



Informationsgebäude

Ein Integrationsmodell für Architektur und Informationstechnologien

Dank

Einen wesentlichen Einfluß auf die vorliegende Arbeit hatte die Vielzahl von Themen, mit denen ich im Laufe der Jahre am Institut für Industrielle Bauproduktion in Berührung gekommen bin:

Zunächst Herr Prof. Haller mit seiner Vorstellung „wandelbarer Gebäude“, den Gebäudebaukästen und schließlich dem Installationsmodell armilla. Herr Prof. Kohler mit der Betrachtung des Lebenszyklus von Gebäuden und seinen Kosten-, Energie- und Stoffflüssen sowie dem Thema der Integralen Planung. Mein Bruder Ludger Hovestadt mit seinem „vieldimensionalen Datenraum“, dem gemeinsamen Programmieren und den vielen Multimedia-Arbeiten. Kay Friedrichs mit seinen Themen zum Einfluß der Informations- und Kommunikationstechnologien auf Architektur und Städtebau sowie dem Facility Management. Christian Müller, Uwe Forgber, Gabi Blodau und Dirk Henckels mit ihren Arbeiten über Kooperative Planung, CSCW und Groupware. Peter Guinand, Sven Thüring und Volker Koch mit ihren Projekten zum Einsatz von VR in der Architektur. Raghu Bhat mit seinen Arbeiten bezüglich Agenten und Computer Graphics. Und schließlich, in einer langjährigen Zusammenarbeit im Projekt ArchE, das Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation mit Herrn Prof. Lockemann, Jutta Mülle und Rose Sturm mit ihrer Datenbankunterstützung des architektonischen Entwurfes und der besonderen Handhabung von Constraints.

Alle diese Bausteine finden sich in meiner Arbeit wieder. Vielen Dank allen Beteiligten für die vielen Diskussionen, Anregungen, Hilfen, Korrekturen, die gute Arbeitsatmosphäre und, insbesondere meinen Betreuern Herrn Prof. Kohler, Herrn Prof. Haller und Herrn Prof. Lockemann, für den großen Freiraum, den sie mir bei der Umsetzung gewährten.

Ein besonderes Dankeschön schließlich an meine Frau Radegund Engels-Hovestadt, Yvonne Matz, Volker Koch und Jutta Mülle für die letzten Korrekturen.

Karlsruhe, 19.05.98

Volkmar Hovestadt

Informationsgebäude

Inhalt

0 Einleitung	1
1 Modelle und Virtualität	3
1.1 Die Allgemeine Modelltheorie	3
1.2 Die Modellhauptklassen	4
1.3 Graphische Modelle	5
1.3.1 Die ikonisch-graphischen Modelle (Bildmodelle)	5
1.3.2 Die symbolisch-graphischen Modelle (Darstellungsmodelle)	7
1.3.3 Zusammenfassung	7
1.4 Modelle und Metaphern	8
1.5 Modelle und Virtualität	9
1.5.1 Virtuelle Realität	10
1.5.2 Virtuelle Erzeugnisse	13
1.5.3 Virtuelle Organisationen	14
1.5.4 Zusammenfassung	16
1.6 Virtualität und Informationstechnologien	17
1.6.1 Algorithmen	17
1.6.2 Datenstrukturen	18
1.6.3 Die „closed-world-assumption“ informationstechnischer Modelle	19
2 Modelle und Virtualität in der Architektur	21
2.1 Die Phase der Planung und Ausführung von Gebäuden	21
2.1.1 Gebäude als Virtuelle Erzeugnisse	21
2.1.2 Planungs- und Ausführungsteams als Virtuelle Organisationen	22
2.1.3 Weitere Merkmale der Planung und Ausführung von Gebäuden	23
2.1.4 Die „open-world-assumption“ von Planungsprozessen	26
2.1.5 Informationstechnologien in der Planung und Ausführung von Gebäuden	27
2.1.6 Zusammenfassung	28
2.2 Die Phase der Verwaltung von Gebäuden	29
2.2.1 Facility Management	29
2.2.2 Facility Management Systeme	30
2.2.3 Active Badges	31
2.2.4 Serviceroboter	32
2.2.5 Zusammenfassung	32

2.3 Die Phase der Regelung(1) und Steuerung(2) von Gebäuden	33
2.3.1 Die Gebäudeautomation	33
2.3.2 Computer Integrierte Gebäude	34
2.3.3 Aufmerksame, Aktive, Adaptive Räume	35
2.2.4 Zusammenfassung	36
2.4 Die Phase der Nutzung von Gebäuden	37
2.4.1 Das Virtuelle Unternehmen	38
2.4.2 Der Virtuelle Supermarkt und andere virtuelle Dienstleistungen	39
2.4.3 Zusammenfassung	40
2.5 Integration	40
2.5.1 Die Horizontale Integration	41
2.5.2 Die Vertikale Integration	43
2.5.3 Integrale Planung	45
2.5.4 Integrationstechniken	46
2.6 Zusammenfassung	56
3 Informationsgebäude	57
3.1 Die Gebäudemetapher	57
3.1.1 Drei Wahrnehmungsmodelle von Gebäuden	57
3.1.2 Der räumliche Komponentenbegriff	58
3.1.3 Der räumliche Komponentenbegriff in der Planung	60
3.1.4 Der räumliche Komponentenbegriff als allgemeines Modellierungskonzept	68
3.1.5 Informationsgebäude : Die Gebäudemetapher als Integrationsmodell	75
3.2 Die Ebenen des Informationsgebäudes	77
3.2.1 Die Ebene der Realität	77
3.2.3 Die Ebene der Virtualität	77
3.3 Die Benutzungsschnittstellen des Informationsgebäudes	81
3.3.1 Die Nutzung	82
3.3.2 Die Ausführung	85
3.3.3 Die Projektarbeit	85
3.3.4 Die Planung	88
3.3.5 Zweidimensionale Darstellungstechniken	90
3.4 Die Teilsysteme des Informationsgebäudes	92
3.5 Die Abstraktionsstufen des Informationsgebäudes	94
3.6 Integration innerhalb des Informationsgebäudes	96
3.6.1 Das Teilsystem Raum	97
3.6.2 Das Teilsystem Tragwerk	98

3.6.3 Das Teilsystem Lüftung	99
3.6.4 Das Teilsystem Montagezeit	100
3.6.5 Das Teilsystem Gebäudeautomation	102
3.6.6 Das Teilsystem Facility Management	104
3.6.7 Das Teilsystem Arbeitsprozesse	105
3.6.8 Die Integration von Softwarekomponenten	106
3.6.9 Die Integration von Benutzungsschnittstellen	108
3.7 Zusammenfassung	109
4 Implementierung	111
4.1 Die Datenhaltung	111
4.1.1 Das Containermodell	111
4.1.2 Die Fachmodelle	115
4.2 Die Benutzungsoberfläche	122
4.2.1 Der geometrische Editor M5PSEdit	122
4.2.2 Der semantische Editor M5Browser	124
4.2.3 Die Container auf der Benutzungsoberfläche	125
4.3 Zusammenfassung und Ausblick	143
Glossar	146
Literatur	151

Informationsgebäude

0 Einleitung

Informationstechnologien gewinnen im Bauwesen immer mehr an Bedeutung. Sie durchdringen den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden, von der Planung, über die Konstruktion, den Betrieb, die Steuerung, den Umbau bis hin zur Demontage. Die eingesetzten Technologien reichen von CAD-, Ausschreibungs-, Simulations- und Berechnungsprogrammen, Facility Management Systemen bis hin zu digitalen Bibliotheken und Tutorien. Die eingesetzten Technologien beeinflussen, wie etwa im Bereich der Gebäudesteuerung oder der neuen Telekommunikationsmittel, auch mehr und mehr die Strukturen der Gebäude selbst. Man kann in diesem Zusammenhang von einer grundlegenden Erweiterung der Architektur durch Informationstechnologien sprechen.

Die Erweiterung der Architektur durch Informationstechnologien geschieht insbesondere vor dem Hintergrund einer zunehmenden Vernetzung von Gebäuden und Anlagen zu globalen Organisations-, Produktions- und Nutzungsstrukturen. Gebäude und Anlagen sind dabei mehr oder weniger prägnante physische Bestandteile umfassender internationaler Informations-, Material- und Geldflüsse. Beispiele für dieses Phänomen sind u.a. Virtuelle Unternehmen, Virtuelle Bibliotheken und Virtuelle Supermärkte, die einen Teil ihrer physischen Gebäudestruktur und Funktionalität vollständig in informationstechnische Modelle übertragen, um sich besser den veränderten Anforderungen des Marktes etwa nach größerer Kundennähe, einem größerem Warenangebot und einer schlankeren Produktion anzupassen.

Dabei stellt sich die durch Informationstechnologien erweiterte Architektur im allgemeinen sehr heterogen dar. Dies liegt zunächst an der unterschiedlichen Modellierung von Architektur und Informationstechnologien. Zum anderen liegt es an der Vielzahl der zum Einsatz kommenden Hardwareplattformen und Implementationen. Die Daten- und Programmstrukturen sind zwischen den Systemen in den seltensten Fällen konsistent. Die Benutzerführung ist im allgemeinen nicht durchgängig, so daß das Bild einer erweiterten Architektur über die Bereiche der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung nicht geschlossen erscheinen kann.

Hier setzt die vorliegende Arbeit an. Sie versucht sowohl die Brüche zwischen Architektur und Informationstechnologien, als auch zwischen den einzelnen Informationstechnologien durch die Einführung einer gemeinsamen Integrationsebene zu überbrücken. Zentrales Element dieser Integrationsebene ist die **Gebäudemetapher**. Sie prägt einen besonderen Komponentenbegriff auf die Modelle der Informationstechnologien auf:

Die Modelle werden zu **Virtuellen Baukomponenten** und **Virtuelle Räumen**. Ihre Überlagerung mit dem physischen Gebäude bildet das **Informationsgebäude**.

Entsprechende Visualisierungs- und Displaytechniken statten die Virtuellen Baukomponenten und Räume mit einer den physischen Baukomponenten und Räumen vergleichbaren Präsenz und Ergonomie aus und integrieren sie homogen in den physischen Gebäudezusammenhang. Die auf diese Art durch Informationstechnologien erweiterten Gebäude bleiben ähnlich benutzbar, wie die vormals rein physischen Gebäude. Begriffe wie Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung können auf diese durch Informationstechnologien erweiterten Gebäude übertragen werden und bekommen durch die Modellierung, Programmierung und Nutzung der informationstechnischen Bereiche des Informationsgebäudes eine neue zusätzliche Dimension.

Die Vorstellung von Informationsgebäuden und ihrer komponentenbasierten Modellierung unter der Gebäudemetapher basiert auf den Forschungsarbeiten am Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe. Hier sind insbesondere die Arbeiten auf dem Gebiet der Bausysteme, dem Gebiet der Installationsmodelle sowie dem Gebiet der umfassenden Computerunterstützung der Planungs- und Betriebsprozesse von Gebäuden zu nennen. Der in den Forschungsprojekten FABEL und ArchE entwickelte Softwareprototyp *armilla5* ist eng mit der Idee der Informationsgebäude verknüpft. Seine spezifische Modellierung und Implementierung versucht, insbesondere auf dem Gebiet der Planung, einige Teilbereiche zu realisieren.

1 Modelle und Virtualität

Zentraler Begriff der vorliegenden Arbeit ist der Begriff der „Virtualität“. Dieser wird im folgenden allgemein definiert und exemplarisch an mehreren Anwendungsbereichen verdeutlicht.

Virtuell steht fachsprachlich für „nicht wirklich“, „scheinbar“, „der Anlage nach als Möglichkeit vorhanden“ [16]. Virtualität, als die Summe alles Virtuellen, kann also nicht per se existieren. Vielmehr steht sie immer in einer Beziehung zum Wirklichen, Realen und Tatsächlichen, mit anderen Worten: in einer Beziehung zur Realität.

Die Beziehung zwischen Realität und Virtualität findet sich analog in der Allgemeinen Modelltheorie in der Beziehung zwischen Originalen und Modellen. Hier liegt ein Ansatzpunkt für eine weitergehende Begriffsdefinition.

1.1 Die Allgemeine Modelltheorie

Die Allgemeine Modelltheorie unterscheidet Originale und Modelle [137]. Beide werden als Attributklassen definiert, die in einer Abbildungsbeziehung, der sog. „Attributenabbildung“, zueinander stehen. Die Abbildungsbeziehung zwischen Originalen und Modellen ist durch folgende Hauptmerkmale charakterisiert:

Abbildungsmerkmal

Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können. Originale können dabei der physischen Welt, dem Bereich der Symbole und Begriffe oder der Welt der Vorstellungen angehören. Ein Original kann in vielen verschiedenen Modellen abgebildet sein.

Verkürzungsmerkmal

Modelle erfassen im allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und / oder Modellbenutzern relevant erscheinen. Diese Attribute bilden den sog. „Abbildungsbereich“. Auf Seiten des Originals wird dieser Bereich als Abbildungsvorbereich, auf Seiten des Modells als Abbildungsnachbereich bezeichnet. Alle übrigen Attribute eines Originals, die in einem Modell nicht abgebildet werden, werden „präterierte Attribute“ genannt.

Pragmatisches Merkmal

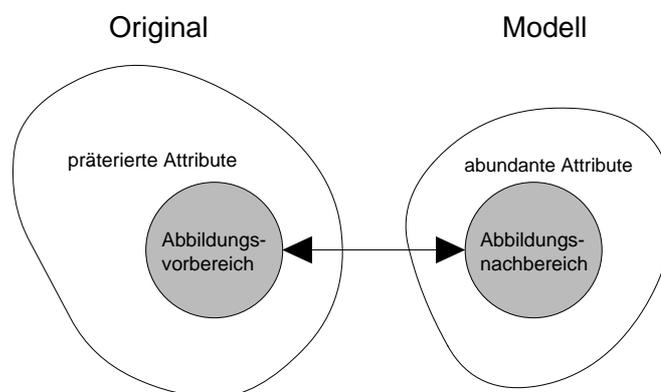
Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion

- a) für bestimmte erkennende und / oder handelnde, modellbenutzende Subjekte,
- b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und
- c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.

Modelle sind also nicht nur Modelle von etwas. Sie sind auch Modelle von jemandem. Sie erfüllen dabei Funktionen in der Zeit und dienen schließlich einem bestimmten Zweck.

Dies führt zunächst, wie im Verkürzungsmerkmal formuliert, zu einer eingeschränkten, auf einen bestimmten Zweck hin fokussierten Abbildung des Originals durch ein Modell. Darüberhinaus werden die Attribute des Originals durch das pragmatische Merkmal modellseitig umgedeutet und erhalten neue Bedeutungszuordnungen. Ziel dieser Umdeutung und Erweiterung von Attributen ist, daß sich ein bestimmter Erkenntnisgewinn einstellt, der sich unter Einhaltung bestimmter Transferierungskriterien auf das Original rückübertragen läßt. Alle modellseitig „neuen“ Attribute, die keine Entsprechung auf Seiten des Originals haben, werden als „abundante Attribute“ bezeichnet.

Die Qualität der Abbildung zwischen Originalen und Modellen, bzw. zwischen Abbildungsvor- und Abbildungsnachbereich, wird entscheidend durch das Maß ihrer Äquivalenz bestimmt. Nur auf der Grundlage einer äquivalenten Abbildung von Original- in Modellattribute können modellseitig gültige Aussagen bezüglich des Originals gemacht werden. Die Äquivalenz von Abbildungsvor- und Abbildungsnachbereich wird als **Kongruenz** bezeichnet. Ein Modell, das sämtliche Attribute eines Originales kongruent abbildet, wird „Kopie“ genannt.



Attributenabbildung

Bild 1.1

Die Abbildungsbeziehung zwischen Original und Modell [137]

1.2 Die Modellhauptklassen

Der Allgemeine Modellbegriff unterscheidet zwei Modellhauptklassen: Zum einen die graphischen und technischen Modelle, die insbesondere der Anschaulichkeit, der Herstellbarkeit und Manipulierbarkeit von Originalen dienen, zum anderen die semantischen Modelle.

Graphische Modelle stellen anschaulich-räumliche Originalabbildungen dar. Die Abbildungen können den Bereichen des Wahrnehmens, der Imagination und der gedanklichen Operationen entstammen. Graphische Modelle dienen also der Sichtbarmachung von Vorstellungen und der Veranschaulichung abstrakter Zusammenhänge.

Technische Modelle bezeichnen anschauliche, in der Regel dreidimensionale Modelle. Sie sind insbesondere raum-zeitliche und materiell-energetische Abbildungen von Originalen, die von beliebiger Natur sein können. Technische Modelle können in herstellungstechnische und manipulationstechnische Modelle unterschieden werden. Erstere sind zum Zwecke einer Originalabbildung hergestellt, letztere sind selbst Bestandteil der Originalrepräsentation.

Semantische Modelle lassen sich unterscheiden in interne semantische Modelle, die dem Bereich der Perzeption und des Denkens entstammen, und externe semantische Modelle, die sich aus Zeichen und Zeichenkombinationen aufbauen. Diese Zeichen sind „semantisch konventionalisiert“, d.h. es bestehen Übereinkünfte darüber, was das jeweilige Zeichen bedeutet und wofür das jeweilige Zeichen steht. Im Hinblick auf ihre Anschaulichkeit ist der Übergang vom externen semantischen Modell zum graphischen, bzw. technischen Modell fließend. Die internen semantischen Modelle bilden einen Sonderbereich, der hier nicht weiter dargestellt werden soll.

1.3 Graphische Modelle

Da in allen Entwurfprozessen graphische Modelle eine zentrale Rolle spielen, sollen diese im folgenden weiter aufgeschlüsselt werden. Hierbei läßt sich gut verdeutlichen, wie die verschiedenen oben beschriebenen Merkmale (s. Kapitel 1.1) die Abbildungsbeziehung zwischen Original und Modell beeinflussen.

Graphische Modelle lassen sich in zwei Hauptgruppen gliedern. Dies sind die ikonisch-graphischen Modelle und die symbolisch-graphischen Modelle. Der Unterschied zwischen Ikon und Symbol liegt dabei in der Zuordnung der Bedeutung. Während das Ikon seine eigene Bedeutung unmittelbar selbst trägt, bedarf das Symbol einer Bedeutungszuordnung mittels eines Codes. Bei einem ikonisch-graphischen Modell ist dem Modellbetrachter also unmittelbar deutlich, was das Modell repräsentiert, während es bei einem symbolisch-graphischen Modell einer Entschlüsselung bedarf. [48]

1.3.1 Die ikonisch-graphischen Modelle (Bildmodelle)

Die ikonisch-graphischen Modelle werden Bildmodelle genannt. Es gibt sie in drei Abstufungen: anschauliche, teilschematische und vollschematische Abbildungen. Unterscheidungskriterium ist ihre Ähnlichkeit mit dem Original. (s. in ihren Bezügen zur Architektur [124])

1.3.1.1 Anschauliche Abbildungen

Anschauliche Abbildungen sind Abbildungen, die Originale zunächst „naturalistisch“ erfassen. Hierzu zählen originalähnliche Zeichnungen, Schnitte, Bilder usw. Dabei wird insbesondere das Verkürzungsmerkmal deutlich. Das Original wird selektiv bezüglich einer bestimmten Sicht auf das Original, also in seinen Attributen verkürzt abgebildet. Die Sicht wird bestimmt durch den Zweck, der mit der Abbildung verbunden ist sowie den Zeitpunkt. Darüberhinaus beschränkt sich die anschauliche Abbildung auf die visuellen Attribute.

Eine Sonderstellung bei den anschaulichen Abbildungen nehmen alle „maschinell“ erzeugten Abbildungen ein. Diese sog. „photographischen Modelle“ gewährleisten in bestimmten Grenzen die exakte Übereinstimmung von Original- und Modellattributen. Das Adjektiv „photographisch“ ist soweit gefaßt, daß es alle phototechnisch realisierbaren, bzw. dazu äquivalente Abbildungsarten umfaßt. Läßt das photographische Modell die metrischen Verhältnisse des Originals sämtlich unverändert, so handelt es sich bei der Abbildung um eine Strukturkopie.

[137] beschränkt die anschaulichen Abbildungen auf die zweidimensionalen flächigen Abbildungen. Im Zuge der zunehmenden Leistungsfähigkeit von Graphikrechnern sollte diese Betrachtung auf die dreidimensionalen Abbildungen ausgedehnt werden. Das Gleiche gilt für filmische Darstellungen, die das Original nicht auf einen Zeitpunkt sondern auf einen Zeitraum verkürzen.

1.3.1.2 Teilschematische Abbildungen

Teilschematische Abbildungen sind Bildmodelle, die ihr Original teils „naturalistisch“, teils schematisch wiedergeben. Beispiele hierfür sind kartographische Zeichnungen oder Architekturzeichnungen.

1.3.1.3 Vollschematische Abbildungen

Vollschematische Abbildungen sind vollschematisierte bildliche Abbildungen von natürlichen und künstlichen Objekten, z.B. von Organen, technischen Geräten, Gebäuden usw. in Form von Grundrissen, Schnitten, Strukturformeln usw. Hier ist der Übergang zu den symbolischen graphischen Abbildungen fließend.

Es ist klar, daß die dargestellte Einteilung der Bildmodelle in der Praxis nicht so deutlich in Erscheinung tritt. Die Übergänge sind fließend. Auch können die als „naturalistisch“ bezeichneten Bildmodelle insbesondere durch die künstlerische und ästhetische Durchformung stark verfremdet werden. Dies betrifft auch den als naturalistisch geltenden Bereich der photographischen Modelle (Bsp: photographischer Subjektivismus). Im Verhältnis der Originalattribute zu den Modellattributen spricht man neben der schon angesprochenen Originalverkürzung daher auch von einer „Originalverfremdung“.

1.3.2 Die symbolisch-graphischen Modelle (Darstellungsmodelle)

Die zweite Hauptgruppe der graphischen Modelle bilden die symbolisch-graphischen Modelle, die auch Darstellungsmodelle genannt werden. Diese Modelle bezeichnen Abbildungen, die nicht ohne konventionalisierte Zeichenerklärung verständlich sind. Hierzu zählen insbesondere Diagramme, Schaubilder und Graphen.

Im Gegensatz zu den ikonisch-graphischen Modellen, die ihre „Anschaulichkeit“ und „Selbsterklärbarkeit“ insbesondere aus der Abbildung der visuellen Attribute ziehen, sind symbolisch-graphische Modelle in dem Sinne nicht anschaulich. Sie verkürzen Originale in der Regel auf ihre strukturellen Merkmale. Die entsprechenden Darstellungen sind nur mittels eines Codes lesbar und damit rückübertragbar auf das Original. Bei dem grundsätzlich eintretenden Strukturverlust zwischen Original und Modell spricht man von einem Isomorphieverlust. (Zwei Mengen von Dingen, z.B. Zahlen, Funktionen, Gruppen, sind isomorph, wenn ihre Verknüpfungsregeln die gleichen sind.)

1.3.3 Zusammenfassung

Die Darstellung der graphischen Modelle verdeutlicht die drei Merkmale der Abbildungsbeziehung zwischen Originalen und Modellen, das Abbildungsmerkmal, das Verkürzungsmerkmal und das Pragmatische Merkmal in folgender Weise:

Die personen-, zweck- und zeitgebundene Abbildung eines Originals in ein Modell (Abbildungsmerkmal, Pragmatisches Merkmal) führt zu einer mehr oder weniger starken Originalverkürzung und Originalverfremdung (Verkürzungsmerkmal, Pragmatisches Merkmal). Dies äußert sich im Verhältnis von Original- zu Modellattributen. Nur ein Teil der Originalattribute wird als Modellattribute abgebildet. Gleichzeitig werden neue Modellattribute eingeführt, die allein für die Funktionsweise des Modells notwendig sind (abundante Attribute). Ein Teil der Originalattribute wird umgedeutet und erhält neue Bedeutungszuordnungen. Ein entscheidendes Qualitätskriterium für die Abbildung von Originalen in Modellen ist die Kongruenz zwischen Abbildungsvor- und Abbildungsnachbereich. Nur auf dieser Basis können Erkenntnisse, die sich modellseitig einstellen, auf die Originale rückübertragen werden.

1.4 Modelle und Metaphern

Die Zuordnung von neuen Bedeutungen auf Seiten der Modelle wurde als Originalverfremdung bezeichnet. Diese Verfremdung ergibt sich insbesondere aus dem pragmatischen Merkmal. Es beeinflusst den Abbildungsvorgang durch eine Gewichtung und Interpretation der abzubildenden Attribute.

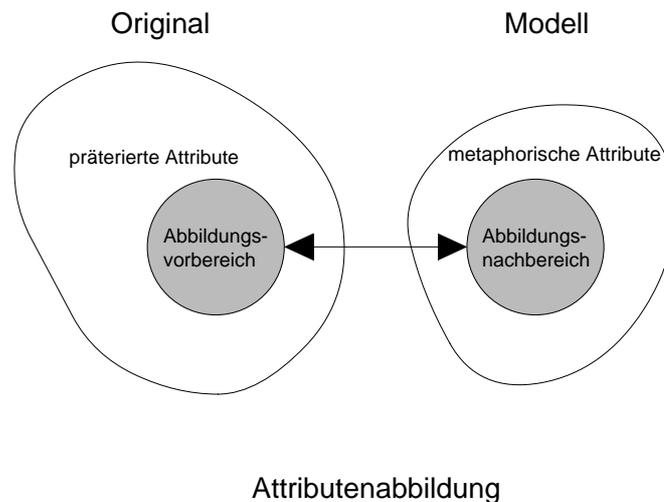
Die Aussage, daß das Original im Modell verfremdet abgebildet ist, bezieht sich dabei auf die unmittelbare Abbildungsbeziehung zwischen Original- und Modellattributen. Verläßt man diese Ebene der unmittelbaren Abbildungsbeziehung und begibt sich auf die Ebene einer übertragenen Bedeutung, so kann sich der Verfremdungseffekt umkehren. Modelle können durch die Zuordnung übertragener Bedeutungen für den Menschen anschaulicher werden. Diese Zuordnungen lassen Modelle bezüglich ihrer Abbildungsfunktion in einem anderen Licht erscheinen. Es stellt sich ein Erkenntnisgewinn ein, der sich durch die unmittelbare Abbildung allein nicht eingestellt hätte. [11][10][61][154]

Die Abbildungsebene der übertragenen Bedeutung wird in der Regel als **Metapher** bezeichnet. In der ursprünglichen Definition bezieht sich der Begriff der Metapher auf sprachliche Ausdrücke:

Eine Metapher bezeichnet einen „sprachlichen Ausdruck, bei dem ein Wort (eine Wortgruppe) aus seinem Bedeutungszusammenhang in einen anderen übertragen wird, als Bild verwendet wird“ [33]. „Metapher ist die Übertragung eines Wortes von anderer Bedeutung, entweder von der Gattung auf die Art, oder von der Art auf die Gattung, oder von einer Art auf die andere oder nach der Analogie“ [5].

Analog zu diesen Definitionen wird der Begriff der Metapher auch für Abbildungsbeziehungen in anderen Bereichen verwendet, so z.B. für den Bereich der Bilder oder der Musik.

Durch die Zuordnung von Metaphern bekommen Modelle einen anschaulichen und ikonischen Charakter. Metaphern arbeiten dabei mit Analogien und Ähnlichkeiten. Im Gegensatz zu den ikonisch-graphischen Modellen sprechen die ikonischen Zeichen dabei nicht aus den Originalen selbst, sondern teilen vielmehr Eigenschaften mit einem Wahrnehmungsmodell, das wir von dem bezeichneten Gegenstand haben. Dieses Wahrnehmungsmodell muß dabei für alle Beteiligten identisch, d.h. konsensfähig sein, damit die Metapher verstanden wird. Mit dem Wahrnehmungsmodell wird eine zusätzliche Beschreibungsebene eröffnet, die die Abbildungsbeziehung zwischen Original und Modell überlagert. Ihre Attribute fallen in den Bereich der abundanten Attribute. Diese werden im folgenden als metaphorische Attribute bezeichnet.

**Bild 1.2**

Die Abbildungsbeziehung zwischen Original und Modell unter einer Metapher

1.5 Modelle und Virtualität

Auf der Grundlage der anfänglichen Begriffsdefinition von Virtualität und vor dem Hintergrund der Allgemeinen Modelltheorie lassen sich die Begriffe Realität und Virtualität und ihre Beziehung zueinander nun ausreichend eindeutig definieren.

Realität bezeichnet alle „wirklichen“, „realen“ und „tatsächlichen“ Originale. Hierzu zählen alle Originale der physischen Welt sowie alle Originale aus dem Bereich der Symbole, Begriffe und Vorstellungen, sofern diese nicht bereits selber Modelle sind. Alle Originale der Realität werden im folgenden **Reale Objekte** genannt.

Reale Objekte werden gemäß der Allgemeinen Modelltheorie vielfältig in Modellen abgebildet. Dabei kann nur ein Teil dieser Modelle, vor dem Hintergrund der anfänglichen Definition von Virtualität, als „nicht wirklich“, „scheinbar“, „der Anlage nach als Möglichkeit vorhanden“ bezeichnet werden. Grundzug einer „scheinbaren“ Realität ist eine Ähnlichkeit zur physischen Realität, die sich insbesondere auf die „Erfahrbarkeit“ der Modelle durch den Menschen bezieht. Alle diese durch den Menschen unmittelbar erfahrbaren Modelle werden im folgenden als **Virtualität** bezeichnet. Die Elemente der Virtualität werden analog zur Realität **Virtuelle Objekte** genannt.

Die Erfahrbarkeit von Modellen wird durch die Zuordnung von geeigneten Metaphern erreicht bzw. verstärkt. Diese prägen den Modellen eine Gestalt auf, die sie für den Menschen anschaulicher und intuitiv begreifbarer machen. Der Begriff der Virtualität ist also eng mit dem Begriff der Metapher verknüpft.

Die Beziehung zwischen Realität und Virtualität ist nach der Allgemeinen Modelltheorie eine Abbildungsbeziehung zwischen Originalen und Modellen. Die Abbildung Realer Objekte in der Virtualität wird im folgenden **Virtualisierung** genannt.

Die Qualität der Abbildung von Realen Objekten in der Virtualität ist grundsätzlich von zwei Faktoren abhängig. Dies ist zum einen die genannte Wahl und Implementation einer geeigneten Metapher. Zum anderen ist dies die Kongruenz zwischen Abbildungsbereich in der Realität und Abbildungsnachbereich in der Virtualität. Nur die weitgehende Kongruenz ihrer Attribute gewährleistet die Rückübertragbarkeit von Ergebnissen aus der Modellwelt zurück in die Welt der Originale. Metapher und Kongruenz können sich in ihren Anforderungen zunächst widersprechen. Ziel der Virtualisierung muß es sein, beiden Anforderungen gleichberechtigt gerecht zu werden.

Im folgenden wird der Begriff der Virtualität in seinen Beziehungen zur Realität anhand von drei Beispielen verdeutlicht. Alle drei Beispiele führen in ihrem Namen bereits etablierte Begriffe von Virtualität. Diese Begriffe machen zunächst das Spektrum deutlich, in dem der Begriff der Virtualität bereits allgemeine Verwendung findet. Ziel der Beschreibungen ist es, dieses Spektrum von Definitionen auf die in dieser Arbeit angeführte Definition von Virtualität, als eine durch den Menschen „erfahrbare“ Modellwelt, hin zu fokussieren.

1.5.1 Virtuelle Realität

Der Begriff der „Virtuellen Realität“ wird derzeit allgemein für eine mittels Computer generierte künstliche Welt verwendet, in die Personen mit Hilfe technischer Geräte, wie dem Headmounted-Display oder dem Dataglove, versetzt sowie interaktiv eingebunden werden:

- Die in die Brille auf zwei kleine Bildschirme stereoskopisch eingespielten dreidimensional erscheinenden Bilder vermitteln dem Beobachter den Eindruck, sich selbst in einer künstlichen Welt (z.B. Räume, Landschaften, Fahrzeuge) zu befinden. Die Bewegungen des Betrachters werden sensorisch erfaßt sowie der Bildausschnitt und die Bildperspektive laufend angepaßt.
- Über den mit Sensortechnik ausgestatteten „Datenhandschuh“ kann der Betrachter interaktiv auf die modellhafte Umwelt einwirken (z.B. einen Gegenstand greifen).

Die Technik der Virtuellen Realität wird mittlerweile neben dem Anwendungsfeld der Computerspiele erfolgreich bei militärischen und zivilen Fahr- und Flugsimulatoren eingesetzt sowie neuerdings verstärkt in der Raumfahrt, der Medizin, der Architektur und Raumplanung. [8][26][52][130][131]

Durch die Technologie der Virtuellen Realität können schon jetzt durch Simulation und Animation virtuelle Welten geschaffen werden, die sowohl ein weitgehend naturalistisches Abbild der Wirklichkeit ermöglichen, als auch in der Lage sind, räumlich weit voneinander entfernt liegende Objekte virtuell zusammenzuführen. Diese künstlich ge-

schaffenen Welten (Cyberspace) werden dann beispielsweise zum Substitut eines physischen Raumes, so daß die für Organisationen heute noch notwendige Infrastruktur von Gebäuden, Büros, Arbeitsplätzen usw. nicht mehr erforderlich wäre. Auch würden die Wege der Mitarbeiter von und zu ihrem Arbeitsplatz entfallen, da nunmehr die Büroarbeit vollständig über eine Telekommunikationsinfrastruktur vom heimischen Wohnzimmer aus erledigt werden könnte.[80]

Die Modelle der Virtuellen Realität können nach der Allgemeinen Modelltheorie als Simulationsmodelle mit einem hohen Grad „anschaulich-räumlicher Originalabbildung“ bezeichnet werden. Dabei bezieht sich die Virtuelle Realität zunächst auf die visuellen Attribute. Die vollständige räumlichmetrische Angleichung wird als Formkopie bezeichnet (Beispiele sind Architektur- und Stadtsimulationen). Die Reduktion auf die visuellen Attribute führt zu einer Originalverkürzung der realen Welt, die für viele Anwendungen, z.B. Fahr- und Flugsimulatoren, ein nicht ausreichendes Abbild ergibt. Hier müssen die graphischen Modelle mit entsprechenden technischen Modellen der realen Welt verknüpft werden. Wichtige Elemente sind dabei die Abbildung von Masse, Gravitation und Dynamik.

Zwei Problemfelder lassen sich derzeit auf dem Gebiet der Virtuellen Realität ausmachen:

Zum einen ist dies die noch mangelhafte Kopplung menschlicher Sinne an die simulierte Realität. Bis jetzt werden hauptsächlich das Sehen und Hören angesprochen. Die anderen, also der Tast-, Geruchs- und Geschmackssinn werden vernachlässigt, wobei der Tastsinn, also das Fühlen von Druck, Elastizität, Gewicht und Oberfläche etc. für die realitätsnahe Interaktion und das vollständige Eintauchen des Menschen in die künstliche Welt eine entscheidende Rolle spielt. Hier gibt es zwar einige prototypische Entwicklungen und auch Produkte, wie den „DataSuit“, die den Körper des Betrachters mit den entsprechenden taktilen Reizen stimulieren. Diese Beispiele sind jedoch noch sehr schwerfällig und unhandlich.

Zum anderen besteht eine deutliche Trennung von Virtueller Realität und physischer Realität, welche den gegenseitigen Informationsaustausch zwischen beiden Welten weitgehend verhindert. Derzeit verläßt der Betrachter mit dem Aufsetzen der elektronischen Brille die physische Realität, um vollständig in die Virtuelle Realität einzutauchen. Die Dinge, die er dort tut, haben in der Regel nicht direkt etwas mit der „außenliegenden“ Welt zu tun.

Diesen Nachteilen begegnet das Forschungsfeld der **Augmented Reality**. Augmented Reality bezeichnet eine Realität, die durch Virtualität angereichert und durchdrungen ist. Geeignete Visualisierungsverfahren und Displaytechniken machen diese Virtualität sichtbar, ohne den Betrachter, wie im Beispiel des Head Mounted Display, aus seiner realen physischen Umwelt herauszureißen. Geeignete Displaytechniken sind z.B. transparente Datenbrillen (Video-See-Through-Displays) wie sie in der „NaviCam“ eingesetzt werden. [117]

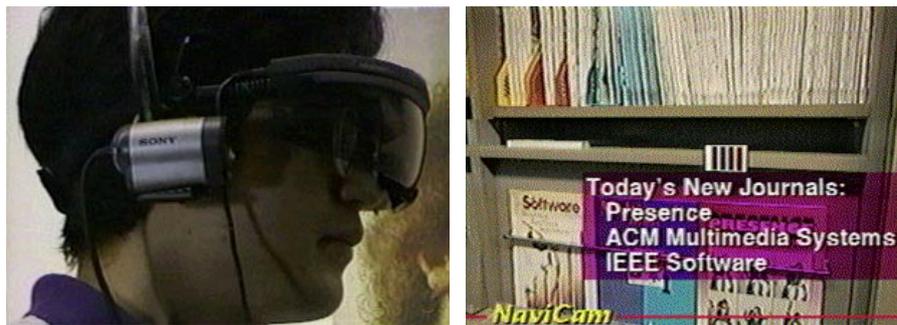


Bild 1.3

Die NaviCam besteht aus einer transparenten Datenbrille, einem sog. „Video-See-Through-Display“, und einer Kamera. Die Kamera ist seitlich an der transparenten Datenbrille angebracht. Sie zeichnet Bar-Codes auf, die an physischen Objekten angebracht sind und übermittelt sie per Funk an eine zentrale Recheneinheit. Diese wertet den Bar-Code aus und übermittelt die dem Bar-Code zugeordnete Information zurück an die transparente Datenbrille. Der Betrachter erhält zum betrachteten physischen Objekt entsprechende Informationen eingeblendet. Anwendungsfelder für die NaviCam sind u.a. Bibliotheken und Museen. Mit der Technik der NaviCam können Informationen zu Büchern oder Bildern leicht zugeordnet und z.B. an den Wissensstand des individuellen Betrachters angepaßt werden. [117]

Mit der Technologie der Augmented Reality können sowohl allgemeine als auch orts- oder objektbezogene Informationen in die Sicht eines Nutzers eingeblendet werden.

Allgemeine Informationen beziehen sich z.B. auf die alltägliche Arbeit. Ein Nutzer kann Texte und e-mail lesen oder Telefongespräche und Videokonferenzen führen, während er sich wie gewohnt in seiner realen Umgebung bewegt. [24][25][106][151]

Orts- oder objektbezogene Informationen beziehen sich dagegen auf den Ort, an dem sich ein Nutzer befindet, oder auf das Objekt, das ein Nutzer gerade betrachtet oder bearbeitet. Die Position des Nutzers wird in der Regel, wie im Beispiel der NaviCam, an eine zentrale Recheneinheit übermittelt. Diese Recheneinheit wertet die Position des Nutzers aus und sendet die entsprechende für ihn bestimmte Information in das Display. Die Zuordnung der Information ist also dynamisch. Beliebige Informationen können einem Objekt zugeordnet werden. Diese Informationen können wiederum beliebig gefiltert an den Betrachter weitergegeben werden. Es ist dabei allein eine Frage der Display-technik und des Visualisierungsverfahrens, wie homogen die Informationen in den physischen Hintergrund, etwa bezüglich Farbwahl und Perspektive, integriert werden und wie naturalistisch sie so dem jeweiligen Betrachter erscheinen.

Ein weiteres Anwendungsfeld für die Technologie der Augmented Reality findet sich im Konstruktionsbereich. Monteure der Flugzeugfirma Boing erhalten in ihre transparenten Datenbrillen in Abstimmung zu ihrem Aufenthaltsort und der Montagereihenfolge Konstruktionspläne eingeblendet. Diese überlagern den physischen Montagebereich und geben gezielte Anweisungen. Insbesondere die komplexe Installationsführung innerhalb von Flugzeugen kann mit dieser Technologie schneller und fehlerfreier ausgeführt werden. [107]

1.5.2 Virtuelle Erzeugnisse

Der Produkterstellungsprozeß ist gekennzeichnet durch die immer stärker werdende Forderung nach Reduktion von Kosten und Zeit bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität. Dabei verschiebt sich ganz allgemein der Trend von der Serienfertigung hin zu einer individuellen kundennahen Produktion. Ziel ist es, möglichst zeitgleich mit dem Entstehen des Kundenwunsches gemeinsam mit dem Kunden ein direkt auf die Kundenbedürfnisse abgestelltes individuelles und kostengünstiges Produkt zu schaffen.

Manifestieren sich in einer Serienproduktion alle Komponenten in definierten physischen Objekten wie Fertigungsstraßen, Maschinen, Mitarbeitern, Zulieferern usw. in einem langfristig stabilen Produktionskontext, so sind in einer individuellen kundennahen Produktion diese Komponenten in weiten Teilen „entmaterialisiert“. Sie existieren allein in Form von Modellen, die die Rahmenbedingungen für die Produktion vorgeben. Hierzu zählen insbesondere:

- Produktmodelle, für die Definition des Produktes.
- Kommunikationsmodelle, für die Definition der Zusammenarbeit aller Beteiligten im Produktionskontext.
- Fertigungsmodelle, für die fertigungstechnischen Bedingungen.

Da das Produkt erst im letzten Schritt des Produktionsprozesses durch die Mitwirkung des Kunden aus den Modellen heraus seine physische Manifestation erfährt, wird bei dem Produkt von einem

„Virtuellen Erzeugnis“ gesprochen. Dabei ist die Virtuelle Realität, wie sie oben skizziert wurde, zunehmend eine Vorstufe Virtueller Erzeugnisse. Das Produkt wird innerhalb einer Virtuellen Realität umfassend simuliert, bevor es schließlich in ein physisches Objekt transferiert wird. [128]

Ein Beispiel für ein Virtuelles Erzeugnis gibt die Brillenfirma „Pearl Vision Express“: In dieser Firma werden Brillengestelle und Brillengläser nicht auf Vorrat produziert bzw. auf Bestellung in der Fabrik angefertigt, sondern entstehen vielmehr unmittelbar im Beisein des Kunden mittels einer entsprechenden Maschine, die dem Kunden erlaubt, auf den Produktionsprozeß Einfluß zu nehmen.

Der gesamte Produktionsprozeß ist vollständig in Form von Produkt- und Fertigungsmodellen abgebildet. Schnittstellen zu diesen Modellen erlauben eine gewisse Einflußnahme des Kunden auf das Produkt. Mit Techniken der Virtuellen Realität kann das Produkt Brille im voraus naturalistisch dem Kunden vorgespielt werden. Mehrere Varianten können geprüft werden, bis schließlich eine von ihnen im Produkt seine physische Manifestation erfährt. Das Produkt „Brille“ wird in diesem Zusammenhang Virtuelles Erzeugnis genannt. [28]

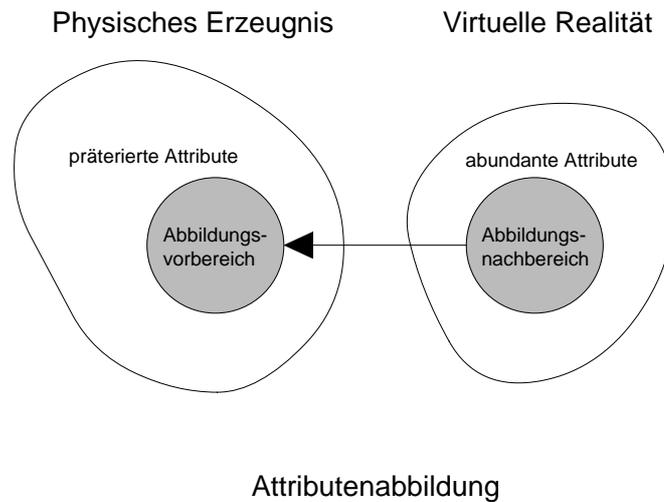


Bild 1.4

Die Abbildungsbeziehung zwischen Original und Modell am Beispiel von Virtuellen Erzeugnissen. Das Virtuelle Erzeugnis wird aus den Modellen heraus in ein physisches Objekt transformiert.

1.5.3 Virtuelle Organisationen

Während die Entwicklung von Virtuellen Erzeugnissen vor allem durch Marktveränderungen herbeigeführt und begünstigt wurde, ist die Tendenz in Richtung „Virtueller Organisationen“ eine Folge diverser Veränderungen im Zusammenspiel von Unternehmen sowie der einzelnen Einheiten innerhalb des Unternehmens. Im Kern geht es um die Notwendigkeit organisatorische Einheiten zu schaffen, die

- auf den primären Geschäftszweck reduziert sind,
- durch strukturelle und prozedurale Einfachheit ein Maximum an Wirtschaftlichkeit realisieren,
- Kostensenkungspotentiale radikal ausschöpfen,
- innovative (Hochtechnologie-)Produkte oder (Spezial-)Dienstleistungen entwickeln und anbieten,
- sich durch vielfache Kombinationsmöglichkeiten äußerste Flexibilität sichern und sich selbst als offen ansehen für vielfältigste Änderungsprozesse. [128]

Das Ziel Virtueller Organisationen ist die Bereitstellung und Nutzung eines die eigene Organisation weit übersteigenden Potentials an Ressourcen und Kompetenzen. Dieses erweiterte Potential wird durch das Teilen der Ressourcen und Kompetenzen zwischen verschiedenen Organisationen erschlossen. Die Voraussetzung dafür ist eine geeignete Infrastruktur auf der Basis von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie aufgabenangepaßte Strukturmuster, die auf einem besonderen Maß an Improvisation und Selbstorganisation aufbauen. Beispiele für solche Strukturen sind prozeßgetriebene Or-

ganisationen, fraktale Unternehmen, Lean management, strategische Netzwerke und Allianzen. [145][128][150]

Im Unterschied zu Virtuellen Erzeugnissen liegt der Schwerpunkt Virtueller Organisationen also nicht auf der Modellierung des Produktionsprozesses, sondern insbesondere auf der Modellierung der übergeordneten Ebene der Aufbau- und Ablauforganisation von Unternehmen. Die Modellierung dieser Strukturen führt auf der Basis der Informations- und Kommunikationstechnologien im Ergebnis zu einem Nutzensvorteil, der insbesondere in der zeitlichen und örtlichen Flexibilität der Organisation liegt.

In der Systemtheorie finden sich verschiedene Ansätze, die die besondere Funktionsweise Virtueller Organisationen erklären. Speziell die Theorien zu selbstorganisierenden Systemen sind dabei aufschlußreich:

Selbstorganisation wird definiert als „die Gesamtheit aller Prozesse, die aus einem System von selbst entstehen und in diesem Selbst Ordnung entstehen lassen, verbessern oder erhalten“. [114]

Dabei werden vier Hauptmerkmale der Selbstorganisation identifiziert:

- Autonomie
- Komplexität
- Redundanz
- Selbstreferenz

Unter diesen Merkmalen sind die Autonomie und die Selbstreferenz die für Virtuelle Organisationen entscheidenden Kriterien. Autonomie bedeutet das Fehlen einer jeglichen Zentralinstanz zur Lenkung der Komponenten. Dieses setzt eine teamorientierte Führung und Form der Kooperation voraus. Die einzelnen Mitarbeiter müssen selbstständig, lernfähig, mobil und anpassungsfähig sein, um in flachen sich selbstorganisierenden Strukturen effektiv und synergetisch zu arbeiten.

Selbstreferenz meint Selbstgestaltung, Selbstlenkung und Selbstentwicklung aus der eigenen Organisation heraus. Selbstbewertung und Selbstkontrolle sind zunächst die einzigen Kontrollinstrumente.

Die Auseinandersetzung mit rein selbstreferentiellen Systemen, wie z.B. „autopoietischen Systemen“ [97] zeigt, daß eine Virtuelle Organisation nicht von der Außenwelt vollständig abgeschlossen ist. Eine Virtuelle Organisation wird sich zumindest offen dem Markt bzw. der Aufgabe gegenüber gestalten und orientieren. Diese äußeren Einflüsse sind sehr oft nicht statisch. Sie entwickeln sich vielmehr dynamisch im Zusammenspiel mit dem eigentlichen Arbeitsfortschritt.

Der Aufbau funktionierender Organisations- und Kommunikationsstrukturen innerhalb Virtueller Organisationen steht daher in einem ständigen Dialog zur eigentlichen Leistungs-

erstellung und ist mit dieser fast untrennbar verknüpft. Selbstorganisation in Virtuellen Organisationen ist daher nicht als strikter, linear-sequentiell ablaufender Prozeß verschiedener Schritte anzusehen. Vielmehr stehen (Selbst-) Organisation und Systemdurchführung in einem wechselseitigen iterativen Prozeß.[152]

1.5.4 Zusammenfassung

Virtuelle Realität, Virtuelle Erzeugnisse und Virtuelle Organisationen zeigen das Spektrum, in dem der Begriff der Virtualität bereits etabliert ist. Im Rahmen dieser Arbeit sollen diese Begriffe der Virtualität auf eine vom Menschen „erfahrbare“ Modellwelt hin fokussiert werden.

Virtuelle Realität hat diese Erfahrbarkeit unmittelbar zum Ziel. Sie modelliert insbesondere die Attribute der physischen Welt, die mit den menschlichen Sinnen unmittelbar erfaßbar sind. Sie ist verbunden mit dem Einsatz von entsprechenden Display- und Interaktionstechniken, die diese künstliche, virtuelle Welt der physischen, realen Welt vergleichbar präsent erscheinen lassen und benutzbar machen. Nur mit diesen technischen Voraussetzungen kann Virtualität die Realität sinnvoll ergänzen, bzw. ersetzen. Am Beispiel der Virtuellen Realität wird deutlich, daß die Virtualisierung in der Regel mit deutlichen Nutzvorteilen verbunden ist. Reale Objekte werden im Zuge der Virtualisierung durch Virtuelle Objekte substituiert. Dies führt u.a. zu einer Reduktion der Transportkosten, einer erhöhten Sicherheit, der Wiederholbarkeit von Szenarien, einer größeren Flexibilität oder eines größeren Nutzungsbereiches.

Virtuelle Erzeugnisse bezeichnen einen Produkterstellungsprozeß, der aus einer Vielzahl von Modellen heraus in ein physisches Produkt führt. Nur ein Teil dieser Modelle ist im Sinne der in dieser Arbeit angeführten Definition von Virtualität direkt durch den Menschen erfahrbar. Hier handelt es sich in erster Linie um die Modelle, die unmittelbar vor der eigentlichen Realisierung stehen, also um die Modelle, die „der Anlage nach als Möglichkeit vorhanden“, also quasi real sind. Sie werden u.a. mit Techniken der Virtuellen Realität der Realität vergleichbar präsent dargestellt.

Virtuelle Erzeugnisse verdeutlichen die Kette ausgehend von gedanklichen und physischen Originalen, über ihre Modellierung, ihre Virtualisierung und schließlich ihre Realisierung:

Zunächst werden die Produktidee und die produktionstechnischen Rahmenbedingungen in Modellen umfassend abgebildet (**Modellierung**). Im Zuge der Konkretisierung der Planung wird ein Teil der Modelle an die Gesetzmäßigkeiten der Realität angeglichen (**Virtualisierung**). Damit werden sie für den Menschen, insbesondere für den Kunden, erfahrbar. Nach Überprüfen von Varianten wird schließlich ein Modell aus der Virtualität heraus in die Realität transformiert (**Realisierung**).

Virtuelle Organisationen schließlich bezeichnen Formen moderner Arbeitsorganisation. Räumlich verteilte physische Orte, Ressourcen und Personen werden mit Hilfe von Modellen überlagert und zu flexiblen raumübergreifenden Organisationseinheiten zusammengeschlossen. Da diese Modelle immaterielle Arbeitsumgebungen bilden, die die physischen Arbeitsumgebungen ergänzen, bzw. ersetzen, ist es notwendig, daß sie für den Menschen der physischen Welt vergleichbar präsent und ergonomisch benutzbar erscheinen. Daher ist auch bei Virtuellen Organisationen der Begriff der Virtualität im Sinne einer durch den Menschen erfahrbaren Modellwelt angebracht.

Die Erfahrbarkeit der Modelle kann im Gegensatz zu den Beispielen der Virtuellen Realität und der Virtuellen Erzeugnisse dabei weniger aus den Modellen der Virtuellen Organisationen selbst sprechen. Vielmehr sind bei der Virtualisierung der Modelle Virtueller Organisationen Metaphern notwendig, die die für die Benutzbarkeit notwendige Erfahrbarkeit auf die entsprechenden Modelle prägen. Diese Funktion der Metapher wird im Laufe der Arbeit zentral dargestellt werden.

1.6 Virtualität und Informationstechnologien

Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK-Technologien) spielen im Rahmen der Virtualisierung eine zunehmend wichtige Rolle. Viele der bereits skizzierten Bereiche der Virtualisierung entfalten erst durch den Einsatz dieser Technologien eine besondere Leistungsfähigkeit, bzw. sind ohne ihren Einsatz gar nicht denkbar.

Beispielsweise wird erst durch den Einsatz leistungsfähiger Graphikrechner die Visualisierung dreidimensionaler anschaulich-räumlicher Modelle realisierbar, sind erst durch entsprechende Rechen- und Speicherkapazitäten die aufwendigen Berechnungen dynamischer Modelle möglich, werden erst durch den Einsatz von IuK-Technologien die für eine Virtuelle Organisation notwendigen Infrastrukturen geschaffen. Infolge der zunehmenden Bedeutung der IuK-Technologien wird sich die Arbeit im folgenden auf die Bereiche der Virtualisierung konzentrieren, die mit dem Einsatz dieser Technologien unmittelbar verknüpft und durch diese bedingt sind.

Als Grundlage werden im folgenden zunächst die Grundbausteine der IuK-Technologien in ihrer Beziehung zur Allgemeinen Modelltheorie dargestellt. Daraus werden anschließend Rahmenbedingungen für die Modellierung und Virtualisierung entwickelt, die für den Einsatz der IuK-Technologien in der Anwendungsdomäne des Bauens von entscheidender Bedeutung sind.

Als Grundbausteine der IuK-Technologien gelten Algorithmen und Datenstrukturen. Sie bilden die Basis für alle informationstechnischen Modelle.

1.6.1 Algorithmen

Algorithmen beschreiben auf der Modellierungsebene Prozesse. Ein Prozessor folgt diesem Algorithmus und führt damit den Prozeß aus. Programmiersprachen bilden das Medium, mit dem ein Algorithmus beschrieben und einem Prozessor zugänglich gemacht werden kann.

Algorithmen werden in der Regel sequentiell abgearbeitet (prozedurale Programmierung). Sie werden dafür in eine Folge von Einzelschritten zergliedert (Verfeinerung), die einzeln von einem Prozessor interpretiert werden können. Für eine weitere Gliederung der Ausführungsfolge werden als grundlegende Mechanismen die Selektion (Auswahl) und die Iteration (Wiederholung) verwendet.

Die Rahmenbedingungen der Abbildung von Prozessen in Algorithmen und Programmiersprachen ist ihre Syntax (Beziehung zwischen den Zeichen oder Symbolen untereinander) und ihre Semantik (Beziehung zwischen den Zeichen oder Symbolen und den Dingen, die sie bedeuten). Syntax und Semantik müssen in der Lage sein, einen Prozeß eindeutig zu beschreiben und zu ermöglichen, daß ein Prozessor diese Beschreibung eindeutig interpretieren kann. Ist die Abbildung nicht eindeutig, d.h. sind Modell und Original nicht kongruent, spricht man von syntaktischen und semantischen Fehlern. Diese Fehler sind explizit und können von einem Prozessor, in diesem Fall einem Computer, aufgedeckt werden. Daneben existieren implizite Fehler. Hierunter versteht man logische Fehler innerhalb der Abbildungsbeziehung zwischen Algorithmen und Prozessen. Logische Fehler können von einem Computer nicht erkannt werden.[134]

Im Sinne der Allgemeinen Modelltheorie lassen sich folgende Zuordnungen treffen:

Algorithmen sind Beschreibungen und damit Modelle von Prozessen (Abbildungsmerkmal). Programme sind wiederum Beschreibungen und damit Modelle von Algorithmen. Algorithmen bzw. Programme müssen Prozesse eindeutig und umfassend abbilden, damit diese von Prozessoren, d.h. menschlichen Benutzern oder Computern, im Sinne des Prozesses interpretiert werden können. Die Abbildung von Prozessen in Algorithmen und Programmen kann durch das Verkürzungsmerkmal unscharf werden und zu Fehlern führen (Bsp. Rundungsfehler), je nachdem welche Syntax und Semantik man wählt (Pragmatisches Merkmal). Abbildungsfehler (Kongruenz) müssen in einem tolerabelen Rahmen gehalten werden, damit die Ergebnisse, die ein Programm auf der Grundlage eines Algorithmus ausführt, in Bezug auf den abgebildeten Prozeß aussagekräftig bleiben und auf diesen rückübertragen werden können.

