

# **Datenmanagement in der Architektur**

Untersuchung zur Organisation von Entwurfsinformationen in IT-Infrastrukturen und Nutzungsmöglichkeiten in wissensbasierten Systemen.

Christoph Langenhan

Technische Universität München  
Fakultät für Architektur  
Lehrstuhl für Architekturinformatik

Datenmanagement in der Architektur

Untersuchung zur Organisation von Entwurfsinformationen in IT-Infrastrukturen und Nutzungsmöglichkeiten in wissensbasierten Systemen.

Christoph Langenhan

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Frank Petzold

2. Prof. Dr. Prof. h.c. Andreas Dengel

3. Prof. Dr. rer. nat. Klaus-Dieter Althoff

Die Dissertation wurde am 27.10.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Architektur am 20.01.2017 angenommen.

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Assistent am Lehrstuhl für Architekturinformatik an der Technischen Universität München bei Professor Petzold. Besonders für die Unterstützung und fachliche Betreuung möchte ich mich herzlich bedanken.

Sehr dankbar bin ich Professor Dengel und Professor Althoff vom Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH) vor allem für die inhaltliche Unterstützung im Bereich der künstlichen Intelligenz.

Für Diskussionen und Anregungen zu informationstechnischen Fragestellungen bin ich vor allem Markus Weber und Christoph Ziegler sehr dankbar. Für die sprachlichen Korrekturen gilt mein besonderer Dank Claudia Malissek-Kirsten, Doris Marwede und Margrit Schmidt.

Außerdem möchte ich mich bei Studierenden und Mitarbeitern an der Technischen Universität München, der Ludwig-Maximilians-Universität, der Universität Hildesheim, der Universität Kaiserslautern und der Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen bedanken, die an Projekten der Forschungsgruppe für „wissensbasiertes Entwerfen“ beteiligt waren.

Meiner Familie danke ich von Herzen für die mentale Unterstützung.

## **Inhalt**

<b>1. Einleitung</b>	
1.1. Architektur im 21. Jahrhundert	6
1.2. Untersuchung zeichnerischer Recherchestrategien	8
1.3. Hemmnisse der frühen Entwurfsphasen	9
1.4. Aufbau der Arbeit	10
<b>2. Wissensbasierte Denkwerkzeuge für die Architektur</b>	
2.1. Domänenspezifische Abstraktionen	11
2.2. Methodik zur Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge	12
2.3. Wissensbasierte Denkwerkzeuge für das Entwerfen	14
<b>3. Entwerfen von Gebäuden</b>	
3.1. Einführung	17
3.2. Entwurfsprozess	18
3.3. Entwerfen von Architektur in den frühen Phasen	20
3.4. Entwurfswerkzeuge	22
3.5. Schlussfolgerung	24
<b>4. Computerunterstütztes Entwerfen in der Architektur</b>	
4.1. Einführung	25
4.2. Semantische Gebäudedatenmodellierung	25
4.3. Speicherung	27
4.4. Recherche	28
4.5. Schlussfolgerung	29
<b>5. Wissensmanagement in der Architektur</b>	
5.1. Einführung	31
5.2. Wiederverwendung von Wissen	32
5.3. Abfrage von Wissen	35
5.4. Formalisieren von Wissen mit Regeln	38
5.5. Schlussfolgerung	40

<b>6. Formale Beschreibung von Bauwerksinformation</b>	
6.1. Einführung	42
6.2. Beschreibungssprachen für semantische Gebäudeinformationen	44
6.3. Datenanalyse und semantische topologische Anreicherung	45
6.4. Graphen zur Formalisierung	47
6.5. Ähnlichkeiten für das Wissensmanagement	49
6.6. Schlussfolgerung	51
<b>7. Semantische Fingerabdrücke für komplexe Abfragen</b>	
7.1. Modell zum Formalisieren von Architektur	54
7.2. Anforderungen an die formale Beschreibung von Architektur	55
7.3. Ansätze zur Entwurfsunterstützung	58
7.4. Arbeitsmetapher und Szenarien	60
7.5. Semantische Fingerabdrücke	63
<b>8. Konzeption eines zeichnerischen Informationssystems</b>	
8.1. Formalisierung semantischer Fingerabdrücke	69
8.2. Systemkonzept des föderierten Informationssystems	72
8.3. Aufbereiten von Gebäudeinformationen	74
8.4. Bedienkonzepte für die Wissensunterstützung im Entwurfsprozess	76
8.5. Abgleich von Fingerabdrücken und Ähnlichkeitsmaß	82
<b>9. Resümee</b>	<b>86</b>
<b>10. Glossar</b>	<b>90</b>
<b>11. Literaturverzeichnis</b>	<b>93</b>
<b>12. Abbildungsverzeichnis</b>	<b>107</b>
<b>13. Anhang</b>	
13.1. Einführung	110
13.2. Domänenanwender	113
13.3. Domänenexperten	118
13.4. IT-Experten	121
13.5. Studierendenprojekte zu semantischen Fingerabdrücken	123
13.6. Fragebögen der heuristischen Evaluierung	127

# 1. Einleitung

## 1.1. Architektur im 21. Jahrhundert

Die Entwicklung der Architektur ist von kontinuierlicher Veränderung durch gesellschaftliche und technologische Rahmenbedingungen geprägt. Aktuelle sowie zukünftige Bauaufgaben finden vor dem Hintergrund des Wandels gesellschaftlicher, technologischer sowie ökologischer Rahmenbedingungen statt und werden durch die zunehmende Medialisierung von Informationen verändert. Technologische Entwicklungen stoßen gesellschaftliche Veränderungen an und verändern Arbeitsprozesse. Beispielsweise wurde der kreative Prozess des architektonischen Entwurfes durch Darstellungsmethoden wie zum Beispiel in der Renaissance der Zentralperspektive [1] S. 1 oder digitale Methoden [2] wie CAD (Computer-aided Design) im 20. Jahrhundert sowie BIM (Building Information Modeling) [3] im 21. Jahrhundert beeinflusst. Zum besseren Verständnis der vorliegenden Arbeit wird im Folgenden der historische und technologische Rahmen, thematisch auf den Untersuchungsgegenstand fokussiert, umrissen.

Die Industrialisierung des 19. Jahrhunderts und der Verbundbaustoff Stahlbeton haben Anfang des 20. Jahrhunderts die Formensprache der Architektur verändert. Es wurden freiere Raumanordnungen möglich und die klassische Moderne in der Architektur mit Vertretern wie Le Corbusier oder dem Bauhaus entwickelte sich. Peter Eisenman postuliert in seinem Vortrag 'Lateness and Its Current Problems' am 23. September 2008 im MUMOK in Wien, dass die Ansätze der klassischen Moderne sowohl im sogenannten Dekonstruktivismus als auch im Funktionalismus der Postmoderne bis heute Gültigkeit haben. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts hat keine Idee oder Technologie die Architektur mehr nachhaltig verändert.

In 'Aura und Exzess' [4] fragt Peter Eisenman, wie Architektur nach dem Raumverständnis der Moderne definiert ist: „Und selbst wenn man ihre Nutzung als Geschoßebenen und ihre notwendige Umschließung hinzunimmt - sind sie da etwas anderes als eine Reihe geometrischer Beziehungen plus jener Gebrauchsfunktion, die zusammengekommen in gewisser Weise jenem nahekommen, was wir bisher unter Architektur verstanden haben? Wenn nun unsere Antwort positiv ausfällt, nämlich daß sie Architektur konstituieren, trifft dies dann auch auf alle anderen Variationsmöglichkeiten zu, wenn sie mit einer Nutzung verbunden sind?“ [4] S. 54–55. Die Ansätze der klassischen Moderne in der Architektur sind der Ausgangspunkt der Entwurfsmethodikbewegung [5].

Die Theorie der ersten Generation der Entwurfsmethodikbewegung basiert auf der Annahme, dass Entwurfsprobleme wohldefiniert sind und somit erschöpfend beschreibbar sind. Die Wurzeln der Entwurfsmethodikbewegung finden sich in den 1920er Jahren maßgeblich vertreten durch die Gruppe De Stijl, das Bauhaus oder Le Corbusier. Die Ideen der klassischen Moderne in der Architektur und neuartige wissenschaftliche und rechnergestützte Methoden führten in den 1950er und 1960er Jahren zur ersten Generation der Entwurfsmethodikbewegung. Durch die Übertragung von systemtheoretischen Ansätzen auf das Entwerfen wurde eine Systematisierung des Planungs- und Entwurfsprozesses [5] S. 71 zum Beispiel von Christopher Alexander oder Niklas Luhmann angestrebt.

Aufbauend auf den systemtheoretischen Ansätzen wurden erste computerbasierte Ansätze erarbeitet, die sich auf Entwurfsregeln [6] S. 6 konzentrierten, jedoch die Komplexität architektonischer Entwürfe nicht erschöpfend abbilden konnten. Deren

Eingangsparameter sind Entwurfsanforderungen, wie das Raumprogramm oder die Benachbarung von Räumen. Das Ergebnis sind geometrische Formen, die diese Anforderungen erfüllen. Purcell konstatiert: „This was consistent with the dogma of early modernism that architectural design was a matter of satisfying an established set of requirements as closely and efficiently as possible, and it was also consistent with early, procedurally-oriented approaches to programming in languages like Fortran.“ [6] S. 6.

Daher fasste die zweite Generation der Entwurfsmethodikbewegung in den 1970er-Jahren, vertreten von unter anderem Horst Rittel, das Entwerfen nicht prozedural als Erfüllung von Anforderungen, sondern als nur unvollständig beschreibbaren individuellen Prozess auf [5] S. 71. Der vorwiegend theoretische Diskurs führte zu der Erkenntnis, dass menschlichen Denkprozessen beim Entwerfen größere Bedeutung beigemessen werden muss. Es werden daher Ideen aus der Kognitionswissenschaft aufgenommen und den aufkommenden Ansätzen der Künstlichen Intelligenz (KI) wird größere Beachtung geschenkt.

In den 1980er-Jahren haben hauptsächlich die Ansätze des fallbasierten Schließens (FBS) der Künstlichen Intelligenz (KI) das Entwerfen beeinflusst, was in den 1990er-Jahre zur KI-Forschung in der Architektur, dem fallbasierten Entwurf, führte. Die Vision war ein Computersystem, das anlehnd an menschliche Denkprozesse Erfahrung in sogenannten Fällen aufbaut, selbstständig schlussfolgert und so Entwürfe produziert. Seit den 2000er-Jahren fokussiert sich die Forschung auf unterstützende Ansätze im FBS, da u.a. die Formalisierung der Fälle ungelöst ist.

Die Formalisierung von geometrischen Abhängigkeiten wird aktuell meist als 'parametrisches' Modellieren oder Entwerfen [7] S. 22 bezeichnet. Die Begriffe werden jedoch meist inflationär als Schlagwort (engl.: Bussword) verwendet [8] und treffen keine Aussage über Ansätze, Verfahren oder Technologien. Beispielsweise gibt es regelbasierte Ansätze für spezielle Anwendungsfälle wie evolutionäre Algorithmen oder Graphen [9] S. 219 & [10], Partikelsimulationen und Federsystemen [11] sowie für Analysen die 'Space Syntax' [12] & [13] oder 'Shape Grammars' [14] und Ontologien [15] zur Formalisierung von Wissen.

Für das Formalisieren von Gebäudeinformationen sind in den 1990er Jahren objektorientierte Ansätze auf das Bauwesen übertragen und als Produktdatenmodellierung [16] & [3] bezeichnet worden. Aktuell wird der Begriff 'Building Information Modeling' (BIM) verwendet und es werden softwareplattformabhängige und -unabhängige Datenmodelle, bspw. die sogenannten digitalen semantischen Bauwerkmodelle wie die Industry Foundation Classes (IFC) [17], definiert.

Semantik ist heute ein weit gefasster, teilweise auch inflationär gebrauchter Begriff, wie bspw. für das semantische Web. „Die Bedeutung oder Interpretation von syntaktischen Entitäten nennt man Semantik [...]“ [18] S. 4 in der Informatik. Semantik findet ursprünglich in der Sprachwissenschaft Anwendung, die sich mit der Bedeutung sprachlicher Zeichen befasst und ist ebenso wie die Pragmatik, Syntaktik und Sigmantik Teilgebiet der Semiotik [19] S. 47–72. Beispielsweise überträgt Umberto Eco [20] die Ansätze der Semiotik der Sprache auf die Architektur und Max Bense stellt in 'Aesthetica' [21] einen Zusammenhang zwischen Semiotik und Ästhetik her. Schon vor 2000 Jahren bezeichnete Vitruv die Entstehung der Sprache als Voraussetzung für die Baukunst [22] S. 124. Heute werden Gebäudeinformationen bspw. in digitalen semantischen Gebäudemodellen technologisch formalisiert.

Trotz zahlreicher technologischer Entwicklungen wird der Entwurfsprozess (siehe Kapitel 3.2) von Architektur in der (Vor-)Entwurfs- bzw. Konzeptphase (siehe Kapitel 3.3) heute nur unzureichend durch Computer unterstützt. Es wird vorwiegend auf digitale Darstellungsmethoden fokussiert, die meist als Übertragung klassischer analoger Entwurfswerkzeuge (siehe Kapitel 3.4) und Arbeitsprozesse (siehe Kapitel 3.2) auf dem Computer umgesetzt werden. Traditionelle grafische und bildhafte Arbeitsweisen, wie Freihandzeichnungen oder Gebäudepläne als Referenz (siehe Kapitel 3.3), werden nur unzureichend unterstützt und weiterhin vorwiegend traditionell verwendet. Freihandzeichnungen werden mit Papier und Skizzenrolle angefertigt und Referenzen werden in Fachzeitschriften, Monografien, Datenbanken und auf Internetportalen recherchiert. Digitale Recherchestrategien (wie bspw. im Online-Katalog von Bibliotheken oder bei Google) sind überwiegend textbasiert und orientieren sich an traditionellen Inhalts- sowie Schlagwortverzeichnissen.

## **1.2. Untersuchung zeichnerischer Recherchestrategien**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung von Recherchestrategien für Referenzen zur Unterstützung des Entwerfens von Gebäuden in den frühen Entwurfsphasen. Aus Referenzen als grafische Darstellungen von Gebäuden können vom Entwerfenden Entwurfsansätze oder Vorgehensweisen zum Anwenden bewährter Lösungen sowie zum Vermeiden von Fehlern durch Überprüfung des eigenen Entwurfes abgeleitet werden. Wie auch in anderen Fachgebieten ist ein Lernziel der Architektenausbildung die Kenntnis von Referenzen, um bspw. Raumanordnungen mit direktem Zugang von der Küche zum WC zu vermeiden. Darüber hinaus werden Referenzen zum Beispiel für die Kommunikation von Entwurfsideen zwischen Studierenden und Dozenten oder Bauherren und Architekten verwendet.

Digitale Planungsinformationen sind in ständig wachsendem Umfang vorhanden, jedoch nur zu einem geringen Teil zugänglich, da geeignete Organisations- und Recherchestrategien für existierende und zukünftige Datenbestände fehlen. Ziel ist ein besserer Zugang zu Informationen in den frühen Phasen des architektonischen Entwurfes, um belastbare Entscheidungen zu treffen, da diese Entscheidungen möglicherweise überdurchschnittlichen Einfluss [23] & [24] S. 5 auf die dem Entwurf nachgelagerter Phasen wie Genehmigung, Ausführung oder den Betrieb des Gebäudes haben. Der Zugang zu Informationen über gebaute und entworfene Architektur unterstützt den Arbeitsprozess und kann so die Wirtschaftlichkeit sowie die bauliche Qualität steigern. Gut funktionierende Gebäude leisten unter anderem durch eine längere Nutzungsdauer einen Beitrag zum nachhaltigeren Umgang mit den verfügbaren Ressourcen.

Der Nutzen von Referenzen hängt maßgeblich von der Geschwindigkeit und der Präzision der Suche nach passenden Gebäudelösungen für spezielle Aufgaben- oder Problemstellungen ab, denn die Referenzen unterstützen Denkprozesse, wenn hilfreiche Informationen enthalten sind. Die Kognitionswissenschaft konnte jedoch bis heute nicht vollständig erklären wie Denkprozesse genau ablaufen. Daher fokussiert die vorliegende Untersuchung auf die Unterstützung von Denkprozessen und nicht deren Nachbildung. Die Aufgaben- oder Problemstellungen werden vom Entwerfenden mental mit Unterstützung von Denkwerkzeugen wie Zeichnungen oder Referenzen bearbeitet. Der Entwerfende nutzt ähnliche Darstellungen zum eigenen mentalen Modell [18] S. 233 als Unterstützung.



Untersucht werden daher Recherchestrategien, mit denen der Entwerfende effizient Suchanfragen formulieren kann, um Referenzen zu seinen Gedanken zu erhalten. Bei der textbasierten Suche werden die Gedanken in Schlagworte übersetzt und mit den hinterlegten Schlagworten der Referenz auf Übereinstimmungen geprüft und erhöhten so die kognitive Last des Suchenden. Diese Übersetzungsprozesse von räumlichen Anordnungen zu verbale Beschreibungen finden zum einen beim Suchenden und zum anderen für die Verschlagwortung der Referenzen statt.

„Die Übersetzung einer Entwurfsvorstellung aus dem Bereich des Visuellen in die Sphäre des Verbalen erfordert einen radikalen Perspektivenwechsel. Anstelle der formalen tritt nun die sprachliche Logik. Sie verlangt eine Entwurfsidee zu interpretieren und zu abstrahieren und sie mit allgemein verständlichen Begriffen zu beschreiben.“ [22] S. 130–131. Da visuelle Darstellungen für nur ca. 100ms wahrgenommen werden [25] S. 111 bleiben nur Teile bzw. Abstraktionen im Gedächtnis gespeichert.

Zeichnungen hingegen sind eine etablierte Methode, um Entwurfsgedanken zu räumlichen Anordnungen zu externalisieren, darzustellen und zu kommunizieren. Untersucht werden daher Recherchestrategien mit grundrissähnlichen abstrahierten Darstellungen wie Schemata zur Formulierung der Suchanfragen. Referenzen werden analysiert, charakteristische zeichnerische und räumliche Merkmale abgeleitet. Dazu werden computerbasierte Verfahren zur Analyse, Datenmodellierung, Abfrage, Ähnlichkeitsermittlung und Darstellung von Referenzen untersucht.

### **1.3. Hemmnisse der frühen Entwurfsphasen**

In den frühen Entwurfsphasen sind meist vage, unscharfe und unvollständige Informationen [26] S. 73 in Form von Fragmenten aus Anforderungen der Bauherren (Idee oder Raumprogramm), Baugesetzen, Verordnungen oder städtebaulichen und historischen Rahmenbedingungen vorhanden. Die sich meist widersprechenden Anforderungen werden mit der Erfahrung des Entwerfenden und der Recherche notwendiger Informationen gegeneinander abgewogen, Entwurfsentscheidungen werden getroffen und ein schlüssiger Entwurf wird textlich und zeichnerisch beschrieben. Die Informationen aus dem Erfahrungsschatz des Entwerfenden beeinflussen den Entwurf und die Recherchestrategien, da die entsprechenden Fachbegriffe für die schlagwortbasierte Suche bekannt sein müssen. Daher ist fundiertes Wissen der Domäne notwendig, jedoch kann auch das Verständnis der Fachbegriffe in der Domäne variieren.

Aktuelle elektronische Suchmethoden für Referenzen nutzen überwiegend schlagwortbezogene, anstatt graphische Suchstrategien, mit denen Raumanordnungen meist nur unvollständig beschrieben werden und die Suche verlangsamt wird [27] S. 507. Raumanordnungen werden nach bestimmten Typen (z.B. Erschließungstyp) kategorisiert und textlich beschriebene Typologien gebildet, die jedoch keine erschöpfende Beschreibung ermöglichen.

Elektronischen Recherchestrategien für die Architektur fehlen neben einer systematischen Beschreibung auch effiziente graphische Suchstrategien. Hovestadt schreibt: „Die Sammlungen werden entsprechend bestimmter Formalismen oder Formulare organisiert, und Beispiele können auch nur gefunden werden, wenn die Suche in den Formularen beschrieben werden kann.“ [11] S. 226. Neben subjektiven Kriterien in der Beschreibungslogik des Systems, erfolgt die Verschlagwortung der Inhalte durch den Nutzer ebenfalls nach subjektiven, für den Suchenden schwer nachvollziehbaren Kriterien.

Aktuelles text-basiertes Informationsmanagement erhöht die kognitive Last [28] des Suchenden, da die inhaltlich semantische Bewertung der Inhalte vom Suchenden vorgenommen wird. Dies führt zu ineffektiven Suchstrategien, da der Suchende mit 'Versuch und Irrtum'-Strategien die richtigen Schlagworte finden muss. Außerdem führt die aktuelle Verknüpfung der Geometrie von Räumen oder Raumanordnungen mit uneinheitlichem Begriffsverständnis zu fehlerhaften semantischen Beschreibungen und erschwert die Formalisierung in Datenstrukturen.

## 1.4. Aufbau der Arbeit

Zur Ableitung von computergestützten Vorgehensweisen und Ansätzen wird Wissen im Entwurfsprozess, Planungsinformationen und Datenstrukturen analysiert und es werden Methoden erarbeitet, um vorhandene und zukünftige Datenbestände als Wissensquellen zu erschließen. Betrachtet werden digitale semantische Modelle, Semantik-Web-Technologien und Graphen für die Formalisierung und Analyse von Informationen. Außerdem werden Ansätze der künstlichen Intelligenz, wissensbasierte Systeme und Konzepte für Benutzerschnittstellen für die Unterstützung des zeichnerisch geprägten und vorwiegend iterativ [12] S. 43 & [29] S. 138 ablaufenden Entwurfsprozesses untersucht. In Abbildung 1 ist die Struktur der Dissertation dargestellt, die sich an der Methodik zur Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge in Kapitel 2.2 orientiert.

Vorbetrachtung	Analyse		Konzept
	Architektur	Künstliche Intelligenz	
Kapitel 1 Kapitel 2	Kapitel 3 Kapitel 4	Kapitel 5 Kapitel 6	Kapitel 7 Kapitel 8
<b>Zusammenfassung</b>			
Kapitel 9			

Abbildung 1 - Struktur der Dissertation.

