
Im Gegensatz zur begrenzten Bildschirmgröße können auch groß ausgeplottete Pläne „handschriftlich“ bearbeitet und im Computer digital überlagert werden.
[vgl. Koutamanis 2005, S. 328]

analogen Skizziertechnik und deren digitaler Aufbereitung. Mit dem Digitalen Stift können analoge Texte und Skizzen digitalisiert werden, wodurch diese Technik auch für den entwerfenden Architekten interessant wird. Anwendungen erlauben, das zuvor „Gefilmte“ syntaxabhängig sequenziell abzuspeichern. Der Anwender kann in der Historie zu einer früheren Stelle im Entwurf „zurückspulen“ und für sich oder andere durch Abspielen der jeweiligen Sequenz seinen Gedankengang wieder vergegenwärtigen oder sich zu neuen spontanen Einfällen inspirieren lassen. – Skizzen lassen sich gut mit digitalen Dokumenten kombinieren (ähnlich Redline-Funktion) (s. Abb. 8.32). Offensichtlich wird das neue Medium angenommen: „To our surprise, drawers soon abandoned tracing paper in favour of using multiple copies of the same document and combining their input in the computer, (...)“. [Koutamanis 2005, S. 328]

Da Linien als Vektorgrafik und nicht in Pixeln abgespeichert werden, können diese auch in Bauteilobjekte eines GM überführt werden. Durch Spracheingabe könnte die Semantik in den Annotationen und ggf. eine Gebäudeteil-Zuweisung frühzeitig dem Computersystem übermittelt werden. – Der Digital Pen und seine Software stehen noch am Anfang ihrer Entwicklung. Zurzeit sind die Stifte in erster Linie für Texte ausgelegt. Weitere Entwicklungen sowohl in der Haptik (Bleistiftmine, schlankere Stifte) als auch Speicherfähigkeit längerer Sequenzen sind wünschenswert.

8.3.5 Versionsmanager



Abb. 8.34: 24h Web-interface zeigt, wie auch Aktionen eines Entwurfsprozesses „festgehalten“ werden könnten (vgl. Entwurfsmodul 8.1)
[Bild: Kuhmann/Schmitt]

Während der Entwurfsphase ist ein Zurückgreifen auf vorherige Planungsstände erwünscht (Iteration), um von einer Situation eine neue Variante zu verfolgen. Diese kann sich auf nur ein bestimmtes Gebäudeelement (GE) beziehen, während andere, schon weiter entwickelte GEs im aktuellen Stadium verbleiben sollen. So wie man bei DTP einen Textbaustein an einer bestimmten Stelle einfügt oder ihn verändert, ohne das gesamte Dokument neu formulieren zu müssen. Dazu soll ein Versionsmanager unterschiedliche Stadien oder auch Varianten eines Entwurfelements (GE) festhalten können. Sie können am Bildschirmrand ähnlich einem Filmmontageboard angeordnet werden. (vgl. auch Digital Pen) So kann später immer wieder auf vorhergehende Versionen zurückgegriffen werden. Da GEs aus

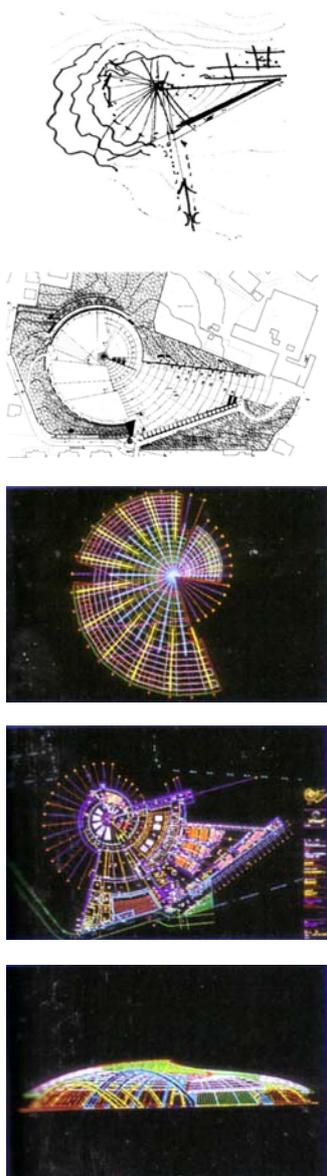


Abb. 8.35: Renzo Piano, Wallfahrtskirche Padre Pio, San Giovanni Rotondo (1991-2004)

oben: Handskizze und Lageplan
darunter: Computergrafiken, der Grundriss und Längsschnitt.
[Piano 1997]

Regelbasiertes Entwerfen, Fibonacci in der heutigen Zeit, ein GM würde erhebliche Erleichterung beim Entwurf und der weiteren Verarbeitung bringen, wenn Räume/Wände/Fassaden mit dem Raster verknüpft werden können.

semantischen Bauteilobjekten bestehen, passen sich diese an eine neue veränderte Version wieder an.

8.3.6 Architekturregeln

Ein objektorientiertes CAAD-System kann neben Bauteilobjekten auch über Gestaltobjekte verfügen, die ihre Bedeutung in der Architektur kennen. Ein Gestalt-Assistent kann nach entsprechenden Regeln den Architekten unterstützen. [vgl. Choo 2004] (s. a. 8.4.11.2)

Gestaltregeln können dem Assistenten aufgetragen werden, indem zu Beginn einer Entwurfsaufgabe vergleichende Projekte, denen Gestaltungsregeln mitgegeben wurden, übernommen werden sollen. Beim Schulbau gibt es bspw. Erfahrungen über ein bestimmtes Raster, welches man für Klassenräume unterlegt. Will der Entwerfer Proportionen dreidimensional anwenden, ergeben sich aus dem Grundrissraster feste Regeln für die dritte Dimension (vgl. Palladio).

8.3.6.1 Entwurfsregeln

Entwurfsregeln können sich auf die Funktion, die Konstruktion oder auch auf die Gestalt eines Entwurfes auswirken. Vergleichsweise gegliedert wie das View-System, sollen vom Anwender(büro) Entwurfsregeln selbst definiert werden können. Bspw. dass Öffnungen (Fenster/Türen) von der (Raum)Ecke nie ein bestimmtes oder ein Mindestmaß unterschreiten dürfen.

8.3.6.2 Gestaltregeln

Proportionen, Rhythmus, Reihung, Symmetrie ... dahinter sind Regeln verborgen, die als Gestaltobjekte dem Entwerfer unterstützend angeboten werden können. (s. Abb. 8.35)

In der Anwendung könnten sich die Baukörper in einer ersten Skizze durch den Gestalt-Assistenten auf die gewünschten Proportionen ausrichten, womit der Entwurf an „Schärfe“ gewinnt. Bei Veränderungen der Geometrie würde der Cursor vorzugsweise in dem einmal gewählten Raster/Proportionsverhältnis springen.

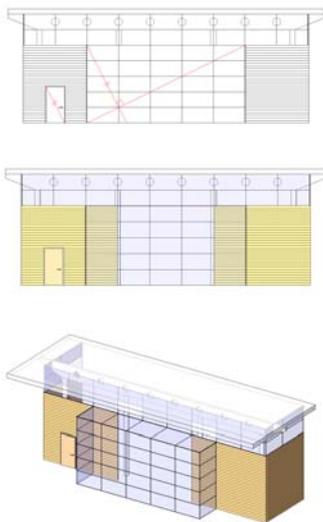


Abb. 8.36: Vorentwurf mit GM-basiertem CAAD auf Basis eines Rasters mit der Proportion von 1:2. Vorentwurfs-View: Ansichten und Isometrie

Es werden immer Teilungen oder ein Vielfaches des „Moduls“ beim Entwerfen angeboten. Die Bauteil-Objekte sind mit dem Raster-Objekt verknüpft. Die Beschreibung des Entwurfs ist von der Grafik getrennt (bspw. die Regel: der Glasvorbau soll bei liegendem Format je 5 Einheiten in die Breite wie in die Höhe betragen). Durch Verändern der Proportion auf bspw. 2:3 kann so selbstständig eine neue Variante gebildet werden.

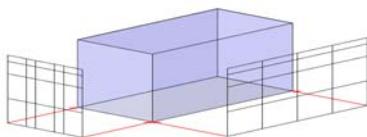


Abb. 8.37: Orthogonalraster wird auf einen Korpus projiziert. Die Raster-einteilung entspricht gewünschten Proportionsverhältnissen. Das Raster-Modul-Maß kann jederzeit als Variable geändert werden. Es gibt zwei Möglichkeiten, entweder der (unscharf) skizzierte (Bau)Körper richtet sich am Raster mit dem gewünschten Modulmaß aus oder das Raster bezieht sich auf die Seitenflächen des (scharf definierten) Baukörpers, und das Modulmaß errechnet sich selbstständig.

Nach der Top-Down-Methode würde der Assistent einen Baukörper oder eine Fassade bspw. nach einer harmonischen Teilung gliedern.

8.3.6.3 Proportionen

Bspw. die Festlegung auf ein Fassadenraster (Proportion 1:2 und eine Moduleinheit 0,60), das bei Veränderungen in die eine oder andere Richtung seine Proportionen und Rastermaße beibehalten soll (Abb. 8.36). Oder umgekehrt kann die Anweisung lauten: Teile eine vorhandene Fläche ABCD im Verhältnis 1:2 in jeweils 5 Felder (4 Sprossen / Stützen) für Fassaden, Fenster etc., wobei sich das Modulmaß ergibt.

8.3.6.4 Raster

Raster werden häufig als Grundlage (Unterlage) zu Beginn eines Entwurfes verwendet. Dabei bietet sich für die Entwurfsaufgabe meist ein bestimmtes Raster (Büroraster, Schulbauraster, Parkraster etc.) an. Vornehmlich wird dabei nach der Bottom-Up-Methode vorgegangen. Vorstellbar ist aber auch die Top-Down-Methode, mit welcher der Entwerfende eine bestimmte (Raster)Teilung eines bereits entworfenen Grundkörpers oder Fassade (Abb. 8.37) erreichen will.

Beispiel:

Gliederung eines Baukörpers einer vorgegebenen Breite X und Höhe Y (in diesem Fall dargestellt an der Fassade) in horizontal 5 „Felder“ im Rhythmus von 16/8/16/8/16 Rastereinheiten und vertikal in 3 Felder im Rhythmus 16/16/12 Rastereinheiten.

Diese gewünschte Aufteilung würde sich auf das Gebäudeelement (3D-Baukörper) oder nur auf eine Ebene (Fassade, Boden etc.) auswirken. Eine Unterteilung des Rasters in Stütz-Ausbau-Feinraster kann global oder in nur einzelnen „Feldern“ in beide Richtungen horizontal und/oder vertikal aktiviert werden.

8.3.6.5 Farbharmonien

Das Gebiet der Farbenlehren ist sehr umfangreich, spielt aber in den frühen Phasen eine eher untergeordnete Rolle. Dennoch soll es nicht unerwähnt bleiben, wenngleich seine

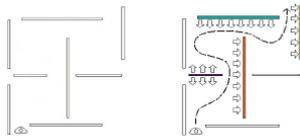


Abb. 8.38: Farbpsychologie: Farbschema und Farbwirkung, hier angewandt bei der gezielten Besucherführung durch Farbauswahl nach dem gewünschten Farbeffekt. [Choo 2005]

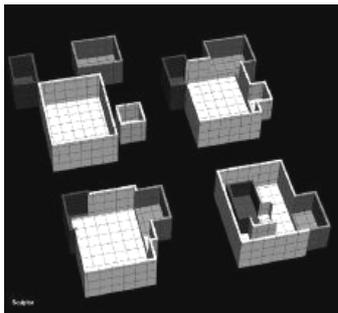
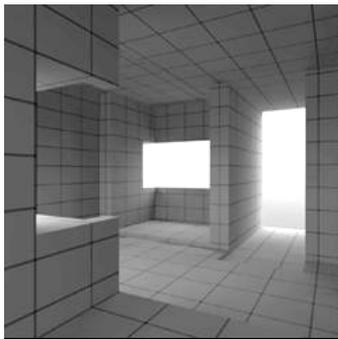


Abb. 8.39: Sculptor, Rooms inside Rooms. Ein architekturbezogener Modeller der ETH Zürich, Modellieren mit komplexen Räumen (ohne mit Zahlen zu operieren), Vor- und Rücksprünge in allen Ebenen intuitiv möglich (nur orthogonal). [Bild oben, Florian Wenz, s. Kurmann 1998]

Komplexität den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. – Die Farbenlehren von Goethe, Itten, Renner, um nur einige zu nennen, können den Entwerfer bei der Wahl der Farben für unterschiedliche Zielsetzungen als Assistenten (Harmonie, Kontrast, Raumwirkungen etc.) unterstützen.

8.3.7 Arbeiten mit 3D-Grundkörpern

Das Arbeiten mit Quadern, Pyramiden, Kugeln bis hin zu Freiformflächen wird heute bestens von Volumenmodellern (bspw. Rhino) unterstützt. Diese Programme sind i. d. R. nicht für Architektur ausgelegt und beinhalten daher keine Objektdaten (IFC). – Nachdem immer mehr Architekten sich dieser Mittel bedienen wollen, sollte nachgedacht werden, ob nicht die IFC-Bauteile um ein Objekt „Hülle“ (Außenhaut) ergänzt werden können, das zunächst wenigstens die Grundkörper und deren Manipulationen zulässt. So könnte die Top-Down-Methode mit Gestaltregeln (Proportionen/Teilungen) beim Umgang mit den einzelnen Grundkörpern von einem Entwurfsmodul unterstützend angewandt werden. Wände, Decken, Stützen etc. könnten sich bei Manipulationen an die „Außenhaut“ anpassen. (vgl. Sculptor, Abb. 8.39)

8.3.8 Generatoren für Routinearbeiten

Die automatische Generierung von Grundrissen wird seit langem erforscht, erste Softwarelösungen basierend auf Funktionsschemata sind verfügbar, aber nicht voll dreidimensional in ein GM integriert (vgl. ALBERTI 8.7). Neben obiger Methode werden auch Entwurfsautomaten entwickelt, die nach Formengrammatiken operieren. Dabei werden Parallelen der Architektursprache zur gesprochenen Sprache gesucht. Wörter (architektonische Grundelemente) haben eine Bedeutung (Semantik) und können in einem Satz (Gebäude) nach festen Regeln miteinander in Beziehung gesetzt werden (Syntax). (vgl. LOOS, das rechtwinklige Grundrisse, Küchenplanung und Erschließungskerne von Hochhäusern nach festgelegten Regeln generiert (s. 5.3, Abb. 5.3) [Flemming 1990]

Eine Weiterentwicklung stellt GENESIS dar, welches Möglichkeiten dreidimensionaler Modelle aufgrund benutzer-

definierter Regeln erstellt. Der Anwender kann interaktiv bestimmen, welche Regeln angewandt werden sollen. (vgl. Queen Anne Houses, s. 5.3.2) [Flemming 1994]

8.3.9 Shapegrammars am Beispiel von Wachstumsgeneratoren

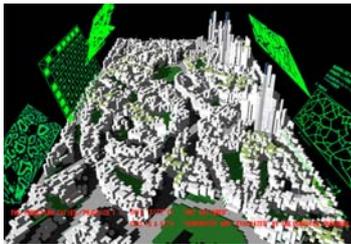


Abb. 8.40: Makoto Sei Watanabe: „The induction cities ...“
This „city“ is „not designed“, this is a city „generated“ and „evaluated“ by the computer programs.

Shapegrammars (s. a. 5.3) können den Entwerfer unterstützen. Unter dem Begriff Cellular Automata (CA) werden generative Methoden angewendet, die nach dem Bottom-Up-Prinzip Entwurfsstrukturen erzeugen. „As a generative design strategy, CA are typically chosen for tasks that involve simple constraints operating on large numbers of elements, where differentiation and variety are sought.“ [Watanabe 2002] (Abb. 8.40 u. Abb. 8.41)

Watanabe sieht den Computer als ein „Thinking-support Tool“.

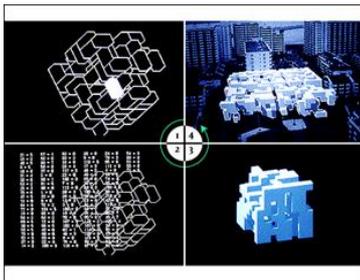


Abb. 8.41: „The City of the Sun God“
Computer combines units at random and sends sunlight to each. This process is repeated automatically until all the units are arranged.

One of our other objectives is to make the most of the computer as an aid to the thinking process. (...) They [computers] can be used not only to rationalize and make more efficient the tasks we used to do completely by hand, but to accomplish things only a computer can do. Like enhancing the quality of architectural-design involvement in the city. In that pursuit we sought to develop a ‚thinking-support‘ program. What is presented here are first-stage models of this program concept. They are: (1) life-simulation of an entity of diverse elements through the combination of simple, partial codes, and (2) mental simulation that visualizes abstract concepts and situations and promotes intuitive understanding. Both are significant for meaning on the abstract level and for their potential as application tools. This study presents not specific results but new methodologies. [Watanabe 2002]

In ihrem Forschungsprojekt „Using Cellular Automata to Generate High-Density Building Form“ wird von Christiane M. Herr und Thomas Kvan (The University of Hong Kong) an einem existierenden Beispiel aktueller Architektur nachgewiesen, dass mit CA ähnliche, aber auch vielfältigere Varianten des Entwurfs „generiert“ werden können.

„CA offer an effective generative method where architectural projects involve some degree of repetition amongst larger numbers of formal elements. (...) Particularly in the context of Asian high-density architecture, generative CA systems can offer design solutions to large-scale developments and simultaneously meet demands for high speed and efficiency in the design process.“ [Herr et al. 2005]

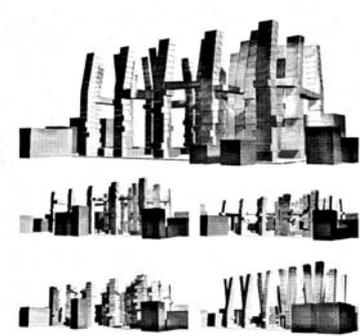


Figure 5 Alternative cellular automata-generated versions of Cero9's design

Abb. 8.42: Mit CA-Modell automatisch generierte Architekturen auf Basis der Regeln von Cero9

Die Autoren verwenden ein CA-Modell, das nach Entwurfsregeln „Architektur“ generiert. Entscheidend bei ihrem Modell ist die Möglichkeit, die implementierten Regeln (das

Verhalten der Cells untereinander) während des Entwurfsprozesses durch den Anwender an besondere Gegebenheiten anpassen zu können, um so die Architektur zu beeinflussen. „To accommodate flexible cell geometries and changing behaviours during the design process, cell neighbourhoods are identified dynamically, depending on the cells and functions in operation.“

Die Abbildung Abb. 8.43 zeigt das Projekt von Cero9, wie es „konventionell“ mit CAAD entwickelt wurde, und Abb. 8.42 zeigt das „nachgebaute“ Ergebnis des nach den Regeln der Architekten „automatisch“ generierten CA-Modells. „To remodel Cero9’s design in a generic way, aspects and stages in the design dealing with quantifiable constraints were first identified according to Cero9’s own description.“



Figure 3 High-density architecture for Aomori/Japan by Cero9

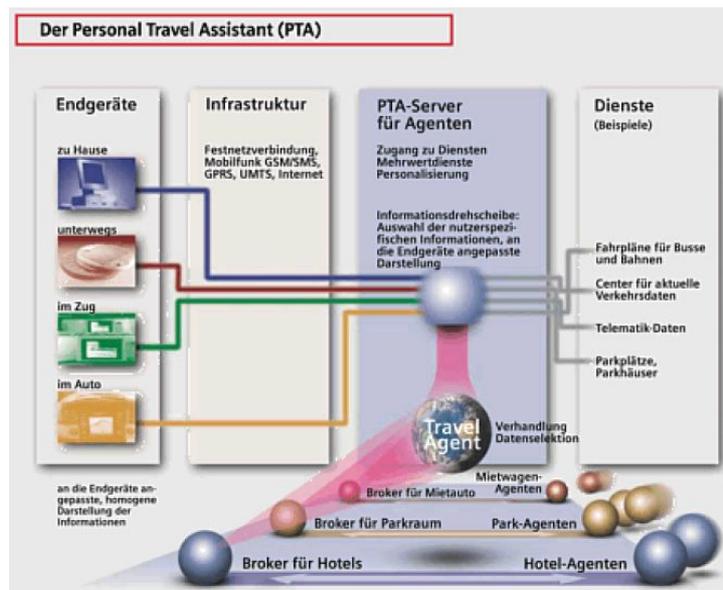
Abb. 8.43: High-density architecture for Aomori/Japan by Cero9.
[Dias Moreno and Gracia Grida 2004]

In ihrer Zusammenfassung kommen Herr und Kvan zu dem Ergebnis, dass das von ihnen vorgestellte CA-System „... has effectively allowed geometric variation and might offer a general alternative to CA-based form finding using high-resolution systems at high computational efficiency.“

8.4 Softwareassistenten unterstützen den Entwerfer

Assistenten sind kleinere oder auch umfangreichere Softwarelösungen, die die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Programm(teil)en bewerkstelligen. Denkbare einzelne Assistenten sind u. a.:

Abb. 8.44: Beispiel eines Planungsassistenten für Reiseunterstützung: Der Personal Travel Assistent (PTA), Siemens. Das PTA ist eine elektronische Reiseunterstützung, die auf einem Multiagentensystem beruht. Über die verschiedensten Agenten und Dienste werden Transportmedien, aktuelle Verkehrs-, Hotel- und Parkplatzinformationen so gekoppelt, dass der Kunde auf dem besten Weg an sein Ziel kommt.



8.4.1 Der Planungsassistent bildet die Plattform

Der Planungsassistent ist die Plattform für das Multiagentensystem. Er liefert, koordiniert und verwaltet die einzelnen „Assistenten“ (auch Agenten genannt). Eine Plattform für den gesamten Baukomplex ist aber wesentlich komplexer als das PTA-Beispiel von Siemens (Abb. 8.44). Eine erste Lösung könnte sich auf die Entwurfsplanung beschränken.

8.4.2 Der Verwaltungsassistent

Der Verwaltungsassistent dient zur Aufnahme und Verwaltung aller mit einer Bauaufgabe anfallenden Daten, Adressen, Planlisten, Terminpläne, Aktennotizen etc. Als Navigationssystem führt und begleitet er den Anwender durch das ganze Projekt. Der Start eines neuen Projektes könnte so erfolgen:

Eine Checkliste kann per Sprachausgabe/-eingabe zwischen dem Assistenten/Avatar „Verwalter“ und dem Anwender oder durch Listen am Bildschirm erfolgen. Es brauchen nicht alle Fragen zu Beginn beantwortet zu werden. Allerdings kann umso mehr Unterstützung vom Assistenten „herbeigeschafft“ werden, je mehr und je früher die Fragen beantwortet (oder geändert und ergänzt) werden.



Abb. 8.45: Der Assistent (VW) blendet den Bebauungsplan ein, der Anwender kann den Auftragsumfang „markieren“. Damit erübrigen sich weitere Fragen, da dem VW die Daten „vorliegen“. Erst wenn es Abweichungen gibt, ist der AW gefordert, diese explizit einzugeben.

Beispieldialog:

Verwalter (VW): Wie heißt der Bauherr?

Anwender (AW): Stadt München > der VW „scannt“ sofort die Listen der verschiedenen Referate der „Stadt München“ durch und listet die Referate zur Auswahl (anklicken) am Bildschirm auf.

VW: Welches Referat ist zuständig?

AW: Referat für Stadtplanung und Bauordnung > der VW „kennt“ (nachdem er sich legitimiert hat) inzwischen alle laufenden (Groß-)Projekte und deren Ansprechpartner; die entsprechende Liste wird wieder eingeblendet.

VW: Gehört der Auftrag zu einem Großprojekt? Wenn ja, zu welchem? > die Liste wird eingeblendet, am Ende die Möglichkeit, auch „Nein“ anzuklicken.

AW: Projekt Theresienhöhe > der VW kennt jetzt alle dazugehörigen Daten wie: Projekt der „Integrierten Stadtentwicklung“ mit Schwerpunkt „Wohnen“. Er kennt den Bebauungsplan, die Anschriften für Postversand, Besuchszeiten, Sachbearbeiter, Telefonnummern, E-Mail-Adressen etc. Zur Korrekturmöglichkeit werden die Daten eingeblendet.

usw.

Dieses Beispiel macht besonders deutlich, wie viele Fakten der Assistent „allein“ zusammentragen kann, die allein der „Grundlagenermittlung“ (HOAI) entsprechen. Neben den handelnden Personen können Vorgaben im Bebauungsplan (Satzungen, wie Farben, Dachformen etc.), ggf. bis hin zu Raumprogramm (Mix der Wohnungsgrößen etc.), aber auch Termine, Kostenrahmen etc. bekannt sein.

Der Verwaltungsassistent kann mit diesen Kenntnissen das gesamte Projekt „anlegen“ und Anfragen anderer Assistenten beantworten (Raumprogramm, eigene oder fremde vergleichbare Projekte, Termine, Kosten etc.)