1.6.2 Datenstrukturen

Daten sind nach einer allgemeinen Definition [37] Nachrichten oder Teile einer Nachricht, die so dargestellt werden können, daß sie maschinell verarbeitet werden können. Sie liegen in Form physikalischer Repräsentationen (Symbole) vor, denen eine feste Bedeutung unterstellt wird. Daten bilden die notwendige Basis, auf der Algorithmen arbeiten. Allgemein unterscheidet man zwischen den Daten der Eingabe in den Algorithmus und den Daten, die ein Algorithmus als Ergebnis ausgibt.

Die Einordnung von Datenstrukturen in den Modellbegriff der Allgemeinen Modelltheorie wird insbesondere an Datenbanksystemen deutlich:

Ein Datenbanksystem ist ein System zur Führung von Datenbeständen. Es bietet im wesentlichen Dienste zum Entgegennehmen, Abspeichern, Ändern, Löschen, Auswählen, Wiederauffinden und Bereitstellen von Daten sowie zur Verwaltung von Datenbeständen an. Die in einem Datenbanksystem gespeicherten Daten werden „Datenbasis“ genannt. Eine Datenbasis geht aus Informationen über eine reale oder gedankliche Anwendungswelt hervor. Informationen sind aber stets gedankliche Abstraktionen (Abbilder, Modelle) realer oder gedanklicher Gegenstände. Als solche enthalten sie nur die Aspekte der betrachteten Welt, die für den Zweck ihrer Verwendung von Bedeutung sind. Ein derartiger Ausschnitt der Welt wird in der Datenbankterminologie als „Miniwelt“ bezeichnet. Eine kongruente Datenbasis bezeichnet dabei eine Datenbasis, die ein genaues Modell einer gegebenen Miniwelt darstellt. Die Kongruenz läßt sich im allgemeinen nicht vollständig erreichen. Instrumente zur Erzielung einer kongruenten Datenbasis sind die Bedingungen, die durch das der Datenbasis zugrundeliegende Datenmodell (Modellkonsistenz), durch die im Datenbasisschema formulierten Regeln (Schemakonsistenz) sowie durch explizite Konsistenzregeln formuliert werden.

Die Strukturierung der Datenbasis, d.h. die Definition ihrer möglichen Zustände, Wertebelagungen und Operationen wird durch das Datenbasisschema realisiert. Erst mit dem Vorliegen dieses Schemas kann eine Datenbasis erzeugt werden. Jede Datenbasis enthält zu diesem Schema schließlich eine entsprechende Menge von Ausprägungen, bzw. Exemplaren. [89]

Beispiele für Datenbasen aus dem Ingenieurbereich sind „Produktmodelle“ und „Gebäudemodelle“.

Im Sinne der Allgemeinen Modelltheorie lassen sich folgende Zuordnungen treffen :

Eine Miniwelt bezeichnet einen bestimmten Ausschnitt der realen Welt; dieser wird innerhalb einer Datenbasis abgebildet (Verkürzungsmerkmal). Die Bezeichnung einer Miniwelt unterliegt bestimmten Intentionen, die mit der Modellierung verbunden sind (Pragmatisches Merkmal). Die Miniwelt wird in der Datenbasis in Form eines Datenbasisschemas und deren Ausprägungen abgebildet (Abbildungsmerkmal). Modellkonsistenz, Schemakonsistenz und Konsistenzregeln bestimmen schließlich die Kongruenz zwischen Datenbasis und Miniwelt und die Transferierbarkeit der auf der Datenbasis gewonnenen Ergebnisse auf die Realität.

1.6.3 Die „closed-world-assumption“ informationstechnischer Modelle

Datenstrukturen und Algorithmen bilden die Grundbausteine der Informationstechnologien. Sie sind eng miteinander verknüpft. Algorithmen benötigen in der Regel eine Datengrundlage, die durch entsprechende Datenstrukturen bereitgestellt wird. Datenstrukturen werden mit Hilfe von Algorithmen zugänglich gemacht. Diese gegenseitige Abhängigkeit bedingt, daß die Modellierung von Prozessen und Daten gemeinsam betrachtet werden muß:

Wie bei allen Modellen, kann auch innerhalb von Algorithmen und Datenstrukturen nur ein bestimmter Ausschnitt einer gedanklichen oder physischen Welt, ein klar umrissenes Problem, eine bestimmte Funktionalität modelliert werden. Die Allgemeine Modelltheorie bezeichnet dieses Phänomen als Verkürzungsmerkmal. Gleichzeitig muß eine kongruente Abbildung zwischen dem Abbildungsvorbereich der Realität und dem Abbildungsnachbereich der Modellwelt gewährleistet sein, damit die Ergebnisse, die auf der Grundlage der Modelle erzielt werden, auf die Originale rückübertragen werden können. Fehler in dieser Abbildungsbeziehung werden als logische oder implizite Fehler bezeichnet. Diese können von einem Programm, welches auf der Grundlage von Modellen arbeitet, nicht aufgedeckt werden. Fehler, die von einem Programm aufgedeckt werden können, beschränken sich auf seine Systemgrenzen und werden als explizite Fehler bezeichnet. Die Gewährleistung, daß die von einem Programm als fehlerfrei „bezeichneten“ Ergebnisse auch auf die Realität übertragen werden können, muß schließlich vom Menschen übernommen werden.

Dieses wird am Beispiel von Simulationsprogrammen deutlich. Simulationsprogramme arbeiten u.a. mit technischen Modellen, die einen Ausschnitt der physischen Realität abbilden. Die Programme liefern auf dieser Grundlage innerhalb ihrer Systemgrenzen eindeutige Resultate. Diese Resultate werden anschließend auf die physische Realität übertragen und dienen dort z.B. als Entscheidungsgrundlage. Es ist klar, daß die Aussagekraft der Ergebnisse unmittelbar von der Kongruenz der technischen Modelle mit den physischen Phänomenen der Realität abhängt. Modelle können die physische Realität jedoch niemals vollständig abbilden. Im Falle der Simulationsprogramme werden die Resultate daher mit der Realität, z.B. durch Vergleichsmessungen, in Beziehung gebracht, um im Gegenzug die Modelle weiter zu verfeinern. Original und Modell gleichen sich so in einem iterativen Prozeß mit dem Ziel einer kongruenten Abbildung und damit hinreichend korrekter Aussagen an. Die notwendige Annahme der Vollständigkeit und Fehlerfreiheit einer Modellierung durch ein Programm innerhalb seiner Systemgrenzen ist eine entscheidende Rahmenbedingung der informationstechnischen Modellierung und der Realisierung von Virtualität. Sie wird als **closed-world-assumption** bezeichnet. [81]

2 Modelle und Virtualität in der Architektur

Die Begriffe Modell und Virtualität wurden in Kapitel 1 allgemein definiert und anhand von drei Anwendungsbereichen, der Virtuellen Realität, der Virtuellen Erzeugnisse und der Virtuellen Organisationen exemplarisch verdeutlicht. Im folgenden soll ebenfalls beispielhaft verdeutlicht werden, in welchen Zusammenhängen sie in der Architektur Verwendung finden.

Die Darstellung orientiert sich an den Phasen des Lebenszyklus von Gebäuden, ihrer Planung und Ausführung, ihrer Verwaltung, Steuerung und Nutzung. Anhand ihrer Beschreibung lassen sich die zentralen Problemfelder im Zusammenhang mit der Modellierung und Virtualisierung von Architektur eindeutig identifizieren. Die Beschreibung dient als Grundlage für die nachfolgenden Lösungskonzepte.

2.1 Die Phase der Planung und Ausführung von Gebäuden

2.1.1 Gebäude als Virtuelle Erzeugnisse

Der Begriff des Virtuellen Erzeugnisses kann offensichtlich auf alle Produkte zutreffen, die geplant und gefertigt werden:

Ein Produkt entsteht zunächst in den Vorstellungen der an der Planung beteiligten Personen, manifestiert sich dann in unterschiedlichen Modellen (graphischen, technischen und semantischen Modellen), die mit dem Planungsfortschritt zunehmend anschaulicher und erfahrbarer werden. Die Modelle werden in der Ausführungsphase schließlich „externalisiert“, d.h. aus der Virtualität heraus in ein physisches Gebäude übertragen. Die Ausführung steht damit an der Schnittstelle zwischen Virtualität und Realität. [81]

Vor diesem Hintergrund sind selbstverständlich auch Gebäude Virtuelle Erzeugnisse. Im Vergleich zu dem im Kapitel 1 angeführten Beispiel des Produktes „Brille“ ergeben sich jedoch erhebliche Unterschiede in seiner Ausprägung, die insbesondere in den spezifischen Rahmenbedingungen des Gebäudeplanungs- und Bauprozesses begründet sind:

Ein Hauptmerkmal der Gebäudeplanung und -ausführung ist ihr besonders ausgeprägter Unikatcharakter (one-of-a-kind). In der Regel ändern sich von Projekt zu Projekt sämtliche Rahmenbedingungen und zwar in allen Teilbereichen der Planung und Ausführung, von der individuellen Aufgabestellung (Leistungsbeschreibung, städtebauliche Situation, Zeitplan, Nutzung etc.), über die lokalen Produktionsbedingungen, die sich aus dem individuellen Bauplatz ergeben, bis hin zur Zusammensetzung der lokalen Planungs- und Ausführungsteams. Leistungsfähige Arbeitsstrukturen und Lösungen müssen sich im Gegensatz zur industriellen Serienproduktion und selbst im Gegensatz zur industriellen Unikatfertigung, wie sie am Beispiel des Produktes Brille beschrieben wurde, immer wieder neu einspielen.

Folglich lassen sich viele Rahmenbedingungen der Planung und Ausführung von Gebäuden vorab nicht modellieren. Sie müssen vielmehr für jedes Projekt neu in Modellen abgebildet werden.

In einer Unikattfertigung, wie sich das Baugewerbe darstellt, können diese Entwicklungskosten in der Regel nur von einem einzigen ausgeführten Objekt aufgefangen werden. Die Modelle der Planung und Projektsteuerung sind daher zwar breit und umfassend angelegt, d.h. sie erfassen alle Bereiche der Planung und Ausführung in einer Vielzahl von graphischen und semantischen Modellen. Die Abbildungen sind jedoch zumeist flach strukturiert, d.h. sie beschränken sich auf im Verhältnis zur industriellen Produktion niedrige Detaillierungsstufen und erfassen damit nur wenige Attribute. Die sich daraus ergebende Unschärfe der Planung wird in hohem Maße durch die z.T. unbewußte Erfahrung und Interpretationsfähigkeit aller Beteiligten, insbesondere der Ausführenden, ausgeglichen. Planungsentscheidungen, etwa die Auswahl eines bestimmten Bauteils oder Materials, werden oft noch auf der Baustelle geändert oder sogar erst definitiv entschieden. Das Bauergebnis ist an entscheidenden Stellen improvisiert und nicht vollständig vorhersagbar.

Dies alles führt dazu, daß die Modelle für die Planung und Ausführung von Gebäuden im Verhältnis zu anderen Virtuellen Erzeugnissen sehr heterogen und schlecht aufeinander abgestimmt sind. Zum Abschluß des Bauvorhabens können in weiten Teilen keine exakten Beschreibungen über den schlußendlichen Zustand des Gebäudes existieren. [1]

2.1.2 Planungs- und Ausführungsteams als Virtuelle Organisationen

Es ist naheliegend, die Prozesse der Planung und Ausführung von Gebäuden mit denen Virtueller Organisationen zu vergleichen: Der Unikatcharakter von Gebäuden führt dazu, daß sich leistungsfähige Arbeitsstrukturen mit jedem Projekt neu aufbauen und einspielen müssen. Diese Arbeitsstrukturen bilden sich aus zumeist räumlich getrennten Ressourcen und Kompetenzen, die unter einem gemeinsamen Projektziel zeitlich befristet zusammenwirken. Dieses Zusammenwirken im Team basiert schließlich auf einem hohen Maß an Improvisation und Selbstorganisation.[42]

Bei näherer Analyse ist der Planungs- und Bauprozess in einigen Bereichen jedoch noch weit vom Bild Virtueller Organisationen entfernt, was im Detail folgendermaßen aussieht:

Wie in Kapitel 2.1.5 weiter ausgeführt wird, erschweren die derzeitigen technischen Instrumente und Infrastrukturen der Planung und Ausführung ein spontanes aufeinander abgestimmtes oder sogar paralleles Arbeiten erheblich. Die pragmatische und derzeit verbreitete Antwort auf diese Bedingungen ist daher die dedizierte Definition der Aufgaben, die von den beteiligten Personen bearbeitet werden müssen, sowie die Definition ihrer Schnittstellen. Hierdurch wird die weitgehend isolierte Bearbeitung unter der Leitung einer Koordinationsstelle gewährleistet.

Diese Arbeitsweise wird unterstützt durch die rechtlichen Rahmenbedingungen:

Die Abfolge der Teilplanungen und -ausführungen wird direkt oder indirekt über die in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) geregelten Phasen bestimmt [63]. Die Honorarordnung unterscheidet in Grundlagenermittlung, Vorplanung, Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung, Ausführungsplanung, Vergabe, Bauausführung und Objektbetreuung mit Dokumentation. Sie strukturiert die Planung und Ausführung und die Zusammenarbeit der Beteiligten über Abrechnungszeitpunkte. Ein verstärkter Dialog zwischen den beteiligten Personen ist in dieser Regelung nicht vorgesehen und kann nur schwer abgerechnet werden.

Als Folge davon gestaltet sich die Zusammenarbeit der an Planungs- und Bauprozessen beteiligten Personen in der Regel sequentiell. Haustechnikingenieur, Bauphysiker, Akustiker, Lichttechniker, Bauunternehmer, Installateur usw. führen, meist unter der Leitung des Architekten als Treuhänder des Bauherrn und Gesamtkoordinator, die von ihnen durchzuführenden Planungsaufgaben und Montagearbeiten aus, ohne allzusehr auf die Belange der anderen am Entwurf- und Bauprozess beteiligten Personen und Gewerke Rücksicht zu nehmen.

Infolge dieser Merkmale kann der architektonische Planungs- und Bauprozess in seiner derzeitigen Ausprägung nicht eindeutig der Kategorie der Virtuellen Organisation zugeordnet werden. Zwar etablieren sich die notwendigen Arbeitsstrukturen mit der individuellen Planungs- und Bauaufgabe immer wieder neu. Die eigentliche Zusammenarbeit gestaltet sich unter den derzeitigen Rahmenbedingungen jedoch eher statisch in einer sequentiellen Abfolge von Arbeitsschritten unter einer zentralen Kontrolle. Sie entspricht damit in weiten Teilen nicht Virtuellen Organisationen als selbstorganisierenden Systemen.

2.1.3 Weitere Merkmale der Planung und Ausführung von Gebäuden

Ein zentrales Medium des architektonischen Planungsprozesses ist die graphische Darstellung. Ein Großteil der Entwurfsinformationen wird zwischen den beteiligten Planern über diese Modelle ausgetauscht. Für die Kommunikation mit den Auftraggebern werden zunehmend Techniken der Virtuellen Realität eingesetzt. In der Ausführung sind wiederum Zeichnungen ein entscheidendes Medium, um den Entwurf in ein physisches Objekt zu transformieren.

In dieser bevorzugten Verwendung anschaulicher Modelle unterscheidet sich die architektonische Planung nicht von anderen Designdisziplinen. Der Vorteil der anschaulicher Modelle liegt in ihrer Offenheit und Interpretierbarkeit. Sie sind intuitiv, lassen Assoziationen zu und ermöglichen, innerhalb einer ansonsten schwach strukturierten Planung, eine gewisse Kontrollmöglichkeit. Dies ist besonders in den frühen Entwurfsphasen entscheidend.[81][130][131] (s. Kapitel 2.5.4.4)

Gleichzeitig führt jedoch die Mehrdeutigkeit der graphischen Darstellung gerade in der Frühphase des Entwurfes, also auf der Grundlage von Skizzen, zu Schwierigkeiten bei der konstruktiven Zusammenarbeit verschiedener Planer. In den späteren Planungsphasen kann die Mehrdeutigkeit in der Regel durch die Einhaltung von zeichnerischen Konventionen und Normen reduziert werden. Diese sind jedoch nur solange leistungsfähig und eindeutig, wie sich die hinter der graphischen Darstellung verbergenden Konstruktionen im konventionellen Rahmen bewegen.

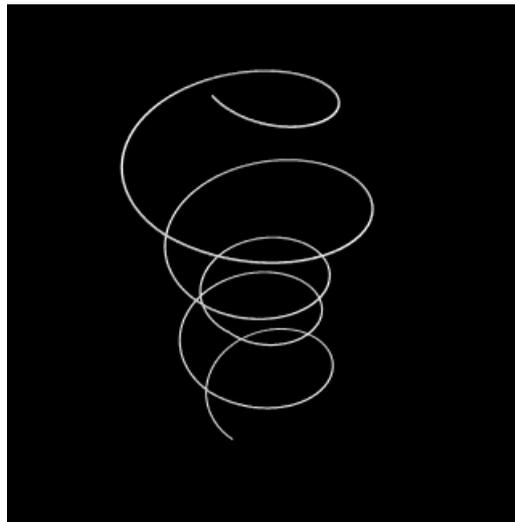


Bild 2.1

Die Iterationen im Entwurfsprozeß visualisiert als Kommunikationsspirale. [43]

„Komplexe Planungsziele werden nicht durch eine logisch sequentielle oder parallele Abfolge von Einzelschritten erreicht. Der Gesamtplanungsfortschritt setzt sich vielmehr aus der Bewertung von Alternativen und der Abstimmung von Planungsteilleistungen zusammen. Er ist das Resultat eines auf Optimierung von Lösungen basierenden Suchprozesses und wird daher als iterativer Planungsprozeß bezeichnet. Dieser Suchprozeß durchläuft die Phasen: Analyse, Synthese und Bewertung ... zyklisch bis zum Erreichen eines definierten Zieles.“

Jeder Planungsprozeß ist gekennzeichnet durch ein ständiges Navigieren zwischen alternativen Lösungen über verschiedene Maßstabsebenen hinweg (Bild 2.2). Teile eines Entwurfes können in ihrer Entscheidung zurückgenommen und auf einer anderen Maßstabsebene neu überarbeitet werden. Diese nichtlinearen zyklischen Vorgänge innerhalb von Entwurfsvorgängen werden auch als Iterationen im Entwurfsprozeß bezeichnet (Bild 2.1). Gerade in größeren Entwurfsteams entstehen so Teilbereiche des Entwurfes, die trotz unterschiedlicher Bearbeitungstiefe, die gleiche Wichtigkeit im Gesamtkontext haben. Inkonsistenzen der Entwurfsteile untereinander werden dabei bis kurz vor der Realisierung bewußt toleriert. Sie sind notwendige und zwangsläufige Bestandteile aller kreativen Prozesse. Sie werden durch das Arbeiten im Team und das Arbeiten in verschiedenen Varianten erheblich verstärkt.

Erst zum Zeitpunkt der Realisierung müssen die Inkonsistenzen zwischen den Entwurfs-
teilen im Sinne eines konsistenten Produktmodells eliminiert sein. Im Zuge der Ausführ-
ung muß das Produktmodell schließlich in ein kongruentes physisches Produkt über-
führt werden. Diese Forderung wird wie beschrieben in der Planungs- und Baupraxis, im
Gegensatz zur industriellen Produktion nur selten erfüllt.

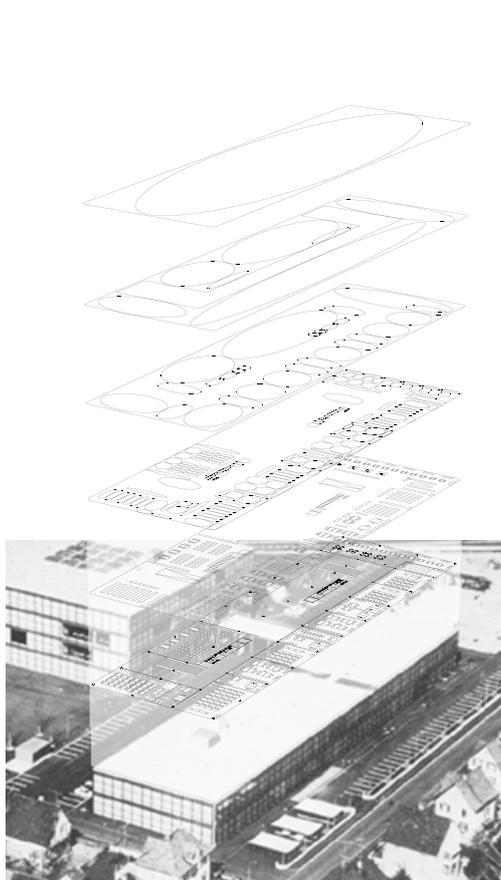


Bild 2.2

Die Maßstabebenen eines Gebäudes am Beispiel des Raumlayouts.

Die Maßstabebenen beschreiben den klassischen Planungsfortschritt von oben nach unten, von der groben Skizze, bis zur Elementierung und Ausführung.

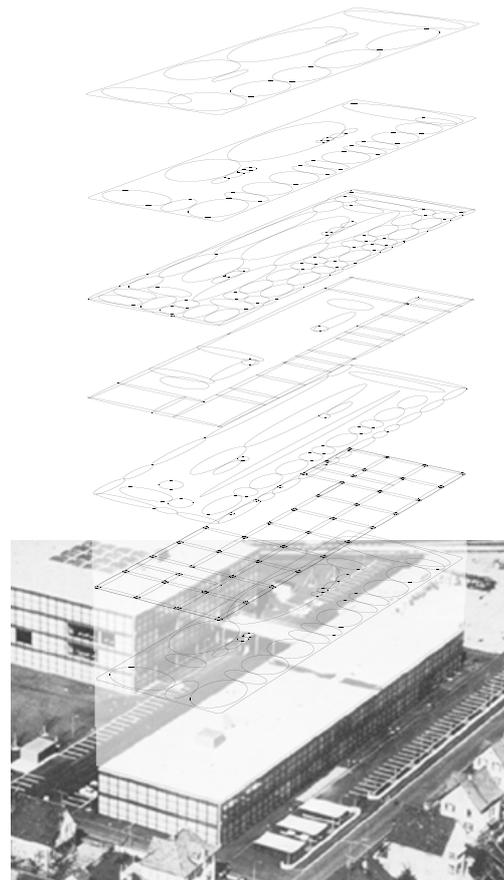


Bild 2.3

Die fachspezifischen Sichten auf das Gebäude.

Die Sichten sind in diesem Beispiel dargestellt als graphische Modelle und überlagern das Gebäude wie Layer eines CAD-Systems. Sie beschreiben zu einem bestimmten Planungszeitpunkt die unterschiedlichen Fachdisziplinen, wie Räume, Tragwerk, Fassade, Innenwände, Abluft, Zuluft, Elektro etc.

Arbeiten mehrere Planer an einem Entwurf zusammen, wie es beim Gebäudeentwurf der Fall ist, so spielen die unterschiedlichen individuellen Sichten der Beteiligten auf den Entwurf eine besondere Rolle (Bild 2.3). Hierbei liegt neben den offensichtlich unterschiedlichen fachspezifischen Sichten, z.B. innerhalb eines Planungsteams aus unterschiedlichen Experten, der Fokus auf den Sensibilitäten der Planer. Sensibilitäten bezeichnen die individuelle Sichtweise, die sich aus den individuellen Erfahrungen und der persönlichen Geschichte des Entwerfenden ergibt. Dies äußert sich in einer eigenen Sprache und eigenen Modellen und erschwert so die Kommunikation selbst zwischen Beteiligten der gleichen Fachdisziplin. Diese Vielschichtigkeit stellt an eine Formalisierung des Entwurfes, etwa in einer gemeinsamen Datenbank, besondere Anforderungen.

Die zumeist unbewußte, unterschiedlich weitgehende Erfahrung aller Beteiligten im Umgang mit Planungsaufgaben im allgemeinen und der konkreten Planungsaufgabe im speziellen, ihre auf dieser Erfahrung basierende und nur schwer faßbare Intuition bei der Entscheidungsfindung, macht diese im nachhinein für dritte schwer nachvollziehbar und bestimmt in entscheidendem Maße die Individualität und Einmaligkeit des Produktes.[1]

2.1.4 Die „open-world-assumption“ von Planungsprozessen

Die beschriebenen Rahmenbedingungen der Planungs- und Bauprozesse machen deutlich, daß das Produkt „Gebäude“, im Gegensatz zu anderen industriell gefertigten Produkten, nur in Grenzen vorhersagbar ist. Ein Gebäudeentwurf läßt sich niemals vollständig, widerspruchsfrei und statisch modellieren. Inkonsistenzen zwischen verschiedenen Teilen eines Gebäudemodells und zwischen Gebäudemodell und realisiertem Gebäude lassen sich unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht vermeiden. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer **open-world-assumption** innerhalb von Planungs- und Bauprozessen. [81]

Symptomatisch für die open-world-assumption von Planungsprozessen ist der besondere Stellenwert der graphischen Modelle als Transportmedium für Entwurfsinformationen. Graphische Modelle haben eine große Kapazität und Offenheit. Sie sind in der Lage, große Mengen an Entwurfsdaten abzubilden und zwischen den verschiedenen Planern zu transportieren. Die graphischen Daten alleine sind jedoch flach strukturiert. Sie reduzieren die Entwurfsinformationen auf wenige geometrische und graphische Attribute. Inkonsistenzen zwischen den verschiedenen Modellen, bzw. zwischen den Modellen und Originalen können auf dieser Grundlage zwar teilweise sichtbar gemacht, aber nicht automatisch ausgeschlossen werden.

Die open-world-assumption innerhalb architektonischer Planungs- und Bausprozesse formuliert eine Anforderung, der durch informationstechnische Modelle mit ihren Rahmenbedingungen einer closed-world-assumption nur schwer begegnet werden kann. Hierin liegt eine Hauptschwierigkeit bei der Modellierung dieser Prozesse innerhalb von Informationstechnologien.

2.1.5 Informationstechnologien in der Planung und Ausführung von Gebäuden

Die Planung und Ausführung von Gebäuden wird von einer Vielzahl von Informationstechnologien bestimmt und begleitet. Dieses umfaßt alle Bereiche von der Zeichnungserstellung und Visualisierung, über die Simulation und Kalkulation, die Ausschreibung und Projektsteuerung, die Vorfertigung und Montage bis hin zur Kommunikation und Administration. [96]

Informationstechnologien werden immer mehr zum Träger der eigentlichen Entwurfsinformation. In ihren Algorithmen und Datenstrukturen manifestieren sich die Beschreibungen des Gebäudes von der ersten Skizze bis zur Ausführungsplanung. Über die Benutzungsschnittstellen werden diese Beschreibungen zwischen den verschiedenen Planern ausgetauscht.

Dabei sind die implementierten Technologien jedoch in der Regel spezialisierte Inselösungen mit einer zentralen Datenhaltung, individuellen problemangepaßten Programmstrukturen, einer weitgehend individuellen Benutzerführung und wenigen Schnittstellen zur Außenwelt. Dies führt dazu, daß Informationen in den verschiedenen Modellen redundant abgebildet werden, daß Informationen über Modellgrenzen hinweg nicht konsistent gehalten und zwischen den Modellen nicht in einer ausreichend strukturierten Tiefe ausgetauscht werden können. Die bereits angesprochene Heterogenität der architektonischen Modelle setzt sich also in den zur Anwendung kommenden informationstechnischen Modellen fort. Am Ende der Ausführung existieren keine exakten Beschreibungen in Form eines gemeinsamen konsistenten Gebäudeproduktmodells, das mit dem ausgeführten Gebäude kongruent ist.

Bei der Unterstützung des architektonischen Entwurfsprozesses durch Informationstechnologien wird der Widerspruch zwischen der Offenheit und Unbestimmtheit der Planung (open-world-assumption) und der Geschlossenheit und Bestimmtheit ihrer informationstechnischen Modellierung (closed-world-assumption) deutlich. Gerade in den ersten Phasen des Entwurfes liegt wie beschrieben keine strukturierte und konsistente Modellierung des Gebäudeentwurfes vor. Sie läßt sich daher innerhalb eines informationstechnischen Systems nur schwer abbilden und über Systemgrenzen hinweg eindeutig austauschen. Aus diesem Grund werden in den ersten Phasen des Gebäudeentwurfes Informationstechnologien zur Entwurfsunterstützung bis auf die Visualisierung [131] kaum eingesetzt. Die bevorzugten Anwendungsfelder liegen vielmehr in den späteren Phasen des Entwurfes, also in den Phasen, in denen die Entwurfsinformation statischer, bestimmter und konsistenter ist.

Eine Ausnahme bildet der Bereich der Vorfertigung von Baukomponenten. Hier existieren bereits industrielle Infrastrukturen mit einer engen Verzahnung von Entwicklung und Fertigung (CAD-CAM Ketten). Die Rahmenbedingungen der Vorfertigung sind im Gegensatz zur überwiegend handwerklichen Montage auf der Baustelle stark strukturiert und lassen sich in Fertigungsmodellen gut abbilden. Auch hier ist eine Trendwende von

der Serienproduktion hin zu einer individuellen Produktion festzustellen (just in time, lean production). Durch die enge Kopplung von Planung und Vorfertigung können geplante Baukomponenten fehlerfrei und damit deckungsgleich in physische Gebäudekomponenten umgewandelt werden.

Die Fertigungsmodelle der Vorfertigung bleiben jedoch in der Regel innerhalb der industriellen Systemgrenzen der Bauzulieferindustrie. Sie stehen damit nicht in der unmittelbaren Kette zwischen geplantem und ausgeführtem Gebäude, wie sie z.B. als Virtuelles Erzeugnis beschrieben wurde. Die Kongruenz von vorgefertigten Baukomponenten und Baustoffen und ihren informationstechnischen Modellen kann daher nicht auf die Kongruenz des gesamten Gebäudes und seinen beschreibenden Modellen übertragen werden.

2.1.6 Zusammenfassung

Insbesondere durch die Heterogenität des Planungs- und Bauumfeldes und die durch die „open-world-assumption“ gekennzeichneten Rahmenbedingungen, sind die Modelle der Planung, Kommunikation und Fertigung von Gebäuden, im Gegensatz zur industriellen Produktion, schwach strukturiert. Die Schnittstellen zwischen den Systemen sind allgemein schlecht aufeinander abgestimmt. Dieses führt dazu, daß Informationen in den verschiedenen Modellen redundant abgebildet werden, daß Informationen über Modellgrenzen hinweg nicht konsistent gehalten und zwischen den Modellen nicht in einer ausreichend strukturierten Tiefe ausgetauscht werden können. Das ausgeführte physische Gebäude ist schließlich nur in Ausschnitten kongruent zu den Modellen der Planung und Ausführung.

Gebäude und ihre Planungs- und Ausführungsprozesse können daher in ihrer Anlage zwar als Virtuelle Erzeugnisse und Virtuelle Organisationen bezeichnet werden. In vielen Bereichen sind ihre spezifischen Ausprägungen jedoch noch weit von der eigentlichen Bedeutung dieser Begriffe entfernt.

2.2 Die Phase der Verwaltung von Gebäuden

2.2.1 Facility Management

Die Verwaltung von Gebäuden bzw. von Gebäudebeständen im Sinne einer Gebäudebewirtschaftung, wird als „Facility Management“, bzw. „Object Management“ bezeichnet. Zu ihren Aufgaben zählen Objektplanung, Objektverwaltung und Space Management mit einer Vielfalt von Unteraufgaben.

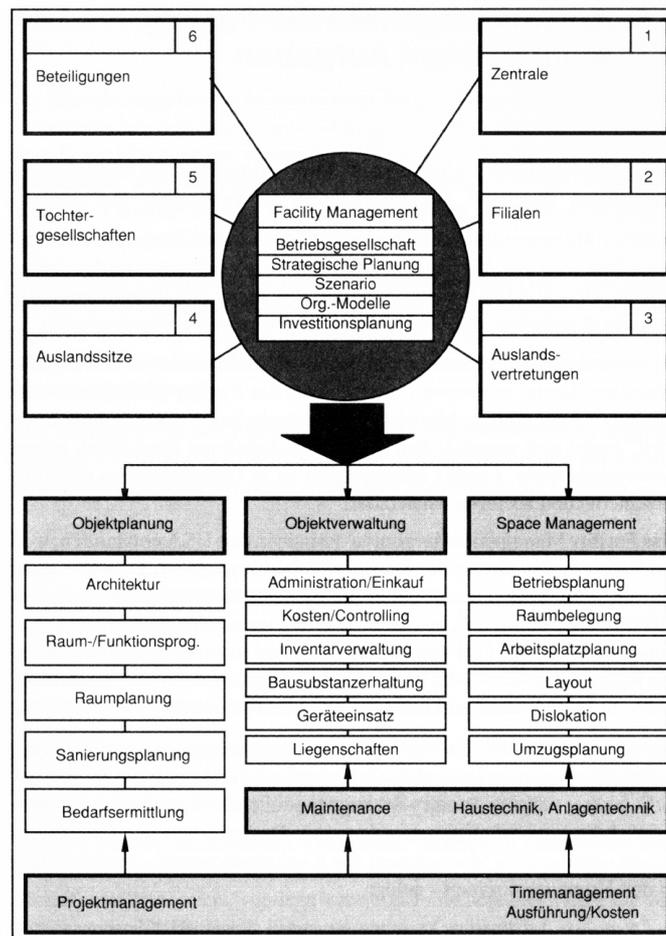


Bild 2.4

Die Aufgabengebiete des Facility Management [60]

Diese Aufgaben werden auf der Grundlage graphischer, technischer und semantischer Modelle realisiert, die das Gebäude aus unterschiedlichen Blickwinkeln abbilden. Die Modelle „begleiten“ idealerweise ein Gebäude über seine Lebensdauer, ausgehend von der Inbetriebnahme, über die Nutzung, die evtl. Umnutzung, den evtl. Rückbau bis hin zur Demontage. Dabei sollten die Modelle zu jedem Zeitpunkt ein getreues Abbild des

Gebäudes sein, damit die mit diesen Modellen arbeitenden Akteure (Werkzeuge, Planer, Nutzer etc.) realistische Resultate erzielen können. Die Voraussetzung für den effektiven Einsatz ist also die Kongruenz zwischen physischem Gebäude und seinen beschreibenden Modellen über die Lebensdauer des Gebäudes. Erst wenn dieses gewährleistet ist können Erkenntnisse, die auf der Grundlage dieser Modellwelt gewonnen werden, auf die Realität rückübertragen werden. Die Gewährleistung der Kongruenz bedeutet die permanente Pflege der Modelle und ist eine der Hauptaufgabe der Gebäudebewirtschaftung.

2.2.2 Facility Management Systeme

In der Gebäudebewirtschaftung werden zunehmend Informationstechnologien eingesetzt. Diese Systeme werden im folgenden „Facility Management Systeme“ genannt. Sie verfügen in der Regel über eine zentrale Datenbasis und darauf aufbauend über Werkzeuge der Auswertung, Kontrolle, Analyse, Simulation und Planung.

Facility Management Systeme werden in vielfältigster Art und Weise mit anderen Systemen und Infrastrukturen verknüpft u.a. mit Systemen der Gebäudesicherung, der Gebäudesteuerung, der Umplanung, der Produktion, der Logistik und der Telekommunikation. Die Verknüpfungen unterliegen dabei hinsichtlich Datenkonsistenz, Datenredundanz und Datenaustausch den gleichen Rahmenbedingungen, wie sie bei der Verknüpfung der planungsunterstützenden Systeme beschrieben wurden. [13][58]

Je mehr informationstechnische Modelle zentrale Aufgaben während des Betriebes von Gebäuden und Anlagen übernehmen und Grundlage für Entscheidungen werden, die wiederum das physische Gebäude betreffen, desto weniger lassen sich diese Beschreibungen von dem physischen Gebäude trennen. Sie werden zu einer Beschreibungsebene, die mit dem physischen Gebäude eng verzahnt ist. Man kann in diesem Sinne von **Erweiterten Gebäuden** sprechen.

Interessant ist , daß die informationstechnischen Modelle oft eigenen Ordnungen und Strukturmustern folgen, die die physischen Strukturen überlagern. Diese neuen Ordnungen und Strukturmuster sind für die Funktionalität des Gesamtsystems notwendig. Dieses wird am Beispiel von Telefon- oder Computernetzen deutlich:

Während die physischen Komponenten dieser Netze, z.B. die Verkabelung und die Endgeräte, der Ordnung physischer Räume folgen, gehorcht die interne Struktur der Netze anderen netzspezifischen Topologien. Netze können in Ring-, Stern-, Baum- oder Busstrukturen und darin in Zonen, Bereichen und Nummern organisiert sein. Diese Strukturen und Einheiten überbrücken die räumlichen Grenzen, die für die physischen Komponenten der Netze bindend sind.

Das gleiche Phänomen ist bei Facility Management Systemen zu beobachten, die nicht ein einzelnes Gebäude, sondern Gebäudebestände verwalten. Hier werden auf der Modellierungsebene räumlich verteilte physische Gebäude und Ressourcen zu adressierbaren Organisationseinheiten zusammengeschlossen.

Interessant ist weiter, daß sich sowohl für die Beschreibung der physischen Komponenten von Gebäuden als auch für die Beschreibung ihrer internen Organisationsstrukturen graphische Modelle anbieten. Erstere bedienen sich dabei eher der ikonisch-graphischen Modelle der architektonischen Planung, wie Grundrissen und Schnitten, letztere eher der symbolisch-graphischen Modelle in Form von Strukturdiagrammen. Nebeneffekt der gemeinsamen graphischen Sprache ist, daß sich die Modelle gegenseitig überlagern können. Die Elemente der Strukturdiagramme können mit den Grundrissen und Schnitten überlagert, damit räumlich verortet und in ihren Bezügen zum Gebäude selbsterklärender werden. Verwandte Anwendungsgebiete zur Verknüpfung semantischer mit räumlicher Information finden sich bei den „geographischen Informationssystemen“. [2][127]

Neben der bereits angesprochenen Modellpflege liegt eine Hauptproblembereich von Facility Management Systemen in der Erfassung der Gebäudedaten. Bei Neubauten kann die Eingabe der Daten aus der Planung erfolgen. Schwierigkeiten, die sich hieraus ergeben werden in Kapitel 2.5.2.3 erörtert. Für die Erfassung von Altbauten besteht diese Möglichkeit in der Regel nicht, da keine aktuellen und vollständigen Dokumentationen existieren. Hier bleibt in der Regel allein das Aufmaß und die manuelle Eingabe und Pflege der Datensätze. Dieses ist jedoch sehr aufwendig und fehleranfällig. Es gibt daher Entwicklungen, die diese Aufgaben automatisieren und eine enge Verzahnung von Modellen und physischen Gebäuden technisch realisieren. Zwei derartige Entwicklungen sollen im folgenden beschrieben werden:

2.2.3 Active Badges

„Active Badges“ sind kleine mikroelektronische Komponenten, die über eine Recheneinheit, eine Speichereinheit, eine eigene Stromversorgung und einen Sender verfügen. Alle für die Gebäudebewirtschaftung relevanten Objekte, wie Möbel, Geräte oder Bauteile, können mit Active Badges ausgestattet werden. Sie sind damit in der Lage, periodisch ihren Zustand an eine Leitzentrale zu übermitteln. Sie können selbständig über ihre Erneuerungszyklen, ihren evtl. Wartungsbedarf, ihre Ausstattung, ihre baukonstruktive Zusammensetzung o.ä. informieren, egal wo sie sich im Gebäude, auch nach einer evtl. Umbaumaßnahme, befinden. Das gleiche gilt für alle Nutzer eines Gebäudes. Diese können mit Active Badges, z.B. in Form einer „Identity-Card“ ausgestattet, jederzeit im Gebäude lokalisiert werden. Telefongespräche, Post oder Besucher können so zielsicher zugeleitet werden, egal wo sich die entsprechende Person momentan im Gebäude befindet.

Mit Hilfe von Active Badges können also Gebäudemodelle eines Facility Management Systems zu jedem Zeitpunkt kongruent zum physischen Gebäude gehalten werden. [110]

2.2.4 Serviceroboter

Innerhalb von Gebäuden übernehmen zunehmend mobile Systeme spezifische Dienstfunktionen. Dies sind beispielsweise Serviceroboter für die Reinigung, die Wartung, den Transport oder die Überwachung. Diese Systeme sind wie Active Badges mit einer eigenen Rechen- und Speichereinheit, einer Stromversorgung und einem Sender ausgerüstet. Darüberhinaus sind sie mobil und mit diversen Sensoren ausgestattet. Mit dieser Ausstattung können Serviceroboter selbständig in definierten Bereichen eines Gebäudes aktiv sein.

Sie können mit ihren Sensoren den physischen Gebäudezustand aufnehmen und ihn an eine Leitzentrale weitergeben. Diese gleicht automatisch den so aufgezeichneten physischen Gebäudezustand mit den Modellen des Facility Management Systems ab. [30]

Anhand dieser beiden technischen Beispiele wird eine weitere Schwierigkeit bei der Verwendung von Facility Management Systemen deutlich. Diese liegt in den unterschiedlichen Zeitkonstanten, die für die physische Gebäudesubstanz einerseits und die informationstechnischen Strukturen andererseits gelten. Bei den derzeitigen Entwicklungsgeschwindigkeiten für Hard- und Software und ihren damit verbundenen Erneuerungszyklen ist die Modellpflege über verschiedene Hard- und Softwareplattformen hinweg ein bis jetzt noch ungelöstes Problem.

2.2.5 Zusammenfassung

Die Phase der Verwaltung von Gebäuden bezeichnet unterschiedliche Tätigkeiten während der Standzeit eines Gebäudes, von der Verwaltung und Analyse bis zur Diagnose und Umplanung. Diese Tätigkeiten werden zunehmend mit Hilfe von Softwarewerkzeugen unterstützt. Sie verwenden Modelle als Abbilder des physischen Gebäudes. Diese müssen über die Standzeit des Gebäudes vollständig, mit dem physischen Gebäude kongruent und damit aussagekräftig gehalten werden. Das wiederum verlangt einen permanenten Abgleich der beschreibenden Modellen mit den physischen Gebäudestrukturen. Durch die wachsende Bedeutung der Verwaltung von Gebäuden bekommen Modelle eine für die Funktionalität des Gebäudes zunehmend existentielle Bedeutung.

Durch die Verknüpfung der Modelle der Verwaltung mit den ikonisch-graphischen Modellen der Planung werden die Modelle aus sich selbst heraus verständlich und damit anschaulich und erfahrbar. Die enge Verzahnung dieser Modelle mit dem physischen Gebäude führt zum Begriff des durch Informationstechnologien **Erweiterten Gebäudes**.

2.3 Die Phase der Regelung⁽¹⁾ und Steuerung⁽²⁾ von Gebäuden

2.3.1 Die Gebäudeautomation

In immer mehr Geräten, vom digitalen Telefon bis zum integrierten Gebäudeleitsystem, sind Mikroprozessoren integriert. Ihre Arbeitsweise hängt von den in den Prozessoren und Speichern implementierten Modellen ab. Die Geräte verfügen über Schnittstellen zur Außenwelt. Über Sensoren oder Benutzungsschnittstellen werden Attribute der Realität aufgezeichnet, die in Modellen gespeichert, mit Prozessoren verarbeitet und durch Aktoren in Aktionen umgesetzt, wieder an die physische Umwelt weitergegeben werden. Damit stehen diese Geräte in ihrer gleichzeitigen physischen und informationstechnischen Ausprägung unmittelbar auf der Schnittstelle zwischen Realität und Modellwelt.

Die Einzelgeräte werden zunehmend zu Netzwerken zusammengeschlossen über die sie kommunizieren, d.h. Daten oder Befehlsketten austauschen können. Nach dem derzeit verbreiteten Stand der Technik wird dies mit Kommunikationsnetzwerken, sog. „Bussystemen“ (Bsp. „Instabus“ von Siemens) nach folgendem Muster realisiert: Alle an das Bussystem angeschlossenen Geräte erhalten eine eindeutige Adresse. Ihre Kommunikation wird über definierte Schnittstellen und Protokolle geregelt. Die Gesamtkoordination des Systems wird von einer zentralen Leitstelle übernommen.

Der Vorteil von Bussystemen liegt in ihrer Trennung von Kommunikation und Funktion: Beispielsweise wird die Kommunikation zwischen Schalter und Verbraucher nicht, wie in der klassischen Installation üblich, allein über das stromführende Kabel, sondern über ein eigenständiges Netzwerk, das Bussystem, realisiert. Schalter und Verbraucher werden zu funktional selbständigen adressierbaren Einheiten, deren Zuordnung nicht mit einer festen Verdrahtung, sondern softwaretechnisch über die Zuweisung von Adressen realisiert wird. Durch die Trennung von Kommunikation und Funktion kann das Gesamtsystem ohne physische Eingriffe leicht in seiner Funktionalität verändert werden. Im Beispiel können Schalter anderen Verbrauchern zugeordnet werden. Darüberhinaus können Komponenten leicht in das Gesamtsystem integriert, bzw. herausgelöst werden.

1 Regeln: [DIN 19226]

„Das Regeln, die Regelung, ist ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe, fortlaufend erfaßt, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und abhängig vom Ergebnis dieses Vergleichs im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflußt wird. Der sich dabei ergebende Wirkungsablauf findet dabei in einem geschlossenen Kreis, dem Regelkreis statt.“

2 Steuern: [DIN 19226]

„Das Steuern - die Steuerung - ist ein Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen auf Grund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeit beeinflussen. Kennzeichen für das Steuern ist der offene Wirkungsablauf über das einzelne Übertragungsglied oder die Steuerkette.“

Ein zentrales Anwendungsgebiet derartiger vernetzter Systeme innerhalb von Gebäuden ist die „Gebäudeautomation“. Sie umfaßt in der Hauptsache folgende Teilbereiche:

- Lichtmanagement (Licht, Sonnenschutz etc.)
- Klimamanagement (Heizung, Lüftung, Klima etc.)
- Sicherheitsmanagement (Zugangskontrolle, Brandschutz etc.)
- Systemmanagement (Aufzüge, Sanitärtechnik, Energiebereitstellung etc.)

Gebäudeautomation wird auch als das Management der dynamischen Systeme von Gebäuden bezeichnet. Dynamische Systeme sind Systeme, die insbesondere bezüglich wechselnder Umwelt- und Nutzereinflüsse über die Zeit (Bsp. Tag-Nacht Zyklus, Jahreszyklus, Nutzungszyklus) durch eine hohe Dynamik gekennzeichnet sind. Die Beherrschung dieser Systeme wird in der Haustechnik als Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR) bezeichnet. Zentrale Komponenten neben dem beschriebenen Netzwerk aus Sensoren und Aktoren sind die in den Systemen der Gebäudeautomation auf unterschiedlichen Soft- und Hardwareplattformen implementierten Modelle, die die dynamischen Systeme des Gebäudes abbilden.[87][82][88]

Zentrale Systeme, wie sie derzeit in Form von Bussystemen mit einer zentralen Leitzentrale realisiert werden, sind störanfällig. Die Entwicklung der Gebäudeautomation geht daher in Richtung dezentraler Systeme, wie sie aus dem Bereich der Computernetzwerke bekannt sind. Die Leitfunktion der Zentrale wird auf die einzelnen Komponenten verteilt. Sie werden damit zu eigenständigen Knoten mit einer eigenen Stromversorgung, eigenen Prozessoren und Speicherbausteinen, selbständigen Programmen und einer eigenen Datenverwaltung. Fallen Teilbereiche eines Netzwerkes aus, so bleiben die anderen Bereiche, soweit sie nicht in direkter Verbindung stehen, funktionstüchtig. Ebenso problemlos können neue Komponenten in das Netzwerk integriert werden. (Bsp. LON - local operating network LONwork [34])(Bsp. EIBA [35]).

2.3.2 Computer Integrierte Gebäude

Mit dem anhaltenden Trend zur Miniaturisierung und Leistungssteigerung bei gleichzeitigem Preisverfall von integrierten Schaltungen ist es möglich, immer mehr Objekte eines Gebäudes als Knoten dieses Netzwerkes auszubilden. (Bsp. „BasicBriefmarke“ [122]). Die Objekte bekommen damit ein „programmierbares Selbstbewußtsein“ über ihre technischen Daten, ihre Funktion, ihre aktuelle Verortung und ihre Verknüpfungsbedingungen etc. Sie können sich selbst konfigurieren und optimieren. Die Komponenten eines Gebäudes bekommen über ihre physische Präsenz, wie Material, Oberfläche und Gewicht hinaus also ein durch Software und damit über Modelle gesteuertes dynamisches Verhalten.

Entsprechende Entwicklungen von dynamischen, autonomen Gebäudekomponenten führen zur Vorstellung „selbstorganisierender Gebäude“, die sich automatisch verändernden Nutzungs- und Umwelteinflüssen anpassen können. Der bekannteste Prototyp ist das sog. „TRON-Haus“ [125]. Es wurde in konventioneller Bauweise erstellt und integriert über 400 untereinander vernetzte, computergesteuerte Subsysteme, die praktisch alle Aspekte der Gebäudeautomation abdecken (Fenstersteuerung, Heizung- und Klimasteuerung, Transparenzgrad der Verglasung, Beleuchtungs- und Musikprogramm, intelligente Kücheneinrichtung, intelligente Sanitäreinrichtung mit Gesundheitscheck etc., intelligentes Containerlager, Akustikgenerator zur Simulation von Schallcharakteren etc.). Für derartige Gebäudekonzepte hat sich der Begriff des „Computer Integrierten Gebäudes“, des „smart house“ oder des „intelligent building“ eingebürgert. [45]

2.3.3 Aufmerksame, Aktive, Adaptive Räume

Eine sehr weitgehende Beeinflussung von Gebäuden durch informationstechnische Systeme wird derzeit in verschiedenen Forschungsprojekten der GMD in Darmstadt verfolgt [74]. Diese Beeinflussung führt zur Vorstellung sog. „Aufmerksamer, Aktiver und Adaptiver Räume“. Die Grundidee besteht darin, daß Räume auf Zustandsänderungen, die durch physische Objekte oder Personen in diesen Räumen hervorgerufen werden, reagieren können :

Räume sind „aufmerksam“ in dem Sinne, daß sie Personen und deren Aktionen sowie Zustandsänderungen von anderen Objekten, die sich in ihnen befinden, wahrnehmen können.

Räume werden „aktiv“, indem sie eigenständig auf diese Zustandsänderungen reagieren können. Sie können z.B. einer Person, die den Raum betritt, über sich Auskunft geben. Räume sind „adaptiv“ dadurch, daß sie sich auf Situationen und Personen einstellen können. Sie stellen beispielsweise die für eine Projektarbeitsgruppe spezifischen Werkzeuge und Informationsressourcen in definierter Weise, z.B. dem Endzustand der letzten Sitzung, zur Verfügung.

Technische Grundlage dieser Forschungen sind Entwicklungen auf dem Gebiet der Sensortechnik und der drahtlosen Kommunikation, die es erlauben, Personen und Objekte innerhalb von Gebäuden, bzw. Räumen eindeutig zu identifizieren und zu verfolgen. Ausprägungen dieser Entwicklungen sind die im Anwendungsszenario für das Facility Management erwähnten Active Badges und Netzwerke auf der Grundlage von Funk- und Infrarotverbindungen.

Analoge Ideen werden derzeit am MIT bezüglich „denkender“ Objekte verfolgt. Da diese Entwicklungen jedoch keinen unmittelbaren Gebäudebezug haben, soll auf sie in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen werden. [147]

2.2.4 Zusammenfassung

Statische Gebäude verändern sich mit der zunehmenden Durchdringung ihrer Komponenten mit informationstechnischen Systemen in Richtung dynamischer, an wechselnde Nutzer- und Umweltansprüche anpaßbarer, Umgebungen. Die Vermischung von physischen Komponenten mit dezentralen Steuerungs- und Regelungssystemen führt zu vielfältigen funktionalen und strukturellen Abhängigkeiten zwischen physischen und informationstechnischen Systemen. Wie die Modelle der Verwaltung, verändern und erweitern die Modelle der Regelung und Steuerung das Verständnis von vormals rein physischen Gebäudestrukturen. Dies führt zu einer Neubewertung von Gebäuden. Die unterschiedlichen Erneuerungszyklen und die unterschiedliche Fehleranfälligkeit (mean time between failure) von physischer Gebäudesubstanz und informationstechnischen Strukturen beeinflussen nachhaltig das Verständnis von Gebäuden nicht nur bezüglich ihrer Funktionalität und Leistungsfähigkeit, sondern auch bezüglich ihrer Unterhaltskosten und Funktionssicherheit.

2.4 Die Phase der Nutzung von Gebäuden

Für viele Institutionen bedeutet die zunehmende Rolle von Informations- und Kommunikationstechnologien, daß sie nicht mehr allein durch physische Gebäude oder Einrichtungen, sondern mehr und mehr durch eben diese Technologien repräsentiert werden:

In vielen Fällen ersetzt das Speichern von Informationen das Speichern von physischen Objekten, wie etwa von Büchern, so daß der Bedarf an umbautem Raum allgemein reduziert wird. Elektronische Verweise („links“) substituieren den physischen Zugang zu Objekten. Diese Zurückdrängung physischer durch informationstechnische Strukturen wird erheblichen Einfluß auf die Organisation und Gestaltung von Gebäuden haben. Je mehr ein Computer-Terminal von zu Hause aus oder verteilt im öffentlichen Raum allgemeinen Zugang zu einem Bankgebäude verschafft, desto mehr wird sein graphisches Display, seine Benutzungsoberfläche, die physische Fassade des Gebäudes ersetzen.

[105]

Das Verdrängen und Ersetzen physischer durch informationstechnischer Strukturen kann nur sinnvoll erfolgen, wenn letztere eine der physischen Welt vergleichbare Präsenz und Ergonomie bekommen. Die informationstechnischen Strukturen, insbesondere die nach außen hin sichtbaren Benutzungsschnittstellen mit ihren ikonisch-graphischen Modellen und Interaktionsmodellen, können daher im Sinne der Definition von Virtualität als **Virtuelle Objekte** bezeichnet werden, die die physischen Gebäudestrukturen, im Sinne einer durchgängigen Erfahrbarkeit homogen ergänzen.

Die radikale Veränderung von Gebäuden wird am Beispiel des Herald Tribune Tower und des Nachrichtensenders CNN deutlich. Beide sind Symbole für die Verteilung von Information in unterschiedlichen Epochen. Ersterer manifestiert sich in einer physisch dominanten, weithin sichtbaren Gestalt als zentraler Sender. Letzterer besteht aus einer Vielzahl architektonisch unbedeutender mobiler Sendeeinheiten, die erst durch ihren Zusammenschluß auf der Ebene der Modelle eine Einheit bilden. Durch die Virtualisierung, also Veranschaulichung weiter Teile dieser Modelle, können diese im Zusammenspiel mit den räumlich verteilten physischen Sendeeinheiten nach außen hin als Gesamtbild erscheinen, welches eine vergleichbare Präsenz hat wie das vormals rein physische, zentralistische Gebäude.[105]

Viele weitere Quellen prognostizieren vor dem Hintergrund der allgemeinen Durchdringung und Substituierung physischer durch Virtuelle Objekte einen grundlegenden Einfluß auf alle Bereiche des menschlichen Lebens und damit verbunden, für die Architektur einen radikalen Strukturwandel von Gebäuden und Städten. [40][99][101][108][118][126][139]

Zwei Beispiele sollen dieses tiefergehend erläutern:

2.4.1 Das Virtuelle Unternehmen

Das Phänomen des „Virtuellen Unternehmens“ spielt sich auf zwei Ebenen ab, zum einen auf der innerbetrieblichen, der intraorganisatorischen Ebene und zum anderen auf der zwischenbetrieblichen, der interorganisatorischen Ebene. Auf beiden Ebenen gibt es einen Druck auf Unternehmen nach allgemeiner Effizienzsteigerung. Dieser Druck führt auf der intraorganisatorischen Ebene u.a. zum Phänomen des „lean management“, also einer schlankeren, dezentralen Organisation, sowie auf der interorganisatorischen Ebene zum Phänomen des „Outsourcing“, d.h. der Auslagerung von Aktivitäten aus dem Unternehmensbereich in Subunternehmen.