In diesem Kapitel wurde der Rahmen der interdisziplinären Betrachtungen in den Bereichen Architektur und Informatik beschrieben. Im folgenden Kapitel 2 werden Ansätze für wissensbasierte Denkwerkzeuge in der Architektur dargestellt. Zur inhaltlichen Annäherung an den aktuellen Stand in der Praxis wird in den Ausführungen zum Entwerfen in Kapitel 3 stärker auf den kreativen Prozess eingegangen und in den Ausführungen zur Computerunterstützung in Kapitel 4 auf digitale Werkzeuge für den Entwurfs- und Planungsprozess fokussiert. In den Kapiteln 5 und 6 werden Ansätze aus der Forschung dargestellt, wobei in Kapitel 5 auf Wissensmanagement eingegangen wird und in Kapitel 6 Ansätze zur Formalisierung von Gebäudeinformationen beschrieben werden. Im Kapitel 7 werden aus den analysierten Defiziten Anforderungen an Denkwerkzeuge abgeleitet. Die Anforderungen dienen als Basis für die in Kapitel 8 ausgeführte prototypische Umsetzung der Denkwerkzeuge als semantisches Informationssystem in der Architektur. Hierzu finden sich im Anhang (Kapitel 13) weiterführende Informationen zu eigens entwickelten Softwareprototypen. In Kapitel 9 werden die Ergebnisse der Untersuchung sowie der Evaluierung dargestellt und diskutiert.

## **2. Wissensbasierte Denkwerkzeuge für die Architektur**

### **2.1. Domänenspezifische Abstraktionen**

Aktuell ist der überwiegende Teil der Datenstrukturen auf die Formalisierung von Geometrie und Semantik ausgerichtet, ohne bspw. die topologischen Relationen [30] S. 3426 abzubilden oder die eindeutige Identifizierung von Objekten zu ermöglichen. Der häufig holistisch initiierte aber meist unvollständig umgesetzte Ansatz der Modellbildung im Bauwesen scheitert, wenn sich die Rahmenbedingungen ändern. Es sind daher flexible und konsistente Modellierkonzepte notwendig. Im Folgenden werden die Hypothesen der vorliegenden Untersuchung zur zeichnerischen Recherche in den frühen Phasen des Entwerfens beschrieben. Die Ergebnisse werden in den Kapiteln 7 und 8 dargestellt und im Folgenden für jede Hypothese die entsprechenden Unterkapitel angegeben.

1. Neue Vorgehensmodelle für das digitale Entwerfen  
(Kapitel 7.1, Seite 54)
2. Konsistente Regeln und Grammatiken für den Entwurfsprozess  
(Kapitel 7.2, Seite 55)
3. Domänenspezifische Abstraktionen für die Architektur  
(Kapitel 7.3, Seite 58)
4. Semantische Beschreibungen zur Abbildung räumlicher Konfigurationen  
(Kapitel 7.4, Seite 60)
5. Identifizierung der formalisierbaren Informationen  
(Kapitel 7.5, Seite 63)
6. Existierende Technologien nutzen und erweitern  
(Kapitel 8.1, Seite 69)
7. Informationen nach ihrer Beschaffenheit separieren  
(Kapitel 8.2, Seite 72)
8. Informationen zweckgebunden aufbereiten  
(Kapitel 8.3, Seite 74)
9. Abläufe des Informationssystems transparent darstellen  
(Kapitel 8.4, Seite 76)
10. Informationen verknüpfen und separat verarbeiten  
(Kapitel 8.5, Seite 82)

Im folgenden Kapitel 2.2 werden eine Methodik für die Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge und ein konkreter Ansatz für die frühen Entwurfsphasen von Gebäuden dargestellt. Die Ausführungen sind als Leitfaden für die Vorbetrachtung und Erarbeitung von Anforderungen und Kriterien zu verstehen. Um die Information nach diesen Kriterien zu abstrahieren und zu formalisieren, wurde in Anlehnung an die Identifizierung eines Menschen anhand seines Fingerabdruckes von Langenhan et al. [31] das Paradigma der semantischen Fingerabdrücke eingeführt. Diese im Folgenden als Fingerabdrücke bezeichneten Gruppen von Merkmalen räumlicher Konfigurationen sind domänenspezifische Abstraktionen. Diese domänenspezifischen Abstraktionen bilden den Kern der vorliegenden Arbeit und sind formalisierte Bauwerksinformationen, die sowohl vom Menschen als auch vom Computer interpretiert werden können. Eine Auswahl von semantischen Fingerabdrücken für die Architektur wird in Kapitel 7 ausführlich beschrieben. Im Folgenden wird die generalisierte Methodik zur Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge vorgestellt.

## 2.2. Methodik zur Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge

Die vorliegende interdisziplinäre Arbeit untersucht Themen im Bereich des Entwerfens von Gebäuden, der semantischen Technologien und des fallbasierten Schließens (CBR), um ein Softwaresystem zum wissensbasierten Entwerfen zu konzeptionieren, umzusetzen und zu evaluieren. Mit dem Paradigma der semantischen Fingerabdrücke wird die vorgeschlagene Methodik für die Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge illustriert. Bei dieser Methodik werden Informationen separiert und getrennt voneinander verarbeitet und wieder zusammenführt.

Um Informationen zu separieren, müssen Kriterien herausgearbeitet werden. Die Erarbeitung der Kriterien für den Anwendungsfall ist der erste Schritt zur Anwendung der Methodik. Anlehnend an die CBR-Ansätze DISER [32] und INRECA [33] für die Softwaretechnik wird im Folgenden ein Ablauf mit sechs Punkten beschrieben. Unter Punkt 'Erarbeiten der Kriterien des Anwendungsfalls' sind die wesentlichen Themen zur Separierung der Informationen aufgeführt. Zu den übrigen Punkten werden die entsprechenden Kapitel der vorliegenden Arbeit angeführt.

- Erarbeiten der Kriterien des Anwendungsfalls
  - Analyse der Zielgruppen, Anwendungsfälle, Denkprozesse, Werkzeuge, Konzeptualisierungen und des notwendigen Wissens.
  - Bestandsaufnahme der existierenden Datenbasen der Anwendungsdomäne.
  - Konzeptualisierungen, Abstraktionen und deren Kriterien
  - Attribute der Datenstrukturen
  - Handlungsabläufe, Vorgehensmodelle
  - Ansätze der Interaktion
  - Auswahl der Technologien für effiziente Datenstrukturen, der Ein- und Ausgabe sowie der semantischen Anreicherung von Datenbeständen und deren Darstellung.
- Analyse der aktuellen Praxis im Anwendungsbereich
  - Kapitel 3 - Entwerfen von Gebäuden (Seiten 17 - 24)
  - Kapitel 4 - Computerunterstütztes Entwerfen in der Architektur (Seiten 25 - 30)
- Analyse von Technologien im Anwendungsbereich
  - Kapitel 5 - Wissensmanagement in der Architektur (Seiten 31 - 42)
  - Kapitel 6 - Formale Beschreibung von Bauwerksinformation (Seiten 42 - 53)
- Definition semantischer Fingerabdrücke
  - Kapitel 7 - Semantische Fingerabdrücke für komplexe Abfragen (Seiten 54 - 69)
- Konzeptionierung des wissensbasierten Denkwerkzeuges
  - Kapitel 8 - Konzept eines rechnergestützten Informationssystems für die zeichnerische Recherche von Gebäuden. (Seiten 69 - 85)
- Bewertung der gewählten Ansätze
  - Kapitel 9 - Resümee (Seiten 82 - 89)

Die wesentlichen Komponenten wissensbasierter Denkwerkzeuge für die Architektur werden im Folgenden dargestellt und wurden in den Jahren 2010-2016 auf Basis der Diplomarbeit (2008) von Christoph Langenhan und der Masterarbeit (2009) von Markus Weber erarbeitet, evaluiert und weiterentwickelt. In dem Projekt 'ar:searchbox.services' [34] wurden 2010 – 2013 an der Technischen Universität München Dienste entwickelt um Informationen separat zu verarbeiten. Im Rahmen des DFG Forschungsprojektes 'metis' wurden von 2013-2016 sogenannte Microservices und Agenten als unabhängig voneinander funktionierende Softwarekomponenten entwickelt und das System ergänzt. Das Forschungsprojekt wurde am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz<sup>1</sup> (DFKI GmbH) und der Technischen Universität München durchgeführt.

Neben den Agenten für die Verarbeitung der Fingerabdrücke wurden Komponenten für die separate Datenhaltung und koordinierende Komponenten für das Separieren und Zusammenführen der Informationen ergänzt. Die koordinierenden Komponenten überwachen und steuern den Datenfluss zwischen den Komponenten und werden im Folgenden als Koordinatoren bezeichnet. An der Technischen Universität München wurde für den Koordinator ein regelbasierter Ansatz [35] und am DFKI ein fallbasierter Ansatz [36] verfolgt. Die Ansätze sind in Kapitel 8.5 'Abgleich von Fingerabdrücken und Ähnlichkeitsmaß' (Seiten 82 - 85) beschrieben.

In Abbildung 2 sind die wesentlichen Prozessschritte eines Informationssystems für wissensbasierte Denkwerkzeuge dargestellt. Die menschbasierten Prozessschritte werden vom Anwender mit dem Informationssystem ausgeführt und die automatischen selbstständig vom Informationssystem. Die Komponenten 1.-3. sind Teile der Recherche und die Komponenten I.-III. sind Teile der Pflege und Anreicherung der Datenbasis. Dazu sind in Abbildung 2 verschiedene Datenbasen für die Speicherung und verschiedene Agenten für die Verarbeitung dargestellt. Ob die Suchergebnisse der (An)Frage des Nutzers zur Unterstützung des Entwerfens entsprechen wird manuell vom Nutzer bewertet.

---

1 Da ein Kooperationsabkommen zwischen dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz und der Universität Hildesheim besteht, wurden Teile der Arbeiten an der Universität Hildesheim durchgeführt.

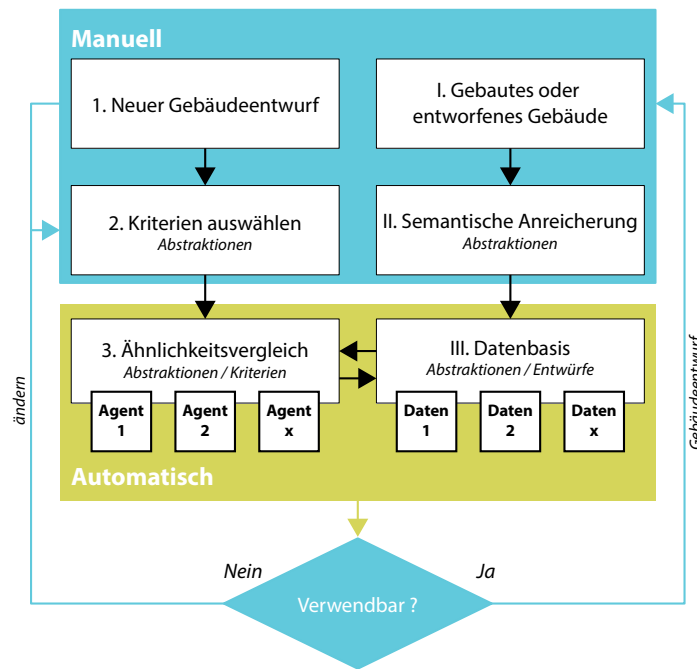


Abbildung 2 - Wesentliche Komponenten wissensbasierter Denkwerkzeuge.

In Abbildung 2 werden verschiedene Teilaspekte zusammengefasst, die in Abbildung 3 (Seite 15) für die frühen Entwurfsphasen, in Abbildung 5 (Seite 17) als Systemkonzept, in Abbildung 13 (Seite 32) als Prozess und in Abbildung 39 (Seite 73) mit Bezug zu semantischen Technologien dargestellt werden. Der wesentliche Unterschied in Abbildung 2 ist die Darstellung von Prozessschritten, um, basierend auf dem Paradigma der semantischen Fingerabdrücke, Informationen getrennt voneinander zu verarbeiten.

Die Beschreibungen dieses Unterkapitels sind Leitlinien, um weitere semantische Fingerabdrücke auch über die Domäne Architektur hinaus zu entwickeln. Für den vorliegenden Anwendungsfall der Unterstützung der frühen Entwurfsphasen von Wohngebäuden wurden räumliche Anordnungen als eine wesentliche Information identifiziert. Darüber hinaus sind die frühen Phasen von eher vagen und unvollständigen Angaben geprägt (siehe Kapitel 1.3). Daher werden meist schnell anzufertigende skizzenhafte Zeichnungen (siehe Kapitel 1.2) für die ersten Schritte verwendet.

### 2.3. Wissensbasierte Denkwerkzeuge für das Entwerfen

Ein Denkwerkzeug unterstützt Denkprozesse von Menschen, um mit geeigneten Mitteln bspw. Sachverhalte darzustellen und zu prüfen, um so Handlungsmöglichkeiten zu entwickeln. Im Entwurfsprozess von Gebäuden (Kapitel 3, Seite 17-24) steht die räumliche Situation im Mittelpunkt der Betrachtung und die häufig verwendeten Werkzeuge sind von bildhaften oder zeichnerischen Darstellungen geprägt. Die im Folgenden beschriebenen wissensbasierten Denkwerkzeuge kombinieren Zeichnungen und Referenzen in einer digitalen Umgebung um räumliche Anordnungen zu entwerfen.

Zur Formalisierung und Suche der Anordnung von Räumen wird ein graphenbasierter Ansatz vorgeschlagen, bei dem die Knoten die Räume (z.B. Schlafzimmer, Küche oder Bad) und die Kanten deren Relation (z.B. Wand, Tür oder Durchgang) repräsentieren. Nach der Definition von Dengel handelt es sich um eine semantische Suche, da mindestens „in einer [...] Phase der Suche formale Semantiken verwendet werden“

[18] S. 232. Die semantischen Raumgraphen werden in der vorliegenden Betrachtung in Anlehnung an die Identifizierung eines Menschen anhand seines Fingerabdruck als semantische Fingerabdrücke [31] bezeichnet. Prinzipiell sind zwei Gruppen von Fingerabdrücken zu unterscheiden. Zum einen die Gebäudefingerabdrücke, die einem konkreten Gebäudeentwurf (Abbildung 3 rechts) zugeordnet werden, und zum anderen die Anfragefingerabdrücke, die aus der Zeichnung der Entwurfsidee (Abbildung 3 links) des Architekten abgeleitet werden.

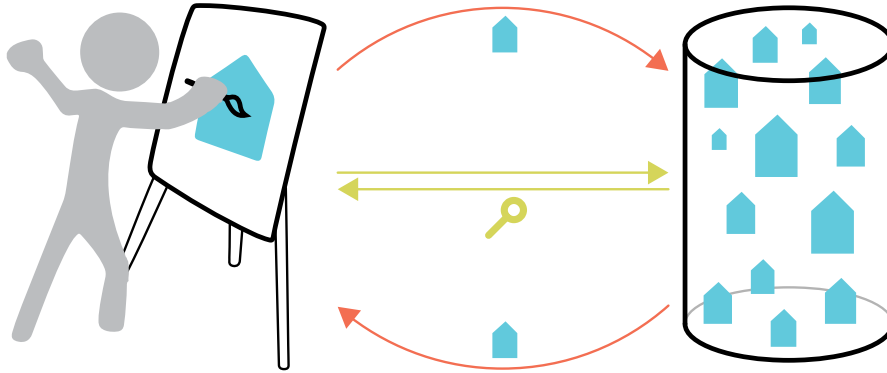


Abbildung 3 - Schema der Funktionsweise des Informationssystems.

Mit Hilfe der Fingerabdrücke wird Information gespeichert und wieder abgerufen (rote Linien in Abbildung 3). Dazu werden ähnliche Objekte in der Datenbasis gesucht und dargestellt (grüne Linien in Abbildung 3). Die Information kann bspw. als Entwurfsidee in einer Entwurfsumgebung angewendet und so als Wissensbasis genutzt werden. Wie beim Formalisieren des menschlichen Fingerabdruckes werden

- verschiedene Merkmale gesucht
- topologische Relationen verglichen
- meist nur Teile der Fingerabdrücke betrachtet und
- Ähnlichkeiten ermittelt, da selten alle Merkmale identisch sind.

Merkmale der Anfrage- bzw. Gebäudefingerabdrücke sind bspw. Durchwegung, Benachbarung oder Raumtypen (siehe Abbildung 4).

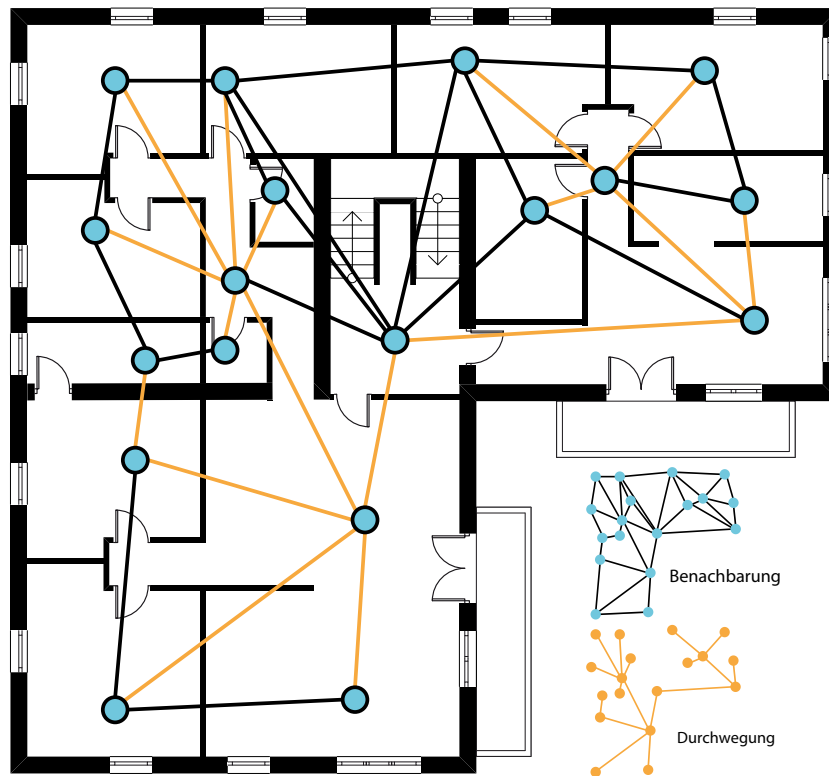


Abbildung 4 - Semantische Fingerabdrücke von der Topologie bspw. der Benachbarung und Durchwegung.

Die topologischen Gebäudefingerabdrücke werden als Graphen formalisiert [37], um für Anfragen, Ableitungen oder Darstellungen sowie für Analysen, Vergleiche oder zur Ermittlung von Ähnlichkeiten zur Verfügung zu stehen. Um den Ansatz der semantischen Fingerabdrücke zu evaluieren, wurde als Technologie eine cloud-basierte Softwarearchitektur (Abbildung 5) umgesetzt, da so die Denkwerkzeuge in Standardsoftwarelösungen (bspw. Rhino3D) für das Entwerfen eingebettet werden können. Die Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge ist jedoch nicht an eine bestimmte Technologie gebunden und muss je nach Anwendungsfall ausgewählt (Kapitel 2.1) und umgesetzt (Kapitel 8) werden.

Die sogenannte 'InfoCloud' (Abbildung 5, links) kann sich auf verschiedenen Servern befinden und darauf kann mit verschiedenen Endgeräten (Abbildung 5, rechts) zugegriffen werden. Die Server-Komponenten werden unterschieden in Datenhaltung, Verarbeitung und Koordination (siehe Kapitel 8.2). Die Clientanwendungen auf den Endgeräten kommunizieren mit den koordinierenden Komponenten (Abbildung 5, 'K'). Die Koordinatoren erzeugen die Fingerabdrücke und fragen verschiedene Systeme und Komponenten (Abbildung 5, links) auf der verarbeitenden Ebene an.



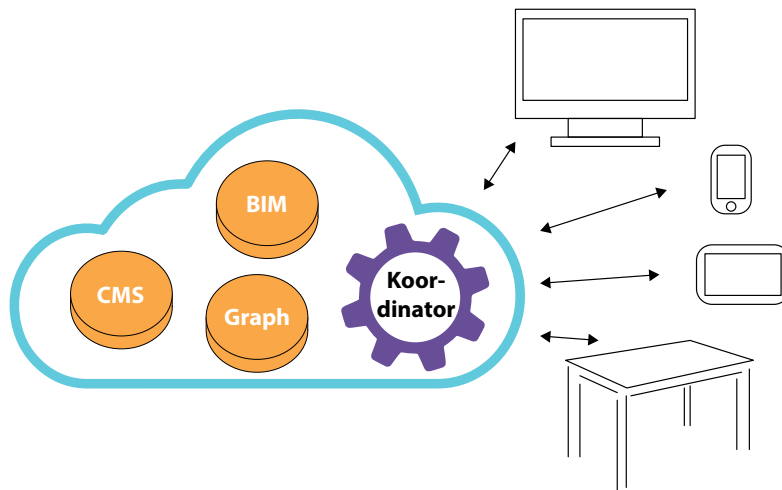


Abbildung 5 - Einfaches Systemkonzept ‚InfoCloud‘.

Mit den Clientanwendungen können aus Zeichnungen einer Entwurfsidee oder räumlichen Anordnung (Abbildung 3) Anfragefingerabdrücke als Graph formalisiert, an die InfoCloud geschickt, dort ausgewertet und zum Darstellen der Ergebnisse an die Clientanwendung zurückgegeben werden. Ziel ist die domänenspezifische nahtlose Integration der Clientanwendungen in den Entwurfsprozess von Gebäuden als wissensbasiertes Denkwerkzeug zur (Entscheidungs-)Unterstützung des Planers im Entwurfsprozess.

Im folgenden Kapitel werden einige Teilaspekte des Entwerfens von Gebäuden beschrieben, um vor allem fachfremden Lesern verschiedene Entwurfsansätze verständlich darzulegen.

