

Bericht über den 2. Förderzeitraum des Schwerpunktprogramms

Graphbasierte Werkzeuge zur Unterstützung des konzeptuellen Gebäude-Entwurfs

1 Allgemeine Angaben

1.1 DFG-Geschäftszeichen

NA 134 / 9-1

Das Schwerpunktprogramm 1103 befindet sich derzeit im 2. Förderungszeitraum. Das vorliegende Projekt wird erst seit dem 1.4.2003 gefördert.

1.2 Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. Manfred Nagl

1.3 Institut/Lehrstuhl

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Lehrstuhl für Informatik III, Softwaretechnik

1.4 Aus DFG-Mitteln bezahlte Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Inform. Bodo Kraft, Zeitraum von 04/2003 bis 03/2005

1.5 Thema des Forschungsvorhabens

Graphbasierte Werkzeuge zur Unterstützung des konzeptuellen Gebäude-Entwurfs

1.6 Berichtszeitraum und Förderungszeitraum insgesamt

Beginn dieses Förderzeitraums: 01.04.2003
Ende dieses Förderzeitraums: 31.03.2005
Gesamter Förderzeitraum: 04/2003 – 03/2007

1.7 Fachgebiet und Arbeitsrichtung

Praktische Informatik, insbes. Softwaretechnik, Anwendung: Gebäude-Entwurf

1.8 Anwendungsfelder

Vernetzt kooperative Planung, Unterstützung der frühen Phasen

1.9 Mit dem Projektvorhaben verbundene Kooperationspartner außerhalb des SPP

Polish Academy of Sciences, Warschau, Prof. Dr. A. Borkowski

Jagiellonian University, Krakau, Dr. Ewa Grabska

Technische Universität Darmstadt, Prof. Dr. Andy Schürr

GRAPHISOFT, Deutschland, Dipl.-Phys. A. Kohlhaas

GODD.com, Dipl.-Ing. M. Junker

Fachhochschule Düsseldorf, Prof. Dr.-Ing. R. Wörzberger

Nussbaum GmbH & Co. KG, Dipl.-Ing. Architekt G. Schneider

2 Zusammenfassung

2.1 Darstellung der wesentlichen Ergebnisse

Der konstruktive Entwurf wird in derzeitigen CAD-Systemen gut unterstützt, nicht aber der *konzeptuelle Gebäude-Entwurf*. Dieser abstrahiert von konstruktiven Elementen wie Linie, Wand oder Decke, um auf die Konzepte, d.h. die eigentlichen Funktionen, heraus zu arbeiten. Diese abstraktere, funktionale Sichtweise auf ein Gebäude ist während der frühen Entwurfsphase essentiell, um Struktur und Organisation des gesamten Gebäudes zu erfassen. Bereits in dieser Phase muss Fachwissen (z. B. rechtliche, ökonomische und technische Bestimmungen) berücksichtigt werden. Im Rahmen des vorliegenden Projekts werden *Software-Werkzeuge* integriert in industrielle CAD-Systeme entwickelt, die den *konzeptuellen Gebäude-Entwurf* ermöglichen und diesen gegen Fachwissen prüfen.

Das Projekt ist in zwei Teile gegliedert. Im *Top-Down-Ansatz* werden Datenstrukturen und Methoden zur Strukturierung, Repräsentation und Evaluation von gebäudespezifischem Fachwissen erarbeitet. Dieser Teil baut auf den graphbasierten Werkzeugen PROGRES und UPGRADE des Lehrstuhls auf. Der *Bottom-Up-Ansatz* ist industriell orientiert und hat zum Ziel, das kommerzielle CAD-System ArchiCAD zu erweitern. Hierbei soll der frühe, konzeptuelle Gebäude-Entwurf in einem CAD-System ermöglicht werden. Der Entwurf kann darüber hinaus gegen das definierte Fachwissen geprüft werden.

Im Rahmen des graphbasierten *Top-Down-Ansatzes* wurde zunächst eine neue Spezifikationsmethode für die Sprache PROGRES entwickelt. Das PROGRES-System erlaubt die Spezifikation von Werkzeugen in deklarativer Form. Üblicherweise wird domänenspezifisches Fachwissen in der PROGRES-Spezifikation codiert, das daraus generierte visuelle Werkzeug stellt dann die entsprechende Funktionalität zur Verfügung. Mit dieser Methode sind am Lehrstuhl für Informatik III Werkzeuge für verschiedene Anwendungsdomänen entstanden. In unserem Fall versetzen wir einen Domänen-Experten, z. B. einen erfahrenen Architekten, in die Lage, Fachwissen zur Laufzeit einzugeben, dieses zu evaluieren, abzuändern oder zu ergänzen. Im Rahmen der bisherigen Arbeit wurde dazu eine parametrisierte PROGRES-Spezifikation und zwei darauf aufbauende Werkzeuge entwickelt, welche die dynamische Eingabe von gebäudetechnisch relevantem Fachwissen erlauben und einen graphbasierten, konzeptuellen Gebäude-Entwurf ermöglichen. In diesem konzeptuellen Gebäude-Entwurf wird von Raumgrößen und Positionen abstrahiert, um die funktionale Struktur eines Gebäudes zu beschreiben. Das Fachwissen kann von einem Architekten visuell definiert werden. Es können semantische Einheiten, im einfachsten Fall Räume, nach verschiedenen Kriterien kategorisiert und klassifiziert werden. Mit Hilfe von Attributen und Relationen können die semantischen Einheiten präziser beschrieben und in Beziehung zueinander gesetzt werden. Die in PROGRES spezifizierten Konsistenz-Analysen erlauben die Prüfung eines graphbasierten konzeptuellen Gebäude-Entwurfs gegen das dynamisch eingefügte Fachwissen.

Im zweiten Teil des Forschungsprojekts, dem *Bottom-Up-Ansatz*, wird das CAD-System ArchiCAD erweitert, um den integrierten konzeptuellen Gebäude-Entwurf zu ermöglichen. Der Architekt erhält dazu neue Entwurfselemente, die *Raumobjekte*, wel-

che die relevanten semantischen Einheiten während der frühen Entwurfsphase repräsentieren. Mit Hilfe der Raumobjekte kann der Architekt in ArchiCAD den Grundriss und das Raumprogramm eines Gebäudes entwerfen, ohne von konstruktiven Details in seiner Kreativität eingeschränkt zu werden. Die Arbeitsweise mit Raumobjekten entspricht dem informellen konzeptuellen Entwurf auf einer Papierskizze und ist daher für den Architekten intuitiv und einfach zu verwenden. Durch die Integration in ArchiCAD ergibt sich eine weitere Unterstützung: Das im Top-Down-Ansatz spezifizierte Fachwissen wird verwendet, um den konzeptuellen Gebäude-Entwurf des Architekten auf Regelverletzungen zu überprüfen. Entwurfsfehler werden angezeigt. Zum Abschluss des konzeptuellen Gebäude-Entwurfs mit Raumobjekten wird durch ein weiteres neu entwickeltes Werkzeug eine initiale Wandstruktur automatisch erzeugt, die als Grundlage für die folgenden konstruktiven Entwurfsphasen dient. Alle beschriebenen Erweiterungen sind in ArchiCAD integriert, sie sind für den Architekten daher leicht zu erlernen und einfach zu bedienen.

2.2 Ausblick auf künftige Arbeiten und mögliche Anwendungen

In der folgenden Projektphase werden beide Ansätze weiter verfolgt und schließlich in einem verteilten Gesamtszenario integriert.

Im Bereich der graphbasierten Werkzeuge soll vor allem die *Ausdruckskraft* zur *Spezifikation* von *Fachwissen* erweitert werden. Dazu werden neue Konzepte, wie die Nutzung von Vererbung und Aggregation, dynamischer Attributauswertung und komplexer Relationen, eingesetzt. Die parametrisierte Spezifikationsmethode wird entsprechend erweitert, um die neuen Konzepte darstellen zu können. Darüber hinaus werden Möglichkeiten zur Strukturierung von Teildomänen erarbeitet, sodass das Fachwissen in verschiedenen Partialmodellen verteilt bearbeitet und abschließend integriert werden kann.

Im Bereich der ArchiCAD-Erweiterungen soll die *Verarbeitung* des umfassenderen Fachwissens gesichert werden. Dazu sind leistungsfähigere *Konsistenz-Analysen* nötig. Darüber hinaus soll das Fachwissen verwendet werden, um den Architekten schon während des Entwurfs durch Hinweise und Vorschläge, z. B. Raumgröße und -position, weiter zu unterstützen. Schließlich sollen Möglichkeiten zur Verwendung des volumenorientierten konzeptuellen Gebäude-Entwurfs geprüft werden.

Für das Projekt sollen weitere *Beispielszenarien* erarbeitet werden. Hier ist z.B. geplant, in Zusammenarbeit mit der Otto Nussbaum GmbH ein möglichst vollständiges Regelwerk für das CarSatelite-Projekt (modulare Kfz-Werkstätten) zu erstellen. Das Regelwerk soll dann bei der Planung von CarSatelite-Aufträgen getestet und verwendet werden.

Schließlich ist die *Integration* beider Ansätze, Top-Down und Bottom-Up, geplant. Unser Ansatz besteht darin über einen zentralen Informationsserver das gepflegte Fachwissen anzubieten. Verschiedene ArchiCAD-Anwender können über das Internet darauf zugreifen und diesen Dienst verwenden.

3 Stand der eigenen Forschungen im Vorhaben

3.1 Vorarbeiten zu Regeln und Techniken

Im Rahmen des Forschungsprojekts waren umfangreiche Vorarbeiten, zum einen innerhalb der Anwendungsdomäne, zum anderen bei den zugrunde liegenden Informatikkonzepten, nötig.

Das Projekt befasst sich mit der Unterstützung des Gebäude-Entwurfs in den frühen Phasen. Zum besseren Verständnis der Anforderungen der Anwendungsdomäne wurde eine umfangreiche *Analyse* der gesetzlichen Regelungen, z. B. der Landesbauordnung NRW, der Arbeitstättenverordnung sowie der weiterführenden Fachliteratur, z. B. [Neu00], durchgeführt. Es wurden exemplarisch Regeln und Gesetze für den Wohnbau und den Nutzbau untersucht. Die für den konzeptuellen Gebäude-Entwurf relevanten Regeln und Gesetze wurden identifiziert und gesammelt. Darüber hinaus wurden Erfahrungswerte von den oben genannten Projektpartnern erfragt und zunächst informell erfasst. Zum besseren Verständnis des Gebäude-Entwurfs wurden verschiedene Gebäudetopologien analysiert.