Diese Entwicklungen stehen für eine Weiterentwicklung der traditionellen zentralistischen vom Taylorismus geprägten Organisationsformen mit hoher Arbeitsteilung und Spezialisierung. In diesen Organisationsformen führen zentrale statische Planungs-, Lenkungs-, Informations- und Kontrollsystemen die einzelnen funktionalen und hierarchisch zergliederten Organisationseinheiten zusammen und integrieren sie in ein Gesamtsystem.

In Anlehnung an die allgemeine Definition „Virtueller Organisationen“ führen lean management und outsourcing zu

- zeitlich begrenzten Netzwerken von (Teil-)Unternehmen,
- die verknüpft durch Informationstechnologien,
- ohne gemeinsame institutionalisierte Leitung und Kontrolle
- basierend auf totalem Vertrauen, kompatiblen Werten und Grundannahmen
- durch ergänzende Kernkompetenzen Ressourcen und damit Kosten teilen,
- um neue Märkte zu erschließen oder Wettbewerbsvorteile auf bestehenden Märkten zu erlangen. [128]

Technische Grundlage für derartige Unternehmenskonzepte ist ein globales, dezentral organisiertes Netzwerk aus leistungsfähigen Komponenten der Informations- und Kommunikationstechnologien. Die verteilte und vernetzte Rechenleistung erschließt ein breiteres Angebot an qualifizierten Arbeitskräften, reduziert Transportkosten sowie die Notwendigkeit und das Vorhalten von baulicher Infrastruktur.

Im Verwaltungsbereich führt dies zu neuen Büroformen, wie dem Satellitenbüro, dem Nachbarschaftsbüro oder dem sog. „Heim-“ oder „Telearbeitsplatz“. Endpunkt und Symbol dieser Dezentralisierung der Büroarbeit ist die mobile Arbeitsstation des sog. „High-Tech Nomaden“ [119].

Mit der Auflösung herkömmlicher Verwaltungsgebäude in dezentrale Einheiten verschiebt sich die Organisation des Unternehmens aus der physischen Gebäudesubstanz heraus, zunehmend in die Modelle der Informations- und Kommunikationstechnologien. Entsprechende Begriffe wie „Virtuelles Unternehmen“, „Virtuelle Abteilung“ oder „Virtuelles Büro“ haben sich bereits eingebürgert. [12][129].

Ein Beispiel für die informationstechnische Kopplung von Verwaltungsorganisationen ist die Kopplung der Regierungssitze von Bonn und Berlin (siehe hierzu [18]).

Im Produktionsbereich wird die Zergliederung als „Fraktalisierung“ bezeichnet. In der fraktalen Fabrik bestimmen anstatt hierarchischer Führungsstrukturen und tayloristischer Arbeitsteilung selbständig agierende Einheiten das Fabrikgeschehen. Es gibt keine Anweisung nach festgelegtem Befehlsmuster, starre Grenzen zwischen Fachabteilungen, Verwaltung und Unternehmensleitung verschwinden. Die Entscheidungsfindung fällt in hohem Maße in den Zuständigkeitsbereich selbständiger Teams. Diese entscheiden eigenverantwortlich über den Einsatz von Produktions- und Betriebsmitteln, sowie über Arbeitszeiten und Arbeitsabläufe. Fabrikplanung nach fraktalem Muster bezieht Informations- und Kommunikationswerkzeuge zwischen Mensch und Maschine ausdrücklich ein. [128][150]

Dies hat direkte Auswirkungen auf die bauliche Infrastruktur:

Fraktalisierung führt zu einem aufgabenorientierten kombinatorischen Zusammensetzen kleinster, auch räumlich getrennter Unternehmensteile. Räumlich verteilte Produktionsstandorte, auch unterschiedlicher Unternehmen, werden telematisch miteinander gekoppelt. Die Ebene der Modelle realisiert dabei einen organisatorisch integrierten, zeitlich befristeten, auf das individuelle Produkt hin ausgerichteten Produktionszusammenhang, der sich grundlegend von den klassischen zentralen, rein physischen Produktionsstandorten unterscheidet.

2.4.2 Der Virtuelle Supermarkt und andere virtuelle Dienstleistungen

Die Idee des Virtuellen Supermarktes bedeutet die konsequente Fortsetzung eines Konzentrationsprozesses, der historisch mit den ersten Einkaufsgalerien begonnen und sich bis heute in den zentralen Einkaufszentren in den Vorstädten fortgesetzt hat. Sie äußert sich in der Konzentration von Gütern in zentralen Lagerstätten, in der Konzentration von Ausstellungsflächen und Schaufenstern hinter Monitoren und in der Konzentration von Zugangsmöglichkeiten zu den Waren und Dienstleistungen über das heimische Computerterminal oder den heimischen Fernseher.

Gleichzeitig führt diese Zentralisierung zu einer Dezentralisierung auf Seiten der Organisation. Hersteller, Verkäufer und Kunde müssen nicht mehr an einem Punkt, dem Laden oder Supermarkt, zusammengeführt werden. Sie sind vielmehr mit ihrer Herstellung, ihrer Lagerhaltung und ihrem heimischen Terminal Knotenpunkte eines dynamischen Netzwerkes, das sich anforderungsbezogen verändert. Die Dynamik bezieht sich auf die direkte Kopplung von Produkt und Werbung, von Nachfrage und Preisgestaltung, von Produkthanfrage, Herstellung und Lieferung (just-in-time Produktion, just-in-time Lieferung). [105]

Die physischen Gebäudestrukturen reduzieren sich dementsprechend auf die Netzproviderstationen, zentrale Lagerstätten, die Auslieferungsfahrzeuge und dezentralen Anfrageterminals. Diese werden über Modelle miteinander vernetzt. Die Virtualisierung dieser Modelle gewährleistet, daß Virtuelle Supermärkte ähnlich homogen erscheinen und benutzbar bleiben, wie vormals rein physische, zentralistische Gebäude.

Nach den gleichen Verfahren wie Virtuelle Supermärkte arbeiten Virtuelle Bibliotheken, Virtuelle Universitäten, Virtuelle Museen, Virtuelle Theater usw. Sie alle bieten den dezentralen Zugang zu einem Netzwerk aus räumlich verteilten Serviceeinheiten, die in der Modellwelt als Gesamtsystem auftreten. [21][80]

2.4.3 Zusammenfassung

Auf der Nutzungsebene werden informationstechnische Strukturen zu einem fundamentalen Bestandteil von physischen Gebäuden. Sie binden räumlich getrennte Gebäudestrukturen zu Organisations- und Nutzeinheiten zusammen. Sie ersetzen physische Gebäudekomponenten oder erweitern diese um neue Funktionalitäten. Dabei werden sie z.T. virtualisiert, d.h. mit Attributen ausgestattet, die sie den physischen Strukturen vergleichbar präsent und ergonomisch erscheinen lassen. Auf dieser Grundlage entstehen Einheiten aus räumlich verteilten physischen und informationstechnischen Komponenten, die nach außen hin als durchgängig benutzbares Gesamtsystem erscheinen.

Der Vorteil der Modellierung und Virtualisierung in der Phase der Nutzung von Gebäuden liegt allgemein in der Reduktion von Transportkosten und baulicher Infrastruktur sowie der Nutzbarmachung eines größeren und qualitativ besseren Potentials an Ressourcen in Form von Information, Personal, Material und Produkten usw.

2.5 Integration

Aufgrund der vielen Einzelbeschreibungen ergibt sich ein sehr heterogenes Gesamtbild der Modellierung und Virtualisierung von Gebäuden durch Informationstechnologien. Unterschiedliche Aspekte wirken auf eine Integration dieser Modelle hin. Insbesondere geschieht dies unter dem allgemeinen Druck in Richtung einer Effektivierung der eingesetzten Mittel und einer Qualitätssteigerung des Produktes. Dabei unterscheidet man Horizontale und Vertikale Integration.

2.5.1 Die Horizontale Integration

Die „Horizontale Integration“ bezeichnet Integration auf einer gleichen zeitlichen Stufe. Dabei besteht das Bemühen um die Integration in allen Phasen des Lebenszyklus gleichermaßen, jedoch mit unterschiedlichen Schwerpunkten.

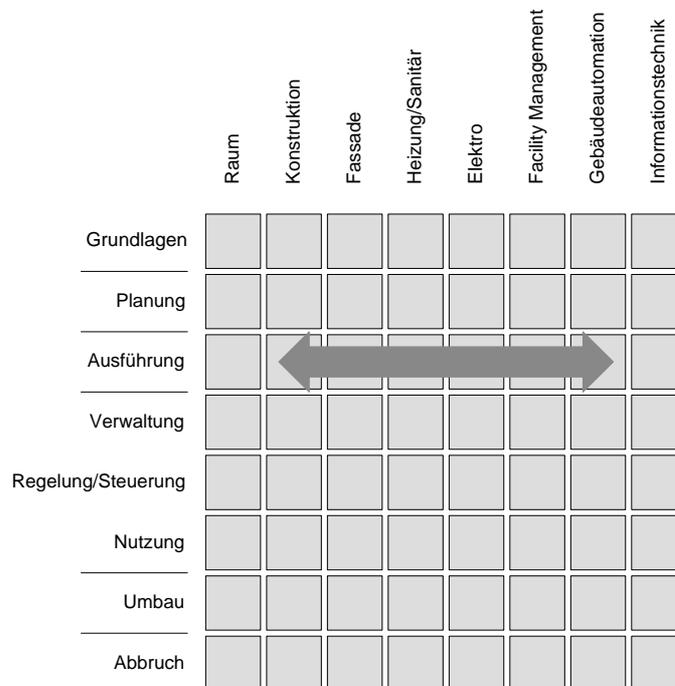


Bild 2.5

Die Horizontale Integration im Bauwesen

Auf der horizontalen Achse der Matrix sind die verschiedenen Teilsysteme von Gebäuden, auf der vertikalen Achse die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus aufgetragen.

2.5.1.1 Planung und Ausführung

Die Planung und Ausführung muß sich aus der sequentiellen Arbeitsweise lösen und sich mehr in Richtung einer stärkeren Zusammenarbeit der verschiedenen Beteiligten entwickeln. Die frühzeitige Kooperation von unterschiedlichen Experten im Entwurfsprozeß vermindert die im Designprozeß üblichen Iterationen, hilft Mißverständnisse zu vermeiden und erhöht damit die Planungs- und Ausführungsqualität. Voraussetzung ist die enge Kopplung aller in der Planung und Ausführung eingesetzten Informationstechnologien, damit der Informationsaustausch möglichst reibungslos verläuft sowie redundante Informationen und Inkonsistenzen vermieden werden.

Grundsätzlich besteht dabei eine Analogie zu Virtuellen Organisationen mit ihren besonderen Strukturmustern. Diese Analogie bezieht sich insbesondere auf die Kopplung und Organisation unterschiedlicher Planer, Werkzeuge und Daten in einem dynamischen, zunehmend räumlich verteilten Netzwerk.

2.5.1.2 Verwaltung

In der Gebäudebewirtschaftung bedeutet Horizontale Integration die Kopplung der in den Facility Management Systemen verwendeten Datenstrukturen an das physische Gebäude. Diese Datenstrukturen begleiten das physische Gebäude über seinen Lebenszyklus und sind stets sein kongruentes Abbild. Erst die Kongruenz ermöglicht den effektiven Einsatz von Facility Management Systemen. Die Integration von Systemen der Umplanung und der Gebäudeautomation erweitert das Facility Management zu einem „Integrierten Facility Management“.

2.5.1.3 Regelung und Steuerung

Die Entwicklung der Gebäudeautomation wurde in Richtung dezentraler Systeme beschrieben. Dies führt zu einer engen Verzahnung von informationstechnischen Systemen und physischen Gebäudestrukturen. Die Gebäudestrukturen bekommen, über ihre physische Präsenz hinaus, ein durch informationstechnische Modelle gesteuertes dynamisches Verhalten. Durch diese Horizontale Integration wird das klassische architektonische Planungsbild um die Programmierung der Gebäudekomponenten erweitert.

2.5.1.4 Nutzung

Je mehr Gebäude durch informationstechnische Strukturen beeinflusst, bzw. in ihrer physischen Präsenz zurückgedrängt werden, desto wichtiger wird die enge Verzahnung dieser Strukturen mit der physischen Gebäudesubstanz. Diese Art der Horizontalen Integration betrifft insbesondere die Ebene der Benutzerinteraktion, also die Benutzungsschnittstellen der eingesetzten Informationstechnologien. Horizontale Integration bedeutet, daß die Modellwelt, die die physischen Strukturen verdrängt, eine den physischen Strukturen vergleichbare Präsenz bekommt. Erst so kann eine durch Informationstechnologien erweiterte Architektur bruchlos benutzt werden.

Das klassische Planungsbild der Architektur und des Städtebaus als die Komposition von Räumen, Funktionen und Konstruktionen erweitert sich damit um die „Konstruktion“ von informationstechnischen Modellwelten. Dieses bedeutet im eigentlichen Sinne ihre Modellierung, bzw. Programmierung.

2.5.2 Die Vertikale Integration

Neben der Horizontalen Integration stehen Bemühungen, den Planungs-, Bau- und Betriebsprozeß im Zuge einer Qualitätssteigerung, einer Energie- und Kostenoptimierung, einer ökologischen Gesamtbetrachtung und einer besseren und durchgängigen Verwaltung und Steuerung vertikal, über alle Phasen des Lebenszyklus, zu integrieren.

Diese „Vertikale Integration“ geht dabei in zwei Richtungen. Zum einen müssen Informationen aus späteren prognostizierten Phasen bezüglich Kosten, Energieverbrauch oder Stoffflüssen in die frühen Planungsphasen einfließen, da hier die entscheidenden Weichen für die qualitative Ausgestaltung des Produktes gestellt werden. Zum anderen müssen Informationen in die andere Richtung aus den Planungsphasen eines Gebäudes in die späteren Phasen der Konstruktion und Nutzung, d.h. in Prozesse der Vorfertigung (CAD-CAM-Ketten), in Systeme des Betriebes, der Gebäudebewirtschaftung, der Gebäudeautomation, der Umnutzung und Demontage einfließen. Vertikale Integration bedeutet also die Integration in beiden vertikalen Richtungen.

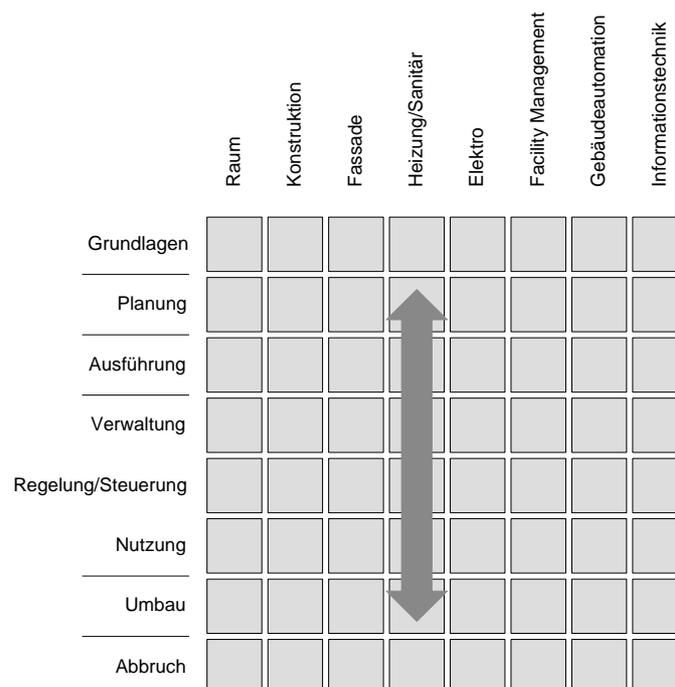


Bild 2.6

Die Vertikale Integration im Bauwesen

Auf der horizontalen Achse der Matrix sind die verschiedenen Teilsysteme von Gebäuden, auf der vertikalen Achse die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus aufgetragen.

Grundsätzliche Schwierigkeiten für die Vertikale Integration entstehen aus den unterschiedlichen Sichten und Maßstabebenen der Modelle der Planung, Ausführung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung. Dies wird an folgenden Beispielen deutlich:

2.5.2.1 Planung - Lebenszyklus

In allen modernen Produktions- und Nutzungsprozessen taucht vermehrt das Kriterium der „Nachhaltigkeit“ auf. Dieser Begriff bedeutet neben Langlebigkeit und Flexibilität auch die ökologische Unbedenklichkeit des Produktes in allen Phasen seines Lebenszyklus. Entscheidende Kriterien sind dabei die Unbedenklichkeit der verwendeten Materialien, ihre Demontierbarkeit und Recyclbarkeit, sowie die Unbedenklichkeit der zur Anwendung kommenden Produktionsverfahren.

Nachhaltigkeit bedeutet daher die umfassende ökologische Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, von der Planung, über die Konstruktion, die Nutzung und Umnutzung bis hin zur Demontage vor dem Hintergrund einer umfassenden Ökobilanzierung. Die einzelnen Phasen des Gebäudes sind nicht mehr statisch und isoliert, sondern in einem komplexen zeitabhängigen vertikalen Beziehungsgeflecht miteinander verknüpft.

Dies bedeutet, daß in den Modellen der Planung Aspekte der lebenszyklusbezogenen Energie-, Stoff-, Geld- und Informationsflüsse berücksichtigt und eingebunden werden müssen. [7][85] [86]

Die Schwierigkeit liegt hier in der unterschiedlichen Spezialisiertheit und Strukturiertheit dieser Modelle: Während die Planungsmodelle, insbesondere in den frühen Planungsphasen, in der Regel schwach strukturiert und auf eine individuelle Planungsaufgabe hin spezialisiert sind, sind die Modelle der Energie-, Stoff-, Geld- und Informationsflüsse stark strukturiert und unabhängig von einer bestimmten Bauaufgabe.

2.5.2.2 Planung - Ausführung

Für die Ausführung bedeutet Vertikale Integration die Kopplung von Systemen der Planung an Systeme der industriellen Vorfertigung und Montage. Derartige Kopplungen werden z.B. mit CAD-CAM Ketten realisiert.

CAD-CAM Fertigungsketten benötigen eine sehr detaillierte geometrische und zeitliche Planung. Umgekehrt müssen die produktionstechnischen Rahmenbedingungen aus der Vorfertigung und Montage in die Planung einfließen.

2.5.2.3 Planung - Verwaltung

Vertikale Integration bedeutet für die Gebäudebewirtschaftung, daß die Beschreibungen aus den Systemen der Planung und Ausführung direkt in die Systeme des Facility Management übertragen werden können.

Es wurde bereits angesprochen, daß bis zum Ende der Planung und Ausführung in der Regel keine detaillierten und präzisen Modelle des realisierten Gebäudes existieren, und wenn, dann zeigt die Praxis, daß sie den Anforderungen der Gebäudebewirtschaftung

nicht genügen. Das Gebäude wird daher in der Regel in Facility Management Systemen neu modelliert. Diese Modelle dünne wiederum soweit aus bzw. verlagern ihren Fokus auf die Gebäudebewirtschaftung in einem Maße, daß sie für eine detaillierte Umplanung oder kontrollierte Demontage, also wiederum für Planungsleistungen nicht ausreichen. Eine Lösung kann nur darin bestehen, bereits in den Modellen der Planung und Ausführung die Anforderungen aus der Gebäudebewirtschaftung mit zu berücksichtigen. Facility Management Systeme werden anschließend die Modelle der Planung detailliert verwalten, um so spätere Planungsleistungen der Umplanungen und Demontage zu ermöglichen.

2.5.3 Integrale Planung

Die Überlagerung von Horizontaler und Vertikaler Integration in der Planung wird als „Integrale Planung“ bezeichnet [84]. Integrale Planung bedeutet für alle Beteiligten die Öffnung und Umstellung ihrer gewohnten Arbeitsweisen. Das lokale, in den eigenen Systemgrenzen abgeschottete Denken, muß dabei dem Bewußtsein für vernetzte, offene und dynamische Systeme weichen. Der eigene Arbeitsbereich und das Arbeitsergebnis müssen in ihrer Vernetzung zu anderen Arbeitsbereichen und -ergebnissen und ihrer Entwicklung und Bedeutung über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes wahrgenommen werden. Entsprechend verschwimmen die Grenzen zwischen den Aufgabenbereichen der beteiligten Personen und den verschiedenen Phasen der Planung, Verwaltung, Regelung, Steuerung und Nutzung von Gebäuden.

2.5.4 Integrationstechniken

Die horizontale und vertikale Verknüpfung informationstechnischer Modelle, ihre enge Verzahnung mit dem physischen Gebäude sowie die homogene Integration des Menschen in seinen unterschiedlichen Rollen als Planer, Programmierer, Verwalter, Steuerer und Nutzer in derartig erweiterte Gebäude stellt ein Idealbild dar. Dieses Idealbild muß vor dem Hintergrund der Unzulänglichkeit existierender Integrationstechniken, wie sie im folgenden skizziert werden, relativiert werden.

2.5.4.1 Datenaustausch

Der „Datenaustausch“ integriert Informationstechnologien sequentiell auf Applikationsebene. Bereits angesprochene Beispiele sind die horizontale Kopplung eines CAD-Systems an eine CAM-Fertigungsanlage oder die vertikale Übertragung von Planungsdaten in ein Facility Management System. Diese sequentielle Kopplung korrespondiert in erster Linie mit linearen Vorgängen, wie sie z.B. Prozeßketten darstellen. Die Vielschichtigkeit der Entwurfsinformationen im architektonischen Planungsprozeß und die beschriebenen Iterationen innerhalb von kooperativen Planungsvorgängen können mit Hilfe des Datenaustausches allein nur schwer unterstützt werden.

Der systemübergreifende Informationsaustausch derzeitiger Softwarewerkzeuge beschränkt sich in der Regel auf den Austausch flach strukturierter Daten mit Hilfe von Standarddatenaustauschformaten. Für den CAD-Bereich sind dies Formate wie DXF, IGES, PostScript etc. Große Teile einer CAD-Planung, insbesondere die produktrelevante semantische Information, wie Name, Kosten, Katalognummer usw., die an den graphischen Symbolen eines CAD-Systems angehängt werden kann, oder der Kontext, in dem das Element steht, können mit diesen Formaten nicht übertragen, sondern müssen in jedem System neu modelliert werden.

Es gibt daher Bemühungen, die Datenaustauschformate um semantische Informationen zu erweitern:

Hierzu zählt insbesondere der ISO-Standard STEP (Standard for the Exchange of Product model data), der für den Konstruktionsbereich (Maschinenbau, Schiffbau, Architektur, Bauingenieurwesen) ein allgemeines Datenaustauschprotokoll festschreibt. Grundlage dieses Datenaustausches ist eine fachübergreifende Standardisierung der Produktmodellierung. Diese beschränkt sich derzeit noch auf die Geometrie und sehr einfache semantische Produktinformationen.[38][138]

Seit 1995 existiert ein internationaler Zusammenschluß der Industrie (IAI, Industry Alliance for Interoperability) mit dem Ziel, die Bemühungen und Ergebnisse von STEP zentral für den Baubereich zu spezialisieren und praxistauglicher zu gestalten. Zusätzlich zur Horizontalen Integration, also der Integration unterschiedlicher Softwarewerkzeuge auf z.B. einer gemeinsamen Planungsstufe, wird auch die Vertikale Integration, also die Integration über den Lebenszyklus des Gebäudes angestrebt. Die Grundlage

dieser Integrationsbemühungen bilden fachspezifische Standardisierungen in sog. „Industry Foundation Classes“ (IFC), die alle fachspezifischen Informationen im Gebäude in Form von Objektklassen, Standardinterfaces und Datentypen modellieren. Auf der Grundlage der IFC-Standardisierung sollen Fachapplikationen implementiert werden, die dann in der Lage sind, komplexere Daten auszutauschen.

Das IAI verfolgt dabei das Konzept einer zentralen IFC-konformen Datenbasis, welche mit dem Produkt in der Planungsphase entsteht und das Produkt über seinen Lebenszyklus begleitet. Alle IFC-konformen Softwarewerkzeuge greifen auf diese zentrale Datenbasis zu und kommunizieren über diese miteinander. Voraussetzung ist dabei eine Datenhaltungskomponente, die in der Lage ist, die Daten während der dynamischen iterativen Entwurfsprozesse über den Lebenszyklus des Gebäudes konsistent zu halten. [62]

2.5.4.2 Prototypen, Fälle

Im architektonischen Entwurf, und dieses ist typisch für alle Designdisziplinen, werden oft bewährte Ausschnitte aus früheren Planungen in neue Planungszusammenhänge übertragen und angepaßt. Das Kopieren von bewährten Planungsausschnitten in neue Zusammenhänge erhöht unter baukonstruktiven Gesichtspunkten die Planungs- und Ausführungsqualität, auch wenn dieser Aspekt unter architektonischen Gesichtspunkten allgemein kritisch beurteilt wird. Die Ausschnitte aus früheren Planungen werden auch „Prototypen“ oder im Fachgebiet der Künstlichen Intelligenz „Fälle“ genannt. Fälle werden allgemein in sog. „Falldatenbanken“ gespeichert und mit Techniken des „Fallbasierten Schließens“ (Cased-Based-Reasoning) in neue Kontexte übertragen. [39][83]

Dabei ist das in Prototypen und Fällen gespeicherte Wissen nicht explizit formuliert und kann daher auch nicht explizit, wie etwa beim Datenaustausch, in den neuen Kontext übertragen werden. Die Übertragung von Wissen mittels Fällen ist vielmehr ein implizites Verfahren. Ein Datum wird nicht isoliert, sondern in seinem erläuternden zeitlichen, räumlichen und inhaltlichen Zusammenhang übertragen. Hierin liegt die besondere Leistungsfähigkeit des Fallbasierten Schließens insbesondere in frühen Phasen des Entwurfes, wenn es noch sehr wenig explizite Informationen gibt.

Prototypen und Fälle tauschen also weniger direktes Wissen aus, als daß sie durch ihren Gebrauch bestimmte Verfahren oder Verhaltensweisen zwischen verschiedenen Systemen und Nutzern tradieren. Sie können daher in kooperativen Planungsprozessen integrierend wirken.

Prototypen und Fälle bezeichnen nicht allein Ausschnitte von Datenstrukturen. Auch funktionale Zusammenhänge, wie etwa Programmstrukturen können als Prototypen oder Fälle gespeichert und mit Techniken des Fallbasierten Schließens in neue funktionale Kontexte eingebunden werden. Zum Beispiel lassen sich bewährte Kommunikationsinfrastrukturen und Softwarekonstellationen zwischen verschiedenen am Entwurf beteiligten Fachplanern von einer Planungsaufgabe in eine andere übertragen.

2.5.4.3 Komponentenbasierte Ansätze

Grundlage aller komponentenbasierten Ansätze ist der „Modulbegriff“:

Ein **Modul** faßt Daten (Datentypen, Variablen, Konstanten) sowie Operationen darauf (Prozeduren, Funktionen) zu einer gekapselten Einheit zusammen [37]. Die Daten definieren dabei einen Zustandsraum; die auf den Daten wirkenden Operationen ermöglichen die Zustandsübergänge innerhalb dieses Zustandsraumes. Bestimmte Operationen, die sog. „Schnittstellen-Operationen“, sind außerhalb der Kapselung sichtbar. Über den Aufruf dieser Operationen erfolgt der Nachrichtenaustausch als die gegenseitige Beeinflussung der Module. Vorteil modular aufgebauter Systeme ist ihre Flexibilität. Einzelne Module können ausgetauscht, verändert oder hinzugefügt werden, ohne daß andere Teile des Systems hierdurch beeinflußt werden oder das gesamte System arbeitsunfähig wird.

Beispiele für die Anwendung des Modulbegriffs finden sich in der objektorientierten Modellierung, beispielsweise in objektorientierten Programmiersprachen und Datenbanken:

Ein Objekt besteht aus einem Modul und einem - innerhalb des betrachteten Systems von Objekten eindeutigen - Bezeichner, der das Objekt identifiziert. Mit der Ausprägung eines Objektes kann eine Spezialisierung einhergehen, bei der auch Eigenschaften, die in einem Schema (s. Kapitel 1.6.2) verankert sind, vererbt werden. Jede Ausprägung der Klassen eines Schemas erhält eine eigene Identität, ausgewiesen durch den Bezeichner. [14][78][102][123]

Andere Beispiele für den Modulbegriff finden sich in sog. „komponentenbasierten Modellen“, beispielsweise dem auf dem „component-object-model“ (COM) basierenden „OLE“ [103] oder „ActiveX“ [104] (beides Produkte der Firma MICROSOFT), oder „OpenDoc“ (ein Produkt der Firmen APPLE und IBM [4]).

Komponentenbasierte Modelle arbeiten mit einem Modulbegriff, der gegenüber dem objektorientierten Modell weitaus komplexere Strukturen in Modulen zusammenfaßt. Die Kapselung orientiert sich dabei an Aufgabengruppen. Vormalig auf unterschiedliche Applikationen verteilte Funktionalitäten können als Komponenten in eine gemeinsame Anwendung, z.B. ein Dokument, integriert und gleichzeitig bearbeitet werden. [116]

Es gibt Bestrebungen, die Kommunikation zwischen den Objekten/Komponenten zu standardisieren, damit sie in verteilten und heterogenen Umgebungen genutzt werden können. Die bekannteste Standardisierung auf diesem Gebiet ist „CORBA“ (Common Object Request Broker Architecture) [27]. Die Beschränkung von CORBA liegt derzeit in der Auslegung auf lokale Netze.

Durch die zunehmende Bedeutung von Intranet und Internet kommen Konzepte zum Tragen, die weltweit operieren können. Dies sind u.a. Plattformen wie „JAVABeans“ (ein Produkt der Firma SUN) oder „WebObjects“ (ein Produkt der Firma NeXT). [9]

The Anatomy of an OpenDoc Document

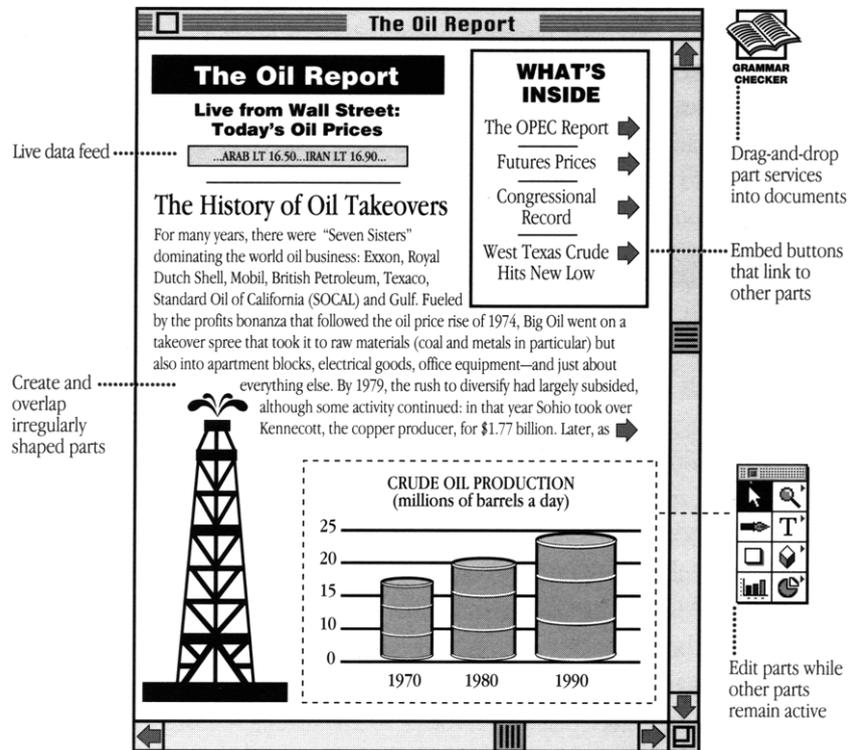


Bild 2.7

Komponentenbasierte Software folgt in der Regel der Metapher von Dokumenten. Ihre Gestaltung wird durch die Grundprinzipien des Desktop Publishing bestimmt. (Bsp. „OpenDoc“[4])

2.5.4.4 Visualisierung

Der Mensch ist in der Lage, über seine visuelle Wahrnehmung schnell große Mengen von graphischen Daten zu erfassen. Dabei fallen ihm insbesondere die Daten auf, die in irgendeiner Weise aus dem durch die anderen Daten gebildeten visuellen Grundmuster herausfallen. [100][113]

In einem durch graphische Modelle geprägten Planungsprozeß, wie dem architektonischen Entwurfsprozeß, kann der Visualisierung also eine besondere Integrationsleistung zukommen. Inkonsistenzen innerhalb einer komplexen Planung, insbesondere innerhalb einer Planung, an denen unterschiedliche Experten beteiligt sind, können über die Ausnutzung der besonderen Wahrnehmungsfähigkeit des Menschen sichtbar gemacht werden. Voraussetzung dafür ist, daß die Modelle des Entwurfes entsprechend visuell aufbereitet und zugänglich gemacht werden.

Beispiele für eine derartige Verknüpfung von nicht-graphischen mit graphischen Modelle findet sich bei Systemen der „Scientific Visualization“ sowie den „geographischen Informationssystemen“ (GIS-Systemen) [95][127][149]. Hier werden unterschiedliche Daten mit visuellen und geometrischen Attributen verknüpft um sie so auf einer gemeinsamen Visualisierungsebene sichtbar zu machen. Ziel ist es, durch die Visualisierung bestimmte Zusammenhänge innerhalb der Modelle zu veranschaulichen. Beispielsweise geben in sog. „Falschfarbendarstellungen“ die Farbverteilungen Aufschluß über bestimmte Häufungen innerhalb eines Modells. Eine Überlagerung dieser Darstellungen mit geographischen Karten weist diese Konzentrationen bestimmten physischen Orten zu.

Eine weiteres wichtiges Anwendungsfeld der visuellen Darstellung sind die Benutzungsschnittstellen der Softwarewerkzeuge, also die Integrationsebene zwischen Nutzer und Softwaresystem. Hier setzen sich zunehmend graphisch basierte Interaktionsmodelle durch. Sie sind intuitiver und ergonomischer als z.B. textbasierte Schnittstellen, zumal wenn den graphischen Darstellungen Metaphern aus der physischen Welt aufgeprägt wurden. Das bekannteste Beispiel ist die zweidimensionale Metapher des „Desktops“, in dem Dateien als „Dokumente“ in „Ordnern“ auf dem „Schreibtisch“ abgelegt und im „Papierkorb“ vernichtet werden. Graphische Benutzungsschnittstellen schaffen also wie GIS-Systeme einen visuellen Zugang zu Modellen, die für sich genommen in der Regel nicht graphisch basiert sind. Die visuellen Attribute werden diesen Modellen aufgeprägt, um insbesondere die Wahrnehmungsfähigkeiten des Menschen auszunutzen. Graphische Benutzungsschnittstellen werden auch als „naiv“ bezeichnet, wenn sie selbsterklärend sind und einen intuitiven „natürlichen“ Zugang zu den Daten und Programmen erlauben. [3][77][133][148]

Für große Datenbestände bzw. Daten- und Programmverbände, wie sie insbesondere durch die Vernetzung der Informationstechnologien entstehen, kommen mehr und mehr dreidimensionale Metaphern zum Zuge. Sie erweitern den intuitiven assoziativen Zugang zu diesen durch die Vernetzung im Prinzip unbegrenzt großen Datenmengen. Hier

erleichtern sie den Zugang und die Navigation durch unbekannte Daten- und Programmumgebungen.

Zunächst stehen für diese Entwicklung Ansätze den zweidimensionalen Desktop in die dritte Dimension zu erweitern und Daten- und Programmstrukturen etwa in Form dreidimensionaler Baum- oder Raumstrukturen zugänglich zu machen [22][120][112]

In einem weiteren Schritt werden diesen dreidimensionalen Baumstrukturen wiederum Metaphern aus der physischen Welt aufgeprägt. Beispiele hierfür sind die Metapher des Büros, der Stadt oder der Landschaft. Der Nutzer „bewegt“ sich hinaus in eine künstliche Welt aus Häusern, Straßen, Plätzen, Bergen und Tälern. Diese Orte symbolisieren Daten und Programme. Sie werden unter der Metapher zu Treffpunkten, Konferenzorten, Projekträumen, Bibliotheken, Supermärkten etc. Der Nutzer wird unter der Metapher zum „Datenreisenden“. Diese Entwicklung der Benutzungsoberflächen wird bereits vielfach, insbesondere im Zusammenhang mit dem Internet, diskutiert. [135][139]

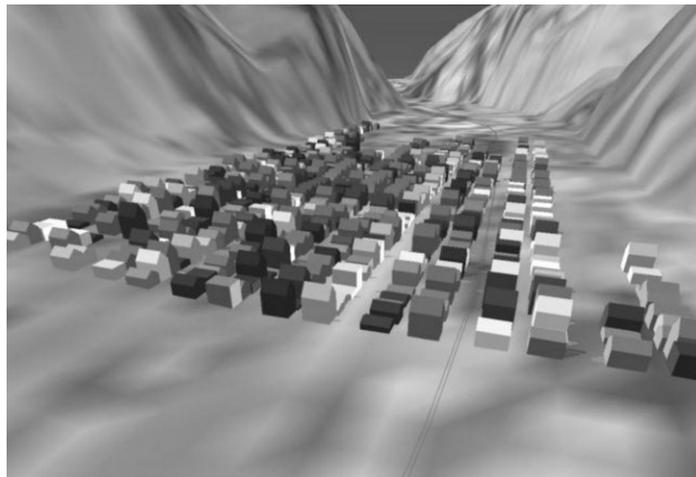


Bild 2.8

Die Metapher der Stadt und der Landschaft [136]

Die räumliche Metapher bezieht sich zunächst auf das visuelle Erscheinungsbild, also die Geometrie, die Textur und die Farbe. Weitere Attribute, wie Oberfläche, Dichte oder Gewicht sind für die Aussagekraft der Metapher nachrangig, da insbesondere die Visualisierung für die intuitive Navigation und Interaktion des Benutzers eine herausragende Rolle spielt. Erst im Rahmen von komplexen Anwendungen der Virtuellen Realität werden für die Unterstützung auch andere Attribute wie Masse, Schwerkraft und Oberflächenverhalten wichtig. Beispielsweise können über räumliche Kollision der Objekte in der virtuellen Welt unterschiedliche Kommunikationsprozesse angestoßen werden. [52][90]

Eine der größten Herausforderungen auf der Schnittstelle zwischen Nutzer und vernetzten Softwaresystemen ist die potentiell unbegrenzte Größe der Programm- und Datenstrukturen, die über eine begrenzte Benutzungsschnittstelle, die in der Regel ein zweidimensionaler Display ist, für den Nutzer erschlossen und zugänglich gemacht wird. Hier helfen andere Projektionsverfahren, um die insgesamt darstellbare und beherrschbare Informationsmenge zu erhöhen.

Bis unendlich große Flächen können mit verschiedenen Projektionsverfahren auf eine endliche Fläche, etwa eine Bildschirmoberfläche, projiziert werden. Ein Beispiel für derartiger Projektionen ist die sog. „Fisheye-Projektion“. Innerhalb dieser Projektion erscheint der Fokus in der Regel unverzerrt, während die Randbereiche verzerrt erscheinen, jedoch immer noch über genügend graphische Informationen verfügen, daß sie visuell kontrolliert werden können. Informationen können so über eine unendliche Fläche verteilt nebeneinander, unter Vermeidung gegenseitiger Verdeckung, angeordnet werden. Dieses Verfahren erweitert die Funktionalität herkömmlicher Benutzungsoberflächen, wo die Daten in Hierarchieebenen hintereinander abgelegt werden müssen. [17][49][72]

Dreidimensionale Welten, seien es nun physische oder virtuelle, können mit Hilfe von speziellen Projektionsverfahren auf die zweidimensionale Fläche eines Displays projiziert werden. „Naturalistische“ Projektionsverfahren wie perspektivische Darstellungen oder Axonometrien zeigen immer nur einen Ausschnitt der dreidimensionalen Welt. Eine Vergrößerung des Blickwinkels kann mehr (Bild 2.9) bis zu alle an einem Standpunkt sichtbare Informationen auf einer zweidimensionalen Projektionsfläche abbilden. (Bild 2.10). An die Verzerrung angepaßte Maßlinien erlauben das Feststellen und den Vergleich von Größenordnungen. Inwieweit derartige Darstellungen jedoch auch interaktiv genutzt werden können, muß sich im Zuge der Weiterentwicklung dieser Projektionen im Rahmen von Anwendungen der Virtuellen Realität erweisen.

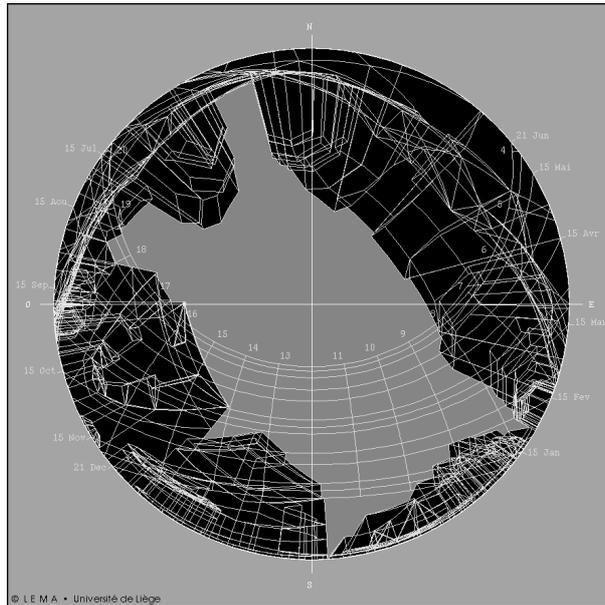


Bild 2.9

Beispiel einer Projektion mit einem Blickwinkel von 180° [146]

Diese Darstellung visualisiert die von der Mitte eines Platzes aus sichtbare Bebauung und Himmelsfläche mit entsprechenden Maßlinien zum Sonnenstand und der sich daraus ergebenden Verschattung.



Bild 2.10

Beispiel einer interaktiven Multimedia-Installation, die den Blickwinkel auf bis zu 360° dynamisch verändert. [121]

Auf der Ebene der Programmierung ermöglichen graphisch basierte Interaktionsmodelle, daß Nutzer Softwarewerkzeuge selbst gestalten bzw. an ihre Bedürfnisse anpassen können. Sie überbrücken die Grenze zwischen Programmierung und Anwendung. Derartige Modelle werden unter dem Begriff der „Visuellen Programmiersprachen“ zusammengefaßt. [19]

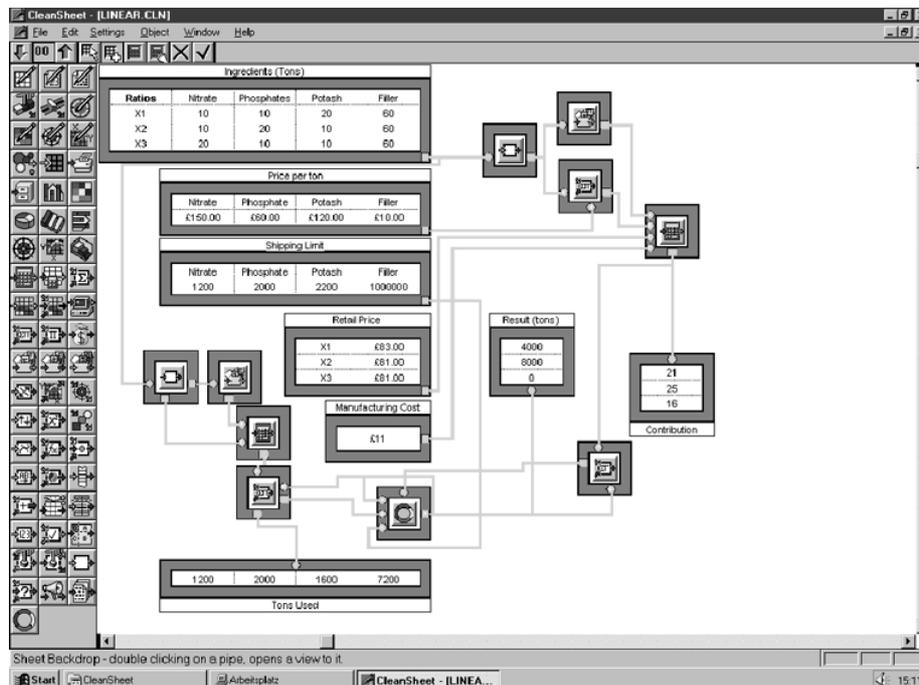


Bild 2.11

Visuelles Programmieren

Beispiel für ein Tabellenkalkulationsprogramm („CleanSheet“ ein Produkt der Firma WorkingTitle 1993), das mit Techniken des Visuellen Programmierens arbeitet. Der Nutzer kann aus einer Palette von Bausteinen mit unterschiedlicher Funktionalität wählen und, entsprechend seinen Anforderungen, ein individuelles Kalkulationsprogramm „bauen“. Die Bausteine lassen sich grob in die Kategorien Eingabe, Ausgabe und Prozeß gliedern. Sie kapseln innerhalb ihrer geometrischen Grenzen bestimmte Funktionalitäten und können über definierte Schnittstellen miteinander verknüpft werden. Die dieser Anwendung zugrundeliegende Interaktionsmetapher ist die Metapher einer Maschine.

Visuelle Programmiersprachen arbeiten in der Regel mit komponentenbasierten Konzepten. Ihren Modellen können dabei Metaphern zugeordnet werden. Dies ist beispielsweise die prozedurale Metapher einer Maschine. Die Komponenten sind entsprechend Eingabeschnittstellen, Ausgabeschnittstellen, Prozesse und Verbindungen, die zu Prozeßketten zusammengebunden und als solche visualisiert werden. Dabei bestimmt die Metapher nicht allein die Interaktion des Nutzers, bzw. Programmierers mit dem System, sondern auch die Interaktion der Komponenten untereinander, also der Softwaremodule untereinander bzw. der Softwaremodule mit den Daten. Eines der ersten Beispiel visuel-

ler Programmiersprachen ist das System PICT [50], welches einen Satz von Icons und farbigen Verbindungslinien anbietet, die zu einfachen Programmstrukturen verknüpft werden können. Das System BOXER [132] dagegen verwendet eine räumliche Metapher. Die Komponenten werden ineinander geschachtelt. Die Verbindungen der Komponenten werden über räumliche Kollisionen aufgebaut.

In verschiedenen Ansätzen wird versucht die Funktionalität objektorientierter Programmiersprachen, wie u.a. den Vererbungsmechanismus, mit visuellen Programmiersprachen zu verbinden. Ein Beispiel für eine derartige Visuelle Objektorientierte Programmiersprache (VOOP) findet sich in [23].

2.5.4.5 Kommunikation

In allen Umgebungen, die durch das Zusammenspiel einer großen Anzahl von Personen und Softwarewerkzeugen auf einer großen, in weiten Teilen schwach strukturierten Datenbasis gekennzeichnet sind und zudem noch in ihren Prozessen dynamisch und iterativ sind, ist die Kommunikation zwischen den Beteiligten von besonderer Bedeutung. Sie muß umso größer sein, je unterschiedlicher die in den Fachbereichen manifestierten Sichten, je starrer ihre Strukturen und inkompatibler ihre Modelle und Daten sind.

Die Kommunikation ist daher ein zentraler Aspekt in der Integralen Planung, die den Planungsprozeß über alle Sichten der Beteiligten hinweg horizontal und vertikal integrieren soll. Personell wird sie derzeit zumeist durch das Zuschalten „unabhängiger“ Beratungsbüros in den Planungs- und Bauprozeß unterstützt. Auf der technischen Ebene gibt es Entwicklungen, die die Kommunikation unterstützen. Sie verbinden die Kommunikation auf der softwaretechnischen Ebene (Datenaustausch etc.) mit der Kommunikation auf der Benutzerebene (e-mail, Whiteboard, Videokonferenz etc.). Bezeichnungen hierfür sind „Computer Supported Cooperative Work“ (CSCW) und „Workgroup Computing“ [15][29]. Diese Infrastrukturen sind die entscheidende Voraussetzung für eine funktionierende Zusammenarbeit gerade in räumlich verteilten Umgebungen (Virtuelle Organisationen). [42]

2.5.4.6 Realität - Virtualität

Eine wichtige Integrationsebene, insbesondere in der Phase der Nutzung eines Gebäudes, ist die Verzahnung der informationstechnischen Strukturen mit den physischen Gebäudekomponenten und die Integration des Menschen in diese erweiterte Realität. Unterschiedliche Integrationstechniken wurden in den verschiedenen Teilbereichen bereits angesprochen (s. Kapitel 2.3: Active Badges, basic-briefmarken, Sensoren, Aktoren) (s. Kapitel 1.5.1 und Kapitel 2.5.4.4 : Benutzungsschnittstellen, Displays, Projektionen). Eine zentrale Bedeutung kommt dabei den Benutzungsschnittstellen zu. Sie sind der Dreh- und Angelpunkt zwischen physischem Gebäude, Informationstechnik und Mensch. Ihre Integrationsleistung bestimmt, ob die Erweiterten Gebäude für den Menschen in seiner Funktion als Planer, Verwalter, Steuerer oder Nutzer homogen erscheinen.

2.6 Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der Planung, Ausführung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung von Gebäuden werden immer mehr Informationstechnologien eingesetzt. Entsprechend ihrer unterschiedlichen Aufgaben und Ziele wird das Gebäude in einer Vielzahl von informationstechnischen Modellen abgebildet. Die Modelle der Planung und Ausführung werden als Produkt-, Kommunikations- und Fertigungsmodelle bezeichnet. Sie werden über die Montage „externalisiert“, d.h. in ein physisches Gebäude überführt. Die Modelle der Verwaltung und Steuerung begleiten als sein getreues Abbild dieses physische Gebäude über seine Standzeit und bilden die Grundlage für alle Aufgaben der Gebäudebewirtschaftung und -steuerung. Während der Nutzungsphase sind wiederum eine Vielzahl von informationstechnischen Modellen mit dem physischen Gebäuden eng verzahnt und erweitern dessen Funktionalität grundlegend.

Für diese zunehmende Durchdringung von Informationstechnologien und Architektur stehen Begriffe wie Virtuelle Organisationen, Virtuelle Erzeugnisse, Virtuelle Unternehmen, Virtuelle Supermärkte und Virtuelle Bibliotheken.

Der vielfältige Einsatz von Informationstechnologien äußert sich in einer entsprechenden Vielzahl von Programmstrukturen, Datenorganisationen und Benutzungsschnittstellen. Diese sind in der Regel Ausdruck einer bestimmten Sicht auf das Gebäude, die Planungs-, Verwaltungs- und Steuerungsaufgabe oder das Nutzungsvorhaben. Ihre Integration ist schwach ausgeprägt, zum einen hinsichtlich der Abstimmung der Modelle untereinander, bezüglich Konsistenz, Redundanzen und Schnittstellen (insbesondere in der Phase der Planung und Ausführung), zum anderen hinsichtlich der Kongruenz zwischen beschreibenden Modellen und physischen Gebäudestrukturen (insbesondere in der Phase der Verwaltung, Regelung und Steuerung); und hinsichtlich der Integration des Menschen in diese durch Informationstechnologien grundlegend erweiterte und beeinflusste Architektur (insbesondere in der Phase der Nutzung).

Je mehr sich Architektur und Informationstechnologien durchdringen, desto wichtiger wird es die skizzierten Integrationsprobleme zu lösen.

Als Antwort auf diese Problematik wird im folgenden Kapitel ein Konzept vorgestellt, welches das Gesamtgebild einer durch Informationstechnologien erweiterten Architektur durchgängiger macht. Dabei konzentrieren sich die Überlegungen insbesondere auf eine einheitliche Modellierung von Architektur und Informationstechnologien, auf die Integration dieser einheitlichen Modellierung in die Realität sowie auf die menschliche Interaktion mit dieser durch Informationstechnologien erweiterten Architektur.

3 Informationsgebäude

Ein Integrationsmodell für Architektur und Informationstechnologien

Die im folgenden vorgestellte Integrationsidee besteht im wesentlichen aus der Übertragung von Strukturmustern physischer Gebäude auf die vielfältigen Modelle der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung von Gebäuden. Diese Strukturmuster werden auf der Grundlage von Wahrnehmungsmodellen gebildet, die allgemein von physischen Gebäuden existieren. Die Wahrnehmungsmodelle werden im Sinne einer **Gebäudemetapher** auf die Modellierung der Datenstrukturen, der Programmstrukturen und der Benutzerinteraktion angewendet.

Durch die Verwendung der Gebäudemetapher werden Architektur und Informationstechnologien innerhalb einer erweiterten Architektur unter dem gleichen Vorzeichen modelliert. Die Modelle bekommen eine der physischen Realität vergleichbare Präsenz und Ergonomie. Sie lassen sich in diesem Sinne als **Virtuelle Gebäudestrukturen** bezeichnen, die die **Realen Gebäudestrukturen** erweitern. Sowohl Architektur als auch Informationstechnologien, sowohl Modelle als auch physische Gebäudestrukturen werden mit Hilfe der Gebäudemetapher auf die gleiche Art und Weise plan- und nutzbar.

3.1 Die Gebäudemetapher

3.1.1 Drei Wahrnehmungsmodelle von Gebäuden

Gebäude können unterschiedlich beschrieben werden. Uns interessieren insbesondere drei Modelle, die sich durch ihre verschiedenen Sichten auf das Gebäude unterscheiden (pragmatisches Merkmal): die „räumliche Sicht“, die „konstruktive Sicht“ und die „planerische Sicht“ unterscheiden.

Die **räumliche Sicht** bezeichnet die Sicht des Nutzers. Sie beschreibt Gebäude als eine Gruppierung von Geschossen, Räumen und Nutzungsbereichen. Treppenhäuser und Aufzüge verbinden die Räume vertikal, Flure horizontal. Begriffe wie Fassade, Eingang, Tür, Fenster usw. benennen die Schnittstellen zwischen den einzelnen räumlichen Elementen. Insbesondere durch die räumliche Organisation wird die Interaktion eines Nutzers mit und die Navigation eines Nutzers durch ein Gebäude bestimmt.

Die metaphorische Verwendung des räumlichen Wahrnehmungsmodells überträgt die räumliche Organisation, Interaktion und Navigation mit ihren Grundbegriffen auf andere Modelle. Diese Modelle werden durch die Metapher wie physische Gebäude erfahrbar gemacht, d.h. virtualisiert. Es entsteht der Begriff von **Virtuellen Räumen**, die sich zu **Virtuellen Gebäuden** aggregieren. Modelle werden also durch die räumlichen Gebäudemetapher anschaulicher, d.h. ähnlich intuitiv benutzbar wie physische Gebäude.

Die **konstruktive Sicht** bezeichnet die Sicht des Monteurs. Sie beschreibt Gebäude als Gruppierung von Bauteilen. Bauteile werden zu Bauteilgruppen, Konstruktionen und Systemen aggregiert. Die Aggregationen werden durch die Schnittstellen und Maßordnungen der Bauteile bestimmt.

Die Verwendung der baukonstruktiven Sicht als Metapher überträgt die konstruktiven Zusammenhänge von physischen Gebäude mit ihren Begriffen des Bauteils, der Konstruktion, des Bausystems, der Maßordnung, der Schnittstelle usw. auf Modelle. Entsprechend entsteht der Begriff der **Virtuellen Baukomponente**, die analog zu physischen Konstruktionen und Gebäuden zu **Virtuellen Konstruktionen** und **Virtuellen Gebäuden** aggregiert werden.

Die **planerische Sicht** bezeichnet die Sicht des Planers. Sie beschreibt Gebäude über die verschiedenen Phasen der Planung, von der Grundlagenermittlung, über die ersten Skizzen bis zur Ausführungsplanung. Kennzeichen dieses Wahrnehmungsmodelle sind die für die architektonische Planung u.a. üblichen ikonisch-graphische Darstellungen in Form von Funktionsschemata, zweidimensionalen Grundrissen, Ansichten, Schnitten und dreidimensionalen Visualisierungen, die über die verschiedenen Abstraktionen, Sichten und Maßstäbe verwendet werden.

Die Verwendung der planerischen Sicht als Metapher überträgt die Grundbegriffe der Planung auf die Modellierung. Modelle werden durch die Gebäudemetapher mit den gleichen graphischen Techniken wie physische Gebäude „plan- und kontrollierbar“.