### 3. Entwerfen von Gebäuden

#### 3.1. Einführung

Im Folgenden werden Entwurfsstrategien für das Verständnis des Entwurfsprozesses und Erläuterungen der speziellen Anforderungen der Vorentwurfs-, Entwurfs- und Konzeptphase beschrieben. Neben gesellschaftlichen Rahmenbedingungen beeinflussen architekturtheoretische und -geschichtliche Faktoren, Bautechnologien und Entwurfswerkzeuge (z.B. Modelle, Referenzen oder Zeichnungen) das Entwerfen. Entwurfsprozesse sind individuell geprägt und eine allgemeingültige Systematisierung des Entwerfens gibt es nicht. Wie in 'Entwerfen: 25 Architekten – 25 Standpunkt' [38] beschrieben, ist die Vorgehensweise individuell, jedoch können einzelne Standpunkte übereinstimmen. Die Architekten Botto, Meier, Hejduk und Loos stimmen bspw. überein, dass Schlafzimmer in einer Raumanordnung separiert [13] S. 266 werden sollen. Erste Entwurfsideen hält der Architekt Daniel Libeskind in 'Chamber Works' [39] fest. Andere Architekten beginnen mit der Analyse des Raumprogramms, bilden Raumgruppen und ordnen diese in einem puzzleartigen Ansatz an. Der Ausgangspunkt eines Entwurfes kann die äußere Form oder die Fassade sein, wovon die innere Organisation abgeleitet wird, oder anders herum, der Entwurf wird von innen nach außen bearbeitet.

Gänshirt meint, eine „[...] Wissenschaft, die das Entwerfen thematisiert, muss daher nach Wegen suchen Paradoxien aufzuzeigen, ihre Struktur und Bedeutung zu entschlüsseln und mit ihnen produktiv umzugehen: Beispielsweise indem sie, wie Rittel vorschlägt, zu lösende Probleme neu definiert, oder, wie Flusser demonstriert, Lösung

auf einer anderen Bedeutungsebene sucht.“ [22] S. 18. Aicher hingegen meint, das „entwerfen ist ein intellektuelles ordnen, klären von zusammenhängen, definieren von abhängigkeiten, schaffen von gewichten und setzt im kopf des entwerfers eine spezielle fähigkeit voraus, analogien, zusammenhänge, bezugsfelder zu sehen und zu fixieren.“ (Kleinschreibung i. Orig.: [40] S. 102). Diese Aussagen von Gänshirt, Rittel, Flusser und Aicher sind Postulate, die kein systematisches Vorgehen beschreiben, um dem Entwerfenden als Handlungsanweisungen zu dienen.

Das Vorgehen wird für jeden Entwurf aus den Anforderungen des Bauherrn an Gestaltung und Raumprogramm sowie finanziellen und zeitlichen Rahmenbedingungen unter Beachtung von Gesetzen, Normen und städtebaulichem Kontext abgeleitet. Im Folgenden werden einige in der Literatur beschriebenen Betrachtungs- und Vorgehensmodelle dargestellt.

### 3.2. Entwurfsprozess

Entwurfsprozesse verlaufen allgemein zwischen der Problembeschreibung und der Lösungsfindung iterativ (in verschiedenen Schritten) und nicht linear (durch Springen zwischen den Schritten). Lawson [41] nennt die Schritte 'synthesis', 'analysis' und 'evaluation' (siehe Abbildung 6), um die den Anforderungen bestmöglich entsprechende Lösungsvariante [42] S. 53 auszuwählen.

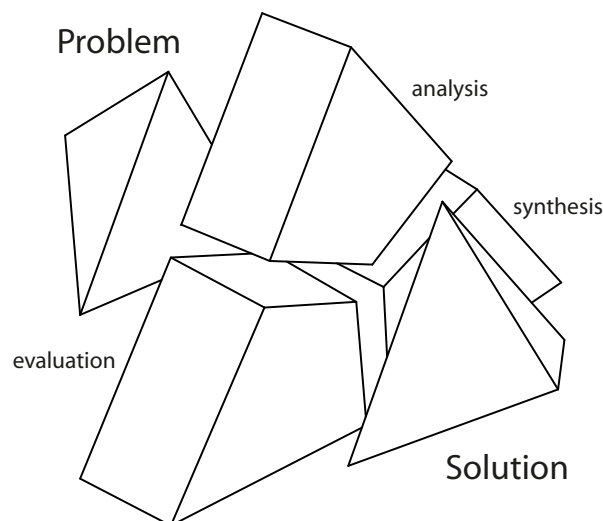


Abbildung 6 - Vorgehensweisen im iterativen Prozess des Entwerfens anlehndend an Lawson [41] S. 47.

Hillier [12] S. 44 bezeichnet das Erarbeiten von Varianten die 'creative phase' und das Evaluieren, ob die Variante den Anforderungen entspricht, die 'predictive phase'. Die Reduktion der Varianten beschreibt Laseau [43] in Abbildung 7 mit dem gestrichelten Trichter, der dem Trichter der Erarbeitung neuer Varianten entgegenwirkt. Für die Reduktion und Konzentration auf bestimmte Varianten müssen vom Entwerfer Entscheidungen [43] S. 91 getroffen werden, um schlussendlich eine Variante auszuarbeiten.

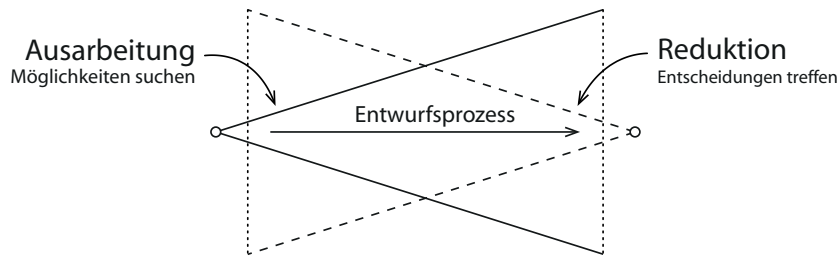


Abbildung 7 - Die Entwurfstrichter anlehnend an Laseau [43] S. 91.

Diese gegenläufigen Entwurfstrichter erschweren und verlangsamen zwar den Entwurfsprozess, sind jedoch notwendig, um verschiedene Varianten zu durchdenken und vergleichen zu können. Buxton konstatiert: "We always need things to which we can compare any option. That is, the question is not, 'Do I want this?'; but rather, 'Do I want this rather than that, and why?'" [29] S. 147.

Der Variantenbaum bei Buxton oder Variantenraum bei Gross [42] S. 53 in Abbildung 8 illustriert den Prozess der Erarbeitung von Entwurfsvarianten und deren Bewertung, Auswahl sowie das Verwerfen von Varianten. Das Ergebnis des Entwurfsprozesses ist abhängig von der Fähigkeit des Entwerfers, sich im Prozess orientieren zu können und die richtigen Entscheidungen zu treffen. Entschieden wird,

- ob Varianten weiterverfolgt werden,
- ob weitere Varianten daraus erarbeitet werden,
- ob Varianten verworfen oder
- ob verschiedene Varianten zu einer neuen zusammengeführt werden.

Je früher möglichst viele Variantenäste (Abbildung 8: rote Linie) des Entscheidungsbaumes verworfen werden, umso mehr Zeit bleibt, um den erfolgversprechenden Ast weiter zu verfolgen und auszuarbeiten.

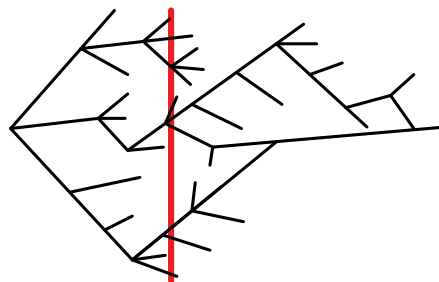


Abbildung 8 - Entwerfen als verzweigtes Untersuchen, Auswählen und Zusammenführen von Lösungen anlehnend an Buxton [29] S. 388.

Bei der Darstellung der Varianten unterscheidet Buxton [29] S. 388–389 zwischen Skizzen und Prototypen (Abbildung 9) anhand des Detaillierungsgrades. Die Skizze beinhaltet fragmentarische Gedanken oder Ideen. Prototypen sind teilweise ausgearbeitete Varianten. Nach Hillier [12] S. 45 können Varianten anhand von Referenzobjekten (bspw. als ausgearbeiteter Entwurf) oder theoretischen Prinzipien bewertet und entweder verworfen oder weiter ausformuliert werden.

<b>Sketch</b>	evocative	suggest	explore	Question	propose	provoke	tentative	noncommittal
<b>Prototyp</b>	didactic	describe	Refine	Answer	test	Resolve	specific	depiction

Abbildung 9 - Unterschied Skizze und Prototyp [29] S. 140.

Die Ausformulierung – also Detailierung – einer Variante sollte immer vom Allgemeinen zum Speziellen (Top-Down) und nicht ausgehend von einem Teilaspekt den ganzen Entwurf betrachtend (Bottom-Up) bearbeitet werden, obwohl dies meist so nicht umgesetzt wird. „So, although one might start out with good intentions of using a top-down approach, one often ends up with a mixture of top-down, bottom-up, and middle-out strategies.“ [44] S. 31.

Colanjanni et al. [45] S. 113 beschreibt den Entwurfsprozess als nicht linearen Prozess des Springens zwischen verschiedenen Abstraktionsebenen. Gross [42] S. 53 hingegen bezeichnet das Entwerfen als schrittweises Formalisieren des Entwurfes von einer auf eine andere Abstraktionsebene durch Detaillierung, Präzisierung und schließlich Festlegung des Entwurfes. In der Vorentwurfsphase werden die Varianten stärker abstrahiert als in der Entwurfsphase und die Darstellungen sind detaillierter und komplexer. Zur Ausarbeitung einzelner Varianten wird daher mehr Zeit benötigt und weniger Varianten können parallel bearbeitet werden. Daher werden schlechtere Varianten verworfen. Im Folgenden werden das Vorgehen in den frühen Entwurfsphasen (Kapitel 3.3) und die entsprechenden Werkzeuge (Kapitel 3.4) dargestellt.

### **3.3. Entwerfen von Architektur in den frühen Phasen**

Die frühen Entwurfsphasen in der Architektur sind in der Literatur nicht scharf voneinander abgegrenzt. In der vorliegenden Betrachtung werden in den frühen Entwurfsphasen die Vorentwurfsphase, charakterisiert durch abstrahierte schematische Darstellungen (bspw. ohne Türen und vagen Raum- oder Raumgruppenanordnungen), sowie die Konzeptphase mit dargestellten Türen, fixen Raumanordnungen und vagen Maßen unterschieden. Dies entspricht den Leistungsphasen Vorplanung und Entwurfsplanung der Honorarordnung für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI). Die HOAI zielt dabei auf die Abrechnung von Planungsleistungen/-phasen ab und ist keine verbindliche Systematisierung des Entwerfens.

Die digitale Unterstützung verschiedener Bauphasen wird häufig mit dem Building Information Modeling (BIM) Kreislauf (Abbildung 10) beschrieben. Ziel ist die lebenszyklusübergreifende Verwaltung von digitalen Bauwerksinformationen. Die Phasen im BIM Kreislauf entsprechen nicht denen der HOAI und sind nicht klar definiert. Im Kontext der vorliegenden Untersuchung werden der Vorentwurf und der Entwurf im BIM Kreislauf als frühe Entwurfsphasen zusammengefasst. Diese sind durch wenig detaillierte Gebäudeplanungen mit unvollständigen und/oder vagen Informationen gekennzeichnet. Das Formalisieren dieser Informationen ist nur eingeschränkt möglich und ein Hinderungsgrund für das anvisierte Ziel des BIM, digitale Gebäudedaten über den gesamten Lebenszyklus, vom Raumprogramm bis zum Abriss oder der Renovierung, fortzuschreiben. Die Herausforderungen und Möglichkeiten von BIM sind bei Borrmann et al. [46] detailliert beschrieben.

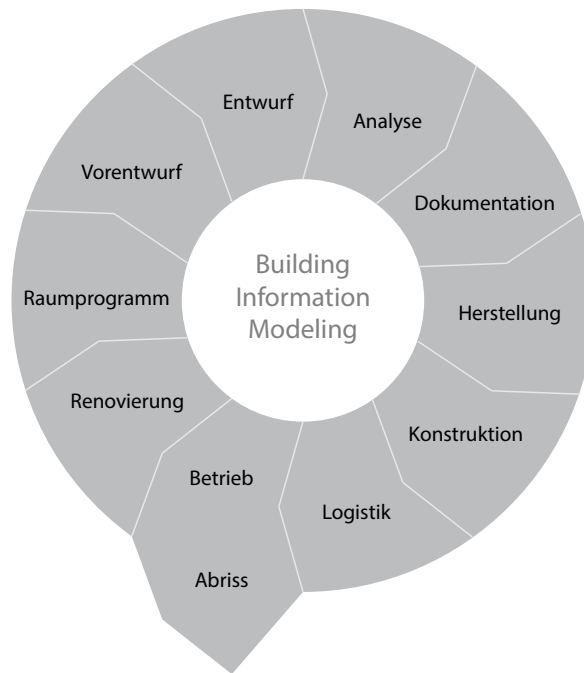


Abbildung 10 - BIM Kreislauf.

Nach Steinmann „[...] sind gerade die frühen Phasen des Entwurfs prägend für die Qualität und den Preis des Bauwerks sowie für die späteren Kosten für Betrieb, Modernisierung bis hin zur Entsorgung. Die Entscheidungen der frühen Planung determinieren zu ca. 90% die Gesamtbaukosten und dies zu einem Zeitpunkt, wo erst ca. 2% der Herstellungskosten durch die entsprechenden Planungskosten entstanden sind [...]“ [24] S. 5. Dem gegenüber werden die frühen Entwurfsphasen und die Grundlagenermittlung in der HOAI vom 24. Mai 2013 mit 24 % des Gesamthonorars aller Leistungsphasen vergütet. Ob in dieser Vergütung das Erstellen einer digitalen Planung nach der BIM Methode inkludiert ist, diese Leistung extra vergütet werden muss oder daraus überhaupt eine Steigerung der baulichen Qualität bzw. Vorteile im Lebenszyklus entstehen, wird aktuell diskutiert. Es fehlen jedoch momentan belastbare BIM-basierte Planungen in ausreichender Zahl, um Aussagen darüber treffen zu können.

Über die technischen und organisatorischen Herausforderungen der frühen Entwurfsphasen hinaus gibt es verschiedene Theorien und Ansätze. Rittel [47] und Keim [25] unterscheiden „gutartige Probleme“, die bspw. in der Wissenschaft wohldefiniert sind, und die "böartigen Probleme“, denen Entwurfs- und Planungsprobleme zugeordnet werden. Böartige Probleme sind durch folgende Eigenschaften definiert:

- Das Problem entzieht sich einer umfassenden Formulierung. Die Formulierung des Problems ist das Problem.
- Die Problemdefinition ist unendlich fortführbar.
- Es gibt keine falsche oder richtige Lösung, sondern nur bessere oder schlechtere Optionen.
- Eine Prüfung des Ergebnisses ist nicht möglich.
- Es gibt eine unendliche Anzahl von potentiellen Lösungen.
- Es gibt ähnliche Probleme jedoch kein Identisches.
- Jedes Problem kann nur ein Teilproblem oder die Auswirkung eines anderen Problems sein.

Wie in der Einleitung beschrieben, gehört Rittel zur zweiten Generation der Entwurfsmethodikbewegung und fasst das Entwerfen von Gebäuden als schwer definierbaren Prozess auf. Abhängig vom Entwurfsproblem, Entwurfsansatz und Ausgangspunkt wird der Entwurfsprozess gestaltet – wie beispielsweise im Raumverständnis des Historismus des 19. Jahrhunderts: „[...] the starting point was always a skeleton of what were simultaneously circulation routes and axes of symmetry, around which the rooms were then arranged to form the geometrical part.“ [48] S. 134. Die Achsen der Durchwegung werden als Gestaltungsansatz verwendet, so wie man es heute bspw. im traditionellen chinesischen Raumverständnis findet. Nach dem Gestaltungsansatz der Moderne hingegen sollen Räume bestimmte Anforderungen erfüllen und die sich ergebene Raumanordnung die Gestaltung bestimmen [4] S. 54–55. Im Funktionalismus der 1970er und 1980er Jahre wurde der Verwendungszweck zum Gestaltungsansatz und die Form sollte sich äußeren und funktionalen Einflüssen unterordnen, was laut Steadman [48] S. 134 ebenfalls zu bestimmten Raumanordnungen führte.

Neben der Geschichte des Bauwerksstandortes und sozialen Aspekten wirken kulturelle Einflüsse in Form von Erwartungen der Bauherren und der Erfahrungshorizont des Entwerfenden auf den Entwurfsprozess ein. Dieses Wissen ist notwendig für das Entwerfen, es strukturiert und beeinflusst den Entwurf. In der kognitiven Psychologie wird zwischen dem episodischen und semantischen Gedächtnis unterschieden. „Im episodischen Gedächtnis würden detaillierte Fakten über Dinge und konkrete Ereignisse abgelegt. Diese können von der Art sein wie bspw.: ‘Als ich damals vor einem ähnlichen Entwurfsproblem stand, reagierte ich mit Erfolg so und so.’ (siehe [Liebich, 1993]). Im semantischen Gedächtnis würden die durch Generalisierung aus konkreten Episoden gewonnenen Prinzipien und Konzepte in Form abstrakter, genereller Informationen abgelegt, wie zum Beispiel: ‘In Situationen wie dieser kann ich mit Erfolg diese oder jene Strategie anwenden.’ (siehe [Liebich, 1993]).“ [5] S. 89–90. Diese Kategorisierung hilft ein Verständnis für den individuellen Charakter des Entwerfens zu entwickeln, ohne jedoch die Frage zu beantworten, wie Entwerfen funktioniert.

Dieser individuelle Prozess beginnt meist „[...] as an idea for the building, then becomes an idea of the building, then a more formalised concept, then a series of more and more refined representations, then a set of instructions and finally a building.“ [12] S. 43. Juchmes bezeichnet die Freihandzeichnung als den ersten Teil des Entwurfsprozesses: “As the closest trace of his or her creative thinking, the sketch is, in effect, the first part of the design process, because it has proved to be the most appropriate aid for the expression and manipulation of rough ideas. The sketch, as the only concrete trace of the thought process, embodies the designer's thoughts and makes them self-explanatory.“ [49] S. 1. Ein Entwurf kann mit Darstellungswerkzeugen gezeichnet oder modelliert werden, vage Freihandzeichnungen können auch als Denkwerkzeug bzw. Entwurfswerkzeug das Entwerfen unterstützen.

### **3.4. Entwurfswerkzeuge**

Im Entwurfsprozess von Architektur werden abhängig vom Entwerfenden und der Entwurfsaufgabe verschiedene Werkzeuge und Strategien verwendet. „Jedes Entwurfswerkzeug dient sowohl der Wahrnehmung äußerer Gegebenheiten (dem Erfassen und Festhalten) als auch dem Ausdruck innerer Vorstellungen (dem Aufprägen innerer Entwurfsvorstellungen auf einen materiellen Träger). Jedes Entwurfswerkzeug kann sowohl deskriptiv, das heißt abbildend, zur Beschreibung von etwas Gegebenem als auch präskriptiv, das heißt entwerfend, zur Darstellung von etwas Neuem verwendet werden.“ [22] S. 95. Jedoch sind bestimmte Werkzeuge besser als Darstellungs-

werkzeug (CAD Programm oder Zeichenbrett) oder als Denkwerkzeug (Freihandzeichnung oder Referenz) geeignet als andere.

Denkwerkzeuge unterstützen die schnelle Materialisierung von Gedanken, um so die materialisierten Fragmente der Entwurfsgedanken wahrnehmen und bewerten zu können. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse fließen in den Denkprozess ein und sind als kreisförmiger Dialog (Abbildung 11) des Entwerfenden mit dem Werkzeug Teil des Entwurfsprozesses. Buxton postuliert: "If you want to get the most out of a sketch, you need to leave big enough holes." [29] S. 115. Wie bei einem Comicstrip (es werden Ausschnitte der Geschichte in einzelnen Bildern erzählt) füllt der Entwerfende die Lücken mit eigenen Gedanken und entwickelt so den Entwurf.

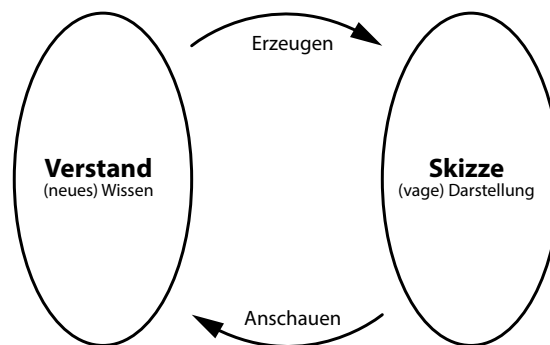


Abbildung 11 - Unterstützung von Denkprozessen mit Skizzen anlehnend an Buxton [29] S. 114.

Als Denkwerkzeuge können bspw. das Schreiben von Texten, das Anfertigen von Freihandzeichnungen und die Verwendung von Referenzen als " [...] concrete evidence in support of prediction [...]" [12] S. 45 verstanden werden.

In den frühen Entwurfsphasen werden häufig Freihandzeichnungen verwendet, da sie ein vertrauter, effizienter und natürlicher Weg sind, schnell Ideen auszudrücken und zu analysieren. Freihandzeichnungen werden zum Darstellen unfertiger oder fragmentarischer Ideen und Gedanken genutzt, da meist noch keine präzise Vorstellung des Endergebnisses vorliegt. Gänshirt schreibt: „Die Einfachheit des Werkzeugs zwingt zur Reduktion auf das Wesentliche.“ [22] S. 119–120.

Die Reduktion ist eine wesentliche Qualität der Freihandzeichnungen und beeinflusst den Entwurfsprozess durch die Art der Darstellungsmethode. Bielefeld schreibt weiter: „Mit Stiften lassen sich Schemata, Grundrisskizzen, Formengerüste bzw. deren Konturen sehr gut entwickeln. Anhand des Grundrisses kann die räumliche Struktur, die Organisation und Zonierung eines Entwurfs entwickelt, horizontale Bewegungen können studiert werden.“ [50] S. 68. Bezugnehmend auf Buxton [29] sind Freihandzeichnungen als Skizzen und ausformulierte Grundrisse als Prototypen zu verstehen.