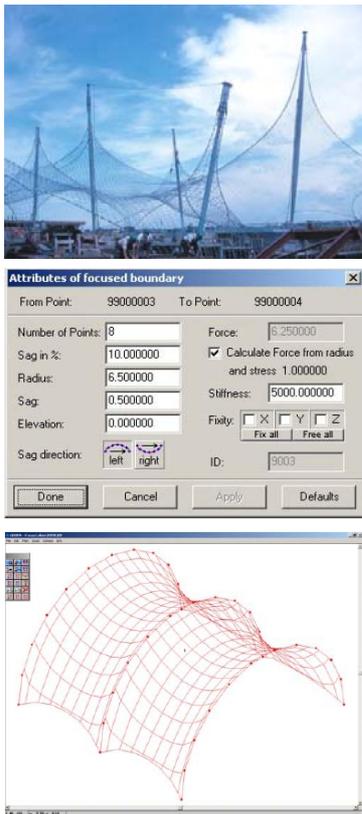


Abb. 8.46: Formfindung bei Flächen-tragwerken: Bogenkonstruktionen mit „EASY“

oben: Dt. Pavillon Weltausstellung Montreal 1967, Frei Otto, Atelier Warmbronn
 mitte: Eingabemaske „EASY“, Bogenkonstruktion
 unten: Ergebnis [Barthel 2004]

8.4.3 Formfindungsassistent

Ein Formfindungsassistent unterstützt den Entwerfer in den frühen Phasen des Entwurfs (Abb. 8.46). Neue Objekte, die sich hier bilden, sollten als Bauteilobjekte behandelt

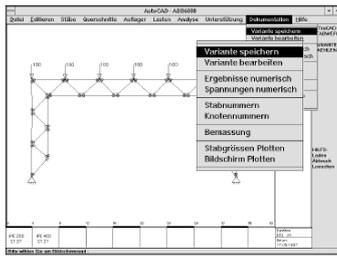


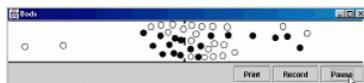
Abb. 8.47: Entwurfsvariante einer Tragwerkskonstruktion. „Die Arbeit mit ExTraCAD gibt dem Architekten ein Gefühl für die eigene Kompetenz, da er alle Varianten einer Tragkonstruktion selbst untersuchen kann und nicht auf fremde Hilfe angewiesen ist.“ [Rottke 1998]



Narrow doorway: Direction of pedestrian flow oscillates as the number of pedestrians on each side changes.



Wide doorway: Direction of pedestrian flow oscillates more quickly than for narrow doorway.



Double doorway: Doorways become specialised in a direction of flow. Specialisation can change over time.

Abb. 8.48: Self-Organising Pedestrian Behaviour.

Simulation von Passanten an verschiedenen Tür-Situationen. [Saunders und Gero 2001]

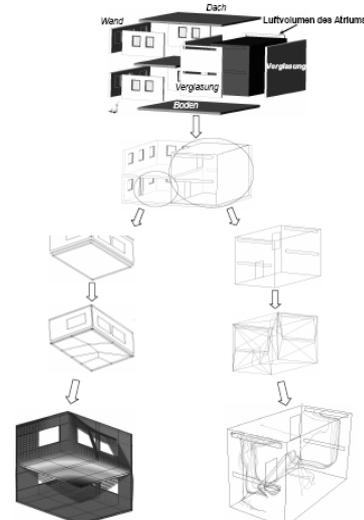


Abb. 8.49: Strukturanalyse und Simulation von Raumluftströmungen auf Basis eines gemeinsamen Bauwerksmodells [IFC] [Romberg et al.]

werden können. Ist das nicht möglich, muss ein CAAD-System die Grafik explizit verwalten können.

8.4.4 Unterstützung des Tragwerksentwurfs

Mit dem Prototyp ExTraCAD wird der Versuch unternommen, Architekten frühzeitig bei der Tragwerksplanung zu „beraten“. Auch wenn diese Beratung den Tragwerksplaner nicht ersetzen kann/soll, so kann das Programm doch frühzeitig erste Vorschläge unterbreiten. „ExTraCAD bietet Architekten und Architektinnen eine passive Entwurfsunterstützung durch Bereitstellung von Expertenwissen auf dem Gebiet der Tragkonstruktionen. Die aktiven Aufgabenbereiche des Entwurfsprozesses (Ideenfindung, Bewertung der Idee und Entscheidung über den weiteren Entwurfsverlauf) bleiben dem Architekten überlassen.“ [Rottke 1998]

8.4.5 Raumbucherfassungsassistent

Er unterstützt den Bauherrn/Architekten bei der Erstellung der räumlichen/baulichen Anforderungen.

Bedarfslisten werden aufgestellt um bspw. Fünfjahrespläne durchzuspielen: Was wäre wenn? Wie ist der Bedarf, wenn wir jedes Jahr um 10 % wachsen/schrumpfen wollen? Oder: Wie ist der (Raum-)Bedarf in bspw. 10 Jahren, wenn sich in der Ergonomie grundlegend etwas ändert? (siehe Flachbildschirme gegenüber 20“-Röhrenbildschirmen) – Das Raumprogramm wird durch Nebenflächen wie Flure, Toiletten, Archive etc. ergänzt. Die alphanumerischen Daten (Excelsheet) werden in Form von Bubbles, maßstäblichen Rechtecken in grafische Objekte überführt (s. 8.7).

8.4.6 Verhaltensassistent

Wie verhalten sich Passanten? Hält meine gewählte Grundrissform einem größeren Andrang (Paniksituation) stand? Wie kann ich meinen Entwurf dahingehend positiv verbessern? Ein Beispiel aus der Forschung zeigt, wie sich



Abb. 8.50: Reichstag, Berlin: Akustikberechnungen für Beschallungssysteme und Reflektogramme.
[Software Ulysses© Fa. IFB consulting
www.ifbcon.de]



Abb. 8.51: Susanne Gross, Pfarrkirche St. Maria Magdalena, Freiburg-Rieselfeld (2004)

Orthogonale Entwürfe lassen sich leichter erstellen (konstruieren) als deren deformierte Endergebnisse. Bei zugrundeliegendem GM würden Deformationen mit allen Konsequenzen (nicht nur bezogen auf die Außenhülle) nachgeführt. Assistenten könnten die neue Situation bezüglich Statik, Beheizung, Belichtung/Belüftung, Akustik etc. „nachjustieren“, indem sie dem Entwerfer entsprechende Hinweise und Vorschläge unterbreiten.

Passanten verhalten bei einer engen, breiten oder einer Zweitürlösung (Abb. 8.48). [Sanders und Gero 2001¹⁴⁹]

8.4.7 Strömungsassistent zur thermischen Gebäudesimulation

Abb. 8.49 „zeigt Stromlinien der turbulenten Strömung, die an einer Öffnung injiziert werden.“ Dieses Forschungsprojekt¹⁵⁰ der TUM arbeitet auf Basis der IFC. In der Zusammenfassung heißt es:

In diesem Beitrag wurde gezeigt, dass das Bauwerksmodell als gemeinsame Basis für verschiedene numerische Simulationen eingesetzt werden kann. Dabei spielt das Datenformat beim Austausch von Gebäudeinformationen zwischen CAD-Systemen und nachgeordneten Berechnungstools eine wichtige Rolle. Die IFC der IAI ist ein hoffnungsvoller Schritt zur Lösung dieser Problematik. Die Trennung von Geometrie und Daten spielt bei diesem Ansatz ebenso eine zentrale Rolle. Damit kann zur Verwaltung und Bearbeitung das jeweils beste Werkzeug (Geometriekern, Datenbank) eingesetzt werden. Weiterhin lässt sich das interne Datenschema zur Unterstützung weiterer Simulationsverfahren einfach erweitern. [Romberg et al. 2003]

8.4.8 Akustikassistent

Startet Zusatzprogramme für akustische Berechnungen und Simulationen zur Auslegung von Beschallungssystemen. Programme dieser Art nutzen ein 3D-Modell und stellen mit ihren Berechnungen akustische Reflektogramme (Energie/-Zeit-Diagramme) zur Verfügung. Siehe (Abb. 8.50)

8.4.9 Der Historienassistent

Um den ständigen Wechsel in den unterschiedlichen Views auf seinen Entwurf im semantischen Einklang der vom Anwender getroffenen Aktion zu ermöglichen, braucht das Entwurfsmodul neben den drei geometrischen Achsen (x, y, z) weitere gleichwertige „Achsen“, neben dem Entstehungszeitpunkt auch die erstellende Person (für Teamarbeit) so-

¹⁴⁹ Diese Beispiele sind als Simulationen (AVI-Files) auch im Internet zu sehen: <http://www.arch.usyd.edu.au/~rob/publications/thesis/doorways/index.html>

¹⁵⁰ Das Forschungsprojekt wird finanziell unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“ (<http://www.dfg.de>) und von der Bayerischen Forschungstiftung (<http://www.forschungstiftung.de>).



Abb. 8.52: Calatrava, TorsoBrygga, Malmö. Entwurfsunterstützung durch zukünftige GM-basierte CAAD-Systeme denkbar.

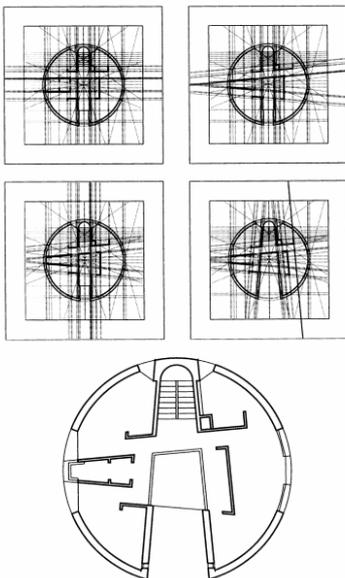
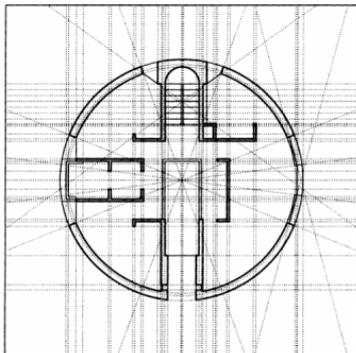


Abb. 8.53: „Pencil“ (regulating) lines and „inked“ line segments. An interpretation of Botto's Casa Rotunda based on regular lines and their geometric relationships. Geometric shapes and relations are abstracted and translated into a relational drawing. New designs can be created by applying the transformations of translation and rotation.

wie den Aspekt, bspw. Hülle, Treppe, Rampe, Lift, Fassade, Dächer/Decken, Erschließungskerne usw. (s.a. 8.1) Der Historienassistent protokolliert im Hintergrund, *wann was und warum* gemacht wurde. So kann das Projekt wie ein Film zurückgespult und an einer bestimmten Weichenstellung angehalten und von dort gänzlich neuinterpretiert und mit historisch „später“ geplanten Komponenten neu arrangiert werden. (s. Rittel unter 3.3.5.2, s. 8.1.2 oben)

8.4.10 Entwurfskonzepte

Organisationsdiagramme

- Funktionsplan
- Prioritäten
- Schilderung des Funktionsablaufs
- Durchführungsgedanken

8.4.11 Entwurfsassistent(en)

Entwurfsassistenten können verschiedene Aufgaben unterstützen, besonders wenn sie die Semantik des Entwurfsgedankens kennen und die (Bauteil-)Objekte des GM nutzen.

8.4.11.1 Transformationen

Es ist leichter, bestehende Strukturen (Grundrisse, 3D-Modelle) zu variieren, als sie jeweils neu zu „entwerfen“ (entwickeln). Auch kann bspw. ein zunächst orthogonal entworfenes und konstruiertes Gebäude leichter eingegeben und später „verformt“ werden. Beispiele sind Gehrys Zollhafen in Düsseldorf, aber auch Calatravas Hochhaus „Drehender Torso“ in Malmö (Abb. 8.52) oder die Kirche in Freiburg von Susanne Gross (Abb. 8.51).

Vgl. Mitchell (s. 5.3.5, Translationen): „Composition often becomes a game of translating and rotating shapes to vary their spatial relations.“ Translationen von 2D-Grundrissen in der Entwurfsphase, wie es William Mitchell am Beispiel von Albrecht Dürer aufzeigt, lassen sich mit semantischen GM vornehmen. (s. Abb. 5.26)

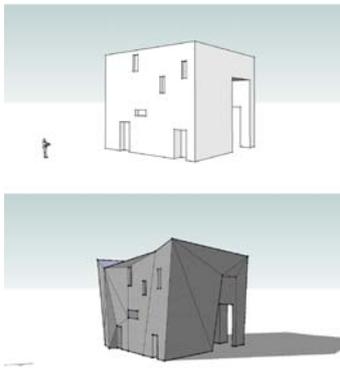


Abb. 8.54: Translationen von einem orthogonal erstellten Gebäude. Bei Verwendung eines hinterlegten GM würden alle Bauteile darauf reagieren. [Beispiel mit Sketchup von Google erstellt]

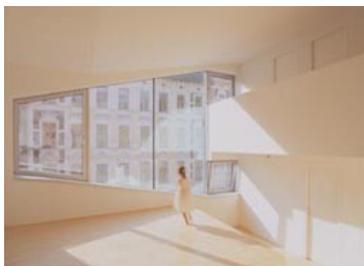


Abb. 8.55: Architekten BKK-3 Wien, Fassade MISS Sargfabrik, „Wohnen und Leben im 21. Jahrhundert“. Beispiel für einen „nachträglich“ transformierten Baukörper. Diese neue Fassade eines bestehenden Gebäudes mit ursprünglich orthogonaler Fassadengestaltung hat auch Auswirkungen auf die Innenräume. Aufgaben dieser Art „könnten“ mit einem GM-basierten CAAD-System entsprechend verzerrt werden, wobei die Veränderungen sich bei den inneren Strukturen fortsetzen würden.

Heutige CAAD-Systeme mit einem GM können Ähnliches leisten, im besten Fall bleiben sie dabei nicht auf den zwei-dimensionalen „Raum“ begrenzt, sondern können Manipulationen auf den gesamten Inhalt (3D-Modell) anwenden. Dazu wird Flächen (Grundrissflächen der Räume, Fassaden, Öffnungen), Bauteilen (Wände, durchgängige Decken, Dächer, Treppen usw.), Gebäudeelementen (GE) (gesamte Hülle, einzelne Erschließungseinheiten, Anbauten, Bauteile etc.) ein (sichtbares) Planungsraster hinterlegt, mit dem die Teile semantisch verknüpft sind. Alle Teile haben jedes für sich ihre eigene(n) Achse(n) (Systemachsen), mit deren Hilfe Transformationen möglich sind. Die einzelnen (Bauteil-) Objekte passen sich mit ihrer semantisch innewohnenden Intelligenz an die neue Situation an. (vgl. ansatzweise auch GIDA von Do und Gross unter 8.3.2)

Die Möglichkeiten eines solchen Rastersystems zur Entwurfsunterstützung bietet sich an. Erst recht, wenn Rastersysteme miteinander verknüpft werden, sind sie sehr mächtig, aber auch komplex. Der Entwurfsarchitekt muss unbedingt durch eine intuitive Bedieneroberfläche geführt werden, da er sonst Gefahr läuft, seinen gedanklichen (Entwurfs-)Faden (7-Memory-Regel) wegen technischer Handhabungsprobleme zu verlieren.

Grundrisse, deren Konstruktion (Wände, Stützen, Fassaden etc.) mit einem Achsraster verknüpft sind, können beliebig transformiert werden.

Einen Ansatz eines solchen Entwurfsassistenten (nur zwei-dimensional) stellt der Prototyp ReDRAW (Relational DRAWing) von Branko Kolarevic der Universität Hongkong dar. (s. Abb. 8.53) [Kolarevic 1997]

Die „inked“ lines der Bauteilkonturen werden mit „Pencil“ lines nachgezogen und bis zu einer äußeren Umgrenzung verlängert. Ebenso wird mit Diagonalen zur Überprüfung von Proportionen verfahren. Diese „regulating lines“ genannten Linien müssen nicht linear sein, sondern können auch gekrümmte Formen annehmen. Nachfolgende Beispiele sind dem Beitrag Kolarevic entnommen. Er sieht ReDRAW als ein design „tool“, als einen aktiven Assistenten im Entwurfsprozess. „A computer based design ‚assistant‘ can record and maintain once established relationships, recognize the emergent ones, and compute the

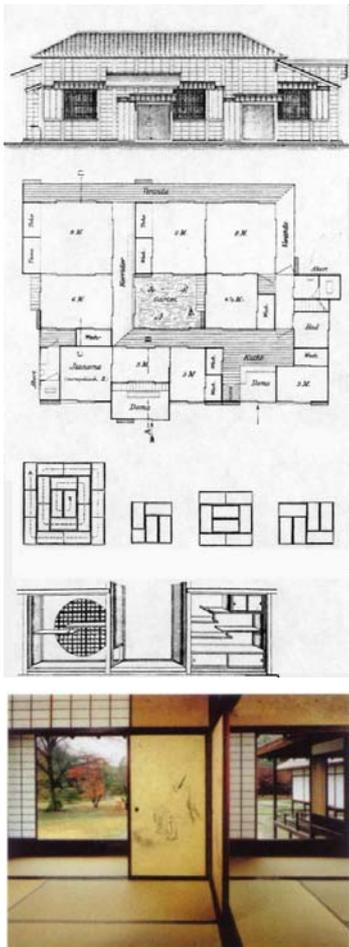


Abb. 8.56: Die Tatamimatte als Proportion und Bezugsgröße für einen Raum (18 Mattenraum, 4½ Mattenraum, 8 Mattenraum etc.) [Balzer 1903]
 unten: japanischer Holzbau, Katsurapalast in Kyoto, 17. Jahrhundert [Herzog 2002]



Abb. 8.57: Fassadenausschnitt des Verwaltungsgebäudes Deutsche Messe AG Hannover, Herzog + Partner 1997-1999. Spiel mit Proportionen und Rastern. [Herzog 2002]

consequences of design transformations while preserving the semantic integrity of the drawing."

Das Programm baut auf „herkömmlichen“ 2D-Zeichnungen auf, ist also rein 2D-orientiert und nutzt nicht die Möglichkeiten heutiger Gebäudemodelle.

Modelldaten heutiger CAAD-Systeme erlauben den direkten Zugriff auf die Objekte. Da die Objekte ihre semantischen Zusammenhänge kennen, ist eine Transformation leichter programmierbar und darüber hinaus auch in 3D möglich. So könnten bspw. einzelne oder auch geschossübergreifende Wände und Fassaden auch in der Vertikalen transformiert werden. Anschlüsse wie Decken, Unterzüge, Stützen, Öffnungen usw. würden sich dem neuen Kontext anpassen.

8.4.11.2 Musik, Proportionen – Gestaltregeln

Teile eine gegebene Strecke in „gerade“ Teile (Vitruv) oder: Wie lang muss die Strecke genau sein, damit eine bestimmte Teilung aufgeht, wenn bspw. ein 80-cm-Raster beibehalten werden soll? Welche Höhen bieten sich nach Gestaltregeln dabei an?

Beispiel Rechteck: Es soll ein Rechteck im Verhältnis 3:5 aufgezo-gen werden. Wird eine Seite als fixes Maß gegeben, ergeben sich automatisch zwei Möglichkeiten. (die fixe Seite ist entweder die Schmal- oder die Längsseite. Ist ein Proportionsverhältnis vorgegeben, ist eine Raumgröße durch ihre Flächenangabe (m²) eindeutig definiert. (vgl. ALBERTI, PALLADIO)

Beispiel Kubus: Ein Kubus soll „harmonisch“ im goldenen Schnitt konstruiert werden. Dabei soll A+B die Längsseite, A die Schmalseite und B die Höhe sein. Wird ein Maß als gegeben festgelegt, ergeben sich die anderen automatisch. (Durch Anzahl der Geschosse und Geschosshöhen wird die Höhe festgelegt oder durch Gebäudetyp die Bautiefe bestimmt, sodass sich die übrigen Maße ergeben.)

Beispiel Säulen/Stützen: Eine nach vitruvschen Vorstellungen als „schlank“ proportionierte Stütze im Verhältnis 1:8 lässt sich je nach Raumhöhe (Stützhöhe) oder Stützendurchmesser bestimmen.

8.4.12 Modellierungsassistent – ein Ansatz?

Ist es denkbar, einen Modellierungsassistenten zu schaffen, der vergleichbar mit BIM (Building Information Modelling) arbeitet? Der eingeleitete Prozess müsste ausdrücken, in welcher Art etwas zu verändern ist, um den gewünschten Anforderungen (Zielen) zu entsprechen. Dazu müssten zwei Modelle abgeglichen werden, 1.) „As-Is“-Modell, 2.) „To-Be“-Modell. Systeme dieser Art vereinen ein GM (Geometrie und Informationen) und ein Verhaltensmodell (Change Management), das die Daten anhand von Beziehungen interpretiert. [vgl. Autodesk, Revit, White Paper]

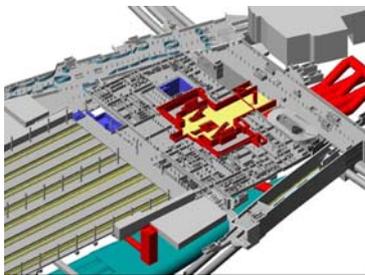


Abb. 8.58: Obermeyer Planen und Bauen, U-Bahn München. Die verschiedenen „Räume“ verändern sich während der Bauphase. Mit BIM wird der Planungsprozess berücksichtigt. So kann der „richtige“ Moment festgelegt werden, wann bestimmte Maßnahmen (bspw. Einbau von Rolltreppen) getroffen werden müssen.

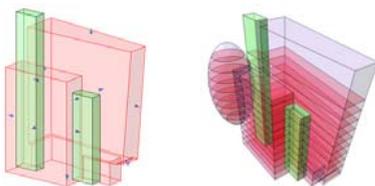


Abb. 8.59: Revit „Building Maker“. Die Grundkörper definieren die gesamte Gebäudehülle. Das gesamte Modell ist eine Datei, die Geschosse schneiden das Modell als entsprechenden Grundriss-View. Aus den Geschosshöhen und den Gebäudeelementen (GE) können die einzelnen Bauteil-Objekte (Decken, Fassaden, Dächer ...) durch „Anklicken“ abgeleitet werden. Änderungen an den GEs werden von den Bauteil-Objekten nachgeführt. [Revit, Autodesk]

8.5 Quantitative Entwurfsunterstützung

8.5.1 Planbeschriftung, Vermaßung

Schnitte werden automatisch beschriftet (Höhenkoten, Deckenaufbau aus der AVA). Materialänderungen wirken sich ggf. auf die Höhen/Türanschlüge, Brüstungshöhen, Bodenkanäle aus. Materialänderungen können in allen Views vorgenommen werden. Wird bspw. die Dicke und das Material einer einzelnen Trennwand oder aller Trennwände dieses Typs in dem Gebäude(abschnitt) geändert, wirkt sich das auf die Art der Darstellung genauso aus wie auf die Raumgrößen (Raumbuch), die Kosten (AVA), ggf. auch auf die Statik usw. Festgelegte Regeln nehmen die Änderungen vor. Assistenten prüfen die Machbarkeit und „fragen“ in kritischen Fällen den Anwender um „Rat“.

Bspw. wirkt sich das Verschieben oder gar ersatzlose Entfernen einer Zwischenwand unterschiedlich auf das statische System aus. Um die Tragweite eines solchen Eingriffs zu verdeutlichen, können Assistenten die statische Berechnung überarbeiten und Änderungsvorschläge machen.

8.5.2 „Architekten“-Schnitterzeugung

Schnitte durch ein GM entsprechen einem Schnitt-View an einer gewünschten Stelle. Wobei dem sog. Architektenschnitt eine besondere Bedeutung zukommt, da er sich durch Versätze in der Schnittlinie auszeichnet, um ge-

wünschte Objekte (Öffnungen) mit zu erfassen, auch wenn sie nicht direkt in der Schnittebene liegen. Die Schnittführungen können von Geschoss zu Geschoss unterschiedlich verlaufen. Sie werden im Navigator (s. 8.8.8) angelegt. Die eigentliche Generierung erfolgt dann aus dem GM. Sämtliche nachträglichen Änderungen werden ebenso nachgeführt, wie auch Veränderungen im Schnitt (vor allem Höhen) sich auf das gesamte Modell auswirken.

8.5.3 Geschossübergreifendes Arbeiten

Geschossübergreifendes Arbeiten ist Voraussetzung für ein Entwerfen nach der Top-Down-Methode. Wechseln zur Bottom-up-Methode ist dann ebenso möglich wie das Wechseln in allen Views/Stilen zwischen: Raumprogramm, Bubblediagramm, Grundriss, Aufriss, Modell und virtuellen Views. Blattschnittfreies Arbeiten ist dabei selbstverständlich, Zeichnungen sind für ein GM-basiertes CAAD-System nur ein „Abfallprodukt“ für die Baustelle, s. Abb. 8.59. (vgl. Autodesk Revit, acadGraph „PALLADIO x“)

8.5.4 (Quantitative) Entwurfsunterstützung des Architekten

Auf die Nutzung des GM in den späteren Leistungsphasen (Entwurf, Baueingabe, Werkplanung) wurde in den vorherigen Kapiteln ausführlich eingegangen. Im Nachfolgenden wird der bisher in der Praxis vernachlässigte Teil der Wertschöpfungskette, die Nutzung des GM in den frühen Planungsphasen (Grundlagenermittlung, Vorentwurf, Entwurf), herausgestellt, der sich auch in Bereiche erstreckt, die nach der HOAI als „besondere Leistung“ des Architekten gelten wie auch der Nutzen in der Verwaltung von Immobilien (FM). Damit wird deutlich gemacht, wie hoch der Nutzen ist, wenn man frühestmöglich in das GM „einsteigt“.

Modelldaten können grafischer und nichtgrafischer Natur sein. Anforderungen und Rahmenbedingungen der gestellten Planungsaufgabe wie Raumprogramm und zu erfüllende Funktionen, können so frühestmöglich eingebettet werden. Zentrale Datenhaltung ermöglicht Teamarbeit auch fachübergreifender Disziplinen. Die Verwaltung auch nicht bauteilbedingter Informationen als Objekte führt zur Ver-

einfachung der Bedienung sowie Beschleunigung bei der Variantenerstellung. Reports über Soll-Ist-Vergleiche können automatisiert werden, Kosten-Nutzen-Analysen sind dadurch in jedem Stadium der Planung möglich. Hierfür ist die möglichst umfassende Aufnahme aller Fakten digital vorzunehmen. Dazu gehören:

8.5.4.1 Ziele des Auftraggebers

Die Ziele des Auftraggebers werden in einer computer-gerechten (digitalen) Form festgehalten, um sie jederzeit mit dem Ist-Stand der Planung und künftigen Änderungen durch die Bauherrschaft (u. a. Honoraranpassung) vergleichen zu können.