3.1.2 Der räumliche Komponentenbegriff

Den ersten beiden Wahrnehmungsmodellen, der räumlichen und der konstruktiven Sicht, ist gemein, daß sie Gebäude komponentenbasiert beschreiben. Komponentenbasiert wird hier im Sinne des informationstechnischen Modulbegriffs verstanden als

- Verkapselung einer bestimmten Funktionalität zu einer Einheit,
- die innerhalb des Gesamtsystems eindeutig bezeichnet werden kann
- und über definierte Schnittstellen verfügt, die ihre Kommunikation zur „Außenwelt“ bestimmt.

(s. Kapitel 2.5.4.3)

Räume und Bauteile sind in diesem Sinne also räumliche Komponenten. Sie umschließen innerhalb ihrer räumlichen Grenzen bestimmte Attribute und Funktionalitäten. Sie sind innerhalb des Gebäudes eindeutig identifizierbar und verfügen über definierte Schnittstellen zu ihren Nachbarn. Diese Schnittstellen werden als Wände, Türen und Fenster oder Befestigungspunkte und Anschlüsse bezeichnet. Räume und Bauteile sind eng miteinander verknüpft. Bezeichnen Bauteile die materiellen Bereiche eines Gebäudes, bezeichnen Räume im eigentlichen Sinne die immateriellen, also alle Bereiche, die von

Bauteilen umschlossen, bzw. nicht besetzt sind. Da sowohl Bauteile als auch Räume fundamentale Bestandteile von physischen Gebäuden sind, werden sie im folgenden **Reale Gebäudekomponenten** genannt.

Bauteile und Räume sind als Komponenten innerhalb von Gebäuden nicht immer eindeutig zu identifizieren. Dies gilt sowohl für viele Bauteilverbände, wie z.B. den Massivbau, als auch für viele Räumlichkeiten. Der Komponentenbegriff ist vor diesem Hintergrund also eine bestimmte Sichtweise auf Gebäude, unter anderen möglichen.

Der räumliche Komponentenbegriff orientiert sich daher an Gebäuden, in denen Bauteile und Räume sauber voneinander abzugrenzen und damit eindeutig zu identifizieren sind. Derartige Gebäude finden sich insbesondere bei den Bausystemen bzw. Gebäudebaukästen:

Gebäudebaukästen bestehen im Unterschied zu konventionell erstellten Gebäuden aus sehr gut aufeinander abgestimmten Baukomponenten. Diese Abstimmung betrifft insbesondere die Schnittstellen, also die Befestigungspunkte der Baukomponenten sowie ihre Maße, die sich in bestimmte Maßordnungen fügen. Infolge dieser Strukturierung lassen sich die Baukomponenten eindeutig identifizieren, aus ihrem Bauteilverband herauslösen und in anderen Konfigurationen wieder zusammenfügen. Die Architekturen von Gebäudebaukästen lassen sich bei einem Nutzungswandel schnell an geänderte Anforderungen anpassen. [56]

Ein Beispiel für einen Gebäudebaukasten ist der Stahlbaukasten „MIDI“ von Prof. Fritz Haller. Dieser Gebäudebaukasten wurde insbesondere für hochinstallierte mehrgeschossige Bauaufgaben wie Bürogebäude, Schulen oder Laboratorien entwickelt, die einem hohen Nutzungswandel unterliegen. [53][55]



Bild 3.1

Der Gebäudebaukasten MIDI von Prof. Fritz Haller [55]

3.1.3 Der räumliche Komponentenbegriff in der Planung

Die planerische Sicht beschreibt Gebäude über die verschiedenen Phasen der Planung, von der ersten Skizze bis zur Ausführungsplanung. Ihre Modelle sind abstrakte Beschreibungen der Bauteile und Räume also der physischen Komponenten von Gebäuden. Infolgedessen können die Modelle der planerischen Sicht ebenfalls komponentenbasiert ausgebildet sein.

Zur Verdeutlichung wird ein Modell beschrieben, welches aus einer komponentenbasierten Sichtweise auf Gebäude heraus, auch eine komponentenbasierte Modellierung innerhalb des Planungsmodells verwendet:

Das **Installationsmodell armilla** bezeichnet ein Modell für die räumliche Koordination und den kooperativen Entwurf insbesondere der technischen Systeme innerhalb von Gebäuden [57]. Es wurde in der Tradition der Gebäudebaukästen von Prof. Fritz Haller entwickelt und überträgt deren komponentenbasierte Modellierung auf die Planung und Elementierung der Installationssysteme.

Mit Hilfe des Installationsmodells kann ein Gebäudeentwurf mit allen technischen Systemen in gegenseitiger Abstimmung aller zuständigen Fachplaner als Baukasten konzipiert und industriell vorgefertigt werden. Die Anordnungsregeln des Installationsmodells armilla gewährleisten während der Standzeit des Gebäudes, daß bei einem Nutzungswandel das Gebäude in allen seinen Komponenten zerstörungsfrei demontiert und schnell umkonfiguriert werden kann.

Damit erweitert das Installationsmodell armilla die Gebäudebaukästen um die Installationssysteme und die Vorstufen der Planung.

Das Installationsmodell armilla unterscheidet ein Anordnungsmodell und ein Operationsmodell.

3.1.3.1 Das Anordnungsmodell

Das Anordnungsmodell umfaßt ein „Allgemeines“ und ein „Spezielles Installationsmodell“. Das **Allgemeine Installationsmodell** koordiniert die geometrische Lage der technischen Systeme im Gebäude. Dies geschieht durch die eindeutige Zuweisung von Ebenen, Trassen und Anschlußbereichen. Das Modell berücksichtigt dabei in seinen geometrischen Mustern die Modularisierbarkeit sowie die langfristige Flexibilität aller technischen Systeme. Das allgemeine Installationsmodell ist allgemein, d.h. es ist gebäudeunspezifisch und orientiert sich allein an geometrischen Ordnungsmustern.

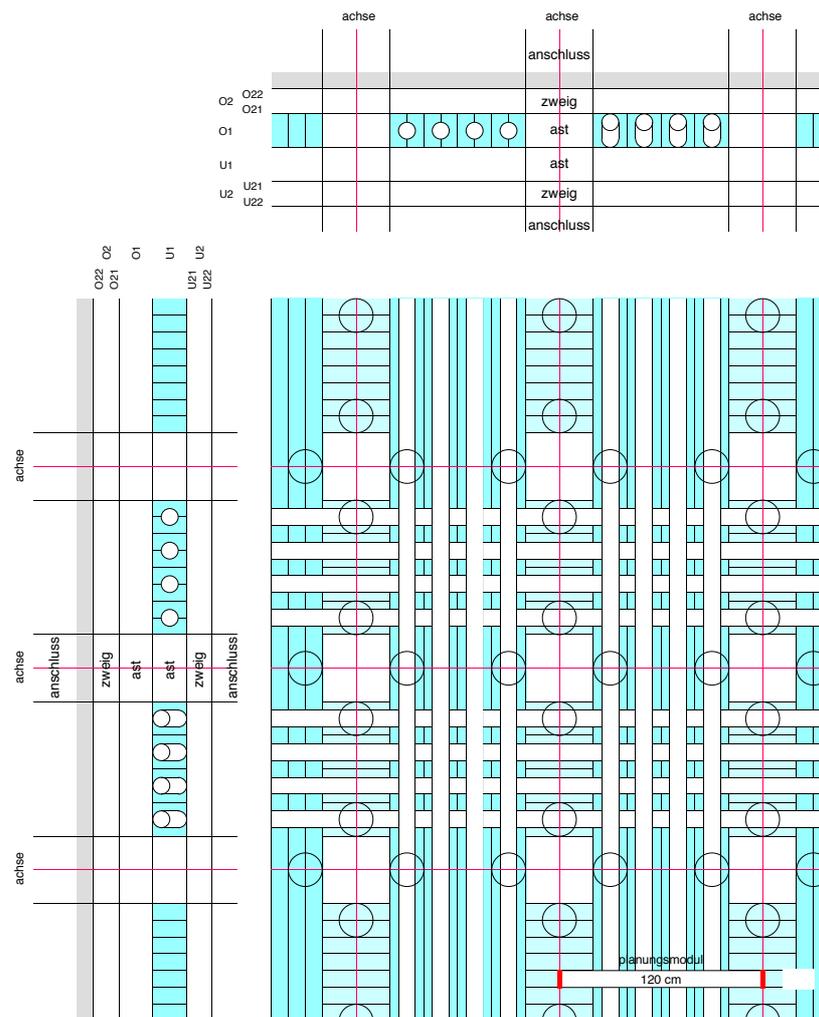


Bild 3.2

Das Allgemeine Installationsmodell armilla [57]

Das Allgemeine Installationsmodell armilla koordiniert die Leitungssysteme in einem allgemeinen geometrischen Anordnungsmodell durch die Zuweisung von Ebenen, Trassen und Anschlußbereichen. Diese Abbildung zeigt die möglichen Trassen für mittelgroße Leitungen (10-20cm Durchmesser) in x- und y-Richtung (Astleitungsebene).

Das **Spezielle Installationsmodell** entsteht durch die Überlagerung des Allgemeinen Installationsmodells mit den anderen Systemen des Gebäudes. Ausschnitte der Ebenen, Trassen und Anschlußbereiche des Allgemeinen Modells werden durch Tragwerk, Fassade oder Innenwände belegt. Dies schränkt die Allgemeingültigkeit und Flexibilität des Allgemeinen zum Speziellen Installationsmodell hin ein. Um diese Einschränkungen minimal zu halten, sollten die Systeme des Gebäudes an die Ordnungsmuster des Installationsmodells angepaßt werden.

Die konstruktive Ausgestaltung des MIDI-Tragwerks ist eine derartige Anpassung. Das Allgemeine Installationsmodell wird nur an wenigen Stellen durch die MIDI-Träger eingeschränkt und behält dadurch in weiten Teilen seine Flexibilität.

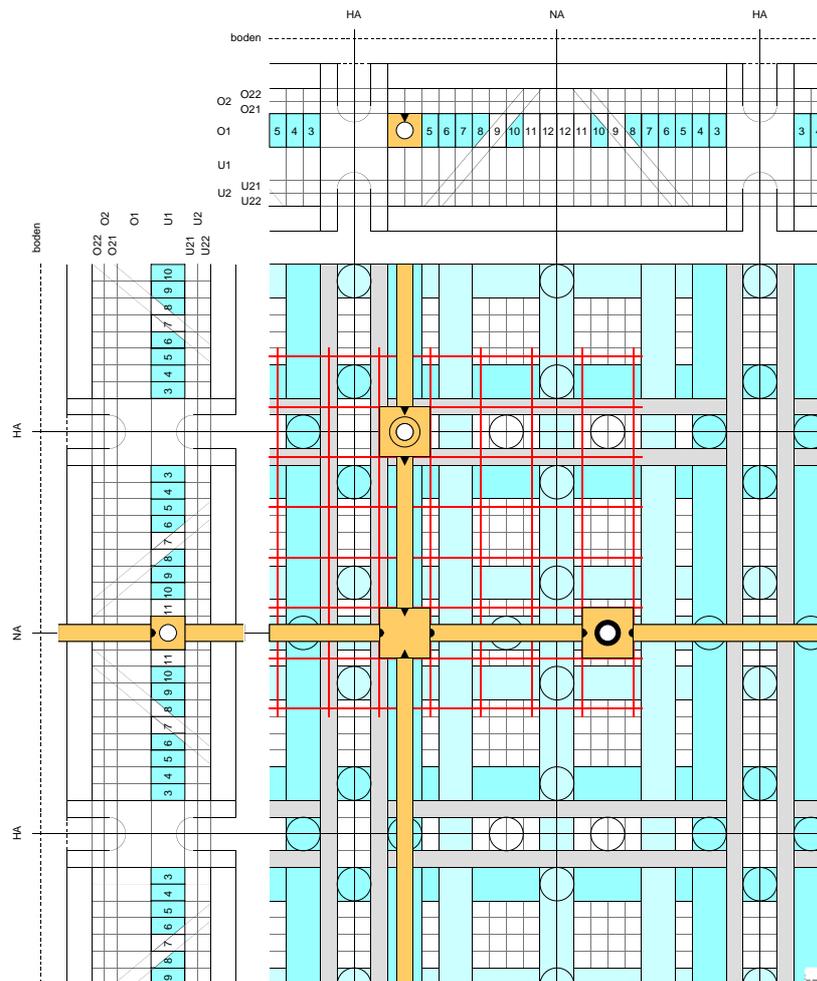


Bild 3.3

Das Spezielle Installationsmodell armilla [57]

Das Allgemeine Installationsmodell wird durch den Gebäudebaukasten MIDI spezialisiert. Der MIDI-Träger durchdringt die Ebenen und Trassen des Installationsmodells. Die Störungen werden durch die besondere Geometrie des Fachwerkträgers minimal gehalten.



Bild 3.4

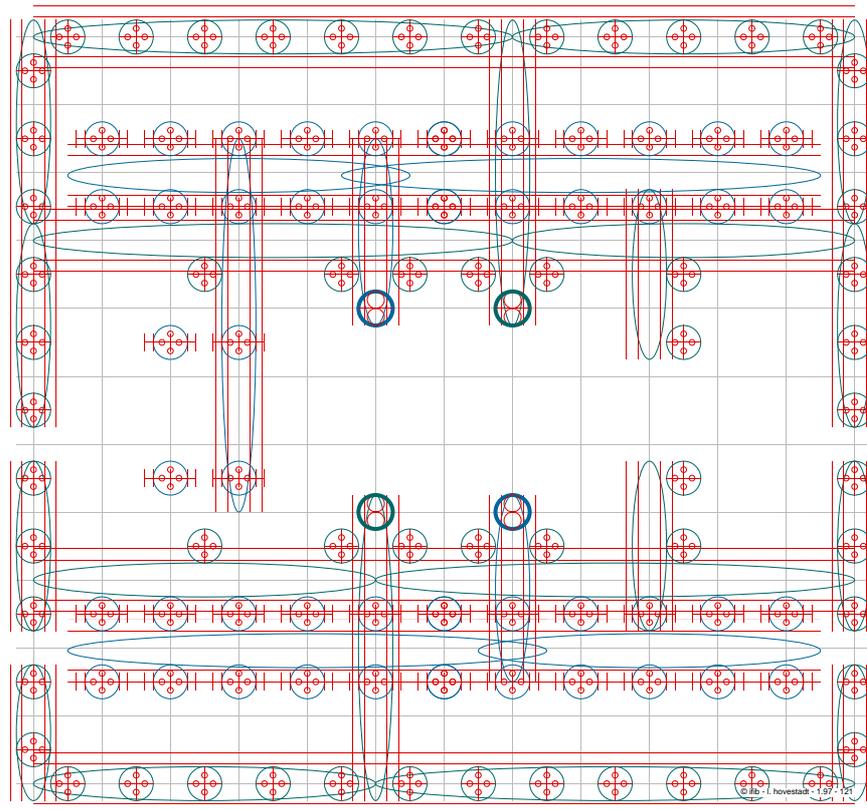
Installationen und MIDI-Tragwerk sind räumlich eindeutig aufeinander abgestimmt

3.1.3.2 Das Operationsmodell

Das Operationsmodell beschreibt die koordinierte Planung der Installationssysteme von der ersten Skizze bis zur Elementierungsplanung.

Es umfaßt u.a. drei wesentliche Planungsschritte unterschiedlicher Detaillierungsgrade. Diese werden als „Linienplanung“, „Hüllenplanung“ und „Elementierungsplanung“ bezeichnet. Die technischen Systeme werden über diese Planungsschritte hinweg in gegenseitiger räumlicher Abstimmung geplant. Grundlage dieser Abstimmungen sind die geometrischen Ordnungsmuster des Anordnungsmodells. Die Kopplung von Anordnungsmodell und Operationsmodell im Installationsmodell armilla kann daher als Instrument einer Horizontalen Integration bezeichnet werden. (s. Kapitel 2.5.1)

Die drei Planungsschritte des Operationsmodells werden im folgenden anhand eines beispielhaften Entwurfes dargestellt. Dabei handelt es sich um ein zweigeschossiges Bürogebäude, geplant mit den Komponenten und in der Systematik des Gebäudebaukastens MIDI auf dem CAD-System „MiniCAD“.

**Bild 3.5**

Linienplanung der Zu- und Abluftsysteme (Stämme, Astleitungen, Anschlußbereiche)

Linienplanung

Die Linienplanung bezeichnet eine Planungsstufe auf der Ebene der architektonischen Skizzen:

Wenn der Installationsbedarf im Konzeptplan formuliert ist, entwickelt jedes technische System (dargestellt sind die Zu- und Abluft) ein strategisches Leitungslayout. Dieses umfaßt die Positionen der vertikalen Stammleitungen, der Anschlußbereiche der Endgeräte sowie der horizontalen Astleitungen, die die Stammleitungen mit den Anschlußbereichen verbinden. Alle Positionen werden als Skizzen mit einer Unschärfe von +/- 1,20m formuliert und auf dieser Grundlage strategisch zwischen den einzelnen Fachplanern abgestimmt.

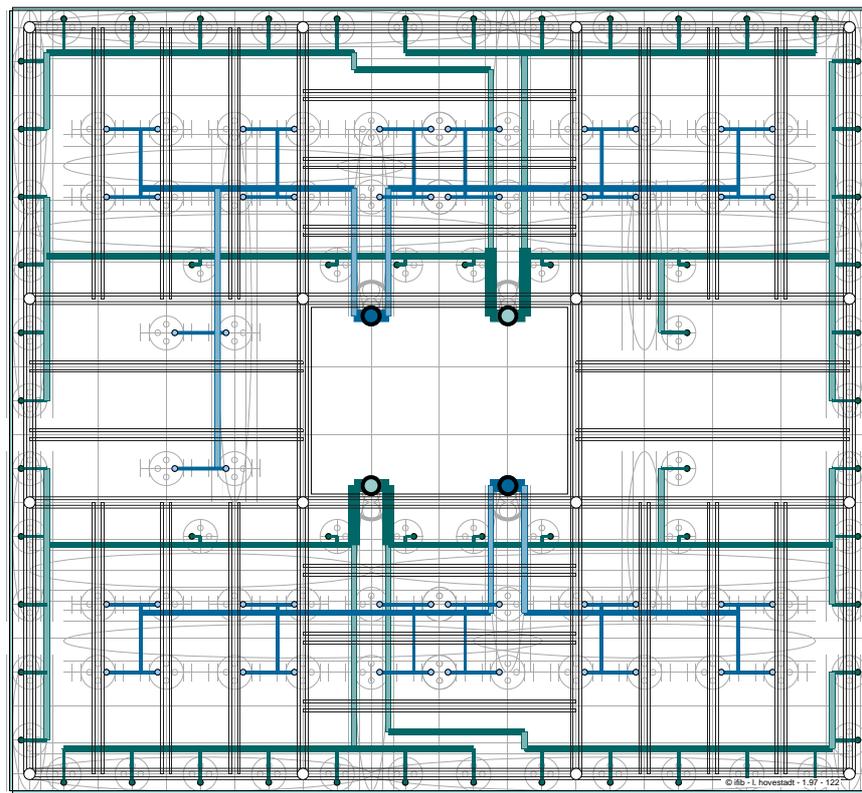
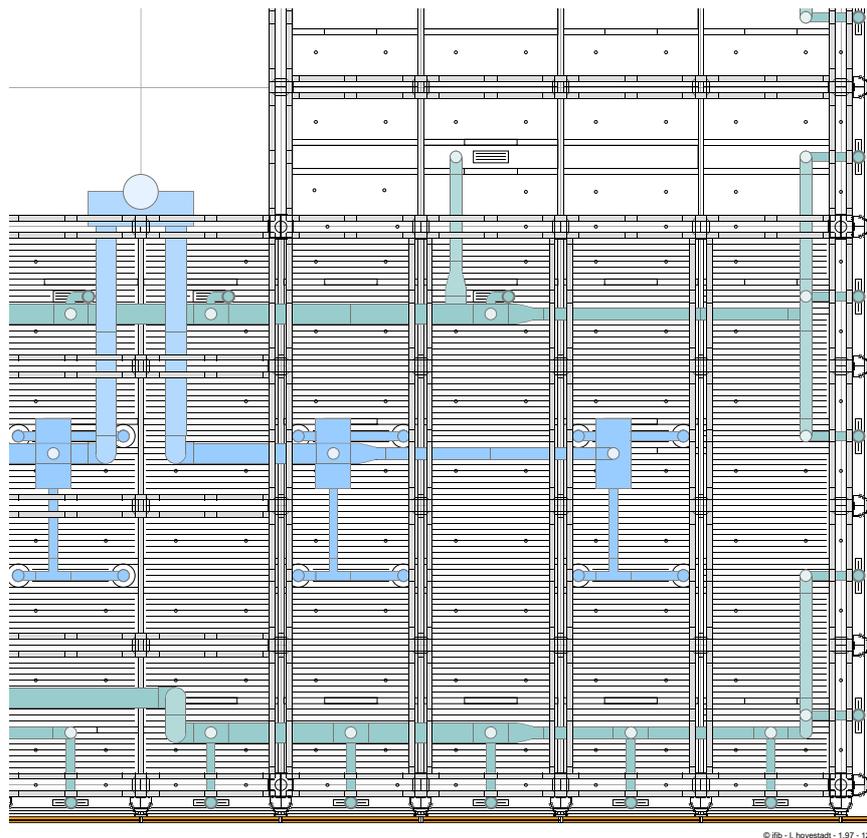


Bild 3.6:
Hüllenplanung der Zu- und Abluftsysteme (Stämme, Astleitungen, Anschlußbereiche)

Hüllenplanung

Im folgenden Planungsschritt, der sog. Hüllenplanung, werden jedem technischen System innerhalb des in der Linienplanung definierten Bereiches ein konkreter Raum, d.h. eine konkrete Trasse zugewiesen. In der Hüllenplanung wird dabei zwischen Astleitungsplanung und Zweigleitungsplanung unterschieden. Die Astleitungsplanung beschreibt die horizontale Verbindung der Stammleitung mit einem Anschlußbereich, die Zweigleitungsplanung die Verbindung der Astleitung innerhalb des Anschlußbereiches mit dem konkreten Ort des Geräteanschlusses.

Waren in der Linienplanung noch Kollisionen der verschiedenen Systeme des Gebäudes zulässig, sind diese in der Detaillierungsstufe der Hüllenplanung nicht mehr erlaubt. Die Systeme, d.h. die ihnen zugewiesenen räumlichen Trassen, müssen zum Abschluß dieser Planungsphase definitiv räumlich aufeinander abgestimmt sein.

**Bild 3.7**

Elementierungsplanung der Zu- und Abluftsysteme (Stämme, Astleitungen, Anschlußbereiche)

Elementierungsplanung

Die letzte Planungsstufe ist die Elementierungsplanung. Innerhalb der für die Leitungssysteme in der Hüllenplanung reservierten Räume werden die einzelnen Formstücke in ihren wahren physikalischen Abmessungen angeordnet. Die Elementierungsplanung entspricht somit in ihrem Detaillierungsgrad der Ausschreibungsplanung. Aufgrund der Elementierungsplanung wird ein Formstückplan erstellt, der, ideale Rahmenbedingungen bei der Ausführung voraussetzt, exakt dem physischen Gebäude entspricht.

Mit dem Operationsmodell erweitert das Installationsmodell armilla die Qualität von Gebäudebaukästen. Diese Qualität liegt ursprünglich in den im Verhältnis zu konventionellen Gebäuden gut aufeinander abgestimmter Baukomponenten begründet. Definierte Abmessungen und Schnittstellen dieser Baukomponenten machen Gebäudebaukästen innerhalb des durch die Anordnungsregeln definierten Rahmens flexibel konfigurierbar.

Das Operationsmodell führt nun abstrakte Beschreibungen von Baukomponenten ein, die auf ihren Beschreibungsstufen ebenfalls genau diesen charakteristischen Eigenschaften von Komponenten eines Gebäudebaukastens folgen. Die Beschreibungen verfügen

über definierte Abmessungen und Schnittstellen. Auf jeder Planungsstufe (Linien-, Hüllen-, Elementierungsplanung) bestimmen adäquate Anordnungsregeln das Layout und die Abstimmung der Beschreibungen untereinander (Anordnungsmodell). Über den Planungsfortschritt werden die Beschreibungen schrittweise detailliert, koordiniert und in die physische Baukomponenten überführt.

Das Operationsmodell arbeitet also mit Abstraktionen, die jede für sich räumliche Komponenten sind. Die Komponente „Linie“ wird in die Komponente „Hülle“ detailliert. Diese wird anschließend in die Komponente „Element“ und schließlich in eine physische Baukomponente übertragen.

Das Beispiel des Installationsmodells armilla macht also deutlich, daß Gebäude von der ersten Planungsstufe an komponentenbasiert modelliert werden können. Die komponentenbasierte Modellierung des Installationsmodells führt schließlich dazu, daß alle Systeme eines Gebäudes als Gebäudebaukasten, d.h. als gut aufeinander abgestimmte Gebäudekomponenten ausgebildet werden können.

3.1.4 Der räumliche Komponentenbegriff als allgemeines Modellierungskonzept

Das Installationsmodell armilla bildet seit Jahren die Anwendungsdomäne für Forschungsprojekte am Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe [76]. Ziel dieser Forschungsprojekte ist es die Planungen des Installationsmodells durch den Einsatz von Computern zu unterstützen [6][31][32][36][64][65][98][115]. In der Folge entstanden Arbeiten, die das Installationsmodell armilla zu einem allgemeinen Modellierungskonzept für die umfassende Computerunterstützung aller Aspekte des architektonischen Planungs- und Bauprozesses, dem sog. „A4-Modell“ verallgemeinerten [67][68].

Das **A4-Modell** basiert wie das Installationsmodell armilla und die Gebäudebaukästen auf einem räumlichen Komponentenbegriff. Um die Vielschichtigkeit des Planungs- und Bauprozesses mit diesem räumlichen Komponentenbegriff abbilden zu können, wurde der Begriff der räumlichen Komponente um weitere entscheidende Aspekte wie Sichten, Maßstäbe und Versionen erweitert. Diese Aspekte werden als zusätzliche Dimensionen modelliert. Sie spannen einen sog. **vieldimensionalen Datenraum** auf. Anhaltspunkt für die Auswahl der Dimensionen gibt das Installationsmodell armilla, das bereits über das Planungsmodell eine zusätzliche Unterscheidung der Komponenten in Abstraktionsstufen zur Abbildung des Planungsfortschrittes verwendet. Die Unterscheidung der Abstraktionsstufen wird im A4-Modell beispielsweise durch die Dimension Auflösung abgebildet.

Alle Komponenten des Planungs- und Bauprozesses können im Datenraum als vieldimensionale räumliche Komponenten, den sog. **Containern** eindeutig abgebildet werden. Die Position ermöglicht eine deutliche Abgrenzung der Container nach planungs- und baurelevanten Kriterien. Entsprechend bestimmen Begriffe wie Nachbarschaften und Kollisionen das Verhältnis der Container untereinander.

Das A4-Modell verkapselt innerhalb der vieldimensional räumlichen Grenzen der Container neben Attributen auch Funktionalitäten. Neben Daten können so auch Programme als Container im Datenraum einheitlich modelliert werden.

3.1.4.1 Die Dimensionen des A4-Modells

Ausgehend von der grundlegenden Konzeption des Datenraumes wurde dieser im Rahmen der Projekte ArchE [94][69] und FABEL [39] weiterentwickelt und auf folgende Dimensionen spezifiziert:

Der Datenraum unterscheidet kontinuierliche und diskrete Dimensionen, je nach der Art ihrer Wertebelegungen.

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. x | (kontinuierlich) |
| 2. y | (kontinuierlich) |
| 3. z | (kontinuierlich) |
| 4. t (Zeit) | (kontinuierlich) |
| 5. tt (timetag) | (kontinuierlich) |
| 6. Teilsystem | (diskret) |
| 7. Morphologie | (diskret) |
| 8. Auflösung | (diskret) |
| 9. Größenordnung | (diskret) |
| 10. Nutzer | (diskret) |
| 11. Komposition | (diskret) |

Die Dimensionen im einzelnen:

Die geometrischen Dimensionen

Die geometrischen Dimensionen beschreiben die drei physikalisch-räumlichen Achsen x , y und z . Ihre Wertebelegung bestimmt die räumliche Gestalt der Container im Datenraum. Diese Gestalt ist die Grundlage für ihre Visualisierung.

Die Dimension Zeit

Die Dimension Zeit ist die Achse der bauteilrelevanten Zeit. Auf ihr läßt sich der Zeitraum beschreiben, in dem ein Container für den Planungs- bzw. Gebäudekontext von Bedeutung ist. Die Belegung der Dimension Zeit wird als Wertebereich (t, dt) dargestellt. Davon bezeichnete t den Anfangszeitpunkt, z.B. den Montagezeitpunkt des durch den Container repräsentierten Bauteils, und dt den Endzeitpunkt, also der Zeitpunkt seiner geplanten Demontage.

Vergleichbare Instrumente aus der klassischen Bauplanung mit einer ähnlichen organisatorischen Funktionalität wie die Dimension Zeit sind Balkendiagramme und Netzpläne.

Die Dimension timetag

Die Dimension timetag beschreibt die planungsrelevante Zeit. Container erhalten auf ihr einen Anfangszeitpunkt t , für den Zeitpunkt, an dem sie erzeugt wurden, sowie einen Endzeitpunkt dt , für den Zeitpunkt, an dem sie aus dem Planungszusammenhang gelöscht werden.

Wird ein Container modifiziert, wird der ursprüngliche Container aus dem aktuellen Planungszusammenhang gelöscht, d.h. mit einem Endzeitpunkt versehen, der modifizierte Container wird als neuer Container mit Anfangszeitpunkt in den aktuellen Planungszusammenhang eingefügt. Die gemeinsame Position auf der Dimension Komposition gewährleistet die semantische Verknüpfung der Container über die Planungsänderungen hinweg.

Ein einmal erzeugter Container wird also nie aus dem Datenraum, sondern nur aus dem aktuellen Planungszusammenhang heraus gelöscht. Die Dimension timetag dokumentiert also die Planungsgeschichte. Entsprechend lassen sich Mechanismen wie das Rücksetzen von Planungsentscheidungen über die Dimension timetag realisieren.

Die Dimension Teilsysteme

Entsprechend den verschiedenen Gewerken oder den verschiedenen technischen Systemen eines Gebäudes kann ein Bauprozeß in verschiedene Teilsysteme gegliedert werden. Teilsysteme werden in der Regel von unterschiedlichen Fachleuten betreut. Beispiele sind Rohbau, Möblierung, Beleuchtung, elektrische Versorgung, Klimatechnik etc. Teilsysteme bestimmen die verschiedenen Sichten auf den Bauprozeß.

Die Dimension Teilsysteme ist eine diskrete Achse. Ihre Belegungen sind keine Wertebereiche sondern Punkte.

Die Dimension Morphologie

Die Dimension Morphologie beschreibt den Zweck einer Planung, der über die Zeit wechseln oder sogar zu einem bestimmten Zeitpunkt mehrdeutig sein kann. Auf der Morphologieachse werden drei verschiedene diskrete Werte verwendet:

- **Nutzung**
Nutzungen bezeichnen Anforderungen an einen räumlichen Bereich, beispielsweise ob es sich um einen Wohnbereich handelt.
- **Ausstattung**
Ausstattungen bezeichnen räumliche Bereiche baulicher und/oder technischer Ausstattungen, um die Nutzungen zu ermöglichen.
- **Verbindung**
Verbindungen bezeichnen räumliche Bereiche baulicher und/oder technischer Systeme, die die Ausstattungen ver- oder entsorgen.

Die Dimension Auflösung

Mit der Dimension Auflösung läßt sich die Genauigkeit einer Planung beschreiben. Sie reicht von der vagen Skizze bis zur exakten Ausführungsplanung, also von umschreiben, ungenauen Darstellungen bis hin zu genauen Detaillierungen. Der Übergang von der vagen zur exakten Planung entspricht in etwa dem groben architektonischen Planungsverlauf, der auch durch die Planungsphasen der HOAI beschrieben wird. Auf der Auflösungsachse werden drei verschiedene Auflösungsgrade, also diskrete Werte, unterschieden:

- **Zonen**
Zonen bezeichnen räumliche Bereiche, die übergroß sind und sich als noch verhältnismäßig freizügig planbare Spielräume gegenseitig überlagern und durchdringen können. Sie werden im A4-Modell als Ellipsen und Freiformflächen dargestellt.
- **Hüllen**
Hüllen bezeichnen räumliche Bereiche, die im Gegensatz zu den Zonen minimal groß sind und exklusiv Raum für einen bestimmten Zweck reservieren. Sie werden als Rechtecke oder Polygone dargestellt. Überlagerungen von Hüllen bezeichnen eindeutige Konfliktsituationen.
- **Teile**
Teile bezeichnen Container, die nicht weiter bearbeitet werden sollen. Sie können deshalb so dargestellt werden, wie sie in der Realität sind.

Eine Planung wird in der Regel mit sehr stark überdimensionierten Zonen beginnen, die im Verlaufe der Planung schrittweise bis zu den Hüllen und anschließend den Teilen präzisiert werden. Zonen, Hüllen und Teile in ihrer Abfolge entsprechen im Installationsmodell armilla der Linien-, Hüllen- und Elementierungsplanung.

Die Dimension Größenordnung

Die Dimension Größenordnung bezeichnet Container einer Planung, die relativ unabhängig voneinander sind.

Beispielsweise ist die Gestaltung eines Türgriffs relativ unabhängig von der Gestaltung der Tür. Diese wiederum ist unabhängig von der Nutzung und Möblierung des Raumes, die wenig mit dem Grundrißlayouts des Geschosses zu tun hat. Das Geschoß ist wieder unabhängig von der Anordnung des Gebäudes auf dem Gelände usw..

Das A4-Modell bezeichnet vor diesem Hintergrund vier verschiedene Größenordnungen:

- **Größenordnung 2**
Alle Container, die ein Gebäude beeinflussen.
- **Größenordnung 4**
Alle Container, die ein Geschoß beeinflussen.
- **Größenordnung 6**
Alle Container, die sich mit einem Ausschnitt eines Geschosses befassen (z.B. ein Raum).
- **Größenordnung 8**
Alle Container, die die Umgebung innerhalb eines Raumes bestimmen.

Die Dimension Nutzer

Die Dimension Nutzer dient der Kennzeichnung verschiedener am Entwurf beteiligter Planer. Sie hat als diskrete Werte die an der Planung beteiligten Planer. Diese Achse ist die Basis zur Darstellung von multi-user Umgebungen im Datenraum.

Die Dimension Komposition

Die Dimension Komposition dient dazu, Container zu Bedeutungseinheiten zusammenzufassen. Beispielsweise erhalten die verschiedenen Abstraktionen eines Bauteils, die jeweils als eigenständige Container modelliert sind, auf der Dimension Komposition den gleichen Wert. Dies ermöglicht es die Container einander zuzuordnen und damit das Bauteil über seine planerische Entwicklung hinweg im Datenraum zu verfolgen.

3.1.4.2 Die Interaktion und Navigation im A4-Modell

Das A4-Modell beschreibt die Interaktion der Container analog zum räumlichen Komponentenbegriff über **Kollisionen**. Container können im Datenraum interagieren, wenn sie miteinander kollidieren, bzw. sich ihre vieldimensional räumlichen Bereiche überschneiden. Der Begriff der Kollision wird also durch den erweiterten Komponentenbegriff ebenfalls erweitert betrachtet.

Der Begriff der Kollision wird für die einzelnen Dimensionen des Datenraumes unterschiedlich definiert:

Tabelle 3.8

Beschreibung der Kollisionen für die einzelnen Dimensionen des Datenraumes [67]

Dimension	Wertebereich	Position	Kollision
x,y,z	Intervalle	Intervall	Überlagerung von Intervallen
t, tt	Intervalle	Intervall	Überlagerung von Intervallen
Teilsystem	Menge	Element der Menge	gleiches Element
Morphologie	Menge	Element der Menge	gleiches Element
Auflösung	geordnete Liste	Element der Liste	gleiches Element
Größenordnung	geordnete Liste	Element der Liste	gleiches Element
Nutzer	Menge	Element der Menge	gleiches Element
Komposition	Menge	Element der Menge	gleiches Element

Ein Beispiel einer Funktionalität, welche mit Kollisionen realisiert wird, ist die Navigation eines Planers oder Nutzers durch den Datenraum:

Der Betrachtungs- bzw. Bearbeitungsausschnitt eines Planers innerhalb des Datenraumes wird als Container, dem sog. **Navigator**, dargestellt. Ein Planer navigiert durch den Datenraum, indem er die Position seines Navigators verändert und ihn mit den anderen Containern des Datenraumes in Kollision bringt. Die Kollisionsmenge bestimmt die Menge der Container mit der der Planer interagieren kann und damit seine Sicht auf den Datenraum. Navigation durch den Datenraum bedeutet also, den Betrachtungsausschnitt, bzw. die Sicht innerhalb des mehrdimensionalen Datenraumes zu bewegen. Hierbei muß, wie in der Realität, eine alte Position verlassen werden, um eine neue einzunehmen.

Die Interaktion mehrerer Personen im Datenraum wird ebenfalls über Kollisionen geregelt. Mehrere Personen können nur dann miteinander kommunizieren, wenn sich ihre Betrachtungsausschnitte vieldimensional räumlich überlappen.

Ein weiteres Beispiel ist die Interaktion von Softwarekomponenten. Die Funktionalität von Softwarekomponenten kann innerhalb eines Containers gekapselt werden. Softwarekomponenten können miteinander interagieren, wenn sich ihre Container im Datenraum überlappen. Das gleiche gilt für Daten, die als Container gekapselt sind. Diese können von Softwarekomponenten gelesen werden, wenn sich ihre Container überlagern. An diesem Beispiel wird deutlich, daß die Interaktion von Containern im A4-Modell mit Konzepten visueller Programmiersprachen und komponentenbasierter Software korreliert.

3.1.4.3 Die besonderen Qualitäten des A4-Modells

Die besonderen Qualitäten des A4-Modells für die Modellierung des architektonischen Entwurfsprozesses werden ausführlich in [67] und [68] beschrieben. Zusammenfassend lassen sich folgende Kernbereiche identifizieren:

Das A4-Modell ist ein flach strukturiertes Datenmodell, das aus nur einer Klasse, den sog. Containern besteht. Ziel dieser flachen Datenstruktur ist es, möglichst alle Elemente des Planungs- und Bauprozesses in Form von Daten, Werkzeugen und Personen einheitlich in einem vieldimensionalen Datenraum zu positionieren. Die Position dieser Container soll dabei Unterscheidungen nach den für architektonische Entwurfsprozesse relevanten Kriterien, wie raum-zeitliche Zusammenhänge, Sichten, Abstraktionen und Aspekte ermöglichen. Die Positionierung eines Elementes erfolgt über eine entsprechende Attributierung, die aus der Klasse der Container geerbt wird.

Das A4-Modell verfolgt ein bereichsorientiertes Konzept. Räumliche Bereiche bestimmen zum einen die Position eines Containers im Entwurfskontext, zum anderen beschränken sie seinen Gültigkeitsbereich: Planer können nur in dem durch ihren Navigator umschriebenen Bereich handeln, Softwarekomponenten sind in ihrem Wirkungsbereich auf ihren vieldimensional räumlichen Bereich beschränkt. Diese Bereichsorientiertheit ist insbesondere in einem vielschichtigen und kooperativen Entwurfsprozeß nützlich, bei dem es viele nebenläufige Aktivitäten gibt. Die Bereichsorientiertheit schränkt also die Komplexität des für einen Planer oder ein Softwarewerkzeug „sichtbaren“ Entwurfskontextes ein.

Zentraler Aspekt der Modellierung ist die umfassende Visualisierung aller Container. Ausgehend vom räumlichen Komponentenbegriff haben alle Container im Datenraum eine räumliche Gestalt, die über die Belegung der geometrischen Dimensionen bestimmt wird. Diese wird durch eine zeitliche Gültigkeit der Container ergänzt. Der zeitliche Gültigkeitsbereich eines Containers wird mit seiner Eingabe in den Datenraum automatisch erzeugt. Er wird über die Dimension *timetag* modelliert.

Die räumlichen und die zeitliche Dimension des Datenraumes werden als „notwendige Dimensionen“ bezeichnet. Die Belegung der anderen Dimensionen ist optional und kann mit sog. „wildcards“ erfolgen.

Die umfassende Visualisierung aller Container im A4-Modell hat das Ziel, alle Vorgänge gerade in einer kooperativen, mit unterschiedlichen Softwarewerkzeugen, Planern und Nutzern angereicherten Datenumgebung auf einer gemeinsamen graphischen Benutzungsschnittstelle sichtbar zu machen. Die Visualisierung erleichtert die menschliche Interaktion mit den Daten- und Programmstrukturen, das einfache Auffinden von Inkompatibilitäten in diesen Strukturen, sowie überhaupt die Navigation in unbekanntem oder sehr komplexen Umgebungen. Diese integrativen Qualitäten der Visualisierung

wurden bereits in Kapitel 2.5.4.4 dargestellt. Darüberhinaus trägt die umfassende Visualisierung dem Sachverhalt Rechnung, daß die Planung von Gebäuden ein kreativer Prozeß ist, bei dem Imaginationen eine entscheidende Rolle spielen. Imaginationen werden, wie in jedem Designprozeß, durch Visualisierungen in entscheidendem Maße initiiert und transportiert.

Durch die Fähigkeit, alle Elemente des Planungs- und Bauprozesses innerhalb eines gemeinsamen Datenraumes einheitlich abbilden zu können, bekommt das A4-Modell das Potential eines **Integrationsmodells**. Dabei sind die Abbildungen der Elemente als Container im Datenraum zunächst schwach strukturiert. Im Zuge des Planungsfortschritts werden die Container schrittweise detailliert und können mit externen, stärker strukturierten Modellen mit entsprechender Funktionalität verknüpft werden. Dieses Konzept einer schrittweisen Erweiterung des A4-Modells, von einem schwach strukturierten Datenmodell hin zu einem vollständigen stark strukturierten Gebäudeproduktmodell, wurden im Projekt ArchE entwickelt. Die Konzepte und Implementationen hierzu werden in Kapitel 4 vorgestellt.

Die schrittweise Strukturierung der Planungsmodelle entspricht dem natürlichen Entwurfsvorgang. Entwurfsspielräume, die zu Beginn des Entwurfes noch breit und notwendig existieren, werden im Laufe des Entwurfes durch Entwurfsentscheidungen schrittweise eingeschränkt.

Das A4-Modell mit dem Konzept der schrittweisen Eingliederung von externen Modellen antwortet also auf die Rahmenbedingungen von Entwurfsvorgängen und schränkt die Eigenarten des individuellen Entwurfes kaum ein. Es begegnet damit den Anforderungen und Rahmenbedingungen von Designprozessen mit ihrer „open-world-assumption“.

3.1.5 Informationsgebäude : Die Gebäudemetapher als Integrationsmodell

Der räumliche Komponentenbegriff der Gebäudemetapher zieht sich also durch alle drei Wahrnehmungsmodelle von Gebäuden, die räumliche, die konstruktive und die planerische Sicht. Zentrale Idee dieser Arbeit ist es diesen Komponentenbegriff auf alle informationstechnischen Modelle der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung als Integrationsmodell einheitlich aufzuprägen. Die Modelle werden im Sinne der räumlichen und konstruktiven Sicht zu Virtuellen Räumen und Virtuellen Baukomponenten, die sich zu Virtuellen Gebäuden und Virtuellen Gebäudestrukturen aggregieren. Die planerische Sicht prägt diesen Strukturen schließlich die Begriffe der architektonischen Planung auf. Begriffe wie Planungsfortschritt, Sichten, Versionen, Maßstäbe, Abstraktionen und Darstellungstechniken dienen dazu auch die Modellierung der informationstechnischen Strukturen zu beschreiben.

Durch die Gebäudemetapher werden also informationstechnische Strukturen der physischen Realität vergleichbar „erfahrbar“ und „planbar“. Sie lassen sich in den physischen Gebäudekontext als Virtuelle Gebäudestrukturen homogen integrieren. Eine Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung von physischen und informationstechnischen Gebäudestrukturen wird gleichermaßen durchgehend möglich. Derartig erweiterte durchgängig benutzbare Gebäude werden im folgenden **Informationsgebäude** genannt.

Eine Realisierbarkeit dieser Integrationsidee wurde bereits an mehreren Aspekten verdeutlicht:

Das A4-Modell bietet als Integrationsmodell eine einheitliche komponentenbasierte Modellierung für alle Elemente des architektonischen Entwurfes. Es kapselt neben Daten- auch Programmstrukturen als Container mit definierten Schnittstellen innerhalb eines vieldimensionalen Datenraumes. Die Struktur des Datenraumes ermöglicht dabei die Unterscheidung der Container nach entwurfsrelevanten Kriterien. Daten- und Programmstrukturen werden insbesondere über das Instrument der Kollision miteinander in Beziehung gesetzt und zu „Gebäudestrukturen“ zusammengefügt. Die Planung von Containern im Datenraum wird erweitert um den Begriff ihrer visuellen Programmierung. Die Systematik des Installationsmodells *armilla*, das dem A4-Modell zugrundeliegt, gewährleistet dabei, daß die auf dieser Grundlage modellierten Gebäude, als komponentenbasierte Gebäude beispielsweise als Gebäudebaukästen ausgebildet werden können.

Dieser im A4-Modell abgebildete räumliche Komponentenbegriff trifft sich mit entsprechenden Konzepten der Informationstechnik. Hier wurde bereits der Modulbegriff der komponentenbasierten und objektorientierten Modelle mit den Begriffen „Kapselung“, „eindeutiger Bezeichner“ und „definierte Schnittstellen“ (vergl. Kapitel 1.7.4) sowie verschiedene Konzepte visueller Programmiersprachen und komponentenbasierter Software beschrieben. An den letztgenannten Beispielen wird deutlich, wie visuell-räumliche Attribute in den informationstechnischen Modulbegriff einfließen können und wie eine durchgängige Metapher sowohl die Interaktion des Nutzers und Programmierers mit dem System als auch die Interaktion der Daten, Objekte und Softwaremodule untereinander bestimmen kann.

Vor diesem Hintergrund erscheint es möglich die Gebäudemetapher als Integrationsmodell umzusetzen. Das zentrale Konzept für diese Arbeit bietet dabei das A4-Modell. Es wird im folgenden weiter im Zusammenhang mit der Idee der Gebäudemetapher illustriert und ist auch Gegenstand der Implementierung in Kapitel 4.

3.2 Die Ebenen des Informationsgebäudes

Um die Struktur von Informationsgebäuden zu verdeutlichen, werden im folgenden seine Komponenten klassifiziert und verschiedenen Ebenen zugeordnet.

3.2.1 Die Ebene der Realität

Die Ebene des physischen Gebäudes bezeichnet den physischen Teil des Informationsgebäudes. Er umfaßt alle physischen Gebäudekomponenten, wie Baukomponenten und Räume, die zu den anderen Ebenen des Informationsgebäudes, also zu den Virtuellen Strukturen, in einer Abbildungsbeziehung stehen. Die Ebene des physischen Gebäudes bezeichnet also alle physischen Komponenten, die allgemein in die Planungsleistung der Architekten und Ingenieure fallen und montiert und abgerechnet werden, darüberhinaus alle Komponenten, die in Facility Management Systemen verwaltet und mit Systemen der Gebäudeautomation gesteuert und geregelt werden. Neben den Baukomponenten und Räumen eines Gebäudes gehören zur Ebene der Realität also auch die in Gebäuden als Planer, Verwalter, Steuerer und Nutzer einbezogenen Personen und ihre technischen Ausstattungen.

3.2.3 Die Ebene der Virtualität

Die Ebene der Virtualität bezeichnet den virtuellen Teil des Informationsgebäudes, dessen Gestalt und damit „Erfahrbarkeit“ durch eine Gebäudemetapher bestimmt ist. Diese Gestalt wird den informationstechnischen Modellen der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung, also den Daten- und Programmstrukturen und den Modellen der Benutzerinteraktion einheitlich aufgeprägt. Entsprechend entstehen virtuelle räumliche Komponenten, die die Gestalt von Baukomponenten oder Räumen erhalten. Sie werden als Virtuelle Baukomponenten und Virtuelle Räume, ihre Aggregationen als Virtuelle Gebäudestrukturen und Virtuelle Gebäude bezeichnet. Auch Personen können in dieser Virtualität abgebildet werden. Sie erhalten entsprechend der Gebäudemetapher Personenrepräsentanten (Avatare [139]), die sich in ihrer Gestalt in die anderen Virtuellen Strukturen des Informationsgebäudes einfügen.

Ein großer Teil der Daten rund um die Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung von Gebäuden hat räumliche Bezüge. Hierzu zählen offensichtlich alle ikonisch-graphischen Modelle der Planung und Ausführung, wie räumliche Darstellungen von Bauteilen, Räumen und Funktionsbereichen. Diese Modelle können bruchlos in die Virtualität des Informationsgebäudes integriert werden.

Andere Abbildungen, wie beispielsweise textliche Beschreibungen von Bauteilen in einem Facility Management System oder Softwarekomponenten, haben von sich aus keine geometrischen Abmessungen oder einen geometrischen Ort, an dem sie sich „natürlicherweise“ befinden. Erst über die Gebäudemetapher erhalten sie eine räumliche Gestalt, die sie in die Virtualität des Informationsgebäudes räumlich einfügt. Idealerweise

folgt die Gestalt und Position der Virtuellen Komponente dabei dem Kontext, in dem die entsprechende textliche Beschreibung oder Softwarekomponente steht. Der textlichen Beschreibung werden die Attribute des Bauteils aufgeprägt, auf das sich die Beschreibung bezieht. Die Softwarekomponente, z.B. ein Druckertreiber, wird an dem geometrischen Ort innerhalb der Virtualität des Informationsgebäudes plaziert, an dem sich der zugehörige physische Drucker in der Realität befindet. Ein anderes Beispiel ist das Benutzungsschnittstellen einer Jalousiensteuerung. Diese Komponente wird in der Virtualität des Informationsgebäudes natürlicherweise an dem geometrischen Ort der Fensterlaibung lokalisiert. Die Virtuelle Komponente ersetzt dort gegebenenfalls den sonst üblichen physischen Schalter.

Insbesondere im Bereich der Nutzung von Gebäuden ist der zwanghaft räumliche Bezug zu einem existierenden physischen Gebäude nicht erforderlich. Es erscheint sinnvoller, die Gestalt eines Gebäudes als Metapher aus den spezifischen Anforderungen der Komponenten heraus zu entwickeln. Es entsteht so die Vorstellung eines imaginären Gebäudes, in dessen räumlichen Kontext die Komponenten angeordnet werden.

Ein Anwendungsbeispiel für Modelle, die sich an einem imaginären Gebäude orientieren, sind Benutzungsschnittstellen für eine Virtuelle Bibliothek. Diese Schnittstellen haben von sich aus keinen räumlichen Bezug, verwenden die Metapher eines imaginären Gebäudes jedoch, um einen intuitiven Zugang zu den Medien der Bibliothek zu verschaffen (vergl. Kapitel 2.4).

Ein anderes Beispiel sind sog. „Virtuelle Projektbüros“ [74][46][47]. Die Projektarbeit einer Arbeitsgruppe wird innerhalb Virtueller Räume organisiert. Die Architektur des imaginären Gebäudes spiegelt die Struktur der Arbeitsgruppe bzw. der Projektarbeit wider. Die physischen Personen und Ressourcen, die in diesen imaginären Räumen abgebildet werden, können sich an unterschiedlichen physikalischen Orten befinden und zu unterschiedlichen Zeitpunkten tätig sein. Die virtuelle Ebene wird zu einer Integrationsebene für Virtuelle Organisationen, die räumlich und zeitlich verteilte physische Orte mit ihren Personen und Ressourcen mit Virtuellen Strukturen zu einer Einheit verknüpft. Im Gegensatz zur physischen Ebene sind die Personen, Räume und Ressourcen in ihren Virtuellen Strukturen stabil und jederzeit identifizier- und ansprechbar.

Innerhalb der Virtualität des Informationsgebäudes kann man also sinnvollerweise zwei verschiedene Metaphern unterscheiden:

Die eine Metapher folgt der Gestalt des physischen Gebäudes. Die Virtuellen Komponenten bilden ein Virtuelles Gebäude, das in seiner Gestalt, seiner Präsenz und Ergonomie dem physischen Gebäude ähnelt. Interaktions- und Navigationsmuster, die aus dem physischen Gebäude bekannt sind, lassen sich auf die Interaktion und Navigation mit und durch das Virtuelle Gebäude übertragen. Die Virtuellen Komponenten können in den räumlichen Kontext des physischen Gebäudes homogen integriert werden und dort

sogar physische Baukomponenten ersetzen. Diese Virtualität des Informationsgebäudes wird im folgenden **Virtualität unter der Metapher des physischen Gebäudes** genannt.

Die zweite Metapher folgt der Gestalt imaginärer Gebäude. Imaginäre Gebäude bezeichnen Gebäude, die in ihrer Gestalt der allgemeinen Vorstellung von Gebäuden entsprechen. Bekannte Interaktions- und Navigationsmuster aus dem Bereich der Architektur können also auch auf diese Virtuellen Gebäude übertragen werden, um auch diese Ebene intuitiv und ergonomisch zu visualisieren. Die imaginären Virtuellen Gebäude erweitern das Informationsgebäude in Richtung zu Virtueller Gebäudekomplexe. Die Gebäude-metapher dehnt sich entsprechend auf Begriffe wie die Stadt und die Landschaft aus (vergl. Kapitel 2.5.4.4). Im Gegensatz zu Virtuellen Gebäuden unter der Metapher des physischen Gebäudes lassen sich derartige imaginäre Virtuelle Gebäude nicht homogen in den physischen Gebäudekontext integrieren. Sie erweitern und ergänzen vielmehr das physische Gebäude um neue Architekturen. Diese imaginäre Virtualität des Informationsgebäudes wird im folgenden **Virtualität unter der Metapher imaginärer Gebäude** genannt.

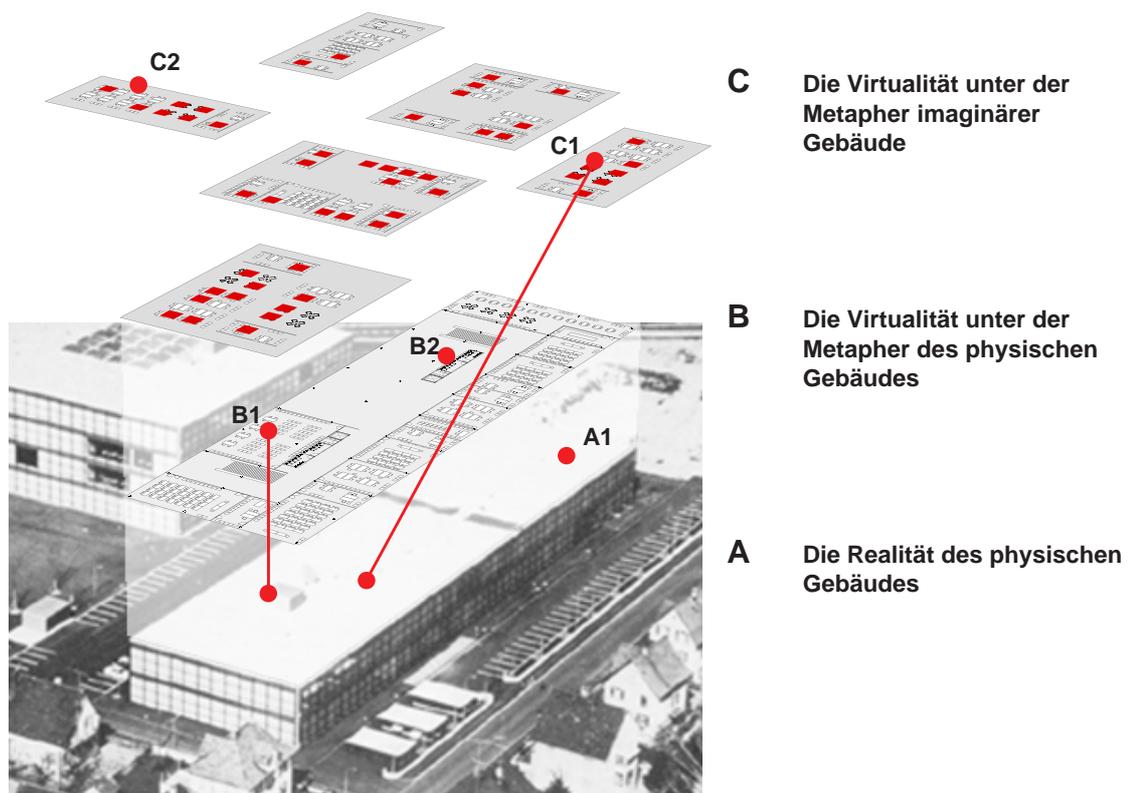


Bild 3.9

Die Ebenen und Komponenten des Informationsgebäudes

A Die Ebene des physischen Gebäudes

A1 die Komponenten des physischen Gebäudes

Beispiele sind Räume, Bauteile, Personen etc.