Das Studieren von Architektur in ähnlichen Kontexten und mit vergleichbaren Grundannahmen oder räumlichen Strukturen wird als Weg zur Annäherung an das Entwurfsproblem, die Entwicklung von Handlungsstrategien oder zur Lösungsfindung verstanden. Ein anerkannter Problemlösungsansatz „[...] besteht darin, andere Gebäude mit ähnlichen Aufgabenstellungen oder in einem ähnlichen Kontext zu studieren, um ein Gefühl für die Aufgabe zu bekommen. [...] Je mehr man sich mit gebauten Beispielen beschäftigt, desto größer wird auch das Spektrum an Varianten und Bandbreiten. Dabei ist nicht nur das ästhetische Empfinden ein Kriterium, vielmehr sollten

während der Entstehung des Entwurfs auch die Rahmenbedingungen betrachtet werden. Ein Gebäude oder eine Vision in diesem Kontext zu verstehen und zu hinterfragen kann, für eigene Ansätze und Ideen von Nutzen sein.“ [50] S. 73.

Richter [5] S. 106 nennt fünf Anwendungsfälle für Referenzobjekte:

- als Quelle der Inspiration
- als Quelle von Entwurfsbedingungen
- als Medium zur Kommunikation
- als Mittel zur Entwurfsevaluation
- als Quelle konkreter (expliziter) Informationen

Gänshirt [22] stellt fest, dass eine strenge Kategorisierung der Entwurfsprobleme den Prozess eher behindern als befördern kann. „Entwerfenden, die mit konkreten Problemen beschäftigt sind, helfen daher knappe, regelhafte Begriffsdefinitionen kaum weiter, sie benötigen vielmehr differenzierte Kenntnisse entwerflicher Handlungsmöglichkeiten. In der klassischen Architekturtheorie ebenso wie in der gängigen Entwurfslehre wird in der Regel über Kriterien, Vorbilder und Ergebnisse der Entwurfsarbeit gesprochen.“ [22] S. 23.

### **3.5. Schlussfolgerung**

Eine allgemeingültige Systematisierung des Entwerfens existiert nicht. Entwurfsprozesse unterscheiden sich mehr oder weniger und es kann nicht von dem einen Entwurfsprozess gesprochen werden. Sowohl das Vorgehen als auch die eingesetzten Werkzeuge unterscheiden sich bspw. nach Projektumfang, -team und -aufgabe. Bewertbare Handlungsschablonen und Werkzeugkästen können jedoch helfen, individuell die richtige Auswahl zu treffen, um effektiv die Entwurfsanforderung zu erfüllen. Entsprechend dem Fokus der vorliegenden Arbeiten auf die frühen Entwurfsphasen sollten die Werkzeuge folgende Eigenschaften besitzen:

- auf den Anwendungsfall bezogene Abstraktionen
- Perspektivenwechsel ermöglichen
- individualisierbar
- schnell anwendbar
- unpräzise und vage
- koppelbar ohne Medienbrüche
- systematisierbar beziehungsweise formalisierbar

Referenzen und skizzenhafte zeichnerische Darstellungen sind etablierte Denkwerkzeuge in frühen Entwurfsphasen, die jedoch von Computern nicht ausreichend unterstützt werden, obwohl bereits 1963 mit Sketchpad [27] die technologischen Voraussetzungen und aktuell mit praxistauglichen Tablet-Computern finanzierbare Technologien zur Verfügung stehen. Der aktuelle Arbeitsprozess ist weiterhin von einem ständigen Wechsel zwischen analogen und digitalen Werkzeugen sowie den daraus resultierenden Medienbrüchen geprägt. Das Übertragen bzw. Imitieren von analogen Prozessen mit digitalen Werkzeugen führt meist dazu, dass analoges Vorgehen nur unvollständig umgesetzt wird und ursprüngliche Stärken analoger Prozesse ungenutzt bleiben. So werden darüber hinaus auch die Möglichkeiten digitaler Technologie nicht ausgeschöpft und sowohl analoge als auch digitale Potentiale bleiben ungenutzt.



## **4. Computerunterstütztes Entwerfen in der Architektur**

### **4.1. Einführung**

Die rasante Entwicklung digitaler Technologien in den letzten 30 Jahren führte zu immer neuen Anwendungsmöglichkeiten in der Architektur. CAD, Rendering, Animation und digital gestützter Modellbau sind heute etablierte Arbeitswerkzeuge in der Planungspraxis. Der Computer hat zwar Einzug in die meisten Architekturbüros gehalten, aber die meisten Programmsysteme orientieren sich lediglich an etablierten Arbeitsweisen und nutzen die digitalen Werkzeuge als Präsentationsmedium. Diese werden voneinander getrennt und sequenziell benutzt. Im Folgenden wird der aktuelle Stand der Digitalisierung im Bauwesen mit Fokus auf digitale Werkzeuge in den frühen Entwurfsphasen dargestellt.

Die von Konrad Zuse im Jahr 1941 gebaute Rechenmaschine Z3 wird als erster vollautomatischer freiprogrammierbarer Computer der Welt bezeichnet und bildet den Anfang der Digitalisierung in nahezu allen Bereichen bis heute. Die Grundlagen zur Vernetzung von Computern wurden in den 1960er-Jahren gelegt und im sogenannten Vorgänger des Internets, dem 'Arpanet' durch Technologien wie DNS (Domain Name System), TCP (Transmission Control Protocol) oder IP (Internet Protocol) weiterentwickelt, um ab 1989 kommerziell genutzt zu werden. Das Internet hat seither weitreichende gesellschaftliche Veränderungen induziert und auch die Arbeitsprozesse in der Architektur verändert.

Nach ersten geometrischen Formalisierungen im Computer in den 1950er-Jahren und Zeichenansätzen in den 1960er-Jahren, hat zwischen 1985-2005 [2] das CAD Einzug in die Planungspraxis von Gebäuden gehalten. Digitale Werkzeuge wurden vorwiegend für die Darstellung und Speicherung eingesetzt, wie zuvor die analog mit dem Tuschestift gezeichneten und archivierten Informationen. Liebich [2] bezeichnet die Einführung des CAD als erste digitale Revolution im Bauwesen und den Wandel vom 2-D CAD zur Modellierung von Objekten [51] S. 238, wie bspw. Wänden und Türen seit 2005, als zweite digitale Revolution. Der Ansatz zur einheitlichen Formalisierung von Gebäudeinformationen in digitalen semantischen Modellen wird als Building Information Modeling (BIM) bezeichnet. Es wird meist zwischen der prozesshaften, den gesamten Lebenszyklus (Abbildung 10) eines Gebäudes begleitenden Gebäudedatenmodellierung und der Formalisierung von Gebäudeinformationen in digitalen semantischen Gebäudemodellen unterschieden.

Im Folgenden wird der aktuelle Stand der Planungspraxis dargestellt und es werden weitestgehend etablierte Technologien sowie Vorgehensweisen beschrieben.

### **4.2. Semantische Gebäudedatenmodellierung**

Meadati [52] beschreibt BIM als Prozess, bei dem Elemente eines Gebäudes aus der wirklichen Welt als geometrische Objekte mit zusätzlichen Informationen, wie bspw. 'ist Tür' oder 'ist Stahlbeton', in einem digitalen semantischen Gebäudemodell formalisiert werden. Obwohl die dem BIM zugrundeliegenden Ansätze der Produktdatenmodellierung [16] vorhanden sind, haben sich Forschungsarbeiten zu Computeranwendungen in der Architektur meist auf die Entwicklung von Zeichen-, Modellier- und Darstellungswerkzeugen beschränkt. Ende des letzten und zu Beginn dieses Jahrhunderts gab es verstärkt Forschungen für die Unterstützung des gesamten Planungsprozesses, insbesondere der Modellerstellung, des Datenflusses und der Zusammenarbeit.

Der Stand von 1998 wird mit der Grafik „Islands of Automation in Construction“ (Abbildung 12) veranschaulicht.

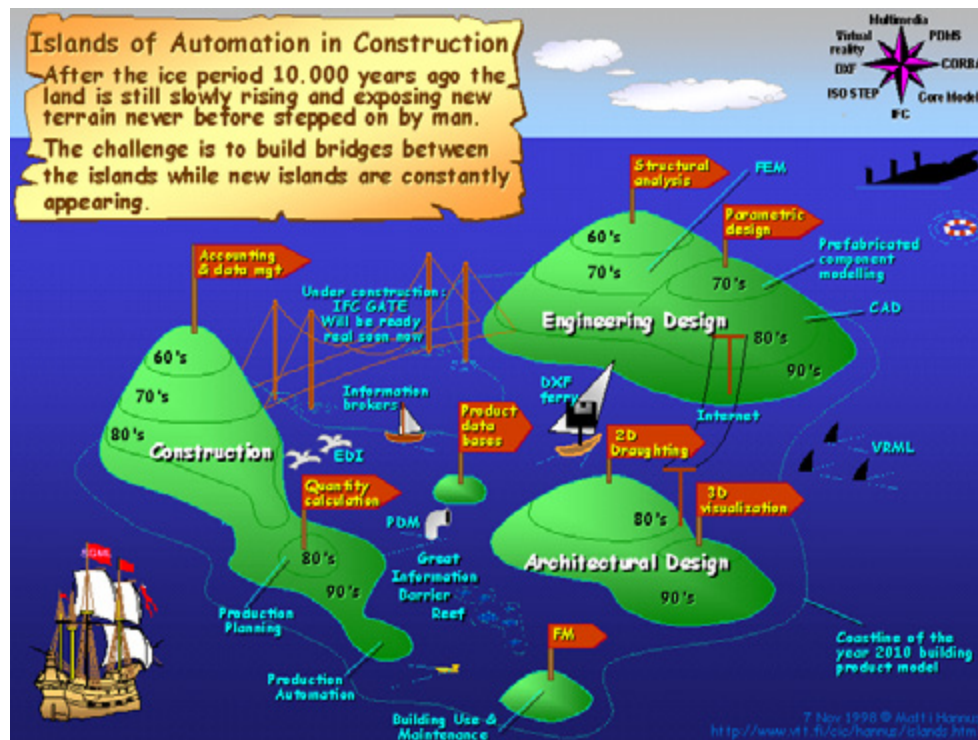


Abbildung 12 - Islands of Automation in Construction [53].

Aktuell werden unterschiedliche Formalisierungen von Gebäudeinformationen bspw. von Architekten, Bauingenieuren und Fachplanern verwendet und durch unzureichende Import- und Exportfunktionalitäten entstehen dabei Medienbrüche. Die verlustfreie Übergabe und Nutzung der digitalen Informationen mit Softwarewerkzeugen ist ungelöst und Gegenstand aktueller Forschungsbemühungen in der Architektur-, Bau- und Geoinformatik. Beispielsweise werden Vektormodelle für CAD Anwendungen oder die digitale Produktion mit Lasern oder Fräsen, Pixelmodelle für das Plotten von Plänen, 3D Modelle für Renderings oder digitale semantische Modelle für sogenannte BIM Werkzeuge verwendet.

BIM Werkzeuge verfolgen einen parametrisch modellbasierten Ansatz für raum- und bauteilorientierte Arbeitsweisen in Softwareanwendungen wie 'ArchiCAD' (Graphisoft Deutschland GmbH), 'Allplan' (NEMETSCHKE Allplan Deutschland GmbH) oder 'Revit Architecture' (Autodesk Inc.). Da nicht ausreichend intuitive BIM Werkzeuge für die frühen Entwurfsphasen zur Verfügung stehen, werden aktuell NON-BIM Werkzeuge wie 'Vasari' (Autodesk Inc.), 'SketchUp' (Trimble Navigation Limited), 'Rhinoceros 3D' (Robert McNeel & Associates) eingesetzt und verstärkt visuelle Programmierumgebungen, wie 'Grasshopper 3D' (Erweiterung für 'Rhinoceros 3D'), 'Dynamo' für 'Vasari' (Autodesk Inc.) oder 'Generative Components' (Bentley Systems, Inc.) genutzt. Diese visuellen Programmierumgebungen werden mit dem Begriff des parametrischen Entwerfens in Verbindung gebracht, bei dem die Parameter komplexer Geometrien nach in Algorithmen formalisierten Regeln entworfen werden. Im Gegensatz dazu wird der Begriff Parametrik im Zusammenhang mit bauteilbezogener Formalisierung von Gebäudeinformationen wie BIM oder Produktdatenmodellierung verwendet.

Gebäudeinformationen werden aktuell weitestgehend digital formalisiert, das Recherchieren und Finden wird durch nicht interoperable Modellspezifikationen er-

schwert. Neben den Spezifikationen für nutzbare und verknüpfbare Datenmodelle ist die digitale Archivierung und rechtsverbindliche Fixierung von Planungsständen aktuell ungelöst, da verbindliche juristische und technische Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen. Dennoch wachsen die Datenbestände, können jedoch nicht zielführend recherchiert werden.

### 4.3. Speicherung

Da systematische objektive Beschreibungen für die Architektur fehlen und deshalb Informationen nur unzureichend in Datenmodellen formalisiert werden können, werden ähnliche Konzepte nach Kriterien zusammengefasst, Kategorien gebildet und mit Schlag- bzw. Schlüsselworten beschrieben. "Die traditionelle Schlüsselwortsuche prüft das Vorkommen der Suchworte im Textindex oder einfach Index, was folglich einem syntaktischen Vergleich von Zeichenketten (pattern matching) entspricht." [18] S. 233. Diese Zeichenketten bezeichnen wie im klassischen Inhaltsverzeichnis eines Buches Kategorien, denen Informationen zugeordnet sind. Es findet die Übertragung von analogen Ordnungssystemen auf digitale Medien statt. Das Medium als Träger der Information wird digitalisiert und nicht die eigentliche Information. In IT-Infrastrukturen entfällt lediglich die alphabetische Suche und Volltextsuchen helfen längere Textpassagen zu finden.

Die Digitalisierung der Information findet heute nahezu lückenlos statt. So entstehen unter anderem fachübergreifende digitale Archive für Kulturgüter wie die virtuellen Bibliotheken 'europeana' [54] und die 'Digital Public Library of America' [55]. Ein weiteres Beispiel für die Digitalisierung ehemals analoger Ordnungssysteme ist der elektronische Bibliothekskatalog, der in den 1980er-Jahren den Zettelkatalog ablöste. Ein bekanntes Beispiel eines Ordnungssystems für soziologische Information ist der Zettelkasten [56] von Niklas Luhmann.

In der vorliegenden Betrachtung werden zwei digitale Informationsquellen in der Architektur nach der Zugänglichkeit bzw. Nutzergruppe unterschieden:

- das Unternehmensgedächtnis
- das gemeinschaftliche Gedächtnis

Das Unternehmensgedächtnis umfasst detaillierte Informationen bearbeiteter oder laufender Gebäudeprojekte, bspw. in den IT-Infrastrukturen eines Architekturbüros. Je nach Büroorganisation des Unternehmens liegen die Daten in heterogenen Datenmodellen und Dateiformaten vor. Recherchen sind meist nur in der Verzeichnisstruktur und anhand von Dateinamen mehr oder weniger gut strukturiert möglich oder evtl. anhand von Metadaten. Es stehen Suchfunktionen des Betriebssystems oder spezialisierte Softwareanwendungen zur Verwaltung und Archivierung zur Verfügung.

Das gemeinschaftliche Gedächtnis umfasst weniger detaillierte Information zu Gebäudeprojekten, bspw. im Internet auf den Webseiten von Architekten oder Architekturportalen bzw. in Monographien und Fachzeitschriften. Im Gegensatz zum Unternehmensgedächtnis, das zum Beispiel Information über Entwurf, Baugenehmigung oder Errichtung beinhaltet, hat das gemeinschaftliche Wissen einen repräsentativen Zweck zur Erzielung einer positiven Außenwirkung des Unternehmens. Daher wird meist beschreibende Information über diese Information, also Metainformation, erstellt, um die Information einem möglichst breiten Publikum zugänglich zu machen.

Sowohl Verzeichnisstrukturen und Dateinamen als auch Metainformation sind subjektive textliche Beschreibungen von Kategorien. Die vom Autor verwendeten Begrif-

fe sind oft missverständlich, da der Suchende häufig andere Begriffe für ähnliche Konzepte verwendet bzw. den Begriffen eine andere Bedeutung zuordnet. Betrachtet man dies als indirekten Kommunikationsprozess zwischen Autor und Suchendem, kommt es durch die notwendige Abstraktion und das verbale Beschreiben in Kategorien zu Fehlinterpretationen. Mit einer gemeinsamen Kategorien- bzw. Begriffssammlung können Inhalte zielführender recherchiert werden. Ansätze eine gemeinsame Informationssammlung aufzubauen und abzufragen sind Content-Management-Systeme (CMS), Virtuelle Projekträume und BIM-Server.

Mit einem CMS, wie bspw. typo3, werden heute Internetauftritte umgesetzt, ohne dass die Ersteller der Inhalte tiefere technische Kenntnisse benötigen, da meist grafische Nutzeroberflächen, ähnlich klassischer Textverarbeitungsprogramme wie bspw. Microsoft Word oder Apples Pages, existieren. Durch ein Rechtemanagement können Nutzern bestimmte Funktionen zugänglich gemacht und so Inhalte veröffentlicht werden. Virtuelle Projekträume besitzen Eigenschaften eines CMS, jedoch sollen die Inhalte nur einer beschränkten Nutzergruppe zugänglich sein, und bieten darüber hinaus u.a. Funktionen für das Projektmanagement und den Austausch von Dokumenten. Um auf einzelne Objekte, wie bspw. Türen oder Wänden für Massen- und Mengenermittlung, zuzugreifen, können BIM-Server, wie von 'Onuma' [57], der Revit Server für 'Autodesk Revit' [58], die BIMcloud für 'Graphisoft ArchiCAD' [59] oder 'BIM+' [60] für 'Nemetschek' verwendet werden. Die Funktionalität unterscheidet sich im Detail, jedoch zielen BIM-Server auf das gemeinsame Arbeiten an einem zentralen Modell ab. Von einem verbreiteten Einsatz von BIM-Servern in der Praxis kann aktuell nicht gesprochen werden, da die technisch-organisatorischen Ansätze der Bauteilfreigabe, -restriktion und -rechte nur unzureichend umgesetzt sind. Unter anderem muss bei Änderungen am Planungsmodell nachvollziehbar sein, welcher Planer dafür verantwortlich ist, um bei Baumängeln aufgrund von Planungsfehlern Haftungsfragen klären zu können.

Mit BIM-Servern können digitale semantische Gebäudemodelle bauteilbezogen gemeinsam bearbeitet werden. Problematisch sind jedoch auch hier die verwendeten Begriffe im Modell, wie bspw. Küche, Wohnküche, Esszimmer oder Wohnzimmer für ähnliche Räume, sowie verbindliche Modellierrichtlinien. Sowohl bei modellbasierten als auch dokumentbasierten Ansätzen und unabhängig davon, ob es sich um Information des Unternehmensgedächtnisses oder des gemeinschaftlichen Gedächtnisses handelt, behindern uneinheitliche Begriffshierarchien (Taxonomien) den Austausch und die Recherche von Information. Im Folgenden werden einige Ordnungssysteme und Recherchestrategien aus dem Bereich des gemeinschaftlichen Gedächtnisses der Architektur in gedruckten Monographien und Zeitschriften sowie digitalen Rechercheportalen beschrieben.

#### **4.4. Recherche**

Informationen können nur genutzt werden, wenn sie recherchiert werden können. Neben der dafür notwendigen systemischen Speicherung sind auf die Domäne und die Informationen abgestimmte Recherchestrategien unerlässlich. Daher müssen u.a. Taxonomien in Monographien, Fachzeitschriften und Internetportalen für die Architektur kritisch analysiert werden. Gebäude werden meist nach uneinheitlichen Kriterien in Kategorien eingeordnet und in Taxonomien strukturiert. Die Kategorien werden meist mit Begriffen bezeichnet, die bspw. die Nutzung widerspiegeln und so Typologien bilden.

Im Achleitner-Kasten [61] ist auf Karteikarten ein österreichischer Architekturführer des 20. Jahrhunderts angelegt worden, der heute im Architekturzentrum in Wien zugänglich ist. Kategorisiert wurde u.a. nach Bautypologien wie Amts-, Verwaltungs- und Bürobauten. In der Bauentwurfslehre „Neufert“ [62] werden Haustypen nach Raumordnung und Reihung (vertikal, horizontal), wie Punkthaus oder Doppelhaus kategorisiert. Die Kategorisierung basiert auf der Durchwegung und wird mit Begriffen wie Einspanner oder zweihüftiger Flur bezeichnet. Im 'Grundrissatlas Wohnungsbau' [63] werden die Bautypen nach ihrer städtebaulichen Einordnung kategorisiert. Diese Kategorien sind aus der räumlichen Anordnung abgeleitete Gebäudetypologien im Gegensatz zur historischen Einordnung in 'Wohnbau Entwicklungen' [64].

Fachzeitschriften wie die 'Detail' hingegen veröffentlichen aktuellere Gebäudeprojekte meist in Ausgaben zu fachspezifischen Themen wie 'Massives Bauen' oder 'Fassaden'. Auf der Internetpräsenz von Architektur-Printmedien finden sich meist Suchfunktionen wie auf 'DETAIL Inspiration' [65], Bauwelt [66] oder AIT [67] mit Verweisen auf die gedruckte Ausgabe oder der Option, einzelne Artikel anzuschauen oder herunterzuladen.

Im Internet zugängliche Informationen über Gebäude finden sich bspw. bei 'baukunst-nrw' [68] (Suchkriterien - Stadt/Gemeinde, Objekttyp, Urheber/Büro, Baujahr), 'archINFORM' [69] (Suchkriterien - Personen-, Orte-, Schlagwörterindex) oder 'nextroom' [70] (Suchkriterien - Zeitraum, Ort, Region, Land, Bauwerksfunktion, Akteur, ausführende Firma, Sammlung und Karten). Neben der Kategoriensuche wird bei dem Rechercheportal 'MIMOA' [71] stärker auf die Kartenansicht fokussiert.