Für den Bereich der vernetzt kooperativen Planung wurden neue Techniken zur verteilten Ausführung von Systemen untersucht. Insbes. die *Verteilungsarchitektur* CORBA [PR00] wurde ausführlich getestet und exemplarisch angewandt. Im Bereich der Wissensrepräsentation wurden verschiedene Ansätze (siehe 3.5), insbes. die *Wissensrepräsentation* mit Semantischen Netzen [Pow03] untersucht. In Bezug auf den Datenaustausch zwischen CAD-Systemen wurde die Struktur der IFC-Schnittstelle umfassend untersucht.

3.2 Szenario

Die Unterstützung des konzeptuellen Gebäude-Entwurfs besteht in dem vorliegenden Projekt aus zwei Teilen. Zum einen soll dem Architekten die Möglichkeit gegeben werden, in einem CAD-System den *konzeptuellen Entwurf* zu Beginn des Entwurfsprozesses durchzuführen. In dieser frühen Phase ist der Grundriss des Gebäudes noch nicht festgelegt, der Grundriss stellt vielmehr das Ergebnis dieser Phase dar. Mit den Erweiterungen des CAD-Systems für den konzeptuellen Gebäude-Entwurf wird es dem Architekten ermöglicht, das Raumprogramm und die Anordnung der Räume zu gestalten. Es werden dazu verschiedene Grundrisse entwickelt, verändert, Alternativen abgewogen und schließlich der endgültige Grundriss ausgewählt. Diese *Erweiterungen des CAD-Systems* ArchiCAD werden in Abschnitt 3.4 genauer beschrieben.

Der Architekt soll durch vordefiniertes Fachwissen beim konzeptuellen Gebäude-Entwurf unterstützt werden. Das Fachwissen steht z. T. in der Literatur und Gesetzestexten explizit zur Verfügung, meistens allerdings nur textuell oder in einer anderen informellen Darstellung. Für den Entwurf in den frühen Phasen sind, neben dem Fachwissen, auch das Erfahrungswissen und die Präferenzen des Architekten bzw. Bauingenieurs relevant. Ebenso gilt es die Wünsche des Bauherrn zu beachten. Die formale, aber dennoch übersichtliche und visuelle Erfassung und Darstellung von Fachwissen aus verschiedenen Bereichen stellt den zweiten Teil der Arbeit dar. Die entstehenden Werkzeuge zur Wissenserarbeitung und Analyse geben dem Wissens-Ingenieur, einem erfahrenen Architekten, die Möglichkeit, domänenspezifisches Fachwissen zu er-

arbeiten und zu evaluieren. Aufgabe des Wissens-Ingenieurs ist nicht nur die *Erfassung* des *Fachwissens*, sondern auch dessen *Strukturierung* und *Änderung*. Die Strukturierung des Fachwissens ist daher nicht in den Werkzeugen fixiert, sondern kann dynamisch zur Laufzeit entwickelt werden. Den Werkzeugen liegt Graph-Technologie zugrunde. Sie werden in Abschnitt 3.3 erläutert.

Die Unterstützung des Architekten durch das vom Wissens-Ingenieur definierte Fachwissen wird durch die *Integration* beider Ansätze erreicht. Damit kann der konzeptuelle Gebäude-Entwurf *gegen* das *Fachwissen geprüft* werden. Regelverletzungen werden identifiziert und der Architekt wird benachrichtigt. Die Übertragung der Regeln von den Werkzeugen zur Wissenseingabe in das CAD-System ArchiCAD wird durch ein RDF Format zum Datenaustausch realisiert. Das gesamte Szenario sowie weitere Möglichkeiten zur Integration des konzeptuellen Gebäude-Entwurfs und des Fachwissens werden in [KN03; KMN02; KN03a] beschrieben und im Folgenden in Abschnitt 3.3.

Das Fachwissen wird für jeweils eine *Gebäudeklasse* definiert und ist gültig für jedes Bauvorhaben dieser Gebäudeklasse. Der Aufwand zur Regeldefinition wird somit durch die *Wiederverwendung* relativiert. Durch die flexible Strukturierung des Fachwissens können neue Erfahrungen sowie veränderte Regeln und Gesetze leicht eingefügt werden. Dadurch stehen sie unmittelbar für die aktuellen und die folgenden Bauvorhaben zur Verfügung.

3.3 Graphbasierte Werkzeuge zur Wissenseingabe und -evaluation (Top-Down)

Am Lehrstuhl für Informatik III werden das *Graph-Spezifikationssystem* PROGRES [KSW95; Pro99; Sch91; Win00] und das *UPGRADE-Rahmenwerk* [BSW02] zur Erstellung von visuellen, graphbasierten Applikationen entwickelt. Die Werkzeuge zur Wissensverarbeitung und -evaluation basieren auf dieser Infrastruktur, die Ergebnisse wurden in dem hier beschriebenen Teilprojekt genutzt.

Die graphbasierten Werkzeuge werden dazu verwendet, geeignete Konzepte und Datenstrukturen zur Definition von Fachwissen aus dem Bereich des konzeptuellen Gebäude-Entwurfs durch den Wissens-Ingenieur zu erarbeiten. Durch die Werkzeuge wird eine operationale Unterstützung zur Strukturierung, Eingabe und Analyse geboten.

Die im Berichtszeitraum abgeschlossenen und begonnenen Arbeiten sind wie folgt gegliedert (Erläuterung folgt):

- Angabe einer Modellarchitektur, unterteilt in Graph-Schema, Wissensmodell, Wissensinstanzen und benutzerfreundliche Repräsentation
- Entwicklung eines neuen parametrisierten Spezifikations-Ansatzes mit der PROGRES-Sprache
- Entwicklung einer visuellen Sprache zur Wissensdefinition, basierend auf einem PROGRES-Graph-Schema und der parametrisierten Spezifikation
- Entwicklung eines graphbasierten Prototypen zur (Verwendung der visuellen Sprache und) Definition, Strukturierung und Veränderung von Fachwissen
- Entwicklung eines graphbasierten CAD-Systems zum konzeptuellen Entwurf

- Entwicklung von Konsistenz-Analysen

Wir gehen auf diese Aspekte nun im Einzelnen ein.

Die Werkzeuge zur Wissensdefinition beruhen auf einer *mehrschichtigen Modellarchitektur*. Auf der obersten Ebene liegen das allgemein definierte Graph-Schema und die parametrisierten Graph-Ersetzungsregeln. Dieser Teil der Modellarchitektur ist in der PROGRES-Spezifikation fixiert, er kann zur Laufzeit nicht geändert werden. Auf der zweiten Ebene liegt das dynamische Wissensmodell. Der Wissens-Ingenieur kann hier die relevanten Entitäten, Attribute und Relationen basierend auf dem Graph-Schema definieren. Auf der dritten Ebene liegen die Wissensinstanzen. Basierend auf dem dynamischen Wissensmodell definiert der Wissens-Ingenieur in dieser Ebene das Fachwissen. Schließlich liegt auf der vierten Ebene die Repräsentation des Wissensmodells und der Wissensinstanzen in einer grafischen Applikation, dem *Domain Knowledge Graph Editor* (DKGE). Der DKGE implementiert eine visuelle Sprache zur kompakten, übersichtlichen Eingabe und Evaluation von Fachwissen. Der Wissens-Ingenieur arbeitet ausschließlich mit dem DKGE, die graphbasierten Grundlagen sind Teil der internen Realisierung und bleiben deshalb verborgen.

Das *Graph-Schema* ist allgemein und Domänen-unspezifisch definiert. Durch diese allgemeine Struktur wird es dem Wissens-Ingenieur ermöglicht, das Fachwissen zur Laufzeit zu strukturieren. Wichtigste Knotenklasse im Graph-Schema ist das *semantische Objekt*, es wird weiter klassifiziert in *Atom* und *Complex*. Semantische Objekte repräsentieren die relevanten Entitäten für die Wissensdefinition. Atomare semantische Objekte bilden die kleinste, beschreibbare Wissensseinheit. Komplexe semantische Objekte sind Gruppierungen mehrerer atomarer oder komplexer semantischer Objekte. Sie erlauben es, Wissen über zusammengesetzte Einheiten zu definieren. Eine Spezialisierungsbeziehung zwischen semantischen Objekten wird durch eine isA-Kante modelliert. Die Knotenklasse *Attribute* erlaubt die Beschreibung von Fachwissen bzgl. eines semantischen Objekts. Mit Hilfe der Knotenklasse *Relation* können semantische Objekte in Beziehung zueinander gesetzt werden. Diese Knotenklasse wird verfeinert zur Unterscheidung von symmetrischen, antisymmetrischen und transitiven Relationen. Eine vereinfachte Darstellung des PROGRES-Graph-Schemas ist im oberen Teil von Abbildung 1 dargestellt, eine ausführliche Beschreibung kann in [KW04] gefunden werden.

Die zu dem Graph-Schema zugehörigen Graph-Ersetzungsregeln zum Aufbau des Wissens und zu dessen Analyse sind ebenfalls allgemein definiert, damit sie ein beliebiges Wissensmodell verarbeiten können. Die Strukturierung und Eingabe des domänenspezifischen Fachwissens zur Laufzeit kann durch die traditionelle Spezifikationsmethodik mit PROGRES nicht erreicht werden [KN04; NSM00]. Mit der traditionellen Spezifikationsmethodik wird das Fachwissen im Graph-Schema und den Graph-Ersetzungsregeln fest codiert, die daraus abgeleiteten Werkzeuge enthalten bereits das domänenspezifische Fachwissen. Die traditionelle Spezifikationsmethodik setzt voraus, dass das Fachwissen einmalig und vollständig definiert ist und in PROGRES spezifiziert wird. Änderungen am Fachwissen werden nur selten vorgenommen, sie müssen in die Spezifikation des Werkzeugs eingearbeitet werden, wonach eine neue Werkzeuggenerierung stattfindet [Nag96].