B Die Ebene der Virtualität unter der Metapher des physischen Gebäudes

B1 Modelle physischer Komponenten (Räume, Bauteile, Personen etc.)

Die Komponenten werden in ihrem physischen Gebäudezusammenhang abgebildet.

Ihre Gestalt als Virtuelle Räume, Virtuelle Baukomponenten, Personenrepräsentanten etc. folgt der Architektur des physischen Gebäudes.

B2 andere Modelle (Daten- und Programmstrukturen, Benutzungsschnittstellen)

Diese Modelle werden als Virtuelle Räume und Virtuelle Baukomponenten abgebildet. Ihre Gestalt folgt der Architektur des physischen Gebäudes.

C Die Ebene der Virtualität unter der Metapher imaginärer Gebäude

C1 Modelle physischer Komponenten (Räume, Bauteile, Personen etc.)

Die Komponenten werden in neuen imaginären Gebäudezusammenhängen abgebildet. Ihre Gestalt als Virtuelle Räume, Virtuelle Baukomponenten, Personenrepräsentanten folgt der Architektur imaginärer Gebäude.

C2 andere Modelle (Daten- und Programmstrukturen, Benutzungsschnittstellen)

Die Modelle werden als Virtuelle Räume und Virtuelle Baukomponenten abgebildet. Ihre Gestalt folgt der Architektur imaginärer Gebäude.

3.3 Die Benutzungsschnittstellen des Informationsgebäudes

Der Ebenenwechsel zwischen Realität und Virtualität markiert eine entscheidende Schnittstelle innerhalb von Informationsgebäuden. Über sie werden Reale und Virtuelle Gebäudestrukturen miteinander zu einer Einheit verknüpft. Eine Sicht auf diese Schnittstelle bildet die Sicht der Nutzer. Die einheitliche Modellierung von Realen und Virtuellen Gebäudestrukturen ermöglicht es beide Teilbereiche des Informationsgebäudes gleichermaßen zu benutzen.



Bild 3.10

Das Informationsgebäude

Hierfür werden idealerweise Techniken aus dem Bereich der Augmented Reality verwendet. Über das Medium einer halbtransparenten Datenbrille können im Kontext zur physischen Umgebung entsprechend Virtuelle Gebäudestrukturen eingeblendet werden (s. Kapitel 1.5.1). Virtuelle Gebäudekomponenten bekommen eine den physischen Gebäudekomponenten vergleichbare Präsenz:

Ein virtueller Display fügt sich wie ein Möbelstück in die physische Umgebung ein und erweitert die Funktionalität des Raumes. Ein virtueller Schalter ersetzt sogar einen physischen Schalter.

Die Navigations- und Interaktionsmuster aus der physischen Welt können damit weitgehend auf die virtuelle Welt übertragen. Informationsgebäude bleiben ähnlich benutzbar, wie die vormals rein physischen Gebäude.

Im folgenden werden beispielhaft Ausschnitte eines Informationsgebäudes dargestellt, die verschiedene Aspekte dieser Schnittstelle aus der Sicht der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung beleuchten.

Die Abbildungen wurden zur Veranschaulichung per Hand mit einem CAD-System erstellt. Im Zentrum steht jeweils eine Photographie, die die Sicht eines Betrachters in ein physisches Gebäude darstellt. Diese Sicht wird mit geometrischen Strukturen überlagert, die Virtuelle Komponenten des Informationsgebäudes darstellen. Diese Darstellungen folgen dabei der perspektivischen Einstellung der Photographie. Die Abbildungen simulieren damit mögliche Sichten eines Betrachters mit Hilfe von Techniken der Augmented Reality. Im Gegensatz zu [117] werden die Informationen jedoch nicht flächig sondern perspektivisch richtig in die Sicht des Betrachters eingeblendet. Dieses ist technisch möglich und allein eine Frage des Datenmodells, der Sensortechnik und Rechenleistung. Weitere Entwicklungsstufen liegen in einer Verbesserung der Darstellungsqualität bezüglich geometrischer Komplexität, Farbe und Textur. Endpunkt ist eine Darstellungsqualität, die Virtuelle Gebäudestrukturen, wie Reale Gebäudestrukturen erscheinen läßt.

3.3.1 Die Nutzung

Abbildung 3.11 zeigt eine mögliche Sicht auf die Virtuellen Komponenten einer Fassadensteuerung. Sensoren, Aktoren und Schalter mit entsprechenden Benutzungsschnittstellen zur Bedienung und Kontrolle der Jalousien sind dargestellt und den entsprechenden physischen Orten zugeordnet. Die Komplexität dieser Darstellung orientiert sich dabei an den Anforderungen eines „naiven“ Nutzers. Die Sicht eines Experten wäre entsprechend komplexer und um weitere Virtuelle Komponenten ergänzt. Dies können z.B. Benutzungsschnittstellen zur Programmierung und Simulation sein.

Es ergeben sich also nach einer groben Unterscheidung drei grundlegende Nutzerebenen:

1. die Ebene des Nutzers, der über keine Displaytechniken verfügt, die ihm die Virtuellen Gebäudestrukturen sichtbar machen. Seine Einflußmöglichkeiten auf das Informationsgebäude sind die klassischen physischen über z.B. physische Schalter.
2. die Ebene des naiven Nutzers, der über entsprechende Displaytechniken verfügt. Das Informationsgebäude bietet ihm naive Benutzungsschnittstellen an, die die physische Kontrolle des Gebäudes um virtuelle Interaktionsmöglichkeiten über z.B. virtuelle Schalter erweitern.
3. die Ebene des Experten, der ebenfalls über entsprechende Displaytechniken verfügt. Er hat die vollständige Kontrolle über alle Realen und virtuellen Bereiche des Informationsgebäudes. Seine Planungen und Programmierung bestimmen letztendlich die Gestalt und die Funktionalität des Gebäudes, das der Nutzer auf der ersten Ebene erfährt.



Bild 3.11
Die Sicht eines Nutzers



Bild 3.12
Die Sicht der Montageaufsicht

3.3.2 Die Ausführung

Abbildung 3.12 zeigt eine Sicht in das Informationsgebäude während der Montage bzw. des Umbaus. Die zeitlichen Komponenten des Informationsgebäudes, hier die Montagezeitpunkte der einzelnen Innenwände, werden in den physischen Montagevorgang als Komponenten eingeblendet. Sie koordinieren die Arbeitsschritte und den Materialfluß auf der Baustelle. Die Montage kann anhand virtueller Innenwände simuliert werden. Zur Steuerung der Simulation sind Benutzungsschnittstellen und eine entsprechende Applikation eingeblendet, die räumlich mit den Virtuellen Baukomponenten interagieren. Diese Darstellung ist ein Beispiel für das Zusammenspiel von Personen, Realen und Virtuellen Baukomponenten innerhalb von Informationsgebäuden. Die Virtuellen Baukomponenten bestehen aus Gebäudedaten, Softwarebausteinen und Benutzungsschnittstellen.

3.3.3 Die Projektarbeit

Abbildung 3.13 zeigt eine Sicht in ein Planungsbüro des Informationsgebäudes. Die Arbeitsumgebung eines Mitarbeiters ist um Komponenten angereichert, die Arbeitsprozesse eines Projektes bezeichnen. Die Tätigkeit des Mitarbeiters besteht in diesem Fall in der Programmierung eines Roboterarmes, der mit entsprechenden Visualisierungstechniken in die physische Arbeitsumgebung integriert und dort programmiert und simuliert werden kann. Die für die Interaktion benötigten Softwarewerkzeuge und Benutzungsschnittstellen befinden sich als Virtuelle Komponenten direkt am Arbeitsplatz des Programmierers. Sie fügen sich wie Möbelstücke in den physischen Arbeitsplatz ein. Weitere Aufgaben sind auf einer Aufgabenachse (task axis), wie Layer einer CAD-Zeichnung aufgetragen. Die einzelnen Aufgaben können über die Aufgabenachse schnell gegeneinander ausgetauscht werden und so den Arbeitskontext des Mitarbeiters verändern.

Während die physischen Gebäudestrukturen des Informationsgebäudes weitgehend statisch sind, wechseln die Virtuellen Gebäudestrukturen dynamisch mit dem Arbeitskontext. Das Informationsgebäude ändert mit den Sichten seine Gestalt.

Abbildung 3.14 zeigt eine Sicht in eine Werkstatt des Informationsgebäudes. Die Werkstatt steht in Verbindung zum Planungsbüro aus Bild 3.13. Für die Kommunikation zwischen den Mitarbeitern stehen verschiedene Benutzungsschnittstellen und Softwarebausteine zur Verfügung. Der virtuelle Roboterarm der Planungsabteilung ist ein Repräsentant des physischen Roboterarmes in der Werkstatt. Er kann in die Werkstatt eingeblendet werden und mit Hilfe eines Softwarebausteins die Funktionalitäten, die in der Planungsabteilung programmiert wurden, dem dortigen Mitarbeiter vorspielen. Die Darstellung der Projektarbeit innerhalb von Informationsgebäuden ist ein weiteres Beispiel für das Zusammenspiel von Personen, Realen und Virtuellen Baukomponenten innerhalb von Informationsgebäuden. Mit entsprechenden Visualisierungstechniken können räumlich entfernt befindliche Objekte und Personen in den physischen Arbeitskontext eingeblendet werden (Telepräsenz). Es bilden sich auf der Grundlage von Projekten und Arbeitsprozessen in der Virtualität räumliche Strukturen für Virtuelle Organisationen und Unternehmen aus.



Bild 3.13
Die Sicht auf einen Projektmitarbeiter 1



Bild 3.14
Die Sicht auf einen Projektmitarbeiter 2

3.3.4 Die Planung

Abbildung 3.15 zeigt als Szenario einen kooperativen räumlichen Planungsprozeß. Die Planungsaufgabe besteht darin, vier Toiletten und 2 Waschbecken über Zweig- und Astleitungen mit den Stammleitungen eines Bürogebäudes zu verbinden. Die Leitungssysteme sollen in der Systematik des Installationsmodells armilla angeordnet werden. Drei Personen sind mit ihren Repräsentanten in die Planungsumgebung integriert. Dies sind zum einen zwei Fachplaner, die über ihre Virtuellen Komponenten die Planungsaufgabe telematisch diskutieren, zum anderen ist dies der Betrachter der Abbildung selbst. Er ist ebenfalls in die Planungsumgebung als Virtuelle Komponente integriert. Natürlicherweise kann er sich selber jedoch nicht sehen. Seine Gestalt ist vielmehr die Abbildung selbst, die seinen Betrachtungsausschnitt auf die Planungsumgebung formuliert.

Die Planung der Leitungssysteme wird durch verschiedene Softwarewerkzeuge unterstützt, die als räumliche Komponenten innerhalb der Planungsumgebung selbst angeordnet werden. Ihre Funktionalität beschränkt sich dabei auf ihre räumliche Gestalt als ihren Gültigkeitsbereich. Dieses Szenario greift damit die Modellierung des A4-Modells mit seiner Verkapselung von Attributen und Funktionalitäten sowie den Mechanismen der räumlichen Interaktion und Navigation auf. (s. Kapitel 3.1.4).

Zur Veranschaulichung sind drei verschiedene Werkzeuge in die Planungsumgebung integriert. Die Auswahl und Darstellung korrespondiert mit den Implementierungen in Kapitel 4.

Nutzergesteuertes Planungswerkzeug (s. Bild 3.15 „tool“).

Dieses Werkzeug ist nutzergesteuert, d.h. seine Funktionalität wird vollständig durch einen Nutzer bestimmt. In der dargestellten Planung handelt es sich um ein Anordnungswerkzeug, welches die Anordnungsregeln von armilla in Form einer Schablone in die Planung einbringt. Mögliche Funktionalitäten dieser Schablone, wie beispielsweise Fangpunkte eines Rasters, bleiben auf die räumlichen Abmessungen des Werkzeugs beschränkt.

Autonomes Planungswerkzeug (s. Bild 3.15 „expert“)

Dieses Werkzeug kann im Gegensatz zum nutzergesteuerten Planungswerkzeug selbstständig bestimmte Planungsaufgaben ausführen. In der dargestellten Planung handelt es sich um ein Werkzeug, das in seinem durch seine räumlichen Abmessungen gültigen Bereich, die Planungssituation analysiert und darin selbstständig in der Systematik von armilla Kalt- und Warmwasserleitungen zwischen Waschbecken und Astleitungen im Deckenhohlraum detailliert.

Constraint (s. Bild 3.15 „constraint“).

Constraints bezeichnen allgemein Festlegungen in Form von Regeln, die innerhalb des Planungsprozesses getroffen werden und die Entwurfsspielräume einschränken (s. hierzu auch Kapitel 4). Bei einer Regelverletzung werden bestimmte Aktionen ausgeführt. Dieses kann z.B. eine Warnung oder ein automatischer Reparaturmechanismus sein. In der dargestellten Planung ist ein Constraint dargestellt, welches die maximale Anzahl

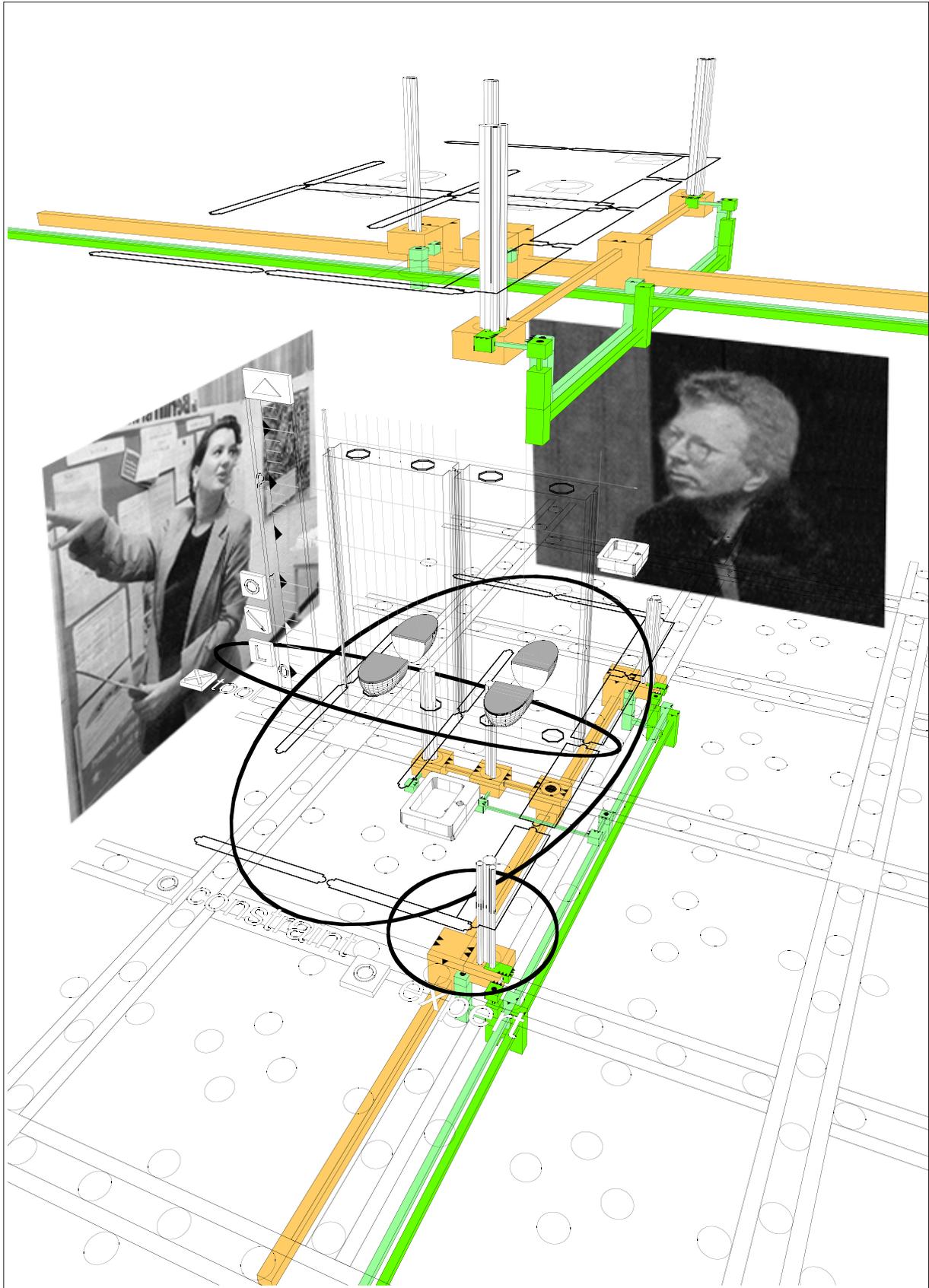


Bild 3.15
Die Planungs - Sicht

von Anschlüssen an eine Abwasserleitung in einem Bereich des Deckenhohlraums festlegt. Der Bereich bezeichnet den Gültigkeitsbereich und wird durch die räumlichen Abmessungen des Constraint definiert.

Die Planung von Informationsgebäuden in der dargestellten Form führt zu einer weiteren Interpretation der Gebäudemetapher. Verschiedene Planer treffen sich mit ihren Repräsentanten in einer gemeinsamen Planungsumgebung und entwickeln dort telematisch über verschiedene Abstraktionsstufen, Sichten und Versionen hinweg gemeinsam den Gebäudeentwurf. Dabei werden sie durch unterschiedliche Planungswerkzeuge unterstützt. Die Virtualisierung der Planer, Werkzeuge und Daten als räumliche Komponenten mit einem klar definierten Gültigkeitsbereich und definierten Schnittstellen läßt die Planungsumgebung als **Virtuelle Baustelle** erscheinen. In ihr wird die physische Baustelle vorbereitend simuliert.

3.3.5 Zweidimensionale Darstellungstechniken

Innerhalb der architektonischen Planung ist die in Bild 3.15 dargestellte Planungsumgebung mit ihren Darstellungstechniken der Virtuellen Realität ein Sonderfall. Dreidimensionale Darstellungen werden insbesondere für die Veranschaulichung verwendet.

Wenn es gilt komplexe räumliche Zusammenhänge zu planen und zu kontrollieren, sind zweidimensionale Darstellungen in der Regel leistungsfähiger. Die architektonische Planung verwendet in diesem Sinne unterschiedliche Projektionen dreidimensionaler Strukturen auf zweidimensionalen Ebenen in Form von Grundrissen, Ansichten und Schnitten in unterschiedlichen Sichten und Maßstäben. Die besondere Leistungsfähigkeit der zweidimensionalen Darstellung begründet sich dabei auf ihrer Maßstäblichkeit und Übersichtlichkeit. Größenverhältnisse können absolut gemessen und relativ verglichen werden. Räumlich getrennte, nebenläufige Prozesse können von einer übergeordneten Ebene aus betrachtet und gesteuert werden. [111]

Daher bietet sich die zweidimensionale Darstellung neben der Planung auch für die Verwaltung, Steuerung und Nutzung von Informationsgebäuden an:

In diesem Beispiel sind Benutzungsschnittstellen eines Mess-Steuer-Regel Systems in den Grundriß eines Institutsgebäudes eingebildet. Die Benutzungsschnittstellen repräsentieren Softwarebausteine und können wie Bauelemente und Möbel im Grundriß angeordnet werden. Ihre Position wird bestimmt durch ihre Funktionalität, die in Beziehung steht zu Realen Räumen, physischen Bauteilen, Sensoren und Aktoren. Diese komponentenbasierten Darstellungen von Softwarestrukturen sind aus dem Bereich der Visuellen Programmiersprachen bekannt. Sie können um entsprechende Funktionalitäten der Visuellen Programmierung ergänzt werden.

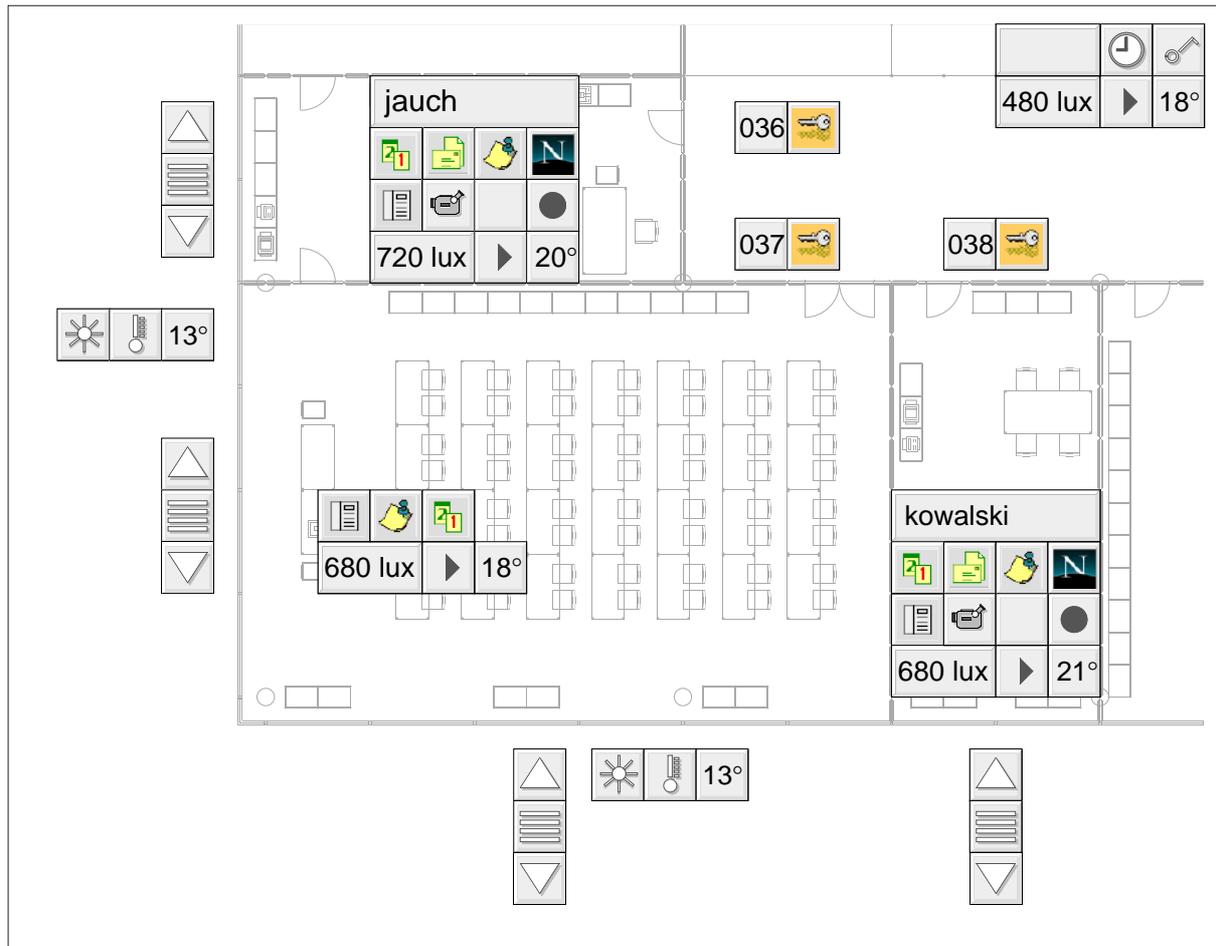


Bild 3.16

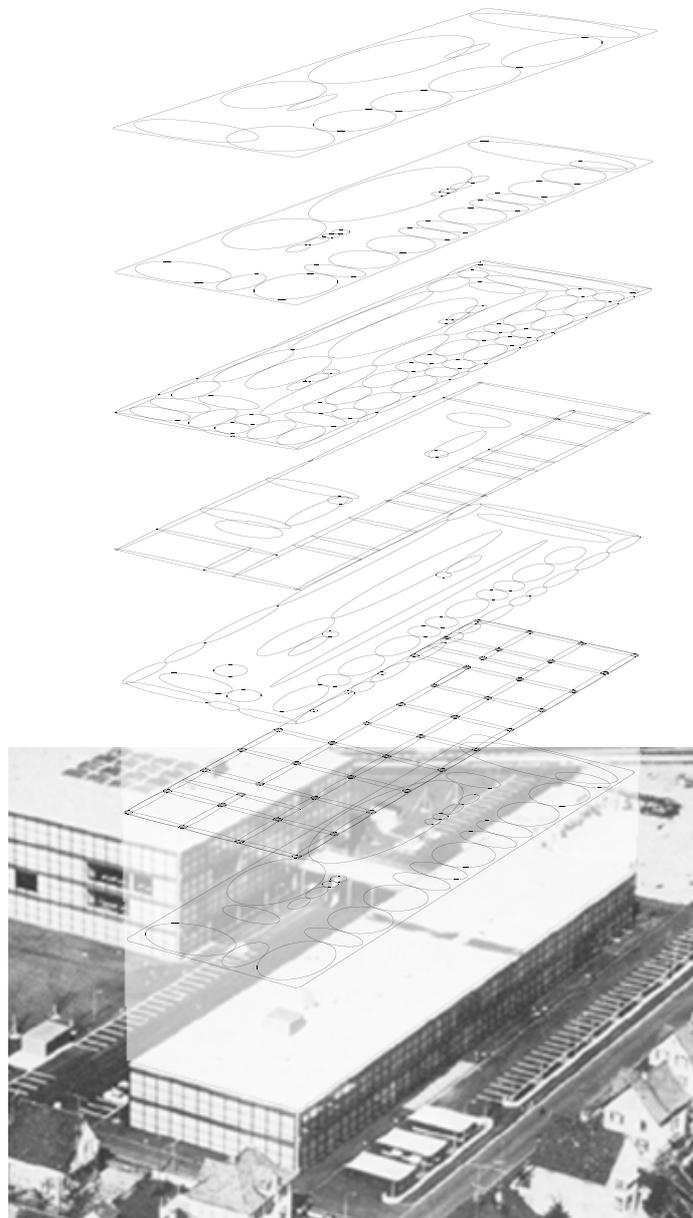
Zweidimensionale Darstellungstechniken zur Darstellung des Informationsgebäudes

3.4 Die Teilsysteme des Informationsgebäudes

Entsprechend der planerischen Sicht der Gebäudemetapher lassen sich Informationsgebäude in verschiedene Teilsysteme aufgliedern. Sie klassifizieren die Komponenten des Informationsgebäudes entsprechend fachspezifischer Sichten auf das Gebäude. Beispiele sind die Einordnung der Komponenten unter die Begriffe Rauml原因, Tragwerk oder Lüftung. Diese „klassischen“ Teilsysteme werden im Informationsgebäude um rein informationstechnische Teilsysteme erweitert. Diese sind u.a. Facility Management, Gebäudeautomation oder die Arbeitsprozesse, die innerhalb des Informationsgebäudes abgebildet werden. Teilsysteme werden in der Regel durch unterschiedliche Fachleute über den Lebenszyklus des Gebäudes hinweg betreut. Dabei besteht eine Hauptaufgabe darin die Teilsysteme mit ihren spezifischen Anforderungen untereinander und über den Lebenszyklus hinweg abzustimmen. Diese Abstimmung wurde als Horizontale und Vertikale Integration bezeichnet (vergl. Kapitel 2.5)

Eine Unterscheidung verschiedener Teilsysteme des Gebäudeentwurfs wurde bereits im A4-Modell beschrieben. Das A4-Modell bildet sie als diskrete Werte auf einer Achse eines vieldimensionalen Datenraumes ab.

3 Informationsgebäude



- Prozesse
- Facility Management
- Gebäudeautomation
- Montagezeit
- Lüftung
- Tragwerk
- Räume
- REALITÄT

Bild 3.17

Die Teilsysteme des Informationsgebäudes, dargestellt als zweidimensionale graphische Modelle. Die Teilsysteme des Informationsgebäudes überlagern das physische Gebäude wie Layer eines CAD-Systems. Die klassischen Teilsysteme wie Räume, Tragwerk oder Lüftung werden um die informationstechnischen Teilsysteme des Facility Management, der Gebäudeautomation und der Arbeitsprozesse ergänzt. Die gemeinsame visuell-räumliche Sprache erlaubt die gegenseitige Abstimmung der Teilsysteme untereinander.

3.5 Die Abstraktionsstufen des Informationsgebäudes

Abstraktionsstufen bezeichnen den Planungsfortschritt in der architektonischen Planung, d.h. den Übergang von der Entwurfs- zur Ausführungsplanung und anschließenden Realisierung. Sie bezeichnen den Übergang von den schwach strukturierten Daten zu Anfang des Entwurfes bis hin zu den stärker strukturierten Daten zu seinem Ende.

Die planerische Sicht modelliert die Abstraktionsstufen als Teil des Informationsgebäudes. Entsprechend gibt es Virtuelle Komponenten, die sowohl grobe und vage Beschreibungen in Form von Skizzen, Notizen oder unverbindlichen Gesprächen beinhalten, als auch Virtuelle Komponenten, die genaue Festlegungen von Konstruktionen, Funktionen und Leistungen betreffen. Im letzten Schritt der Detaillierung, auf der Elementebene, werden die Virtuellen Komponenten in entsprechende physische Komponenten überführt, bzw. mit entsprechenden Displaytechniken in die physische Umgebung integriert.

Die Abstraktionsstufen bezeichnen also Ebenen des Informationsgebäudes, die Virtuelle Komponenten einer gleichen Detaillierungsstufe zusammenfassen. Die vorgeschlagene Einteilung der Abstraktionsstufen in Zonen, Bereiche, Hüllen und Elemente orientiert sich dabei an der Einteilung des Installationsmodells *armilla* in Linienplanung, Hüllenplanung und Elementierungsplanung sowie der darauf aufbauenden Modellierung des A4-Modells, welches die Abstraktionsstufen auf einer eigenständigen Dimension in einem vieldimensionalen Datenraum abbildet. Die Virtuellen Komponenten des Informationsgebäudes werden während der Planungsphase unterschiedlichen Abstraktionsstufen zugeordnet und entsprechend der Vorstellung des vieldimensionalen Datenraumes auf verschiedenen voneinander unabhängigen Ebenen abgebildet.

Die Detaillierung der Virtuellen Komponenten über die Abstraktionsstufen hinweg führt zu zwei verschiedenen Phänomenen:

Zum einen werden die Komponenten selber genauer beschrieben. Die vagen Beschreibungen werden schrittweise in exaktere Beschreibungen überführt an deren Ende ihre Umwandlung in physische Komponenten steht.

Auf der anderen Seite führt die Detaillierung der Komponenten zu einer Ausdifferenzierung in Unterkomponenten. Beispielsweise wird ein Gebäude über den Planungsfortschritt in einzelne Geschosse, die Geschosse wiederum in einzelne Räume, die Räume wiederum in einzelne Nutzungsbereiche usw. differenziert. Eine Rahmenbedingung dieses Planungsvorgangs ist, daß die untergeordneten Komponenten immer „räumlich innerhalb“ der übergeordneten Komponenten liegen. Neben dieser Bedingung gibt es eine Vielzahl von weiteren Rahmenbedingungen, die die Ausdifferenzierung von Komponenten über den Planungsfortschritt bestimmen. Beispielsweise kann eine Rahmenbedingung die Anzahl der Räume in einem Geschoß bestimmen, eine andere kann das Nutzungsprofil und damit die Ausprägung der Nutzungsbereiche in einem Raum definieren. Die Rahmenbedingungen können daher, übertragen gesprochen, als Strategien

oder Ziele bezeichnet werden, die mit einer Ausdifferenzierung der Komponenten über die Abstraktionsstufen verbunden sind. Strategien und Ziele sind implizit oder explizit immer an eine Abstraktionsstufe geknüpft.

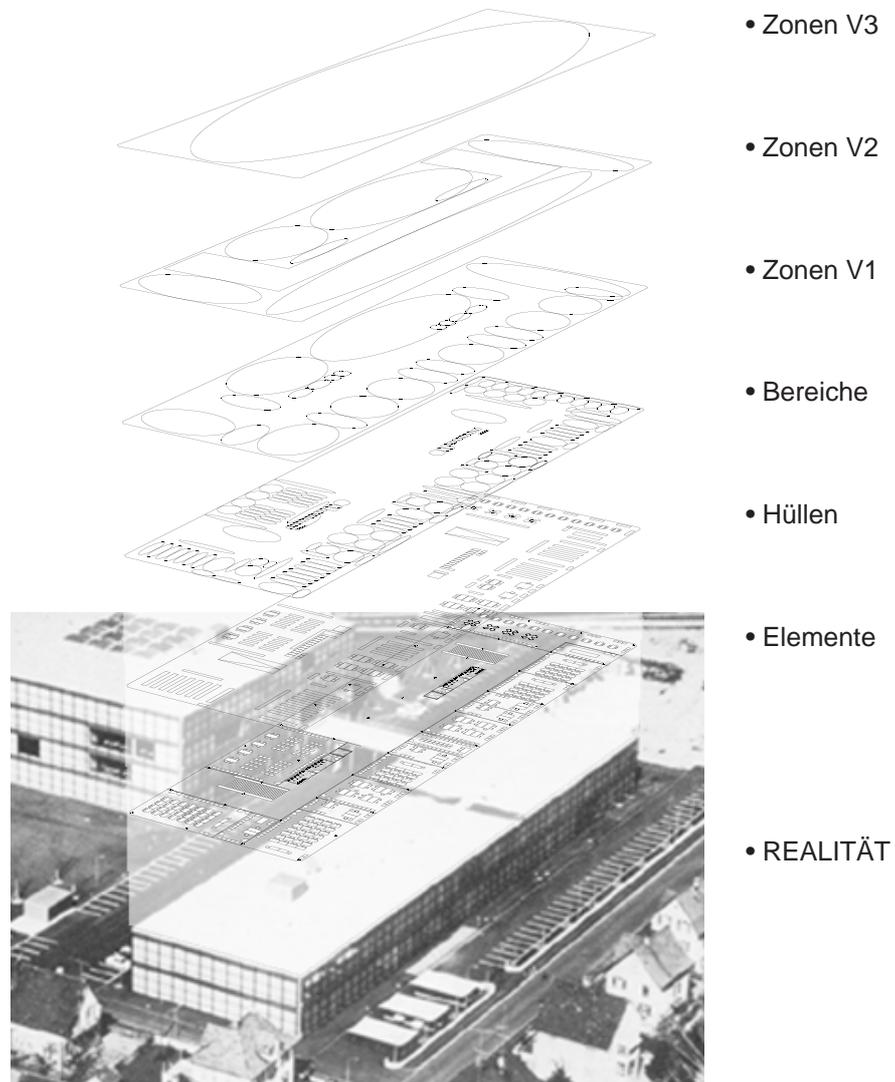


Bild 3.18

Die Abstraktionsstufen des Informationsgebäudes, dargestellt als zweidimensionale graphische Modelle. Sie überlagern das physische Gebäude wie Layer eines CAD-Systems.

Dargestellt sind die Abstraktionsstufen, die sich über die Planung von Räumen ergeben:

Die Planung der Geschosse (Zonen V3) • der Nutzungszonen innerhalb der Geschosse (Zonen V2) • der Räume innerhalb der Nutzungszonen (Zonen V1) • der Nutzungsbereiche innerhalb der Räume (Bereiche) • der Hüllen innerhalb der Nutzungsbereiche (Hüllen) • der Elemente innerhalb der Hüllen (Elemente) • sowie die Überführung der Elemente in die Realität (REALITÄT).

3.6 Integration innerhalb des Informationsgebäudes

Das A4-Modell modelliert alle Aspekte des Planungs- und Bauprozesses in einem vieldimensionalen Daten- und Designraum. Es formuliert den Begriff des Teilsystems und der Abstraktionsstufe als voneinander unabhängige Achsen. Entsprechend dieser Vorstellung kann der Begriff der Abstraktionsstufe auf alle Teilsysteme, sowohl auf die „klassischen“ architektonischen als auch auf die informationstechnischen, angewendet werden. Die einzelnen Teilsysteme werden im Zuge einer **Integralen Planung** über den Planungsfortschritt parallel in gegenseitiger Abstimmung über die verschiedenen Abstraktionsstufen hinweg detailliert

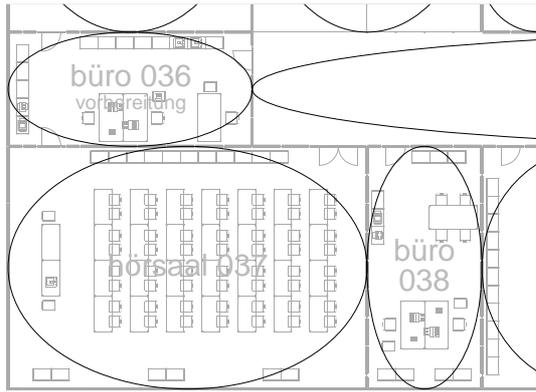
Dabei ist ein zentraler Mechanismus ihrer Integration, den sowohl das Installationsmodell *armilla* als auch das A4-Modell anbietet, die räumliche Abstimmung der Planungselemente auf der Grundlage ihrer umfassenden Visualisierung. In der Phase der Ausführung werden die virtuellen Elemente schließlich in die physische Realität transformiert. Ein Teil wird in physische Bauteile übertragen, ein anderer Teil wird mit entsprechenden Display-Techniken innerhalb des physischen Gebäudekontextes visualisiert.

Der Zusammenhang zwischen Realen und Virtuellen Gebäudekomponenten verschiedener Teilsysteme und ihre Planung bzw. Programmierung über die verschiedenen Abstraktionsstufen wird im folgenden anhand eines möglichen Planungsprozesses beispielhaft illustriert. Dabei werden jeweils nur vier Ausschnitte dieses Planungsprozesses ohne die notwendigen weiteren Zwischenstufen, Iterationen und Abstimmungen dargestellt. Die Illustrationen beziehen sich auf die Planung eines durch Informationstechnologien erweiterten MIDI-Gebäudes und wurden mit dem CAD-System „MiniCAD“ erstellt.

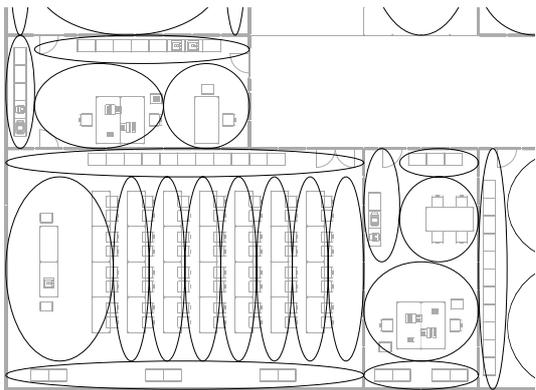
3.6.1 Das Teilsystem Raum

Die Abbildungen zeigen den Planungsfortschritt für das Teilsystem Raum. Auf der Grundlage u.a. des Raumbuchs und städtebaulicher Anforderungen wird ein Raumlayout innerhalb eines Baukörpers entwickelt (1). Die definierten Räume werden in Nutzungsbereiche unterteilt (2). Die Nutzungsbereiche werden in die Nutzungselemente, beispielsweise die Möbel, detailliert (3). In einem letzten Schritt, in der Phase der Montage, werden die Nutzungselemente in die entsprechenden physischen Objekte transformiert (4).

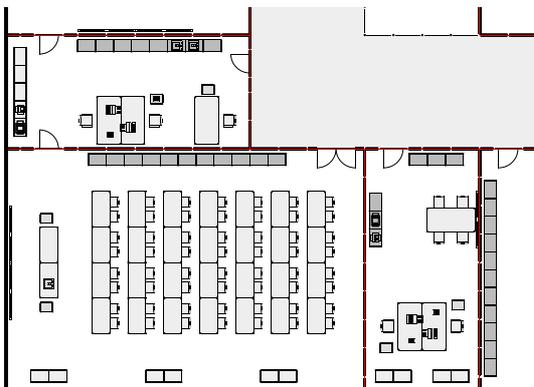
Die Ausdifferenzierung der Räume in Nutzungsbereiche und Nutzungselemente geht mit einer Detaillierung einher. Räume und Baukörper werden über die Ausdifferenzierung in ihren Geometrien angepaßt und bekommen in der Elementierungsphase eine endgültige Gestalt.



1



2



3

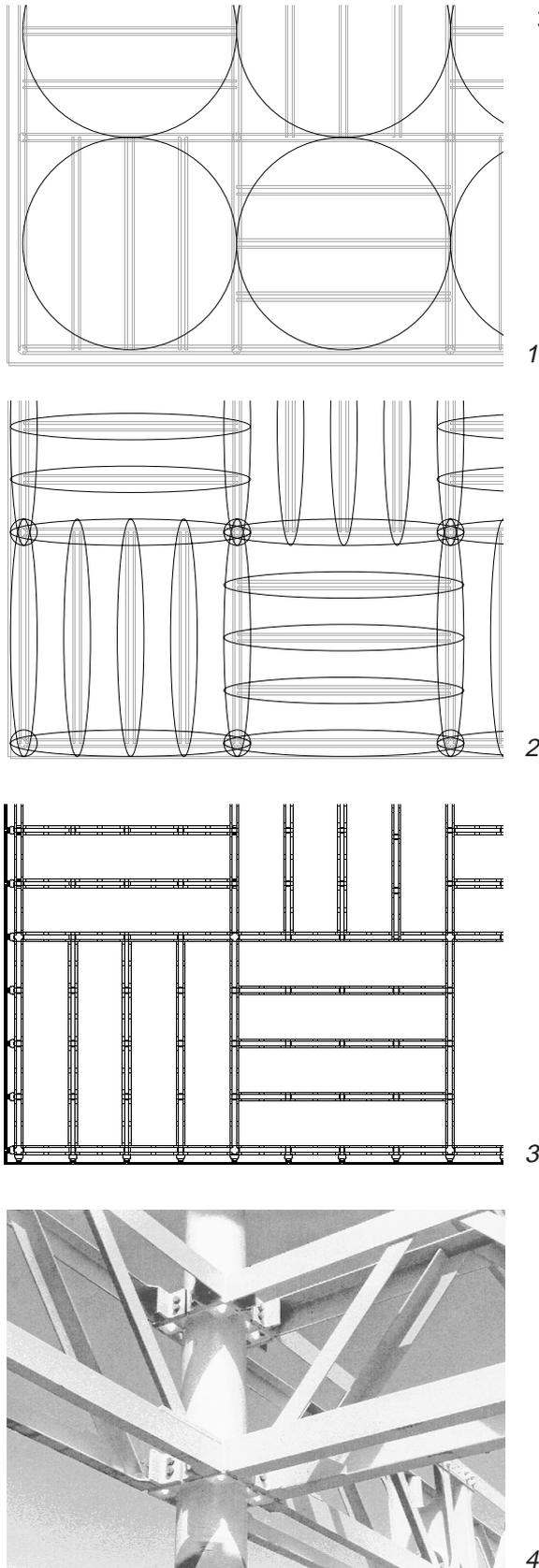


4

Bild 3.19

Das Teilsystem Raum

3.6.2 Das Teilsystem Tragwerk



In Abstimmung mit den Planungen des Teilsystems Raum wird das Teilsystem Tragwerk geplant. Auf der Grundlage des Raumlayouts werden die Stützenfelder in der Detaillierungsstufe der Zonen, d.h. mit einer Unschärfe von +/- 1,20m, bestimmt (1). In einem weiteren Schritt werden innerhalb dieser Stützenfelder die Position der Träger, ebenfalls in einer Unschärfe von +/- 1,20m, als Bereiche definiert (2). In einem letzten Schritt werden auf der Elementebene die detaillierten Träger in den Bereichen exakt positioniert (3). Diese Ebene ist die detaillierteste virtuelle Beschreibungsebene. Sie bildet die Grundlage für die Ausführung (4).

Anhand des Teilsystems Konstruktion wird deutlich, daß die übergeordneten Abstraktionsstufen Strategien und Ziele für die Ausprägung der untergeordneten Abstraktionsstufen formulieren. Auf der Ebene der Zonen werden die Merkmale der Stützenfelder definiert. Dieses sind u.a. Anforderungen an das Tragverhalten. Diese Anforderungen führen auf der Ebene der Bereiche zu einer definierten Anzahl und Anordnung von Trägern in einem Stützenfeld. An die Bereiche sind wiederum Anforderungen geknüpft, die von den exakten Trägern in der Elementierungsplanung erfüllt werden müssen. Auf der Ebene der Elemente geben die Virtuellen Komponenten wiederum die Vorgaben für ihre Ausbildung als physische Träger.

Bild 3.20
Das Teilsystem Tragwerk

3.6.3 Das Teilsystem Lüftung

Planungsgrundlage für das Teilsystem Lüftung ist ein auf das Rauml原因 und die Nutzung abgestimmtes Lüftungskonzept. Dieses Konzept führt im Beispiel zu einer künstlichen Be- und Entlüftung des Gebäude. Die Belüftung des Gebäudes erfolgt von den Rauminnenbereichen über entsprechende Zuluftöffnungen in der Unterdecke. Die Entlüftung erfolgt entlang der Fassade und in den innenliegenden Fluren über Abluftöffnungen, die sich ebenfalls in der Unterdecke befinden. Die Planung des Abluftsystems wird im folgenden anhand der Abstraktionsstufen dargestellt:

Auf der Grundlage der Anforderungen, z.B. an eine von der Nutzung und vom Raumvolumen abhängige Luftwechselrate, werden die Erschließungsbereiche der Abluftsysteme in der Planung angeordnet. Dieses geschieht in räumlicher Koordination zum Tragwerk und zum Rauml原因. Die Erschließungsbereiche definieren in dieser Planungsstufe Bereiche in einer Toleranz von $\pm 1,20$ m in denen die Abluftöffnungen des Abluftsystems in der Unterdecke platziert werden können (1).

Im gleichen Detaillierungsgrad werden die Verbindungsbereiche geplant. Die Verbindungsbereiche definieren die Positionen der Astleitungen im Deckenhohlraum. Diese verbinden die Abluftöffnungen mit den vertikalen Stammleitungen (2). Innerhalb der Verbindungsbereiche werden den einzelnen Leitungssystemen eine definierte Trasse zugewiesen. Diese Planungsstufe entspricht der „Hüllenplanung“ im Installationssystem armilla (3). Am Ende der Installationsplanung werden die Leitungssysteme schließlich in einem Formstückplan elementiert und in die physische Realität transferiert (4).

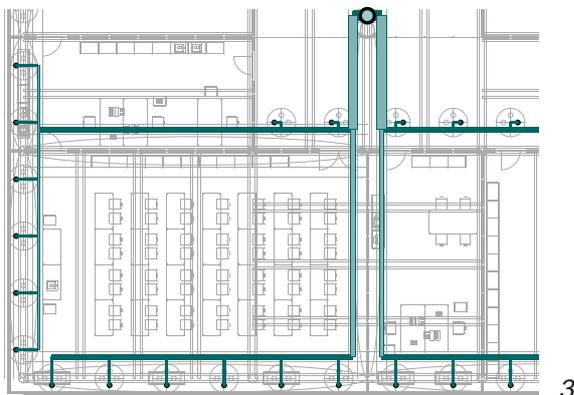
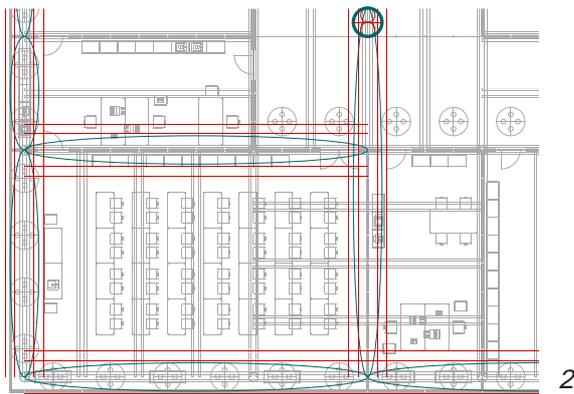
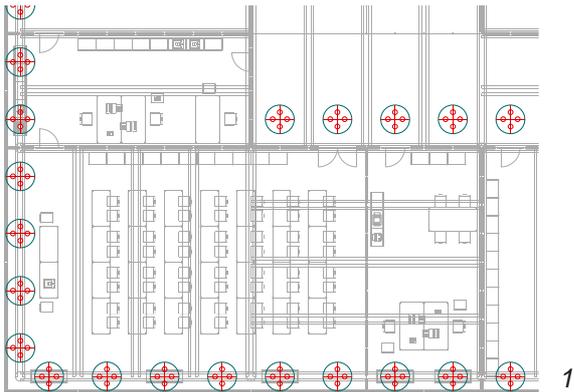


Bild 3.21
Das Teilsystem Lüftung

Die Teilsysteme Raum, Tragwerk und Lüftung stehen stellvertretend für die „klassischen“ Teilsysteme eines Gebäudes. Sie werden im Idealfall, wie es etwa das Installationsmodell *armilla* formuliert, parallel in gegenseitiger Abstimmung geplant. Innerhalb eines integralen Planungsprozesses wechselt der Planungsschwerpunkt ständig zwischen den verschiedenen Teilsystemen und Abstraktionsstufen. Anforderungen aus einem Teilsystem fließen unmittelbar in die Planungen der anderen Teilsysteme ein. Durch die Parallelität dieser Planungsvorgänge über die Abstraktionsstufen können Konflikte frühzeitig erkannt und vermieden werden. Dabei erlaubt die umfassende Visualisierung der Komponenten ihre Koordination mit graphischen Mitteln.

3.6.4 Das Teilsystem Montagezeit

Wird das Informationsgebäude nach dem A4-Modell modelliert, haben alle Virtuellen Komponenten des Informationsgebäudes neben ihrer räumlichen auch eine zeitliche Ausdehnung. Diese betrifft zum einen die Planungsphase. Hier bezeichnet die zeitliche Ausdehnung einer Virtuellen Komponente die Spanne zwischen dem Erzeugen einer Virtuellen Komponente im Planungszusammenhang bis hin zu ihrer Änderung bzw. Löschung. Diese Zeit wird im folgenden „Planungszeit“ genannt. Zum anderen betrifft die zeitliche Ausdehnung die Virtuellen Komponenten in den Phasen der Ausführung, Nutzung und Demontage des Informationsgebäudes. Hier bezieht sich die Zeit auf die Spanne zwischen der Montage, bzw. Installation einer Virtuellen Komponente im Informationsgebäude bis hin zu ihrer Demontage bzw. Deinstallation. Diese Zeit wird im folgenden „Montagezeit“ genannt.

Die Montagezeit wird innerhalb der Informationsgebäude als eigenes Teilsystem modelliert. Die Komponenten dieses Teilsystems verkapseln innerhalb ihrer zeitlichen und räumlichen Ausdehnung bestimmte Montagevorgänge. Die Komponenten können daher, im eigentlichen Sinne des Wortes, **Zeiträume** genannt werden [66]. Sie beziehen sich im Beispiel auf die Montage des Innenwandsystems des MIDI-Gebäudes.

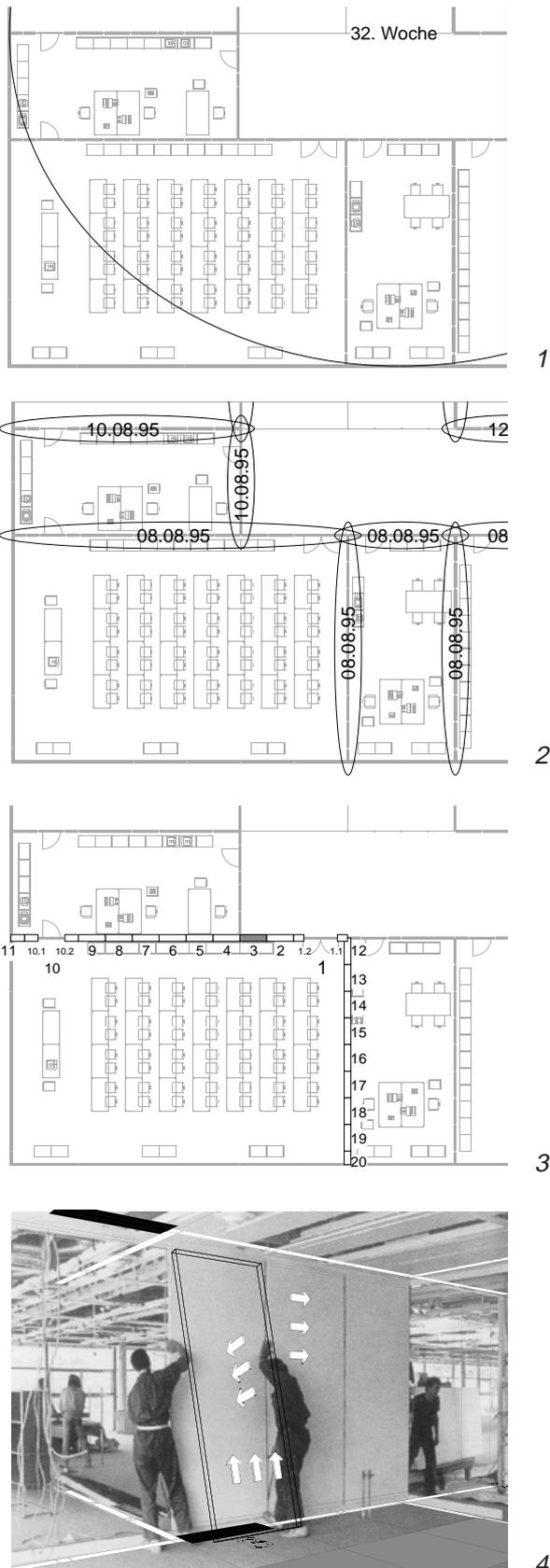


Bild 3.22
Das Teilsystem Montagezeit

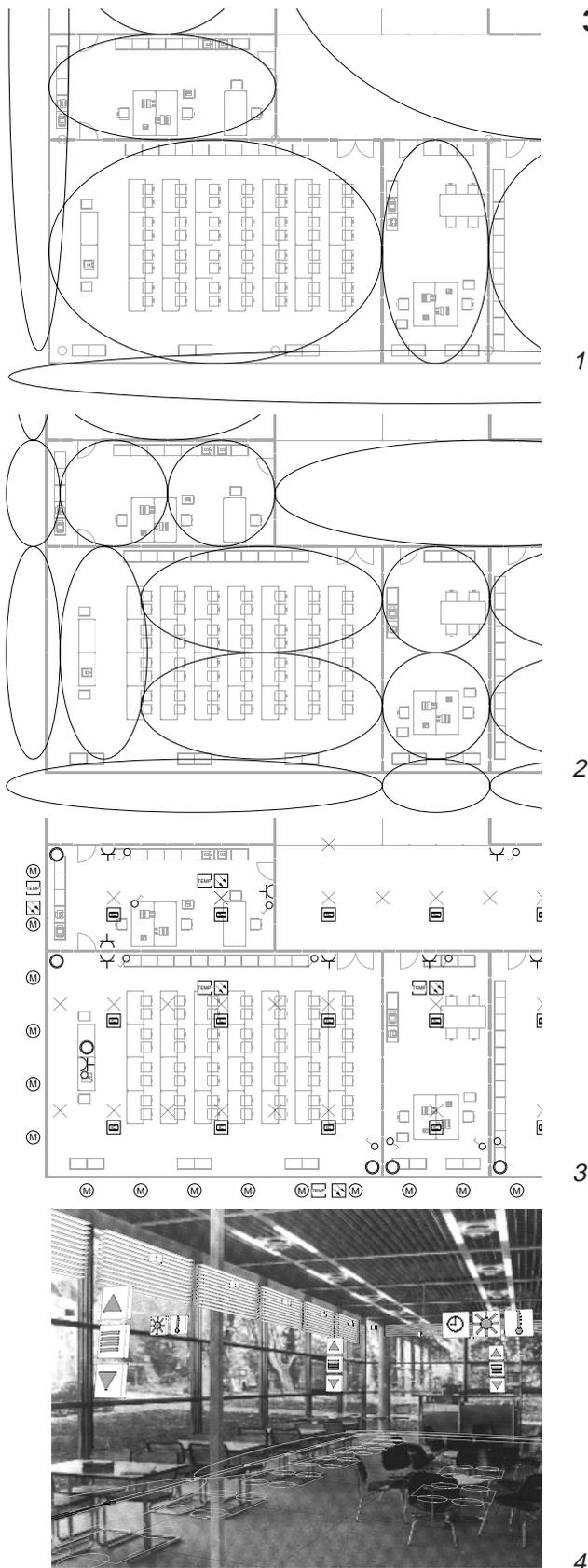
„Zeiträume“ bezeichnen einen bestimmten räumlichen Bereich innerhalb des Informationsgebäudes, der in einer bestimmten Zeitspanne mit einem Montagevorgang belegt ist. „Zeiträume“ entwickeln sich in der Planung über die verschiedenen Abstraktionsstufen von den Zonen, über die Bereiche und Hüllen zu den Elementen. Die Zonen verkapseln alle Montagevorgänge, die in einer bestimmten Woche ausgeführt werden sollen. Diese beziehen sich im Beispiel auf ein Geschoß des MIDI-Gebäudes (1).