Sowohl analoge als auch digitale Recherchestrategien basieren auf der Analyse der Inhalte und der Bildung von verbal beschriebenen Kategorien nach subjektiven Kriterien. Jedes Ordnungssystem hat definierte Grenzen, deren Kategorien von der Domäne abhängen. Die Kategorien des Unternehmenswissens orientieren sich meist stärker an der Büro- oder Projektorganisation und die Kategorien des gemeinsamen Wissens am Fokus der Veröffentlichung oder der Webseite.

#### **4.5. Schlussfolgerung**

Für die Bewahrung von Kulturgütern und das Archivieren von Information wird in Deutschland zum Beispiel für die Lagerung von Sicherungsfilmern der 'Zentrale Bergungsort der Bundesrepublik Deutschland' [72] oder für digitale Inhalte die 'Deutsche Digitale Bibliothek' [73] betrieben. Damit wird der steigenden Zahl nur noch digital verfügbarer Inhalte Rechnung getragen.

Diese Entwicklung ist weitestgehend auf das Bauwesen übertragbar, wirft jedoch Fragen zum Umgang mit dem digitalen Gedächtnis auf und stellt die verschiedenen Akteure, wie die Planer und Bauherrenschaft, die Softwareindustrie, den Gesetzgeber sowie Universitäten und Fachhochschulen in Forschung und Lehre vor folgende Herausforderungen:

- Systematisierung der Planungsinformationen (verbindliche Regelwerke)
- effiziente Speicherkonzepte für primär und sekundär Daten (Roh- & Metadaten)
- intuitive Recherchestrategien (abgestimmt auf die Arbeitsprozesse)
- rechtliche Rahmenbedingung (bspw.: Haftung)
- Langzeitarchivierung (Kodierungsstandards bspw.: pdf-a)

Eine allgemein gültige Systematik für Planungsinformationen existiert aktuell nicht. Für Fachbegriffe existieren zahlreiche Taxonomien, deren Kategorien nach uneinheitlichen Kriterien gebildet werden. Für Zeichnungen in den frühen Entwurfsphasen fehlen einheitliche Standards, wie für die Darstellung von Türen im Grundriss, und erschweren das automatische Interpretieren und Formalisieren in IT-Infrastrukturen. Für zwei- und dreidimensionale Formalisierungen von Gebäudegeometrie werden außerdem verschiedene Ansätze verwendet. Ohne allgemeingültige Modellierungsvorschriften werden Datenaustausch, Archivierung und Recherche erschwert und für digitale semantische Bauwerksmodelle sind verbindliche Taxonomien notwendig. Darüber hinaus wird bei der Entwicklung digitaler semantischer Gebäudemodelle überwiegend auf die Formalisierung der Geometrie von Gebäuden fokussiert. Die Formalisierung von Topologien, den Lagebeziehungen von Bauteilen und Räumen wird hingegen unzureichend umgesetzt.

Gegenstand anhaltender Diskussionen ist die Frage der modellbasierten Integration verschiedener Informationen. Es werden hauptsächlich zwei Ansätze verfolgt: Die Verwendung von Zentralmodellen oder Teilmodellen. Beim Teilmodellansatz, wie im Projekt 'Mefisto' [74], wird die Information in verschiedenen Modellen formalisiert und die Modelle bzw. die Bauteile, wie Wand oder Tür, werden verknüpft. Neben der Organisation der Datenstrukturen ist eine ausreichend starke Semantik für topologische Abfragen und Recherchen notwendig. Die Qualität der digitalen Gebäudemodelle, auch auf die gleiche Spezifikation beruhende, unterscheidet sich, da Modellierungsvorschriften teils nicht spezifiziert sind oder nicht angewendet werden. Die für Abfragen und Recherchen abgeleiteten Sekundärdaten als Metadaten, Schlagworte, Kategorien, Tags oder Datei- und Verzeichnisnamen sind auch nicht uneindeutig und werden nach subjektiven Kriterien gebildet. Das gleiche Gebäude kann so, abhängig von den angesetzten Kriterien, verschiedenen Kategorien zugeordnet werden.

Die Hauptursachen für die vergleichsweise schlechte Computerunterstützung der frühen Entwurfsphasen sind:

- Fehlerhafte Übertragungen der Arbeitsweisen der Planung auf den Computer – Potentiale bleiben ungenutzt.
- Menschlicher Denkprozesse nicht ausreichend einbezogen – Benutzerschnittstellen sind nicht intuitiv.
- Uneindeutige Formalisierung von Gebäudeinformation - Medienbrüche und Informationsverlust erhöhen den Arbeitsaufwand.

Neben geeigneten Recherchestrategien für existierende und zukünftige digitale Datenbestände in der Architektur sind Organisationsansätze für Bauwerksinformationen notwendig, um als Wissensbasis für die unzureichend unterstützte (Vor-)Entwurfsphase zu dienen, da hier grundlegende Entscheidungen mit Einfluss auf die nachgelagerten Planungs-, Bau-, und Nutzungsphasen getroffen werden.

## 5. Wissensmanagement in der Architektur

### 5.1. Einführung

Wissensbasierte Systeme zielen auf die Repräsentation von Domänenwissen und dessen Erschließung für bestimmte Anwendungsfälle ab. Die Anwendung von Information in einem Nutzungskontext macht aus Information Wissen und unterstützt den Entwerfenden. Die Formalisierung des Wissens kann regel- und/ oder fallbasiert erfolgen, abhängig davon, ob das zu formalisierende Wissen vollständig in Regeln beschrieben werden kann. Konzepte für das Wissensmanagement in der Architektur sind verstärkt seit den 1990er-Jahren Forschungs- und Diskussionsgegenstand, hatten jedoch in den letzten 20 Jahren nur geringen Einfluss auf das Entwerfen. Im Folgenden werden Ansätze zur Unterstützung des Entwerfens mit Computersystemen zur Bereitstellung nutzbringender Information vorgestellt.

Die Begriffe Daten, Information und Wissen wie auch die computerbasierten Ansätze werden in der Literatur mit unterschiedlicher Bedeutung verwendet. Eine Definition von Wissen findet sich bei Stelzer: "Wissen wird häufig durch Abgrenzung von Zeichen, Daten und Information charakterisiert [z. B. Aamodt, Nygard 1995; Hasenkamp, Roßbach 1998; Rehäuser, Krcmar 1996]. Demnach werden Daten durch eine Anordnung von Zeichen nach vorgegebenen Regeln gebildet. Informationen sind 'in den Kontext eines Problemzusammenhangs gestellte Daten' [Rehäuser, Krcmar 1996, 5]. Wissen wird als 'zweckorientierte Vernetzung von Information' [Rehäuser, Krcmar 1996, 5] verstanden. Oft wird zusätzlich die Semiotik verwendet, um Zeichen, Daten, Information und Wissen voneinander abzugrenzen. Daten werden durch Verknüpfung von Zeichen gemäß syntaktischer Regeln gebildet. Werden die Daten - semantischen Regeln folgend - interpretiert, entsteht Information. Auf der pragmatischen Ebene kann Wissen 'durch Vernetzung von Information mit dem Kontext' [Hasenkamp, Roßbach 1998, 957] gebildet werden." [75].

Die Formalisierung von Informationen wird meist zwischen dem prozess- und dem produktzentrierten Ansatz [76] S. 2 & [77] S. 714 & [5] S. 88–89 & [78] S. 262 unterschieden. Zamanian [79] S. 248 unterscheidet die im Kontext der Arbeit relevanten produktzentrierten Ansätze im Bauwesen in die beschreibenden und funktionalen Gebäudeinformationen. Entsprechende Computersysteme werden als "[...] information systems, expert systems, CBR technology, CSCW systems, workflow engines, data warehouses, data mining, document management [...]" [76] S. 1 ohne scharfe Abgrenzung bezeichnet.

Nach Lömker [80] S. 67 besitzen wissensbasierte Systeme einen in der Literatur einheitlich beschriebenen Aufbau, der sich aus der Akquisitionskomponente, der Wissensbasis, der Inferenzkomponente, der Dialogkomponente und der Erklärungskomponente [81] zusammensetzt. Die Wissensbasis enthält formal beschriebene Bauwerk-sinformation, die mit der Akquisitionskomponente aufgebaut wird.

„Im Allgemeinen zeichnet sich ein wissensbasiertes System durch die strikte Trennung von Wissensrepräsentation und dessen Verarbeitung aus (Beierle und Kern-Isberner 2003). Die Wissensbasis des Systems enthält spezifisches Wissen eines konkreten Anwendungsbereichs, wohingegen die Wissensverarbeitung eine anwendungsunabhängige Komponente zur Problemlösung ist. Ein Expertensystem ist ein spezielles wissensbasiertes System, dessen Wissensbasis mit Hilfe von Experten des Anwendungsbereichs konstruiert wird, um deren Expertenwissen zur Verfügung zu stellen. Das Wissen umfasst meist sowohl fallspezifisches als auch regelhaftes Wissen.“ [18] S. 263

Nach Riesbeck [82] S. 2 sind Expertensysteme meist regelbasiert, können jedoch auch fallbasiert umgesetzt werden. Ansätze, die Wissensbasis durch automatisches Lernen zu erweitern und das Wissen anzuwenden, werden beim fallbasierten Schließen (FBS) für synthetisierende Aufgaben eingesetzt. Bei analytischen Aufgaben wird meist auf die Recherche von Fällen fokussiert. Das Verständnis des fallbasierten Schließens hat sich von dem ursprünglichen Nachbilden menschlicher Denkprozesse zu einem stärker serviceorientierten, den Menschen unterstützenden Ansatz gewandelt.

## 5.2. Wiederverwendung von Wissen

Seit den 1990er-Jahren werden Ansätze des fallbasierten Schließens [83], einem Teilgebiet der künstlichen Intelligenz, im Bauwesen angewendet. Beim ursprünglichen Ansatz des fallbasierten Schließens wird aus einer Fallbasis ein ähnlicher Fall als Referenzbeispiel für die Lösung eines aktuellen Problems ermittelt, automatisch übertragen und modifiziert. Der Ansatz zur Ermittlung ähnlicher Fälle (Abbildung 13), bestehend aus Problem und Lösung, ist die Suche nach vergleichbaren Problemen, da angenommen wird, dass vergleichbare Probleme eine ähnliche und vor allem übertragbare Lösung haben. Anlehnend an die menschliche Erfahrung wird das Speichern von Problem und Lösung im fallbasierten Schließen als Erfahrungswissen bezeichnet.

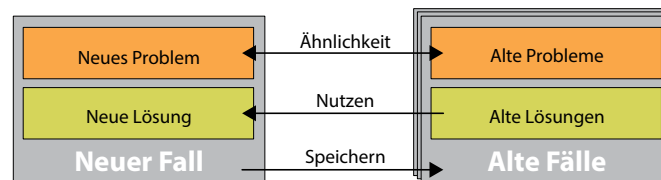


Abbildung 13 - Grundlegender Ansatz des fallbasierten Schließens.

Ann Heylighten bezeichnet die Erfahrung als Kern [84] S. 60 des fallbasierten Schließens, um daraus analog dem menschlichen Schlussfolgern, entwerferische Handlungsmöglichkeiten automatisch oder halbautomatisch abzuleiten. Ein Ziel des fallbasierten Schließens ist die Erweiterung des Gedächtnisses des Architekten durch den Zugriff auf fremde Erfahrungen [84] S. 62. Die Abbildung 14 verdeutlicht, wie ein vollständig umgesetztes FBS-System selbstständig die alte Problemstellung findet (retrieve) und die zugehörige Lösung anwendet (reuse), anpasst (revise) und speichert (retain), um so die Wissensbasis zu erweitern.





Richter [5] S. 120 unterscheidet drei wesentliche Typen (siehe Abbildung 15) von fallbasierten Entwurfssystemen entsprechend der Planungsphase:

Planungsphase	Prototypen	Anwendungsbereich
Vorentwurfs- bzw. Konzeptfindungsphase	STRUPLE	Tragwerk
	Archie und Nachfolger	Öffentliche Bauten
	ArchieDATA	Schulbau
	MONEO	Wohnungsbau
Entwurfskomposition	TRACE & CADRE	Öffentliche Bauten
	IDIOM	Wohnungsbau
	SEED-Layout	Wohnungsbau
	SL_CB	Wohnungsbau
Ausführungsplanung	FABEL	Technischer Installationen

Abbildung 15 - FBS-Systeme nach Planungsphase.

Weiter kategorisiert Richter (siehe Abbildung 16) die FBS-Systeme nach dem Grad der Automatisierung in generierende, unterstützende und die sogenannten CBL-Systeme (engl.: Case-based learning), die auf die Vermittlung von Wissen in der Architekturausbildung abzielen.

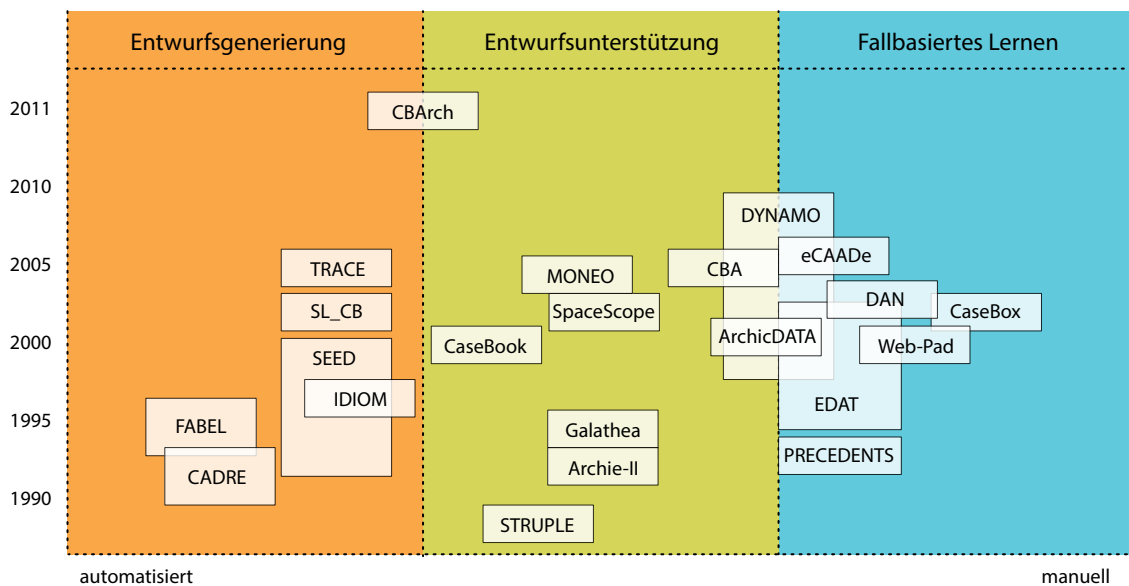


Abbildung 16 - FBS-Systeme in der Architektur anlehnd an Richter [5] S. 125.

Als Sonderfälle der entwurfsunterstützenden Systeme nennt Richter die stärker auf das Suchen fokussierenden Systeme 'CaseBook' [93] beziehungsweise das darauf aufbauende 'SpaceScope' [94]. Hier können grafische Suchanfragen als Grundriss mit dem Modul 'Vitruvius' [5] S. 120 formuliert werden. Bei dem entwurfsgenerierenden System 'CADRE' [95] und dessen Nachfolger 'IDIOM' [96] wurde die Suche nicht umgesetzt, da auf die Adaption und das Zusammenführen fokussiert wurde. Jedoch ist die Formalisierung von topologischen Relationen in Graphen betrachtet worden.

Richter et al. [97] stellt fest, dass im Laufe der Forschungsaktivitäten eine Hinwendung zu entwurfsunterstützenden Systemen stattgefunden hat. Als kritisch wird die Erstellung und Gewinnung von neuen Fällen in der Fallbasis angesehen. Außerdem muss der Recherche von Referenzen, der Ermittlung ähnlicher Fälle, größere Bedeutung beigemessen werden, da dies der Ausgangspunkt im fallbasierten Entwerfen ist.

### 5.3. Abfrage von Wissen

Neben den in Kapitel 4.4 beschriebenen Recherchestrategien in der Praxis und den in Kapitel 5.2 skizzierten fallbasierten Ansätzen, die über die Recherche hinaus auf Wissensmanagement und das Verwenden von Informationen fokussieren, werden im Folgenden textbasierte und visuelle Abfragestrategien beschrieben. Diese Strategien sind abhängig von der Entwurfsphase, den gegebenen Informationen und der Herangehensweise des Entwerfers. Beispielsweise textliche, visuelle oder skizzenhafte Darstellungen fokussieren auf verschiedene Teilaspekte des Entwurfes. Ist zum Beispiel vom Bauherrn ein detailliertes Raumprogramm vorgegeben, kann ein raumbuch-orientierter Ansatz hilfreich sein.

Gessmann [98] untersucht einen raumbuch-orientierten Ansatz zur Beschreibung von Bauteilen für die Bestandsaufnahme von Gebäuden und die Detaillierung der Informationen mit digitalen semantischen Gebäudemodellen über IFC-Schnittstellen. Fokussiert wird auf die lebenszyklusübergreifende Auswertung und Weiterverarbeitung der Information.

Göttig [99] beschreibt Anforderungen an ein CMS (Content Management System) zur Speicherung, Verwaltung, Indizierung und die anschließende Suche von digitalen semantischen Gebäudemodellen basierend auf den IFC (Industry Foundation Classes). Das CMS wird als 'intelligentes Archiv' bezeichnet und orientiert sich an den Leistungsphasen der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure).

An der Bauhaus-Universität Weimar wurden an der Professur Informatik in der Architektur und der Professur Entwerfen und Wohnungsbau einzelne HTML-Seiten als Rechercheportal 'Innovative Wohnbauaspekte' [5] erstellt. Neben klassischen Kategorien (Architekt, Projektname, Land, Ort, Baujahr) sind jedem Gebäude für die Suche ein oder mehrere sogenannte Innovationskriterien zugeordnet. Die Innovationskriterien (Haustypologie, Erschließungstypologie, Wohnungstypologie, Konstruktion, Fassade, Innenraum, Privater Außenraum, Nutzung) sind eine subjektive unvollständige Taxonomie des Wohnungsbaus.

Die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und die Technische Universität Kaiserslautern haben im Projekt 'Architektur-Google' [11] Geometrie, Größe und Lagebeziehung von 1000 Wohnungsgrundrissen für eine textbasierte Suche in Wörter und Sätze übersetzt, um eine Google-Suche zu ermöglichen. Laut Hovestadt ist eine Google-Suche sinnvoller als die in geordneten Kategorien: „[...] Google konnte nur so wichtig werden, weil die inhaltliche Bewertung auf der expliziten Ebene des Textes [...]“ [11] S. 230 unterlaufen wird. Beim ursprünglichen Page-Rank-Verfahren von Google wird mit Wörtern oder Wortkombinationen gesucht und häufiger verlinkte Webseiten werden in der Ergebnisliste besser platziert. Mit der Einführung von 'Google Hummingbird' wird laut Google seit 2013 auch die Satzsemantik analysiert und so die Interpretation von Eingaben in natürlicher Sprache erleichtert.

Im informationstechnischen Sinne ist das Abfragen von Wissen nicht möglich. Der Nutzer formuliert eine Fragestellung, gibt diese als Text, Tabelle oder Zeichnung ein und erhält Informationen, die in einem Kontext angewendet werden. Die formulierte Fragestellung wird mit Hilfe einer Softwareanwendung formalisiert und ein Informationssystem abgefragt. Beim Formalisieren wird die Fragestellung computerlesbar in eine formale Anfragesprache übersetzt und auf eine Datenbasis zugegriffen.

Es gibt zahlreiche Technologien, um Anfragen auszuführen. Beispielsweise werden SQL-Anfragen für relationale Datenbanken verwendet. Für Graphen können die SQL

ähnliche Anfragesprache GraphQL beziehungsweise Cypher oder SPARQL (SPARQL Protocol And RDF Query Language) verwendet werden. Für datei- oder serverbasierte (BIM-Server oder Produktmodellserver) Anfragen von Gebäudemodellen kann BIMQL verwendet werden: "[...] Produktmodellserver erlauben zwar in der Regel dem Nutzer, Anfragen zu stellen, um einen Teil des Gesamtmodells zu extrahieren, allerdings beschränkt sich die dabei im Konditionalteil der Anfrage einsetzbaren Prädikate auf einfache numerische Vergleiche. Räumliche Anfragen, also Anfragen, die sich auf die Geometrie der Bauteile und ihre räumlichen Beziehungen beziehen, sind damit nicht möglich." [100] S. 33–34.

QL4BIM ist aktuell Forschungsgegenstand, um diese Hindernisse zu überwinden und sowohl semantische als auch geometrische Daten objektorientiert abfragen zu können. Die entsprechende geometrische Anfragesprache wurde von Borrmann [101] untersucht und von Daum et al. [102] für semantische Gebäudefingerabdrucke erweitert. Mit einem Octree-Verfahren werden topologische Analysen auf geometrischen Datenmodellen durchgeführt und Partialmodelle abgeleitet. Das Forschungsprojekt „Definition und Umsetzung einer raumzeitlichen Anfragesprache für die computergestützte Prüfung und Analyse von 4D-Bauwerkmodellen“ hat Sachverhalte, wie Türen und eventuelle Konflikte mit anderen Bauteilen des Bauwerksmodells, untersucht. Eine Anfragesprache für die Terminplanung mit digitalen semantischen Gebäudemodellen, basierend auf den IFC, wurde von Tulke [103] an der Bauhaus-Universität Weimar erarbeitet.

Da jede Anfragesprache eine eigene Syntax besitzt, die meist textlich formuliert wird, sind für die Nutzung detaillierte Kenntnisse der Sprache notwendig. Für Architekten ohne Programmierkenntnisse stellt bereits die Beschreibungslogik von textbasierten Anfragesprachen eine Herausforderung dar. Durch Abstrahieren und grafische Repräsentation der Sprachelemente, bspw. bei Würfling et al. [104], können Nutzer mit Fachwissen komplexere Anfragen formulieren. Unabhängig vom Anwendungskontext können bspw. visuell mit dem 'jsmaker' [105] Anfragen konfiguriert oder textuell mit der Postman-Erweiterung [106] für den Browser Google Chrome REST-Anfragen formuliert werden.