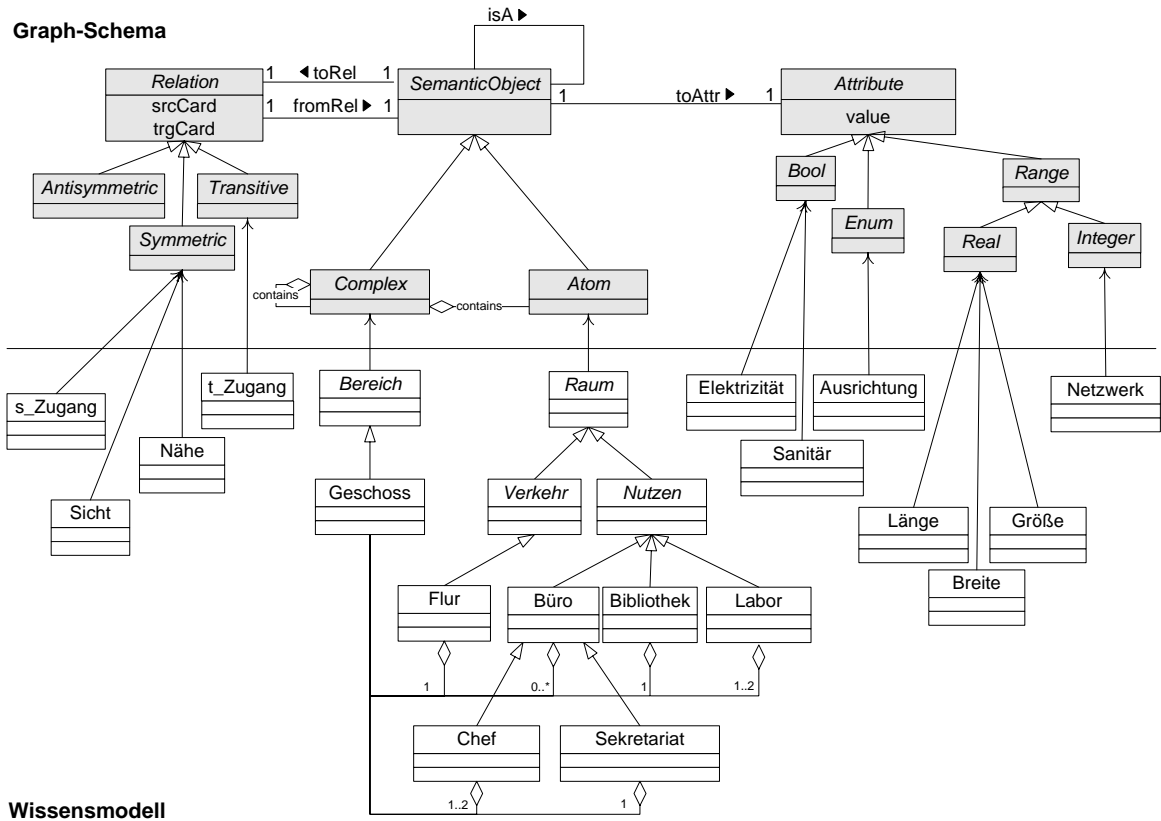


Abbildung 1: Statisches Graph-Schema und dynamisches Wissensmodell

In dem vorliegenden Projekt gehen wir davon aus, dass das Fachwissen zu keinem Zeitpunkt vollständig und endgültig zur Verfügung stehen kann. Insbes. Erfahrungswerte, aber auch gesetzliche Vorschriften, unterliegen einem stetigen Wandel. Darüber hinaus soll das Fachwissen von einem Wissens-Ingenieur eingegeben werden können. Um diese Anforderungen nach Flexibilität und einfacher Bedienbarkeit erfüllen zu können, ist eine neue *parametrisierte Spezifikationsmethodik* entwickelt worden. Das Fachwissen wird darin nicht mehr in der Spezifikation des Werkzeugs von dem Programmierer codiert, sondern im Laufzeitgraph dynamisch durch den Wissens-Ingenieur eingegeben. Die abgeleiteten Werkzeuge erhalten demnach kein Fachwissen, sondern ermöglichen dessen Strukturierung und Eingabe. Dem Mehraufwand zur Spezifikation, insbes. der Analysen steht dabei die Flexibilität der Werkzeuge gegenüber. Die parametrisierte Spezifikationsmethodik ist in [KN04] ausführlich beschrieben. Zielsetzung ist somit, eine Explorationsplattform zur Wissensevaluierung zur Verfügung zu stellen.

Das *Wissensmodell* beschreibt die grundlegenden Elemente zur Wissensdefinition für eine Gebäudeklasse. Es basiert auf dem allgemeinen Graph-Schema, es können darin zur Laufzeit spezifische semantische Objekte, Attribute und Relationen definiert werden. Das Wissensmodell stellt wiederum die Basis für die Eingabe der Wissensinstanzen dar. Im unteren Teil von Abbildung 1 ist exemplarisch ein Ausschnitt eines Wissensmodells für die Klasse der Bürogebäude dargestellt. In diesem Wissensmodell stellen Räume die kleinste semantische Einheit dar, die Klasse *Raum* ist Instanz der Knotenklasse *Atom*. Die Aggregation von Räumen wird durch die Klasse *Bereich* modelliert, sie ist Instanz der Knotenklasse *Complex*. Mit Hilfe der Vererbungsbeziehung können Klassen spezialisiert werden, um eine genauere Wissensdefinition zu ermöglichen. In Abbildung 1 wird die Klasse *Raum* zunächst in Räume für Verkehrsfläche und

Nutzfläche klassifiziert, Räume für Nutzfläche werden weiter unterschieden in Büro, Bibliothek und Labor. Zur Wissensdefinition können sowohl die Blätter der Vererbungshierarchie, als auch übergeordnete Klassen verwendet werden. Fachwissen, welches auf der untersten Ebene der Vererbungshierarchie definiert wird, beschreibt Regeln für ein semantisches Objekt, z. B. Fachwissen bzgl. der Büros in einem Gebäude. Fachwissen, welches für eine Oberklasse definiert wird, gilt darüber hinaus auch für alle von dieser Klasse ererbenden semantischen Objekte. Bei der Definition des Wissensmodells wird weiter unterschieden zwischen abstrakten Klassen, die vor allem der Strukturierung des Wissens dienen, und konkreten Klassen, die auch im Produktmodell des konzeptuellen Entwurfs auftauchen. Neben den semantischen Objekten werden im Wissensmodell ebenfalls Attribute und Relationen definiert. Basierend auf den Knotenklassen im Graph-Schema sind in Abbildung 1 z. B. die Attribut-Klassen *Größe*, *Breite* und *Länge*, als Instanzen der Knotenklasse Real definiert. Diese Attribut-Klassen erlauben die Definition eines Wertebereichs, um die Ausdehnung von semantischen Objekten einzuschränken. Analog zur Definition der Attribut-Klassen, können unter Verwendung der Knotenklasse Relation im Wissensmodell spezifische Relations-Klassen definiert werden. Das in Abbildung 1 dargestellte Wissensmodell enthält z. B. die Relations-Klassen *s_access* und *t_access*, zur Modellierung einer symmetrischen bzw. transitiven Zugangsbeziehung zwischen zwei semantischen Objekten. Die Definition der semantischen Objekte sowie der Attribut- und Relations-Klassen erfolgt dynamisch zur Laufzeit. Damit wird die geforderte Flexibilität gewährleistet, es wird insbes. keine Beschränkung auf eine Gebäudeklasse vorgenommen. Das Wissensmodell wird vom Wissens-Ingenieur vielmehr für die spezifischen Bedürfnisse einer Gebäudeklasse optimal entwickelt.

Die *Wissensinstanzen* beschreiben, basierend auf dem Wissensmodell, das für eine Gebäudeklasse spezifische Fachwissen. Es wird unterschieden zwischen Attributregeln, die für semantische Objekte die Einhaltung von definierten Attributwerten fordern, und Relationsregeln, die Beziehungen zwischen semantischen Objekten vorschreiben oder verbieten. Das in den Regeln definierte Fachwissen beschreibt Einschränkungen auf der Typebene. Eine Attributregel bezüglich eines spezifischen semantischen Objekts ist somit bindend für alle Vorkommnisse dieses semantischen Objekts in einem Gebäude, entsprechend ist eine Relationsregel für alle Vorkommnisse beider semantischer Objekte im Gebäude bindend. In Abbildung 2 sind vier Wissensinstanzen, exemplarisch zwei Attributregeln und zwei Relationsregeln, dargestellt. Die erste Attributregel definiert eine Größenbeschränkung für das semantische Objekt Sekretariat, die

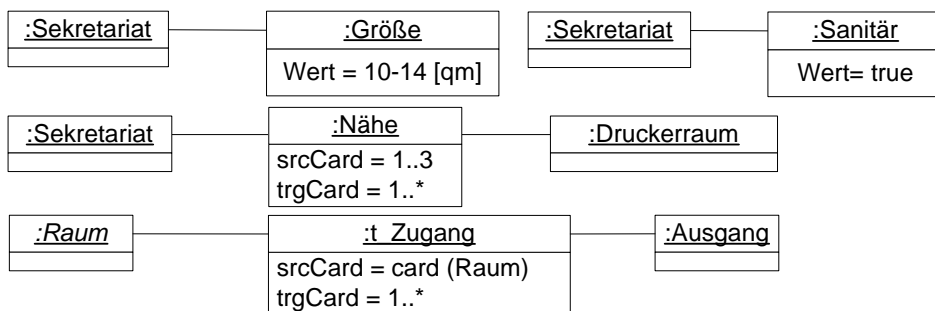


Abbildung 2: Wissensinstanzen

zweite fordert dort die Installation eines Sanitäranschlusses. Die Regeln werden für die Gebäudeklasse der Bürogebäude einmalig definiert und sind bindend für alle in einem Bürogebäude vorkommenden Sekretariate. Die dritte Regel in Abbildung 2 zeigt eine Relationsregel. Sie beschreibt die Forderung nach Nähe zwischen Sekretariat und Druckerraum. Relationsregeln werden unterschieden in fordernde und verbietende Regeln. Über die Quell- und Zielkardinalität lassen sich die Regeln detaillierter beschreiben. Die Relationsregel in Abbildung 2 fordert einerseits, dass sich in der Nähe jedes Sekretariats mindestens ein Druckerraum befindet. Andererseits darf jeder Druckerraum nur in der Nähe von maximal 3 Sekretariaten sein, um das Druckaufkommen zu reduzieren. Die vierte Regel in Abbildung 2 beschreibt eine komplexe, transitive Relationsregel. Die Klasse *Raum* liegt an oberster Stelle des Wissensmodells, deshalb wird das dafür definierte Fachwissen auf alle atomaren Klassen vererbt. Durch die Verwendung der Relation *t_Zugang* in der vierten Regel wird gefordert, dass alle Räume einen transitiven Zugang zum Ausgang haben müssen. Die Definition des Wissensmodells und die Aussagekraft der Wissensinstanzen werden in [KW04] beschrieben.