Die Zonen werden auf der Abstraktionsstufe der Bereiche in die Tage ausdifferenziert, an denen bestimmte Montagevorgänge ausgeführt werden sollen. Die Bereiche beziehen sich entsprechend auf bestimmte Wandabschnitte des Innenwandsystems (2).

Auf der Stufe der Hüllen werden die Bereiche in die einzelnen Arbeitsschritte eines Tages detailliert. Diese Hüllen beziehen sich räumlich entsprechend auf einzelne Wandelemente (3).

Die Elementierung bezeichnet schließlich die Detaillierung der Arbeitsschritte in explizite Handlungsanweisungen, die zur Montage einer Wand notwendig sind. Diese Handlungsanweisungen können in den physischen Montagevorgang auf der Baustelle eingeblendet werden und den Monteuren Montageanweisungen geben (4).

Im Teilsystem Montagezeit wird der räumliche Komponentenbegriff um eine zeitliche Ausdehnung erweitert. Entsprechend definieren die Virtuellen Komponenten auf den Abstraktionsstufen die Strategien und Ziele für ihre weitere Ausdifferenzierung räumlich und zeitlich. Die ausdifferenzierten Komponenten müssen räumlich und zeitlich innerhalb der übergeordneten Komponenten liegen.



3.6.5 Das Teilsystem Gebäudeautomation

Das Teilsystem Gebäudeautomation bezeichnet die Komponenten der Gebäudeautomation. Im Beispiel sind die Komponenten der Licht- und Fassadensteuerung dargestellt. Die Komponenten werden über die verschiedenen Abstraktionsstufen von den Zonen über die Bereiche zu den Elementen und schließlich den physischen Bauteilen detailliert:

Auf der Stufe der Zonen (1) werden die allgemeinen Anforderungen bezüglich der Licht- und Fassadensteuerung definiert. Diese Anforderungen beziehen sich dabei räumlich auf ganze Räume bzw. Fassadenabschnitte.

In einem weiteren Schritt werden die Zonen ausdetailliert. Es werden Bereiche definiert, die innerhalb eines Raumes bzw. innerhalb eines Fassadenabschnittes einzeln geregelt und gesteuert werden sollen (2). Im Beispiel der Lichtsteuerung sind dies die Bereiche an der Fassadenseite und der Rauminnenseite. Im Beispiel der Fassadensteuerung beziehen sich die Bereiche auf einen Raumabschnitt. Auf der Stufe der Elemente (3) werden die Anforderungen aus den Bereichen in konkrete Bauteile, d.h. in Aktoren und Sensoren umgesetzt. Die einzelnen Regelungs- und Steuerungskreise der Licht- und Fassadensteuerung werden in die Lampen, Motoren, Schalter und Sensoren detailliert. Schließlich werden die Elemente in die physische Welt transferiert (4). Neben den physischen Komponenten wie Motoren, Lampen und Schaltern, werden mit entsprechenden Displaytechniken Virtuelle Baukomponente in die physische Welt integriert. Im Beispiel dienen sie als Schaltflächen und Displays.

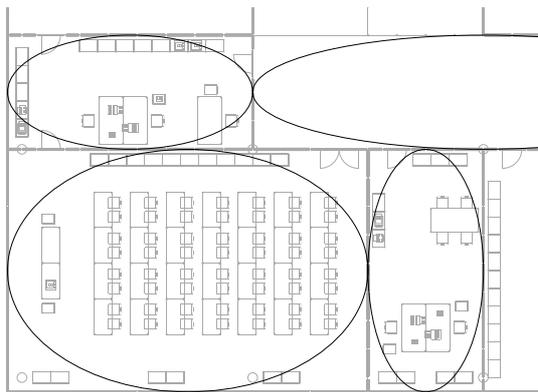
Bild 3.23
Das Teilsystem Gebäudeautomation

Das Teilsystem Gebäudeautomation macht die Doppelfunktion der Abstraktionsstufen deutlich: Zum einen beschreiben sie den klassischen Planungsfortschritt von den Skizzen, in denen Anforderungen definiert werden, bis hin zur Detaillierung, in denen die Anforderungen in konkrete Elemente umgesetzt werden. Zum anderen können alle Abstraktionsstufen zusammen das Steuerungs- und Regelungsgerüst des gesamten Gebäudes bilden. In den Komponenten der Zonen sind die Softwarestrukturen abgebildet, die die Bereiche kontrollieren, in denen wiederum die Strukturen implementiert sind, die die in den Bereichen befindlichen Sensoren und Aktoren verknüpfen. Konkret läßt sich der Hauptschalter eines Raumes auf der Stufe der Zonen implementieren, die Schaltung einzelner Raumbereiche auf der Stufe der Bereiche und die Schaltung einzelner Geräte auf der Stufe der Elemente.

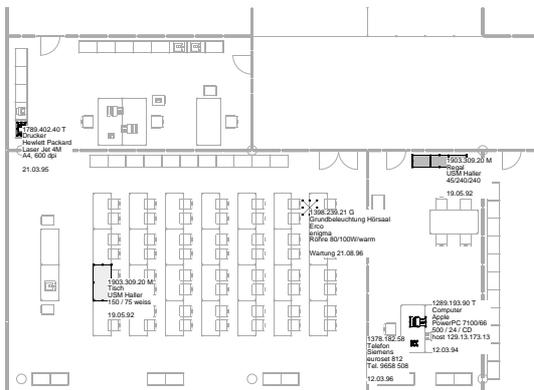
Über die Verknüpfung von Softwarestrukturen mit räumlichen Komponenten, wie es das A4-Modell formuliert, lassen sich Umkonfigurationen leicht realisieren. Sobald beispielsweise eine zusätzliche Lampe auf der Ebene der Elemente in einem Raum positioniert wird, wird dieses neue Element automatisch über räumliche Kollision von einer entsprechenden Komponente auf der Stufe der Bereiche und auf der Stufe der Zonen erfaßt und in ihre jeweiligen Funktionalitäten integriert. Technische Voraussetzung ist dabei, daß die logische Verknüpfung der physischen Bauelemente drahtlos, über z.B. Infrarot oder Funk realisiert wird.



1



2



3



4

3.6.6 Das Teilsystem Facility Management

Das Teilsystem Facility Management entwickelt sich über den Planungsfortschritt von den Zonen (1) über die Bereiche (2) zu den Elementen (3). Diese Abfolge stellt gleichzeitig die Organisationsstruktur des Facility Management Systems dar:

Den Elementen sind die elementaren Verwaltungsinformationen zugeordnet. Diese werden durch die Bereiche und auf der nächsthöheren Ebene durch die Zonen zu Verwaltungseinheiten zusammengefaßt. Die Bereiche „sammeln“ alle Informationen der ihnen räumlich zugeordneten Elemente wie Möbel, Geräte und Personen, die Zonen wiederum „sammeln“ alle Informationen der ihnen räumlich zugeordneten Bereiche. Sinnvolle Einheiten für die Bereiche und Zonen sind Räume und Geschosse.

Die Anfragen eines Facility Management Systems können sich an alle Virtuellen Komponenten auf allen Abstraktionsstufen richten. Alle Anfrageergebnisse lassen sich mit entsprechenden Displaytechniken in den physischen Gebäudekontext integriert (4).

Bild 3.24

Das Teilsystem Facility Management

3.6.7 Das Teilsystem Arbeitsprozesse

Arbeitsprozesse in der Nutzungsphase eines Gebäudes lassen sich als Virtuelle Komponenten modellieren. Sie bilden ein eigenes Teilsystem. Die Strukturierung dieses Teilsystems ist ein Planungsvorgang, der analog zu den anderen Teilsystemen abgebildet und in den physischen Gebäudekontext integriert werden kann. Das vorliegende Beispiel geht dabei von der Vorstellung eines arbeitsteiligen Arbeitsprozesses in Form einer Prozeßkette aus:

Auf der Stufe der Zonen werden die Strategien und Ziele des Arbeitsprozesses formuliert (1). Diese werden auf der Stufe der Bereiche in Aufgabenbereiche zergliedert (2), die wiederum auf der Ebene der Elemente in einzelne Aufgabenpakete detailliert werden (3). Die Arbeitspakete können in die physische Arbeitsumgebung als Virtuelle Komponenten integriert werden (4). Sie erweitern so die physische Arbeitsumgebung je nach dem Arbeitskontext, in dem der betreffende Mitarbeiter steht. (vergl. Kapitel 3.3.3). Jeder dieser Abstraktionsstufen sind bestimmte Personengruppen mit bestimmten Verantwortlichkeiten zugeordnet. Analog zum Teilsystem Gebäudeautomation ist die Stufe der Zonen verantwortlich für die Stufe der Bereiche, die wiederum die Stufe der Elemente kontrolliert. Anders ausgedrückt formuliert die Stufe der Zonen die Anforderungen, die durch die Stufe der Bereiche erfüllt werden müssen. Diese erfüllt die an sie gestellten Anforderungen durch eine weitere Spezialisierung, also eine weitere Aufteilung ihrer Aufgabenbereiche in Aufgabenpakete. Die einzelnen Stufen können also innerhalb der von der höheren Ebene gesetzten Rahmenbedingungen autonom sein und eigenverantwortlich arbeiten, bzw. „Unteraufträge“ vergeben.

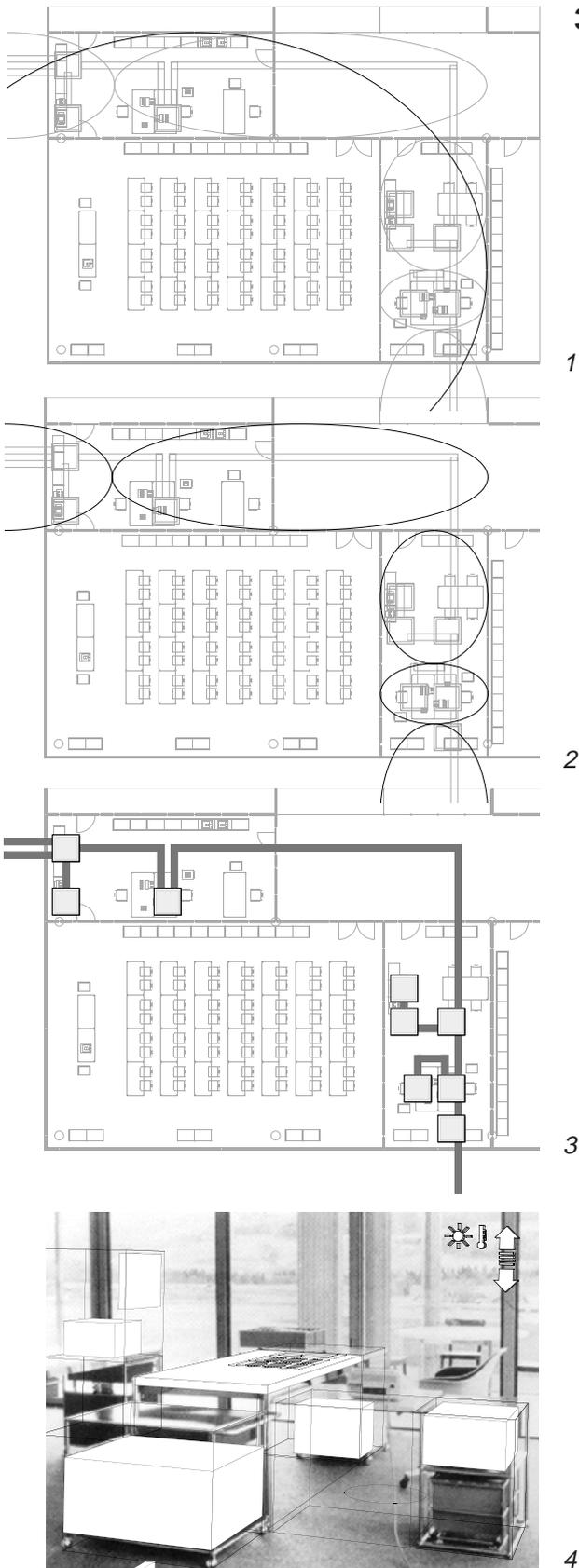


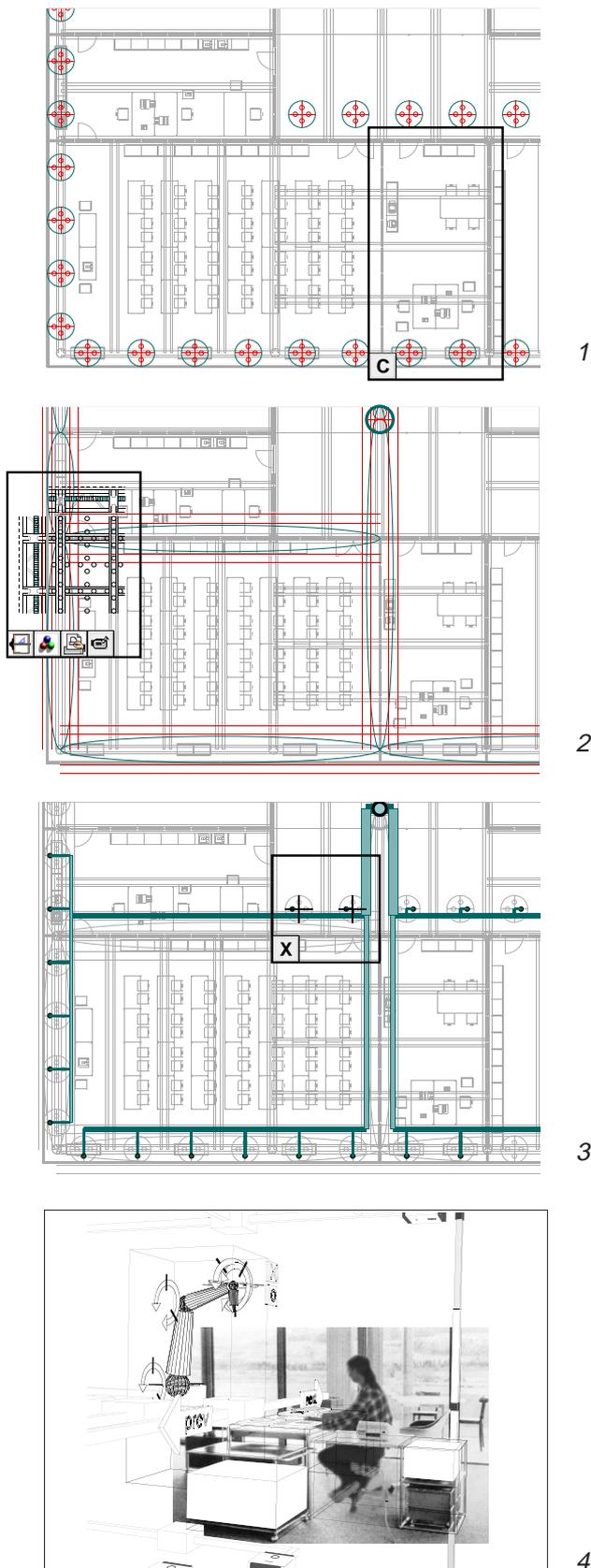
Bild 3.25
Das Teilsystem Arbeitsprozesse

Die Verräumlichung von Arbeitsprozessen schafft die Möglichkeit, die Aufgabenpakete und Aufgabenbereiche bestimmten Orten in einem physischen Gebäude bzw. Personen innerhalb des physischen Gebäudes zuzuordnen. Voraussetzung ist, daß es sich bezüglich des physischen Gebäudes um statische Prozesse handelt. Für dynamische und flexible Arbeitsprozesse, die sich an keine festen Orte fixieren lassen, ist die Metapher des physischen Gebäudes nicht mehr leistungsfähig. Hier erscheint es sinnvoller, die räumliche Form der Komponenten aus den spezifischen Eigenschaften der Komponenten selbst zu entwickeln. So entstehen Architekturen, die der „Metapher eines imaginären Gebäudes“ folgen und in dieser Form das physische Gebäude vielfältig überlagern und erweitern. (vergl. Kapitel 3.2)

3.6.8 Die Integration von Softwarekomponenten

Auf allen Ebenen des Informationsgebäudes, in allen Phasen der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung sind Softwarekomponenten integriert, die die unterschiedlichen Prozesse innerhalb eines Informationsgebäudes unterstützen.

Im Beispiel ist der Planungsprozeß des Teilsystems Lüftung dargestellt (vergl. Kapitel 3.6.3). In die einzelnen Abstraktionsstufen sind unterschiedliche Softwarewerkzeuge eingebunden, die die Planungen der Fachplaner unterstützen. Wie schon in Kapitel 3.3.4 dargestellt, führt die komponentenbasierte Modellierung von Daten, Werkzeugen und Planern in einer kooperativen Planungsumgebung zur Vorstellung einer **Virtuellen Baustelle**.



In die Planung der Erschließungsbereiche ist ein Constraint (1) integriert, welches die Anzahl von Abluftbereichen in einem Büroraum überwacht. In die Planung der Verbindungsbereiche ist ein nutzergesteuertes Planungswerkzeug eingebunden, welches über eine Schablone (2) die weitere Detaillierung der Verbindungsbereiche in die Trassen der Astleitungen unterstützt. Innerhalb der Planungsstufe der Hüllenplanung plant ein „autonomes“ Planungswerkzeug (3) selbständig innerhalb seines räumlichen Geltungsbereiches die Verknüpfung der Astleitungen mit den Anschlußbereichen auf der Zweigleitungsebene.

In der Realität schließlich unterstützt eine Softwarekomponente die Programmierung eines virtuellen Roboterarmes (4) (vergl. Kapitel 3.3.3).

Die flachen, allein auf dem räumlichen Komponentenbegriff basierenden Strukturen des Informationsgebäudes werden durch die stärker strukturierten Modelle der Softwarekomponenten mit ihren eigenen Daten- und Programmstrukturen grundlegend erweitert. Informationsgebäude werden durch diese Funktionalitäten leistungsfähiger. Der räumliche Komponentenbegriff und die graphische Benutzerinteraktion definieren zunächst die Schnittstellen der Softwarewerkzeuge zu den anderen Komponenten des Informationsgebäudes. Diese durch die Gebäudemetapher aufgeprägte Struktur aus räumlicher Interaktion und Kommunikation schließt jedoch die anderen Integrations-techniken nicht aus (vergl. Kapitel 2.5.4)

Bild 3.26

Die Integration von Softwarekomponenten

3.6.9 Die Integration von Benutzungsschnittstellen

Der Begriff des Informationsgebäudes definiert sich aus Virtuellen Gebäudestrukturen, die die physischen Gebäudestrukturen über den Lebenszyklus des Gebäudes kongruent begleiten. Den in der Phase der Planung gebildeten Virtuellen Gebäudestrukturen kommen dabei in den Phasen der Verwaltung, Steuerung und Nutzung neue Bedeutungen zu.

Insbesondere die verschiedenen Abstraktionsstufen formulieren neben dem Planungsfortschritt unterschiedlich strukturierte Sichtweisen auf ein Gebäude. Dieses wurde bereits in Kapitel 3.3.1 angedeutet. Diese Sichtweisen können mit unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und Funktionalitäten verknüpft sein.

Die Stufe der Zonen beschreibt etwa die wenig detaillierte Sicht eines naiven Nutzers, der beispielsweise als Besucher das Informationsgebäude betritt. Die Stufe der Bereiche beschreibt die Sicht eines Mitarbeiters auf seine alltägliche Arbeitsumgebung, während die Stufe der Elemente die Sicht eines Experten bezeichnet, der vollständigen Zugriff auf alle Elemente und Informationen seines Fachgebietes erhält.

Mit Hilfe der Abstraktionsstufen werden also Funktionalitäten organisiert und strukturiert. Diese werden mit Benutzungsschnittstellen verfügbar gemacht. Ein naiver Nutzer bewegt sich auf der Ebene der Zonen. Ihm stehen dort allgemeine Informationssysteme bezüglich des gesamten Gebäudes zur Verfügung (1). Über ein login-Fenster authentifiziert er sich als Mitarbeiter und erreicht die Ebene der Bereiche (2). Hier befinden sich seine Benutzungsschnittstellen der persönlichen Arbeitsumgebungen. Authentifiziert sich ein Nutzer als Experte, erreicht er die

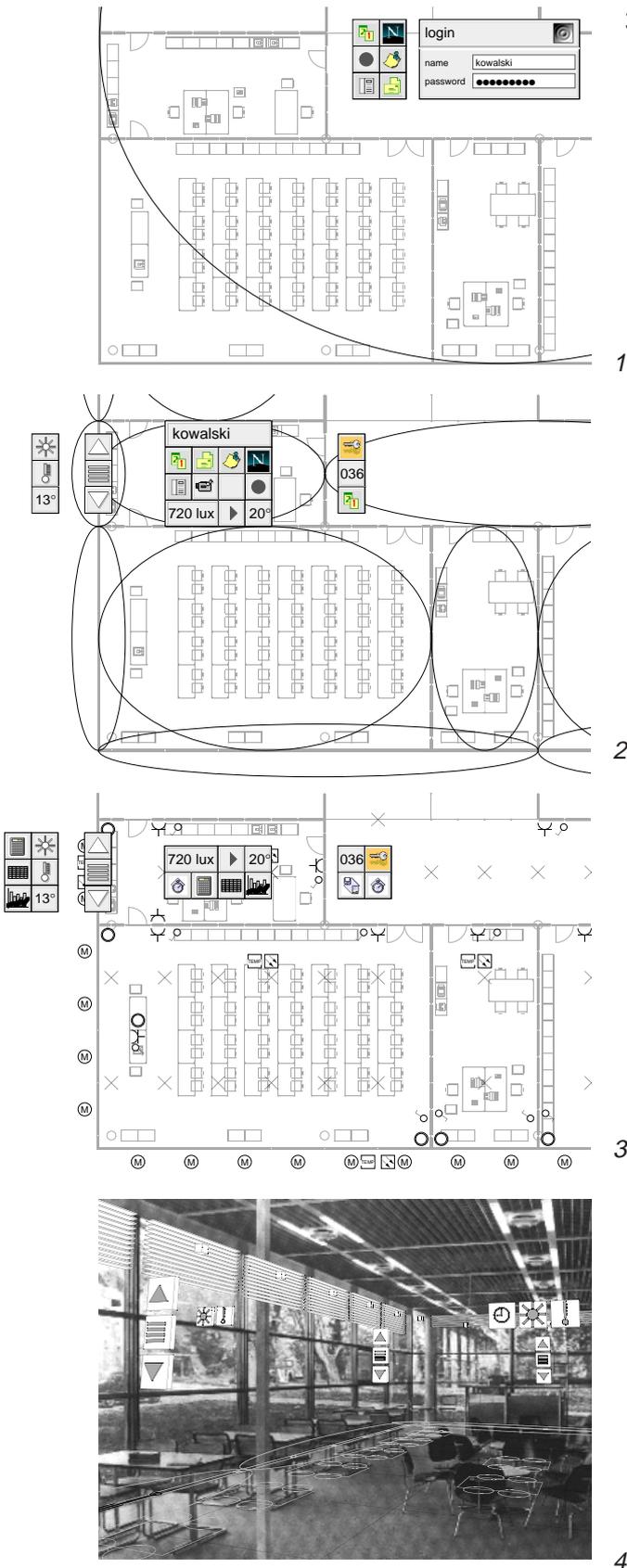


Bild 3.27
Die Integration von Benutzungsschnittstellen

Stufe der Elemente (3) Hier befinden sich alle Benutzungsschnittstellen, die die Funktionalität des Gesamtgebäudes auf der Elementarstufe bestimmen. Die Virtuellen Komponenten aller drei Abstraktionsstufen können mit entsprechenden Displaytechniken in den physischen Gebäudekontext eingebunden werden. Sie erweitern die persönliche Sicht auf das Gebäude entsprechend der persönlichen Kompetenzen und Aufgaben (4).

3.7 Zusammenfassung

Die Gebäudemetapher wurde als Integrationsmodell für die Modelle der Architektur und der Informationstechnologien bezeichnet. Anhand der visualisierten Beispiele werden ihre verschiedenen Integrationstechniken deutlich:

1. Alle Elemente der verschiedenen informationstechnischen Modelle, die während der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung von Gebäuden zum Einsatz kommen, können mit Hilfe der Gebäudemetapher als räumliche Komponenten innerhalb eines erweiterten Gebäudekontextes aus Architektur und Informationstechnologien abgebildet werden. Die planerische Sicht der Gebäudemetapher erweitert dabei den geometrisch-räumlichen Komponentenbegriff um weitere, insbesondere planungsrelevante Aspekte wie Sichten und Abstraktionen.

Das A4-Modell setzt diese planerische Sicht der Gebäudemetapher in einen vieldimensionalen Datenraum um. Es integriert unter dem Begriff des Containers sowohl Daten als auch Programmstrukturen und die Elemente der Benutzerinteraktion. Dabei bestimmt der räumliche Komponentenbegriff nicht nur die Abgrenzung der Komponenten untereinander (Verkapselung von Attributen und Funktionalitäten), sondern auch ihre Interaktion über definierte Schnittstellen und räumliche Kollisionen. Die räumliche Organisation der Komponenten dient beispielsweise dem Aufbau von Kontrollstrukturen (Programmstrukturen) und der Staffelung ihrer Komplexität (Benutzerinteraktion).

Für dieses einheitliche Zusammenwirken von Personen, Programmen und Daten formuliert die Gebäudemetapher den Begriff einer Virtuellen Baustelle.

2. Ein grundlegendes integratives Element der Gebäudemetapher ist die umfassende Visualisierung aller Komponenten.

Dieses wird für die Planungsphase anhand des Installationsmodells *armilla* deutlich. Das Installationsmodell modelliert die Elemente der Planung als räumliche Komponenten über verschiedene Abstraktionsstufen, die in gegenseitiger Abstimmung detailliert und in die physischen Komponenten eines Gebäudebaukastens überführt werden. Dabei benutzt es in erster Linie graphische Werkzeuge zur Umsetzung der Anordnungsregeln in Form von Schablonen. Die Erweiterung des Installationsmodells *armilla* im A4-Modell überträgt diese Techniken auf die Modellierung von anderen Teilsystemen, u.a. auf die Planung von Informationstechnologien. Durch die einheitliche Metapher können Darstellungstechniken, die sich in der Planung und Kontrolle physischer Gebäude-

strukturen bewährt haben, auf die Planung und Kontrolle Virtueller Gebäudestrukturen übertragen werden. Dies führt zu einer Verschmelzung von Planung und Programmierung.

Durch die komponentenbasierte räumliche Modellierung und umfassende Visualisierung durch die Gebäudemetapher werden Informationsgebäude zu Planungs-, Kommunikations-, Konstruktions- und Betriebsplattformen für Gebäude, über die Personen und Softwarebausteine auf unterschiedlichen Ebenen räumlich verteilt und zeitlich versetzt über alle Phasen des Lebenszyklus hinweg zusammenarbeiten. Die durchgängige Metapher macht dabei Konflikte und Inkonsistenzen innerhalb dieser Plattform einheitlich sichtbar und ermöglicht generell die Navigation und Interaktion in komplexen und zum Teil unbekanntem Umgebungen. Dabei integriert die Gebäudemetapher eine durch Informationstechnologien erweiterte Architektur zwar auf schwach strukturiertem Niveau, dafür aber umfassend und offen.

3. Durch die Gebäudemetapher werden die informationstechnischen Modelle als Virtuelle Gebäudestrukturen in Form von Virtuellen Baukomponenten und Virtuellen Räumen modelliert. Sie können mit entsprechenden Techniken mit dem physischen Gebäudekontext verzahnt (Bsp. Active Badges) und in diesen visuell integriert werden (Bsp. Augmented Reality). Die Virtuellen Strukturen erweitern damit physische Gebäude, je nach Kontext, in dem ein Betrachter steht, um informationstechnische Sichten und Funktionalitäten. Dies kann soweit gehen, daß Virtuelle Gebäudestrukturen physische Gebäudestrukturen ersetzen. Sie ermöglichen darüberhinaus die Verknüpfung räumlich getrennter physischer Orte, Ressourcen und Personen zu Virtuellen Organisationseinheiten. Dabei gewährleistet die Gebäudemetapher, daß Interaktionsmuster zwischen physischen und Virtuellen Strukturen durchgängig bleiben.

Insbesondere Gebäude, die selber komponentenbasiert strukturiert sind, wie z.B. Gebäudebaukästen, bilden dafür eine geeignete Plattform.

4 Implementierung

In den Forschungsprojekten ArchE [70][94] und FABEL [39] wurden Teilbereiche der Konzepte aus Kapitel 3 in einem rechnerbearbeitbaren IT-Modell, dem **Prototypen armilla5**, implementiert [75][76].

Die Implementationen konzentrieren sich auf die Modellierung der ersten Phasen des architektonischen Entwurfes bis hin zur Umsetzung einer virtuellen Baustelle. Sie bewegen sich in der Anwendungsdomäne des Gebäudebaukastens MIDI und des Installationsmodells armilla und beziehen sich dort insbesondere auf die Teilsysteme Raum, Tragwerk und Lüftung.

Im folgenden werden die wesentlichen Konzepte der Implementierung von armilla5 anhand der Schwerpunkte Datenhaltung und Benutzungsoberfläche dargestellt.

4.1 Die Datenhaltung

Ziel der Datenhaltung ist die Schaffung einer persistenten und konsistenten Datengrundlage, die insbesondere den Übergang von schwach strukturierten Daten zu Anfang des Entwurfes bis hin zu stark strukturierten Daten zu Ende des Entwurfes gewährleistet. Grundlage der Datenhaltung bildet das A4-Modell. Es setzt die planerische Sicht der Gebäudemetapher in einem vieldimensionalen Daten- und Entwurfsraum um. Es modelliert sowohl Daten als auch Programme einheitlich als Container und bietet Konzepte für ihre vieldimensional räumliche Interaktion. (s. Kapitel 3.1.4)

4.1.1 Das Containermodell

Das A4-Modell wurde als objektorientiertes Datenmodell dem sog. „Containermodell“ abgebildet. Dieses Containermodell umfaßt eine einzige Klasse, die Klasse Container. Die Klasse Container unterscheidet Dimensions- und Beschreibungsattribute:

Dimensionsattribute bezeichnen die im A4-Modell beschriebenen Dimensionen des Datenraumes. Die notwendigen räumlichen und zeitlichen Dimensionen bilden die Grundlage für die umfassende Visualisierung der Container auf der Benutzungsoberfläche und das Rücksetzen von Entwurfsentscheidungen.

Beschreibungsattribute bezeichnen zusätzliche Attribute, die einem Container angefügt werden können und diesen bezüglich seiner Darstellung auf einer Benutzungsschnittstelle, seines Inhalts, seiner Funktionalität etc. genauer spezifizieren. Beschreibungsattribute wurden im Rahmen der Implementierung an das A4-Modell angefügt, da sich herausstellte, daß insbesondere für die Visualisierung der Container auf einer graphischen Benutzungsoberfläche und die Anbindung von externen Partialmodellen zusätzliche Attribute notwendig sind, die allein mit Dimensionsattributen nicht zu beschreiben sind.

Folgende Gruppen von Beschreibungsattributen wurden in diesem Sinne implementiert:

1. Beschreibungsattribute geben einem Container eine eindeutige Identität.

object-name

Dieses Attribut gibt einem Container innerhalb der Planungsumgebung einen eindeutigen Namen.

object-instance

Dieses Attribut verknüpft einen Container mit einem Partialmodell.

2. Die Implementation der graphischen Benutzungsoberfläche erfolgte unter „NextStep 3.0“ dessen Display-Technologie auf „Postscript“ basiert. Es wurden daher Beschreibungsattribute implementiert, die die Darstellung eines Containers auf der gemeinsamen Benutzungsoberfläche in Form einer zweidimensionalen Postscript-Graphik bestimmten.

insertion-point

Dieses Attribut bezeichnet den Einfügepunkt der Postscript-Graphik, gebildet aus den Attributen dancer-top und image-data auf der Benutzungsoberfläche in einem Weltkoordinatensystem.

dancer-top

Zusammen mit dem Attribut image-data definiert dieses Attribut die Darstellung des Containers auf der graphischen Benutzungsoberfläche.

image-data

Dieses Attribut bezeichnet den Code der Postscript-Graphik.

grid

Dieses Attribut bestimmt ein Raster im Weltkoordinatensystem, in welchem die Postscript-Graphik des Containers positioniert wird.

imageFilename

Alternativ zur Postscript-Graphik können Container auch als Bitmap dargestellt werden. Diese Darstellung wird durch eine externe Bilddatei bestimmt, die über das Beschreibungsattribut mit dem Container verknüpft ist.

rib

Auf der zweidimensionalen Benutzungsoberfläche können Container wahlweise auch 3-dimensional visualisiert werden. Ein entsprechendes Beschreibungsattribut bezeichnet dafür eine RIB-Datei (Renderman Interface Boundary) mit einem entsprechenden 3D-Graphik Code.

textFilename

Container können auch als Text visualisiert werden. Der entsprechende Text ist in einer externen Datei abgelegt und mit einem Beschreibungsattribut mit dem Container verknüpft.

3. Als zusätzliche Benutzungsschnittstellen zum Datenraum wurden externe Softwarewerkzeuge eingebunden. Sie erlauben das Editieren und Visualisieren von Containern innerhalb eines kommerziellen Produktes. Entsprechende Beschreibungsattribute bezeichnen die Verknüpfung der Container über die verschiedenen Softwareplattformen hinweg.

minicad-top

Dieses Attribut stellt die Verknüpfung zu einem entsprechenden Objekt innerhalb des CAD-Systems „MiniCAD“ her.

sc-standard

Dieses Attribut stellt die Verknüpfung zu einem entsprechenden Objekt innerhalb der Virtual Reality Software „VRT Superscape“ her.

AutoCAD

Dieses Attribut stellt die Verknüpfung zu einem entsprechenden Objekt innerhalb des CAD-Systems „AutoCAD“ her.

4. Das A4-Modell kapselt neben Daten auch Programme bzw. Programmbausteine. Diese werden mit Benutzungsschnittstellen zugänglich gemacht. Die Einstellungen dieser Benutzungsschnittstellen werden mit Beschreibungsattributen bestimmt.

interest

Dieses Attribut bezeichnet die Einstellungen in der Benutzungsschnittstelle des Containers „Navigator“. Mit diesem Container kann ein Planer durch den Datenraum navigieren. Die Einstellungen bestimmen das „Interesse“ des Navigators auf den Dimensionen: aspect (Teilsystem), morphology (Morphologie), resolution (Auflösung) und scale (Größenordnung).

address

Dieses Attribut bezeichnet die Einstellungen in der Benutzungsschnittstelle des Containers Navigator bezüglich „host“ und „projectname“.

constraint-data

Dieses Attribut bestimmt die Einstellungen in der Benutzungsschnittstelle des Containers „Constraint“.

Die implementierte Liste der Beschreibungsattribute ist im Prinzip offen und kann um beliebige weitere Attribute ergänzt werden.

Tabelle 4.1

Liste der Dimensions- und Beschreibungsattribute eines Containers mit ihren Datenformaten (ft = float, st = string) auf der Schnittstelle zur Datenbank.

Dimensionsattribute:

x	ft:x
dx	ft:dx
y	ft:y
dy	ft:dy
z	ft:z
dz	ft:dz
t	ft:t
dt	ft:dt
tt	ft:tt
dt	ft:dt
aspect	st:string
morphology	st:string
resolution	st:string
scale	ft:scale
composition	st:string

Beschreibungsattribute:

object-name	st:string
object-instance	st:string
insertion-point	st:x y rotation
dancer-top	st:string
image-data	st:string
minicad-top	st:string
sc-standard	st:string
AutoCAD	st:string
imageFilename	st:string
grid	st:string
rib	st:string
textFilename	st:string
interest	st:string
address	st:string
constraint-data	st:string

In der Implementierung wurde die Datenhaltung der Container des Containermodells durch die Systemkomponente „Containerserver“ realisiert. Basis des Containerservers ist die kommerziell erhältliche objektorientierte Datenbank „ObjectStore“ [109]. Diese wurde um Mechanismen zur Handhabung des vieldimensionalen Datenraumes erweitert. Hierzu zählt insbesondere die Optimierung des Datenzugriffs über mehrdimensionale Zugriffspfade [20], sowie die Umsetzung einer auf dem vieldimensionalen Komponentenbegriff begründeten Basisfunktionalität. Diese Basisfunktionalität realisiert einen uniformen Grundmechanismus zur bereichsorientierten Interaktion der Container im Datenraum (vergl. Kapitel 3.1.4.2). Mit ihm wurde u.a. die Navigation durch den Datenraum, die Einbindung von Constraints sowie das bereichsorientierte Rücksetzen von Containern auf einen früheren Entwurfszeitpunkt in Form eines History-Mechanismus realisiert.[143]

4.1.2 Die Fachmodelle

Das A4-Modell wurde als Integrationsmodell bezeichnet. Das Containermodell stellt seine Umsetzung in einem Datenmodell dar. Vor dem Hintergrund der Integrationsleistung wird es in der Implementierung als **Integrationskern** bezeichnet. Innerhalb des Projektes ArchE wurden Verfahren entwickelt, wie in diesen Integrationskern stärker strukturierte Datenmodelle, sog. „Fachmodelle“ mit zusätzlicher Funktionalität, über den Entwurfsfortschritt hinweg eingebunden werden können. [59]

Die Einbindung von Fachmodellen geschieht vor folgendem Hintergrund:

Gerade in den ersten Phasen des architektonischen Entwurfes sind die Entwurfsentscheidungen der Planer in der Regel noch schwach strukturiert und vage. Das Containermodell bietet hierfür eine Modellierung, die alle Entwurfsentscheidungen in einen gemeinsamen Planungskontext integriert, ohne die eigentlichen Entwurfsspielräume durch die Art der Modellierung zu stark einzuschränken (open-world-assumption). Die Dimensionsattribute beschreiben die Position der Entwurfsentscheidung im Datenraum nach entwurfsrelevanten Kriterien und grenzen sie für den Entwurfskontext ausreichend eindeutig von anderen Entwurfsentscheidungen ab. Die Beschreibungsattribute attribuieren diese und geben ihnen wahlweise eine Gestalt und Bedeutung.

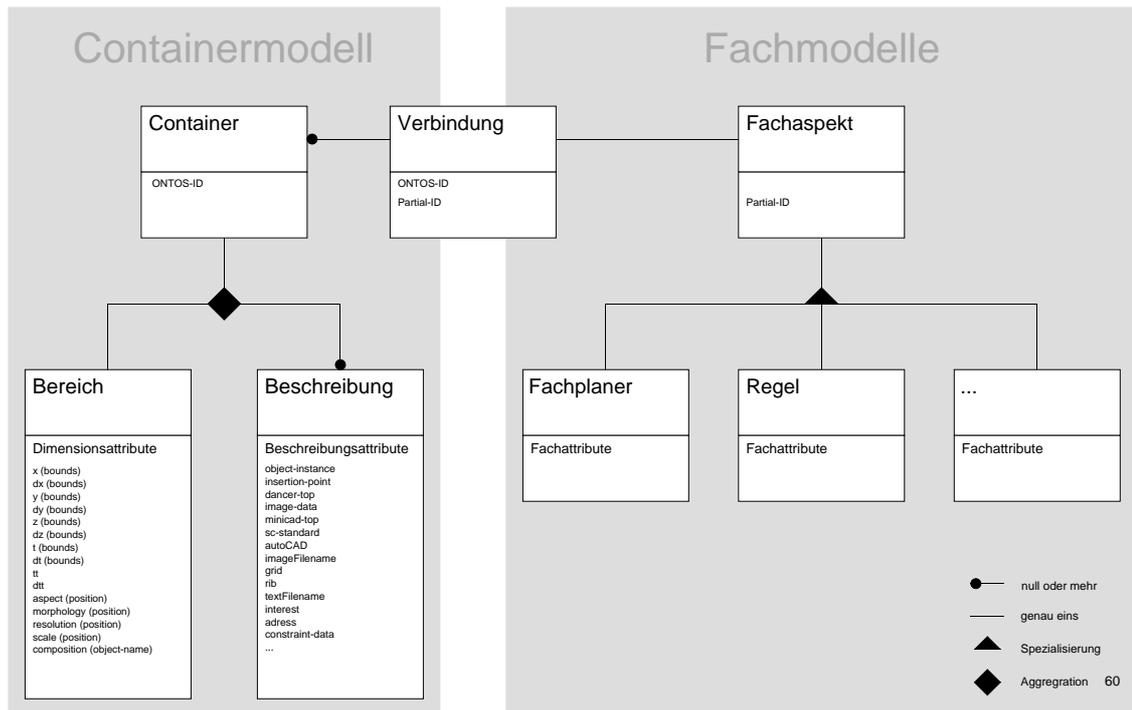


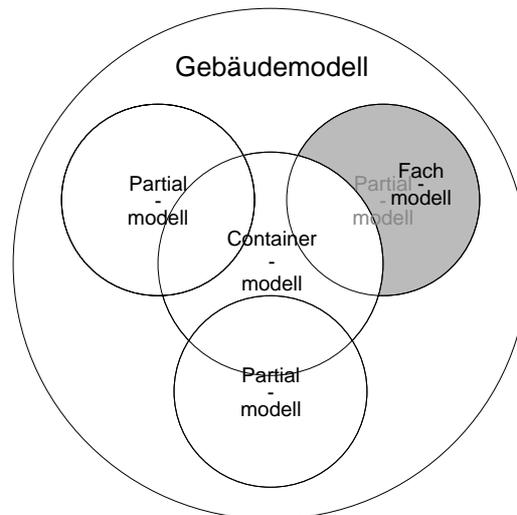
Bild 4.2

Verknüpfung des Containermodells mit verschiedenen Fachmodellen

Ein Container kann im Laufe des Entwurfes mit mehreren Fachmodellen verknüpft und so spezialisiert werden. In der Datenstruktur des Containers werden dabei die Attribute gespeichert, die für die Positionierung des Containers im Entwurfskontext notwendig sind. In den Fachmodellen werden die Attribute der Fachaspekte (z.B. Kosten, Energiekennzahlen etc.) gespeichert. Die Fachmodelle „Fachplaner“ und „Regeln“ wurden in der objektorientierten Datenbank „ObjectStore“ [109] modelliert und durch diese unterstützt.

Mit dem Entwurfsfortschritt werden die Entwurfsaussagen zwangsläufig definitiver. Die Modellierung des Containermodells reicht jetzt nicht mehr aus, um alle Entwurfsentscheidungen eindeutig abzubilden und einen leistungsfähigen Zugriff auf die Container zu gewährleisten. Das Containermodell muß um entsprechend tiefer strukturierte Modelle angereichert werden. Dieses geschieht im Projekt ArchE durch die Angliederung von Fachmodellen. Fachmodelle modellieren Fachaspekte, d.h. Expertenwissen. Sie werden über Verbindungsobjekte mit den Containern verknüpft.

Das eigentliche Produktmodell bzw. Gebäudemodell entsteht um das Containermodell herum über diese Verknüpfung mit Fachmodellen. Die schrittweise Spezialisierung des Containermodells erfolgt mit dem individuellen Entwurfsfortschritt und ist Teil der Entwurfsleistung. Das Gebäudemodell wächst also mit dem individuellen Gebäudeentwurf und paßt sich diesem als Unikat an.[92]

**Bild 4.3**

Das Containermodell als Integrationskern des Gebäudemodells

Fachmodelle werden im Laufe des Entwurfes an das Containermodell angelagert. Die individuelle Verknüpfung von Containermodell und Fachmodell werden in ArchE Partialmodelle genannt.

Dieses im Projekt ArchE entwickelte Verfahren vermittelt zwischen der „closed-world-assumption“, die jeder Modellierungen zugrundeliegt, und der „open-world-assumption“, die Entwurfsprozesse auszeichnen. Es versucht den Widerspruch, der sich durch die Computerunterstützung von Entwurfsvorgängen ergibt, durch die dynamische Eingliederung von stark und statisch strukturierten Modellen in einen schwach und offen strukturierten Entwurfskontext aufzulösen.

In der Vorstellung des Informationsgebäudes begleitet das Gebäudemodell das Gebäude über seinen gesamten Lebenszyklus. Die für die frühen Entwurfsphasen entwickelten Verfahren der dynamischen Eingliederung von Fachmodellen können auch in den späteren Phasen des Lebenszyklus angewendet werden. Hier wurden bereits in Kapitel 3 Anwendungen u.a. aus den Bereichen der Gebäudebewirtschaftung, der Gebäudeautomation und der Arbeitsprozesse dargestellt.

Innerhalb des Projektes ArchE wurden zwei verschiedene Klassen von Fachmodellen neben dem Containermodell in der objektorientierten Datenbank „ObjectStore“ [109] implementiert. Dieses sind die Fachmodelle „Fachplaner“ und „Regeln“.

4.1.2.1 Fachplaner

Fachplaner modellieren Expertenwissen in Form objektorientierter Modelle. Sie ermöglichen damit den fachspezifischen und datenoptimierten Zugriff auf die Entwurfsdaten. Beispielsweise können über Fachplanermodelle Kostenkalkulationen oder Energieberechnungen durchgeführt werden.

Im Projekt ArchE wurden verschiedene Fachplaner implementiert. Dies sind der Fachplaner MIDI, der die Strukturen des Gebäudebaukastens MIDI modelliert, und der Fachplaner Raum, der ein allgemeines Raummodell abbildet [71]. Als Modellierungssprache wurde OMT verwendet [123].

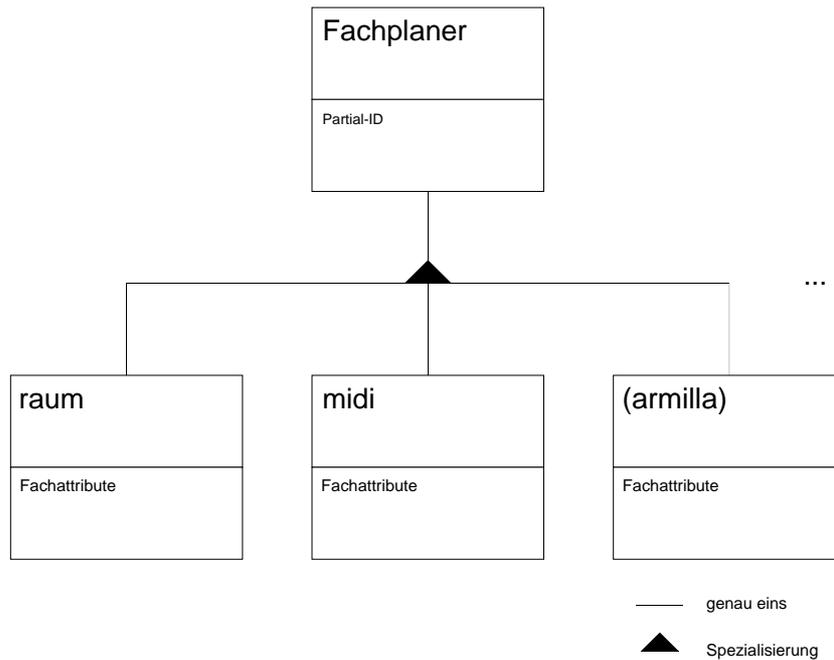
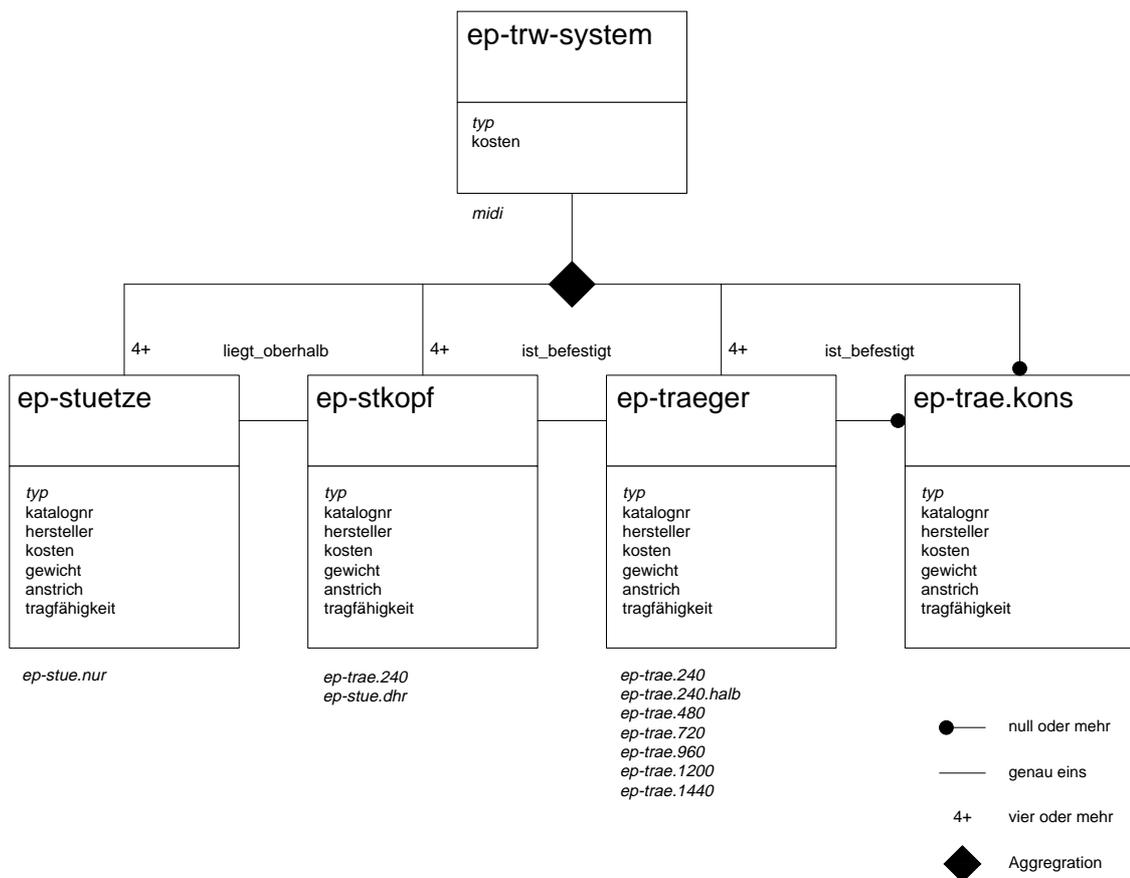


Bild 4.4

Die in ArchE implementierten Fachplaner

Neben den Fachmodellen Raum und MIDI wurde das Installationsmodell armilla soweit durchstrukturiert und in diesen Strukturen durch Beispielplanungen abgesichert, daß es problemlos als Fachplaner in ein objektorientiertes Schema überführt werden kann.

**Bild 4.5**

Ausschnitt aus dem Fachmodell MIDI (Modellierung nach OMT [123])

Dargestellt ist die Modellierung des Tragwerks in der Detaillierungsstufe der Elementierungsplanung (ep-trw-system), welches sich in Stützen (ep-stuetze), Stützenköpfe (ep-stkopf), Träger (ep-traeger) und Konsolen (ep-trae.kons) aggregiert. Die einzelnen Klassen sind mit Attributen spezifiziert. Die Beschriftung der Klassen bezeichnet mögliche Belegungen des Attributs „Typ“.

4.1.2.2 Regeln

Regeln modellieren Expertenwissen in Form von Ereignissen, Bedingungen und Aktionen (event - condition - action). Ihre Definition und Einbindung in den Entwurfskontext wird als Teil der Entwurfsleistung angesehen. Sie schränken wie alle anderen Entwurfsentscheidungen die anfänglichen Entwurfsspielräume schrittweise ein.

Durch die Einbindung von Regeln in das Containermodell werden diese zu sog. „Bereichsregeln“. Ihre Funktionalität wird innerhalb des Entwurfskontextes auf einen vieldimensionalen räumlichen Bereich, der durch die Position des assoziierten Containers bestimmt wird, eingeschränkt (area - event - condition - action). Analog zu den Verfahren der Navigation und Interaktion wird durch den räumlichen Bereich der Bereichsregel eine Kollisionsmenge mit den anderen Containern des Datenraumes bestimmt. Diese

Kollisionsmenge bezeichnet die Container, auf die sich die Bedingung (=condition) bezieht. Zusätzliche Spezifikationen innerhalb der Regel bestimmen die Ereignisse (=event), die zu einer Regelüberprüfung führen, sowie die Aktionen (=action), die bei einer Regelverletzung ausgelöst werden.

Durch die Beschränkung des Wirkungsbereiches von Regeln auf einen vieldimensionalen räumlichen Bereich kann die Komplexität der Konsistenzsicherungsmaßnahmen innerhalb eines architektonischen Entwurfskontextes gegenüber herkömmlichen Verfahren erheblich reduziert werden. [93][94][142][143][144]

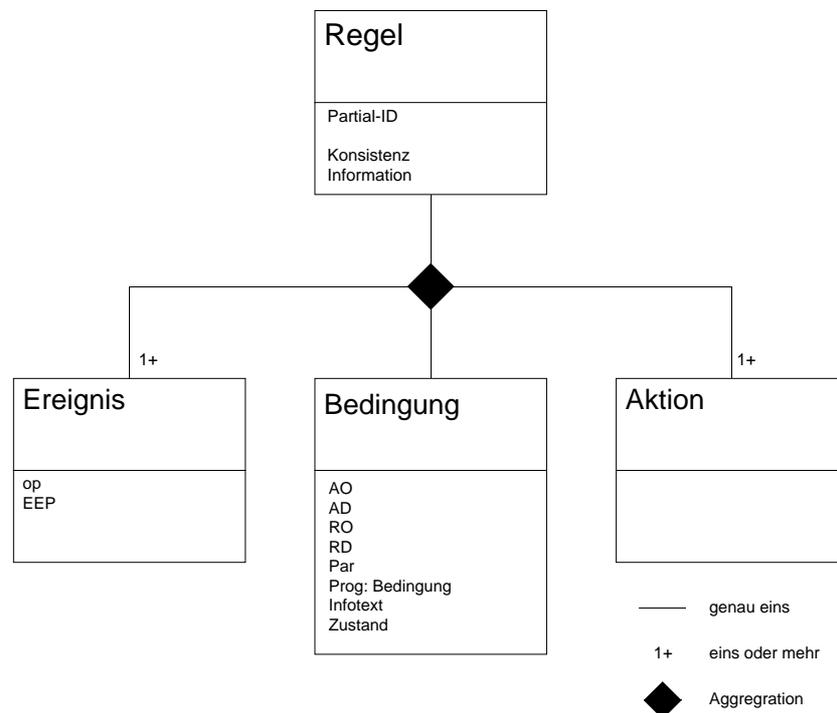


Bild 4.6

Die Modellierung von Regeln (event-condition-action)

Durch die Verbindung mit dem Containermodell werden Regeln zu Bereichsregeln (area-event-condition-action)

Die Definition von Regeln wird als Constraintdefinition bezeichnet. Dabei stehen üblicherweise zwei Verfahren zur Verfügung.

- Regeln werden mit Hilfe einer Constraintsprache erzeugt. Constraintsprachen sind Teil der Benutzungsschnittstelle. Sie erlauben innerhalb ihres durch die Syntax gesteckten Rahmens neue Regeln zu formulieren.
- vordefinierte Regeln werden aus einer Bibliothek heraus in den Entwurfskontext eingebunden. Diese Constraintbibliotheken können an Fachmodelle angegliedert sein und einen spezifischen Fachaspekt in Form von Regeln modellieren.