Anfragesprachen abstrahieren u.a. die Informationen und können mit mehr oder weniger Informationsverlusten ineinander übersetzt werden. Die Abstraktionen können aus Schlagworten oder visuellen Bausteinen abgeleitet werden oder auch durch die computerbasierte Interpretation von Freihandzeichnungen. Dies kann als visuelle Anfragesprache bezeichnet werden, da für einen Anwendungskontext die Formulierung der Anfrage auf einer höheren Abstraktionsebene gekapselt wird, damit ein Domänenexperte komplexe Anfragen an ein Computersystem stellen kann. Juchmes et al. [49] S. 2 unterscheidet verschiedene Kategorien von Zeichenwerkzeugen:

- reine Zeichenwerkzeuge für Vektor- und Pixelprogramme
- Kommunikationswerkzeuge
- Modellierwerkzeuge
- Anfragewerkzeuge

In den frühen Entwurfsphasen werden häufig Freihandzeichenwerkzeuge eingesetzt, da so schnell fragmentarische Gedanken externalisiert werden können, die das Entwerfen unterstützen. Das reine Zeichenwerkzeug Sketchpad [107] wurde 1963 von Ivan Sutherland am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelt und gilt als Pionierarbeit im Bereich der skizzenbasierten Mensch-Maschine-Interaktion sowie

allgemein der Computergrafik. Mit einem stiftähnlichen Zeigergerät konnte auf einem Röhrenmonitor gezeichnet werden. Sutherland [27] S. 510 fasst den Nutzen von Sketchpad in vier Punkten zusammen:

- Speichern und Aktualisieren von Zeichnungen
- Wissenschaftliches oder technisches Verständnis von graphisch beschriebenen Sachverhalten
- topologische Eingaben für Netzwerksimulationen oder Schaltkreise
- Zeichnungen und Zeichnungselemente kopieren und weiterverwenden

Das Projekt 'Flatland' [108] ist ein Kommunikationswerkzeug um 2D-Zeichnungen und Berechnungen auf einem Büro-Whiteboard anzufertigen. Stiftbasierte Modellierwerkzeuge für 2D-Zeichnungen und 3D-Modelle sind bei Eggli et al. [109] und, kombiniert mit objektbasierter Interaktion, bei Cutler et al. [110] beschrieben. Modellierwerkzeuge für 3D-Modelle sind 'VR Sketchpad' [111], 'SketchPad+' [112], 'Teddy' [113] und EsQUIsE [114] & [49].

Neben 2D-Zeichenwerkzeugen und Modellierwerkzeugen können grafische Darstellungen als Anfragewerkzeuge für Informationssysteme verwendet werden. Im Projekt 'Spatial-query-by-sketch' [115] wurden Handzeichnungen analysiert, um ein geographisches Informationssystem anzufragen. Dazu wurde eine visuelle Anfragesprache definiert und die wichtigen und unwichtigen Kriterien der Skizze herausgestellt.

Die Methoden von 'Teddy' [113] wurden von der 'Shape Retrieval and Analysis Group' für die Suche nach 3D-Modellen [116] übertragen, um mit einer kombinierten Suchanfrage aus Schlagworten und mehreren 2D-Skizzen das gesuchte 3D-Modell zu erhalten. Ein ähnliches Projekt, basierend auf dem Vergleich von Voxeln, findet sich bei Bian et al. [117].

Im Projekt 'The Electronic Cocktail Napkin' [42] wurde eine computerbasierte Zeichenumgebung entwickelt, um konzeptionelles Entwerfen mit Diagrammen und schematischen Abstraktionen zu ermöglichen. Aus der schematischen Handzeichnung wurden räumliche Relationen und Regeln für Simulationen oder auch Suchanfragen abgeleitet und mit dem fallbasierten System System Archie [118] von der Georgia Tech kombiniert.

Im Forschungsprojekt Probado3D [119] werden Methoden zur Akquisition, Beschreibung, Suche, Auslieferung und Speicherung von multimedialen Dokumenten untersucht. Neben Suchanfragen mit 3D-Modellen ist eine grafische Anfrage mit dem Ansatz des 'Princeton Shape Benchmark' [120] möglich. Außerdem ist basierend auf einem erzeugten 'Room Connectivity Graph' [121] mit erkannten Geschossen und den enthaltenen Räumen mit Türen und Fenstern eine topologische Suche [122] S. 2 anhand der Durchwegung der Räume mit einer schematischen Eingabe auf einer web-basierten Nutzeroberfläche umgesetzt.

Zusammenfassend finden sich Ansätze für 3D-Modelle bei [110] & [123] & [116] & [112], die auf die Darstellung oder Simulation von Gebäuden abzielen. Bei den sogenannten Kommunikationswerkzeugen werden Freihandskizzen vom Computer interpretiert [113] & [109] & [124] & [27] und Formen und Relationen erkannt. Im Gegensatz zu den Kommunikationswerkzeugen wird mit Anfragewerkzeugen [122] & [37] & [116] & [125] Information zur Anfrage eines Datenbestandes abgeleitet.

Zur Anfrage von Datenbeständen ist die strukturierte Formalisierung der Information essentiell, jedoch kann sich die Nutzung der Information unterscheiden. Bei den unterstützenden Ansätzen des fallbasierten Entwerfens (Kapitel 5.2) ist die Fallbasis der Recherchedatenbestand und bei den generierenden Ansätzen sind es die Basisdaten zur Ableitung von Regeln. Die Information bildet die Basis für Entwurfsvarianten, ob manuell, halbautomatisch oder automatisch erzeugt. Im Gegensatz dazu werden im folgenden Kapitel regelbasierte Ansätze des Wissensmanagements beschrieben.

## 5.4. Formalisieren von Wissen mit Regeln

Der Unterschied zwischen fallbasierten und regelbasierten Ansätzen ist der Umgang mit den Informationen. Bei fallbasierten Ansätzen werden Algorithmen/ Regeln definiert, wie die Informationen formalisiert, gefunden und angewendet werden, um so automatisch die Datenbasis aufzubauen und zu nutzen. Bei regelbasierten Ansätzen wird die Datenbasis vom Nutzer aufgebaut und Algorithmen/ Regeln werden definiert, um die Informationen zu suchen und zu nutzen, bspw. zum Generieren von Grundrissen.

In der Dissertation 'Wissensbasierter Architektorentwurf' [126] werden aus der Analyse des Entwurfsprozesses Strategien für Entwurfsassistenten, Entwurfsautomaten und Datenhaltungskonzepte für den wissensbasierten Entwurf von Gebäuden abgeleitet. Fleming schlägt eine generative Entwurfsmethode für Grundrisse vor, die auf den topologischen und geometrischen Vorgaben des Entwurfsproblems basiert. In der Softwareanwendung 'DIS' [127] werden die topologischen Eigenschaften als Graph repräsentiert und eine Lösungsmenge generiert, die mit Hilfe der geometrischen Vorgaben dimensioniert wird.

Bei 'Alberti' [128] & [51] S. 291–294 werden die Anforderungen des Bauherrn in eine Excel-Tabelle als Raumprogramm eingetragen und in das System übernommen. Dort werden die Beziehungen zwischen Gebäuden, Geschossen, Geschossbereichen, Räumen und übrigen Flächen in eine Matrix (Abbildung 17, links) eingetragen und Eingangsparameter, wie die bevorzugte Himmelsrichtung, Benachbarung oder Durchwegung, mit Prioritäten versehen. Räumen werden Standardwerte (Abbildung 17, rechts) zugeordnet und später detailliert.

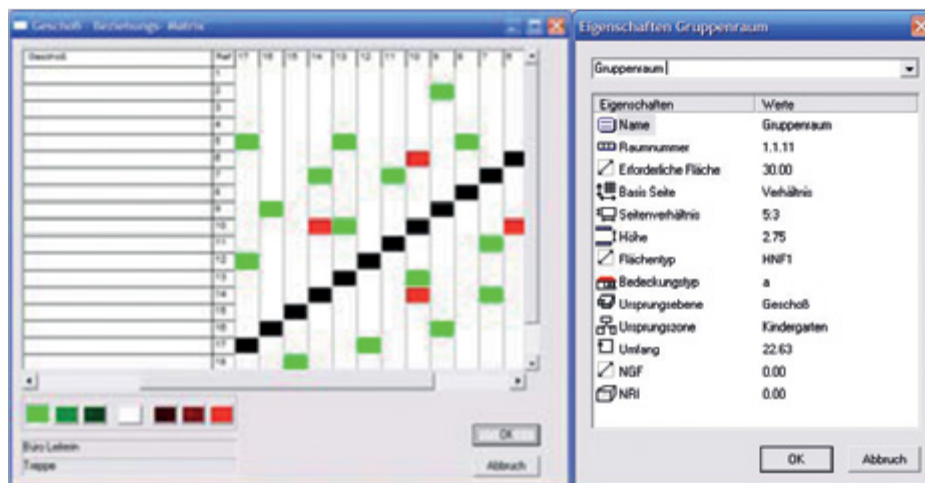


Abbildung 17 - Nutzerschnittstelle für die Eingabe bei 'Alberti' [51] S. 292

Aus den Angaben können eine grafische Darstellung als sogenannter Organisationsplan (Abbildung 18, links) oder ein Blasendiagramm (Abbildung 18, rechts) erstellt

werden und so graphisch überprüft und modifiziert werden. Die Anordnung der Räume kann durch den Nutzer per Drag & Drop oder durch einen Layout-Automaten erfolgen. Außerdem lassen sich die topologischen Abhängigkeiten anpassen. Anhand der eingegebenen Parameter, wie bspw. der Seitenverhältnisse oder Relationen der Räume kann automatisch ein Grundrisslayout generiert werden.

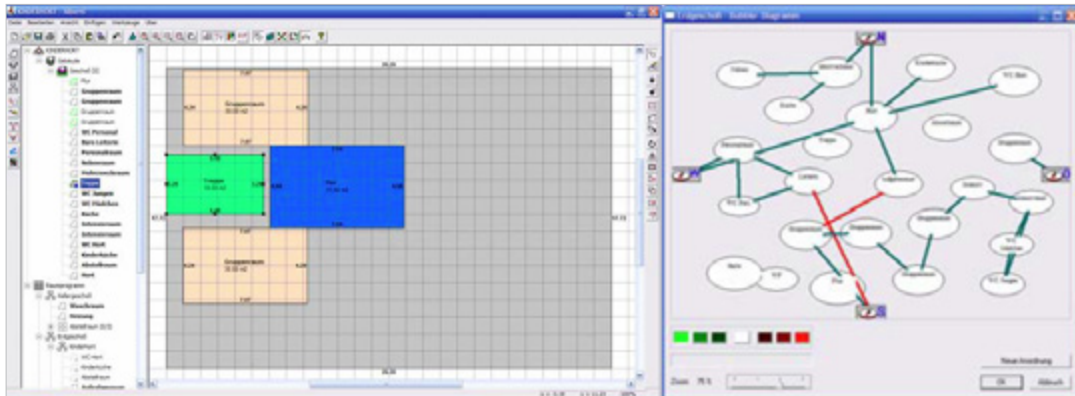


Abbildung 18 - Nutzerschnittstelle für die Darstellung bei 'Alberti [51] S. 294

FUNPLAN [24] wurde im Rahmen der Dissertation von Frank Steinmann zur Entwurfsunterstützung entwickelt und ermöglicht die Eingabe der funktionalen Spezifikation des Bauwerkes als Blasendiagramm und die Formalisierung in Graphen. Die Knoten repräsentieren räumlich-strukturelle Einheiten und die Kanten deren Relationen [24] S. 118. 'FUNPLAN' (Abbildung 19) ist eine von mehreren Softwarekomponenten des Gesamtkonzeptes 'PREPLAN', um topologische Relationen einzugeben.

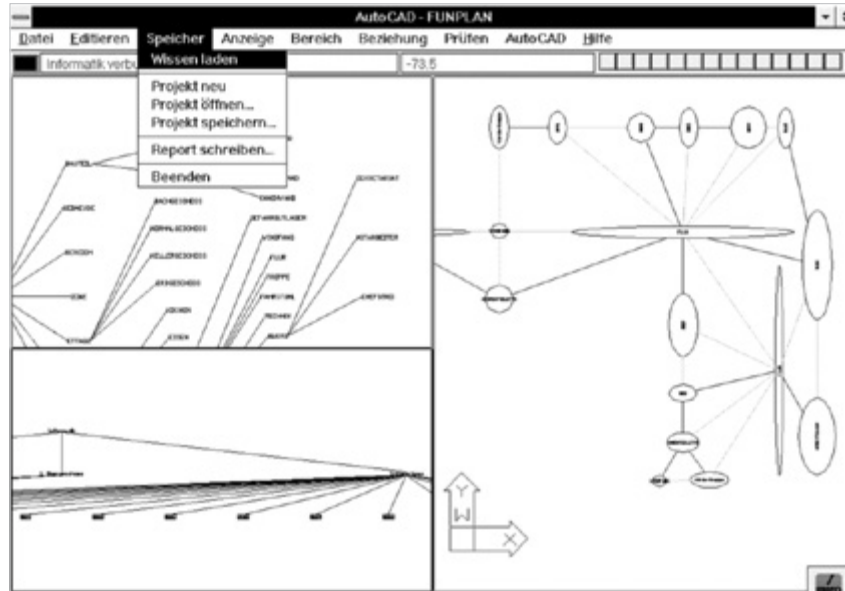


Abbildung 19 - Benutzeroberfläche von 'FUNPLAN' in Autocad [24] S. 115.

Liebich, Flemming, Moelle und Steinmann beschreiben Ansätze zur Formalisierung von Entwurfsanforderungen, um so räumliche Anordnungen nach Regeln zu generieren. Die Formalisierungen sind Graphen ähnlich, jedoch finden sich bei Steadman [48] (siehe Kapitel 6.4) und Suter [129] detailliertere Betrachtungen und konkrete modellhafte Beschreibungen. Jedoch kann eine Software, die wie ein Entwerfer handeln soll, dies jedoch nur in einer "highly restricted situation, a narrowly defined chunk of a design process, where the design world employed by designers can feasibly be assumed as given and fixed" [130].

In einem begrenzten Rahmen können computerbasierte Methoden punktuell im Entwurfsprozess eine von Hand nicht erzeugbare Anzahl an Varianten nach Regeln generieren und bewerten, vergleichbar mit den Entwurfstrichtern bei Laseau [43]. Steadman [9] S. 197–220 nennt den Variantenraum 'Architectural morphospace' und schlägt genetische Algorithmen und evolutionäre Suchmechanismen sowie graphenbasierte Ansätze [48] zur Formulierung der Eingangsparameter und Änderungsregeln vor. Kotulski et al. [131] schlagen die Nutzung von Graphgrammatiken für als Hypergraph formalisierte Gebäude vor.

## 5.5. Schlussfolgerung

In fallbasierten Systemen für Entwurfsinformation kann der eigentliche Entwurfsprozess nicht abgebildet werden, da man Erfahrung beim Entwerfen nur durch eigene Entwürfe sammeln kann [84] S. 63. Laut Heylighen wurde das angenommene kognitive Modell des Entwerfens meist unreflektiert auf den Computer übertragen und führte nicht zu dem gewünschten Ergebnis. Da es aktuell kein bestätigtes kognitives Modell des Entwerfens gibt, ist der Entwurfsprozess nur unvollständig beschreibbar und daher nur unvollständig formalisierbar.

Die „[...] dreiteilige Struktur einer Fallbeschreibung, bestehend aus den Komponenten Problem, Lösung und Ergebnis [...]“ [5] S. 188–189 ist nicht umsetzbar, da meist die Komponenten Problem und Ergebnis nicht vorliegen. Dieses Wissensakquisitionsproblem hat sich im Laufe der FBS-Forschung herauskristallisiert und schließt die Anwendung von klassischem FBS im Bereich der Architektur aus [5] S. 191. Um dem Problem zu begegnen, verfolgten die FBS-Prototypen FABEL und SEED einen gemischt regelbasierten und fallbasierten Ansatz [84] S. 65.

Die Nutzung von Datenbeständen mit Entwurfsinformation für das fallbasierte Schließen (CBR) haben die Erwartungen nicht erfüllt [84] und ein maßgeblicher Durchbruch wurde nicht erzielt [97]. Laut Heylighen und Richter ist die Fallrepräsentation, die im klassischen Ansatz des CBR durch maschinelles Lernen (bspw. der Programmbibliothek TensorFlow [132]) erfolgen sollte, der sogenannte Flaschenhals des Ansatzes.

Außerdem sind bei zahlreichen Ansätzen für die frühen Entwurfsphasen präzise textliche Eingabe (wie bei den CBR-Prototypen Archie-II, Precedents, SEED, SL\_CB, MO-NEO oder CBA) sowie tabellarische Eingaben bei Moelle [51] notwendig. Graphische Eingabe werden mit den CBR-Prototypen CADRE, FABEL, IDIOM, TRACE oder CaseBook sowie bei Steinmann [24] und Moelle [51] untersucht.

„Ein Wissensbasiertes System kann nur dann unterstützend im Planungsprozess eingesetzt werden, wenn die Regeln dieses Prozesses transparent gemacht werden und die Systeme vom Architekten selbstständig bedient und gepflegt werden können. Da viele Architekten diese Transparenz scheuen, kann die Integration der Systeme in den Planungsprozess im Grunde genommen nur nach subjektiven Kriterien erfolgen.“ [80] S. 75.

Darüber hinaus muss die heute einseitig an Sprache orientierte Wissensorganisation kritisch beurteilt werden und die visuelle Komponente in kognitiven Vorgängen als Bestandteil des Wissens verstanden werden. "Einige Untersuchungen belegen, dass die räumliche Anordnung von Objekten bildhaft-isomorph als Vorstellung abgerufen werden kann, so dass Distanz- und Raumverhältnisse der externen Objekte abgelesen werden können." [133] S. 73.



Neben der nicht ausreichend unterstützten grafischen Arbeitsweise durch das Fokussieren auf tabellarische oder textliche Eingabestrategien für räumliche Information, wird nicht ausreichend zwischen den vagen und meist unvollständigen ersten Entwurfsideen und den Beschreibungen als Endprodukt des Entwurfsprozesses unterschieden. Buxton [29] S. 388–389 bezeichnet das als Skizze und Prototyp. Abstrakten, vagen, wenig verbindlichen Zeichnungen [42] S. 54 wurde zu wenig Beachtung geschenkt.

Die zu geringe Beachtung menschlicher Denk- und Arbeitsprozesse ist mit einer Überschätzung der Möglichkeiten digitaler Technologie einhergegangen. Die Vision autonomer selbstentwerfender Computersysteme kann heute als obsolet bezeichnet werden. Bereits 1983 sind zwei Ansätze untersucht worden, die auf dem sogenannten Geometriegraphen und dem Benachbarungsgraphen für das automatische Generieren von Gebäuden basieren (Abbildung 20). Zum einen das Hinzufügen von Knoten in den Benachbarungsgraphen und zum anderen die Veränderung des Geometriegraphen bei Erhaltung der nachbarschaftlichen Relationen.

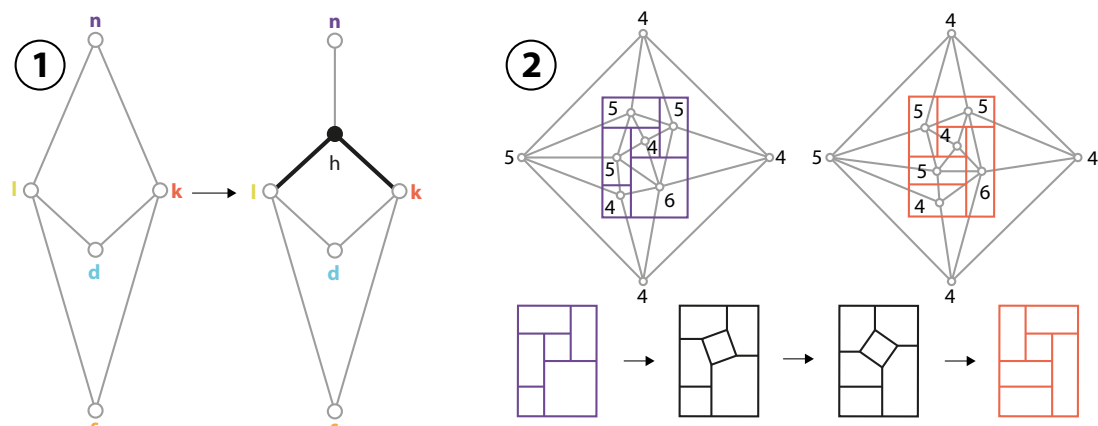


Abbildung 20 - Bei Ansatz 1 wird ein Knoten (h) hinzugefügt [48] S. 73 und bei Ansatz 2 bleibt die Topologie gleich (siehe Kantenanzahl) und die Geometrie wird geändert [48] S. 102.

Die Idee war, formalisierte räumliche Konfiguration nach Regeln zu verändern, um verschiedene Varianten der räumlichen Konfiguration zu erhalten. So sollten bspw. basierend auf existierenden Grundrissen neue Grundrisse nach in Regeln definierten Anforderungen generiert werden. Aus heutiger Sicht können Ansätze zur Variantenbildung/ Generierung hauptsächlich zur Bewertung von räumlichen Konfigurationen eingesetzt werden. Das Formalisieren topologischer Eigenschaften von räumlichen Konfigurationen in Graphen, also der mathematischen Beschreibung der Relationen von Objekten, ist häufig in der Literatur beschrieben.

Bei Baybars et al. [134] S. 309 werden Grundrisse systematisch in Graphen abstrahiert und daraus Varianten erzeugt, bewertet und verworfen. Graphen sind die Datenbasis, auf die Regeln als Algorithmus angewendet werden. Die Regeln werden automatisch oder manuell von einem Kontrollsystem ausgewählt und die Funktionsweise mit Parametern gesteuert. König et al. [135] und Donath et al. [136] haben so bspw. evolutionäre Algorithmen für die Erzeugung von städtebaulichen Strukturen untersucht. Eine Übersicht über generierende Ansätze findet sich bei Rottke [137].