Ziel der Maßnahme:

- die Aufgabe
- Zweck
- sachliche Ziele
- wirtschaftliche Ziele

8.5.4.2 Grundlagenermittlung

Alle Daten werden digital gespeichert und können bspw. durch Symbole am Bildschirm direkt abgerufen werden. Das gilt auch für handschriftliche Bemerkungen, die wie „gelbe Notizzettel“ in Zeichnungen oder anderen Dokumenten als Notizen und Kommentare angefügt sind (vgl. Digital Pen, Abb. 8.94) Werden diese Daten als Objekte verwaltet, können sie mit semantischen Zusammenhängen bestimmte Abläufe direkt vornehmen. (s. 8.4.2) Quantitative Daten dieser Art sind u.a.:

- Zusammenfassung statistischer Einflüsse
- wirtschaftliche Anforderungen
- Überprüfung vorhandener Einrichtungen
- Analyse des städtebaulichen Umfeldes
- Bodenbeschaffenheit
- Nachbarschaft Bebauungsplan
- bebaubare Fläche
- Niederschlagsmengen
- Schneebelastungen
- Umwelteinflüsse (Emission und Immission), Fotos, Pläne, Videos auf das Grundstück wie auch auf die Umgebung

- Lageplan
- Standortuntersuchung
- Erreichbarkeit
- Fußgängerentfernungen
- Verkehrsaufkommen
- Topographie, digitales Geländemodell
- Grünflächenplan
- überbaubare Flächen
- Abstandsflächen
- vorhandene Strukturen
- mögliche Grundstückserweiterungspotenziale
- örtliche (Bau-)Vorschriften
- Grundbuchrechte
- Vermessungsplan
- Kostenrahmen
- Zeitplan

Externe Programme – oder besser Assistenten, wie oben beschrieben – können auf diese Daten zurückgreifen.

8.5.4.3 Voraussetzungen für die Durchführung eines Vorentwurfs

Vom Bauherrn aufgestellte Raumprogramme müssen grundsätzlich vom Architekten hinsichtlich ihrer Vollständigkeit überprüft und ergänzt werden. Es fehlen in der Regel die horizontalen und vertikalen Erschließungsflächen (Verkehrsflächen wie Flure, Lifte, Rolltreppen), die letztlich auch entwurfsabhängig sind. Aber auch Nebenflächen (Toiletten, Stauräume, Parkplätze etc.) müssen entsprechend den Vorschriften errechnet und ergänzt werden.

- Flächenbedarfsplan (Raumprogramm)
- Flächenbedarf im Außenbereich
- Zufahrten
- Feuerwehzufahrten
- Rettungswege
- Parkplätze
- Projektablauf: Wer macht was bis wann?
- Kostengliederung
- Renovierungskosten (Wiederherstellung/Umbau)
- Neubaukosten

8.6 Zusatzprogramme

8.6.1 Workflow für den gesamten Projektablauf

Bei Großprojekten werden häufig Workflow-Management-Programme eingesetzt. Damit werden verschiedene Aktivitäten analysiert und in einen Funktionsplan überführt, der als Vorlage für das Fabriklayout dient. Solche Programme sollten eingebunden werden. Auf die nachfolgenden Punkte sollte das GM zugreifen können:

- Schriftwechsel
- Adressverwaltung mit Telefonlisten und E-Mail-Adressen
- Zugriffsberechtigung (Wer hat Zugriff auf welche Daten?)
- Planlisten, Planstände, Genehmigungsablauf, Ausführungsstände
- *Wer muss und bis wann* genehmigt haben?
- Kostenstellen, Rechnungswesen
- Dokumentation sämtlicher Unterlagen (HOAI 9)

8.6.2 Überbaubarkeitsprüfer

Wenn Bebauungspläne bzw. amtliche Lagepläne digital zur Verfügung stehen, kann ein solches Programm aus den Rahmenbedingungen ein maximales Volumen mit unterschiedlichen Varianten entsprechend dem Bebauungsplan, den Baugrenzen, Baulinien, Abstandsflächen etc. aufzeigen. Bei Routineüberbauungen (Wohnungsbautypen) sind sogar konkrete Vorgaben denkbar. (s. 5.3.2, Queen-Anne Houses) In seiner zweiten Phase prüft das Programm, ob das gestellte Raumprogramm unterzubringen ist. Das kann zu Beginn über die Kubatur, später genauer über die Fläche und am Schluss über die Anforderungen des überarbeiteten Raumprogrammes erfolgen. Der so gefundene Hüllkörper ist eine Möglichkeit, den Entwerfer dabei zu unterstützen, sein Volumen in den Griff (Bauch) zu bekommen. Das so gefundene „rohe“ Volumen kann in Geschossflächen unterteilt werden, um eine visuelle Überprüfung der geforderten Flächen vornehmen zu können.

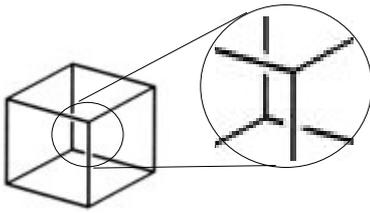
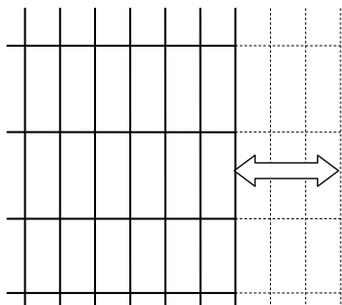


Abb. 8.60: Arbeiten am Bildschirm in einer dreidimensionalen Darstellung ist besonders im großen Zoomausschnitt schwierig, da verdeckte Linien aus dem Kontext vom Anwender nicht mehr erkannt werden können. Ein klares Absetzen der „verdeckten“ Linien durch bspw. Unterbrechen an den im Vordergrund liegenden Linien (Flächen) kann hier hilfreich sein.



A B C D E F G H I K

Abb. 8.61: Ziehen an einem Objekt muss die Semantik der Bauteile berücksichtigen (Rastermaße und -Bezeichnung; Geschosshöhe, -lage; Treppenstufen Steigungsverhältnis ...)

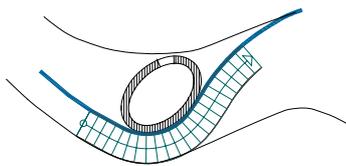


Abb. 8.62: Treppen schmiegen sich an vorgegebene Konturen an. Ihre Lauflänge berechnet der Assistent aus der Geschosshöhe unter Berücksichtigung aller gesetzlichen und gestalterischen (Stufenverziehen) Vorschriften. [PALLADIO]

8.6.3 Editierhilfen

Durch Ziehen mit dem Cursor (an einem Hotspot) kann eine vorhandene Bauteil-Geometrie in die X/Y/Z-Richtung verlängert, verkürzt oder verzerrt werden. Dabei werden Grundrisse vergrößert oder verkleinert, Geschosse addiert bzw. reduziert, die Anzahl Achsen und Stützen angeglichen.

Bauteile (Wände, Stützen, Öffnungen, Decken, Dächer ...) können wahlweise an ein sichtbares Raster geknüpft sein. Durch Strecken oder Stutzen des Grundrisses kann gewählt werden, ob in diesem Fall die mit den Achsen verbundenen Objekte einfach verlängert/verkürzt oder verzerrt werden sollen oder ob Achsen und Stützen (wahlweise auch Räume) automatisch zugeführt werden sollen. Fixpunkte (Treppenhäuser, Schächte) können davon ausgenommen werden. Durch Ziehen mit dem Cursor springt dieser in die entsprechenden Moduleinheiten des Rasters (Feinraster, Ausbauraster, Stützraster) und führt die Nummerierung fort. (Abb. 8.61)

8.6.3.1 Treppenläufe passen sich der Raumkontur an

Im Entwurfsstadium werden keine Treppen *konstruiert*. Ein Treppenassistent kann diese Aufgabe übernehmen und dem Entwerfer die Sicherheit geben, dass der vorgesehene Platz ausreicht und die Treppe „passt“. Alle Vorschriften (maximale Lauflänge / Zwischenpodest / Steigungsverhältnis) sind dem Assistenten bekannt und werden eingehalten.

Treppenstufen innerhalb eines Laufes (i. d. R. eines Geschosses) können mit dem Cursor vor- und zurückgeschoben werden, um sich besser an eine Situation anzupassen. Änderungen in der Geschosshöhe verändern die Treppenläufe. Können dabei nicht alle Regeln mehr eingehalten werden (Steigungsverhältnis / Lauflänge ...), wird dieses dem Anwender in einer Checkliste zur Überprüfung aufgezeigt (Buildingchecker).

8.7 Vorschlag für ein GM-Programm, nutzbar ab der ersten Leistungsphase

Ein GM zur Unterstützung vom Beginn der Konzeptphase an und für den nachfolgenden gesamten Lebenszyklus

eines Gebäudes (FM). Die nachfolgenden Ausführungen orientieren sich am Programm ALBERTI¹⁵¹, gehen aber weit über dessen Stand hinaus und stellen maximale Forderungen auf.

8.7.1 Erfassen und Ergänzen der Raumanforderungen

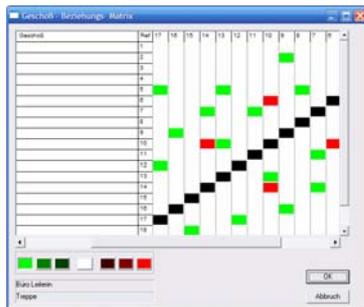


Abb. 8.63: In einer Beziehungsmatrix werden die Prioritäten festgelegt, welche Räume in direkter Beziehung stehen, welche nach einer bestimmten Himmelsrichtung ausgerichtet sein sollen. Diese Beziehungen können nach Dringlichkeit, an den Farben erkennbar, bestimmt werden.

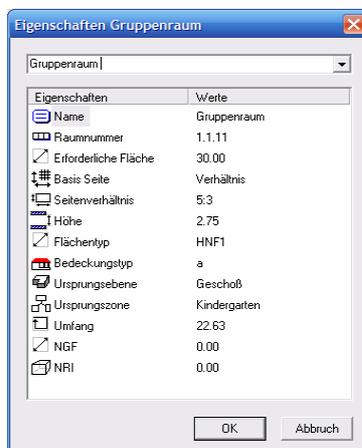


Abb. 8.64: Eigenschafts-Karte eines einzelnen Raumes. Die Daten sind, wenn nichts anderes bestimmt wurde, vorbelegt. Bspw. wird aufgrund der Raumbezeichnungen die entsprechende Nutzungsart nach DIN 276 zugewiesen.

Das Raumprogramm des Bauherrn wird in eine Exceltabelle eingetragen, geprüft und um die fehlenden Verkehrs- und Nebenflächen vom Planer ergänzt. Sie ist der alphanumerische View auf das Gebäudemodell (GM). Dieses nach Räumen aufgelöste Flächenbedarfsprogramm wird in ein „Sammellager“, Container genannt, dem Softwareassistenten ALBERTI übergeben. In einem nächsten Schritt werden in einer Beziehungsmatrix die Dringlichkeit der Beziehung der Gebäude, Geschosse, Geschossbereiche, Räume und übrigen Flächen zueinander und ihre Lage nach bevorzugter Himmelsrichtung festgelegt. Dabei wird in mehreren Schritten je nach Dringlichkeit unterschieden. So wird deutlich gemacht, ob zwei Geschosse/Räume/Flächen unbedingt direkt nebeneinander, mit oder ohne Verbindungstür (Chef/Sekretärin) angeordnet werden müssen oder weniger wichtig auch nur indirekt über einen zweiten Raum (Flur) erreichbar zu sein brauchen. Das andere Extrem wäre, dass eine Nachbarschaft auf keinen Fall geduldet wird, weil Lärm, Erschütterungen, Temperaturunterschiede etc. dieses nicht erlauben.

8.7.2 Vorbelegungen

Jeder Raum kann mit Parametern vorbelegt bzw. durch den fortlaufenden Bearbeitungsprozess automatisch ergänzt werden. So kann die Vorbelegung einer Geschosshöhe mit 2,75 m schon im frühen Stadium eine 3D-Visualisierung ermöglichen. Durch die Raumbezeichnung wird die entsprechende Nutzflächenart (DIN 276, NF(HNF1-6); VF; FF) zugewiesen. Die Nutzungsarten unterscheiden sich farblich in der Darstellung und können so visuell leicht einer Überprüfung durch den Anwender unterzogen werden.

¹⁵¹ ALBERTI [Moelle, Herbert, 95, ein Produkt der Firma acadGraph, München]

Alle Parameter können jederzeit den gewünschten Anforderungen entsprechend modifiziert und bei Bedarf erweitert werden. Auf diese Weise werden dem Anwender Eingaben abgenommen, die er zu dem Zeitpunkt noch gar nicht exakt benennen will oder kann.

Parameter:

- Rasterbreite
- Mindestanzahl von (Fenster-)Achsen für einen Raum
- Raumhöhe
- Proportion (Raumlänge zu Raumbreite)
- Art der Nutzung
- Kosten (BRI, BGF)
 - /m² Fläche
 - /m³ umbauter Raum (DIN 275, allseitig umschlossen ...)
 - /Arbeitsplatz
 - /Gebäudeelement (m³ Mauerwerk, m² Wandabwicklung, lfm Umfang)
 - /Material und Zeitaufwand
- Ausbaustandards (AVA gekoppelt) für eine genauere Kostenberechnung

Zur Verfeinerung und späteren Nutzung des Gebäudeunterhalts sind weitere Variablen denkbar:

- Nutzungskosten (FM)
- Anzahl und Größe der Öffnungen
- Reinigungsflächen (nach Material und Rapport)
- ...

8.7.3 Umwandlung der alphanumerischen Daten in grafische Repräsentationen

Durch diese Vorbelegungen können die numerisch geforderten Flächen der Exceltabelle in maßstäbliche grafische Flächen auf dem „Papier“ überführt und zur beliebigen Anordnung verwendet werden. Die Anordnung kann durch den Anwender per Drag&Drop oder auch durch einen Layout-Automaten erfolgen (8.7.4).

Die Herstellungskosten sind gemäß Kostenschätzung (Vor-entwurfsphase), Kostenberechnung (Entwurfs- und Werk-

planung) und Kostenabrechnung (während der Ausführung) möglich. Darüber hinaus können auch Kosten der Verwaltung zugeordnet werden.

Abb. 8.65: Der Assistent ALBERTI: Das Raumprogramm (Excelltabelle) wird zunächst in den „Container“ übernommen, in dem die Räume schon nach Gruppen und/oder Geschossen aufgeteilt werden. Mit Drag&Drop können Räume oder Raumgruppen in das Geschoss (0) = Erdgeschoss des GM geschoben werden. Durch „Ziehen“ eines Raumes (hier: Treppe) vom alphanumerischen Bereich (Baumstruktur) auf die grafische Repräsentation der Grundrissfläche (hier grau dargestellt) erhalten die Räume ihre grafische Darstellung.

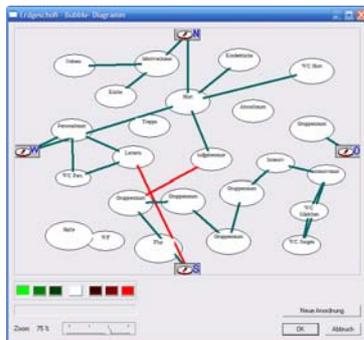
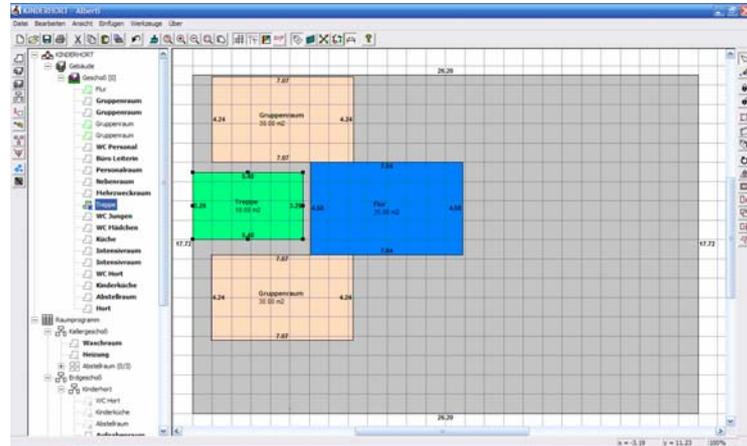


Abb. 8.66: Im Bubblediagramm-View werden die Beziehungen der Räume ohne geometrische Größe angezeigt. Ihre Beziehungen zueinander werden durch farbige Linien dargestellt. Die Linienbreite zeigt den Grad der Dringlichkeit an.

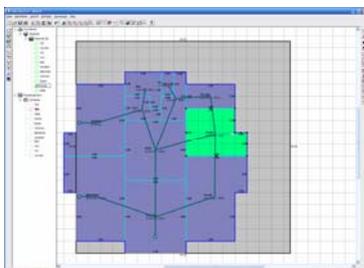


Abb. 8.67: nachbearbeitetes Layout eines Automaten. Eingelblendet sind die geforderten Beziehungen ebenso wie Raumbezeichnungen, Raumgrößen (tatsächlich/%-Abweichung vom Soll), Wandlängen und die Wände nach Typen (Außen-, Trenn- und bereichs-abgrenzende virtuelle Wände) [ALBERTI]

Durch Umschalten in den Organisationsplan-View können in einem Bubblediagramm die Bezüge nochmals grafisch überprüft werden. Auch in diesem View kann durch Ändern der Strichstärke der Verbindungslinien oder Löschen oder neu hinzugefügte Verbindungen das gesamte Modell beeinflusst werden. Da nun alle notwendigen Parameter bekannt sind, kann eine erste Anordnung der Gebäude/Räume dem Entwerfer durch einen Layout-Automaten angeboten werden. Dabei wird versucht, das Raumprogramm in dem zuvor definierten Hüllkörper (Gebäudehülle) bzw. dessen geschossweisen Umriss (Bruttogeschossfläche) zu erstellen. Der Entwerfer ist aber auch jederzeit in der Lage, in diese Anordnung einzugreifen, sie zu variieren oder gänzlich selber zu lösen. Zu diesem Zeitpunkt kann bereits eine Aussage zu den überschlägigen Energiekosten gemacht werden, da die Kubaturen und die Lage der einzelnen Räume untereinander und zur Himmelsrichtung bekannt sind.

8.7.4 Layout-Automat

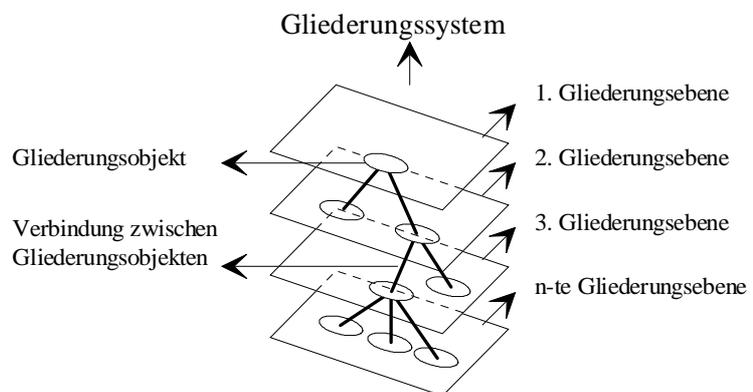
Ein Layout-Automat kann selbstständig ein Layout anbieten, wenn Raumgrößen (Flächen), ein Seitenverhältnis (Vorbelegung bspw. 5:3) und ihre Beziehungen zueinander bekannt sind. Es können bestehende „gute“ Bereiche (auch verbleibende Festpunkte bei einer umzubauenden vorhandenen Bebauung) als Insellösungen übernommen und der Rest händisch oder erneut durch den Automaten angeordnet

werden. (vgl. Shapegrammars: Flemming, Gero in Kap. 5) [vgl. a. Keatruangkamala und Sinapiromsaran 2005]

8.7.5 Das Gliederungssystem

Soll ein GM über den Entwurfsprozess hinweg auch für den gesamten Lebenszyklus gelten, muss es sinnvollerweise von Beginn an entsprechend ausgelegt sein. Bei Großprojekten (Gebäudegruppen, Bauen im Bestand, Unternehmen mit unterschiedlichen Standorten) muss zwischen zwei Gliederungssystemen, nach Organisation und nach Gebäudegliederung, unterschieden werden. Auf diese Weise können Strukturen auch geschoss-, bauwerks- und standortübergreifend verwaltet werden.

Abb. 8.68: Flexible Definition der Projektstruktur:
Während Gebäudestrukturen eine Geometrie (Geschoss, Zonen-Kontur, Raum-Kontur) besitzen, benötigen Organisationen eine flache, geometrie-unabhängige Gliederung.



Das Gliederungssystem kann nach oben und unten beliebig erweitert werden. Der Einstieg kann in jeder Gliederungsebene erfolgen. Beispiel:

Gliederung Organisation:

- Unternehmen: Systemhaus ABC
- Betriebsteil: Software
- Abteilung: Forschung & Entwicklung
- Bereich: Dokumentationserstellung
- Raum: Sekretariat
- Arbeitsplatz: Schreibtisch, Computer
- Mitarbeiter: Name, Telefonnr.
- Computer: Inventarnr.

Gliederung Lokalität:

- Standort: München
- Gebäudekomplex: Nordflügel

- Gebäude: Arcisstr. Nr.:
- Ebene: 4. OG
- Bereich: Forschung & Entwicklung
- Raum: Nr.: 4711
- Teilraum: Empore
- Achse: A5

Die beiden Systeme:

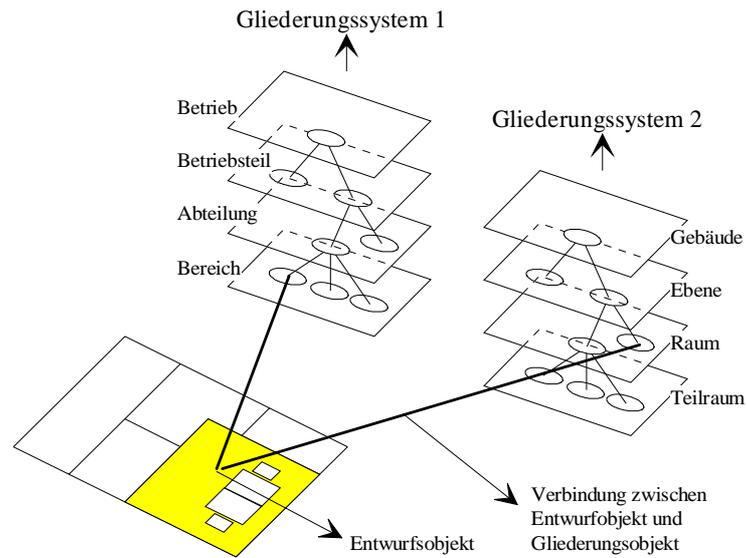
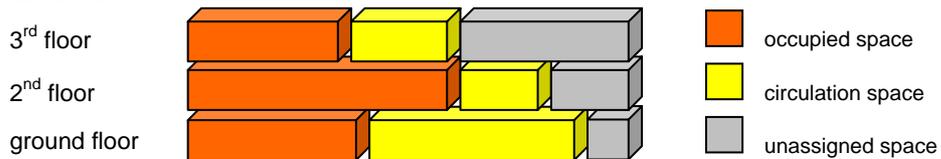


Abb. 8.69: Arbeiten in verschiedenen hierarchischen Ebenen, bspw. kann das Entwurfsobjekt – „die Ausstattung eines Arbeitsplatzes“ – sowohl in der Zone eines Stockwerks wie auch im zonenbasierenden Bubblediagramm bearbeitet werden.

Um die Datenmengen klein zu halten, sollten Gliederungsebenen ausgekoppelt und wieder zusammengeführt werden können.

8.7.6 Blocking and Stocking

Abb. 8.70: Der Stocking-View erlaubt das geschossweise Bearbeiten. Der View erlaubt, ein noch nicht festgelegtes Raumprogramm auf einzelne Geschosse aufzuteilen (s. Container Unterteilung Abb. 8.65). Die „Geschossbalken“ in der Grafik könnten zusätzlich durch senkrechte Linien in einzelne Räume untergliedert sein.



Diese Darstellung ist auch zum (groben) Navigieren im gesamten Projekt möglich. Der jeweils aktuelle Bereich ist

kräftiger hervorgerufen, die Zusammenhänge bleiben sichtbar. Es können auch mehrere Bereiche zusammen ausgewählt werden. Mit dem View gekoppelte Informationen könnten sein:

- geographische Lage; Standorte
- Lageplan; 3D mit den Gebäuden
- Schnitt; mit Abteilungsunterteilung, vertikale Erschließung
- Geschoss; 2D mit der angewählten Abteilung hervorgehoben
- Abteilung; mit den Räumen und ggf. Möblierung
- Raum; Möblierung, Installation
- Arbeitsplatz; einzelne Komponenten für die Inventarverwaltung
- Mitarbeiter (Name, Telefonnr., E-Mail ...)

8.7.7 Gebäudeteilübergreifende Objekten

Es gibt Sonderobjekte, die sich nicht so einfach wie Räume behandeln lassen. Es sind Objekte, die raum-, geschoss-, gebäude-, standortübergreifend vorkommen. Sie bilden meist Fixpunkte und sind in den meisten Views abzubilden. Dazu gehören in erster Linie vertikale Erschließungssysteme wie Fahrstühle, Treppenhäuser, Rolltreppen und Installationsschächte. Auch Leitungen der TGA¹⁵², Klimakanäle, Kabeltrassen und Kabel für die Kommunikation sind von großem Interesse. Aber auch Räume kommen geschossübergreifend vor (Eingangshallen, Foyers etc.)