Unter Verwendung der vom Lehrstuhl für Informatik III entwickelten Infrastruktur, bestehend aus PROGRES und UPGRADE, wurden zwei visuelle graphbasierte Werkzeuge entwickelt. Diese Applikationen basieren auf dem UPGRADE-Rahmenwerk, wir nennen sie *UPGRADE-Prototypen*. Der traditionelle und der parametrische Werkzeug-Entwicklungsprozess werden in [KN04; KMN02] diskutiert, der allgemeine Entwicklungsprozess zur Erstellung der visuellen Werkzeuge in [BSW02; NW99; NW03]. Zur Unterstützung des konzeptuellen Gebäude-Entwurfs wird der *Domain Knowledge Graph Editor* (DKGE) zur Strukturierung und Eingabe von Fachwissen entwickelt. Der *Design Graph Editor* (DGE) dient dem graphbasierten konzeptuellen Gebäude-Entwurf.

Der DKGE, dargestellt in Abbildung 3, erlaubt zum einen die Definition des oben beschriebenen Wissensmodells, zum anderen erlaubt er die Eingabe der Wissensinstanzen. Die Definition des Fachwissens erfolgt in einer visuellen, an UML-Klassendiagramme angelehnten Sprache. Der DKGE wird vom Wissens-Ingenieur, einem Architekten, verwendet; die Verwendung ist leicht erlernbar. Die Darstellung der Wissensinstanzen erfolgt in komprimierter Form, alle zu einem semantischen Objekt gehörigen Attributregeln werden in einer Box zusammengefasst. Verschiedene Layout-Algorithmen garantieren eine übersichtliche Darstellung. Die Relationsregeln werden durch attributierte Kanten dargestellt. Durch die übersichtliche Darstellung können eine Vielzahl von Regeln auf sehr geringem Platz angeordnet werden, in Abbildung 3 sind bereits über 70 Regeln definiert.

Der DKGE bietet weiterhin die Möglichkeit eine HTML basierte Dokumentation des Fachwissen mit Hilfe von XSL-Transformationen [XSL04] automatisch aus dem definierten Fachwissen zu generieren. Darüber hinaus kann das definierte Fachwissen im GXL-Datenformat [WKR02] serialisiert werden. Der so dokumentierte Export ermöglicht es, Fachwissen zwischen verschiedenen Wissens-Ingenieuren auszutauschen und vor dem Import zunächst den Dateiinhalt zu überprüfen. Zur Übertragung des Fachwissens in das CAD-System ArchiCAD wird darüber hinaus der Export in ein RDF basiertes Datenformat [Pow03] unterstützt. Die Funktionalität des DKGE ist in [Kra04; KN03] beschrieben, die visuelle Sprache zur Wissensdefinition in [KK04; KW04].

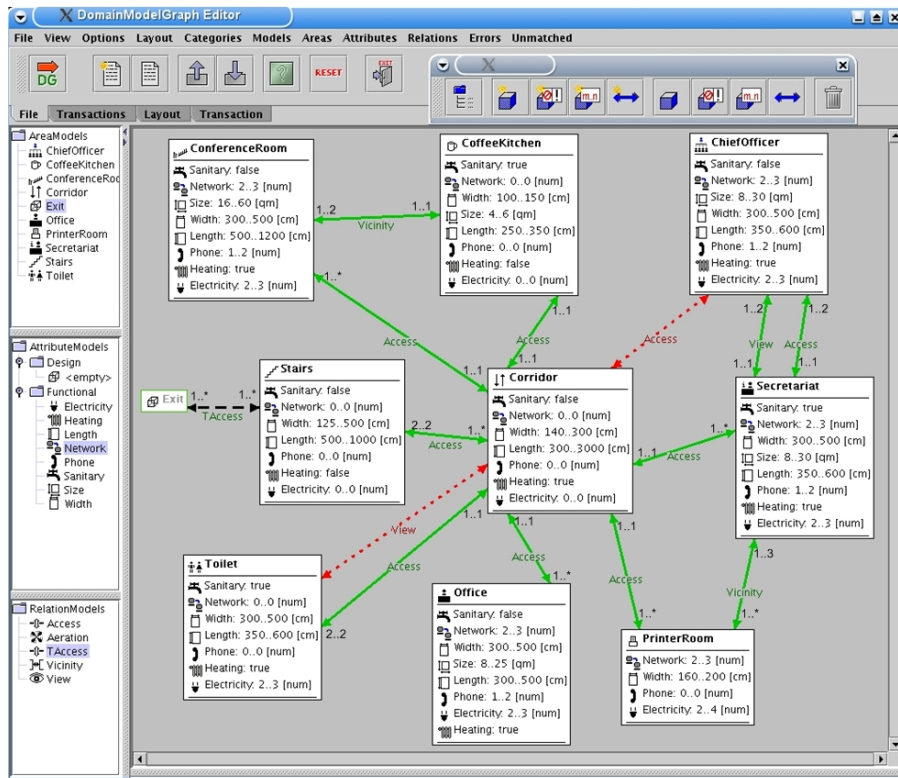


Abbildung 3: Eingabe und Strukturierung von gebäudespezifischem Fachwissen

Zur Evaluation des Fachwissens und zur Überprüfung der graphbasierten Konsistenz-Analysen wurde ein weiterer Prototyp, der Design Graph Editor (DGE) entwickelt worden. Mit Hilfe dieser Applikation kann ein graphbasierter, konzeptueller Gebäude-Entwurf in einem visuellen Werkzeug erstellt werden. Der Entwurf im DGE erlaubt die Darstellung eines Gebäudes abstrahiert von geometrischen Angaben. Dadurch kann sich der Architekt auf die funktionalen Zusammenhänge zwischen den semantischen Einheiten konzentrieren und die funktionale Gebäudeorganisation explizit modellieren. Das oben definierte Wissensmodell wird in den DGE importiert und steht dem Architekten dann zur Verfügung. Unter Verwendung der spezifischen semantischen Objekte, Relations- und Attribut-Klassen kann eine konkrete Gebäudeorganisation entwickelt werden.

Abbildung 4 zeigt den DGE mit einem Ausschnitt auf einen bestimmten konzeptuellen Gebäude-Entwurf. In der Mitte der Abbildung liegt der Flur mit Zugang zu allen anderen Räumen, darüber hinaus ist ein Zugang zwischen dem Sekretariat und dem Chefzimmer geplant. Den Räumen können Attributwerte zugewiesen werden, um den Entwurf detaillierter zu beschreiben. Entsprechend dem Wissensmodell können Größenangaben definiert bzw. Ausstattungsmerkmale für einen Raum festgehalten werden. In Abbildung 4 sind für das Sekretariat Größenangaben angegeben sowie ein Sanitär-, Netzwerk- und Stromanschluss geplant. Im Gegensatz zum Domain Knowledge Graph Editor beschreiben die Attribute und Relationen im Design Graph Editor keine Regeln über einen Gebäudetyp, sondern einen konkreten konzeptuellen Gebäude-Entwurf. Mit Hilfe des DKGE (Abbildung 3) wird das Fachwissen strukturiert eingegeben, der DGE (Abbildung 4) erlaubt es einen konzeptuellen funktionalen Gebäude-Entwurf zu modellieren.

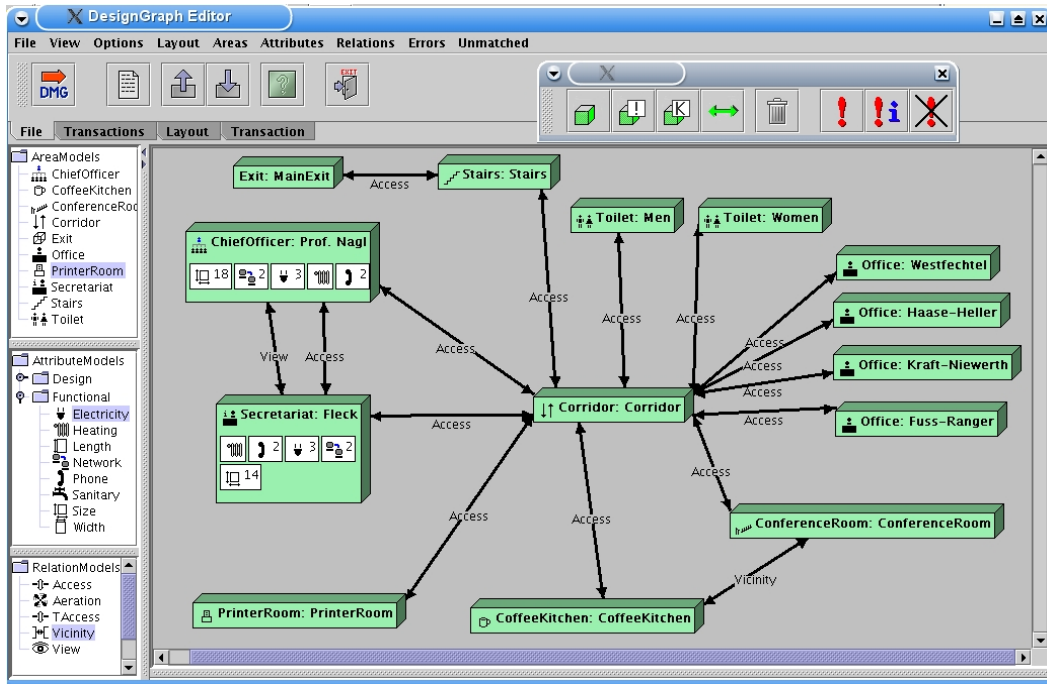


Abbildung 4: Konzeptueller, graphbasierter Gebäude-Entwurf

Ziel dieses Projektes ist es, den Gebäude-Entwurf gegen das Fachwissen auf Konsistenz zu überprüfen. Die Konsistenz-Analysen sind in der PROGRES-Spezifikation parametrisiert spezifiziert. Sie erlauben es, einen beliebigen Entwurf im DGE gegen das mit dem DKGE dynamisch entwickelte Fachwissen zu prüfen. Das Fachwissen auf der Typebene wird dazu mit allen korrespondierenden Elementen im Entwurf verglichen und auf Konsistenz überprüft. Die *graphbasierten Konsistenz-Analysen* prüfen dabei, ob keine verbotene und jede geforderte Relation mit den definierten Kardinalitäten im konzeptuellen Entwurf vorkommt. Die im Fachwissen festgelegten Attributwerte werden ebenfalls mit den tatsächlichen Ausprägungen im konzeptuellen Entwurf verglichen. Im Falle einer Regelverletzung wird der Architekt durch eine Fehlermeldung, die an der betreffenden Stelle angezeigt wird, auf seinen Entwurfsfehler hingewiesen. Er bleibt frei in der Entscheidung, den Fehler zu korrigieren oder die Fehlermeldung zu ignorieren und weiter in einem inkonsistenten Zustand zu verbleiben. In Abbildung 5 sind der DKGE und DGE gegenübergestellt, im DGE werden einige Fehlermeldungen als Er-