Beide Formen der Constraintdefinition wurden im Projekt ArchE implementiert :
 Die Constraintsprache ermöglicht die Definition von raumbezogenen Relationen zwischen allen Containern des Datenraumes auf den kontinuierlichen Achsen x, y, z, Zeit (t) und timetag (tt) [73]. Diese Regeln sind insbesondere in den ersten Phasen des kooperativen architektonischen Entwurfes von Bedeutung. Als Constraintbibliothek wurden die Konfigurationsregeln des Gebäudebaukastens MIDI modelliert und an das Fachmodell MIDI angegliedert [155]. Sie können aus einer Constraintbibliothek heraus in den Entwurfskontext eingebunden werden.

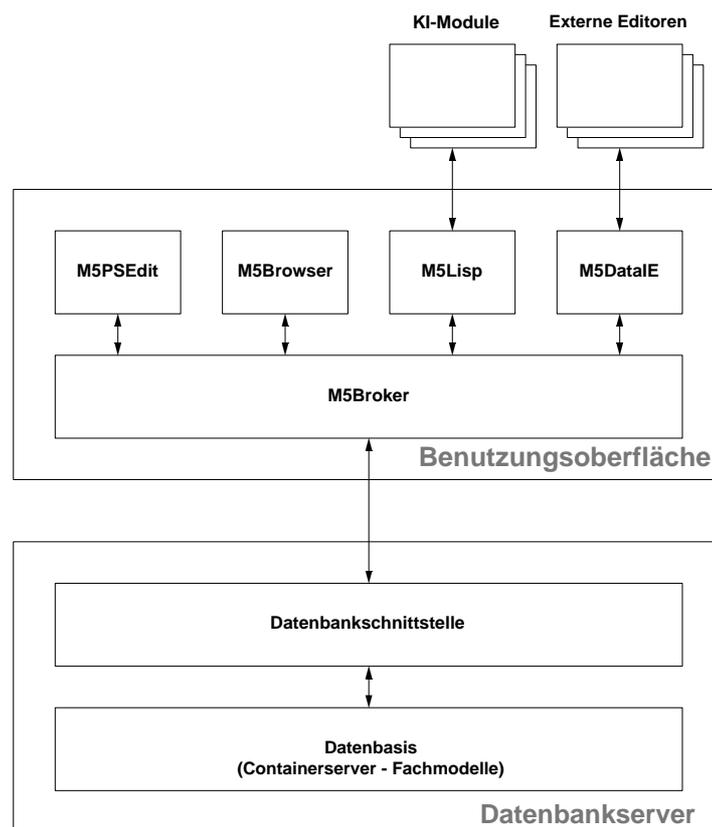


Bild 4.7

Die Systemarchitektur des Prototypen armilla5 [94]

4.2 Die Benutzungsoberfläche

Zentraler Aspekt des A4-Modells ist die umfassende Visualisierung und Steuerung der Container auf einer graphischen Benutzungsoberfläche. Auf dieser Benutzungsoberfläche werden die Container erzeugt, editiert und im Zuge des Entwurfsfortschrittes mit Fachmodellen verknüpft.

Die Benutzungsoberfläche des Prototypen *armilla5* wurde in „Objective_C“ unter „NeXTStep 3.0“ implementiert und umfaßt mehrere Module:

Dieses sind zunächst ein geometrischer (M5PSEdit) und ein semantischer Editor (M5Browser). Der geometrische Editor bildet die horizontale Schnittebene durch den Datenraum auf den Dimensionen x und y und damit die graphische Sicht auf die virtuelle Baustelle und das Informationsgebäude.

Der semantische Editor betrachtet den Datenraum semantisch. Er ermöglicht die Manipulation der Container über eine Listendarstellung aller Containerattribute.

Darüberhinaus wurde der Prototyp über das Modul M5DataIE mit externen kommerziellen Programmen verbunden. Bei den Programmen handelt es sich um die CAD-Programme „MiniCAD“ und „AutoCAD“, die Virtual Reality Software „VRT-Superscape“ [51] sowie die Render Software „Alias Wavefront“. Die Container können in diese Editoren eingeladen werden und dort zusätzlich zur implementierten Benutzungsoberfläche mit entsprechender Funktionalität editiert und visualisiert werden.

Ein weiteres Modul M5Lisp realisiert die Einbindung von Werkzeugen der künstlichen Intelligenz in den Datenraum [39]. Alle Module greifen auf eine gemeinsame Plattform (M5Broker) zu, die die Kommunikation untereinander und den Zugriff auf den zentralen Datenbankserver realisiert. (Bild 4.7)

4.2.1 Der geometrische Editor M5PSEdit

Der geometrische Editor bildet die eigentliche visuelle Integrationsebene für die Container der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung (Bild 4.8). Auf ihr können alle Container gleichermaßen als Komponenten einer Virtuellen Baustelle visualisiert werden.

Die Implementierung unterscheidet Container, die Daten und Programme repräsentieren. Entsprechend bildet die visuelle Gestalt eines Containers im geometrischen Editor die Benutzungsschnittstelle zu den mit ihm verknüpften Attributen und Funktionalitäten. Dabei werden Container, die mit Attributen in Form von Daten verknüpft sind, **passive Container** und Container, die mit Funktionalitäten in Form von Programmen verknüpft sind, **aktive Container** genannt. Die Gestalt eines Containers kann je nach Kontext, in dem er betrachtet wird, wechseln. Die unterschiedlichen Darstellungen reichen von Graphik, Bild, Text und Ton bis hin zu Benutzungsschnittstellen. Sie werden in Form von Beschreibungsattributen einem Container angefügt. Das Gesamtbild einer Virtuellen

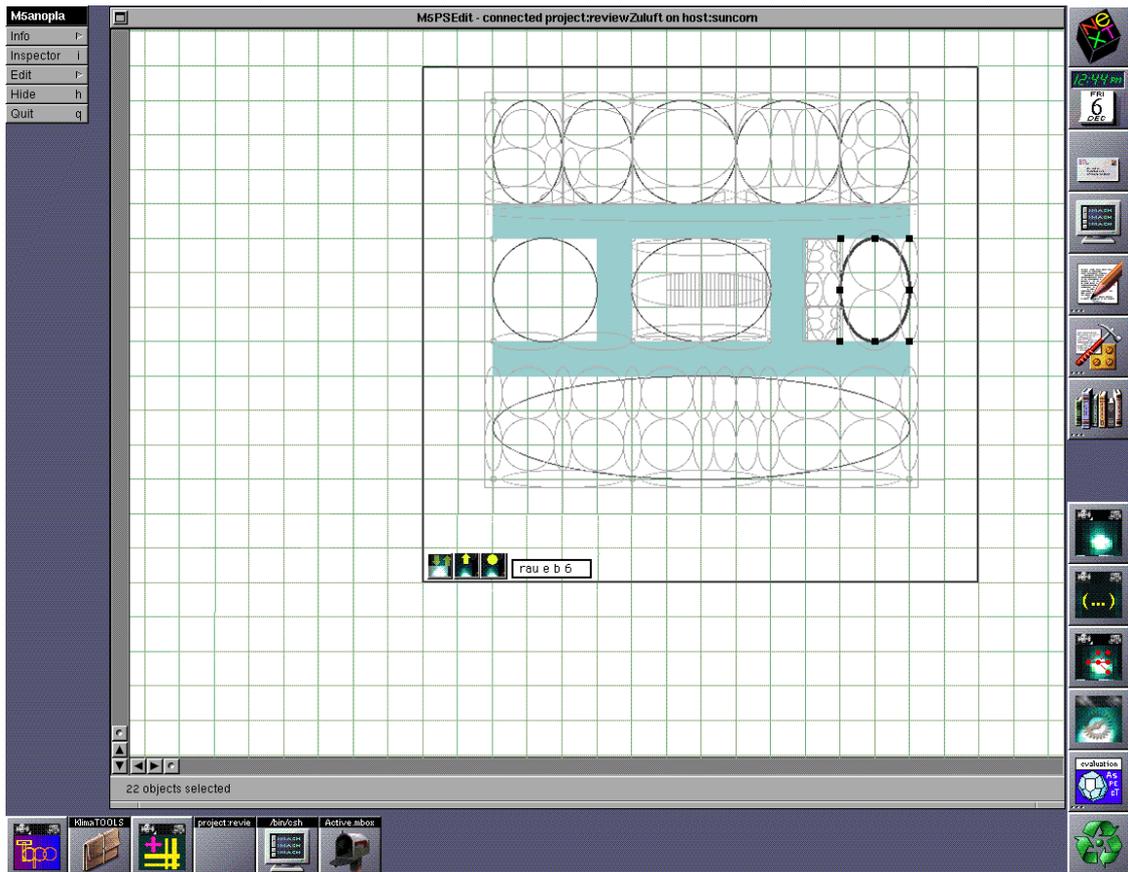


Bild 4.8

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 Zonen. Es werden Räume und Nutzungsbereiche definiert. Ein Container „Raum“ ist selektiert.

Der geometrische Editor verwendet für die Darstellung von Containern der Abstraktionsstufe Zone eine Ellipsendarstellung. Diese Darstellung erhöht die darstellbare und kontrollierbare Informationsmenge auf der Planungsoberfläche. Ellipsen überlagern sich nur in wenigen Punkten. Ihre Identität und Größe bleibt trotz vieler Schichten eindeutig ablesbar.

Baustelle setzt sich also aus den Einzeldarstellungen der Container zusammen. Das Gleiche gilt für die Gesamtfunktionalität der virtuellen Baustelle. Die Gesamtfunktionalität des Datenraumes wird durch die Summe der mit den Containern in den Datenraum eingebundenen Einzelfunktionalitäten bestimmt.

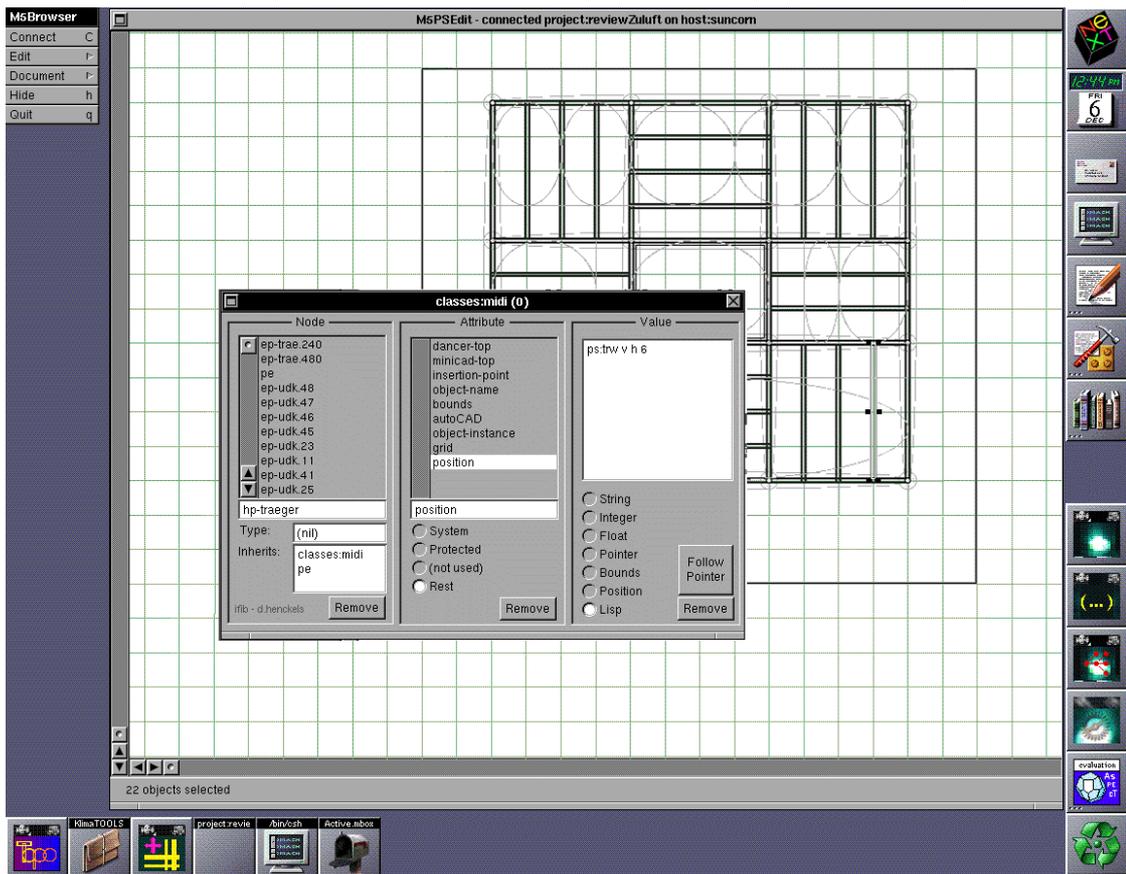


Bild 4.9

Der semantische Editor von armilla5 M5Browser

Auf der Grundlage des Raumlayouts aus Bild 4.8 wird das MIDI-Tragwerk auf der Abstraktionsstufe der Hüllen geplant. Der semantische Editor M5Browser ist aktiviert. Er erlaubt die Eingabe und Manipulation aller Dimensions- und Beschreibungsattribute der im geometrischen Editor selektierten Container.

4.2.2 Der semantische Editor M5Browser

Der semantische Editor von M5Browser bildet die semantische Sicht auf den Datenraum (Bild 4.9). Er realisiert den Zugriff und die Manipulation der Container über einen Browser. In ihm können alle Dimensionen, insbesondere die nicht-geometrischen Dimensionen sowie die Beschreibungsattribute der Container angezeigt und editiert werden. Der semantische Editor M5Browser ergänzt den geometrischen Editor um den Zugriff auf Attribute, die nicht durch eine geometrische, visuelle Interaktion erzeugt und verändert werden können.

Entsprechend diesem semantischen Editor sind weitere Editoren vorstellbar, die den Zugriff auf die Attribute der angegliederten Fachmodelle gewährleisten.

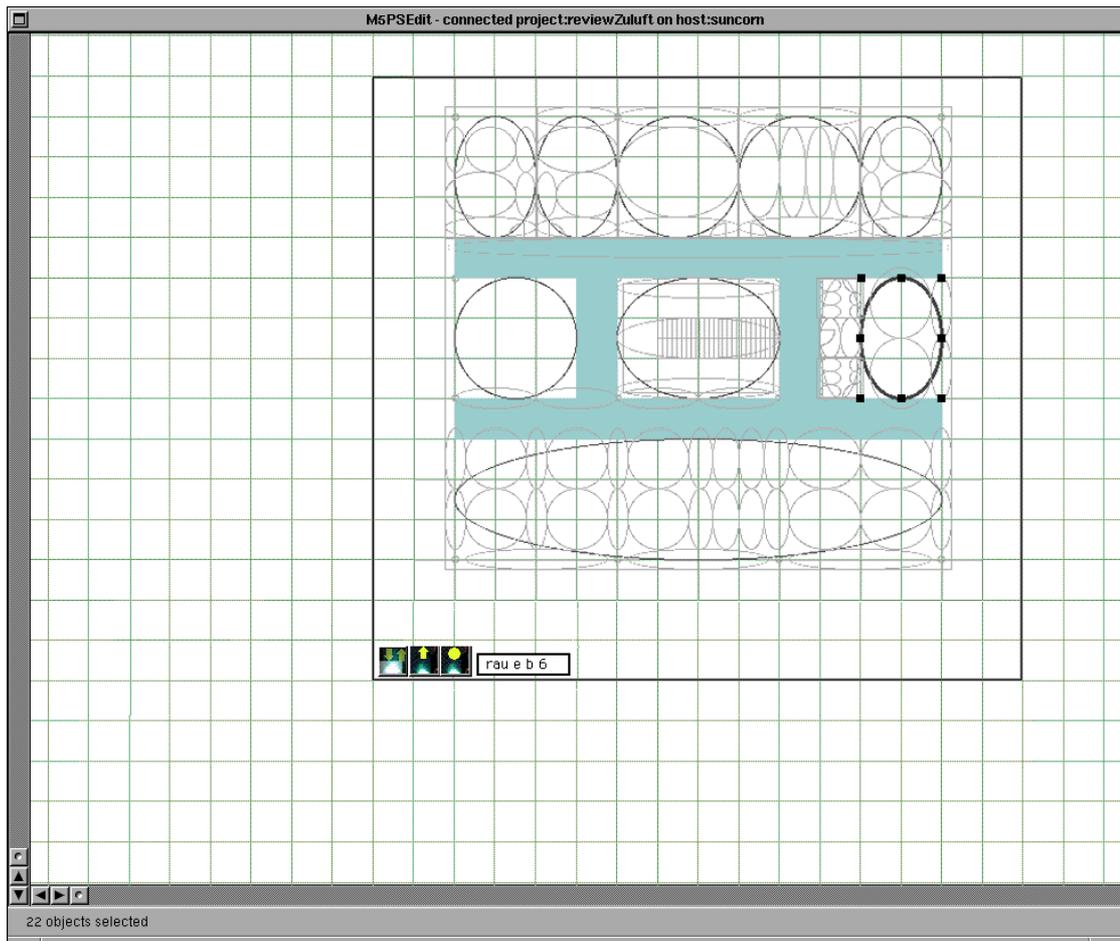


Bild 4.10

Beispiel eines passiven Containers „Raum“ der Linienplanung

4.2.3 Die Container auf der Benutzungsoberfläche

Die Konzepte der Benutzungsoberfläche, im besonderen die der graphischen Sicht auf den Datenraum im geometrischen Editor M5PSEdit, werden im folgenden anhand von Ausschnitten einer Beispielplanung verdeutlicht. Passive und aktive Container sind in ihrem vieldimensional räumlichen Zusammenwirken dargestellt. Sie werden im geometrischen Editor im beschriebenen Sinne zu Virtuellen Baukomponenten und Virtuellen Räumen, die sich über Virtuelle Baustellen zu Virtuellen Gebäuden aggregieren.

Bei der Beispielplanung handelt es sich um ein Bürogebäude, das in der Systematik des Gebäudebaukastens MIDI und des Installationsmodells armilla geplant wird. Die Abbildungen sind dabei dem lauffähigen Softwareprototypen armilla5 als Bildschirmabzüge entnommen.

4.2.3.1 Der passive Container „Raum“

Die Beispielplanung befindet sich zu Beginn des Entwurfes auf der Detaillierungsstufe der Linienplanung (Bild 4.10). Das Raumlayout des Gebäudes wird in Form von Räumen und den darin befindlichen Nutzungsbereichen geplant. Dieses geschieht in einer Genauigkeit von +/- 1,20m. In der Beispielplanung ist ein Container selektiert, der einen Raum repräsentiert.

Dieser Container hat folgende Attribute:

Tabelle 4.11

Liste der Dimensions- und Beschreibungsattribute des selektieren Containers „Raum“

Dimensionsattribute :

x	ft: 1200
dx	ft: 240
y	ft: 480
dy	ft: 360
z	ft: 0
dz	ft: 300
t	ft: 0
dt	ft: 1
tt	ft: 836838765
dt	ft: 1
aspect	st: rau
morphology	st: n
resolution	st: b
scale	ft: 8
composition	st: mc96/05/15-31

Beschreibungsattribute :

object-name	st: mc96/05/15-31
object-instance	st: classes:raum lp-h45
insertion-point	st: 1200 480 0
dancer-top	st: Circle .2 .9 .5 1 1 1 1
minicad-top	st: Oval 1 2 187 255 0 0 0
sc-standard	st: 7.0 13.0 4.0 E
autoCAD	st: lp-h45
imageFilename	st: nil
grid	st: X 60 D 0 z 420 0 45

Der Container „Raum“ wird durch das Attribut object-name eindeutig innerhalb des Planungskontextes identifiziert. Seine Gestalt innerhalb des geometrischen Editors M5PSEdit wird durch die Dimensionsattribute x und y sowie durch die Beschreibungsattribute insertion-point und dancer-top bestimmt. Im Falle des selektierten Containers ist der Postscript-Code wenig komplex. Er wird daher vollständig durch das Attribut dancer-top beschrieben. Bei komplexeren geometrischen Darstellungen wird dagegen im Attribut dancer-top ein Verweis auf einen entsprechenden Code im Attribut image-data oder in einem Fachmodell gespeichert.

Das Attribut object-instance verknüpft den Container mit dem Fachmodell „Raum“. Dieses Fachmodell bietet den optimierten Datenzugriff beispielsweise eines Kalkulationsprogrammes auf die Flächen und Volumina des Entwurfes.

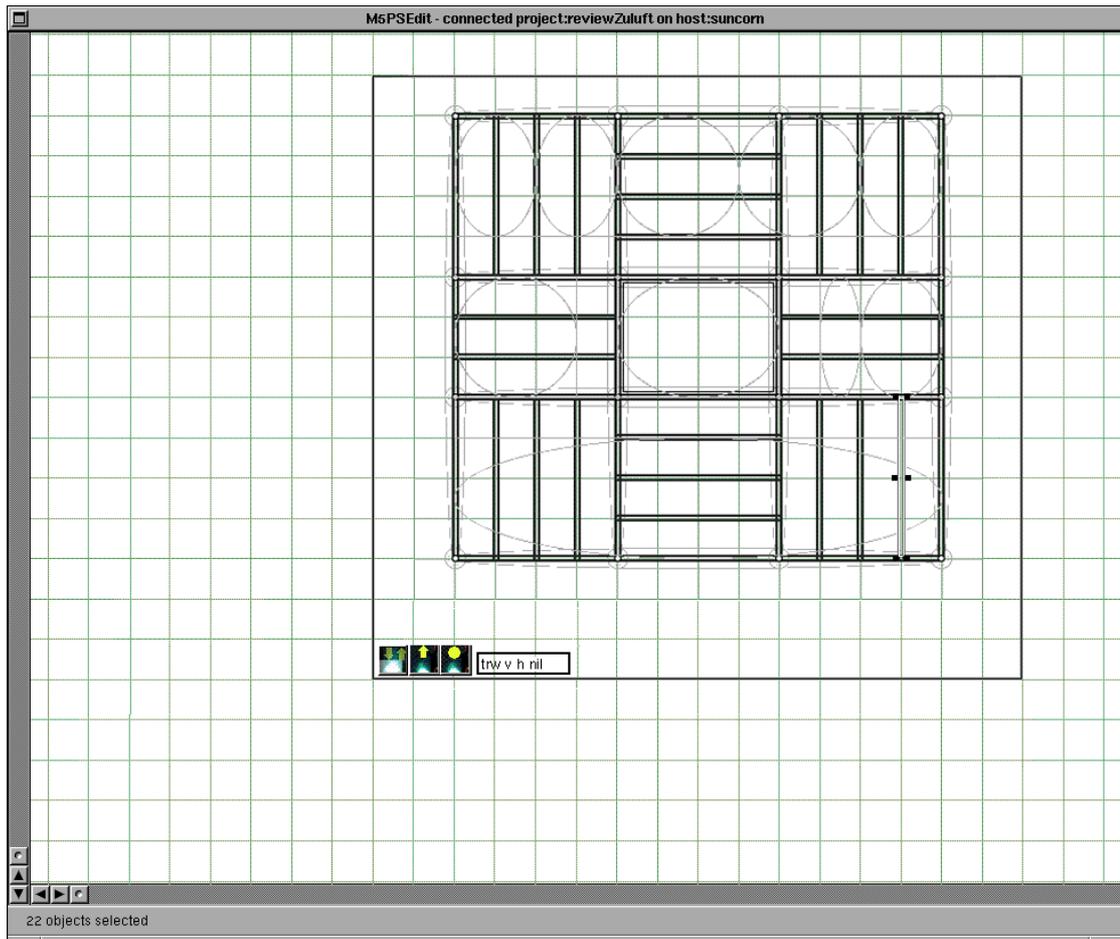


Bild 4.12

Beispiel eines passiven Containers „MIDI Träger“ der Elementierungsplanung

4.2.3.2 Der passive Container „MIDI-Träger 960“

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Elementierungsplanung (Bild 4.12). Das Tragwerk wird in MIDI-Träger und MIDI-Stützen elementiert. Die Voraussetzung für diese Planungsstufe sind die Linienplanung der Räume und die Hüllenplanung des Tragwerks, die im Hintergrund eingeblendet sind. Ein MIDI-Träger der Länge 9,60 m ist selektiert.

Die Container des Tragwerks werden auf dieser Planungsstufe mit dem Fachmodell MIDI verknüpft und damit weiter ausdetailliert. Sie erhalten über das Fachmodell MIDI-spezifische Attribute, wie Kosten und Bestellnummern.

Kalkulationsprogramme können danach optimiert über das angegliederte Fachmodell auf diese Daten des Entwurfes zugreifen.

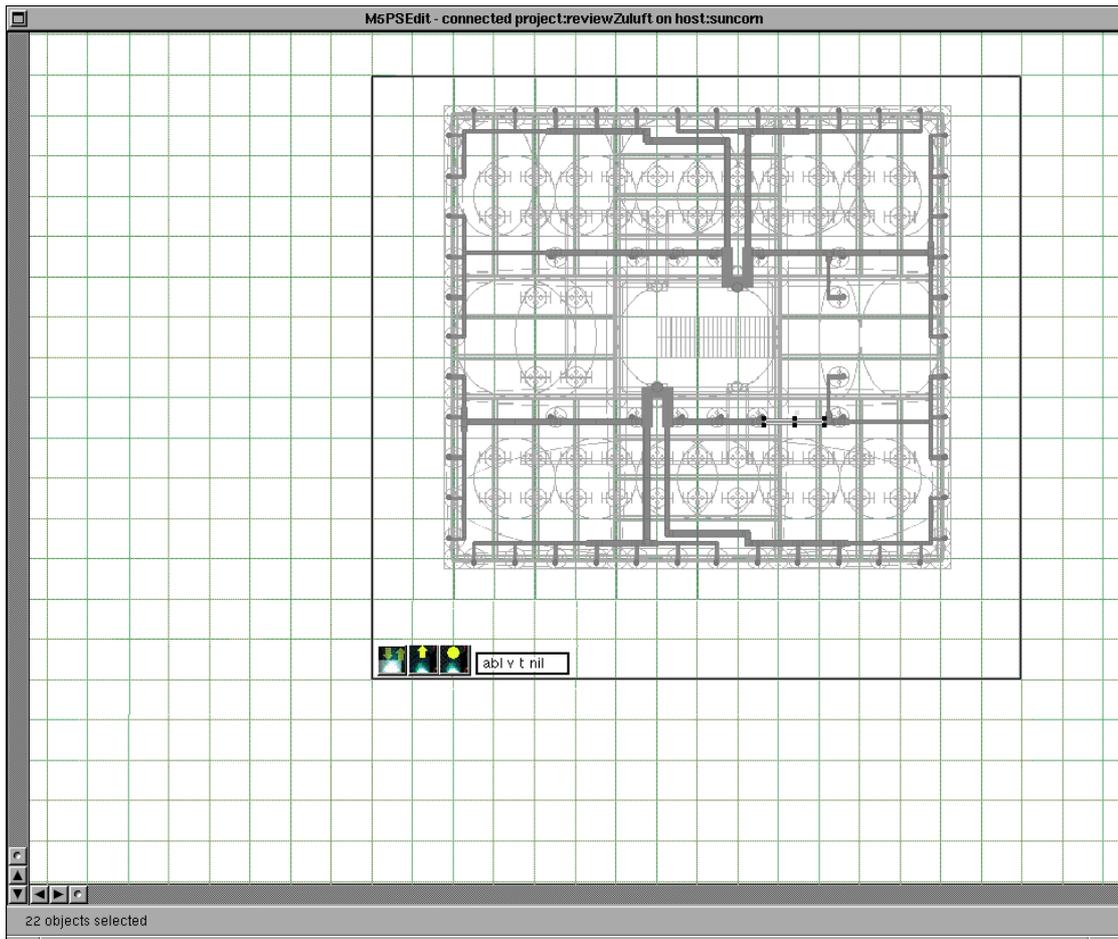


Bild 4.13

Beispiel eines passiven Containers „Astleitung Abluft“ der Hüllenplanung

4.2.3.3 Der passive Container „Astleitung Abluft“

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Hüllenplanung (Bild 4.13). Die Astleitungshüllen der Abluftsysteme werden in definierten Trassen im Deckenhohlraum positioniert. Das Ergebnis dieser Planungsstufe koordiniert ohne Kollisionen alle Leitungssysteme der verschiedenen Gewerke. Voraussetzung für diese Planungsstufe ist die Linienplanung der Räume, die Linienplanung der Abluft- und Zuluftsysteme sowie die Elementierungsplanung des Tragwerks. Die Hülle einer Abluft-Astleitung ist in der Planung selektiert.

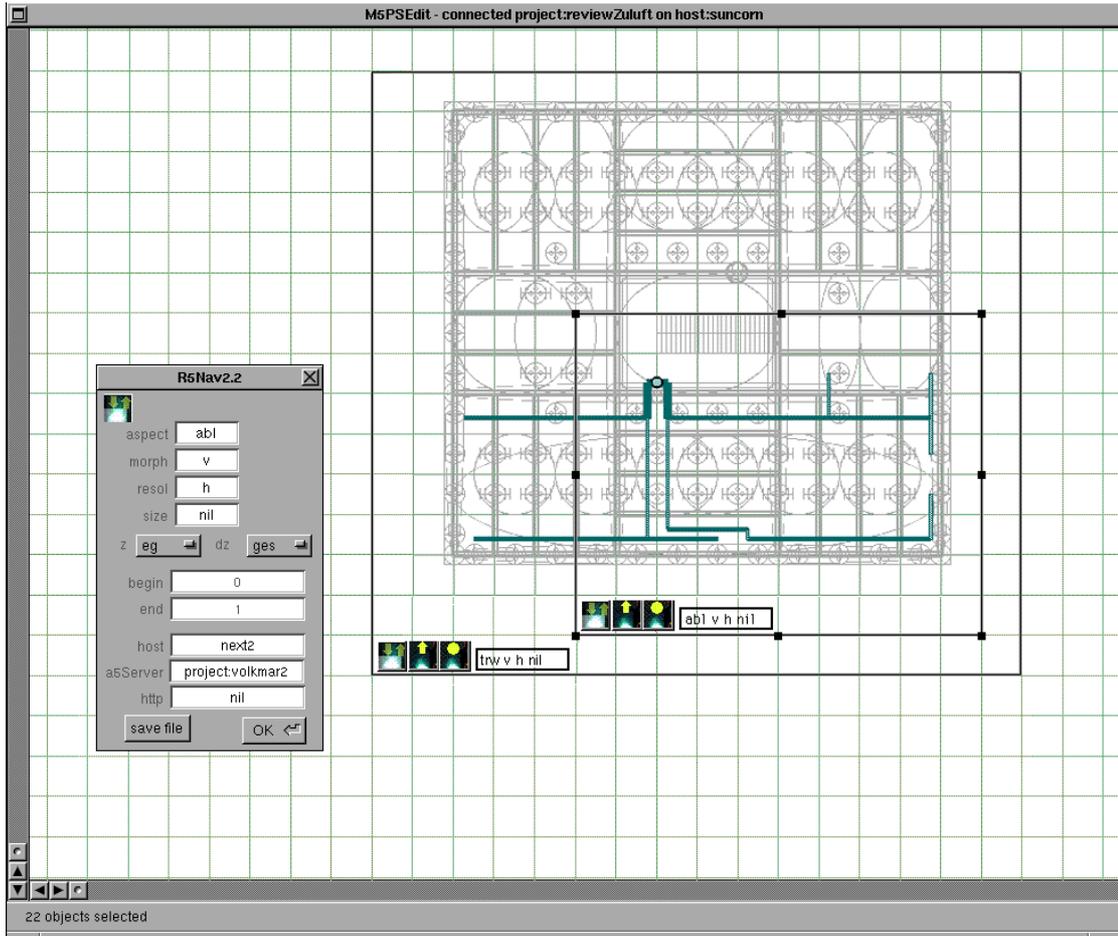


Bild 4.14

Beispiel eines aktiven Containers „Navigator“

4.2.3.4 Der aktive Container „Navigator“

Sichten, die Personen auf den Datenraum haben, werden in Form spezieller Container, den sog. „Navigatoren“ abgebildet (Bild 4.14) (vergl. Kapitel 3.1.4.2). Navigatoren verdeutlichen insbesondere das zentrale Konzept der vieldimensional räumlichen Interaktion aller Container sowie die Einbindung von Funktionalität in den Datenraum.

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Hüllenplanung. In die Planung sind zwei Navigatoren eingebendet, die zwei Betrachtungsausschnitte von Planern auf den Datenraum definieren. Im Hintergrund legt ein Navigator die Sicht auf die Hüllenplanung des Tragwerks. Entsprechend sind in der Benutzungsschnittstelle „trw v h nil“ für Tragwerk (Teilsystem), Verbindung (Morphologie), Hülle (Auflösung), nil (Größenordnung) eingetragen. Im Vordergrund liegt der Fokus des Navigators auf der Hüllenplanung der Abluft. Entsprechend sind in seiner Benutzungsschnittstelle „abl v h nil“ für Abluft (Teilsystem), Verbindung (Morphologie), Hülle (Auflösung), nil (Größenordnung) eingetragen. Der vordere Navigator ist selektiert und mit einer zusätzlichen externen Benutzungsschnittstelle ausgestattet.

Die Navigation durch den Datenraum erfolgt, indem ein Planer den Navigator mit seinem Navigationsbereich mit den anderen Containern des Datenraumes in Kollision bringt: Der Navigationsbereich ergibt sich durch die geometrischen Dimensionen x und y, die der Navigator im Planungskontext selbst einnimmt sowie die weiteren Dimensionsattribute aspect, morphology, resolution, size, z und t, die in seiner Benutzungsschnittstelle eingestellt werden können. Ein Planer nimmt diese Einstellungen im Navigator vor und sendet diese Anfrage über den M5Broker und die Datenbankschnittstelle an den Containerserver. Dieser ermittelt die Kollisionsmenge des Navigators mit allen anderen Containern der Datenbasis. Das Ergebnis wird zurück an den geometrischen Editor geschickt und dort angezeigt (Bild 4.7). Die Container der Kollisionsmenge sind automatisch selektiert und können manipuliert werden.

Eine mögliche Manipulation besteht im Rücksetzen der Container auf einen früheren Entwurfszeitpunkt über die Dimension tt. Dieses Rücksetzen von Entwurfsentscheidungen ist Ausdruck eines jeden Entwurfsprozesses. Die sich daraus ergebenden Inkonsistenzen zwischen einzelnen Entwurfsbereichen werden mit entsprechenden Lösungskonzepten ausführlich in [143] behandelt.

Der in der Beispielplanung selektierte Navigator hat folgende Attributbelegung:

Tabelle 4.15

Liste der Dimensions- und Beschreibungsattribute des selektierten Containers „Navigator“

Dimensionsattribute :

x	ft: 360
dx	ft: 1200
y	ft: -240
dy	ft: 960
z	ft: 0
dz	ft: 420.000000
t	ft: 0
dt	ft: 1
tt	ft: 836839286
dtl	ft: 1
aspect	st:nav
morphology	st: nil
resolution	st: nil
scale	ft: nil
composition	st: nil

Beschreibungsattribute :

object-name	st: a5ps-2002600785
object-instance	st: classes:nibs nib-navigator
insertion-point	st: 360 -240 0
interest	st: trw v b nil
address	st: next project:tutorAbluft nil
dancer-top	st: NibGraphic 0 0 1 1 1 1 1 0

Der Container wird über das Attribut object-name eindeutig innerhalb des Datenraumes identifiziert.

Das Beschreibungsattribut object-instance bezeichnen ihn als Navigator. Es beinhaltet einen Verweis auf einen entsprechenden Programmcode, der bei Aktivierung in den Container eingeladen wird und ihn mit Benutzungsschnittstellen zur Navigation durch den Datenraum ausstattet.

Die Darstellung des Containers im geometrischen Editor wird im Attribut dancer-top bestimmt. Hier bezeichnet die Attributbelegung NibGraphic, daß der Container über eine eigene Benutzungsschnittstelle verfügt. Die Eintragungen innerhalb der Benutzungsschnittstelle sind in den Beschreibungsattributen interest und address abgelegt. Das Attribut interest bestimmt den Navigationsbereich auf den Dimensionen aspect (Teilsystem), morphology (Morphologie), resolution (Auflösung) und size (Größenordnung). Das Attribut address bestimmt den Host des M5Broker und den Projektnamen des Datenraumes.

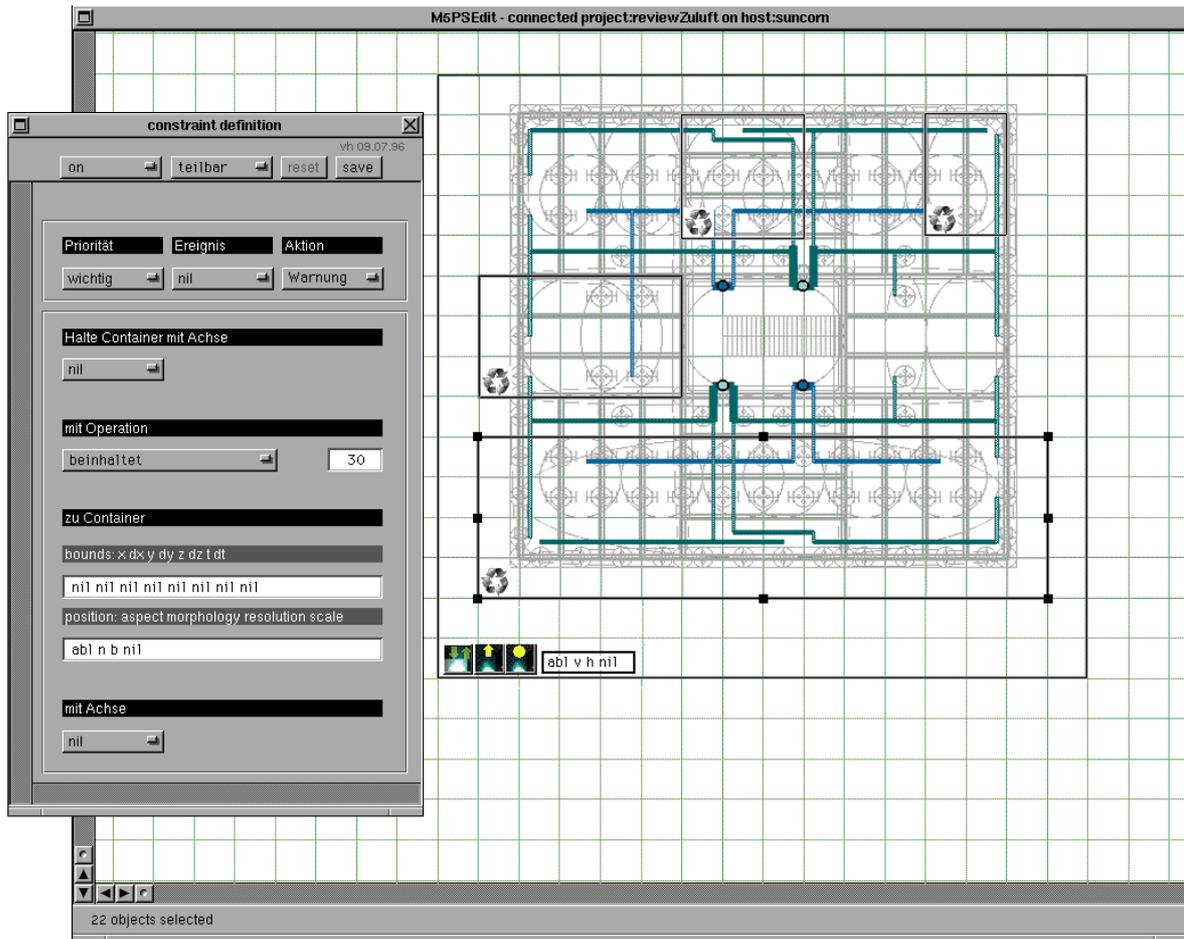


Bild 4.16

Beispiel eines aktiven Containers „Constraint“

4.2.3.5 Der aktive Container „Constraint“

Ein weiteres Beispiel eines aktiven Containers ist der Container „Constraint“ (Bild 4.16). Dieser Container spielt eine zentrale Rolle innerhalb der Implementierung. Er verdeutlicht, wie Funktionalität, in diesem Fall die Gültigkeit von Regeln, mit Hilfe des vieldimensionalen Komponentenbegriffs sinnvoll innerhalb eines komplexen Entwurfskontextes positioniert und auf einen bestimmten Bereich beschränkt werden kann (vergl. Kapitel 4.2.2). Über die graphische Benutzungsschnittstelle erfolgt die Eingabe und Steuerung dieser Container. Constraints werden wie alle Entwurfsentscheidungen als Virtuelle Baukomponenten und Virtuelle Räume modelliert und in den Datenraum als solche eingebunden. Ihre Regeln schränken über den Planungsfortschritt die Spielräume der Virtuellen Baustelle schrittweise ein.

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Hüllenplanung. In die Astleitungsplanung der Zuluft und Abluft sind mehrere Constraints eingebendet. Ein Constraint wurde selektiert und damit seine Benutzungsschnittstelle in den geometrischen Editor geladen. Sie ermöglicht die Eingabe der Regel mit Hilfe einer Constraintsprache.

Wird ein Constraint verletzt, so wird dieses innerhalb des geometrischen Editors angezeigt. Ein weitergehender Mechanismus, etwa eine Fehleranalyse oder ein automatischer Korrekturmechanismus, wurde nicht implementiert.

Wie auch beim Container Navigator werden beim Container Constraint allein die graphischen Ein- und Ausgabeschnittstellen zur Steuerung der Funktionalität in den geometrischen Editor geladen. Die komplexe Funktionalität der Regelarbeitung und Konsistenzsicherung bleibt dagegen in der objektorientierten Datenbank d.h. im Containerserver lokalisiert.

Der in der Beispielplanung selektierte Constraint hat folgende Attributbelegung:

Tabelle 4.17

Liste der Dimensions- und Beschreibungsattribute des selektieren Containers „Constraint“

Dimensionsattribute

x	ft: -120
dx	ft: 1680
y	ft: -120
dy	ft: 480
z	ft: 0
dz	ft: 1
t	ft: 0
dt	ft: 1
tt	ft: 836841079
dt	ft: 1
aspect	st: rau
morphology	st: n
resolution	st: b
scale	ft: 8
composition	st: a5ps-1623219634

Beschreibungsattribute

object-name	st: a5ps-1623219634
object-instance	st: classes:nibs nib-constraints
insertion-point	st: -120 -120 0
dancer-top	st:NibGraphic 0 0 1 1 1 1 1 0
image-data	st:{R5Constraint.nib}
constraint-data	st:1\$wichtig\$\$beihaltet\$\$30\$\$\$\$\$\$\$\$\$abl\$n\$b\$\$\$\$\$warnung\$

Der Container wird über das Attribut `object-name` eindeutig innerhalb des Datenraumes identifiziert. Das Beschreibungsattribut `object-instance` verknüpft den Container mit dem Programmcode eines Constraints. Die Darstellung des Containers im geometrischen Editor wird im Attribut `dancer-top` bestimmt. Hier bezeichnet die Attributbelegung `NibGraphic`, daß der Container über eine eigene Benutzungsschnittstelle verfügt.

Die mit der Constraintssprache definierte Regel wird im Attribut `constraint-data` abgelegt. Ihre Gültigkeit beschränkt sich auf den vieldimensionalen Bereich des Containers, der durch die Dimensionsattribute bezeichnet ist.

Constraints werden, wie alle Container, mit einem Zeitstempel versehen und bekommen damit eine zeitliche Gültigkeit innerhalb des Datenraumes. Die Auswirkungen des bereichsorientierten Rücksetzens auf die Abarbeitung und Konsistenzsicherung von Constraints werden ausführlich in [143] beschrieben.

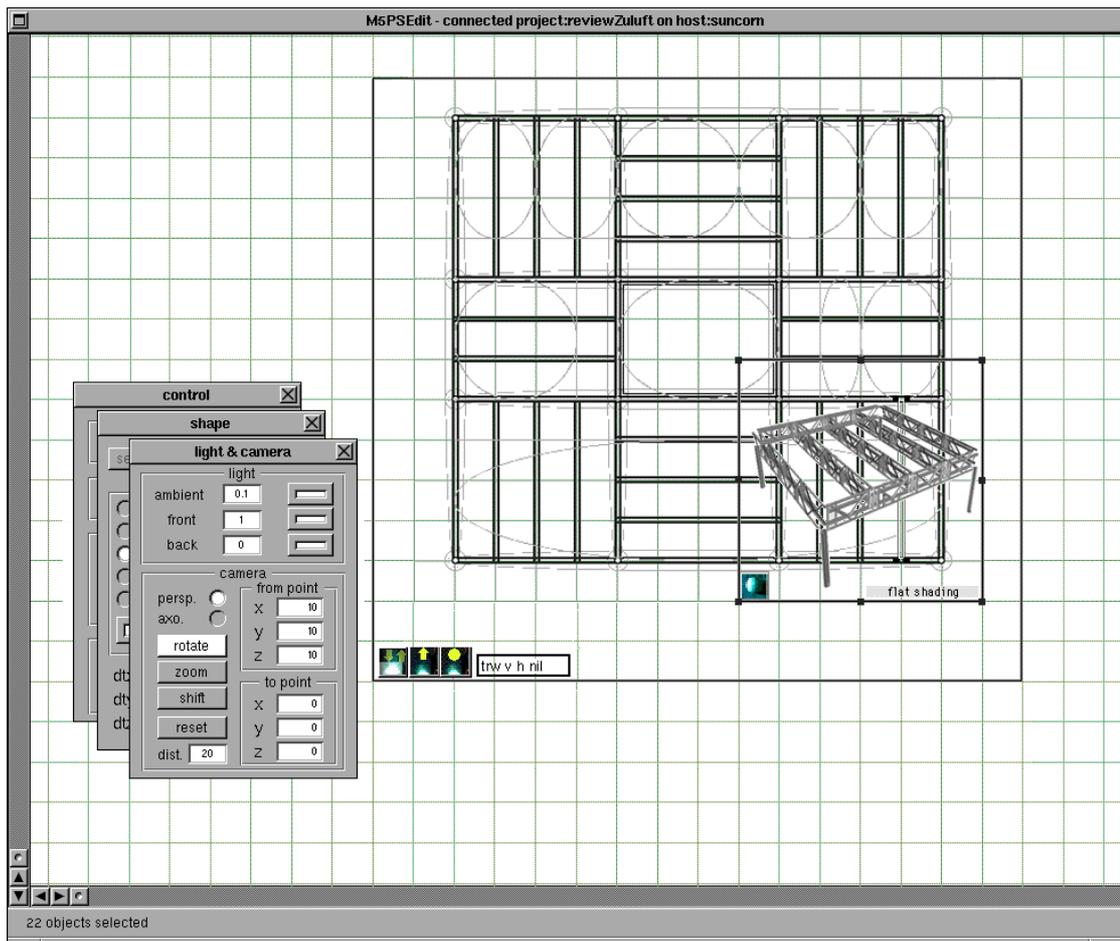


Bild 4.18

Beispiel eines aktiven Containers „3D-Visualisierung“

4.2.3.6 Der aktive Container „3D-Visualisierung“

Im Prototypen armilla5 wurden verschiedene planungsunterstützende Softwarewerkzeuge als aktive Container modelliert (Bild 4.18). Diese werden als Virtuelle Baukomponenten innerhalb des Planungskontextes plaziert. Dabei ist ein zentrales Konzept dieser Modellierung, daß über Kollisionen die Container miteinander in Beziehung gebracht werden können. Der Kollisionsbegriff bestimmt also im Sinne einer visuellen Programmiersprache, welche Programme innerhalb des Datenraumes miteinander kommunizieren können bzw. welche Programme auf welchen Daten arbeiten.

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Elementierungsplanung des Tragwerks. In diese Planung ist ein Container eingeblendet, der mit der Funktionalität einer 3D-Applikation einen Ausschnitt der Planung dreidimensional visualisiert. Dieser Ausschnitt wird durch seine Kollision mit den passiven Containern des Tragwerks bestimmt. Die für die Visualisierung benötigten 3-dimensionalen Daten sind als Beschreibungsattribute den passiven Containern des Tragwerks in Form eines RIB-Codes angegliedert. Der Container verfügt über entsprechende Benutzungsschnittstellen

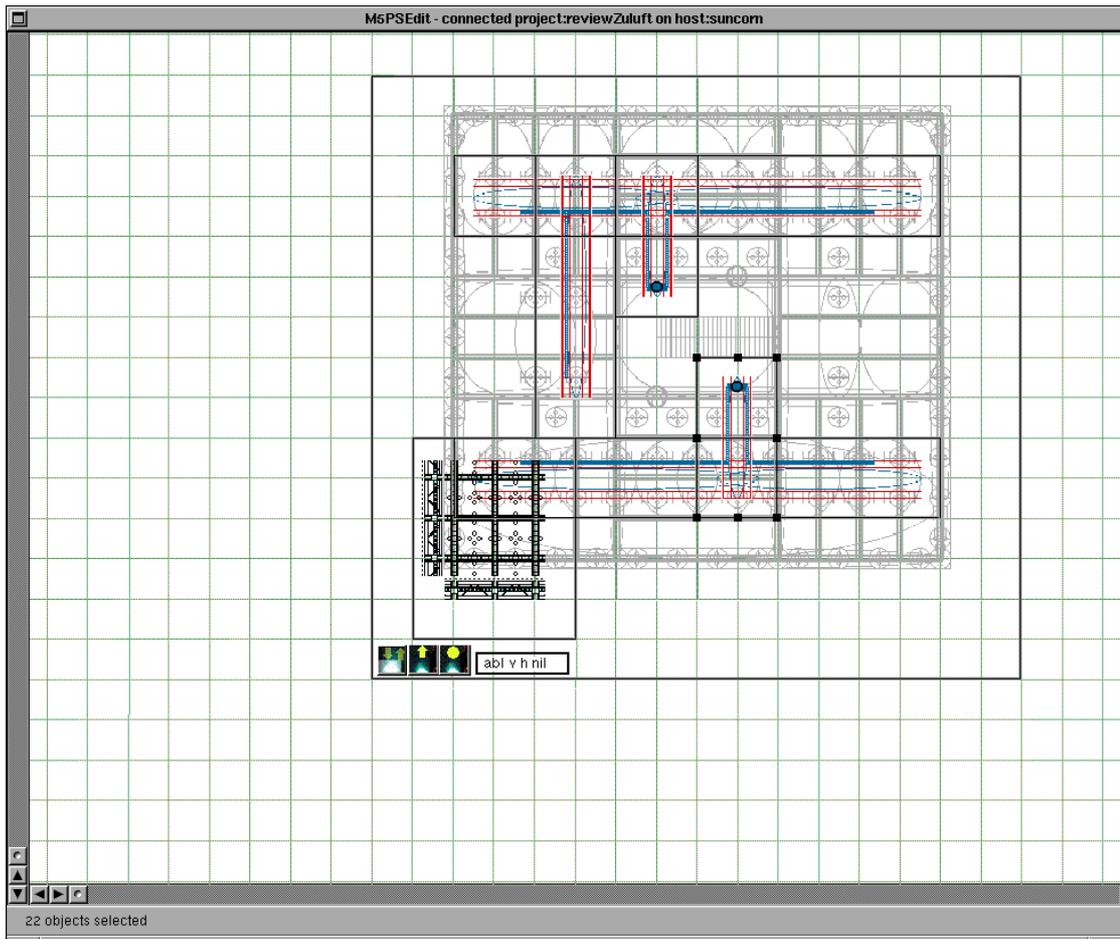


Bild 4.19

Beispiel eines aktiven Containers „Schablone“

zum Editieren und Rendern der Szene. Das Editieren der 3-dimensionalen Welt bewirkt ein entsprechendes Editieren der 2-dimensionalen Sicht innerhalb des geometrischen Editors.

4.2.3.7 Der aktive Container „Schablone“

Eine weitere Funktionalität, die in Form eines aktiven Containers in den Datenraum eingebracht werden kann, ist die Funktionalität einer Schablone (Bild 4.19). Schablonen sind Planungswerkzeuge des Installationsmodells armilla. Sie definieren u.a. in Abstimmung mit dem MIDI-Tragwerk die möglichen Anschlußbereiche und potentiellen Trassen der Astleitungssysteme im Deckenhohlraum.

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Hüllenplanung. Mit Hilfe von Schablonen werden die Abluftbereiche in die Ablufthüllen detailliert. Die Funktionalität einer Schablone, z.B. die Rasterung oder die Bestimmung von Vorzugslagen für bestimmte Leitungssysteme, ist allein innerhalb ihres vieldimensionalen Bereiches gültig. Sie bezieht sich damit nur auf die Container, mit denen sie kollidiert.

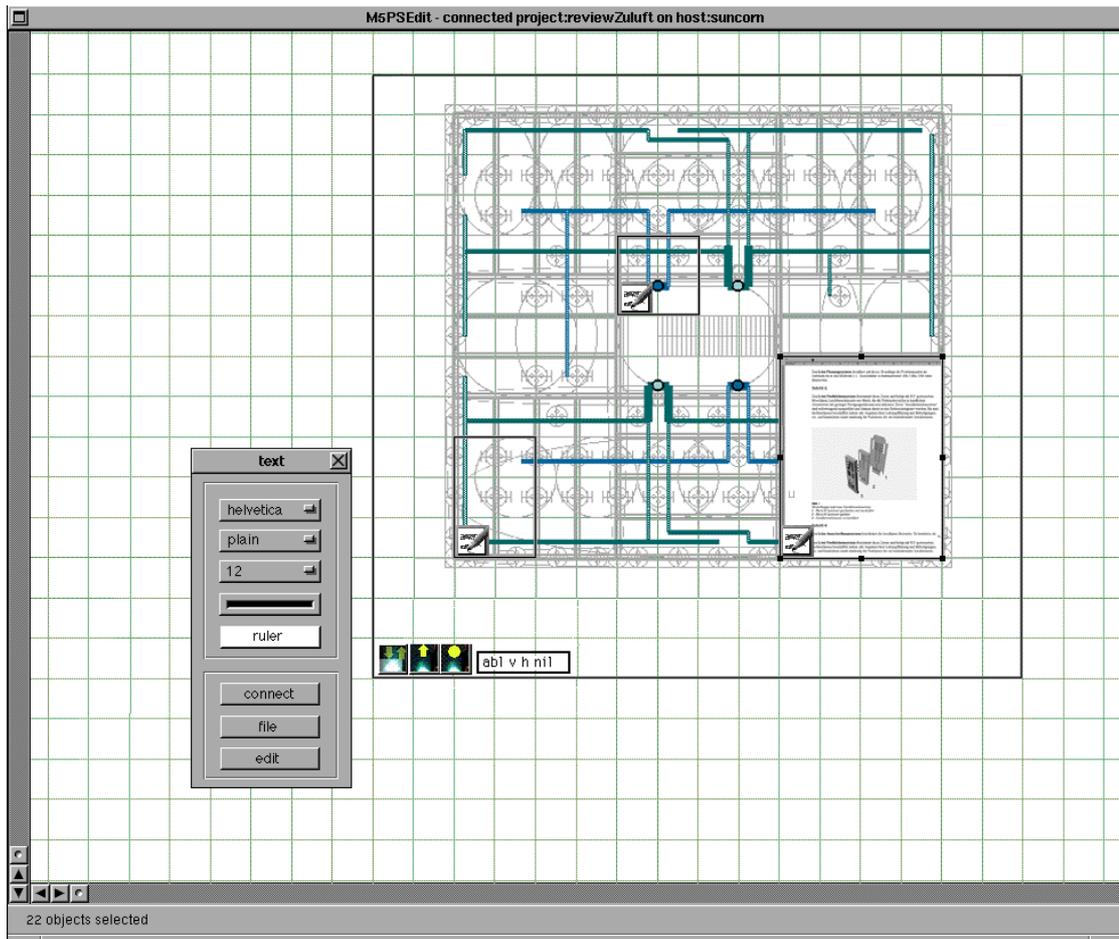


Bild 4.20

Beispiel eines aktiven Containers „Text-Applikation“

4.2.3.8 Der aktive Container „Text-Applikation“

Der Container „Text-Applikation“ bezeichnet ein Werkzeug, das Attribute von anderen Containern, wie beispielsweise verknüpfte Dateien, als Textbausteine visualisieren und editieren kann (Bild 4.20). Die Summe der Textbausteine wird wiederum durch die Art und Menge der Container bestimmt, mit denen der Container „Text-Applikation“ kollidiert. Die Text-Applikation ordnet die Attribute der einzelnen Container nach eigenständigen Gesichtspunkten. Sie realisiert damit eine semantische Sicht auf den Datenraum. Analog hierzu lassen sich Werkzeuge vorstellen, die auf der Grundlage der Attribute Auswertungen und Kalkulationen vornehmen.