8.7.8 Paralleles Arbeiten in allen Views

Da alle Views auf das gleiche GM schauen, werden in einem View getätigte Aktionen automatisch in den anderen nachgeführt. Das gilt auch schon zu Beginn in den frühen Phasen des Entwurfs. Mit der Drag&Drop-Methode können Objekte (Räume, Gruppen von Räumen, Geschosse) leicht verschoben oder vervielfältigt werden. Je nach durchzuführender Aufgabe bieten sich dazu unterschiedliche Views an. (s. 8.2)

¹⁵² TGA, Technische Gebäudeausstattung

8.7.9 Arbeiten im Volumen, Denken im Ganzen (ALBERTI „revers“)

Das geschossweise Arbeiten gängiger CAAD-Programme bedeutet in der Konzeptphase eine enorme Belastung für den Entwerfer, da ihm ständig exakte Angaben abverlangt werden. Die hier vorgeschlagene Vorgehensweise mit ALBERTI als Software-Assistenten lässt dem Entwerfer die Wahl, ob er Bottom-Up aus dem Raumprogramm seine Baukörper ableiten will (klassische Bautypen) oder ob er Top-Down mit dem Entwurf des Volumens beginnen möchte. Auch der Einstieg „mittendrin“ und ein Wechsel zwischen den beiden Methoden ist möglich. So kann der Entwerfer auf dem Papier skizzierte Grundrisse einscannen oder für den Computer nachziehen („freihändig“ digitalisieren), die einzelnen Räume, Türen, Fenster, Fixpunkte bestimmen und so in Objekte umwandeln.

Zur Erleichterung dieser Digitalisierarbeit gibt es eine Reihe von Hilfsmitteln. So können Rechtecke oder Kreise aufgezogen werden, die sich „magnetisch“ an schon vorhandenen Wänden orientieren. Aber auch freie Skizzierlinien (vgl. SmartSketch (s. Abb. 8.26)) sollten verwendet werden können. Maßketten an den Seiten helfen bei der „freihändigen“ maßstäblichen Eingabe. Auf Wunsch kann der Cursor in zuvor definierten Einheiten (Raster, Mauermaße) springen. Eine andere Möglichkeit ist das direkte „Zeichnen“ mit dem Stift auf dem Bildschirm (Tablett-PC). Geschlossene Konturen werden als allseitig umschlossene Räume erkannt. Ihnen werden je nach Lage Außen-, Innen- oder virtuelle Wände zugeordnet.

Jeder gezeichnete Raum erhält automatisch einen Raumstempel mit den Informationen:

Name:	unbenannt 1 (solange kein Name vom Inhalt abgeleitet bzw. vom Anwender bestimmt wurde)
Raumstempel ... :	Material; Kostenstelle ...
Raumnr.:	0001 (fortlfd.)
m ² :	123 (entsprechend der Fläche)
m ³ :	123 (entsprechend dem Volumen)
lfm:	123 (entsprechend dem Umfang)

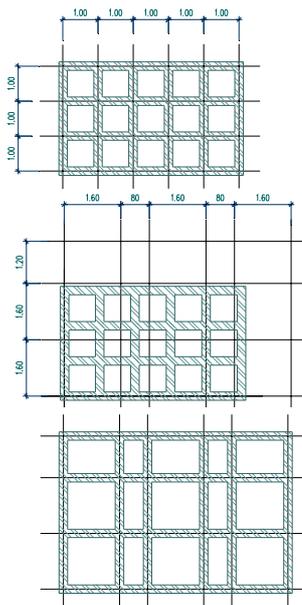


Abb. 8.71: Entwurfsunterstützendes Raster: Einem vorgegebenen neutralen Rasters (Wert 1,00) werden nachträglich Proportionen mitgegeben (Beispiel: Palladio-Raster, Villa Malcontenta).
Ergebnis:
mitte: ohne Bauteilobjekte
unten: Ein GM-basiertem CAAD-System, das auch das Raster als Objekt kennt und mit den Bauteilen verknüpft.

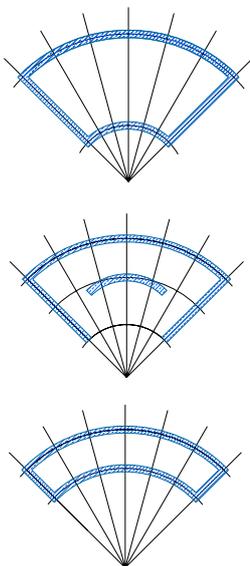


Abb. 8.72: Polarraster, hier wird deutlich, was ein semantisches Objekt leistet: das semantische „Wissen“ eines Objektes „ich bin eine Wand“ reicht in diesem Falle nicht aus, erst durch die Verknüpfung mit dem Raster wird seine Lage und entwurfsbedingte Intension (polare Anordnung) mitgegeben. Einfaches „händisches“ Verschieben, wie es bei orthogonalen Anordnungen (Abb. 8.71) noch möglich ist, würde hier zu Fehlern (mitte) führen.

Auf diese Weise sind die Eingaben in allen Views eindeutig identifizierbar.

8.7.10 Bauteile als Objekte in den frühen Phasen

Das GM in den frühen Phasen unterscheidet drei der wichtigsten Wandtypen, da sie Einfluss auf die Organigramme haben (vgl. ALBERTI):

- Außenwände
- Trennwände
- virtuelle „Wände“, die zwei Zonen voneinander trennen, ohne eine physikalische Wand zu errichten

Weitere denkbare Elemente sind:

- Stützen, die als Konstruktionsfläche nach den üblichen Regeln von der NF abgezogen werden.
- andere konstruktionsbedingte Bereiche
- Türen als Verbindung zweier Räume erlauben zusammen mit den virtuellen Wänden die notwendigen Informationen für Flucht- und Rettungswege im Brandfalle
- geschossübergreifende Räume: Treppen, Treppenträume und Fahrstühle
- Vorhangfassaden als besondere Art von Außenwand, mehrere Geschosse übergreifend

8.7.11 Das Rastermodul

Das Thema Raster ist sehr komplex [PALLADIO]. Es bleibt abzuwägen, in welchem Umfang bereits in den frühen Phasen davon Gebrauch gemacht werden soll. Raster sind als Objekte implizit im GM zu verwalten. Mit Variablen versehen können sie jederzeit an veränderte Situationen angepasst werden. Sie basieren auf einem Modul (bspw. 1,20m), das den Achsabstand definiert. Raster können im Grundriss, aber auch auf Fassaden oder anderen Ebenen im Raum (Dach, geneigte Wände) angewandt werden. Raster können aber auch im Volumen angewandt werden (negativer Raum, vgl. Abb. 8.39) und so dreidimensional das Arbeiten in der X-, Y- und Z-Richtung beeinflussen. (Abb. 8.73)

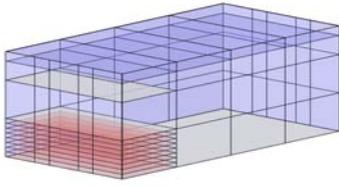


Abb. 8.73: Die Raster (Ausbau-, Stütz- und Feinraster) durchdringen den Baukörper in alle Richtungen. „Magnetische“ Eigenschaften lassen den Cursor in diesen Modulschritten springen und sorgen so für eine intuitive Eingabe bei gleichzeitiger „Proportionalisierung“ des Baukörpers.

Es sollte in drei verschiedene Raster unterschieden werden, die wieder in sich modifiziert sein können. (Abb. 8.74) [Herzog et al. 2004]:

- X/Y-Raster (orthogonal und schiefwinklig)
- X/Y/M-Raster (Dreiecksraster, wobei mit „M“ die eigentlich überbestimmte dritte Achse gemeint ist)
- Vektor (Polarraster)

Des Weiteren kann zwischen drei Rasterklassen unterschieden werden:

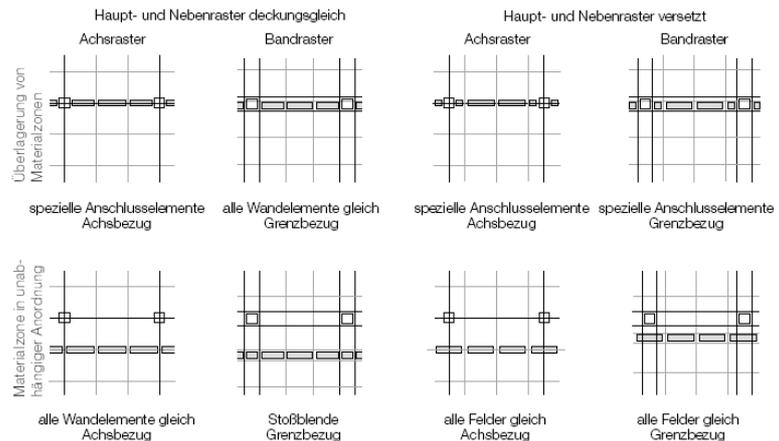
- Stützraster für die Konstruktion
- Ausbauraster für Fenster, Türen etc.
- Feinraster für den Innenausbau, Wandverkleidungen, Deckenspiegel, Fliesenspiegel etc.

Ein Modul entspricht dem Achsabstand des Ausbaurasters. Das Stützraster ist ein Mehrfaches des Moduls, das Feinraster ist eine Unterteilung des Moduls in gleiche Einheiten. (Industriebauraster $0,60 = M$) [vgl. Neufert]

Beispiel:

Modul: 1,20
 Ausbauraster: 1,20 (= Modul)
 Stützraster: 6,00 (5 x Modul)
 Feinraster: 0,30 ($\frac{1}{4}$ Modul)

Abb. 8.74: Fassadenatlas: Die verschiedenen Raster-Muster könnten implizit als Objekte (IFC) vorliegen. Damit würden neben der Lage zum Raster auch die Dimensionen der Stützen, Profile und Fassadenelemente semantisch berücksichtigt werden. [Bild: Herzog et al. 2004]



Diese Unterscheidung erlaubt dem Programm, Stützen oder tragende Wände anzuordnen und Fenster und Türen „richtig“ zu platzieren. Umgekehrt besteht aber auch die Möglichkeit, durch Verändern des Rastermoduls in einer Richtung (von 1,20 auf 1,80) oder durch Verändern nur

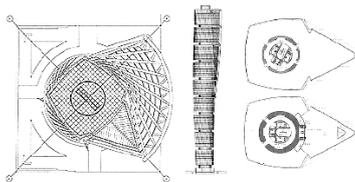
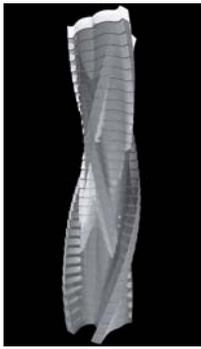


Abb. 8.75: Santiago Calatrava, Malmö, als „Torsionskörper“ wurden Raster verdreht überlagert. oben: Beispiel eines Torsionskörper mit parametrischen Modulkörpern generiert [Revit, Autodesk] Modellierer dieser Art, wenn sie mit einem GM-basierten CAAD verknüpft werden, zeichnen einen computerunterstützten Einstieg in den Gebäudeentwurf vor, wie er mit Papier und Bleistift vergleichsweise nur schwer herzustellen ist.

eines einzelnen Achsabstandes (Flur) das gesamte Gebäude semantisch zu verändern, ohne in die Zeichnung direkt eingreifen zu müssen. Besonders hilfreich wirkt sich diese Tatsache beim Polarraster aus, wenn bspw. der Radius geändert wird, da hier einfaches Vergrößern in die eine oder andere Richtung (Verzerren) nicht möglich ist.

Achsen können einen Kanon aufweisen (1,20, 2,40, 1,20, 2,40) oder Achsen-Kanon für Doppelstützen (6,00, 0,30, 6,00, 0,30). (Abb. 8.74)

Mit dem Raster verknüpfte Objekte (z. B. Wände und Stützen) reagieren bei einer Veränderung (bspw. des Rastermaßes) entsprechend. Hingegen würden Öffnungen (Fenster und Türen), die der Wand zugeordnet sind, sich zwar mit der Wand verschieben, nicht aber ihre Größe verändern. Erst wenn das neue Rastermaß (Verringerung der Achsbreite) eine Öffnung in der zuvor gewählten Größe nicht mehr zulässt, wird das System den Anwender entsprechend warnen und die Entscheidung verlangen: „Soll das Achsmaß vergrößert oder die Öffnungsgröße verringert werden?“.

Verschiedene Raster können untereinander kombiniert (gedreht, überlagert) werden. (Abb. 8.75)

8.7.12 Visualisierung in 3D



Abb. 8.76: Der 3D-Drucker druckt einen flüssigen Binder entsprechend der Schichtgeometrien auf einen Pulverwerkstoff und baut so das Modell Schicht für Schicht auf. Das Modell bzw. mehrere Modelle neben- und übereinander liegen im Pulverbett und benötigen daher keine Stützgeometrie. [4D Concepts]

Der als GM entwickelte Baukörper kann in 3D als Isometrie oder auch in perspektivisch gerendeter Form (VRML¹⁵³) dargestellt und von allen Seiten betrachtet werden. Dabei bieten sich verschiedene Stile für diesen View an. Für den Entwerfer eignet sich besonders eine transluzente Darstellung zur Überprüfung seines Entwurfes. Alle gewünschten Objekte können sichtbar zugeschaltet werden. Die Transluzenz kann reguliert werden, um den gewünschten Eindruck zu erzielen.

Das Projekt kann in das digitale Geländemodell eingepasst werden, um so das Projekt in seinem dreidimensionalen Umfeld zu sehen. Was in der Mechanik und im Kraftfahr-

¹⁵³ VRML, Virtual Reality Modeling Language, ist ein standardisiertes Datenformat, um ursprünglich dreidimensionale Grafiken interaktiv für das Internet bereitzustellen.

zeugbau schon praktiziert wird, könnte auch für die Architektur interessant werden. Unter Verwendung des GM können spezielle VR-Views die nur für diese Aufgabe notwendigen Informationen vorhalten und so für schnellere Berechnungen in Realtime sorgen. Der Architekt könnte so seinen Entwurf im realistischen Umfeld prüfen und mit entsprechenden Datenhandschuhen umgestalten.



Abb. 8.77: UV-Härtung nach dem Stereolithographie-Verfahren.

„Virtual Prototyping Verfahren sind mittlerweile ein Schwerpunkt bei der Ausbildung von Ingenieuren verschiedenster Fachrichtungen, interaktive stereoskopische Virtual Reality gehört heute ebenso dazu.“ So die Aussage von ICIDO, einem Spin-Off des Fraunhofer-Instituts. Die Software von ICIDO ist modular aufgebaut. Verfügbar, bzw. in der Weiterentwicklung, sind Module für das CAD- oder Planungs-Daten-Review, Styling/Design, Ergonomie, Collaboration, Einbauuntersuchungen oder die Montageplanung. So der Hersteller. [ICIDO, www.icido.de]

8.7.13 Ausgabe an ein Modellierwerkzeug

Es gibt heute verschiedene Verfahren, GM-Daten in ein physisches Modell zu überführen. Je nach Ausgabegerät könnte der entsprechende 3D-Fräs- oder -Modeller-View erzeugt werden. Die unterschiedlichen 3D-Plotter-Verfahren werden sowohl zur Erzeugung von Modellen im verkleinerten Maßstab als auch direkt zur Fertigung von bspw. Fassadenelementen (Gehry, Abb. 8.95) verwendet. (Beispiele s. Abb. 8.76 u. Abb. 8.77 und unter 8.9.11)

8.8 Eine intuitive Bedieneroberfläche für Entwerfer

Will der Architekt den Computereinsatz schon bei der Entwurfsskizze nutzen, ohne sich dem Diktat des Rechners zu beugen, müssen neue Computerprogramme und auch Hardware entwickelt werden, solche, die sich an den typischen, oft auch subjektiven Denkvorgängen und Arbeitsweisen des Entwerfers orientieren. Nur so können vorhandene Ressentiments vermieden werden. Um den Gedankenfluss des entwerfenden Architekten nicht zu behindern oder gar zu unterbrechen, ist jeder für den Computer

voraussehbare Schritt, den der Entwerfer beabsichtigt zu machen, automatisch zu vollziehen. Alles „Unwichtige“, ihn von seinem unmittelbaren Vorhaben ablenkende „Reize“ sind zurückzuhalten, um erst dann in Erscheinung zu treten, wenn sie gebraucht werden. Nur so kann eine intuitive Oberfläche entstehen (vgl. 5.10).

8.8.1 Der Nutzen des GM für die Softwareergonomie in den Entwurfsphasen

Die Verwendung semantischer Modelle wie auch die Verwaltung aller übrigen planergänzenden Daten als Objekte (s. 5.10 u. 6.4.3) birgt die Chance, die Bedieneroberfläche intuitiver zu gestalten und heute noch bestehende „Motivationskiller“ abzubauen, um echtes direktes Entwerfen schon in den frühen Phasen des Entwurfs zu ermöglichen. Gleichzeitig können so Hemmnisse abgebaut und die Akzeptanz unter den Architekten erhöht werden. Wie schon unter 8.2.3 dargelegt, wird die Bedienung eines GM-basierten CAAD-Systems gravierend vereinfacht. Datenaustauschrichtlinien, wie sie bei Großprojekten notwendig waren, sind nicht mehr notwendig. Der Anwender braucht sich keine Gedanken mehr über die zur gewünschten Darstellung richtig zu verwendenden Strichstärken, Strichfarben, ggf. Layer usw. zu machen, da diese Werte nur noch über die Stile bestimmt werden. Gleichzeitig entfallen Fehlerquellen beim Datenaustausch.

8.8.2 Planungsphasen angemessene Eingabe- und Editierhilfen

Während der Computer stets präzise Angaben verlangt, um seine Aktionen durchzuführen, reift die Genauigkeit beim Entwerfer mit dem fortschreitenden Detaillierungsgrad seines Entwurfes bis hin zu Werk- und Detailplanung. Hier sind Eingabehilfen anzubieten, die dem jeweiligen Stadium der Planung angepasst sind. Hier können die gewohnten Maßstäbe als Vorlage dienen. Im Maßstab 1:1000 interessiert weniger, ob eine Wand mittig auf einer Achse oder besser außermittig, dafür aber bündig mit der Stützenreihe steht. Solche Überlegungen können im Entwurfsstadium (M: 1:100) rechtzeitig vorgenommen und ggf. leicht geändert werden. Alle Unterstützungen sind nach Bedarf akti-

vierbar bzw. auch zu unterdrücken, sei es für eine einzelne Aktion oder für die gesamte Sitzung.

8.8.3 Maßstabsabhängiger Detaillierungsgrad in den Entwurfsphasen

Ein Vorteil aller vektororientierten CAD-Systeme ist die Darstellung der Gegenstände in jedem beliebigen Maßstab (Zoomfaktor). Für den entwerfenden Architekten sind jedoch Maßstäbe mit den Planungsphasen mehr oder weniger fest verbunden. In diesen Maßstäben (bspw. Entwurfsplanung M: 1:200 oder 1:100) hat er ein Gefühl für Größen entwickelt, das ihm Sicherheit bei der „freien“ Eingabe auch ohne „Lineal“ und „Zirkel“ vermittelt. Durch andere „beliebige“ Zoomfaktoren (Maßstäbe) würde diese Sicherheit verschwinden, so die Eingabe mit „Lineal“ und „Zirkel“ wieder notwendig machen und damit das intuitive Handling wieder zunichte machen. Deshalb soll während der Entwurfsphasen i. d. R. nur in den gewohnten Maßstäben gezoomt werden. – Ein Zoomen von einem Planungsmaßstab in den anderen bedeutet i. d. R. gleichzeitig einen Wechsel in einen anderen View, womit automatisch der entsprechende Detaillierungsgrad festgelegt ist. Durch das GM ist sichergestellt, dass die Eingabe sowie Veränderung eines Objekts in jedem View vorgenommen werden kann, mit Ausnahme von Reports (Stücklisten etc.) die hier eine Einbahnstraße darstellen.

8.8.4 Besonderheiten des Vorentwurfs

Entwurfsskizzen, in denen sich der jeweilige Entwerfer wiederfindet und aus denen er seine Intuitionen bezieht, haben einen besonderen Charme. Dagegen wirkt eine Computerzeichnung eher kühl, zu perfekt, unveränderbar und fertig, sie lässt der Fantasie nur wenig Spielraum. Um der Forderung von Tang und Gero (s. 5.10.2) zu entsprechen, muss es möglich sein, zwischen Freihandskizze und exakter CAD-Zeichnung hin- und herschalten zu können. Es sollten daher Algorithmen gefunden werden, die es ermöglichen, neben den unter 8.3.1 aufgeführten Verfahren eine freihändige unscharfe Skizze in eine exakte CAD-gerechte Zeichnung zu überführen. Die Skizze (Kommunikations-View) ist möglichst lange während der Entwurfsphase zu erhalten.

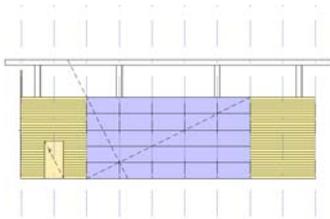


Abb. 8.78: Dem Fassadenraster liegt ein Proportionsverhältnis von 1:2 zugrunde. Die Tür im linken Fassadenelement erhält als Vorgabe die entsprechende Höhe, nachdem die Breite festgelegt wurde, oder umgekehrt. Raster würde vorzugsweise gleichen Proportionen springen (Rasterschritten bspw. 1:2)

Ausgehend vom ersten Strich in den sehr frühen Phasen bieten sich vor allem Glättungsalgorithmen an. (s. 8.3.4) „Freihändig“ getätigte Striche müssen computerintern als Vektordaten (Gerade, Bogen oder sogar geschlossener Kreis) abgelegt werden, ohne dass der Anwender explizit Linie, Bogen oder Kreis aufrufen muss. Ebenso muss ein nachträglich aufgebrochener (radiierter) Kreis intern als Bogen verwaltet werden. Eine nachträglich durch Krümmen „verbogene“ Gerade (Linie, Wand oder auch Raum) soll intern als Bogen mit Anfangspunkt, Endpunkt und Mittelpunkt verwaltet werden. Im Umkehrschluss muss ein Bogen zu einem Kreis verlängert oder in eine Gerade überführt werden können, ohne dass der Anwender spezielle Befehle aktivieren muss, vielmehr können diese Manipulationen alle unmittelbar mit dem „Stift“ als Eingabegerät vorgenommen werden (vgl. Abb. 8.26).

8.8.5 Eingabehilfen in den frühen Phasen des Entwurfs

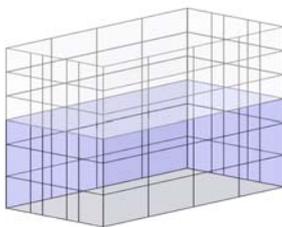


Abb. 8.79: Hochziehen eines Baukörpers: der Cursor rastert nach den Vorgaben oder den zuvor speziell festgelegten Geschoßhöhen.

Während in diesem frühen Stadium die exakte Maßstäblichkeit für den Entwerfer eher zweitrangig ist, sind architekturfördernde Eingabehilfen von größerer Bedeutung. So können bspw. Regeln aus der Proportionslehre angeboten werden. Ob der Anwender ein Rechteck aufzieht, einen Kubus in die dritte Dimension verlängert oder nur eine vorhandene Linie teilt, immer kann ein Proportionskanon unterlegt sein und durch leichte „magnetische“ Rasterungen den Stift an der entsprechenden Stelle einschnappen lassen. Auch lassen sich Strecken, Flächen, Räume und Fassaden in gewünschte Proportionen (bspw. goldener Schnitt) teilen. Bauteilobjekte können wahlweise mit dem Raster verknüpft werden. Änderungen des Rasters, sei es das Verhältnis oder das Rastermodul, wirken sich auf die Bauteile aus.

8.8.6 Entwurfs- und Eingabeplanung

Spätestens zur Entwurfs- und Eingabeplanung werden exakte Maße verlangt, d. h., aus dem Vorentwurf (Kommunikations-View) muss ein komplettes maßstäbliches Modell (GM) generiert werden. Hier können kognitive Algorithmen helfen. Es wird aber immer auch Situationen

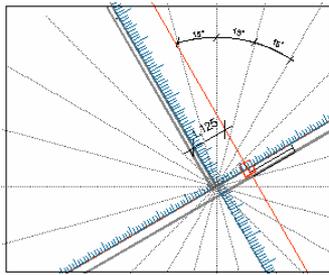


Abb. 8.80: SNOOP, ein intelligenter Cursor, arbeitet vergleichbar mit einer Zeichenmaschine, die von einem gewählten Nullpunkt aus in bspw. 15°-Schritten operiert.

Beispiel: Öffnung in eine nicht orthogonal zum Blattrand verlaufende Wand platzieren.

Nach Auswahl der Wand richtet sich SNOOP am Objekt „Wand“ aus und setzt den Nullpunkt (mit den virtuellen blauen Maßeinheiten) an den nächstliegenden „Objekt“-Bezugspunkt „Rauminnenkante“. Der Cursor (rot) gleitet jetzt entlang der (blauen) Maßscala und rastet je nach Voreinstellung des Wandtyps (bspw. in Ziegelmaßen alle 12,5 cm) ein. Durch Drücken der „+“ oder „-“ Taste kann jeweils 1 cm (für die Fuge) zu oder abgezogen werden (Nischenmaß/Pfeilermaß).

Die hier dargestellten Linien dienen nur zur Erklärung. Am Bildschirm sind nur die notwendigen Informationen (Bezugspunkt, Fadenkreuz und Abstandsmaß: 1,25) sichtbar.