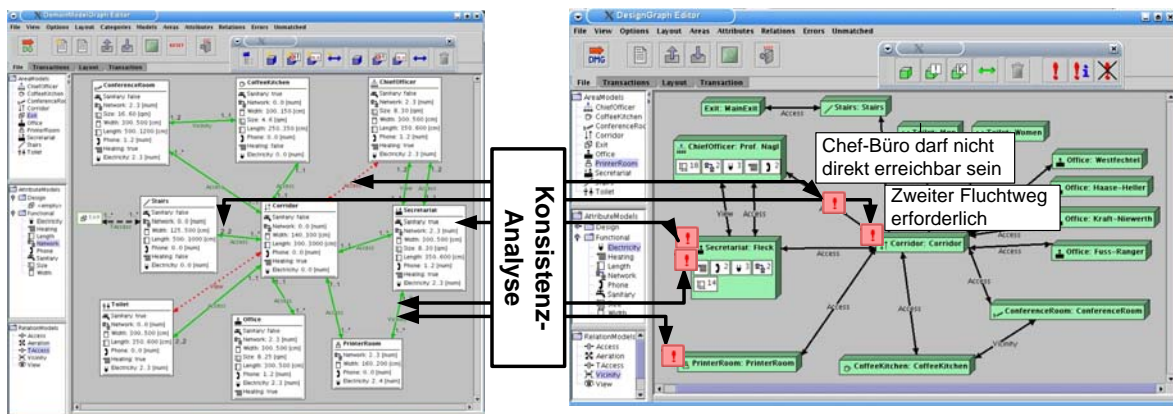


Abbildung 5: Überprüfung der konzeptuellen Gebäude-Entwurfs

gebnis der Konsistenz-Analyse dargestellt. Temporäre Inkonsistenzen im Entwurf werden bewusst zugelassen, um den Architekt in seiner Kreativität nicht einzuschränken bzw. ihm einen bestimmten Entwurf vorzuschreiben. Die Unterstützung des Architekten durch die Konsistenz-Analysen soll lediglich eine dezente Hilfestellung für den Architekten darstellen, die er annehmen oder ignorieren kann. Die in Abbildung 5 dargestellten Fehlermeldungen beschreiben das Fehlen des Sanitäranschlusses für das Sekretariat, außerdem ist das Chefbüro direkt vom Flur aus erreichbar.

3.4 Konzeptueller Gebäude-Entwurf mit ArchiCAD (Bottom-Up)

Um die industrielle Verwendbarkeit der Werkzeuge zu sichern und den konzeptuellen Gebäude-Entwurf in den Arbeitsablauf von Architekten integrieren zu können, wurde das CAD-System ArchiCAD um neue Funktionalität erweitert. Die Integration der konzeptuellen Entwurfshilfen in ein weit verbreitetes CAD-System erlaubt die Verwendung der entwickelten Werkzeuge ohne großen Aufwand für Installation und Einarbeitung. Die Verwendung der konzeptuellen Entwurfswerkzeuge unterscheidet sich kaum von der herkömmlichen Arbeitweise mit ArchiCAD; somit wird die Hemmschwelle zur Verwendung dieses neuen Werkzeugs herabgesetzt.

Der konzeptuelle Gebäude-Entwurf beschreibt eine frühe Phase am Anfang des Entwurfsprozesses. Es ist die Aufgabe dieser Phase, das Raumprogramm und den Grundriss eines Gebäudes zu erarbeiten. Unter Berücksichtigung aller gesetzlichen, statischen, ökonomischen und funktionalen Randbedingungen ist die Erstellung eines Grundrisses eine komplexe Aufgabe. Verschiedene Grundrisse werden entworfen, verändert, verworfen, bis man schließlich zu einem passenden Entwurf gelangt. Für diesen kreativen und iterativen Arbeitsprozess eignen sich heutige CAD-Systeme nicht, da sie die für den konzeptuellen Entwurf relevanten semantischen Einheiten nicht abbilden. Die von den CAD-Systemen angebotenen Werkzeuge erlauben zwar, das Resultat also einen Grundriss einzugeben, zum Entwurf eines Grundrisses eignen sie sich nicht. Daher wird der konzeptuelle Entwurf derzeit meist auf Papier gezeichnet und dann manuell in ein CAD-System übertragen. Bei dieser informellen Darstellung erhält der Architekt keine operationale Unterstützung; eine Prüfung des Entwurfs auf Konsistenz mit einer vordefinierten Regelmenge ist nicht möglich. Ziel dieses Projekts ist es, den frühen, konzeptuellen Entwurf in einem CAD-System, exemplarisch in ArchiCAD, zu ermöglichen und diesen Entwurf gegen vordefiniertes Wissen zu prüfen.

Die im Bereich der ArchiCAD-Erweiterung erfolgten und begonnen Arbeiten sind in die folgenden Punkte gegliedert (Erläuterungen folgen):

- Erweiterung des ArchiCAD Produktmodells um weitere Entwurfselemente, die den konstruktiven Entwurf erlauben
- Konstruktive Entwurfsunterstützung bei der Verwendung der konzeptuellen Entwurfselemente
- Konsistenz-Analysen, die den Entwurf gegen extern definiertes Fachwissen prüfen
- Automatische Wanderzeugung, zur Übertragung des konzeptuellen in den konstruktiven Entwurf

Die für den konzeptuellen Gebäude-Entwurf relevanten Entwurfseinheiten sind Räume und Bereiche; ein konzeptueller Entwurf mit Hilfe des rein konstruktiven Wandwerkzeugs ist nicht möglich. Um die semantischen Entwurfseinheiten in ArchiCAD abbilden zu können, wurden neue *Raumobjekte* eingeführt, wobei jedes Raumobjekt einen bestimmten Raumtyp repräsentiert. Die Raumobjekte haben eine 2D- und eine 3D-Darstellung. In 2D werden der Raumtyp sowie die aktuelle Dimension angezeigt, die 3D-Darstellung dient vor allem dem Abschätzen der Größenverhältnisse im Volumenmodell. Entsprechend den konkreten Klassen des Wissensmodells aus Abbildung 1 werden dem Architekten die für einen Gebäudetyp spezifischen Raumobjekte zur Verfügung gestellt. Die Raumobjekte wurden mit der GDL-Technik, einer von GRAPHISOFT zur Verfügung gestellten Sprache, entwickelt und können in ArchiCAD verwendet werden. Das evaluative, konzeptuelle Entwerfen, d.h. das einfache Ausprobieren, Verbessern und Bewerten verschiedener Grundrisse kann mit Hilfe der Raumobjekte direkt in ArchiCAD erfolgen.

Der Vorteil gegenüber dem konstruktiven Entwurf mit einer Wandstruktur liegt zum einen in der deutlich informativeren Darstellung des Entwurfs, alle Räume sind zu jeder Zeit durch den Raumtyp und die Größe beschrieben. Zum anderen ist das Entwerfen eines Grundrisses deutlich intuitiver, da die Wandstruktur die semantischen Einheiten nicht abbildet, sondern nur umschreibt. Die Raumobjekte können darüber hinaus durch *Raumlinks* in Relation zueinander gesetzt werden. Sollen Räume z. B. benachbart sein oder Zugang zueinander haben, können diese durch einen entsprechenden Raumlink miteinander verbunden werden. Obwohl Nachbarschaft und Zugang zwischen zwei Räumen eine recht offensichtliche Beziehung darstellen, ist es dennoch sinnvoll, diese explizit zu definieren. Zum einen wird der Entwurf des Grundrisses während der frühen Phase oft stark verändert. Die implizite, rein geometrische Nachbarschaftsbeziehung und damit eine wichtige konzeptuelle Entwurfsentscheidung kann deshalb durch das Verschieben eines Raumes verloren gehen. Zum anderen sind in einem großen Gebäude insbes. vertikale Beziehungen kaum zu überblicken. Durch die explizite Modellierung der konzeptuellen Entwurfsentscheidungen bleiben sie erhalten. Mit Hilfe der Raumobjekte und Raumlinks kann der konzeptuelle Entwurf in ArchiCAD durchgeführt werden, diese neue Entwurfsmethode ist in [Kra03; Kra03b] beschrieben.