Der Unterschied zwischen fallbasierten und regelbasierten Ansätzen besteht in der Formalisierung der Anforderungen. Bei regelbasierten Ansätzen werden die Anforderungen explizit formalisiert und bei fallbasierten Ansätzen werden die Anforderungen aus den Fällen, also den Beispielen oder Referenzen verwendet. Daher hat die Qualität der Referenz, ebenso wie bei der traditionellen Arbeit mit Referenzen, entscheidenden Einfluss auf den Prozess des Entwerfens. Im Folgenden werden Ansätze zur Formalisierung von Gebäudeinformationen beschrieben.

## **6. Formale Beschreibung von Bauwerksinformation**

### **6.1. Einführung**

Zur Abfrage von Informationen können Konzepte zum Formalisieren, wie Attribut-Wert-Repräsentationen, objektorientierte Modelle sowie Graphen und Bäume, eingesetzt werden. Im fallbasierten Schließen wird zwischen textuellen, dialogbasierten und strukturellen Ansätzen unterschieden [138] S. 21. Ausgehend von den Recherchestrategien für Referenzen (Kapitel 5.3) werden im Folgenden textuelle und strukturelle Ansätze beschrieben. Riesbeck formuliert die Anforderungen an fallbasierte Systeme wie folgt:

“It is the job of the case-based reasoner to have a library of cases; a method of storing new cases that allows them to found again when needed; an indexing scheme that reflects processing that has gone on while a case was initially considered; a method of partial matching that allows new cases to be considered in terms of similar ones; and, a method of adaptation that allows information garnered from one case to be applied to another.” [82] S. 24.

Diese fünfte Anforderung von Riesbeck, die Methode für die Anpassung des alten Falls auf den neuen, findet aufgrund des Fokus der vorliegenden Arbeit auf analytische Aufgaben im fallbasierten Schließen keine Betrachtung. Bei analytischen Aufgaben fokussiert die Forschung auf die Wissensrepräsentation und Wissensakquisition und „[...] versucht häufig Verfahren zur Verfügung zu stellen, die Übergänge hinsichtlich beider Dimensionen unterstützt: von weniger formalem Wissen zu formalem Wissen, von individuellen Wissensstrukturen zur geteiltem Wissen.“ [18] S. 134.

In Abbildung 21 sind verschiedene Beschreibungsansätze für Sachverhalte zur Konzeptionalisierung von Wissen dargestellt. Ontologien werden als mächtigster Ansatz in Bezug auf Geltungsbereich und Formalisierungsgrad bezeichnet. "Die Ontologie - die Lehre vom Seienden - sucht als Disziplin der Philosophie seit jeher nach Möglichkeiten, die Grundstrukturen der Realität korrekt und allgemeingültig zu beschreiben." [18] S. 64.

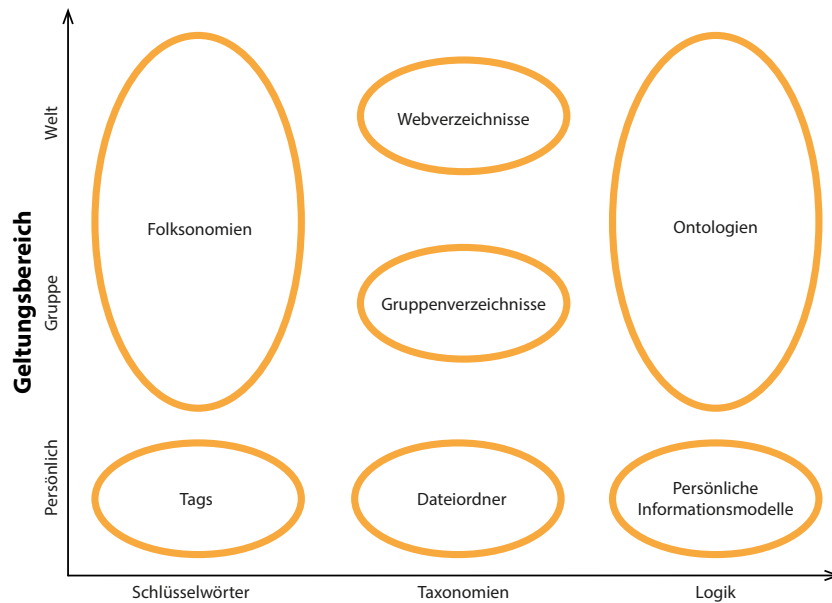


Abbildung 21 - Beispiele für Konzeptualisierungen mit unterschiedlichem Formalisierungsgrad und Geltungsbereich [18] S. 135.

Ontologien sind ein Ansatz, der in verschiedenen Disziplinen Anwendung findet, jedoch in der Informatik zur Formalisierung von Informationen angewendet wird und keine Technologie wie FOAF, RDF oder Dublin Core zwangsläufig bedingt. Nach Gruber [139] ist eine Ontologie die Spezifikation einer expliziten Beschreibung, abgeleitet von abstrakten Konzepten für Wissen eines bestimmten Anwendungsbereiches: „A conceptualization is an abstract, simplified view of the world that we wish to represent for some purpose. Every knowledge base, knowledge-based system, or knowledge-level agent is committed to some conceptualization, explicitly or implicitly. An ontology is an explicit specification of a conceptualization.“ [139] S. 199.

In der Informatik werden Ontologien eingesetzt "[...] , wenn Daten- und Informationsbestände von mehreren Teilnehmern mit unterschiedlichem Wissen und Fähigkeiten benutzt und verändert werden. Ontologien stellen dabei Domänenwissen so dar, dass es wiederverwendbar wird und, als gemeinsam akzeptiertes Begriffslexikon, von unterschiedlichen Benutzergruppen in Anspruch genommen werden kann.“ [18] S. 66.

Ansätze zur Übertragung von ontologischem Wissen bspw. aus IFC-Datenmodellen in andere Formalisierungen werden von Grusel et al. [140] für die Bewertung von Gebäuden untersucht. "IFC model architecture holds the ontological knowledge at its highest level, in the IFC Domain layer, which provides a set of modules tailored for specific AEC domains such as IfcArchitecture, IfcFacilitiesMngm, IfcHVACDomain etc." [140] S. 488. Ontologien und digitale semantische Gebäudemodelle werden für die Repräsentation von Gebäudeinformation eingesetzt. Für modellbasiertes Wissensmanagement wird zum Beispiel von Katranuschkov et al. [141] ein ontologiebasiertes Framework zum Formalisieren der Informationen vorgeschlagen. Sowohl Ontologien als auch semantische Gebäudeinformationen können in Graphen formalisiert und verarbeitet werden. Im Folgenden werden Ansätze digitaler semantischer Modelle und Graphen beschrieben.

## 6.2. Beschreibungssprachen für semantische Gebäudeinformationen

In digitalen semantischen Gebäudemodellen kann Bauwerksinformation für verschiedene Fachbereiche formalisieren werden, jedoch handelt es sich nicht um eine domänenspezifische Ontologie im klassischen Sinne, obwohl ontologiebasierte Ansätze darauf angewendet werden können. Die IFC werden von Yang et al. [142] S. 1100 als implizite Ontologie bezeichnet. „The syntax alone does not define the language however - we also need to be concerned with semantics. Semantics deals with the meaning of well formed syntax.“ [44] S. 127. Standard-Softwarewerkzeuge für Ontologien sind bspw. Open Cyc oder DOLCE.

Standard-Modellierungssprachen sind unter anderem UML (Unified Modeling Language) sowie ältere Sprachen wie EXPRESS und EXPRESS-G für den ISO Standard STEP zum Austausch von Produktmodellen (zum Beispiel IFC-Datenmodell). Für die IFC wird von buildingSMART [17] ein STEP (ISO 10303-225:1999) und XML-Datenmodell gepflegt. Eine Übersicht über semantische Technologien im Bauwesen findet sich bei Abanda et al. [143].

Ziel digitaler semantischer Gebäudemodelle ist die Unterstützung verschiedener Anwendungsfälle, wie für die Organisation von Baustellen [144], die Termin- [145], Kostenplanung [103] & [146] oder die Evaluierung von Entwurfsentscheidungen und des Energieverbrauchs [147]. Dabei kommt dem Austausch der Information [148] zwischen verschiedenen Anwendungsfällen und deren Beteiligten eine besondere Bedeutung zu.

Dazu sind Datenmodelle notwendig, die Objekte (wie Gebäudeteile, Abläufe oder Termine) aus der entworfenen oder gebauten Umgebung abbilden. Da es sich dabei um vereinbarte gemeinsame digitale Repräsentationen der wirklichen Welt handelt, findet sich in Abbildung 22 eine Gebäudegliederung von Richter [149], die mit den IFC-Entitäten, IfcSite, IfcBuilding, IfcBuildingStorey oder IfcSpace, nur unvollständig abgebildet werden können. Für eine übereinstimmende Granularität kann mit der Entität IfcZone die Entität IfcSpace zur Zusammenfassung von Räumen oder zur Definition von Teilräumen weiter spezifiziert werden.

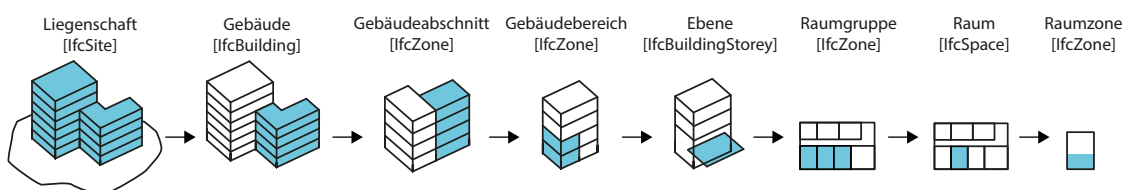


Abbildung 22 - Gebäudegliederung angelehnt an Richter [149] S. 74 & Gessmann [98].

Eine IFC-basierte Technologie für die Verwaltung von digitalen semantischen Gebäudemodellen sind die 'Open IFC Tools' beziehungsweise das 'IFC Tools Project' [150] & [151]. Instanziierte IFC-Gebäudemodelle müssen zur Verarbeitung erst an eine Programmiersprache gebunden werden [152]. Nour et al. [153] beschreibt einen Ansatz aus einem Schema, Klassen für verschiedene Programmiersprachen abzuleiten.

Für das gemeinsame Arbeiten an einem Gebäudemodell werden Modellserver eingesetzt. An der Technischen Universität Eindhoven wurde der IFC-basierte 'Open-Source BIM-Server' [154] entwickelt, um mehrere Modelle zu verwalten, Teilmodelle zu erstellen und den Zugriff von verschiedenen Softwareanwendungen auf Objekte be-

ziehungsweise Bauteile zu ermöglichen. Informationen zu kommerziellen Lösungen und dem Stand der Praxis finden sich in Kapitel 4.3.

Zur Steigerung der Interoperabilität und zur Anwendung intelligenter Algorithmen oder Standardwerkzeuge müssten die IFC jedoch laut Beetz et al. [155] S. 90 auf einer Beschreibungslogik basierenden Definition wie OWL (Ontology Web Language) [156] aufbauen. Zur Steigerung der Konsistenz und Verbesserung der Interoperabilität der IFC arbeitet buildingSMART an den IFD (International Framework for Dictionaries) [157] S. 5, dem IDM (Information Delivery Manual) [157] S. 2 und den MVD (Model View Definitions). Diese Ansätze dienen der Pflege der ontologischen Eigenschaft der IFC zur Vereinheitlichung von Begriffen (IFD), der Festlegung von Modellvorschriften (IDM) und der Definition von ontologisch konsistenten Teilmodellen (MVD). Ein allgemeiner Ansatz sind 'Synsets': Diese "[...] enthalten Listen von Wörtern, die in einem bestimmten Kontext gleiche Bedeutung haben." [18] S. 93.

Für die Umsetzung des multimodellbasierten Ansatzes im Mefisto Forschungsprojekt [74] an der Technischen Universität Dresden wird ebenfalls ein Ontologie-Framework eingesetzt. Es wird zwischen der Organisations-, Software-Service-, Visualisierungs- und Informationsprozess-Ontologie sowie der Baukernontologie unterschieden. Diese Ontologien werden mit der Projekt-Kollaborations-Ontologie zusammengefasst. Die Baukernontologie verbindet die verschiedenen Bauwerksmodelle.

Für die Kostenschätzung auf IFC-Basis wurde von Staub-French et al. [158] eine Ontologie entwickelt, um Aktivitäten im Bauablauf (Kosten und Tätigkeiten) zu verbinden. Ein formaler Ansatz für die Modellierung einer Ontologie für architektonische Entwurfsinformation wird von Bhatt et al. [159] auf IFC-Basis erarbeitet. Es wird die Semantik des architektonischen Entwurfes mit räumlicher Modellierung kombiniert und eine qualitative und quantitative räumliche Logik (wie bspw. ob sich zwei Objekte berühren) definiert. Für die Beschreibung wird OWL verwendet. Entitäten werden auf quantitativer Ebene als Merkmal, auf qualitativer Ebene als Relation und auf konzeptueller Ebene als Räume dargestellt.

### **6.3. Datenanalyse und semantische topologische Anreicherung**

Neben der Spezifikation von Modellen und der Nutzung geeigneter Technologien ist die Überführung der formalisierten Information von einem Datenmodell in ein anderes bedeutsam für die Nutzbarkeit der Information. Zum Beispiel unterstützen bestimmte Datenmodelle, je nach Fokus der Spezifikation, einige Teilinformationen nicht ausreichend. So geht bei der Ableitung entweder Information verloren oder sie muss automatisch oder vom Menschen ergänzt werden. Im Folgenden werden entsprechende Analyse- und Annotationsverfahren beschrieben.

So ist beispielsweise die Ableitung von (Teil-)Modellen bestimmter Anwendungsfelder aus digitalen semantischen Gebäudemodellen aktuell nicht in allen Fällen automatisch möglich. Topologische Information ist im IFC-Datenmodell nur implizit und unvollständig formalisierbar. Daher ist die Ableitung und Überführung der topologischen Information in Graphrepräsentationen nur mit manueller Kontrolle und Korrektur möglich.

Beim Ableiten von (Teil-)Modellen mit Information aus digitalen semantischen Gebäudemodellen ist jedoch weniger manueller Aufwand nötig als bei einer nicht-semantischen Datenbasis. Verschiedene Kategorien von Quellen werden im Folgenden aufgeführt und anschließend Projekte zu den Kategorien beschrieben:

- digitale semantische Bauwerksmodelle
- digitale dreidimensionale Bauwerksmodelle
- CAD-Daten als Vektorgrafiken
- Bilder als Rastergrafiken
- Punktwolken

Für digitale semantische Bauwerksmodelle wird im Projekt 'IfcOWL' [155] & [160] ein Ansatz zur Transformation des IFC EXPRESS-Schemas in die Ontology Web Language (OWL) vorgeschlagen, um Standardalgorithmen für OWL zur Anfrage von Bauwerksinformation nutzen zu können. „Using our IfcOWL ontology configuration we can define the subgraph of the required information [...]“ [155] S. 97. Als Technologie schlägt Beetz et al. [161] das RDF (Resource Description Framework) vor. So kann beispielsweise für die Recherche bestimmter Bauwerksinformation ein RDF mit Standtechnologien wie SPARQL angefragt werden, was im IFC-Datenmodell nicht möglich ist.

Für digitale dreidimensionale Bauwerkmodelle werden im Forschungsprojekt 'Probado' Methoden zur Akquisition, Beschreibung, Suche, Auslieferung und Speicherung von multimedialen Dokumenten untersucht und geometrische Attribute in Raumattribute überführt [122]. Mit 'Probado3D' [119] & [162] kann so für 3D-Modelle von Gebäuden halbautomatisch ein Index [163] auf Basis der Geometrie aufgebaut und der 'Room Connectivity Graph' (RCG) [121] erzeugt werden. Der Raumverbindungsgraph repräsentiert auf den Knoten die Räume und die Relationen der Räume untereinander, hier die Durchwegung auf den Kanten. Bei Khalili et al. [164] werden in graphbasierten Datenstrukturen auf den Knoten die Bauteile wie Wände oder Träger und auf den Kanten die etwaigen Verbindungen der Bauteile abgebildet. Ein ähnliches Datenmodell wird bei Markova et al. [165] verwendet, jedoch wird auf den Kanten der Grad der Trennbarkeit der Bauteile für das Wiederverwenden von Gebäuden formalisiert. Demgegenüber zielt der Ansatz von Standfest [166] auf die Ableitung eines nicht-semantischen Graphen ab, um die Ähnlichkeit von 3D-Modellen ermitteln zu können.

Zur semantischen Anreicherung von CAD-Daten als Vektorgrafik gibt es zum Beispiel Lösungen für Autodesk Autocad wie HylasFM [167] oder Autocad Raster Design [168] bzw. Dienstleistern wie Grafex [169]. Zweidimensionale unstrukturierte Punkte, Linien und Flächen werden interpretiert und als Objekte (wie Wände oder Türen) formalisiert. Das Interpretieren ist nach heutigem Stand nicht vollständig automatisch möglich und der Nutzer muss prüfen, korrigieren und selbst interpretieren. Hauptgrund dafür ist das Fehlen einheitlicher Symboliken und Richtlinien für Zeichnungen bzw. Vektorgrafiken von Gebäuden. Meist können nur trainierte Symboliken gefunden werden. Bei las Heras et al. [170] ist ein Ansatz beschrieben, der ohne eine trainierte Datenbasis auskommt. Ein Ansatz zur Interpretation von Vektorgrafiken und der Formalisierung in Graphen findet sich bei Fonseca et al. [125].

Für die Bildanalyse von Grundrissen als Rastergrafik sind Ansätze zur Erkennung der Räume in [171] & [172] & [173] & [174] beschrieben. Tombre et al. [175] haben eine bekannte Methode von Fletcher et al. [176] für das Separieren von Text- und Grafikelementen auf verschiedene Ebenen angepasst. Mit 'Optical Character Recognition' (OCR) können auf der Textebene Informationen zur Benennung der Räume und auf der Grafikebene Linien zu Wänden und Symbolen zusammengefasst werden. Die Arbeiten von Lladós et al. (wie bspw. jene zu handgezeichneten Grundrissen [177]) beschäftigen sich mit dem maschinellen Verstehen von Zeichnungen.

Ansätze für die Analyse existierender Gebäude und zur Erzeugung von topologischen Datenbeständen werden von Tamke et al. [178] für Punktwolken untersucht, die zum Beispiel mit Verfahren der Fotogrammetrie, des Laserscanning oder im 'Project Tango' [179] mit Bewegungs-, und Tiefensensoren gemessen werden können.

Die aufbereiteten Daten aus digitalen semantischen Gebäudemodellen, geometrischen Modellen oder Vektor- und Rastergrafiken können mit einer Extraktionsontologie in Datenmodellen formalisiert und die Topologie der räumlichen Anordnungen als Graph formalisiert werden. „In der Informationsextraktion beschreibt ein Template die zu extrahierende Entitäten anhand ihrer Eigenschaften. Diese Form der Repräsentation ist vergleichbar mit der Modellierung von Ontologien [...]“ [18] S. 220 und wird Extraktionsontologie genannt. Die formale Repräsentation der Extraktionsergebnisse als Metadaten für Recherchen kann als eingebettete, intrinsische und extrinsische Annotation [18] S. 227 in Graphen umgesetzt werden.

#### 6.4. Graphen zur Formalisierung

Die Graphentheorie, als Teilgebiet der Mathematik, die sich mit den strukturellen Eigenschaften von Netzstrukturen beschäftigt, ist eine Möglichkeit Objekte und deren Relation zueinander zu formalisieren (zum Beispiel das Königsbergproblem oder das Traveling Salesman Problem). Bei der Repräsentation räumlicher Konfigurationen [12] S. 23 in Graphen wird typischerweise jedem Knoten ein Raum zugeordnet und die Relation wie Durchwegung [180] S. 26 oder Benachbarung [48] S. 141 auf der Kante abgebildet. Darüber hinaus können weitere Attribute als Eigenschaft der räumlichen Konfiguration an den Knoten und Kanten repräsentiert werden.

In 'Decoding homes and houses' [13] S. 23 wird ein Durchwegungsgraph (siehe Abbildung 23) vorgeschlagen und Ringe bzw. die Anzahl der Zwischenknoten vom Eingang zum Schlafzimmer zur Bestimmung der Privatheit [13] S. 243 der Räume herangezogen.

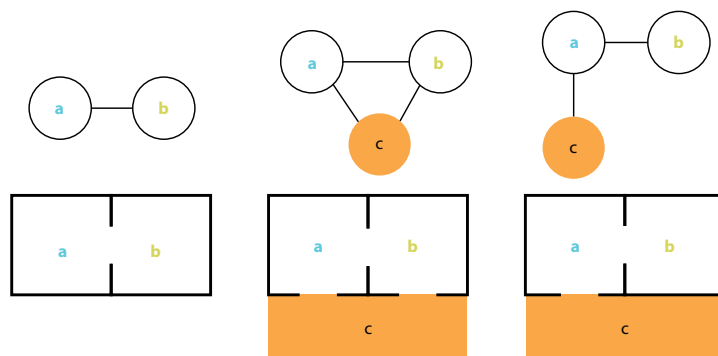


Abbildung 23 - Grundlegende Relationen räumlicher Konfigurationen anlehnend an Hanson [13] S. 23.

Steadman [48] schlägt zwei kombinierte Graphen für die Repräsentation von räumlichen Konfigurationen vor (siehe Abbildung 24). Der 'plan graph' (Geometriegraph) repräsentiert die Geometrie, wobei Knoten die Schnittpunkte von Wänden und Kanten die Wände repräsentieren. Der 'adjacency graph' (Benachbarungsgraph) repräsentiert die räumlichen Beziehungen, wobei die Knoten die Räume und die Kanten die Benachbarung abbildet. In dem 'adjacency graph' werden außerdem die vier Himmelsrichtungen als Knoten repräsentiert.