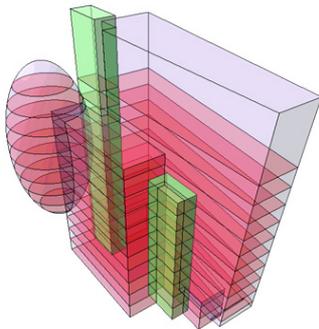


Abb. 8.81: Ähnlich dieser Abbildung (Revit) könnte ein Navigator sich dem Anwender präsentieren. Geschosse, Fassaden etc. können direkt „angefahren“ (eingezoomt) werden. (Architekten-)Schnitte können angelegt, verändert und ausgeführt werden. Höhenangaben wirken sich auf das gesamte Modell aus. Je nach gewünschter und auch vorhandener Informationsdichte sind neben den GEs (vertikal) auch Aufteilungen in den Geschossen (horizontal) darstell- und anwählbar.

geben, wo ein Computerprogramm nicht die Intuition des Entwerfers nachempfinden kann, sodass in solchen Fällen der Anwender „helfend“ eingreifen muss. (siehe 8.3.1)

8.8.7 Konstruieren und Editieren von CAAD-Daten

Bei der Eingabe sowie beim Editieren in diesem Planungsstadium hilft ein „Intelligenter Cursor“ (SNOOP¹⁵⁴). Dieser arbeitet ähnlich wie eine Zeichenmaschine. Der Nullpunkt liegt am Cursor an und bietet von dort aus strahlenförmig radiale Hilfsraster in vordefinierten (bspw. 15°-)Schritten an, auf denen der Cursor wiederum in vordefinierten Rasterschritten (bspw. genormten Mauermaßen, oder in 10-cm-Schritten oder anderen Modulrastern) entlang eines gewählten Radianten „einrastet“. Entwurfsrelevante Punkte wie Mittelpunkt, Senkrechte, Endpunkte beziehen sich nicht unbedingt nur auf die Primitiven Linie, Bogen und Kreis usw., sondern auf semantische Bezugspunkte wie Wandecken/Raumecken, Mittelpunkte von Wänden (raumseitig oder auf der Fassade) usw. Mauermaße (Öffnungsmaß, Pfeilermaß etc.) können im Modell automatisch berücksichtigt werden. Symmetrieachsen bzw. Spiegelachsen können bestimmt werden, sodass Eingaben (bspw. Fensteröffnungen) auf der einen Seite gleichzeitig synchron auch auf der anderen Seite der Symmetrieachse ausgeführt werden.

8.8.8 Navigator

Der Navigator (Abb. 8.81) ist ein View auf das zu entwerfende Gebäude. Er besteht aus einer Vielzahl Unter-navigatoren, die nach Bedarf aufgerufen oder zugeschaltet werden können. Sie entsprechen den Assistenten für bspw. Fassade, Haustechnik, Statik, Sanitär, Möbel etc. Hier können zu Beginn Vorbelegungen, wie geplante Gebäudegruppen, ihre Anzahl Geschosse, deren Geschosshöhen, das Gelände über N.N., aber auch Deckenstärken, Deckenaufbauten, abgehängte Decken usw. vorgenommen werden. Hier können auch ideelle (Architekten-)

¹⁵⁴ SNOOP ist ein vom Autor 1995 entwickelter intelligenter Cursor zum Programm PALLADIO. Damit konnte das Handling auch für AutoCAD erheblich erleichtert werden. Heute ist ein vergleichbares Tool fester Bestandteil von AutoCAD.

Schnitte durchgelegt werden, die jederzeit generiert werden können. Diese Vorbelegungen können jederzeit geändert werden. Sie wirken sich auf alle Views aus. Durch diese „Vorbelegung“ kann schon beim Entwerfen geprüft werden, ob bspw. ein Treppenlauf lang genug angelegt ist, um nach den gesetzlichen Vorschriften und der Schrittmaßregel auch das nächste Geschoss zu erreichen, ob Zwischenpodeste zwingend sind usw. Decken, die der Planer nach der herkömmlichen Zeichenmethode im Grundriss nicht darstellt, sind so „imaginär“ vorhanden. Sie werden in 3D-Views automatisch sichtbar, helfen aber schon während der üblichen Grundrisseingabe. So können Aussparungen im Boden oder eingefügte Einrichtungsgegenstände, die „auf dem Boden stehen“ (Möbel, Einbauten usw.), der Oberfläche des Bodens zugeordnet werden, während andere Objekte (Deckenspiegel, Lampen, Lüftungsauslässe) auch der Decke oberhalb der gedachten Schnittebene zugeordnet werden können. Die angeschnittenen Treppenläufe berücksichtigen beide Geschosse, das aktuelle Geschoss wie auch das darunterliegende.

8.8.9 Unscharfe Eingaben

Durch die Vorbelegungen im Navigator kann der Entwerfer mit einfachen „Linien“ operieren, denen er lediglich ihre Funktion (Wand, Achse usw.) mitzugeben braucht. Der Grad der Bestimmtheit, soweit sie für ein komplettes GM notwendig ist, wird am Bildschirm durch Farben signalisiert. Bspw. steht die Farbe Rot für noch sehr dürftig, während Blau die Vollständigkeit der „notwendigen“ Attribute kennzeichnet. Ein längeres Verweilen mit dem Cursor über einer Linie oder dem Anschluss zweier Linien oder Bauteile zeigt temporär deren Attribute an. Das kontextsensitive Mausmenü (rechte Taste) erlaubt jederzeit die direkte Ergänzung der Attribute. Durch Hyperlinks macht das System am Bildschirm aufmerksam, wenn bspw. ein bestimmter View nur unvollständig gezeigt werden kann, weil zwingende Angaben dazu fehlen. (3D-View verlangt Höheneingaben.)

8.8.10 Unscharfe Darstellung

Auf die Notwendigkeit der kreativitätsfördernden eigenen Handschrift (unscharfer Stil, Skizzen-Views) ist zuvor schon

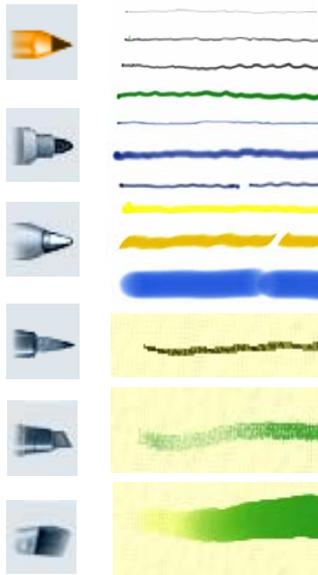


Abb. 8.82: Digitale Freihandlinien: Unterschiedliche Werkzeuge erlauben nahezu grenzenlose Variationsmöglichkeiten der graphischen Präsentanz der Eingabelinie. Papieroberflächenstrukturen (Aquarell, glattes oder rauhes Papier) sowie deren Farben lassen sich imitieren. Graphiken, Photos etc. können hinterlegt werden. „Transparentpapier“ läßt sich als Schicht über vorhandene Skizzen legen. [vgl. Alias Sketchbook Pro, Corel Draw, Photoshop etc.]

Anmerkung:

Die Darstellungen sind geeignet den Kommunikations-View zu unterstützen, es fehlt aber der haptische Effekt, der Widerstand den das Medium Papier dem Zeichenwerkzeug und damit auch dem Zeichner „geföhlt“ entgegenbringt. Ebenso beeinflussen drucksensitive Eingabestifte (Wacom) zwar den Strich, jedoch vermittelt sie diesen Druck nicht werkzeuggerecht (Bleistift, Pinsel, Füllhalter) an den Zeichner weiter.

hinreichend hingewiesen worden. Für Anwender, die digital auf dem Bildschirm „freihändig“ skizzieren wollen, spielt die (unscharfe) Darstellung eine wichtige Rolle. – Je nach Wunsch können hier Stile, die n. M. der Anwender selbst definieren kann, für die jeweiligen Views bereitgestellt werden:

Freihandlinien sind dem gewählten Zeichenwerkzeug und dem Zeichenuntergrund entsprechend darzustellen. Ob dünn, 1 Pixel oder dick und fett wie mit einem Filzstift gezeichnet. (s. a. 8.9.8, Simulation verschiedener Zeichenmaterialien)

In einem ersten Schritt könnten die unscharfen Entwurfslinien einem Filzstift oder dem 6B ähnlich sein. Intern sind sie als Polygonzug zu verwalten. In einem zweiten Schritt könnten die Linien geglättet und ggf. gewünschten Proportionen (internen Rastern) zugeordnet werden, wobei durch Umschalten in den Kommunikations-View immer auf die ursprüngliche Skizze zurückgegriffen werden kann. Der Anwender soll entscheiden können, ob größere Änderungen im Vorentwurfs-View auch seinen Kommunikations-View verändern sollen (bei möglichst gleicher Darstellungsart). (vgl. Digital Pen)

Lösungen sind hier bei handelsüblichen pixelbasierten „Malprogrammen“ zu finden, doch darf hier nicht die CAD-Tauglichkeit unberücksichtigt bleiben. Entwurfslinien müssen jederzeit zu primären Objekten wie Linien, Bögen, Geraden, Achsen bestimmt werden können, um sie letztlich auch in Bauteilobjekte (bspw. Räume mit ihren Umschließungen, Baukörperhüllen, Wänden, Fassaden, Decken, Böden, Öffnungen usw.) überführen zu können. (vgl. SmartSketch, Abb. 8.26)

8.8.11 Frühe Phasen innerhalb des Planungsprozesses

Hierzu wurde bereits ausführlich unter 8.3 Stellung genommen.

8.8.12 Allgemeine Entwurfsregeln

Alles, was Regeln hat, kann dem Assistenten bekannt sein. Beispiele können sein:

- Eine Tür in eine Raumecke platziert soll immer eine Anschlagsbreite von 12,5 cm haben.
- Ich möchte ein Fenster mittig auf die Außenwand eines Raumes platzieren.
- Wenn sich der Anschlag (DIN-Richtung) einer Tür ändert, sollen davon abhängige Objekte, wie Türbänder, Schlossgarnituren, aber auch die betroffenen Lichtschalter sich mitbewegen und die Türliste aktualisiert werden.
- Wenn durch Löschen einer Trennwand aus zwei Räumen einer wird, hat das eine Menge Konsequenzen, die je nach Planungsstand sehr weitreichend sein können, wie Raumbeschriftung/Raumnummerierung, Auswirkungen auf die Tragwerksplanung, die gesamte Haustechnik, Computernetze, Telefon etc.

8.8.13 Spracheingabe in der Erprobung?

Paris (AFP) – Microsofts künftiges Computer-Betriebssystem Vista wird nach Angaben von Firmengründer Bill Gates erstmals Spracherkennung bieten. „Wir sind erst am Anfang der Möglichkeiten von Software“, sagte Gates der am Donnerstag erscheinenden französischen Wirtschaftszeitschrift „Challenges“. Vista als Nachfolgerin von Betriebssystemen wie MS-DOS und Windows soll Ende 2006 auf den Markt kommen. Gates räumte indes Grenzen der Stimmerkennung ein: „Die meisten Leute werden sie noch nicht nutzen.“ Seine Entwickler hätten zwar die Fehlermarge deutlich reduziert. Derzeit bleibe die Tastatur aber das effizientere Mittel zur Eingabe von Informationen in einen Rechner. (AFP vom 5.10.2005)

8.8.14 Spracheingabe

Um sich ganz auf seinen Entwurf konzentrieren zu können, kann der Anwender Kommandos per Spracheingabe vornehmen. Semantische Spracherkennung kann sowohl zwischen unterschiedlichen Nutzern unterscheiden als auch Kommandos innerhalb verschiedener „Dialekte“ verstehen. Gemeint sind weniger Sprachdialekte wie Bairisch oder Sächsisch, vielmehr erkennt der Sprachassistent auch bei unterschiedlichen Formulierungen aus dem Kontext, welcher Befehl in welchem Zusammenhang und ggf. welcher Kombination zur Ausführung kommen soll. (Google: „Meinten sie etwa ...“)

Eingaben können so in einfachen ganzen Sätzen erfolgen: „Zwischenwand mittig von ‚Klick‘ nach ‚Klick‘.“ Ist bei dem „Klick“ ein Element zum Anschließen (vorhandene Wand), wird angeschlossen, oder aber die Wand endet erst einmal an der gezeigten Stelle.

Aber auch einfache Kommandos wie: „Übertrage die Eigenschaften dieses Elements auf die folgenden“ (die gezeigt oder auch genannt werden können) bspw. „alle Geschosshöhen im gesamten Projekt“.

Texteingaben können per Sprache eingegeben werden. Das kann im Raumbuch beginnen und sich in den Zeichnungen fortsetzen (Planbeschriftungen, Legenden, Raumbezeichnungen).

Die Spracheingabe kann die Schwächen des Computers wenigstens teilweise mildern, indem bei der semantischen Interpretation grafischer Objekte durch Interaktionen am Bildschirm und die beschreibende Sprache die notwendigen Informationen übermittelt werden. (vgl. 4.4.2 „Computer sind blind“).

Die Entwicklung von Spracherkennung (zum Diktieren) und Übersetzung (von Texten und ganzen Büchern) bis hin zur simultanen Übersetzung (in Konferenzen, im Fremdenverkehr etc.) hat große Fortschritte gemacht, wie die nachfolgenden Verfahren zeigen.

8.8.14.1 Neuronaler Ansatz zur Spracherkennung über eine Wortdatenbank

Übersetzungssoftware wie bspw. Linguattec, die lt. Hersteller das Prinzip neuronaler Netze des menschlichen Denkprozesses simuliert (neuronaler Transfer¹⁵⁵) (siehe auch 4.9, (künstliche) neuronale Netze). Das Programm übersetzt nicht nur satzweise, sondern analysiert satzübergreifend und bezieht den Kontext mit ein. Mehrdeutige Worte wie bspw. Gericht (court oder dish) werden vom Menschen korrekt übersetzt, auch wenn der aktuelle Satz keinen Anhaltspunkt für die passende Bedeutung liefert. Ist im Kontext die Rede von „Anwalt“, „Justiz“ oder „Richter“, wird es heißen „court“, im Zusammenhang mit „Nudeln“, „Salz“, „Gewürze“ etc. muss es „dish“ heißen. „Dieses

¹⁵⁵ Lt. Hersteller Linguattec GmbH wurde das Verfahren zum Patent angemeldet.

assoziative Vorgehen des Menschen versucht der neuronale Transfer zu modellieren. Dazu werden riesige Textmengen analysiert, um mit Verfahren der Linguistik und der Neuroinformatik festzustellen, welche Begriffe typischerweise mit anderen zusammen vorkommen.“ [Linguattec¹⁵⁶] Dazu werden 1,5 Milliarden Begriffe extrahiert und in einem Assoziationspeicher (einem neuronalen Netz) vorgehalten, um auf diese Weise die richtigen Übersetzungsalternativen zu bieten. „Natürlich ist kein System perfekt, und der schlaue Mensch kann immer Fälle finden, in denen die dumme Maschine in die Irre geht, etwa wenn der „Anwalt ein Gericht kocht“, so der Hersteller.

Für die Sprachsteuerung eines CAAD-Systems sollte die Fehlerquelle gering gehalten werden können, da feste Begriffe wie Funktionsaufrufe klar im Kontext stehen und der zur Steuerung notwendige Wortschatz vergleichsweise begrenzt ist. – Probleme dürften eher durch eine schludrige Sprechweise entstehen (Füllwörter, abgebrochene Sätze, Wiederholungen etc.). Aber auch Nebengeräusche wie Husten, Türschlagen im Hintergrund könnten Schwierigkeiten hervorrufen. So verspricht bspw. das Programm Dragon Naturally Speaking¹⁵⁷, bis zu 99 von 100 Wörtern fehlerfrei zu erkennen, aber nur bei ruhiger Umgebung, und der Anwender sollte stets den gleichen Abstand zum Mikrofon halten.

8.8.14.2 Sprachverstand durch Vergleichen vorhandener Texte

Damit zu kämpfen hat auch das andere Verfahren zur Spracherkennung und simultanen Übersetzung des Instituts InterACT der Universität Karlsruhe in Zusammenarbeit mit der Carnegie Mellon Universität in Pittsburgh, USA. „Die Software muss erst lernen, Unwichtiges auszufiltern und Satzbrüche zu erkennen. Übersetzt wird dann möglichst nur der Kern der Aussage.“ So Alex Waibel, Professor an beiden Universitäten in einem Zeitungsinterview¹⁵⁸.

¹⁵⁶ Linguattec GmbH,
<http://www.linguattec.de/products/pt2006/ntransfer.shtml>
(Download 05.11.2005)

¹⁵⁷ *Dragon Naturally Speaking* ist ein Produkt der ScanSoft Inc.
<http://www.scansoft.de/company/>

¹⁵⁸ Manfred Dworschak, *Parlieren auf Inuktikut*, *Der Spiegel* 44/2005

„Unsere Neuentwicklung kann nun unbeschränkt Themen und Gesprächssituationen wie Vorträge oder Ansprachen simultan übersetzen – eine absolute Neuheit.“ So zeigte InterACT heute erstmalig die simultane Übersetzung eines freien Vortrags¹⁵⁹.

Waibels System verzichtet darauf, dem Computer etwas über Sprache beizubringen, sondern nutzt vorliegende Übersetzungen des Internets als Vorlage. Bei Mehrdeutigkeit der Wörter wird ähnlich wie im zuvor beschriebenen Verfahren die Variante gewählt, „die in einem Kontext erscheint, der dem Ausgangssatz am ähnlichsten ist“. Der Computer vergleicht einfach ein Textpaar nach dem anderen, Satz für Satz. Allerdings wird dazu kein Sprachverständnis notwendig, vielmehr bestimmen die Statistik (Häufigkeit der „richtigen“ Übersetzung im Internet) sowie die Rechenleistung und die Masse des vorübersetzten Materials über den Erfolg.

8.8.14.3 Kommerzielle Anwendungssoftware zur Programmsteuerung

Dragon Naturally Speaking verspricht, über Spracherkennung u. a. die üblichen Officeanwendungen zu steuern. Ein einfaches Kommando wie „Mach das fett“ lässt den Text fett erscheinen, „Summe Spalte“ summiert in Excel die Spalte ohne die Notwendigkeit, komplexe Formeln anwenden zu müssen. Für Entwickler werden Versionen angeboten, ihre eigene Anwendung über diese Software sprach-zusteuern.

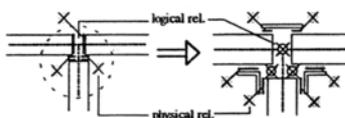


Abb. 8.83: Dieses Beispiel zeigt, wie Symbole (Beschriftung) in einer Stahlbauzeichnung logische und physikalische Beziehungen aus dem Modell in die Ausführungszeichnung übernehmen können. [Modeling of Buildings Through their Life-Cycle, CIP Proceedings Publication 180, Stanford University, Stanford, California, USA 1995]

8.8.15 Beschriftung von Bauzeichnungen

Wird Text nicht nur als Text erkannt, sondern auch dessen Inhalt (Semantik) verstanden, ergeben sich Möglichkeiten, die Interaktionen mit dem CAAD-System zu vereinfachen. Hier gibt es bereits Beispiele aus dem Stahlbau (GARM¹⁶⁰), wo die genaue Beschriftung normiert ist (Abb. 8.83). Denkbar für die Entwurfsphasen des Architekten ist bspw. eine bidirektionale Vermaßung. Damit besteht die Möglichkeit, über Veränderung der Bemaßungstexte davon abhän-

¹⁵⁹ InterACT, Pressemeldung 090/27.10.2005/rö-as
<http://www.presse.uni-karlsruhe.de>

¹⁶⁰ GARM, General AEC Reference Model)

gige Geometrien im Modell zu verändern. Neben der Bauteilbemaßung im Grundriss ist der Vorteil besonders in den frühen Phasen des Entwurfs nützlich, wenn wegen des kleinen Maßstabs eine Maßzahl schneller zu markieren und zu ändern ist und zu Beginn vorwiegend globale Maße verwendet werden, auf die abhängige Bauteile reagieren (Achsmäße, Geschosshöhen, Gebäudemaße etc.).

8.9 Hardware

8.9.1 Computer

„CAD-Systeme zwingen den Arbeitenden ein objektives Handeln auf: Gedanken und Ideen können nicht unmittelbar in eine Handlung umgesetzt werden, das CAD-System ‚schiebt sich dazwischen‘. Hier könnten sich neue Eingabemedien wie ein ‚intelligenter Zeichengriffel‘ als durchaus hilfreich erweisen.“ [Bolte 1998, S. 376]

Die stetig gesteigerte Leistungsfähigkeit macht immer mehr möglich. So können heute mehrere Programme gleichzeitig (Multitasking) ausgeführt werden, ohne größeren Leistungsverlust zu verspüren. Neben üblichen Büroprogrammen (DTP, CAAD, AVA, FM) können Renderings, Simulationsberechnungen im Hintergrund rechnen; Internet, Intranet, Fernsehen, E-Mails laufen parallel und sind nicht mehr wegzudenken.

8.9.2 Display



Abb. 8.84: Die Größe des „Bildschirms“ ist nur noch von dessen Auflösung und der notwendigen Grafikkarte abhängig. [82-Zoll-LCD, Samsung, Wikipedia]

Flachbildschirme (LCDs) sind in den letzten Jahren immer größer geworden. Dem Wunsch nach einem großen Bildschirm [s. Bolte 1998, S. 369] kann, wenn die Entwicklung so weiter geht, entsprochen werden. (s. Abb. 8.84)

Eines der Grundprobleme des Einsatzes von CAD-Systemen sollte damit entkräftet sein: „Der Bearbeiter hat nicht gleichzeitig das Detail und das Ganze ‚im Blick‘. Es ist zu vermuten, dass dies das Herstellen eines Gesamtzusammenhangs ‚im Kopf‘ erschwert. Wenn man ein Detail betrachtet, sieht man weder im Augenwinkel (wie beim Brett) noch ‚im Geist‘ die Gesamtheit.“ [Bolte 1998, S. 370] Allerdings ist es zweifelhaft, ob damit alle Probleme gelöst sein werden. Sicherlich ist mit größeren Bildschirmen die detailgetreue Wiedergabe größer und ein ständiges Ver-

größern und Verkleinern wird abnehmen, doch die erhöhte Konzentrationsnotwendigkeit wird bleiben, sie ist systembedingt. Solange man nicht direkt auf dem Bildschirm „zeichnen“ kann, ist man mit heutigen Eingabemedien unflexibel an eine Position (Tastatur, Maus, Tablett) gefesselt. Der Anwender wird sich immer die zu editierende Stelle ins ergonomische Zentrum auf seinen Bildschirm legen. Die Arbeit am „Detail“ wird ohne den Verlust der „Gesamtheit“ so nicht möglich sein.

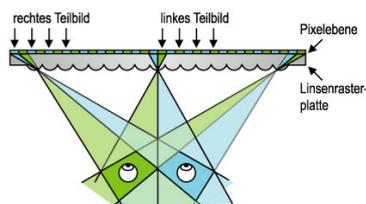


Abb. 8.85: Einfaches 3D-Display mit Zylinderlinsen-Scheibe, durch die jedes Auge nur die für es bestimmten Bilder zu sehen bekommt. Es funktioniert nur innerhalb der „Viewing Diamonds“.
[Bild A.C.T. Kern]

Vorstellbar ist aber eine Verbesserung der „Arbeitsumgebung“ auf dem Bildschirm. Denkbar sind verschiedene, verkleinerte (An-)Sichten auf das Projekt (Ansichten, Grundrisse, Schnitte, Isometrien etc.). Alle oben genannten Assistenten können von hieraus direkt angesprochen werden: Planungs-, Formfindungs-, Verwaltungs-, Historien-, Raumbuch erfassungs-, Flächen-/Volumenassistenten, AVA-Verknüpfung ... und mit zentraler Bedeutung der Navigator zur Steuerung des eigentlichen GM. Durch Icons ist der Zugriff auf Zusatzlösungen, soweit sie nicht schon von Assistenten direkt abgedeckt werden, denkbar: z. B. Simulationssoftware für Akustik, Besonnung, Renderings, (eingescannte) Skizzen, Schriftverkehr, Quellen zu Archiven (Grundlagenermittlung), Fotos etc. Zusätzlich sind Steuerungen der gesamten Arbeitsumgebung quasi als Schaltzentrale denkbar (Telefon, Videokonferenz, Plotterservice, E-Mail etc.) (Abb. 6.5)



Abb. 8.86: Bildschirm mit drei-dimensionaler Darstellung: Die 4D-Vision-Technologie vom Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut kommt ohne zusätzliche Sehhilfen aus, zusätzlich kann der Betrachter sich frei vor dem Schirm bewegen. Erweiterter Betrachtungsraum für den Benutzer durch Nachführung der Linsenrasterplatte. Das Display „Free2C“ ist wesentlicher Teil eines „3D-Kiosk“.
[Foto: Fraunhofer HHI]

Bildschirme mit „echter“ dreidimensionaler Darstellung

Wie oben erwähnt ist das Bewegen und erst recht das Konstruieren und Editieren „im Raum“ auf einem zwei-dimensionalen Bildschirm besonders schwierig. Bisherige Displays nach dem „autostereoskopischen“, d. h. brillenfreien, Verfahren zur dreidimensionalen Abbildung (Abb. 8.85) sind nur eingeschränkt in einem engen Aktionsradius und für nur einen Betrachter zu verwenden. Er muss exakt in der richtigen Position sitzen, da außerhalb der Effekt verloren geht oder sich kehrt. Für CA(AD)-Anwendungen hat sich bisher keine Akzeptanz ergeben. – Anders das neue Verfahren der „Free2C“ vom Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (HHI): Hier wird die übliche Linsenrasterplatte vor dem Display nicht fixiert, sondern mechanisch um einige Millimeter beweglich angeordnet. Oberhalb des Displays sitzt eine Infrarot-Videokamera, die die Kopf-

position des Betrachters erfasst und die Scheibe in ihrer Position geeignet nachregelt – seitlich und vor/zurück. Damit kann sich der Betrachter in einem sehr viel größeren Raumbereich bewegen als bisher, ohne dass der 3D-Effekt verloren geht. (Abb. 8.86) Um die Möglichkeiten der 3D-Darstellung voll ausschöpfen zu können, haben die HHI-Entwickler ein interaktives „Kiosksystem“ darum herum konzipiert. Der Benutzer kann die vor dem Display schwebenden Objekte nicht nur betrachten, sondern sie auch bewegen. Dazu sind Maus und Tastatur durch ein 3D-Interface ersetzt. Ein in die Bedienkonsole eingebautes Stereo-Kamerasystem detektiert die Handposition (Abb. 8.86). „Damit kann man lernen, in virtuellen Realitäten zu arbeiten. Die multimediale 3D-Umgebung erlaubt eine Kommunikation mit dem Computer auf intuitive Weise – ohne zusätzliche am Körper zu tragende Geräte.“ [vgl. Helmuth Lemme¹⁶¹]

Inwieweit hier das Agieren im Raum auch für CAAD-Anwendungen Erleichterung schafft, müssen Studien ergeben.