Das zweite Ziel der konzeptuellen Entwurfsunterstützung betrifft die Überprüfung des Entwurfs gegen extern definiertes Fachwissen. Das Fachwissen wird in dem Szenario

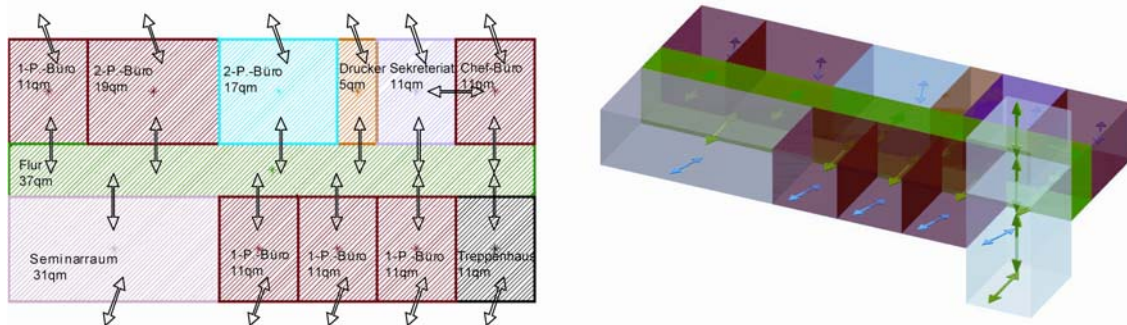


Abbildung 6: Konzeptueller Gebäude-Entwurf in ArchiCAD

im graphbasierten Ansatz erarbeitet und mittels eines RDF-Formats exportiert. Die exportierte Datei wird von dem *ConstraintChecker*, einer ArchiCAD-Erweiterung, importiert und interpretiert. Der *ConstraintChecker* prüft dann den konzeptuellen Entwurf in ArchiCAD gegen das Fachwissen und visualisiert Regelverletzungen in ArchiCAD. Analog zu dem DGE hat der Architekt die Wahl, den Fehler sofort oder später zu korrigieren bzw. den Fehler zu ignorieren. Derzeit können mit Hilfe des *ConstraintCheckers* die exportierten Attribut- und Relationsregeln überprüft werden, d.h. die Dimensionen der Raumobjekte in ArchiCAD werden analysiert und gegen das Fachwissen geprüft. Ebenso wird geprüft, ob die geforderten Relationen im konzeptuellen Entwurf in ArchiCAD berücksichtigt worden sind, d.h. ob die entsprechenden Raumlinks zwischen den Raumobjekten eingetragen worden sind. Die Konsistenz-Analyse des ArchiCAD *ConstraintCheckers* ist in [KN03; Kra03a] detailliert beschrieben.

Der neu entwickelte *Wall-Generator* generiert nach Abschluss des konzeptuellen Entwurfs aus den Raumobjekten und Raumlinks automatisch eine Wandstruktur. Dazu werden alle Raumobjekte ausgelesen und Wand-Koordinaten optimiert erstellt, sodass zusammenhängende Wandabschnitte durchgehend gezeichnet werden. Somit besteht z. B. die Fassade eines Gebäudes aus einer durchgehenden Wand und ist nicht aus einzelnen Teilabschnitten zusammengesetzt, die sich aus der Anordnung der Räume ergeben. In die Wandstruktur werden zudem entsprechend der Raumlinks für Zugang und Sicht automatisch Fenster und Türen eingefügt. Die aus dem konzeptuellen Entwurf mit dem *Wall-Generator* generierte Wandstruktur dient dem Architekten als initiale Version. Darauf aufbauend kann z. B. die Fassade optimiert und der Entwurf durch konstruktive Details ergänzt werden.

3.5 Kopplung beider Ansätze in einem vernetzten Szenario

In dem bisherigen Szenario wird das Gebäudetyp-spezifische Fachwissen im graphbasierten Ansatz erarbeitet, dann in das RDF Format exportiert und schließlich in ArchiCAD importiert. Die Konsistenz-Analyse erfolgt, basierend auf der importierten Datei vollständig in ArchiCAD.

Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass ArchiCAD ohne weitere Infrastruktur den konzeptuellen Gebäude-Entwurf und die darauf aufbauenden Konsistenz-Analysen unterstützt. Nachteilig an der reinen Dateintegration ist, dass die das Fachwissen enthaltende Datei bei jeder Änderung ausgetauscht werden muss. Daher wird in dem Projekt eine direkte Integration zwischen beiden Ansätzen angestrebt. In ArchiCAD und in die graphbasierten Werkzeuge wird dazu eine Verteilungsschnittstelle integriert, die eine synchronisierte Kommunikation über das Internet erlauben.

In diesem vernetzten Szenario existiert ein zentraler Informationsserver, der für die Eingabe, Pflege und Wartung des Fachwissens durch einen Wissens-Ingenieur ermöglicht. Mit diesem Server können sich verschiedene ArchiCAD-Anwender verbinden, um eine interaktive, vernetzte Konsistenz-Analyse ihrer Entwürfe zu erhalten. Die Verteilungsplattform CORBA ist in den graphbasierten Prototypen bereits integriert, sodass diese verteilt arbeiten können. Im Rahmen der ArchiCAD-Erweiterungen ist zunächst ein anderes Verteilungskonzept, basierend auf Sockets, getestet worden. Die technische Durchführbarkeit ist somit gewährleistet.

3.6 Verwandte Arbeiten außerhalb des Schwerpunktprogramms

Wir gehen hier auf die Bezüge zu externer Literatur ein. Die Beziehungen innerhalb des Schwerpunktprogramms sowie zu den vorne erwähnten Kooperationspartnern des Teilprojekts werden in Abschnitt 4 besprochen.

Der Schwerpunkt unserer Arbeit liegt in der Findung geeigneter *Konzepte* und der *Nutzung* derselben zur Darstellung, Verarbeitung, Evaluation und Verwendung von Fachwissen aus dem Bereich des *konzeptuellen Gebäude-Entwurfs*. Im gleichen Kontext wie diese Arbeit werden verschiedene Ansätze verwendet, um den Architekten bei seiner Arbeit zu unterstützen. Die Ansätze, die größtenteils aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz kommen, lassen sich grob in *evaluierende* und *generative* Ansätze unterteilen [Mav00].

Christopher Alexander [Alex95] beschreibt *architektonische Entwurfsmuster* für verschiedene Gebäude-Typen und die Umgebung. Darin wird eine Dekomposition verschiedener Gebäude-Typen nach relevanten Gesichtspunkten vorgenommen. Die Beschreibung der Muster erfolgt allerdings nur verbal. Entwurfsmuster finden in der Informatik eine weite Verbreitung [GHJ97], in der Architektur sind sie allerdings weder implementiert noch formalisiert worden.

Eine für unsere Arbeit interessante Basistechnologie zur Wissensrepräsentation stellen *Semantische Netze* [Pow03] dar. Gemeinsames Merkmal der Klasse Semantischer Netze ist die Darstellung in einer netzartigen, graphischen Repräsentation. Konzepte, also die für die Modellierung wichtigen Einheiten, werden durch Knoten dargestellt, Beziehungen zwischen den Konzepten als Kanten. Ziel dieser Ansätze ist zum einen die formale, maschinenlesbare Darstellung von Wissen zu erreichen. Zum anderen soll diese Darstellung Wissen auch für den Menschen lesbar gestalten.

Unter dem Begriff *Ontologie* wird eine explizite, formale Definition aller für eine Domäne wichtigen Konzepte verstanden. Entwurf und die Verarbeitung von Ontologien wird in [GFC04; SVR02; VGS00] beschrieben, eine Ontologie für den Gebäude-Entwurf wird in [EV98] angegeben. Diese Ontologie bildet allerdings nur die konstruktiven Gebäude-Elemente ab, die semantisch abstrakteren Konzepte werden nicht berücksichtigt. Eine Ontologie zum konzeptuellen Entwurf von elektro-mechanischen Systemen findet sich in [VSL02]. Im Bereich der Ontologien sind neue Ontologiesprachen [Pow03] entstanden, welche die semantische Modellierung von Daten versprechen.

Begriffliche Wissensverarbeitung [Stu00] haben ebenso den Anspruch, Wissen in einer formalen und trotzdem für Menschen lesbaren Form darzustellen. Im ersten Fall können Daten in gestuften Liniendiagrammen dargestellt werden, um zum einen große Datenmengen übersichtlich darzustellen und Größenordnungen abzuschätzen bzw. um zum anderen Zusammenhänge zwischen Daten erkennen zu können. Das auf der begrifflichen Wissensverarbeitung beruhende TOSCANA-System [Stu00] erlaubt die formalisierte Eingabe von rechtlichen Regeln für Gebäude. Dabei werden die entsprechenden Gesetzestexte einem Raum bzw. einer Gruppe von Räumen zugeordnet. Im Gegensatz zu unserer Arbeit erlaubt das TOSCANA-System nur die Eingabe und Strukturierung von unzusammenhängendem Fachwissen. Beziehungen zwischen den modellierten Einheiten können nicht abgebildet werden. Das eingegebene Fachwissen

wird nicht mit einem CAD-System integriert. Es ist darüber hinaus auf die Darstellung rechtlicher Zusammenhänge beschränkt.

Durch die graphische Notation und die Verbindung zur natürlichen Sprache versprechen auch *Conceptual Graphs* [Sow84] eine gute Lesbarkeit für den Menschen. Darüber hinaus besitzen *Conceptual Graphs* eine formale Semantik, sie lassen sich in prädikatenlogische Formeln übersetzen. Es existiert ein umfangreicher Katalog an vordefinierten Konzepten und Relationen.

Objektorientierte Ansätze zur Wissensrepräsentation lassen sich mit UML [FS99] und OCL [CW02; WK98] beschreiben. Die UML wurde für die Softwaretechnik entwickelt; sie stellt mehrere Diagrammtypen zur Modellierung der statischen und dynamischen Sicht auf ein System zur Verfügung. In Klassendiagrammen können z. B. Vererbung, Aggregation und Assoziation verwendet werden. Mit Hilfe der OCL kann die Semantik von UML-Modellen formal beschrieben werden. Eine Verwendung der UML zur Wissensrepräsentation ist in [Mar03] beschrieben.

Die *Generierung* eines *Entwurfs*, basierend auf strukturellem Wissen, setzt eine andere Arbeitsweise voraus. Unter Verwendung von Expertenwissen wird zumindest ein initialer Entwurf generiert, der in den Folgephasen (teilweise) automatisch weiter detailliert wird. Anhand vordefinierter Kriterien wird der Entwurf somit konsistent zu einer Regelbasis automatisiert erstellt [Fle94; WS97]. Ein anderer generativer Ansatz erforscht die Formalisierung des Entwurfs mit *Shape Grammars* [Gip99; GS72]. Dazu werden Ersetzungsregeln definiert, die den Entwurf schrittweise detaillieren.

Das SEED System [Fle94] hat ebenso wie unsere Arbeit den Anspruch, den Architekten in den frühen Entwurfsphasen zu unterstützen. Ziel ist aber auch hier die Generierung eines Entwurfs. Diese erfolgt zum einen aus einer Spezifikation von Gebäudetechnischen Regeln. Zum anderen wertet SEED durch einen fallbasierten Ansatz die bestehenden Entwürfe aus.