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Hüllenplanung der Abluft und Zuluftsysteme. In diese Planung sind Container eingeblen-det, die über die Funk-tionalität einer Text-Applikation verfügen. Ein Container ist in der Beispielplanung se-lektiert. Mit seiner Auswahl wird die Funk-tionalität der Text-Applikation und die Text-bausteine der mit ihm kollidierenden Container geladen. Eine externe Benutzung-schnittstelle ermöglicht das Editieren dieser Attribute.

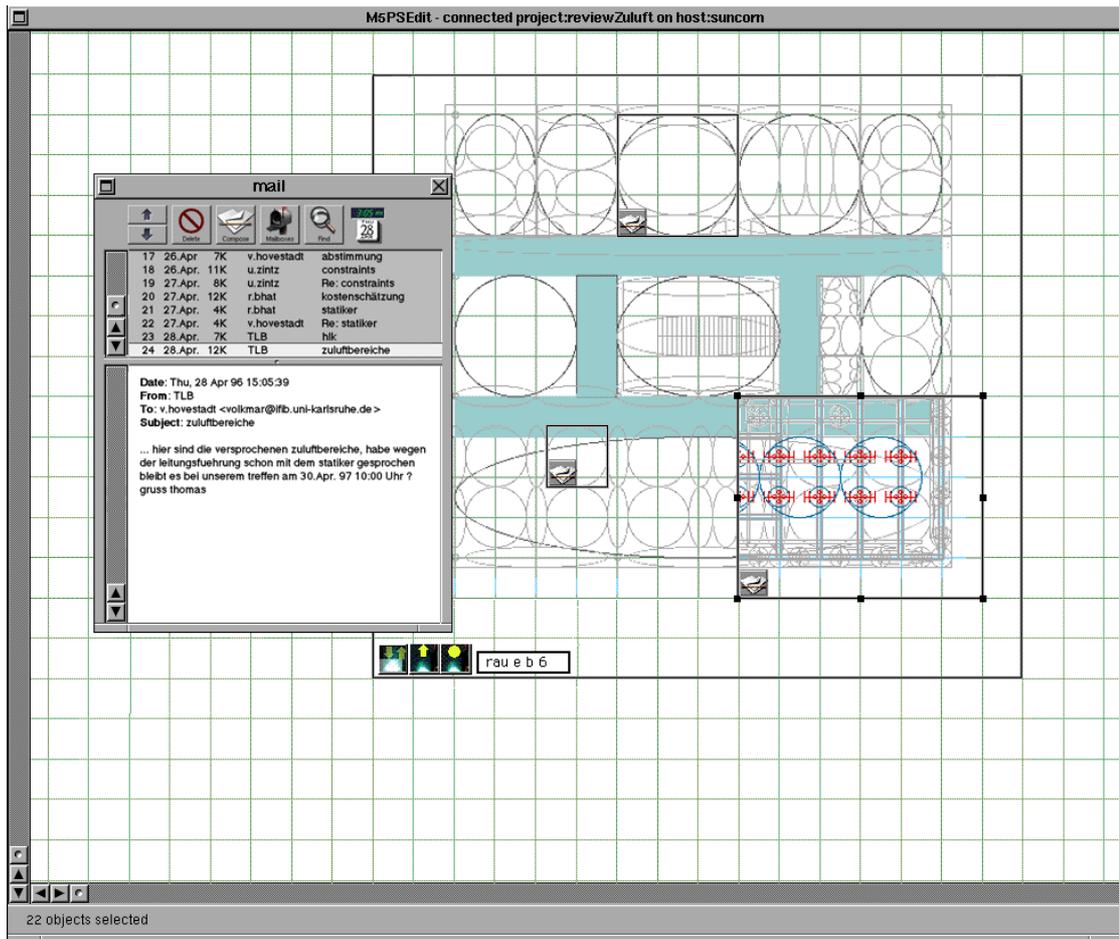


Bild 4.21

Beispiel eines aktiven Containers „Mail-Applikation“

4.2.3.9 Der aktive Container „Mail-Applikation“

Die Gebäudemetapher ordnet Informationen den Orten innerhalb des Planungs- bzw. Gebäudekontextes zu, die sie beschreiben.

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Linienplanung (Bild 4.21). Die Nutzungsbereiche innerhalb des Gebäudes werden definiert. In die Planung sind mehrere Container eingeblendet, die Nachrichten (e-mails) repräsentieren.

Ein Container ist selektiert. Mit der Selektion wird die Funktionalität einer Mail-Applikation und die Nachricht selbst in den geometrischen Editor geladen. Die Nachricht ist zweigeteilt. Der graphische Teil wird innerhalb des geometrischen Editors angezeigt, also direkt an dem Ort, auf den sich die Nachricht inhaltlich bezieht. Im Beispiel handelt es sich um die Anschlußbereiche der Zuluftsysteme in einem Ausschnitt des Gebäudeentwurfes, die ein Fachplaner an einen anderen Fachplaner geschickt hat. Der textliche Teil der Nachricht wird innerhalb einer für Mail-Applikationen üblichen Benutzeroberfläche angezeigt. An diesem Beispiel wird deutlich, daß sich auch andere Ebenen der Beschreibung und Planung, in diesem Fall die Kommunikation über e-mail, in den

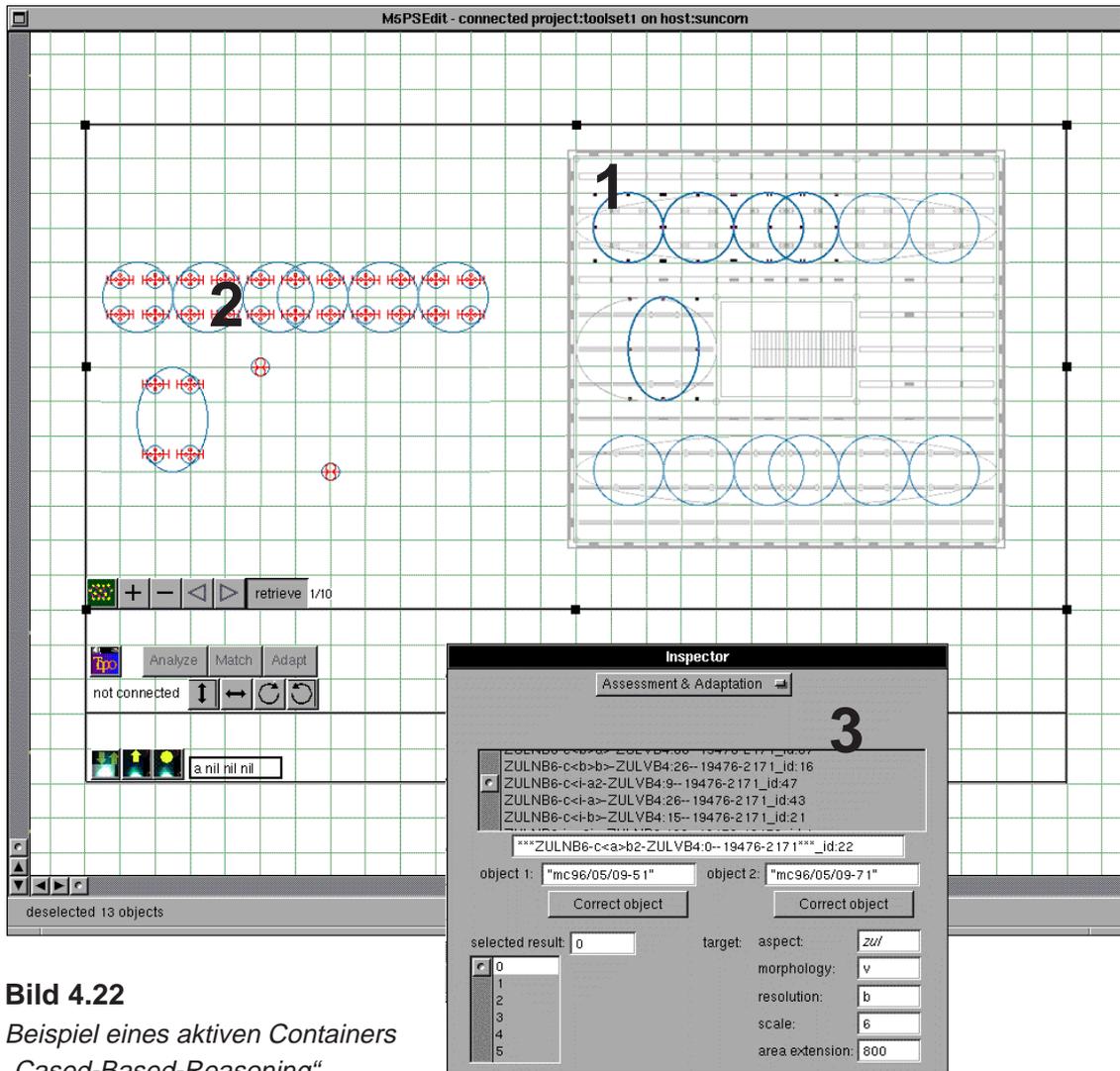


Bild 4.22
 Beispiel eines aktiven Containers
 „Cased-Based-Reasoning“

Datenraum integrieren lassen. Die eingebundenen Werkzeuge behalten dabei ihre volle Funktionalität. Aus Sicht der Kommunikation über e-mail wird durch die Gebäude-metapher allein eine zusätzliche Beschreibungsebene eröffnet, die eine Möglichkeit schafft, eine Nachricht auch räumlich innerhalb des Gebäudekontextes zu positionieren.

4.2.3.10 Der aktive Container „Cased-Based-Reasoning“

Innerhalb des Projektes FABEL [39] wurden Methoden des Cased-Based-Reasoning in Form von aktiven Containern in den Datenraum eingebunden (Bild 4.22) (vergl. Kapitel 2.5.4.2).

Die Beispielplanung befindet sich auf der Detaillierungsstufe der Linienplanung. Die Anschlußbereiche der Zuluftsysteme werden in Abstimmung mit den Nutzungsbereichen der Räume definiert. In die Planung sind mehrere aktive Container integriert, die in Verbindung zu einer Falldatenbank stehen und die Planung mit Fällen unterstützen:

In der Planung wurde durch die Auswahl von einigen Containern ein Problem formuliert (1). Der selektierte aktive Container hat über das Modul M5Lisp der Benutzungsoberfläche eine Verbindung zu einer Falldatenbank und einem Retrievalverfahren aufgebaut. Er sendet das Problem an die Falldatenbank, welches mit Hilfe des Retrievalverfahrens mehrere dem Problem vergleichbare Planungsfragmente (= Fälle) einer früheren Planung heraus sucht. Diese werden zurück an den Container gesendet und dort in seiner Benutzungsschnittstelle angezeigt (2). Der Nutzer kann aus dem Angebot von mehreren Fällen unterschiedlicher Zusammensetzung das am besten geeignete herausuchen (3).

Die notwendigen Anpassungen des Planungsfragmentes an die Problemstellung erfolgen entweder manuell durch den Planer oder wiederum durch einen anderen aktiven Container. Dieser kann auf der Grundlage einer zentralen Wissensbasis und durch Vergleich topologischer Relationen das Planungsfragment durch Umkonfigurationen an die Problemstellung selbständig anpassen.

Unterschiedliche Methoden der beschriebenen Funktionalitäten wurden im Projekt FABEL entwickelt, in Allegro CommonLisp implementiert und in den Prototypen über das Modul M5Lisp als aktive Container eingebunden.

Die Einbindung von Funktionalität der Künstlichen Intelligenz in den Datenraum, insbesondere die Funktionalität der automatischen Anpassung eines Falles an die Problemstellung, erweitert die Idee des Informationsgebäudes um selbständig agierende „aktive“ Container.

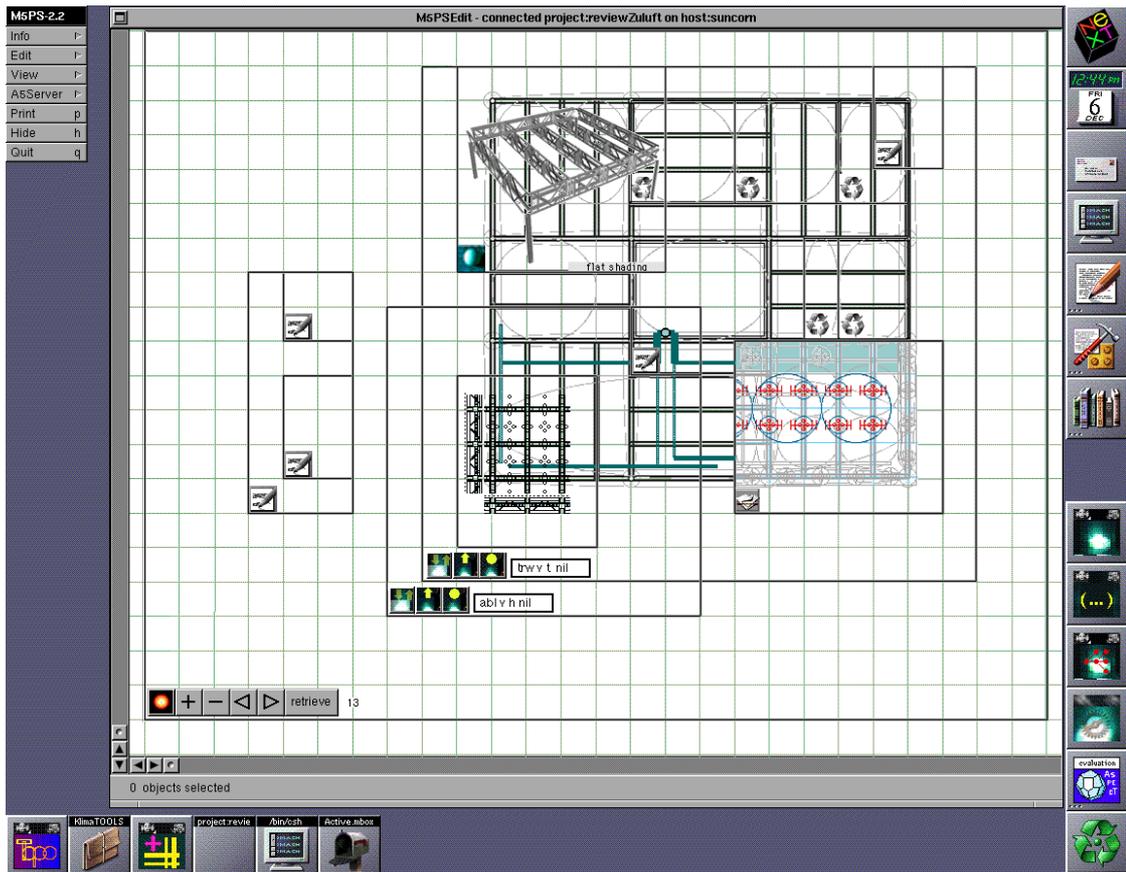


Bild 4.23

Die Virtuelle Baustelle

4.2.3.11 Die Virtuelle Baustelle

Die Beispielplanung befindet sich im Stadium der Elementierungsplanung des Tragwerks und der Hüllenplanung der Abluft- und Zuluftsysteme (Bild 4.23). Diese Teilplanungen der Fachplaner müssen im Sinne des Installationsmodells armilla in gegenseitiger räumlicher Abstimmung erfolgen.

Aus dem Zusammenspiel von Daten, Programmen und Personen in Form von passiven und aktiven Containern entsteht das Gesamtbild einer Virtuellen Baustelle:

Die Datengrundlage bilden passive Container. Diese sind die Elemente des Tragwerks, die Hüllen der Lüftungssysteme sowie die Zonen des Raumlayouts.

In diese Datengrundlage sind verschiedene Werkzeuge in Form von aktive Containern eingebunden, die die Planungen der Fachplaner unterstützen:

Die Sichten auf den Datenraum werden durch zwei Navigatoren bestimmt.

Eine Schablone definiert die Trassen der Leitungssysteme in bezug auf das Tragwerk und potentielle Anschlußbereiche.

Ein Visualisierungswerkzeug stellt einen Teilbereich des Entwurfes räumlich dar.

Eine e-mail ist mit ihrer graphischen Nachricht direkt innerhalb des Planungskontextes plaziert. Sie zeigt mögliche Anschlußorte der Zuluftsysteme.

Text-Applikationen ermöglichen die Darstellung der an Container geknüpften semantischen Attribute.

Verschiedene Constraints definieren Bedingungen an die weitere Ausarbeitung des Entwurfes. In diesem Fall sind die Constraints räumlich an die Zonen des Raumlayouts geknüpft. Sie bestimmen in Abhängigkeit zur geforderten Luftwechselrate die Anzahl der Abluft- und Zuluftöffnungen in ihrem Bereich.

Ein Programm unterstützt die Planung mit Fällen aus einer Falldatenbank.

4.3 Zusammenfassung und Ausblick

Innerhalb des Prototypen *armilla5* wurden Teilbereiche der Gebäudemetapher auf der Grundlage des A4-Modells in einem rechnerbearbeitbaren informationstechnischen Modell umgesetzt.

Dabei wurden insbesondere drei Aspekte verifiziert:

1. Integration

Das A4-Modell beschreibt einen vieldimensionalen Datenraum, in dem Daten und Programme einheitlich als Container abgebildet werden können. Die Dimensionen des Datenraumes ermöglichen eine Unterscheidung nach entwurfsrelevanten Kriterien. Die Umsetzung in einem Containermodell dient im Prototypen als Integrationsmodell für alle Elemente der architektonischen Planung.

Es wurden Verfahren implementiert, wie in dieses umfassende, jedoch schwach strukturierte Containermodell, stärker strukturierte Modelle über den Entwurfsfortschritt hinweg eingebunden werden können. Um das Integrationsmodell herum bildet sich schrittweise das Gebäudeproduktmodell aus.

Die Implementierung realisiert damit eine wesentliche Forderung aus der Idee der Informationsgebäude. Dies ist die gemeinsame und offene Modellierung für alle Strukturen der Architektur und der Informationstechnologien.

Der Prototyp *armilla5* beschränkt sich auf die Unterstützung insbesondere der frühen Phasen des architektonischen Entwurfes in der Anwendungsdomäne des Gebäudebaukastens MIDI und des Installationsmodells *armilla*. Im Zuge einer Weiterentwicklung muß sich erweisen, ob die für diese Bereiche entwickelten Modellierungs- und Integrationskonzepte auch für andere Bereiche der Planung sowie für die nachfolgenden Anwendungsgebiete der Verwaltung, Steuerung und Nutzung tragfähig sind. Eine deutliche Beschränkung liegt darüberhinaus in der zentralen Datenhaltung. Diese muß sich im Zuge der Unterstützung verteilter Strukturen im Sinne Virtueller Organisationen etc. deutlich dezentralisieren.

2. Interaktion

Ein zentrales Merkmal des A4-Modells ist die Kollision der Container innerhalb des vieldimensionalen Datenraumes. Über Kollisionen werden zentrale Kommunikationsprozesse innerhalb des Datenraumes modelliert und angestoßen: so die Navigation, also die Sichten eines Planers auf die Daten des Entwurfs, die Wirksamkeit eines Constraints auf einen definierten Bereich in der Planung sowie die Kommunikation zwischen Daten und Programmen. Durch diese Verkapselung kann die Komplexität der Planungsumgebung sinnvoll eingeschränkt werden, mit entsprechenden Vorteilen für die Konsistenzsicherung, die Abarbeitung etc. Die Dimensionen des Datenraums gewährleisten dabei, daß diese Verkapselung innerhalb eines architektonischen Zusammenhanges aussagekräftig ist.

Die Implementierung realisiert damit einen räumlichen Komponentenbegriff im Sinne der Gebäudemetapher, der Daten und Programme einheitlich kapselt. Dabei wird der Komponentenbegriff auch als Interaktionsmodell benutzt. Die Kollision von Containern im Datenraum bestimmt eine Form ihrer Interaktion.

Im Sinne einer Weiterentwicklung muß überprüft werden, inwieweit das Bereichskonzept des A4-Modells auch auf andere als die implementierten Funktionalitäten angewendet werden kann und gegebenenfalls um weitere Mechanismen der Interaktion ergänzt werden muß. Dieses muß insbesondere vor dem Hintergrund geschehen, daß Funktionalitäten zunehmend im Sinne selbständig agierender Softwarekomponenten eingebunden werden.

3. Visualisierung

Ein wesentliches Konzept der Modellierung ist die umfassende Visualisierung der Container auf der graphischen Benutzungsoberfläche. Dadurch, daß alle Container im Datenraum auf den geometrischen Dimensionen abgebildet werden müssen, bekommen sie eine visualisierbare Gestalt. Alle Vorgänge innerhalb des Datenraumes können mit architektonischen Darstellungstechniken visualisiert, geplant und kontrolliert werden kann. Die Zeitachse ermöglicht darüberhinaus die Modellierung der Container über die Zeit.

In der Implementierung erfolgt der Nachweis, daß der Mechanismus der räumlichen Interaktion bzw. Kollision in Verbindung mit seiner graphischen Abbildung auf der Benutzungsoberfläche einen leistungsfähigen Mechanismus darstellt, um Daten und Programme mit architektonisch planerischen Mitteln zu verknüpfen. Durch ihre umfassende Visualisierung werden alle Container „erfahrbar“ und im Sinne der Definition von Virtualität zu Virtuellen Komponenten. Die Gebäudemetapher prägt diesen Komponenten die Gestalt von Baukomponenten und Räumen auf, die sich in Virtuellen Baustellen zu Virtuellen Gebäuden aggregieren.

Die vorgestellte Implementierung beschränkt sich jedoch auf die zweidimensionale Visualisierung des Datenraumes und die Bereitstellung rudimentärer Instrumente der Benutzerinteraktion.

Für die dreidimensionale Visualisierung und die skizzierte Integration der Container in den physischen Gebäudezusammenhang reichen diese modellierten Attribute der Container nicht aus. Sie müssen vielmehr stärker strukturiert werden. Darüberhinaus müssen Verfahren und Instrumente visueller Programmiersprachen eingebunden werden, die die architektonischen Planungstechniken um entsprechend leistungsfähige und intuitive Instrumente der Programmierung und Nutzung erweitern.

Glossar

Abbildung

Abbildung bezeichnet die Übertragung eines Originals in eine Modellwelt. (auch Modellierung)

Augmented Reality

Augmented Reality bezeichnet eine durch virtuelle Objekte angereicherte physische Realität. Spezielle Display- und Visualisierungstechniken (z.B. Video-See-Through Displays) machen virtuelle Objekte innerhalb der physischen Realität wahrnehmbar.

Erweiterte Gebäude

(Erweiterte Architektur)

Erweiterte Gebäude bezeichnen physische Gebäude, in die Informationstechnologien fundamental integriert sind. Insbesondere in den Phasen der Verwaltung, Steuerung und Nutzung übernehmen informationstechnische Modelle zunehmend eine für die Funktionalität und das Erscheinungsbild von Gebäuden tragende Funktion. Sie erweitern in diesem Sinne physische Gebäude, bzw. ersetzen Teilbereiche davon.

Die Integration von Informationstechnologien in Gebäude führt zu einem neuen Verständnis von Architektur und damit verbunden zu einem neuen Verständnis ihrer Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung.

Gebäudemetapher

Die Gebäudemetapher bezeichnet Wahrnehmungsmodelle, die allgemein bezüglich Gebäuden existieren. Sie werden gebildet aus der räumlichen Sicht, der konstruktiven Sicht und der planerischen Sicht. Zentraler Begriff dieser Sichten ist der Begriff der räumlichen Komponente.

Die Wahrnehmungsmodelle werden im Sinne einer Metapher auf andere Modelle aufgeprägt. Die Modelle bekommen unter der Gebäudemetapher eine physischen Gebäuden vergleichbare Präsenz. Sie werden ähnlich anschaulich, benutzbar und erfahrbar. Die Modelle werden unter der Gebäudemetapher zu Virtuellen Baukomponenten und Virtuellen Räumen, die sich zu Virtuellen Gebäuden aggregieren.

Horizontale Integration

Horizontale Integration bezeichnet Integration auf einer gleichen zeitlichen Stufe. Horizontale Integration bezieht sich in dieser Arbeit insbesondere auf die Integration der verschiedenen informationstechnischen Modelle während der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung, die Integration dieser Modelle in den physischen Gebäudekontext sowie die Integration des Menschen in diese durch Informationstechnologien erweiterte Architektur.

Informationsgebäude

Informationsgebäude bezeichnet die Einheit aus physischem und virtuellem Gebäude. Im Gegensatz zu erweiterten Gebäuden sind im Informationsgebäude die informationstechnischen Modelle, die in den physischen Gebäudekontext integriert sind, durch die Gebäudemetapher virtualisiert. Sie haben eine dem physischen Gebäude vergleichbare Präsenz und Ergonomie und können daher z.B. mit Techniken der Augmented Reality in den physischen Gebäudekontext homogen integriert werden.

Die Qualität eines Informationsgebäudes wird durch das Maß der horizontalen und vertikalen Integration bestimmt.

Komponente

Komponenten bezeichnen im Sinne des Modulbegriffs der Informationstechnik:

- verkapselte Einheiten von Attributen, bzw. Funktionalitäten
- die innerhalb des Gesamtsystems eindeutig bezeichnet werden können
- und über definierte Schnittstellen verfügen, die ihre Kommunikation zur Außenwelt bestimmt. Der Begriff der Komponente spielt in der Gebäudemetapher eine besondere Rolle.

Kongruenz

Die Kongruenz bezeichnet die Ähnlichkeit einer Abbildung zwischen Original und Modell. Nur eine kongruente, d.h. exakte Abbildung gewährleistet, daß die Erkenntnisse, die sich modellseitig einstellen, auf das Original rückübertragen werden können.

Metapher

Mit Hilfe von Metaphern werden bestimmte Strukturmuster auf die Abbildungsbeziehungen zwischen Originalen und Modellen aufgeprägt. Die Strukturmuster entsprechen dabei Wahrnehmungsmodellen, die allgemein bezüglich des abgebildeten Originals existieren. Durch die Zuordnung dieser Wahrnehmungsmodelle wird der Abbildungsvorgang zwischen Original- und Modellattributen einerseits verfremdet (Originalverfremdung). Andererseits werden die Modelle für den Betrachter anschaulicher. Es kann sich ein Erkenntnisgewinn einstellen, der sich durch die unmittelbare Abbildung allein nicht eingestellt hätte.

Modell

Modelle bezeichnen im Sinne der Allgemeinen Modelltheorie Abbildungen oder Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale. Modelle können selber wiederum Originale sein und in Modellen abgebildet werden.

Modellwelt

Die Modellwelt bezeichnet die Summe aller Modelle.

Original

Originale bilden im Sinne der Allgemeinen Modelltheorie die Basis, von der aus Modelle gebildet werden. Originale können der physischen Welt (natürliche Originale), dem Bereich der Symbole und Begriffe oder der Welt der Vorstellungen (künstliche Originale) angehören. Originale können auch Modelle sein.

Realität

Realität bezeichnet alle „wirklichen“, „realen“, und „tatsächlichen“ Originale. Hierzu zählen alle Originale der physischen Welt, sowie alle Originale aus dem Bereich der Symbole, Begriffe und Vorstellungen, sofern diese nicht bereits selber Modelle sind. Alle Originale der Realität werden in dieser Arbeit Reale Objekte genannt.

Reale Baukomponente

Reale Baukomponenten bezeichnen die physischen Bauteile eines Gebäudes.

Reales Gebäude

Reale Gebäude bezeichnen physische Gebäude.

Reale Gebäudestruktur

Reale Gebäudestrukturen bezeichnen Aggregationen von realen Baukomponenten zu z.B. Baugruppen und Konstruktionen sowie Aggregationen von realen Räumen zu z.B. Raumgruppen und Raumabschnitten.

Reale Gebäudekomponente

Reale Gebäudekomponenten bezeichnen die als Komponenten identifizierbaren Bestandteile eines Gebäudes. Hierzu zählen in erster Linie reale Baukomponenten und reale Räume.

Reale Komponente

Reale Objekte bezeichnen die als Komponenten identifizierbaren Bestandteile der Realität.

Reales Objekt

Reale Objekte bezeichnen die Originale der Realität.

Reale Räume

Reale Räume bezeichnen die Räume eines physischen Gebäudes.

Teilsystem

Teilsysteme bezeichnen die fachspezifischen Sichten auf Gebäude. Durch die Erweiterung der physischen Gebäude um virtuelle Strukturen kann man neben den klassischen Teilsystemen, wie Konstruktion, Fassade, Ausbau, Sanitär, Elektro etc. informationstechnische Teilsysteme wie Facility Management, Gebäudeautomation und Arbeitsprozesse unterscheiden.

Vertikale Integration

Vertikale Integration bezeichnet Integration über verschiedene zeitliche Stufen hinweg. Vertikale Integration bezieht sich in dieser Arbeit insbesondere auf die Integration der verschiedenen informationstechnischen Modelle über die verschiedenen Phasen der Planung, Verwaltung, Steuerung und Nutzung von Gebäuden.

Virtualisierung

Modelle werden durch das Aufprägen von Metaphern virtualisiert, d.h. für den Menschen erfahrbar gemacht. In diesem Sinne bezeichnet Virtualität eine durch den Menschen erfahrbare Modellwelt.

Virtualität

Virtualität bezeichnet eine Modellwelt, die mit den Attributen „nicht-wirklich“, „scheinbar“, „der Möglichkeit nach vorhanden“ belegt ist. In diesem Sinne liegt der Schwerpunkt dieser Modellwelt auf ihrer „Erfahrbarkeit“ durch den Menschen. Die Modelle der Virtualität werden Virtuelle Objekte genannt.

Metaphern prägen Wahrnehmungsmodelle auf Modelle auf, um sie für den Menschen anschaulicher zu machen. In diesem Sinne ist der Begriff der Virtualität eng mit dem Begriff der Metapher verknüpft.

Virtuelle Baukomponente

Virtuelle Baukomponenten bezeichnen Modelle, denen über die Gebäudemetapher die Gestalt von Baukomponenten aufgeprägt wurde.

Virtuelle Gebäudestrukturen

Virtuelle Gebäudestrukturen bezeichnen Aggregationen von virtuellen Baukomponenten und virtuellen Räumen. Dieser Begriff ist allgemeiner als der des Virtuellen Gebäudes.

Informationsgebäude

Virtuelle Gebäude

Virtuelle Gebäude bezeichnen Aggregationen von virtuellen Baukomponenten und virtuellen Räumen, die wie physische Gebäude erfahrbar sind.

Virtuelle Gebäudekomponenten

Virtuelle Gebäudekomponenten bezeichnen die Komponenten Virtueller Gebäude. Hierzu zählen Virtuelle Räume und Virtuelle Baukomponenten

Virtuelle Komponenten

Virtuelle Komponenten bezeichnen alle Elemente der Virtualität, die als Komponenten im Sinne des Modulbegriffs modelliert sind.

Virtuelles Objekt

Virtuelle Objekte bezeichnen die Modelle der Virtualität.

Virtueller Raum

Virtuelle Räume bezeichnen Modelle, denen über die Gebäudemetapher die Gestalt von Räumen aufgeprägt wurde.

Virtuelle Strukturen

Virtuelle Strukturen bezeichnen Aggregationen von Virtuellen Komponenten.

Literatur

- [1] Abramowicz K., Boss B., Hovestadt V., Mülle J., Sturm R., Lockemann P.C.: Konsistenzüberwachung in Datenbanksystemen - Eine Anforderungsanalyse anhand der Entwurfsbereiche Architektur und Schiffbau. In: Datenbanken in Büro, Technik und Wissenschaft (BTW). Dresden: Springer Verlag, Reihe Informatik Aktuell 1995.
- [2] Aperture Technologies Inc.: Managing Your World Visually. CD-ROM 1997.
- [3] Apple Computer Inc.: Human Interface Guidelines: The Apple Desktop Interface. Addison-Wesley 1990.
- [4] Apple Computer Inc.: OpenDoc for Macintosh. An Overview for Developers. 1994.
- [5] Aristoteles: Poetik. Übers. und hrsg. von Manfred Fuhrmann. Stuttgart: Reclam 1994.
- [6] Ayrle H.: Systemtechnische Software für die Bauplanung: am Beispiel der Planung lokaler Datennetze mit XNET2. Dissertation am Institut für Industrielle Bauproduktion Universität Karlsruhe. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.
- [7] Barth B., Heitz S. u.a.: Life Cycle modelling of buildings. Life cycle impact assesement and building specification. In: Critical Review of the Applications of Advanced Technologies. Proc. of the 5. EuropIA - Lyon. Paris: Europa Productions 1995.
- [8] Bannwart E.: Cyber City. Heise Online. Hannover: Verlag Heinz Heise 1996.
- [9] Ben-Natan R.: Objects on the Web: Designing, Building, and Deploying Object Oriented Applications for the Web. McGraw Hill Publishing 1997.
- [10] Black M.: In: Haverkamp A. (Hrsg.): Theorie der Metapher. Darmstadt 1983, p 409.
- [11] Black M.: Models and metaphors. Ithaca, N.Y. 1966.
- [12] Bundesministerium für Forschung und Technologie: Telearbeit und Telekooperation. Studie. Bonn 1995.
- [13] Bochser K. et. al.: Integrales Gebäudemanagement. In: Technical Review Sulzer. Nr. 3. 1994
- [14] Booch G.: Object Oriented Analysis and Design. Redwood City CA: Benjamin Cummings Publ. 1994.

- [15] Borghoff, Schlichter: Rechnergestützte Gruppenarbeit: Eine Einführung in Verteilte Anwendungen. Springer Verlag 1995.
- [16] Brockhaus Enzyklopädie in vierundzwanzig Bänden. 19 Aufl. Mannheim: F.A. Brockhaus 1994.
- [17] Brown M.H., Sarkar M.: Browsing Graphs Using a Fisheye View. In: Proceedings ACM SIGCHI '93 Conf. of Human Factors in Computing Systems. Amsterdam 1993. pp. 516.
- [18] Bundesministeriums des Innern: Informationstechnischer Verbund Berlin-Bonn IVBB. Konsortium DETECON (Deutsche Telepost Consulting GmbH), KU (Kienbaum Unternehmensberatung GmbH) und GMD.1995.
- [19] Burnett M., Goldberg A., Lewis T.: Visual Object Oriented Programming, Concepts and Environments. Greenwich 1995.
- [20] von Buschmann D.: Mehrdimensionale Zugriffspfade in einer Architekturdatenbank. Diplomarbeit, Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1993.
- [21] Pilotprojekt der Hochschulen und Universitäten in Berlin und Brandenburg zum Thema Virtual Campus vom 22. April bis 21. Juni 1996.
- [22] Card S. K., Robertson G.G., Mackinlay J. D.: The Information Visualizer, an Information Workspace. In: Proc. ACM SIGCHI'91 Conf. on Human Factors in Computing Systems. New Orleans 1991. pp 181-188.
- [23] Citrin W., Doherty M., Zorn B.: The Design of a Completely Visual OOP Language. In: Burnett M., Goldberg A., Lewis T.: Visual Object Oriented Programming, Concepts and Environments. Greenwich 1995.
- [24] Cochrane P., Heatley D.J.T.H.: Modelling Future Telecommunication Systems. London: Chapman Hall 1995.
- [25] Cochrane P., Payne R., MacDonald B.: FROM KIRK TO PICARD (A Vision of mobility). Personal Technologies. Vol 1. Springer-Verlag 1997. pp 6 - 10
- [26] Collins, B.: From Ruins to Reality: The Dresden Frauenkirche. IEEE Computer Graphics & Applications. 1993. pp. 13-15.
- [27] The Common Object Request Broker: Architecture and Specification. OMG Document Nr. 91.12.1, Rec 1.1 (Draft). 1992.

- [28] Davidow William H., Malone Michael S.: Das virtuelle Unternehmen. Der Kunde als Co-Produzent. Frankfurt: Campus Verlag 1993.
- [29] Dier M., Lautenbacher S.: Groupware: Technologien für die lernende Organisation ; Rahmen, Konzepte, Fallstudien. München: Computerwoche-Verlag 1994.
- [30] Dillmann, R., Rembold, U., Lüth, T.: Autonome Mobile Systeme 1995. Tagungsband der "Autonome Mobile Systeme" (AMS '95) 30. November - 1. Dezember 1995. Heidelberg: Springer Verlag 1995.
- [31] Drach A., Gauchel, J., Hovestadt L.: Ein intelligentes Planungswerkzeug für das Verlegen haustechnischer Leitungen in hochinstallierten Gebäuden. In: VDI-Berichte Nr. 861.5. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.
- [32] Drach A.: Flexible Werkzeuge für die integrierte Gebäudeplanung. Dissertation, Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1993.
- [33] Duden: Deutsches Universalwörterbuch. Mannheim: Dudenverlag 1989.
- [34] EchoLon Corporation: Lonworks Application Primer. Palo Alto CA 94304 1990.
- [35] EIBA: EIB European Installation Bus. 1997
- [36] Eiermann O., Heitz S. et.al.: RETEX Abschlußbericht (BMFT-Vorhaben 0329132A). Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1994.
- [37] Engesser H. (Hrsg.): Duden Informatik: ein Sachlexikon für Studium und Praxis. Mannheim: Duden-Verlag 1993.
- [38] EXPRESS Language Reference Manual, ISO TC184/SC4/* WG5 N 55, Document N51, Part 11 of ISO 10303 International Standard. 1994.
- [39] FABEL: BMBF- Verbundvorhaben 01W 104- Das FABEL-Konsortium. FABEL-Report1-40. St.Augustin: GMD 1993-1996.
- [40] Flusser V.: Virtuelle Räume - Simultane Welten. In: Arch+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau (1992) Nr. 111.
- [41] Fischbach R.: Architektur-CAD ist anders - Einzelstück. iX Vol. 5. 1994.
- [42] Forgger U., Müller C.: A Planning Process Model for Computer Supported Cooperative Work in Building Construction. In: Proc. 15. IKM, Bauhaus Uni Weimar 1997.

- [43] Forgber U., Müller C., Dinger F.: Computerbasierte Kooperative Planung. CD-ROM. Institut fuer industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1997.
- [44] Friedrichs K.: Time Design. In: Meurer B. (Hrsg.): Die Zukunft des Raums. Campus Verlag 1994.
- [45] Friedrichs K.: Digitale Gebäudeplanung - Digitales Bauen. In: Kranz H.R. (Hrsg.): Building Control. Technische Gebäudesysteme: Automation und Bewirtschaftung. Malmshiem: Expert Verlag 1995.
- [46] Friedrichs K., Hovestadt L., Hovestadt V.: KoopBuilding: Verwaltungsgebäude 2000 - Das Kooperative Gebäude. In: Zechel P.: Facility Management in der Praxis. Herausforderung in Gegenwart und Zukunft. Malmshiem: Expert Verlag 1997.
- [47] Friedrichs K., Hovestadt L., Hovestadt V.: KoopBuilding. In: AIT Intelligente Architektur. Zeitschrift für Architekten und Ingenieure im Bauwesen (1997) Nr. 9.
- [48] Frege G.: Sinn und Bedeutung (1892). nachgedr. in: Patzig G. (Hrsg.): Frege, Funktion, Begriff, Bedeutung. Göttingen 1962. pp 38-63.
- [49] Furnas G.W.: Generalized Fisheye Views. In: Proc. ACM SIGCHI'86 Conf. on Human Factors in Computing Systems. 1986. pp 16-23.
- [50] Glinert E. P., Tanimoto S. L.: PICT: an interactive graphical programming environment. In: Computer (1984) Nr. 17, pp. 7-25.
- [51] Gravenhorst M.: Entwicklung eines 3D-Editors für das Bausystem MIDI. Diplomarbeit, Institut für Industrielle Bauproduktion Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1996.
- [52] Guinand P., Thüning S.: Virtuelle Baustelle. Interaktive VR-Umgebung eines Rohbauprojektes in Zusammenarbeit mit der Fa. Ytong. Institut für Industrielle Bauproduktion. Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1995.
- [53] Haller F.: MIDI - ein offenes system für mehrgeschossige bauten mit integrierter medieninstallation. USM baussysteme haller. Münsingen (CH)1974.
- [54] Haller F.: ARMILLA - ein Installationsmodell. Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1985.
- [55] Haller F.: bauen und forschen. Dokumentation der Ausstellung. Solothurn, (CH) 1988. oder: Wichmann, Hans (Ed.): System-Design: Fritz Haller Bauen - Möbel - Forschung. Band 6 der Reihe: industrial design - graphic design. 1989.

- [56] Haller F.: Über die Notwendigkeit wandelbarer Gebäude. In: Proc. 1. Symposium Intelligent Building. Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1989.
- [57] Haller F.: MIDI-ARMILLA, gesamtbaukasten und installationsmodell. Solothurn (CH) 1997.
- [58] Harden H. (ed.): Planen, Bauen, Nutzen und Instandhalten von Bauten. Facility management Band 3. Stuttgart: Kohlhammer Verlag 1993.
- [59] Henckels D.: Entwicklung eines Konzeptes zur Fachaspekt-Integration. Diplomarbeit Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1995.
- [60] Henzler D.H., Heidbreder U.W.: Praxis des Objekt Management - Methodik, Planung, Durchführung. Verlag Moderne Industrie 1989.
- [61] Helm G.: Metaphern in der Informatik. Begriffe Theorien, Prozesse. Arbeitspapiere der GMD 652. Sankt Augustin: GMD 1992.
- [62] Herold K.: Universal Building Language. Journal of Computing in Civil Engineering (1997) Nr. 2.
- [63] HOAI Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure; in der Fassung der Fünften Änderungsverordnung, Inkrafttreten 1. Januar 1996. Berlin: Bauverlag 1995.
- [64] Hovestadt L., Haller F., Gauchel J., Drach A.: Ein intelligentes CAD-System für die Planung und Verwaltung von Leitungen in haustechnischen Gebäuden. In: VDI-Berichte 775. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.
- [65] Hovestadt L.: the armilla-film. (MacroMind Animation for Macintosh), Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1990.
- [66] Hovestadt V.: Zeitraumplanung - Entwurf von Instrumenten und Darstellungstechniken für das Planen in Zeiträumen. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Konstruktives Entwerfen, RWTH Aachen. Aachen 1992.
- [67] Hovestadt L.: A4- Digitales Bauen - Ein Modell für die weitgehende Computerunterstützung von Entwurf, Konstruktion und Betrieb von Gebäuden. Dissertation, Universität Karlsruhe (TU), Institut für Industrielle Bauproduktion. Fortschrittberichte VDI. Reihe 20 Rechnerunterstützte Verfahren Bd. 120. Düsseldorf: VDI-Verlag 1994.

- [68] Hovestadt, L., Ziegler Ch., et.al.: the armilla4-film. (MacroMind Animation for Macintosh), Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1994.
- [69] Hovestadt V., Mülle J.A., Sturm R.: ArchE - Entwicklung einer datenbankunterstützten Architektur - Entwicklungsumgebung. Technical Report Nr. 23/94, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1994.
- [70] Hovestadt V., Mülle J., Sturm R.: Grundlagen des ArchE Projektes. ArchE Projektbericht Nr. 1, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1994.
- [71] Hovestadt V., Mülle J., Sturm R.: MIDI-Beschreibung. ArchE Projektbericht Nr. 2, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1994.
- [72] Hovestadt V., Gramberg O., Deussen O.: Hyperbolic User Interfaces for Computer Aided Architectural Design. In: Proc. CHI'95 Human Factors in Computing Systems. ACM Press 1995.
- [73] Hovestadt V., Mülle J. A., Sturm R.: Constraint-Sprache im Projekt ArchE. Interner Projektbericht ArchE, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1995.
- [74] Hovestadt L., Hovestadt V., Friedrichs K., Bahr K., Burkhardt H.J., Reinema R., Streitz N., Nabert U.: Das Kooperative Gebäude. Studie zum Neubauvorhaben der GMD in Darmstadt. Darmstadt 1996.
- [75] Hovestadt L., Hovestadt V.: ARMILLA5 - Supporting Design, Construction and Management of Complex Buildings. In: Proceedings of CAAD futures 97. München 1997.
- [76] Hovestadt V., Hovestadt L.: The ARMILLA Project. In: Automation in Construction. Elsevier to appear 1998.
- [77] Kay A.: User Interfaces: A personal view. In B. Laurel (ed). The Art of Human Computer Interface Design. Mass.: Allison Wesley 1990.
- [78] Kemper A, Moerkotte, G.: Object-oriented database management : applications in engineering and computer science. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall 1994.
- [79] Kiefer E.: Imagination at Work. Ein Forschungsprogramm. Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH. Sankt Augustin 1992.
- [80] Kiefer E.: Die Zukunft: Telearbeit und Virtuelle Organisationen. E. Kiefer 1993.

- [81] Kiefer E.: Konzeption einer erweiterten Wissensrepräsentation. FABEL report No.23. Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH. Sankt Augustin 1994.
- [82] Knabe G.: Gebäudeautomation. München: Verlag für Bauwesen 1992.
- [83] Kolodner J.: Case-Based-Reasoning. San Matea/CA: Morgan Kaufmann Publ. 1993.
- [84] Kohler N., Bremer P., Matthey B.: Integrale Planung in der Haustechnik. Bundesamt für Konjunkturfragen. Handbuch. Kapitel 8: Umwelt. Bern 1986.
- [85] Kohler N., Klingele M.: OGIP/DATO: Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten. Schlußbericht, Institut für Industrielle Bauproduktion Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1996.
- [86] Kohler N., Klingele M.: KOBEEK: Methode zur kombinierten Berechnung von Energiebedarf, Umweltbelastung und Baukosten in frühen Planungsstadien. Schlußbericht, Institut für Industrielle Bauproduktion Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1996.
- [87] N.N.: Steuern und Regeln in der Heizungs- und Lüftungstechnik. Impulsprogramm Haustechnik 2. Auflage. Bundesamt für Konjunkturfragen. Bern 1987.
- [88] Kranz H.R. (Hrsg.): Building Control. Technische Gebäudesysteme: Automation und Bewirtschaftung. Malsheim: Expert Verlag 1995.
- [89] Lang S.M., Lockemann P.C.: Datenbankeinsatz. Heidelberg: Springer Verlag 1995.
- [90] Lennert E.F., u.a.: A Space Based Model for User Interaction in Shared Synthetic Environments. In Proceedings ACM SIGCHI '93 Conf. of Human Factors in Computing Systems. Amsterdam 1993. pp 43-48.
- [91] Lockemann P.C. (Hrsg.): Datenbank-Handbuch. Heidelberg 1987.
- [92] Lockemann P.C., Mülle J.A., Sturm R., Hovestadt V.: Modeling and integrating design data from experts in a CAAD-environment. In: Proc. of the European Conference on Product and Process Modelling in the Building Industry. Berlin 1994.
- [93] Lockemann P.C., Mülle J.A., Sturm R., Hovestadt V.: Area-dependant constraints for design control in a CAAD environment. In: Pahl & Werner (Hrsg.): Computing in Civil and Building Engineering. Rotterdam: Balkema 1995.

- [94] Lockemann P.C., Mülle J.A., Sturm R., Kohler N., Henckels D., Hovestadt V.: Datenbankgestützte Koordinierung und Integration von Planungswerkzeugen im Baubereich (ArchE). Abschlußbericht des DFG-Projekts. Karlsruhe 1997.
- [95] Maguire D. J. , Goodchild M.F., Rhind D.W. (Hrsg.): Geographical Information Systems. Principles and Applications. London 1991.
- [96] Institut für Architekturinformatik und Darstellung, Marktübersicht: Marktübersicht Bau-software 1998. 2 Bände. Hannover 1997.
- [97] Maturana, Humberto R.: Autopoiesis. Reproduction, Heredity and Evolution. In: Zeleny Milan (Hrsg.): Autopoiesis. Dissipative Structures and Spontaneous Social Orders. Westview Press 1980.
- [98] Mathis Ch.: Installationsplanung mit einem wissensbasierten System. Dissertation, Institut für Industriell Bauproduktion Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1988.
- [99] McLuhan Marshall: Understanding Media. McGraw Hill 1964.
- [100] Metzger W. (Hrsg.): Gestalt-Psychologie : ausgew. Werke aus d. Jahren 1950 - 1982. Frankfurt a.M.: Kramer 1986.
- [101] Meurer B. (Hg.): Die Zukunft des Raums. Frankfurt: Campus 1994.
- [102] Meyer, B.: Object-oriented software construction. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall 1997.
- [103] Microsoft Corp.: Microsoft OLE DB 1.1 Programmer`s Reference and Software Development Kit. Microsoft Press 1997.
- [104] Microsoft Corp.: Automation Programmer`s Reference Using ActiveX Technology to Create Programmable Applications. Microsoft Press 1997.
- [105] Mitchell W.J.: City of Bits. Space, Place and the Infobahn. MIT Press 1995.
- [106] Mullins J.: All wired up and raring to go. In: New Scientist (1995), 5. August.
- [107] Nash J., Mauskopf N.: Wiring the Jet Set. In: Wired (1997) Nr. 10.
- [108] Negroponte N.: Totale Digital (Being Digital). Die Welt zwischen 0 und 1 oder die Zukunft der Kommunikation. München: Bertelsmann 1995.

- [109] Object Design Inc.: ObjectStore User Guide DML, Release 3 for Unix Systems.
- [110] Olivetti Research Laboratory (ORL): The Olivetti Active Badge System.
- [111] Institut für angewandte Organisationsforschung (Hg.), CAD für die Konstruktionspraxis. München 1985.
- [112] Patel U. K., Sutcliffe A. G.: Three Dimensional Visualization of Knowledge Structures: Prototyping for Design Evaluation. in: Leonard J. B., Gornostaev J., Unger C. (Hrsg.): Human-Computer Interaction, Third International Conference, EWHCI '93. Moskau 1993.
- [113] Prak N.L.: De visuele waarneming van de gebouwde omgeving. Delft: Delftse Universitaire Pers 1979.
- [114] Probst Gilbert J.B.: Selbstorganisation. In: Frese Erich (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Stuttgart 1992.
- [115] Raetz P.: XNET: Ein intelligentes CAD-System für die Planung von lokalen Netzwerken Gebäuden. Dissertation am Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.
- [116] Reinhardt A.: Managing the New Document. In: Byte (1994) Nr. 8
- [117] Rekimoto Jun, Nagao Katashi: The world through computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments. Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'95). ACM Press 1995.
- [118] Rheingold Howard.: Virtuelle Gemeinschaft (The virtual community): soziale Beziehungen im Zeitalter des Computers. Addison-Wesley 1994.
- [119] Roberts S. K.: Computing across America. Medford: NJ. Learned Information 1988.
- [120] Robertson G. G., Mackinlay J. D., Card S. K.: Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information. In: Proc. ACM SIGCHI'91 Conf. on Human Factors in Computing Systems. New Orleans 1991. pp 189-194.
- [121] Rogala M., Hovestadt L., Oxaal F.: Lovers Leap. Multimedia Installation. Multimediale 4. Karlsruhe 1995 und DEAF95 Rotterdam 1995. In: artintact2. Zentrum für Kunst und Medientechnologie. Karlsruhe: Cantz Verlag 1995.
- [122] Rose M.: Schnelle Designs mit Basic Briefmarke. Heidelberg: Hüthig 1993.

- [123] Rumbaugh J.: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen. London 1994.
- [124] Sachsse R.: Bild und Bau. Zur Nutzung technischer Medien beim Entwerfen von Architektur. Bauwelt Fundamente 113, Architekturgeschichte/Medientheorie. Wiesbaden: Vieweg 1997.
- [125] Sakamura K.: The TRON Intelligent house makes the idea of an „Intelligent House“ Reality. University of Tokyo 1989.
- [126] Sassen S.: The Global City. N.Y., London, Tokyo. New Jersey: Princeton Press 1991.
- [127] Saurer H., Behr F.J.: Geographische Informationssysteme: eine Einführung. Darmstadt: Wiss. Buchges. 1997.
- [128] Scholz Christian: Die virtuelle Organisation als Strukturkonzept der Zukunft? Workshop der Kommission „Organisation“ im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaftslehre in Schleiden am 09.04.1994.
- [129] Schnell A.: Virtuelles Büro - Drei Beispiele. In: Arch+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau. Your office is where you are. (1997) Nr. 136.
- [130] Schmitt G.: Architectura et machina: computer aided architectural design und virtuelle Architektur. Wiesbaden: Vieweg 1993.
- [131] Schmitt G.: Architektur mit dem Computer. Braunschweig: Vieweg 1996.
- [132] siSessa A. A., Ableson H.: BOXER: a reconstructible computational medium. in: Communications of the ACM (1986) Nr. 29 , pp 859-868.
- [133] Shneiderman B.: Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction. Mass.: Addison-Wesley 1992.
- [134] Smith B.: Prolog to „Reflection and Semantics in a Procedural Language“. In: Brachman and Levesque (Hrsg.)1985. pp 31-40.
- [135] Sperlich T., Wenz F.: Cyber-Web. Dreidimensionale Welten auf dem Internet. In: Grafikkarten: Magazin für Computer Technik. Hannover. (1995) July, pp 110-114.
- [136] Spiegel S.: Crossings. In: Mythos Information- Welcome to the Wired World: @rs electronica 95. Wien: Springer-Verlag 1995. pp 305-307.
- [137] Stachowiak H.: Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer Verlag 1973.

- [138] STEP, ISO 10303-1/Part1 draft: „STEP - Overvies and fundamental prnciples“. ISO. Genf 1992.
- [139] Stephenson N.: Snow Crash. Berlin 1994.
- [140] Sturm R., Lockemann P.C.: Bereichsdynamische Konsistenzüberwachung in Architekturdatenbanken, Technical Report No. 24. University Karlsruhe. Karlsruhe 1994.
- [141] Sturm R., Mülle J., Lockemann P.C.: Temporized and localized rule sets. In: Sellis T. (ed.) : Rules in Database Systems, pages 131-146. Second International Workshop on Rules in Database Systems. Springer Verlag 1995.
- [142] Sturm R., Mülle J. A. , Lockemann P. C.: Temporized and localized rule sets. In: T. Sellis (ed.): Proc. 2nd Int. Workshop on Rules in Database Systems (RIDS), Athen: Springer Verlag 1995. pp 131-146.
- [143] Sturm R.: Dynamische Regelmengen zur Beschreibung von Entwurfsspielräumen. Dissertation, Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation Universität Karlsruhe, VDI Verlag Reihe 10, Nr. 495. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997.
- [144] Sturm R., Mülle J., Lockemann P.C.: Collision of Constrained Work Spaces: A Uniform Concept for Design Interactions. Proc. 2nd Int. IFCIS Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS), June 24-27, 1997, Charleston, South Carolina 1997. pp 25-35.
- [145] Sydow Jörg: Strategische Netzwerke. Evolution und Organisation. Berlin: de Gruyter 1992.
- [146] TELLER J.: Évaluation de l'impact de la végétation sur le rayonnement énergétique (aide à la conception architecturale et urbanistique). Colloque de l'Association Internationale de Climatologie. Liège 1995.
- [147] „Things That Think“ - Forschungsvorhaben am MIT MediaLab. Boston 1997.
- [148] Thimbleby H.: User interface design. New York: ACM Press 1990.
- [149] Ware C., Knight W.: Orderable Dimensions of Visual Texture for Data Display: Orientation, Size and Contrast. In: Proc. ACM SIGCHI '92 Conf. of Human Factors in Computing Systems. 1992. pp 203 - 209.
- [150] Warnecke Hans-Jürgen: Revolution der Unternehmenskultur. Das Fraktale Unternehmen. Berlin, Heidelberg. 1993.

- [151] 1st International Symposium on Wearable Computers (ISWC '97) Cambridge, MA October 13-14, 1997. IEEE VRAIS 98 Workshop on Interfaces for Wearable Computers. Atlanta March 14th. 1998.
- [152] Weick Karl E.: Organization Design: Organizations as Self-Designing Systems. In: Organizational Dynamics. 1977.
- [153] Wildemann Horst: Die modulare Fabrik. Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung. St. Gallen 1992.
- [154] Wolf Stefan: Mensch - Maschine - Metapher : zur Exemplifikation des menschlichen Geistes durch den Computer; eine wissenschaftsphilosophische Rekonstruktion der Kognitionswissenschaft als Technologie. Univ. Diss.. Bamberg 1994.
- [155] Zürn D.: Objektorientierte Modellierung von Konsistenzbedingungen für das Stahlbausystem MIDI. Studienarbeit. Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation, Universität Karlsruhe. Karlsruhe 1996.