Abb. 8.87: Cursorbewegungen:
oben: SpaceMaus, Translation
X-Richtung: Drücken der Kappe nach links/rechts
Y-Richtung: nach unten Drücken bzw. nach oben Ziehen der Kappe
Z-Richtung: nach vorn Drücken bzw. nach hinten Ziehen der Kappe
Rotation
um X: Kippen der Kappe nach vorn/hinten
um Y: Drehen der Kappe nach links/rechts
um Z: Kippen der Kappe nach links/rechts
unten 3D-Maus

8.9.3 Eingabemedien

Das Weltmodell im Rechner eines CAD-Systems basiert auf dreidimensionalen Koordinaten. Jeder Punkt im Raum besteht aus einer X-, Y- und Z-Komponente. Die gebräuchlichen Eingabe- (Maus, Digitalisieretaflet) sowie Ausgabe-medien (Bildschirm, Plotter) sind grundsätzlich zweidimensionaler Natur. Punkteingaben werden stets in jeweils einer Ebene (XY, YZ und XZ) eingegeben. Die Bildwiedergabe erfolgt ebenfalls zweidimensional. Dabei ist es zwar möglich, dem Informationskanal Auge-Gehirn durch geschickte Umformung der dreidimensionalen Daten (Perspektive, verdeckte-Kanten-Effekte) in ein zweidimensionales Bild gewisse Tiefeninformationen (3. Dimension) mitzuteilen, eine im mathematischen Sinn 100 %ig verlässliche Information ist damit jedoch nicht gegeben. Das Editieren von 3D-Daten erfolgt daher bei den üblichen CAD-Systemen auf numerischer Ein- und Ausgabe von 3D-Punkten und ihren Verknüpfungskanten. Dabei wird dem menschlichen Abstraktionsvermögen bei dieser Raum-Eingabe und -Veränderung

¹⁶¹ Fachwissen, Helmuth Lemme: *Aufbruch in die dritte Dimension*, <http://www.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2006/0031/index.htm>

viel abverlangt. Bei komplexen Modellen muss der Anwender genau wissen, wie die räumlichen Zusammenhänge sind, und im Gehirn oder auf Notizpapier ständig Buch führen über schon getätigte oder noch zu tätige Aktionen. Schon geringfügige nachträgliche Veränderungen am bereits eingegebenen Modell (z. B. Verschiebungen oder Drehungen) werden sehr schnell zur Qual, da wiederum die Punktliste überarbeitet werden muss.

Um diese Editierprobleme (Koordinaten grafisch immer nur in einer Ebene eingeben zu können) zu mildern, sind Programme wie 3D-Modellierer (bspw. Rhino, 3DstudioMax, Alias u. a.) einen Kompromiss eingegangen, indem sie die drei Ansichtsebenen (XY, YZ und XZ) während der Punkteingabe umschalten können. Um nicht immer wieder das Abbild auf dem Bildschirm neu berechnen zu müssen (zeitaufwändig und für den Anwender störend in seiner Konzentration), können die drei Ansichtsebenen auch gleichzeitig auf dem Bildschirm dargestellt werden. Kleinere, überschaubare Objekte (Maschinenbau, Produktdesign etc.) können so befriedigend bearbeitet werden, doch ist die Informationsdichte von Architekturprojekten zu komplex, um mit dieser Methode und heutigen Mitteln angewandt zu werden. Auch ist der Architekt gewohnt (anders als Bildhauer oder Designer, die ihr Objekt ständig von allen Seiten überprüfen), sein Objekt in den jeweiligen Rissen (Grundriss, Seitenriss, ggf. Schnitt und Isometrie) zu betrachten und zu bearbeiten.

Eine andere Möglichkeit der 3D-Eingabe bietet die 3D-Maus. Sie bietet sechs Freiheitsgrade (engl. Degrees Of Freedom = DOFs), je drei für die Position im 3D-Raum (Translation) und die Orientierung im Raum (Rotation). Das ist immer noch wenig, wollte man frei modellieren. Zum Vergleich: Datenhandschuhe können über bis zu 20 DOFs zur Erfassung der Fingerkrümmungen verfügen. Die Bewegungsmöglichkeiten mit der 3D-Maus entsprechen daher nicht den natürlichen Bewegungen im Raum, sie müssen deshalb vom Anwender erlernt werden.

Die 3D-Maus besteht aus einem stationären und einem beweglichen Teil, der für die Steuerung eingesetzt wird. Positions- oder Bewegungsdaten werden dabei als absolute Daten relativ zu einem Bezugspunkt im Raum geliefert.

Ähnlich vergleichbar mit Spielkonsolen, wie bspw. dem Joystick beim Flugsimulator, der dem Anwender den Ruderdruck wiedergibt, könnte der Stift dem Zeichner entsprechende Widerstände der Zeichenuntergründe in Verbindung mit dem gewählten Zeichenwerkzeug vermitteln. Unterschiedlich harte Minen im Stift (Plastik, Filz oder Gummi) können ein zu leichtes Rutschen auf der Oberfläche vermeiden und so die Haptik verbessern. Force feedback bei Virtual Reality : „Das ‚Fühlen‘ eines Bauteils läßt sich mit modernen ‚Force-Feedback‘-Technologien simulieren.“ [aus Erlangen Festschrift, Prof. Manfred Geiger, Dr. Oliver Kreis, Ingrid Gaus]



Abb. 8.88: Freies Modellieren im dreidimensionalen Raum mit Rückkopplung (Force-Feedback)

Der Anwender spürt durch einen Widerstand in der Apparatur, wann er ein Objekt „berührt“. Durch erhöhten Druck auf diesen „Gegenstand“ (3D-Volumenmodell) kann er durch die Oberfläche eindringen und von innen weiter modellieren.

Künftige Experimente sollten hier zeigen, ob ein verbessertes Navigieren/Editieren im 3D-Raum auch bei CAAD-Anwendungen eine Verbesserung in der Tiefe bringt, ggf. in Verbindung mit einem 3D-Bildschirm (Abb. 8.86).



Abb. 8.89: Wacomtablets ermöglichen den Umgang mit zwei Bildschirmen. Der Nutzer kann über anwendungsspezifische Belegung bis zu sechs Eingabemöglichkeiten nutzen (Drucksensitivität, zwei Tasten an der Seite, ein „Radierer“ am Ende des Stiftes, Neigungswinkel und ein Rad).

Das Produkt „ClayTools System“¹⁶² erlaubt das freie 3D-Modellieren am Bildschirm mit bspw. „Ton“. Die Eingabe erfolgt über einen Force-Feedback-„Stift“ (Abb. 8.88), der den Anwender deutlich spüren lässt, wenn er auf eine Fläche oder einen Körper stößt. Durch das „direkte“ Modellieren ist die Handhabung ausgesprochen intuitiv. An Stelle des „Virtual Clay Modelling“ sind auch andere Anwendungen denkbar, bspw. das Skizzieren auf einer bestimmten Oberfläche. Beispiele dazu liefert die University of North Carolina, die Paint Model dAb zum Malen mit Aquarell, Öl etc. entwickelt hat (siehe Fußnote 163). Dabei wird das Verhalten unterschiedlicher Pinsel, Farben und Untergründe simuliert. (Abb. 8.93)

8.9.4 Direkte Eingaben auf dem Schirm (Tablett-PC)

Stift zusätzlich zur Maus

Die üblicherweise als Eingabemedium verwendete Maus ist für den zeichnenden oder malenden Anwender nicht nur ungewohnt, sondern auch ungeeignet, da sich freie Formen aus dem Handgelenk nur schwer bewerkstelligen lassen, ohne durch das Medium Maus im Bewegungsfluss behindert zu werden.

Besser der kabellose Stift (Wacom), der den Gewohnheiten am nächsten kommt. Er gewährt dem Handgelenk die nötige Bewegungsfreiheit. Der Stift sollte drucksensitiv sein, um verschiedene Zeichenwerkzeuge zu imitieren, wobei

¹⁶² ClayTools System ist eine Trademark der Fa. SenSable Technologies, Inc., USA.

nicht nur der Druck dem Werkzeug angepasst sein kann, sondern auch die entsprechenden Linien oder Pinselstriche dem jeweiligen Werkzeug entsprechen. Den Stift gibt es sowohl in Verbindung mit einem Tablett als auch in Verbindung mit einem Bildschirm (Abb. 8.89). Letztere Kombination gibt dem Anwender die Unmittelbarkeit seiner Handlung wieder zurück. Mit dem Stift können auch alle Programme gesteuert werden, wahlweise kann dazu aber auch auf eine zusätzliche Maus zurückgegriffen werden.

Ein direkt beschreibbarer Bildschirm mit 26-Zoll-Diagonale ist handlich, alle Befehle sind am Bildschirmrand noch gut erreichbar. So erstrebenswert eine solche Eingabeumgebung erscheint, sie ruft auch einige Bedenken hervor: So erfolgen zum einen die Handbewegungen (nicht nur zum Zeichnen, sondern auch zur Programmsteuerung) nicht mehr mit kleinsten Ausschlägen aus dem Handgelenk (wie bei der Maus), sondern der ganze Arm ist in Bewegung. Dadurch ist mit frühzeitigen Ermüdungserscheinungen zu rechnen. Zum anderen werden, von den ersten Skizzen abgesehen, größere Projekte immer nur in Ausschnitten zu bearbeiten sein, wodurch der Zusammenhang verloren geht.



Abb. 8.90: Mit unterschiedlichen „Zeichenminen“ kann man sich an verschiedene Medien (Glas, Folie) anpassen

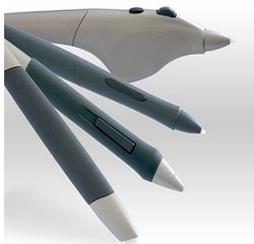


Abb. 8.91: Unterschiedliche Stifte bieten sich für unterschiedliche Maltechniken an (nur Navigieren und Konstruieren / CAD, Blei/Buntstift, Pinsel, Filzstift etc.)

Will man dem Wunsch nach einem großen Bildschirm mit direkter Eingabe nachkommen, sollte wie zuvor auf dem Zeichenbrett die gesamte Übersicht darstellbar sein. Das eigentliche „Arbeitsfenster“ zum Zeichnen und zur direkten Programmsteuerung kann entweder über die zu bearbeitende Stelle verschoben werden oder, umgekehrt, das „Arbeitsfenster“ bleibt bequem im ergonomisch günstigsten Bereich liegen und die Zeichnung wird dort hineingeschoben. Ein Zoomen ist möglich, aber nicht zwingend notwendig. Die (absolut notwendigen) Befehlsbuttons auf dem Arbeitsfenster können transluzent bleiben. Auf diese Weise bleibt die (geforderte) Übersicht erhalten und Ermüdungserscheinungen durch ständig sich verändernde Bildzustände auf dem Schirm wären erheblich reduziert. Zusätzlich kann ein Touchpad, wie man es von Laptops kennt, direkt in dem Arbeitsfenster integriert sein, sodass der Anwender mit der einen Hand das Programm über das Touchpad steuert, und die eigentlichen grafischen Eingaben mit dem Stift in der anderen Hand ausführt. Eine Sprachein- und -ausgabe könnte die notwendigen Dialoge zusätzlich vereinfachen.

8.9.5 Haptik zur Verinnerlichung der durchgeführten Aktion

Noch gänzlich unterentwickelt ist die Haptik heutiger Computeranwendungen. Ein Feedback der unmittelbar durchgeführten Aktion wird nicht mit den Sinnesorganen aufgenommen, erst das analysierte Ergebnis gibt dem Anwender die Meldung zurück, ob er eine Taste (Button am Bildschirm) auch wirklich „gedrückt“ hat, oder ob es aus Ungeduld schon zweimal zu oft war. Dabei könnten die üblichen (meist abgeschalteten, weil nervigen) Pieptöne durch angenehme dezente Geräusche ersetzt werden, gleichzeitig könnte optisch das Verhalten von gedrückten Buttons oder Schaltern am Bildschirm nachempfunden werden. Diverse Homepages leisten das heute schon. Der Anwender, der mit Stift arbeitet, kann durch einen leichten spürbaren Druckpunkt die notwendige Rückkopplung erfahren.

8.9.6 Haptik für Freihandzeichnen

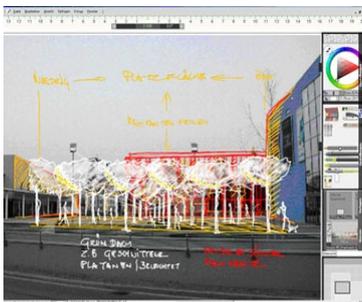


Abb. 8.92: Direkte Skizzen auf dem Tablett-PC. [Nemetschek D-Bord]

„Wer zeichnet, denkt und verlangsamt die Wahrnehmung zu Gunsten des anschaulichen Denkens;“ [Jenning 1999, S. 13]

Noch nicht gelöst ist die Haptik während des Freihandzeichnens. Durch seine taktilen Wahrnehmungen spürt der freihändige Zeichner praktisch körperlich als Feedback sein augenblickliches Schaffen, er bekommt es damit sozusagen in den „Bauch“. So macht es einen Unterschied, ob ich auf einer rauen oder glatten Oberfläche zeichne. Ebenso verhalten sich die jeweiligen Malwerkzeuge unterschiedlich. Die heutigen Oberflächen von direkt beschreibbaren Bildschirmen (Tablett-PC) sind Glasscheiben, hart und glatt. Um das auszugleichen, werden (bei Wacom) unterschiedliche Spitzen für den Stift angeboten. (Abb. 8.90 u. Abb. 8.91)

8.9.7 Simulation verschiedener Zeichenwerkzeuge

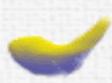
Zu Beginn verwendet der Architekt einen weichen 6B-Bleistift oder einen weichen Buntstift für möglichst unscharfe Linien auf aufgerautem Papier. Den leicht zu überwinden-

den Widerstand, den das Papier je nach Druck mit dem Stift entgegenbringt, spürt der Zeichner unmittelbar mit seinem Tastsinn und kann so sein Tun unmittelbar verinnerlichen. Auch kann er sofortige Korrekturen an Druck oder Stifthaltung vornehmen, um so seine Linie zu beeinflussen.

8.9.8 Simulation verschiedener Zeichenmaterialien

Es muss nicht nur das Aussehen des gewählten Zeichengrundes (gelbes „transparentes“ Skizzenpapier) dargestellt werden, sondern wünschenswert wäre auch die Darstellung

Abb. 8.93: Das Programm dAb simuliert das Verhalten, wie Zeichen/Malmittel (Pinsel) sich auf unterschiedlichen (virtuellen) Untergründen verhalten. Der Anwender erfährt eine direkte Rückkopplung durch den „Haptic Stylus“ (Abb. 8.88) [Lin und Baxter]

Type	Examples	Model	Structure	Surface	Example Strokes	
Round						
Flat/Bright						
Filbert						

des Verhaltens zwischen Zeichengrund und dem jeweils gewählten Zeichenwerkzeug. So sieht ein Strich mit dem Füllfederhalter auf der saugenden Papierserviette anders aus als auf einer festen Pappe. Aber auch die Haptik ist eine andere. Mit Pinsel und Tusche auf Aquarellpapier spürt der Anwender kaum einen Widerstand, während mit Blei- oder Buntstiften deutliche Unterschiede je nach Auf- oder Abstrich spürbar sind. [vgl. Lin und Baxter¹⁶³]

8.9.9 „Elektronische“ Handskizzen mit digitalen Stiften

Digital Pens (vgl. Abb. 8.33) konvertieren analoge Informationen in digitale Daten und speichern diese im eingebauten Memory. Einmal gespeichert, können die Daten an PC oder Mobilphone (drahtlos per Bluetooth, Wi-Fi oder über einen USB-Anschluss) versendet werden, wo sie dann für verschiedene Anwendungen zur Verfügung stehen. Der Digital Pen verwendet Tinte und verhält sich wie ein normaler Kugelschreiber. Zusätzlich enthält er eine

¹⁶³ Ming C. Lin, Department of Computer Science, University of North Carolina, <http://www.cs.unc.edu/%7Egeom/DAB/index.html#paper> (Stand 25.06.2004)

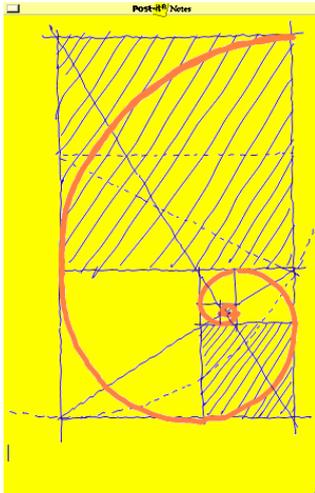


Abb. 8.94: Mit dem Digital Pen können handschriftliche Skizzen und Texte direkt in andere Dokumente (Word, E-Mail) oder als „gelbe Notizzettel“ mit Terminplanung (Alarmfunktion) übernommen werden. Die Skizzen können auf dem Papier oder am Bildschirm nachbearbeitet und ergänzt werden (Löschen einzelner Linien oder Texte, Farben/-Strichstärken ...). Texte können in „Text“ umgewandelt werden. Linien werden als Vektoren abgespeichert, sie könnten in ein GM überführt werden.

eingebaute Kamera und ein erweitertes Image Processing System. Als Papier werden übliche Sorten verwendet, die mit einem für das Auge kaum sichtbaren Raster von 0,1mm bedruckt sind. Der Rasterabstand liefert dem Stift die exakten Koordinaten auf dem Papier. Die gespeicherten Daten verwalten die unterschiedlichen „analogen“ Dokumente, sodass ein nachträgliches Ergänzen oder Löschen auf einem „Papierdokument“ entsprechend richtig in der digitalen Datei nachgeführt wird. Eigener handgeschriebener Text wird nach einer einmaligen Einlernphase erkannt und digital umgewandelt. Neben Text werden auch Skizzen erfasst, womit diese Technik auch für den entwerfenden Architekten interessant wird; da auch Linien als Vektorgrafik und nicht in Pixeln abgespeichert werden, können sie auch in Bauteilobjekte eines GM überführt werden (s. 8.3.3 u. 8.3.4.3).

Jedoch muss bemerkt werden, dass die Stifte verhältnismäßig dick sind und eine Kugelschreibermine nicht jedermanns bevorzugtes Skizzierwerkzeug ist. Allerdings kann man digitalisierten Linien Farben und Linienstärke zuordnen. Hinzu kommt, dass ein Schreibwinkel von mind. 60° gegenüber dem Papier eingaltnen werden muss und der Stift nicht drucksensitiv ist, im Gegenteil, bei zu wenig Druck und nur kurzen Strichen werden diese von der Kamera nicht erfasst. [vgl. a. Koutamanis 2005]

8.9.10 Computerleistungen gestern, heute, morgen

Nach dem Mooreschen Gesetz sollte die Leistungsfähigkeit (Rechenleistung) der Computerprozessoren alle zehn Jahre mit dem Faktor von ca. 32 zunehmen. Für die Zukunft sind hier leichte Zweifel aufgekommen¹⁶⁴. Durch eine Mehrprozessortechnik kann ein Defizit zum Teil ausgeglichen werden. Aber auch hier sind Grenzen gesetzt, so wirkt sich

¹⁶⁴ Allerdings mehren sich die Stimmen, die eine eventuelle Verlangsamung der Integrationsdichte in naher Zukunft erwarten. Zum einen werde eine technische Grenze erreicht, wenn ein Transistor die Ausdehnung weniger Atome erreiche. Zum anderen wachse der finanzielle Aufwand zur Entwicklung und Herstellung integrierter Schaltkreise schneller als die Integrationsdichte, so dass es einen Punkt geben werde, an dem die Investitionen sich nicht mehr rentieren würden. [Wikipedia]

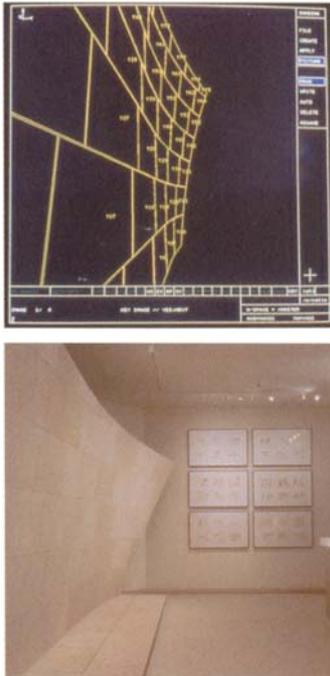


Abb. 8.95: Frank O. Gehry,
Disney Konzerthalle:
Computerstudie und Fassaden-
ausschnitt (Kalksteinplatten auf
Stahlrahmenfachwerk), Venedig,
Biennale 1980.
Die Software CATIA lieferte
präzise grafische Darstellungen
und steuerte direkt die Steinfräse.
[vgl. Steele 2001]



Abb. 8.96: Mit einer CNC-gesteuerten
3D-Fräse erstelltes Holzmodell im
Maßstab 1:100
[Junge TUM]

nach dem Amdahlschen Gesetz¹⁶⁵ die zunehmende Anzahl Prozessoren durch den Managementaufwand des Betriebssystems (nicht alle Prozesse können parallel berechnet werden) irgendwann kontraproduktiv auf die Leistungssteigerung aus. Für den CAD-Bereich kann aber noch mit künftigen Leistungssteigerungen gerechnet werden, da vor allem die Grafik parallel berechnet werden kann (vgl. Computerspiele). Das ermöglicht die Erstellung immer komplexerer Programme, ohne dass die Reaktionszeit darunter leiden wird, wovon die Anwendung semantischer Gebäudemodelle profitieren wird.

Immer komplexere Programme werden aber auch erhöhte Anforderungen an den Softwaredesigner stellen. Um mit den begrenzten Ressourcen (eher kleine Gruppe der CAAD-Anwender, verglichen mit DTP-Verbrauchergruppe) behutsam umzugehen, wird man sich auf ein gemeinsames Modell (IFC) einigen müssen.

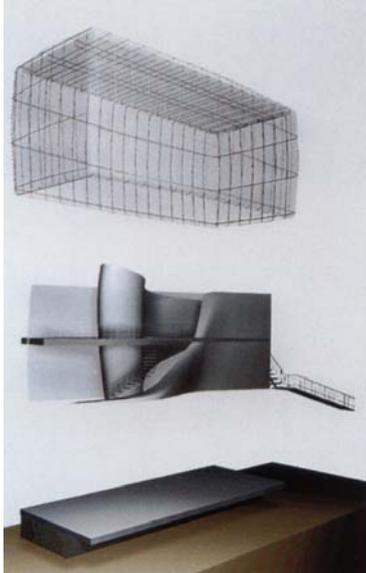
Die Vereinheitlichung der Oberflächen, vergleichbar mit DTP-Guidelines der Textverarbeitung, bleibt wünschenswert, ist aber aus Gründen der weit fortgeschrittenen individuellen Softwarelösungen eher unwahrscheinlich.

8.9.11 Ausgabemedien

Zum Ausgeben der 3D-Modelldaten stehen heute 3D-Drucker, -Plotter, Belichter und Modellbaumaschinen zur Verfügung. Die virtuellen Daten des Objektmodells können direkt an 3D-Fräsen mit unterschiedlichen Freiheitsgraden (auch für Taschen) oder 2½ D zur Erstellung eines realen Modells übergeben werden. Andere Verfahren zur Modellherstellung sind Laserverfahren, die aus (Spezial-)Sand ein Volumenmodell erzeugen, oder Kunststoffverfahren, die einen Modellkörper mit UV-Licht zum Aushärten bringen (Abb. 8.77 u. Abb. 4.10). Je nach gewünschtem Ausgabemaßstab und Feingliedrigkeit des Modells ergeben sich so verschiedene Möglichkeiten. Neuere Modelle können sogar Farben/Texturen aufbringen.

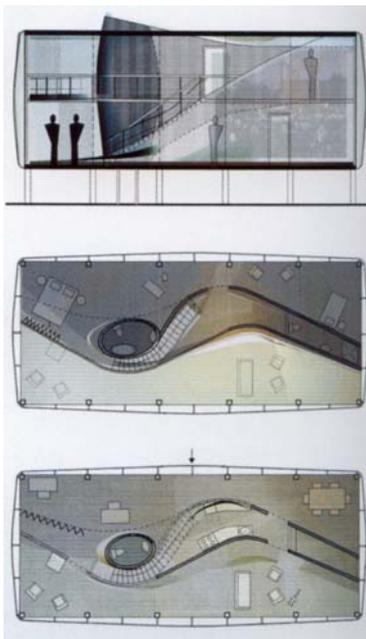
¹⁶⁵ Das Amdahlsche Gesetz, benannt nach Gene Amdahl, ist ein Modell in der Informatik über die Beschleunigung von Programmen durch parallele Ausführungen. [vgl. Wikipedia]

8.10 Vor- und Nachteile semantischer Gebäudemodelle



Wann ist der „richtige“ Einstieg für CAAD?