In [CRB90] wird eine wissensbasierte Unterstützung für den architektonischen Entwurf umfassend diskutiert. Insbesondere steht auch hier der frühe konzeptuelle Entwurf im Vordergrund. [Sch93; Sch99] beschreibt, wie auch das vorliegende Projekt, einen Top-Down und einen Bottom-Up-Ansatz, allerdings werden damit zwei unterschiedliche Entwurfparadigmen beschrieben. Beide Ansätze stellen für das vorliegende Projekt wertvolle Grundlagen dar.

Ein *graphbasierter Ansatz* zur Modellierung des architektonischen Entwurfs ist in [GGN90] beschrieben. Graph-Grammatiken werden hier verwendet, um designtechnische Regeln für den Entwurf einer Küche zu formulieren und den Entwurf dadurch zu automatisieren.

Im Schwerpunktprogramm *Objektorientierte Modellierung in Planung und Konstruktion* [Har00] sind einige Arbeiten entstanden, die den Zielen unserer Arbeit nahe kommen. Ähnlich ist hauptsächlich die Motivation, den vorderen Teil des Entwicklungsprozesses zu unterstützen; die Ansätze und die Art der Modellierung sind verschieden. In [Hec98] wird ein Ansatz für den Gebäude-Entwurf vorgestellt, der insbes. die Raumteilsicht und Bauteilsicht betrachtet. Die entsprechenden Partialmodelle werden zu einem graphartigen UML-Gesamtmodell zusammengefügt, als Vorschlag für die Datenstruktur eines

neuen CAD-Systems. Das Graphmodell ist eher geometrisch ausgerichtet, unsere Überlegungen zielen auf semantische Konzepte ab und insbes. auf das Herausarbeiten der Struktur eines Gebäudetyps. Ferner beschränkt sich unser Spezifikationsansatz nicht nur auf die Typebenen (Klassen und Beziehungen in einer Vererbungshierarchie) sondern betrachtet auch Regeln und Einschränkungen und die Operationen der Unterstützungswerkzeuge. Darüber hinaus erweitern wir ein bestehendes CAD-System und planen somit keine vollständige Neuimplementation.

Auch in [Ste97] wird ein Vorschlag für ein neues CAD-System gemacht. Dort werden verschiedene CAD-Systeme für Teildomänen integriert, die allerdings eine gemeinsame Grundstruktur (Metamodell) besitzen müssen. Die Arbeit basiert auf KI-Techniken (Frame-Konzept, Fuzzyness, Realisierung z. T. in Lisp) und hat ihren Schwerpunkt in einer zugrunde liegenden dynamischen Objektverwaltungsstruktur. Es wird, wie bei uns, die Änderbarkeit des Wissens durch den Architekten propagiert. Die Unterschiede zu unserem Ansatz sind die gleichen wie oben bei [Hec98].

4 Verknüpfungen mit anderen Forschungsvorhaben

4.1 Kooperationen im Schwerpunktprogramm

In Abstimmung mit der Koordination wurde das Projekt der Arbeitsgruppe „Netzwerkgerechte Produktmodellierung“ zugeordnet. Im Rahmen der Arbeitsgruppensitzung wurden gemeinsame Begriffe definiert und Kooperationsmöglichkeiten geprüft. In Absprache mit Dr. Berkahn wurde zudem die Teilnahme und Mitarbeit an den Sitzungen der Arbeitsgruppe „Netzwerkgerechte Prozessmodellierung“ vereinbart.

Innerhalb der Arbeitsgruppe „Netzwerkgerechte Produktmodellierung“ ist eine engere Kooperation mit dem Projekt „Vernetzt-kooperative Gebäudeplanung im Massivbau mit verteilten deklarativen Wissensbanken und Fuzzymethoden“ von Frau Prof. Schnellenbach-Held geplant. Dieses verfolgt wie unser Projekt einen wissensbasierten Ansatz. In dem Projekt von Prof. Schnellenbach-Held soll eine Plattform geschaffen werden, um Regeln aus dem Massivbau, basierend auf einem vorgegebenen Produktmodell, zu speichern. Zur Formalisierung stehen vordefinierte Schablonen zur Eingabe von tabellarischen Daten, Bildern und Formeln zur Verfügung. [HS03; HPS04]

Ferner wird eine Kooperation mit dem Projekt „Relationale Prozessmodellierung in kooperativer Gebäudeplanung“ von Herrn Dr. Berkahn angestrebt; das Projekt ist in der Arbeitsgruppe „Netzwerkbasierter Prozessmodellierung“ vertreten. Hierbei werden mit Hilfe von bipartiten Graphen ein Produktmodell, ein Prozessmodell und ein Ressourcenmodell entwickelt, um Planungszustände, die beteiligten Akteure und deren Aufgaben abzubilden. Hier sind geplant, die graphbasierten Produktmodelle beider Projekte und die zugrunde liegende graphbasierte Realisierung zu vergleichen, um Synergien zu entdecken. [Kön03]

In derselben Arbeitsgruppe und in Zusammenarbeit mit dem Projekt „Volumenorientierte Modellierung als Grundlage einer vernetzt-kooperativen Planung im konstruktiven Ingenieurbau“ von Prof. Rank erfolgt ein Erfahrungsaustausch bezüglich der technischen Möglichkeiten, die Funktionalität von ArchiCAD zu erweitern, bzw. es in einer verteilten Architektur anzukoppeln. [NRRT04]

4.2 Kooperation im universitären Kontext

Das Projekt ist in eine deutsch-polnische Forschungsk Kooperation mit Prof. A. Schürr (TU Darmstadt), Prof. A. Borkowski (IPPT Warschau) und Dr. E. Grabska (Jag. Univ. Krakau) eingebettet. Ziel dieser Kooperation ist es, neue Ansätze zur Unterstützung des konzeptuellen Gebäude-Entwurfs zu erarbeiten. Die Arbeiten der verschiedenen Kooperationspartner werden gegenseitig vorgestellt und diskutiert, gemeinsame Publikationen sind geplant.

[BG98; BSS02; GW02] verwendet dabei ebenso wie wir Graphtechnologie und das PROGRES-System. Dabei soll aus vordefinierten Constraints ein Grundriss abgeleitet werden. Im Rahmen dieser Arbeit ist auch die Eingabe von Prozesswissen durch UML Aktivitätsdiagramme möglich [SS04]. Hierbei soll insbesondere die Nachbarschafts-Beziehung von Räumen aus aufeinander folgenden Aktivitäten abgeleitet werden können. Im Gegensatz zu unserer Arbeit ist das spezifizierete Wissen allerdings fest codiert und kann zur Laufzeit nicht mehr geändert werden. Das widerspricht unserem flexiblen Ansatz und setzt Programmierkenntnisse zur Eingabe von Fachwissen voraus. Darüber hinaus ist unser Ansatz evaluierend und nicht generativ.

4.3 Industrie-Kooperationen

Das Projekt wird außerhalb des Schwerpunktprogramms von den in Abschnitt 1.9 aufgeführten industriellen Projektpartnern unterstützt. Im März 2004 wurde in Aachen ein eintätiger *Conceptual Design Workshop* mit den Projektpartnern veranstaltet, bei dem die bisherigen Ergebnisse sowie geplante Arbeiten präsentiert und diskutiert wurden.

GRAPHISOFT, der Hersteller des CAD-Systems ArchiCAD, stellt Software-Lizenzen und die Bibliotheken zur Erweiterung von ArchiCAD für das Projekt kostenlos zur Verfügung. Im Gegenzug werden die Ergebnisse in regelmäßigen Abständen demonstriert und diskutiert. Im Berichtszeitraum erfolgte eine Präsentation der Projektidee im Mai 2003 in der Zentrale von GRAPHISOFT Deutschland, eine Demonstration der ArchiCAD-Erweiterungen im November 2003 auf der ACS Messe in Frankfurt und im März 2004 auf dem Workshop in Aachen. Eine Beschreibung der ArchiCAD-Erweiterungen wurde in der Zeitschrift GRAPHISOFT.NEWS veröffentlicht [Kra03].

Als Berater für das bautechnische Fachwissen stehen dem Projekt Prof. Dr.-Ing. R. Woerzberger (FH Düsseldorf) und Dipl.-Ing. M. Junker (GODD.com) zur Verfügung. Herr Woerzberger verwendet ArchiCAD in der Lehre und wird die im Projekt entstandenen ArchiCAD-Erweiterungen in seiner Gruppe von Diplomanden und Studenten testen lassen. Hierdurch sollen diese auf Praxistauglichkeit überprüft und neue Anforderungen erarbeitet werden. Herrn Junker wurden die Ergebnisse des Projekts im Berichtszeitraum im Juni 2003 und März 2004 präsentiert und mit ihm Anforderungen für Erweiterungen erarbeitet. Herr Junker wird die graphbasierten Werkzeuge testen.

Die Firma Otto Nussbaum GmbH entwickelt mit dem CarSatelite-Projekt ein Konzept für modular aufgebaute KFZ-Werkstätten, die je nach Konfiguration vorgefertigt und vor Ort kurzfristig aufgebaut werden können. Der zuständige Architekt Dipl.-Ing. Schneider verwendet die ArchiCAD-Erweiterungen für den konzeptuellen Gebäude-Entwurf zur räumlichen Modellierung der Werkstattkonfiguration. Herr Schneider hat sich bereit erklärt, sein domänenspezifisches Fachwissen zur Verfügung zu stellen.

5 Publikationen des Forschungsvorhabens

5.1 Veröffentlichungen des Teilprojekts

Die in dem Teilprojekt entstandenen Veröffentlichungen, wie auch dieser Zwischenbericht, sind ebenfalls auf der *Conceptual Design Homepage* (www-i3.informatik.rwth-aachen.de/ConDes) verfügbar.

- [KK04] Kraft, B. und Kirchhof, M.: *UML Based Modeling of Architectural Knowledge and Design*. In: 13th Intl. Conference on Intelligent & Adaptive Systems, and Software Engineering (IASSE'04), angenommen (2004)
- [KW04] Kraft, B. und Wilhelms, N.: *Interactive Distributed Knowledge Support for Conceptual Building Design*. In: 10th Intl. Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE-X), angenommen (2004)
- [KS04] Kraft, B. und Schmitz, T.: *Konzeptueller Gebäude-Entwurf für den Wettbewerb "1000 Baulücken in NRW"*. (2003)
- [KN04] Kraft, B. und Nagl, M.: *Parameterized Specification of Conceptual Design Tools in Civil Engineering*. In: Proc. of the Intl. Workshop on Applications of Graph Transformation with Industrial Relevance (AGTIVE'03), LNCS 3072, Seite 90-105, Springer (2004)
- [Kra04] Kraft, B.: *Conceptual Design Tools for Civil Engineering* (demo description). In: Proc. of the Intl. Workshop on Applications of Graph Transformation with Industrial Relevance (AGTIVE'03), LNCS 3072, Seite 434-439, Springer (2004)
- [KN03] Kraft, B. und Nagl, M.: *Semantic Tool Support for Conceptual Design*. In: Flood, I.: Proceedings of the 4th Intl. Symposium on Information Technology in Civil Engineering, Seite 1-12, ASCE (CD-ROM), Nashville (2003)
- [Kra03] Kraft, B.: *Conceptual Design mit ArchiCAD 8*. In: GRAPHISOFT.NEWS (03), GRAPHISOFT Deutschland (2003)
- [Kra03a] Kraft, B.: *lexiCAD Homepage*, www.lexiCAD.de (2003)
- [Kra03b] Kraft, B.: *lexiCAD Step by Step Anleitung*, www.lexiCAD.de/stepbystep.pdf
- [KN03a] Kraft, B. und Nagl, M.: *Support of Conceptual Design in Civil Engineering by Graph-based Tools* (extended abstract). In: Grabska, E. (ed.), Proc. of the 1st Workshop on Graph Transformation and Design, Seite 6-7, Jagiellonian University Cracow (2003)
- [KMN02] Kraft, B., Meyer, O. und Nagl, M.: *Graph Technology Support For Conceptual Design In Civil Engineering* (invited talk). In: Schnellenbach-Held, M. und Denk, H.: Proc. of the 9th Intl. Workshop

of the Europ. Group for Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE2002) (180), Seite 1-35, VDI-Verlag, Darmstadt (2002)

5.2 Genutzte Kenntnisse des Lehrstuhls

- [BSW02] Böhlen, B., Schleicher, A., Westfechtel, B. und Jäger, D.: *UPGRADE: Building Interactive Tools for Visual Languages*. In: 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI2002), Information Systems Development I, Seite 17-22, Florida (2002)
- [KSW95] Kiesel, N., Schürr, A. und Westfechtel, B.: *GRAS, A Graph-oriented Software Engineering Database System*. In: Information Systems, Vol. 20(1), Seite 21-51 (1995)
- [Nag96] Nagl, M.: *Building Tightly Integrated Software Development Environments: The IPSEN Approach*. LNCS 1170, Springer (1996)
- [NSM00] Nagl, M, Schürr, A. und Münch, M. (Hrsg.): *Proc. Intl. Workshop on Applications of Graph Transformation with Industrial Relevance (AGTIVE'99)*. LNCS 1779, Springer (2000)
- [NW99] Nagl, M und Westfechtel, B. (Hrsg.): *Integration von Entwicklungssystemen in Ingenieur Anwendungen – Substantielle Verbesserung der Entwicklungsprozesse*. Springer (1999)
- [NW03] Nagl, M und Westfechtel, B. (Hrsg.): *Modelle, Werkzeuge und Infrastrukturen zur Unterstützung von Entwicklungsprozessen*. Springer (2003)
- [Pro99] PROGRES Group: *The PROGRES Language Manual 9.x*. Lehrstuhl für Informatik III, RWTH Aachen (1999)
- [Sch91] Schürr, A.: *Operationales Spezifizieren mit programmierten Graphersetzungssystemen*. Diss., RWTH Aachen, Dt. Universitätsverlag (1991)
- [Win00] Winter, A.: *Visuelles Programmieren mit Graphersetzungssystemen*. Diss., RWTH Aachen, Wissenschaftsverlag Mainz (2000)
- [WKR02] Winter, A., Kullbach, B. und Riediger, V.: *An Overview of the GXL Graph Exchange Language*. In: Diehl, S.: *Software Visualization, State-of-the-Art Survey*, LNCS 2269, Seite 324-336, Springer (2002)

6 Literatur

6.1 Allgemeine Literatur

- [Alex95] Alexander, C.: *Eine Mustersprache*. Löcker (1995)
- [CW02] Clark, T., und Warmer, J.: *Object Modeling with the OCL - The Rationale behind the Object Constraint Language*. Springer (2002)
- [CRB90] Coyne, R. D., Rosenman, M. A., Radford, A. D. et. al.: *Knowledge-Based Design Systems*. Addison-Wesley (1990)

- [EV98] Emdanat, S. und Vakalo, E.: *An Ontology for Conceptual Design in Architecture*. In: Sasada, T., Yamaguchi, S. und Morozumi, M.: Proc. of the 3rd Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Seite 425-434, Osaka (1998)
- [Fle94] Flemming, U.: *Case-Based Design in the SEED System*. In: Knowledge Based Computer Aided Architectural Design, Seite 69-91, Elsevier, New York (1994)
- [FS99] Fowler, M., und Scott K.: *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language*. Addison-Wesley (1999)
- [GFC04] Gomez-Perez, A., Fernandez-Lopez, M. und Corcho, O.: *Ontological Engineering*. Springer (2004)
- [GGN90] Göttler, H., Günther, J. und Nieskens, G.: *Use Graph Grammars to Design CAD-Systems*. In: Rozenberg, G. et al.: Graph Grammars and Their Application to Computer Science, LNCS 532, Seite 396-409, Springer (1990)
- [GHJ97] Gamma, E., Helm, R., und Johnson, R. E.: *Design Patterns*. Addison-Wesley (1997)
- [Gip99] Gips, J.: *Computer Implementation of Shape Grammars*. In: Workshop on Shape Computation, MIT, Massachusetts (1999)
- [GS72] Gips, J. und Stiny, G.: *Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture*. In: Freiman, C. V.: Proceedings of IFIP Congress 71, Seite 1460-1465 (1972)
- [Har00] Hartmann, D.: *Objektorientierte Modellierung in Planung und Konstruktion*. Wiley-VCH, Weinheim (2000)
- [Hec98] Heck, P.: *Ein objektorientiertes CAD-Modell für die raum- und bauteilorientierte Bearbeitung von Gebäuden in der Vorplanung*. Diss., Kaiserslautern (1998)
- [Mar03] Martin, P.: *Plans to extend UML for knowledge representation*, <http://meganesia.Intl.gu.edu.au/~phmartin/WebKB/doc/model/comparisons.htm> (2003)
- [Mav00] Maver, T.: *A number is worth a thousand pictures*. In: Automation in Construction, Vol. 9, Seite 333-336 (2000)
- [Neu00] Neufert, E.: *Bauentwurfslehre*. Vieweg, Wiesbaden (2000)
- [Pow03] Powers, S.: *Practical RDF*. O'Reilly (2003)
- [PR00] Puder, A., und Römer, K.: *MICO: An Open Source CORBA Implementation*. Morgan Kaufmann (2000)
- [Sch93] Schmitt, G.: *Architectura et Machina - Architectural Design und virtuelle Architektur*. Vieweg (1993)
- [Sch99] Schmitt, G.: *Information Architecture*. Birkhäuser (1999)

- [Sow84] Sowa, J.: *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. Addison-Wesley (1984)
- [Ste97] Steinmann, F.: *Modellbildung und computergestütztes Modellieren in frühen Phasen des architektonischen Entwurfs*. Diss., Weimar (1997)
- [Stu00] Stumme, G., und Wille, R.: *Begriffliche Wissensverarbeitung*. Springer (2000)
- [SVR02] Silva, F., Vasconcelos, V. und Robertson, D.: *On the insufficiency of ontologies: problems in knowledge sharing and alternative solutions*, In Knowledge Based Systems Vol. 15, Seite 147-167 (2002).
- [VGS00] Varejao, F., Garcia, A. und Souza, C.: *Towards an ontological framework for knowledge based design systems*. In: Gero, J.: *Artificial Intelligence in Design*, Seite 55-75, Kluwer (2000)
- [VSL02] Vargas-Herandez, N., Shah, J. und Lacroix, Z.: *Knowledge Representation for Conceptual Engineering Design*. In: Proc. of the 3rd Intl. Conf. on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, Madrid (2002)
- [XSL04] w3.org: *XSL Transformations (XSLT)*, www.w3.org/TR/xslt (2004)
- [WK98] Warmer, J., und Kleppe, A.: *The Object Constraint Language: Precise Modeling with UML*. Addison-Wesley (1998)
- [WS97] Wall, R. und Seidle, R.: *CastleMaker*. In: FAXMAX, Excursions on Density, Seite 231-247 (1997)

6.2 Literatur aus dem deutsch-polnischen Forschungsprojekt und dem SPP 1103

- [BG98] Borkowski, A. und Grabska, E.: *Converting Function into Object*. In: Smith, I.: *Artificial Intelligence in Structural Engineering*, LNAI 1454, Seite 434-439, Springer (1998)
- [BSS02] Borkowski, A., Schürr, A. und Szuba, J.: *GraCAD - Graph-Based Tool for Conceptual Design*. In: Proc. of the 1st Intl. Conference on Graph Transformation (ICGT2002), LNCS 2505, Seite 363-377, Springer (2002)
- [GW02] Grabska, E. und Palacz, W.: *Floor Layout Design with the use of Graph Rewriting System PROGRES*. In: Schnellenbach-Held, M. und Denk, H.: *9th Intl. Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering*, Seite 149-157, VDI-Verlag (2002)
- [HPS04] Hartmann, M., Pullmann, T. und Schnellenbach-Held, M.: *Knowledge Based Systems in Distributed Design Environments*. In: 10th Intl. Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE-X), angenommen (2004)
- [HS03] Hartmann, M. und Schnellenbach-Held, M.: *Computer Supported Cooperative Design Processes in Distributed Environments Supported*

- by Knowledge Based Systems*. 10. Workshop of the Europ. Group for Intelligent Computing in Engineering, Delft (2003)
- [Kön03] König, M.: *Relationale Prozessmodellierung in kooperativer Gebäudeplanung*. Diss., Univ. Hannover (2003)
- [NRRT04] Niggel, A., Rank, E., Romberg, R. und Treeck, C.: *Structural Analysis based on the Product Model Standard IFC*. In: 10th Intl. Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE-X), angenommen (2004)
- [SS04] Szuba, J. und Schürr, A.: *On Graphs in Conceptual Engineering Design*. In: Proc. of the Intl. Workshop on Application of Graph Transformation with Industrial Relevance (AGTIVE'03), LNCS 3062, Seite 71-85, Springer (2004)