Die ersten noch unausgereiften vorläufigen Ideen wird man nicht mit CAAD machen, sondern spontan auf irgendeinem Papier (Serviette, Bierdeckel) oder mit Malprogrammen auf dem Tablet-PC, um sich so langsam an die Entwurfsidee heranzutasten. Skizzen und Notizen dienen dazu, im Kopf herumschwirrende Gedanken auf ihre Gültigkeit zu beurteilen und um sie sich und ggf. auch anderen zu verdeutlichen. Papier und Bleistift sind dafür an Spontaneität und Unmittelbarkeit in ihrer Handhabe nicht zu überbieten. Nicht tragende Ideen können so auch schneller verworfen werden (Papierkorb), wodurch auch der Kopf wieder frei für neue Gedanken wird. [vgl. Bolte 1998, S. 367]



Erst wenn sich die Machbarkeit manifestiert hat, wird man je nach Projektgröße entscheiden, eine Papierskizze einzuscannen oder sie direkt auf den Schirm zu übertragen und schrittweise in ein GM zu überführen. Verglichen mit herkömmlichen CA(A)D (ohne GM), wird man den Nutzen der Bauteilobjekte des GM schon frühzeitig beim Übergang von der unmaßstäblichen Skizze zur verbindlichen maßgerechten Zeichnung schätzen lernen. Die oben gemachten Ausführungen über User Interface, Spracheingabe, direkte Beschreibung des Bildschirms durch einen entsprechenden Stift können den Zeitpunkt, wann man mit CAAD „gewinnbringend“ beginnen kann, deutlich nach vorne verlegen.

Entscheidend für den Erfolg ist die einfache Bedienbarkeit und dass mit einem GM frühzeitig *auch* nach der Top-Down-Methode gearbeitet werden kann. Der „richtige“ Einstieg ist von der Art und dem Umfang der Projekte her verschieden. Aber es ist leichter, einen mit einem GM hinterlegten Baukörper nachträglich zu verformen, ohne dass seine Gesamtstruktur (Anschlüsse der angrenzenden Bauteile) verloren geht. [vgl. ansatzweise Revit]

Abb. 8.97: Bernhard Tschumi Architects, Projekt Time House, New York, 2001. An diesem Beispiel wird deutlich, wie Modellierung und Darstellung des Entwurfs mit Computer neue Möglichkeiten bieten kann. Der Treppenlauf als Bauteilobjekt kann sich der vorgegebenen Kontur anschmiegen. Die Explosionszeichnung oben ist leichter zu „rendern“, als mit traditionellen Stift/Papier-Methoden zu erstellen. [Bild: Nerdinger 2002]

8.10.1 Vorteile

- Es muss nur so viel Information mitgegeben werden, wie es der erforderliche View benötigt
- Springen in allen Views zu jeder Zeit
- Veränderbarkeit eines Entwurfes bis zur Ausführung wird optimal unterstützt
- Umschalten in verschiedene Views, welche in unterschiedlichen Stilen dargestellt werden können
- Weiterbearbeitung, Verdichten der Informationen entsprechend der Planungsphase in jedem View möglich
- Auswertung von Entwurfsvarianten
- Zeichenfehlerreduktion durch „intelligente“ Objekte
- Plancheck nicht nur für Bauamt (Genehmigungsphase)
- Kostenplanung, Energieplanung, Kostenabrechnung
- Gebäudesimulation
- Redundanzfreies, fachübergreifendes Arbeiten
- Planlisten, Positionspläne, Schließpläne, Fluchtpläne etc.
- VRML als View optimiert
- FM, Nutzen des GM während des gesamten Lebenszyklus einer Immobilie

8.10.2 Nachteile

- Abhängigkeit von der Technik
- Für Macher Verlust an Zeichenfreude
- Nicht jeder Architekt – auch nicht derjenige, der mit dem Computer aufgewachsen ist – wird vom analogen Stift lassen wollen oder können
- Früher Einsatz zahlt sich am besten aus, wenn durchgeplant und das Projekt nicht vorzeitig beendet wird (was aber am Anfang nicht immer feststeht)

8.11 Woran der Einsatz von CAAD in den frühen Phasen des Entwurfs scheitern kann

Ohne eine intuitive Benutzeroberfläche (7-Memory-Regel) wird man keinen Entwerfer längerfristig an den Rechner binden.

Die ersten gebäudemodellunterstützenden Programme sind auf dem Markt. Ihnen fehlt noch die „Alltagstauglichkeit“. Nicht alle Objekte sind vorhanden oder, wenn doch, nur begrenzt manipulierbar. Die Bedienung ist (noch) sehr komplex, wenn man ein ganzes Projekt vollständig mit Produktdaten erarbeiten will. Hersteller sollten Entwürfe gebauter Häuser ebenso wie alltägliche Aufgaben „Bauen im Bestand“ nachstellen, um ihre eigene Software zu testen und zu verbessern.

CAAD-Systeme zwingen dem Architekten ihre Vorgehensweise auf, wodurch dieser in seiner Kreativität eingeschränkt wird. Besser wäre es, sie würden den Anwender coachen, ihm in jeder Situation Anreize geben, das Beste aus sich herauszuholen.

Der Wandel weg vom traditionellen Denken in Planen mit Linien hin zu abstrakten Objekten innerhalb eines Gebäudemodells führt zu erheblichen Akzeptanzproblemen vor allem unter den etablierten Architekten.

Das Medium CAAD verändert substanziell die Arbeitsweise des Architekten, es erzwingt eine bestimmte Umgangsweise mit dem System. Die Herangehensweise zur Problemlösung ist grundlegend anders als die herkömmliche Methode mit Papier und Bleistift. Der Wandel in der Arbeitsweise bezieht auch die Teamarbeit mit den Sonderfachingenieuren mit ein.

Die Haptik bisheriger „analoger“ Zeichenmethoden wird vollkommen vernachlässigt. Nach allem, was wir heute wissen, wird unterbewusstes Lernen (Erlernen der Problemstellung einer Entwurfsaufgabe) durch motorische Aktionen und Sinneswahrnehmungen erreicht. „Die Neuschöpfung beginnt schon beim interpretierenden Sehen von etwas, was oft noch nicht da ist, dann beim reagierenden Denken auf diese Wahrnehmung und drittens beim überlagernden Zeichnen von Vorhandenem und der neuen Reaktion darauf. Dabei kann durch Überlagerung von Vorhandenem und den darauf reagierenden Anregungen Neues entstehen“. [Wienands 2005] – Schließlich, erst wenn das Problem (die Aufgabe) im Unterbewusstsein verankert ist, können daraus kreative Ideen erwachsen. – Es macht einen Unterschied, ob ich als Entwerfer einen Kreis oder eine Ellipse „händisch“ mit einem Stift auf Papier durch

mehrfaches Umfahren der gewünschten Kontur verinnerliche oder eine Symbol-Ellipse am Bildschirmrand auswähle und auf dem Bildschirm platziere (was eher einem „Layouten“ gleichkommt). Ähnlich beim „Erarbeiten“ erster Entwurfsskizzen: Durch wiederholtes „Abfahren“ oder Nachzeichnen der vorhandenen Strukturen werden diese verinnerlicht, „begriffen“ und gelangen in den „Bauch“, werden im Unterbewusstsein verankert und können intuitive Momente auslösen. Zeichnen ist eben auch Sinneswahrnehmung und damit Denkipuls. „Zeichnen ist Denken – Zeichnen ist Kommunikation – Zeichnen ist Sprache“, so Wienands.

Neben der mangelnden intuitiven Benutzerführung liegt hierin ein weiterer Grund, der m. E. nicht einfach mit „alter Technik“ abgetan werden kann. Oder wird sich das Bild künftiger Entwurfsprozesse gänzlich ändern? Werden künftige computerhörige Architekten mehr zu gefühllosen Maschinen? Wie wird sich das auf die künftige Architektur und unsere Umwelt auswirken? Vielleicht ändern sich diese „Gewohnheiten“, und die nächsten Architektengenerationen finden ein Äquivalent, auf ihre Weise kreativ zu werden. Ansätze hierzu sind bei der Avantgarde zu finden, auch wenn sie die neue Technik (nur) zur Formfindung anwendet.

Die Erstellung einer intuitiven Oberfläche (wie beschrieben) übersteigt die Möglichkeiten so mancher Softwarehäuser sowohl in qualitativer als auch in finanzieller Sicht. Dennoch liegt hier der Schlüssel zur Akzeptanz zumindest durch den entwerfenden Architekten.

Fazit

Die Bedeutung der Verwendung von Gebäudemodellen bei der Planung (Entwurf), Erstellung (Bauphase) und Nutzung (FM) von Gebäuden ist inzwischen weltweit anerkannt. Seit Gründung der IAI im Herbst 1995, bestehend aus USA und Deutschland mit ca. 50 Mitgliedern, bekennen sich heute ca. 600 Mitgliedsfirmen der planenden wie ausführenden Unternehmen zur Verwendung der IFC. Aber auch Universitäten setzen bei ihrer Forschung auf die IFC.

Eine größere Bedeutung in der Praxis haben die IFC bisher erst ab der Werkplanungsphase erhalten, weil die Industrie zur direkten Ansteuerung der Fertigung Vorteile in einem durchgängigen Prozess (Interoperabilität) etablieren konnte. Ähnlich profitiert die Verwaltung und Nutzung (FM) der Immobilie von den Objektdaten. – Nicht oder nur gering werden Bauteilobjekte (GM) in den frühen Phasen des Entwurfs eingesetzt. Das ist aus wirtschaftlicher Sicht zunächst unverständlich, da nach Diederichs diese Phasen nur ca. 0,2 % - 0,5 % der Investitionskosten ausmachen, aber die Investitionen und Folgekosten, besonders zu Beginn, mit ca. 50 % (Grundlagenermittlung, Vorentwurf) und ab der Entwurfsphase „nur noch“ mit ca. 25 % beeinflussen. Nach Beginn der Ausführung können die Kosten nicht mehr nennenswert beeinflusst werden. [vgl. Diederichs 1984] (s. a. Abb. 1.2).

Dieses Potenzial, auch den Planungsprozess durch GM-Daten zu unterstützen, bleibt bis heute ungenutzt. Die Gründe dafür wurden ausgiebig dargelegt: (1) Erhöhter Aufwand bei der Eingabe. (2) Der Nutzen stellt sich (heute) erst später in den Folgegewerken ein; an deren „Gewinn“ (etwa in der Fertigung) partizipiert der Architekt nicht, es wirkt sich im Gegenteil eher kontraproduktiv auf sein Honorar aus. (3) In den frühen Phasen ist nicht gesichert, ob eine Planung auch (von ihm) ausgeführt wird.

Konzentriert auf die Situation, den erhöhten Aufwand gegenüber dem Nutzen bei der Eingabe schon ab den frühen Phasen des Entwurfs zu verbessern, muss in erster Linie die Akzeptanz des CAAD-Einsatzes in dieser Zeitphase bei den entwerfenden Architekten hergestellt werden. Das Argument „mit Papier und Bleistift bin ich viel schneller“ darf nicht mehr gelten können und kann nur durch eine radikal vereinfachte, intuitiver bedienbare Interaktion mit dem CAAD-System erreicht werden (u. a.: UI, Spracheingabe, direkt beschreibbare Bildschirme). Die Vorgehensweise beim Entwerfen – ob nach alter Tradition über Skizzen oder neuerlichen Methoden mit Bauteilen (beides am CAAD-System) – darf nicht durch komplizierte Eingaben blockiert werden. Vielmehr muss die Bedienung „im Schlaf“ erfolgen. Erst dann, unter Berücksichtigung der 7-Memory-Regel (maximale Anzahl der Gedanken, die gleichzeitig im Kurzzeitgedächtnis gehalten werden können), können die Gedanken ohne störende Unterbrechung zur Entfaltung einer Entwurfsidee verwendet werden.

Dazu sind Gebäudemodelle mit ihren Bauteilobjekten (IFC) Voraussetzung für jegliche Verbesserung, da zur Interaktion mit dem CAAD-System ganze Objekte angesprochen werden, die mit Namen, Lage und zeitlicher Abfolge auch mit einem Entwurfsmodul sinnvoll verarbeitet werden können. Zudem ist diesen Objekten eine Semantik mitgegeben, die das Editieren deutlich vereinfacht, weil u. a. Verbindungen selbstständig eingegangen und auch wieder gelöst werden. Das View-System ist ein weiterer, zeitsparender Nutzen für den Architekten, weil er sich nur noch auf die Verdichtung der Informationen (von unscharfer zu

scharfer Definition) zu konzentrieren hat und nicht mehr einmal „Gezeichnetes“ in einem anderen Maßstab (View) erneut zeichnen muss, bevor er zusätzliche Details bestimmen kann.

Der Umfang der Gebäudemodelle heutiger Prägung reicht aber nicht aus, vielmehr müssen zur Entwurfsunterstützung auch entwurfs- und planungsrelevante Objekte, die keine Bauteile repräsentieren, zur Verfügung gestellt werden. Dazu gehören u. a.: Raster, Beschriftungen, Symbole, durch die Entwurfsgedanken mittels „Constraints“ sichtbar gemacht werden können, wie: Sonne, Nordpfeil, Richtungspfeile (einseitig), Verbindungspfeile (zweiseitig) etc.

Werden IFC zu Beginn der Planung verwendet, können Softwareassistenten in einem Entwurfsmodul dem entwerfenden Architekten „zuarbeiten“. Dabei können diese Assistenten nicht nur Routinearbeiten (Grundlagenermittlung) abnehmen, sondern auch qualitative, entwurfsunterstützende Maßnahmen einleiten, wie Grundrisse optimieren (Grundrissautomaten), Entwurfsregeln (Proportionen) einhalten. Unterstützung ist auch möglich bei der Formfindung (Barthel, CAD EASY) oder bei der Tragwerksplanung (ExTraCAD, DISS Rottke).

W. J. Mitchell, einer der führenden CAAD-Forscher, sieht es nicht mehr als notwendig an, immer einfacher zu bauen, um Kosten zu senken. Man solle die Chance nutzen, durch CAAD-Einsatz komplexere Architektur ohne Kostensteigerung realisieren zu können. – Dazu lernen von der Autoindustrie: War das letzte Jahrhundert geprägt von der Industrialisierung/Automatisierung im Autobau (Ford), so ist heute Innovation angesagt. Die Umsetzung neuer Modelle geht immer schneller, Teile eines Typs (Chassis vom Golf) werden für andere Marken oder auch für neue Modelle übernommen. Dabei hilft Digital Mock-up¹⁶⁷. Erfolgreich eingesetzt, ermöglicht es frühes Prüfen von Design, lässt Kollisionsprüfungen und Baubarkeitsprüfungen zu, ermöglicht Konstruktionseinbau- und -ausbauuntersuchungen, aber auch Verhaltenssimulationen (Lüftung, Klima, Federung etc.), ohne das Auto grundsätzlich teurer werden zu lassen. Voraussetzung ist ein vollständig digitales Produktmodell im Computer.

Diese Arbeit hat auf der einen Seite Architekten gezeigt, was sie von CAAD-Systemen heute erwarten können, und auf der anderen Seite Entwicklern von Hard- und Software deutlich gemacht, was Architektur ausmacht, was Entwerfen für Architekten bedeutet, welche Methoden dabei angewendet werden und welche Rahmenbedingungen gegeben sein müssen, damit ein entwerfender Architekt das CAAD-System akzeptiert und nutzt.

Diese Arbeit lässt auch den großen Aufwand erahnen, etwa ein Entwurfsmodul mit einem dezentralen Assistentensystem in ein CAAD-System zu integrieren, das den frühen Phasen des Entwerfens gerecht wird, in ihre bestehende Software zu implementieren oder gar ihre Software gänzlich neu zu entwickeln. Eine solch große Anstrengung wird von Softwarehäusern nur unternommen werden, wenn auch eine entsprechende Nachfrage zu erwarten ist. Architekten¹⁶⁸ tun gut daran, ihren Bedarf zu formulieren und Druck auf die Softwarehäuser auszuüben, bevor die Bauherrschaft (Bauträger) den Leistungsdruck erhöht. Meines Erachtens würden Forschungsgelder hier auf einen fruchtbaren Boden fallen.

Noch ungelöst ist die Problemstellung, dass ein CAAD-System für den kreativen, intuitiven Part während der frühen Phasen des Entwurfes zu schnell ist. Die Interaktionen mit dem System bleiben besonders intensiv und konzentriert, ohne dem Anwender genügend Zeit zu

¹⁶⁷ Digital Mock-Up (DMU), der Luftfahrttechnik abgesehen, bezeichnet ein digitales Versuchsmodell, welches die Produktstruktur (Baugruppen, Einzelteile) und deren lagerichtige Geometrie eines Produktes repräsentiert. [Wikipedia]

Reflexionen zu lassen, um die zündende Idee¹⁶⁹ zu ermöglichen. Das wird sich auch nicht ändern, wenn das System „im Schläfe“ bedienbar sein wird, im Gegenteil, Assistenten könnten diesen Effekt noch verstärken. – Mit GM wechselseitig nach Top-Down- oder Bottom-Up-Methode „spielen“ zu können, ist hingegen ein Gewinn. Glaubt man an Le Corbusiers „volumetrische Gruppe“, an das Erleben der „Morgenröte“, „einer neuen Architektur (...) die wirklich dreidimensional ist, auch reicher und überraschender“¹⁷⁰, dann werden mehr und mehr Architekten den „tonangebenden“ Kollegen (Gehry, Eisenman, Hadid & Co.) folgen wollen und den rechten Winkel nicht mehr als bindend sehen oder sogar amorphe Formen verwenden wollen. – Wie immer man dazu steht, die Architektur wird nicht zuletzt auch durch den Computereinsatz in ihren Formen komplexer werden. CAAD-Systeme könn(t)en ihren Beitrag dazu leisten.

¹⁶⁸ Architekten sind Individualisten, sie haben sich bisher einer Computerisierung (im Sinne dieser Arbeit) verweigert. „Praktiker“-Kollegen beider Disziplinen (Entwerfen und EDV/CAAD) sind äußerst selten und „sterben aus“. Meiner Meinung nach muss sich die Vertreterschaft (Kammern) international betätigen, bspw. bezahlte, erfahrene Kräfte der IAI zur Seite stellen.

¹⁶⁹ Die Idee ist die Synthese aus allen Nachforschungen und Experimenten, das Ergebnis des galileischen »Prüfens und Überprüfens«. [Piano 1997]

¹⁷⁰ Le Corbusier aus: *Le poème électronique*, ein Projekt zur Brüsseler Weltausstellung, 1958, für die Firma Philips. Le Corbusier sieht (mit seinem Pavillon zusammen mit dem Musiker Iannis Xenakis) einen wesentlichen Einschnitt in der Architekturgeschichte; seit dem Altertum ist die Architektur nur zweidimensional, „in die dritte Dimension gelangt man durch Parallelverschiebung im rechten Winkel zur Ausgangsfläche. Die dritte Dimension, die man so entwirft und realisiert, ist fiktiv, sie ist homomorph zur Ebene, sie fügt kein neues räumliches Element hinzu.“ Der rechte Winkel, das Lot zur Grundebene (als Ausdruck der irdischen Schwerkraft) beherrschte und regulierte als Gerade (Ausdruck von Symmetrie) die Bauten von den Ägyptern bis in die Moderne. [Musik und Architektur WDR 2.doc, <http://www.frisius.de/rudolf/texte/tx1103.htm> (Stand 14.06.2006)]

Literaturverzeichnis

- Aalto 1948: Alva Aalto: *Taimen ja tunturipuro*. Finnish Architectural Review 1, 1948, S. 7-10.
- Achten 1996: Henri Achten: *Teaching Advanced Architectural Issues Through Principles of CAAD*. Proc. ECAADE 14th Conference of Education of Computer Aided Architectural Design in Europe, Lund, Sweden, 1996, 1: 7-16.
- Achten 1997: Henri Achten: *Generic Representations*. PhD-iss., Eindhoven University of Technology. 1997
- Achten 2005: Henri Achten: *Resolving some Ambiguities in Real-time Design Drawing Recognition by means of a Decision Tree for Agents*, CAAD Futures 2005, 311-320, Springer
- Alberti 1452: Leon Battista Alberti: *De Re Aedificatoria*, 1452
- Alberti 1912: Alberti, *De Re Aed.* IX, 5; zit. nach Theurer (1912), p. 496
- Alexander 1977: Christopher Alexander: *A Pattern Language. Towns. Buildings. Construction*, Originalausgabe, Oxford University Press New York 1977; dt.: Eine Muster-sprache, aus dem Amerikanischen von Hermann Czech, Adam Kovacsics und Susanne Spreitzer, Löcker Verlag Wien, 1995
- Armand: Armand, Gunter <http://www.bioniker.de/Naturformen/Phi-Regel/phi-regel.html>
- Atze 2005: Johannes Atze: *Praxisbericht: Visualisierung der Allianz-Arena*, AUGCE Newsletter 05/05 <http://news.augce.de>
- Balmond und Smith 2002: Cecil Balmond und Januzzi Smith: *Informel*, Prestel Verlag, München, Reprint 2003
- Barthel 2002: Rainer Barthel: *Form der Konstruktion – Konstruktion der Form*, in: *Konstruktion und Raum in der Architektur des 20. Jahrhunderts*, Hrsg. Winfried Nerdinger, Prestel, München, 2002
- Barthel 2004: Rainer Barthel: *formfindung leichter flächentragwerke*, arbeitsblätter zur einföhrung in die software EASY 8.0, stand mai 2004, Lehrstuhl für Tragwerksplanung LT, Technische Universität München, Fakultät für Architektur
- Baum 1996: Mirko Baum: *Die begründete Form – oder über die Schönheit der strengen Schreibart*, Werkbericht Nr.1, 1996, TU Aachen, <http://ke.arch.rwth-aachen.de/download> 2006
- Bédard 1994: Jean-François Bédard: *Cities of Artificial Excavation. The work of Peter Eisenman*, Montréal 1978-1988, Hrsg. Jean-François Bédard, 1994
- Benesch 2005: Hellmut Benesch: *Computer und Intelligenz*, Brockhaus 2005
- Björk 1995: B.-C. Björk: *Requirements and Information Structures for Building Product Data Models*. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, VTT publication 245, 1995, 166 p.
- Bolte 1998: Annegret Bolte: *Beim CAD geht das Konstruieren langsamer als das Denken*, in: *Arbeit*, Heft 4, Jg. 7 (1998), S. 362-379
- Boullée 1987: Étienne-Louis Boullée, *Architektur-Abhandlung über Kunst*, Zürich/München, 1987
- Brethauer et al. 2001: G. Brethauer u. a.: *Nachhaltiges Planen, Bauen und Wohnen im Informationszeitalter*, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6626, 2001
- Brodbeck 1997: Karl-Heinz Brodbeck: *Ist Kreativität erlernbar?*, Vortragstext zu Vorträgen in Graz, Heidelberg, Konstanz und Würzburg; gehalten im Jahre 1997, Quelle: http://www.grauezelle.de/gz_erlernbar.html (Download 01.05.2006)
- Brooks 1991: Rodney A. Brooks: *Intelligence without representation In Artificial Intelligence*, 47:139-159, 1991
- Bruggen 1997: Coosje Van Bruggen: *Frank Gehry Guggenheim Museum Bilbao*, Guggenheim Museum Publications, New York, 1997

- Büchner 2002: Karin Büchner: *Workshop Typographie – Teil 1: Websites mit kommunikativem Verstand*, 2002, www.drweb.de/webdesign/wahrnehmung.shtml
- Buzan 2005: Toni und Barry Buzan: *Das Mind Map Buch*, Moderne Verlagsges. Mvg- 2005
- Choo 2005: Seungyeon Choo: *Study on Computer-Aided Design Support of Traditional Architectural Theories*, TUM 2005
- Cotelo 1999: Victor López Cotelo: *Vertiefung der Suche nach der Essenz des Ortes als Ausgangspunkt in der Definition des architektonischen Eingriffs*, Technische Universität München, Fakultät für Architektur, <http://www.led.ar.tum.de/ziel.html>, Stand 16.11.1999
- Czech et al. 1977: Hermenn Czech und Wolfgang Mistelbauer: *Das Looshaus*, Löcker & Wögenstein, Wien, 2. verbesserte Auflage 1977
- Davies et al, 1991: B. L. Davies, A. J. Robotham & A. Yarwood: *Computer Aided Drawing and Design*. (First revised edition) Chapman & Hall, New York, USA, 1991, 328 p.
- Dehlinger 2003: Hans Dehlinger: *Kommentiertes Vorlesungsverzeichnis*, Uni Kassel (letztes Update: 26.08.2003, lt. Upload 2006)
- Dengel 2005: Andreas Dengel: *Künstliche Intelligenz: Ein interdisziplinäres Forschungsgebiet*, Brockhaus 2005
- Dick 1985: M. Dick: *Creative Problem-Solving for Engineers*. *Machine Design* (7), 1985, S. 97-101.
- Diederichs 1984: Claus Jürgen Diederichs: *Kostensicherheit im Hochbau*, Deutscher Consulting Verlag, Essen 1984, S. 32
- Do 2001^a: Ellen Yi-Luen Do: *VR Sketchpad, create Instant 3D Worlds by Sketching on a Transparent Window*, in: *CAAD Futures 2001*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London 2001, S. 161
- Do 2001^b: Ellen Yi-Luen Do: *Graphics Interpreter of Design Actions*, *CAAD Futures 2001*, Bauke de Vries, Jos P. van Leeuwen, Henri H. Achten (eds). July, 2001, Eindhoven, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2001, S. 171- 284
- Do und Gross 2001: Ellen Yi-Luen Do und Mark D. Gross: *Thinking with diagrams in Architectural design*, Published in *Artificial Intelligence Review* 15: 135-149, 2001
2001 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Durand 1802: Jean-Nicolas-Louis Durand: *Précis des Leçons d'architecture données à l'École Polytechnique*, Paris, Erstveröffentlichung 1802/05; überarbeitete Ausgabe 1817-1819, Band I, Plan Nr. 7
- Eisenman 1993: Monument für Max Reinhardt ... Interview von J. Wittmann mit P. Eisenman, in: *Deutsche Bauzeitung*, 1993, S. 324-327
- Ferrare 1996: S. Ferrare: *Back to the Drawing Board*. Proc. ECAADE 14th Conference of Education of Computer Aided Architectural Design in Europe, Lund, Sweden, 1: 155-161.
- Fischer 1956: Theodor Fischer: *Zwei Vorträge über Proportionen*, 2. Aufl., R. Oldenburg Verlag, München 1956 (1. Aufl. 1934)
- Fischer und Kam 2002: Martin Fischer und Calvin Kam: *Evaluating product models, 4D-CAD, IFC and VR. PM4D Final Report*, CIFE Technical Report no. 143. CIFE, Stanford University, 2002. http://www.stanford.edu/group/4D/download/PM4D_Final_Report.pdf (download 10.2005)
- Fischer, Th. 2005: Thomas Fischer: *Generation of Apparently Irregular Truss Structures*, *CAAD Futures 2005*, Wien, Springer, 2005
- Flagge und Schneider 2005: Ingeborg Flagge und Romana Schneider: *Revision der Postmoderne*, Hrsg./Eds., Katalog zur gleichnamigen Ausstellung, Julius Verlag Hamburg, 2005

- Flemming 1987: Ulrich Flemming: *More than the sum of parts: The grammar of Queen Anne houses*, Environment and Planning B: Planning and Design, 1987
- Flemming 1990: Ulrich Flemming: *Regelbasierte Systeme in der Architektur*, in: Ki-Forschung im Baubereich, Hrsg. Gauchel, J., Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1990
- Flemming 1994: Ulrich Flemming: *Das SEED Projekt*, in: Computer und Architektur. Computereinsatz in frühen Entwurfsphasen. Wissenschaftliche Zeitschrift. Heft 4/94. HAB Weimar, 1994
- Flemming 1996: Ulrich Flemming et. al.: *Mismatched Metaphor: User vs. System Model in Computer-Aided Drafting*, in: Akin, Ömer (Hrsg.) *Descriptive Models of Design, Conference Proceedings*, 1.-5. Juli 1996, Taskisla, Istanbul, S. 53-71
- Galitz 1993: Wilbert O. Galitz: *User-Interface Screen Design*. Boston, Mass.: QED Publishing Group, 1993
- Gegenfurtner 2003: Karl R. Gegenfurtner: *Gehirn & Wahrnehmung*, Fischer Taschenbuchverlag, Frankfurt Main 2003
- Gero 2001: John S. Gero: *CAAD Futures*, 2001, S. 530
- Gero and Maher 1997: John S. Gero and M. L. Maher: *A Framework for Research in Design Computing*, Proc. 15th ECAADE Conference of Education of Computer Aided Architectural Design in Europe, Vienna, Austria, CD-ROM
- Gero et al. 1993: John S. Gero and M. Yan: *Discovering emergent shapes using a data-driven symbolic model*, in: U. Flemming and S. Van Wyk (eds), *CAAD Futures '93 North-Holland*, Amsterdam, pp. 3-17.
- Gero et al. 1998: John S. Gero and H. Jun: *Emergence of shape semantics of architectural shapes*, Environment and Planning B. Planning and Design (to appear)
- Gero J. S. 1998: John S. Gero: *Research in Design Computing: an Artificial Framework (1998)* <http://www.arch.usyd.edu.au/~john/publications/1998/98GerolCAIE.pdf> Download 19.11.2005
- Gero und Kannengiesser 2003: John S. Gero and Udo Kannengiesser: *Modelling Expertise of Temporary Design Teams*. Expertise in Design, Volume 4, issue 2, 2004, Design Thinking Research Symposia, University of Technology, Sydney, Australia, November 2003, <http://jdr.tudelft.nl/articles/issue2004.02/main.htm>, (download 06.05.2006)
- Glanville 1999: Ranulph Glanville: *Das Erforschen des Entwerfens und das Entwerfen der Forschung (1)*, Übersetzung Wolfgang Jonas, Massachusetts Institute of Technology 1999, geringfügig modifizierte Version eines Essays, Helsinki von 1997, www.???
- Görz und Nebel 2003: Günther Görz und Bernhard Nebel: *Künstliche Intelligenz*, Fischer Taschenbuchverlag, Frankfurt am Main, 2003
- Guilford 1950: Joy Paul Guilford: *Creativity*. American Psychologist, 5, 444-454. 1950
- Guilford 1957: Joy Paul Guilford: *The relations of creative-thinking aptitudes to non-aptitude personality traits*. Los Angeles, Psychological Laboratory 1957
- Haapasalo 2000: Harri Haapasalo: *Creative Computer aided Architectural Design, An internal approach to the design process*, Dissertation Department of Industrial Engineering, University Oulu 2000
- Heckel 1991: Paul Heckel: *The Elements of Friendly Software Design (The New Edition)*, San Francisco, Calif.: SYBEX, 1991
- Hegel: G. W. F. Hegel: *Die klassische Architektur, Die dorische, ionische und korinthische Säulenordnung*, Vorlesungen über Ästhetik, Zweites Kapitel, 1835-1838
- Hentig 1998: Hartmut von Hentig: *Kreativität, Hohe Erwartungen an einen schwachen Begriff*, Hanser Verlag, München und Wien 1998

- Herr et al. 2005: Christiane M. Herr and Thomas Kvan: *Using Cellular Automata to Generate High-Density Building Form*, Department of Architecture, The University of Hong Kong, Pokfulam, Hong Kong, CAAD Futures 2005
- Herzog 2002: Thomas Herzog: *Vom Bauen mit Systemen*, in: *Konstruktion und Raum in der Architektur des 20. Jahrhunderts*, Hrsg. Winfried Nerdinger, Prestel, München, 2002
- Herzog et al. 2004: Thomas Herzog, Roland Krippner und Werner Lang: *Fassadenatlas*, Birkhäuser, Basel 2004
- Hoffmann-Axthelm 1996: Dieter Hoffmann-Axthelm: *Ein anderer Rossi?*, aus *Bauwelt* 5, 87. Jahrgang 1996
- IAI 2004: IAI, *IFC und BIM (building information modelling)* IAI Positionspapier, München 05.08.2004 IAI-Positionspapier_IFC&BIM.pdf
- Jencks 1997: Jencks, Charles, *The Architecture of the Jumping Universe*, London 1997
- Jennings 2001: N. R. Jennings: *An agent-based approach for building complex software systems*, in: *Communications of the ACM*, Vol. 44, No. 4, pages 35-41, 2001
- Jenny 1999: Peter Jenny: *Auszug 01 Notizen zur Zeichentechnik*, Die Professur für Bildnerisches Gestalten, Departement Architektur ETH Zürich 1999, Verlag Hermann Schmidt, Mainz, 2. Auflage 2003
- Joedicke 1993: J. Joedicke: *Entwerfen und Gestalten*, Karl Krämer Verlag Stuttgart, 1993
- Junge 1995: Richard Junge: *Aspects of new CAAD environments*, in: *Modeling of Buildings Through their Life-Cycle*, CIP Proceedings Publication 180, Stanford University, Stanford, California, USA 1995, S. 565 ff
- Junge et al. 1997: Richard Junge, Rasso Steinmann und Klaus Beetz: *A dynamic Product Model, a base for distributed applications*, in *CAAD futures 1997*, Richard Junge, Kluwer Academic Publisher, Dornrecht / Boston / London, 1997
- Junge und Liebich 1997: Richard Junge und Thomas Liebich: *Product Data Model for Interoperability in a distributed Environment*, in *CAAD futures 1997*, Richard Junge, Kluwer Academic Publisher, Dornrecht / Boston / London, 1997
- Keatruangkamala und Sinapiromsaran 2005: Kamol Keatruangkamala und Krung Sinapiromsaran: *Optimizing Architectural Layout Design via Mixed Integer Programming*, *Computer Aided Architectural Design Futures 2005*, Wien, Bob Martens und Andre Brown, Springer 2005
- Kirschner 2000: Ursula Kirschner: *Dissertation Eine CAAD-gestützte Architekturentwurfslehre, Experimentelles Entwerfen in virtuellen Räumen*, Hochschule für bildende Künste, Fachbereich Architektur, Hamburg, 2000; <http://www.fhnon.de/fbab/kirschner/dissertation/index.html>
- Klotz 1984: Heinrich Klotz: *Revision der Moderne, Postmoderne Architektur 1960-1980*, Hrsg. Heinrich Klotz, Prestel-Verlag München, 1984
- Klotz 1985: Heinrich Klotz: *O. M. Ungers 1951-1984 Bauten und Projekte*, Hrsg. Klotz, Braunschweig / Wiesbaden 1985
- Kolarevic 1997: Branko Kolarevic: *Regulating Lines and Geometrical Relations as a Framework for Exploring Shape, Dimension and Geometric Organization in Design*, *CAAD futures 1997*
- Krier 1984: Leon Krier: *The Reconstruction of Vernacular Building and Classical Architecture*, *Architect's Journal* 12/1984, Nr. 37/Vol. 180 (übertragen aus dem Englischen: Frank Werner)
- Kruft 1985: Hanno-Walter Kruft: *Geschichte der Architekturtheorie*, 1985, München, C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 4. Auflage 1995

- Kühn und Kögl 2000: Christian Kühn und Martina Köhl: *Diagramme und Algorithmen*, Vorlesungstext Sommersemester 2000, http://www.gbl.tuwien.ac.at/_docs/studio/archiv/studio2000/studioGBL/index.html (Download 01.05.06)
- Kurmann 1998: David Kurmann: *Sculptor – How to design space?*, CAADRIA '98 : Proceedings of The Third Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia. eds. T. Sasada, S. Yamaguchi, M. Morozumi, A. Kaga, and R. Homma, 1998. Osaka University, Osaka, Japan. Pp. 317-325
- Kurrent et al. 1982: Friedrich Kurrent: *10mal ADOLF LOOS*, Gekürzte Fassung des am 11.12.1970 an der TH in Garz gehaltenen Vortrages anlässlich des 100. Geburtstages von A. L. am 10. Dezember 1970, aus dem Katalog zur Ausstellung Adolf Loos, Museum Villa Stuck München 1982
- Langenbach 2004: Jürgen, Langenbach: *Kino des Gehirns: Wie wir fühlen, was wir sehen*. Die Presse vom 27. April 2004, zitiert in <http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at>, (download 08.05.2006)
- Le Corbusier 1922: Le Corbusier: *Ausblick auf eine Architektur*, 1922, aus dem Franz. übersetzt von Hildebrandt und überarbeitet von Gärtner, Verlag Ullstein Berlin, Frankfurt/M, Wien, 1963, franz. Originalfassung *Vers une Architecture*, 1922
- Leclercq 2001: Pierre P. Leclercq: *Programming and Assistent Sketching, Graphic and Parametric Integration in Architectural Design*, in: CAAD Futures 2001, Kluwer Academic Publishers, Dornrecht/Boston/London 2001, S. 15 ff
- Liebich 1993: Thomas Liebich: *Wissensbasierter Architekturentwurf – von den Modellen des Entwurfs zu einer intelligenten Entwurfsunterstützung*, Dissertation an der Fakultät Architektur, Stadt- und Regionalplanung der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, 1993
- Liebich 1999: Thomas Liebich (ed.): *IFC Objekt Model Architecture Guide*. Industry Foundation Classes Release 2.0, IAI, 15.03.1999
- Liebich et al. 2005: Thomas Liebich mit Peter Katanuschkov und Mattias Weise: *iCSS: Integriertes Client-Server-System für das virtuelle Bauteam - Verifikation des Gesamtsystems* <http://cib.bau.tu-dresden.de/icss/> Zugriff Oktober 2005
- Loos 1898 A: Adolf Loos: *Das Prinzip der Bekleidung* (1898), in Loos: *Ins Leere gesprochen*, ed. Georg Prachner Verlag in Wien, 1981
- Loos 1898 B: Adolf Loos: *Die alte und die neue Richtung in der Baukunst* (1898) in: Loos, *Die Potemkin'sche Stadt* (1983)
- Loos 1909: Adolf Loos: *Architektur 1909*, in Loos: *Trotzdem*, ed. Georg Prachner Verlag in Wien, 1982
- Lupfer et al. 2003: Gilbert Lupfer, Jürgen Paul und Paul Siegel: *Das 20. Jahrhundert*, in: *Architektur Theorie*, Taschen Köln 2003
- Lynn 1999: Greg Lynn: *Animate Form*, New York 1999, Greg Lynn's Homepage: www.glfm.com
- McCarthy 1959: John McCarthy: *Programs with common sense*, in: *Proceedings of the Symposium on Mechanisation of the Thought Process I*, 77-84, London, 1959
- Meisenheimer 2002: Wolfgang Meisenheimer: *Die Architektur und das Organische*, in: *Dokumentation der Sommerakademie 2002 des Deutschen Werkbundes NW*, <http://www.deutscher-werkbund.de/122.html> (Download 30.03.2006)
- Menninger 1959: Karl Menninger: *Mathematik und Kunst*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1959
- Mielke 2005: Andreas Mielke: *Neuronale Netze*, www.andreas-mielke.de 2005

- Milizia 1786: Francesco Milizia: *Principi di architettura civile, Finale 1781*. Deutsche Ausgabe: Grundsätze der bürgerlichen Baukunst in drey Theilen. Aus dem Italienischen, Leipzig 1784-1786
- Mitchell, C. Th. 2002: C. Thomas Mitchell: *Unterschiedliche Sichtweisen von Design Interaktion* (Übersetzung Wolfgang Jonas) (PARADOX START)
- Mitchell, W. J. 1977: William J. Mitchell: *Computer Aided Architectural Design*. Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1977, 673 p.
- Mitchell, W. J. 1992: William J. Mitchell: *The Logic of Architecture – Design Computation and Cognition*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, (1990) Third printing 1992
- Mitchell, W. J. 2005: William J. Mitchell: *Constructing Complexity*, in: *Computer Aided Architectural Design Futures 2005*, Wien, Bob Martens und Andre Brown, Springer 2005
- Mitchell, W. J., et al. 1990: William J. Mitchell, Robin S. Liggett und Milton Tan: *Top-Down Knowledge-Based Design*, in: *The electronic Design Studio*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, 1990
- Moelle 1996: Herbert Moelle: *PALLADIO*, Handbuch, acadGraph Cadstudio GMBH, München, 1996
- Muthesius 1908: Hermann Muthesius: *Die Einheit der Architektur: Betrachtungen über Baukunst, Ingenieurbau und Kunstgewerbe*, Vortrag, gehalten am 13. Februar 1908 im Verein für Kunst in Berlin, 1908
- Naredi-Rainer 1982: Paul von Naredi Rainer: *Architektur und Harmonie, Zahl, Maß und Proportion in der abendländischen Baukunst*, DuMont Buchverlag, Köln, 1982
- Nerdinger 1993: Winfried Nerdinger in Zusammenarbeit mit Katharina Blohm: *Architekturschule München 1868-1993, 125 Jahre Technische Hochschule München*, Ausstellungskatalog, Klinkhardt & Biermann, München, 1993
- Nerdinger 2002: Winfried Nerdinger: *Zum Raumbegriff in der Architektur*, in: *Konstruktion und Raum in der Architektur des 20. Jahrhunderts*, Hrsg. Winfried Nerdinger, Prestel, München, 2002
- Nerdinger 2004: Winfried Nerdinger: *Die Verdrängung der Geschichte: Walter Gropius als Architekturlehrer*, leicht überarbeitete Fassung eines Vortrages 2004, <http://www.architekturmuseum.de/festschrift-schmoll/pdf/nerdinger.pdf>, Download 2006
- Neumeyer 2002: Fritz Neumeyer: *Quellentexte zur Architekturtheorie*, München: Prestel Verlag, 2002
- Oswalt 1994: Philipp Oswalt: „*Wohltemperierte Architektur*“ *Le Corbusiers fraktale Geometrien*, Hrsg. Philipp Oswalt, 1994, Auszug unter: http://www.oswalt.de/de/text/book/wa_corbu_p.html, (lt. Download 2006)
- Oxman 2000: Rivka Oxman: *Workshop Visual Reasoning in case-based Design*, Verlag? 2000
- Palladio 1570: Andrea Palladio: *Die vier Bücher zur Architektur*, nach der Ausgabe von Venedig 1570, aus dem Italienischen übertragen und hrsg. von Andreas Beyer und Ulrich Schütte, Verlag für Architektur Artemis, Zürich/München 1983
- Parkhurst 1996: Carol A. Parkhurst: *Principles of Human-Computer Interface Design*, presented at the LITA/LAMA National Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, October 1996, www.library.unr.edu/~carlop/hciweb.html 12.01.1999
- Paulson 1995: BC Paulson: *Computer Applications in Construction*. McGraw-Hill Inc, New York, USA, 1995, 610 p.
- Peichel 1984: Gustav Peichel: *Die Kunst des Otto Wagner*, Hrsg. Gustav Peichel, Zur Ausstellung der Akademie der bildenden Künste, Wien 1984
- Peña 1987: William Peña: *Problem Seeking* (CRSS) 69/77/87

- Penntila 2005: Hannu Penntila: *The state of the Art of Finnish Building Product Modelling Methodology*, CAAD Futures 2005 Learning from the Past, Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, 2005
- Peschken 1979: Goerd Peschken: *Karl Friedrich Schinkel. Das architektonische Lehrbuch*, München 1979, S.150
- Piano 1997: Renzo Piano: *Architektur-Logbuch*, Hatje Cantz Verlag, 1997
- Posener 1980: Julius Posener: *Vorlesungen zur Geschichte der Neuen Architektur II*, Arch+ 53 Sept. 1980, S. 29
- Richter 1988: P. Richter: *Entwicklung einer integrierten Informationsstruktur für relationale Datenbanken im Bauwesen*. Dissertation, Gesamthochschule Kassel, 1988
- Richter-Gebert et al. 2003: Richter-Gebert und Kortenkamp: *Zusammenspiel: Mathematik und Architektur*, Colloquium 2003? Bayerisches Bildungsministerium
- Rieß 1997: Hubert Rieß, Stefan Ostermeyer und Ulrich Wieler: *Ordnung und doch keine Ordnung*, Vorlesung im Rahmen des Entwurfs BAUEN FÜR JENE, Uni Weimar, 1997 www.uni-weimar.de/architektur/e+gel1/forschung/ordnungen.html (Download 14.02.2006)
- Rittel 1970: Horst Rittel: *Der Planungsprozess als iterativer Vorgang von Varietätserzeugung und Varietätseinschränkung*, aus Arbeitsberichte zur Planungsmethodik 4, Entwurfsmethoden in der Bauplanung, Jürgen Joedicke UNI Stuttgart, Karl Krämer Verlag Stuttgart 1970
- Romberg et al. 2003: R. Romberg, C. van Treeck, A. Niggel, E. Rank: *Numerische Simulationen auf Basis des IFC-Produktmodells*, Lehrstuhl für Bauinformatik, Technische Universität München, <http://www.inf.bv.tum.de>, 2003, (Download 11.06.2006)
- Rossi 1965: Aldo Rossi: *Das Konzept des Typus*, in: Arch + 37/1965, Aachen, Übersetzung: N. Kuhnert, M. Peterek
- Rowe 1987: P. G. Rowe: *Design Thinking*, MIT Press Cambridge Massachusetts, 1987
- Rukschcio et al. 1982: Burkhard Rukschcio und Roland Schachel: *ADOLF LOOS Leben und Werk*, Residenz Verlag Salzburg und Wien, 1982
- Saunders und Gero 2001: Rob Saunders und John Gero: *Designing for Interest and Novelty, Motivating Design Agents*, in: CAAD Futures 2001, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London 2001, S.725ff
- Schenk et al. 1994: D. Schenck and P. Wilson: *Information Modelling – The EXPRESS Way*, Oxford University Press, New York, 1994
- Schmitt, G. 1993: Gerhard N. Schmitt: *Architectura et Machina*, Wiesbaden (Vieweg) 1993, s.a. <http://caad.arch.ethz.ch/CAAD/xhtml/aem/aem.html#inhalt>
- Schönpflug 1989: W. Schönpflug und U. Schönpflug: *Allgemeine Psychologie und ihre Verzweigungen in die Entwicklungs-, Persönlichkeits- und Sozialpsychologie*, in: Bericht über den Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (36.) in Berlin; München 1989
- Schönwandt und Foerster: Walter Schönwandt, Jan Foerster: <http://www.igp.uni-stuttgart.de/forschung/start.htm#6>
- Semper 1851: Gottfried Semper: *Die vier Elemente der Baukunst*. Ein Beitrag zur vergleichenden Baukunde, Braunschweig 1851 (Reprint in Quintzsch, op. Cit. (1981), Anhang)
- Semper 1860/1863: Gottfried Semper: *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten, oder praktische Aesthetik. Ein Handbuch für Techniker, Künstler und Kunstfreunde*, 2 Bde. Frankfurt a. M. 1860/1863, Auszug in Neumeyer: Quellentexte zur Architekturtheorie S. 249-270
- Simon 1970: H. A. Simon: *The Science of Artificial*. Cambridge (Mass.) MIT-Press, 1970

- Simon und Teusch 2005: J. Simon und J. Teusch: *Schlüsseltechnologien: Neuerungen werden technisch machbar*, Brockhaus, 2005
- Spalt 1981: Johannes Spalt: *Josef Frank*, Herausgeber und Verleger Hochschule für angewandte Kunst Wien, 1981
- Sperry 1973: Roger W. Sperry: *Lateral Specialization of Cerebral Functions in the Surgically Separated Hemispheres*, in: 3. B. McGuigan and R. A. Schoonover (Eds.), *Psychophysiology of Thinking*, Chapter 6, pp. 5-19, New York: Academic Press
- Steele 2001: James Steele: *Architektur und Computer, Planung und Konstruktion im digitalen Zeitalter*, übersetzt von Annette Wiethüchter, Callwey München 2001
- Steinmann 1997: Frank Steinmann: *FUNPLAN – Ein CAD-System zum funktionsorientierten Entwerfen*, Diss. A, Bauhaus Universität Weimar 1997
- Stephan 1997: P. F. Stephan: *Designer im Cyberspace: Ratlos – Perspektiven designspezifischer Forschung*, veröffentlicht in: *forumdiskurs* 2, 1/1997, S. 108- 119, <http://hypermedia.khm.de>
- Suwa et al. 1996: Masaki Suwa und Barbara Tversky: *What Architects and Students see in Architectural Design Sketches: A Protocol Analysis*, in: Akin, Ömer (Hrsg.), *Descriptive Models of Design*, Conference Proceedings, 1.-5. Juli 1996, Taskisa, Istanbul
- Tang and Gero 2001: Hsien-Hui Tang und John S Gero: *Cognition based CAAD*, B. de Vries et al. *CAAD Futures 2001* Eindhoven
- Tognazzini 1992: Bruce Tognazzini: *Tog on Interface*, Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1992
- Touomaala 1995: J. Tuomaala: *Luova koneensuunnittelu*. Tammertekniikka ky, Jyväskylä, 1995, S. 287
- Ulmann 1968: Gisela Ulmann: *Kreativität*, Verlag J. Beltz, Weinheim und Berlin 1968
- Ungers 1977: Oswald Mathias Ungers: *Entwerfen mit Vorstellungsbildern, Methaphern und Analogien*. *Stadtbauwelt* 1977, Heft 47/48, S. 312 ff
- Viebahn 1993: Ulrich Viebahn: *CAD und Freihandzeichnen*, in: *Technisches Freihandzeichnen*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1993
- Viebahn 1993: Ulrich Viebahn: *Technisches Freihandzeichnen*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1993
- Vitruv, Fensterbusch 1964: Marcus Pollio Vitruvius und C. Fensterbusch: *De architectura libri decem – Zehn Bücher über Architektur*, übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Curt Fensterbusch, Darmstadt 1964
- Watanabe 2002: Makoto Sei. S. Watanabe: *Introduction design: a method for evolutionary design*. Birkhäuser Basel 2002
- Weinbrenner 1819: Friedrich Weinbrenner: *Architektonisches Lehrbuch, Teil III*, Heft 1, 1819
- Weinbrenner 1920: Friedrich Weinbrenner: *Denkwürdigkeiten aus seinem Leben*, ed. Aloys Schreiber, Heidelberg 1829; ed. Kurt K. Eberlein, Potsdam 1920 (nach dieser Ausgabe wird hier zitiert); ed. Arthur von Schneider, Karlsruhe 1958
- Weisedel 1956: Wilhelm Weisedel: *Immanuel Kant, Werke in zehn Bänden*, hrsg. von Wilhelm Weisedel, Bd. 4, Darmstadt 1956, S. 695 f.; Bd. 8, Darmstadt 1957, S. 494 f
- Wienands 2005: Rudolf Wienands: *Zeichnen ist Denken*, in *Fakultät für Architektur der technischen Universität München*, 2005, S. 206
- Wolfe 1982: Tom Wolfe: *Unser Haus und Bauhaus*, Ein Interview mit Peter Eisenman und Tom Wolfe, *Arch+* 63/63, 1982 S. 96, Auszug aus *Skyline*, Oktober 1981
Übersetzung: Michael Peterek
- Zimmermann 2003: Gerd Zimmermann: *Einführung in die Architekturtheorie*, UNI Weimar, (Angebot zum Sommersemester 2004 im Internet)