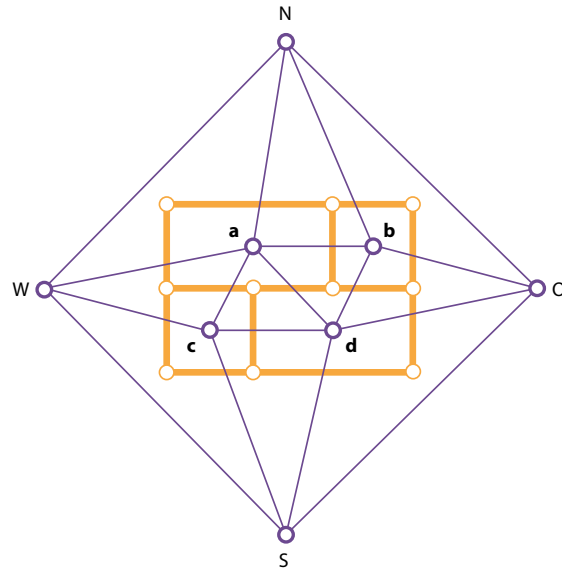


Abbildung 24 - Geometriegraph (orange Linien) und Graph der Benachbarung (violette Linien) inklusive vier Außenbereiche der Himmelsrichtungen anlehnend an [48] S. 66.

Im Gegensatz zu Hanson findet bei Steadman die Durchwegung (durchTüren) keine Betrachtung. Die Knoten für die Himmelsrichtung sind über Kanten mit den entsprechenden Räumen in Relation gesetzt. Die Kanten werden bspw. mit dem Text 'Fenster' bezeichnet und so wird mit diesem sogenannten Kantenlabel die räumliche Konfiguration formalisiert. Zur Reduzierung der Komplexität von Raumgraphen schlägt Steadman [48] die Ableitung von Teilgraphen vor. Die Knoten repräsentieren die Räume und auf den Kanten wird die Benachbarung abgebildet. In Abbildung 25 (rechts) werden zwei abgeleitete Graphen aus dem Gesamtgraph in Abbildung 25 (links) dargestellt, der die Benachbarung je nach Ausrichtung der Wände in Nord-Süd oder West-Ost zeigt. Dieser Ansatz setzt eine rechtwinklige Raumgeometrie voraus.

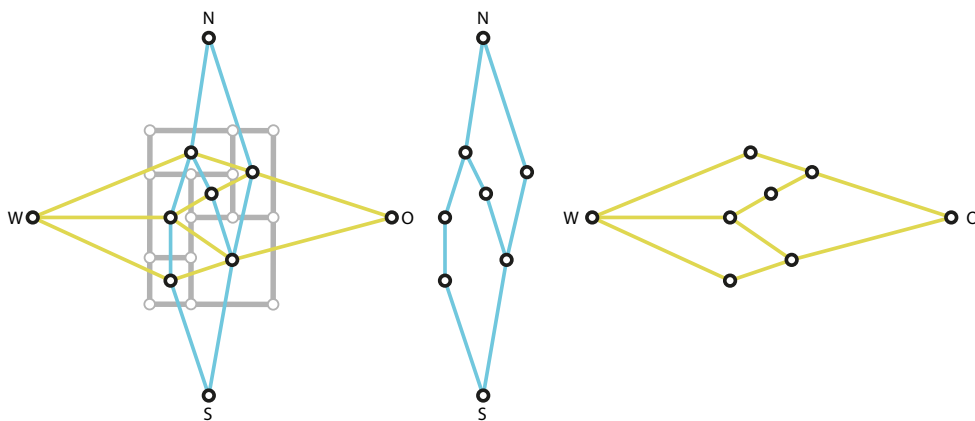


Abbildung 25 - Teilgraphen in N-S Richtung (blaue Linien) und W-O Richtung (grüne Linien) [48] S. 105.

Neben den beschriebenen, sogenannten ungerichteten Graphmodellen in der Architektur verwendet Strug [181] Multigraphen oder bei Lee et al. [182] werden die Laufwege und Lauflängen von Personen in Gebäuden formalisiert. Sichtbarkeitsbeziehungen werden bei Schneider et al. [183] als Graph formalisiert und für Analysen weiterverarbeitet. In Abbildung 26 sind weitere graphbasierte Ansätze in der Architektur dargestellt, deren Information auch auf Analysen und Simulationen basieren.



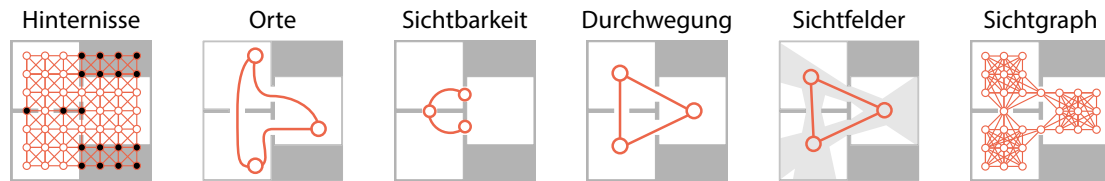


Abbildung 26 - Verschiedene Graphmodelle in der Architektur anlehnend an Franz et al. [184] S. 35.

„In (Rocha et al. 2004) wird eine semantische Suchmaschine beschrieben, die auf Spreading Activation basiert und [...] Berger und Kollegen verbessern den Spreading Activation Prozess, indem er die Verwandtschaft der Begriffe mit einbezieht (Berger et al. 2004). Darüber hinaus gibt es weitere Methoden zur Anfrageverarbeitung hinsichtlich graph-strukturierter Daten, wie bspw. in BLINKS (He et al. 2007), DBXplorer (Agrawal et al. 2002), oder XSearch (Cohen et al. 2003) beschrieben. Einige Ansätze basieren auf der Anwendung vordefinierter Anfrageschablonen, wie in (Lei et al. 2006) und (Sacaleanu et al. 2008) dargestellt wird [...]“ [18] S. 256.

Zusammenfassend konzentrieren sich die Ansätze von Hillier [12] vorwiegend auf städtebauliche Strukturen sowie bei Wessel et al. [121] auf dreidimensionale räumliche Anordnungen. Bei Franz et al. [184] und Hillier oder auch Strug [181] wird auf die Analyse von räumlichen Anordnungen abgezielt und Steadman fokussiert sich auf das automatische Generieren von Grundrisslayouts. Graphen können für die Analyse [12] & [13] & [181], als Eingangsparameter für Generierung von räumlichen Konfigurationen [127] & [48] & [24] & [129] oder für Anfragen von Informationssystemen rein geometrisch [125] oder semantisch [37] & [121] verwendet werden.

## 6.5. Ähnlichkeiten für das Wissensmanagement

Im betrachteten Anwendungsfall der Recherche von bereits gebauten oder entworfenen Gebäuden zur Unterstützung des Architekten wird zwangsläufig nicht nach einem bestimmten, identischen Gebäude, sondern nach den Entwurfsansätzen, -ideen und -anforderungen vergleichbarer bzw. ähnlicher Gebäuden gesucht. Daher sind die Ermittlung der Ähnlichkeit und die Darstellung als bspw. gewichtete Liste zwischen der Anfrage und den existierenden Gebäudeentwürfen eine besondere Herausforderung. Die computerbasierte Ermittlung der Ähnlichkeit zwischen einzelnen Informationsobjekten oder einer Gruppe von Informationsobjekten wird als Abgleich von Ontologien, die als Graph formalisiert sind, interpretiert. In Dengel et al. [18] S. 143 werden drei Arten von Informationen für Heuristiken zum Abgleich von Ontologien genannt:

- lexikalische Information
- strukturelle Information
- nutzungsorientierte Information

Werkzeuge für die Ontologie Abbildung/Mapping [18] S. 154 sind die 'Alignment API', 'S-Match' oder 'PROMPT-Suite' aufbauend auf der Ontologie-Entwicklungsumgebung 'Protégé'. Es wird zwischen der Anfrage und der Zuordnung der Ergebnisse (engl. Matching) unterschieden. Die visuelle Ähnlichkeit wird vorwiegend bei der Zuordnung von Anfrage und Ergebnis vermittelt. Der quasi Standard für graphbasierte Anfragen auf 'RDF' und 'Jena'-Regeln ist 'SPARQL'. Echtes Reasoning erlaubt im Gegensatz zu Anfragesprachen eine komplexere Herleitung von Wissen aus Wissensbasen. Für 'RDF' und 'RDFS' sind 'Hornlogik' und 'F-Logik' mit Regeln in 'Jena' möglich. Reasoning

für 'OWL' (Abbildung 27) kann mit der Regelsprache 'Semantic Web Rule Language' (SWRL) umgesetzt werden [18] S. 170–177.

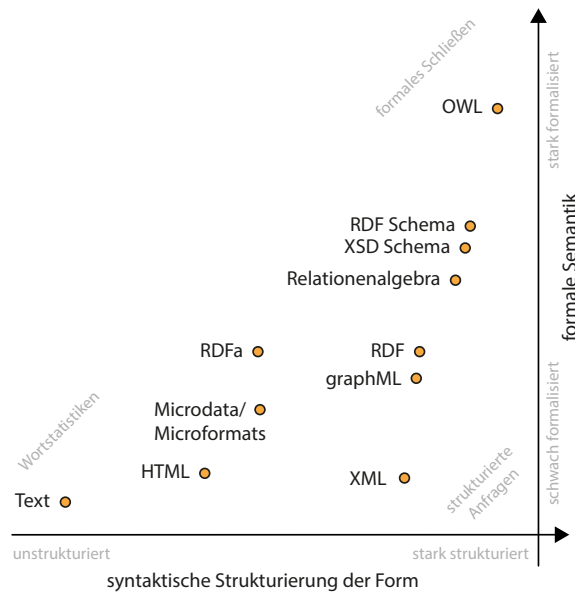


Abbildung 27 - Einordnung gängiger Formate zur Repräsentation von Informationen entlang einer syntaktischen und semantischen Dimension anlehnend an Dengel et al. [18] S. 206.

Entscheidend sind die Regeln, nach denen die heuristischen Verfahren vorgehen. Im Folgenden werden Ansätze aus dem Bereich der Architektur beschrieben. Wie bei der Modellierung von Gebäudeinformation, muss zwischen den geometrie- und den semantikbasierten Ansätzen unterschieden werden. Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird die Verarbeitung semantischer Information als graphentheoretisches Problem der Modellierung und Verarbeitung von Räumen und deren Relationen verstanden. Steadman schlägt zwei verschiedene Modelle für das Formalisieren der Geometrie sowie der Semantik in Graphenstrukturen (siehe Abbildung 24) vor. Für die Analyse der Durchwegung haben Doherty et al. [185] ein räumliches Anfrage- und Analysewerkzeug entwickelt und Hillier [12] die Space Syntax vorwiegend für den städtebaulichen Kontext.

Analysen und Muster in der Architektur sind häufig auch Gegenstand theoretischer Betrachtung über das Entwerfen, die durch den Einsatz von Computern immer präziser getestet werden können [12] S. 1. In 'A Pattern Language' [186] beschreibt Christopher Alexander Muster, die als Anleitung für den Entwurf von Architektur gedacht sind. Er schlägt 253 Muster vor, die jeweils auf verschiedenen Ebenen (Region, Stadt, Stadtquartier, Gebäude, Konstruktion, Ausstattung) Problem, Lösung und Begründung enthalten und verbindet sie mit einer Sprache. Diese Ansätze werden in anderen Disziplinen, wie der Informatik, als Design Patterns für die Softwareentwicklung übertragen.

'Back of an Envelope - BoE' [187] & [188] ist ein System zur Interpretation von Freihandzeichnungen. Die Autoren nennen es eine stiftbasierte oder kalligraphische Benutzerschnittstelle, um die visuelle Ähnlichkeit für Suchanfragen, Simulationen oder Modellierung zu ermitteln. Für Suchanfragen wird ein Index mit Formen und Anordnungen von Formen für die 'The Great Buildings Collection' oder das FBS 'Archie II' erstellt und mit trainierbaren Gesten für die Handschrifterkennung auf Ähnlichkeiten geprüft. Die Frage der Granularität hängt vom Anwendungsfall ab.

Mit 'Covlan' stellt Davies et al. [189] einen Ansatz zur Formalisierung von visueller Information vor, um den Datenbestand abfragen zu können. Yaner et al. [190] beschreibt einen Ansatz aus dem Bereich der Bedingungserfüllungsprobleme (engl.: Constraint-Satisfaction-Problem) zur Ermittlung der visuellen Ähnlichkeit. Im ersten Teil des zweistufigen Prozesses wird der Suchraum durch Ausschluss von Objekten reduziert und im zweiten Teil das Ähnlichkeitsmaß als Subgraphisomorphismus interpretiert.

Die Anwendung von Subgraphmatching in der Architektur findet sich auch bei Wessel et al. [122] und Weber et al. [191]. Bei Börner [192] finden sich theoretische Überlegungen zu Ähnlichkeitsmaße für das FBS Fabel. Ansätze für Ähnlichkeitsmaße basierend auf Eigenwerten finden sich bei Fonseca et al. [125] und Schaffranek [193]. Weitere Ansätze für topologische Ähnlichkeitsermittlung sind Graphmorphologien [48] und Graphersetzungungsverfahren [194], um die notwendigen Änderungen zur Suchanfrage, bspw. als Graphen-Editierdistanzen, zu erhalten.

Außerdem können bspw. 'Anytime'-Algorithmen eingesetzt werden, die auch Zwischenergebnisse liefern und 'Faceted Browsing' bzw. 'Faceted Search'-Strategien angewendet werden. "Faceted Search bzw. Faceted Browsing verknüpft Suchen und Browsen miteinander, indem es dem Benutzer ermöglicht, neben der Eingabe einer Suchanfrage die verfügbaren Informationen anhand von Kategorien, in diesem Fall Facetten genannt, zu filtern." [18] S. 237. Ein semantischer Gebäudefingerabdruck (zum Beispiel der Durchwegung oder Benachbarung) kann als Kategorie oder Facette verstanden werden.

Weitere einschlägige Verfahren zur Ermittlung der Ähnlichkeit sind Editierdistanzen, zum Beispiel für Texte die Levenshtein-Distanz oder die Grapheditierdistanz [195]. Bei diesen Verfahren werden Knoten und Kanten des Anfragegraphen variiert, vergleichbar mit den morphologischen Ansätzen bei Steadman [48] in der Architektur. Aktuelle Verfahren sind Grafil [196] zur Kantenvariation und SAGA [197], bei dem zusätzliche Knoten eingefügt oder gelöscht werden, oder das 'Graph Matching Toolkit' [198]. Häufig genutzte Suchmethoden sind: "[...] tree search, simulated annealing, least squares, relaxation labeling and generalized Hough transform." [199] S. 12.

## 6.6. Schlussfolgerung

Im Folgenden werden Herausforderungen formuliert und mögliche Gründe für die aktuell nur eingeschränkt brauchbaren Ansätze zur Formalisierung, Speicherung, Abfrage und Nutzung von Gebäudedaten beschrieben. Hillier [12] S. 2 nennt zwei hemmende Schwächen der Architekturtheorie des 20. Jahrhunderts. Zum einen ist der überwiegende Teil der Ansätze normativ und weniger analytisch, zum anderen werden Ideen und Konzepte aus anderen Disziplinen übertragen. So können bspw. 'Shape grammars' [14] zum Generieren von geometrischen Formen für Skulpturen oder Gemälde eingesetzt werden, in der Architektur können diese Ansätze jedoch hauptsächlich für Analysen [200] S. 33 verwendet werden, da die Komplexität räumlicher Konfigurationen und die konkrete geometrische Ausprägung so nicht abgebildet werden können.

In 'The Impact of Computer Use on Design Practice' [201] S. 421 werden drei Tendenzen beim Umgang mit Wissen in IT-Infrastrukturen benannt. „First, there appears to be a tendency to undervalue, or fail to recognise knowledge that cannot be made explicit, and thereby potentially represented and manipulated in a computer. If it can't be put on a computer and made to work then it isn't worth knowing: "real life is life on line" (Kling and Iacono 1988). Second, there is a tendency to increase the importance

of quantitative and technical criteria in making decisions. Third, there are tendencies to overestimate the reliability and significance of quantifiable information. This summary is supported by Weizenbaum's (1976) pejorative characterisation of "instrumental reason" [201] S. 421.

Im Gegensatz dazu kritisiert Nadin [202] die poetische Vorstellung des Entwerfens " [...] als eine Art Kopfgeburt [...]" [202] S. 6 und Richter stellt fest, das „Lernen und Schöpfen aus den Erfahrungen anderer ist nicht möglich.“ [5] S. 188–189. Daraus lässt sich folgern, dass verschiedene mentale Modelle eine allgemeingültige Formalisierung von Gebäudeinformation erschweren. Gänshirt kritisiert generell die Vorstellung, dass Gedanken im Computer abgebildet werden können:

„Auch wenn wir über unser Gehirn oft in Metaphern aus der Computerwelt sprechen, handelt es sich beim Computer um ein radikales Gegenbild zum menschlichen Gehirn, das zwar rechnen, das heißt logische Operationen in unvorstellbarer Geschwindigkeit und Präzision durchführen, speichern und reproduzieren kann, aber nicht fähig ist zu denken, sich zu erinnern oder etwas zu verstehen, und daher auch kein Bewusstsein entwickeln kann.“ [22] S. 195.

Zur Formalisierung von Information über den Entwurf in IT-Infrastrukturen sind eindeutige Abstraktionen der Information notwendig. Damit die abstrahierten Informationen wiederum in einem bestimmten Kontext vom Menschen als Wissen genutzt werden können, sind geeignete Recherchestrategien und Darstellungen essentiell. Der Übersetzungsprozess von einem Bild im Kopf zu sprachlichen Ausdrücken resultiert zwangsläufig in Mehrdeutigkeiten [115] S. 63, da dieser Prozess subjektiv mit den Bildern und Ausdrücken im Kopf des Menschen verknüpft ist.

Modellbasierte Ansätze zur Wissensrepräsentation und dem Wissensaustausch, wie die Industry Foundation Classes (IFC), existieren bereits, orientieren sich jedoch an geometriebezogenen Ansätzen und bilden topologische Sachverhalte nur unzureichend ab [30] S. 3426. Beispielsweise ist die Information zur Durchwegung oder Benachbarung zweier Räume nur implizit, also in der Semantik nicht explizit formalisiert, und muss nachträglich in einer nur teilweise automatisierbaren Analyse [37] ermittelt werden. Diese und andere technische Schwierigkeiten sowie u.a. organisatorische Hemmnisse behindern modellbasierte Arbeitsweisen im Bauwesen [203].

Modellbasierte Arbeitsweisen des BIM [3] haben sich aktuell im Jahr 2016 nicht flächendeckend durchgesetzt, da technologische, organisatorische, rechtliche und finanzielle Aspekte ungelöst sind. Aktuelle technologische Herausforderungen der Repräsentation von Gebäudeinformationen in digitalen semantischen Gebäudemodellen sind:

- konsistente eineindeutige Datenstrukturen (Ontologien und Taxonomien)
- Modellierhandbücher für Softwareentwickler und Anwender (Interoperabilität)
- Integration oder Kopplung fachbereichsspezifischer Modellieransätze (für Gewerke und Fachplaner)
- neben Geometrie und Semantik explizite Abbildung topologischer Information (für Energieberechnungen, Analysen und Recherchen)

Zur Umsetzung von Versionierung und Rechtemanagement fehlen im IFC-Datenmodell eindeutige Identifizierungsmerkmale für einfache Objekte wie Geometrie und

Topologie. Objekte höherer semantischer Ebenen haben eindeutige globale Identifizierungsmerkmale (GUID – Globally Unique Identifier), von denen für die Geometrie Identifizierungsmerkmale abgeleitet und als Property Set gespeichert werden könnten. Jedoch geht ohne verbindliche Spezifikation der Formalisierung im IFC-Datenmodell die Interoperabilität verloren.

Eine generelle Einschränkung bei der Modellbildung ist die Tatsache, dass jedes Modell oder jede Taxonomie von Kategorien nur unter bestimmten Voraussetzungen und Kriterien gültig ist. Beispielsweise werden bei Wessel et al. [122] S. 4 verschiedene Flurtypen (*corridor type*, *distributor type*, *loft type*, *hierarchical type* und *chain type*) nach Erschließungstyp der Räume im Geometriemodell vorgeschlagen. Wessel stellt fest: “[...] some of the floors cannot be assigned to a category with absolute certainty, neither by machine nor human classifiers.” [122] S. 4.

Neben menschlichen Hindernissen bei der Formalisierung von Entwurfsinformation ist der Prozess der Planung nur unvollständig beschreibbar und somit unvollständig in Computersystemen formalisierbar. Beispielsweise werden Entwurfsansätze oder -schritte verworfen und nicht in die Datenbasis übernommen, obwohl sie Einfluss auf den Prozess haben. Außerdem wird meist nur das Ergebnis des Entwurfsprozesses in die Datenbasis übernommen und der Prozess selber nicht abgebildet. Ein Referenzobjekt ist das Ergebnis eines Entwurfsprozesses und ist eher der Information des semantischen anstatt des episodischen Gedächtnisses [5] S. 89–90 zuzuordnen. Das episodische Gedächtnis enthält jedoch die möglichen Handlungsstrategien für das Entwurfsproblem.

Darüber hinaus muss, entsprechend des CBR-Ansatzes, die Ermittlung der Ähnlichkeit für die Abfrage von alten Problemstellungen zur neuen, aktuell vorliegenden Problemstellung als kritisch [84] S. 64 eingeschätzt werden: “In order to match cases based on semantic similarities and relative importance of features, an extensive body of general domain knowledge is needed to produce an explanation of why two cases match and how strong the match is.” [85] S. 50. Die Ermittlung der Ähnlichkeit entfällt bei regelbasierten Ansätzen, da die Regeln für bestimmte Anwendungsfälle erstellt wurden und somit stärker auf die Anwendungsfälle eingeschränkt sind. Beim fallbasierten Schließen werden diese Anwendungsfälle flexibler als sogenannte Kontexte bezeichnet. Ungelöst ist in beiden Fällen die verbindliche Formalisierung der Gebäudeinformation.

## 7. Semantische Fingerabdrücke für komplexe Abfragen

### 7.1. Modell zum Formalisieren von Architektur

Im Folgenden wird der Ansatz der semantischen Fingerabdrücke zur Strukturierung von Anfragen in den frühen Entwurfsphasen beschrieben und im Kapitel 8 das Konzept der Umsetzung dargestellt. Ziel ist die Strukturierung des Entwurfsgegenstandes (Abbildung 28) zum Formalisieren und Verarbeiten von Räumen [204] S. 37. Der Ansatz der semantischen Gebäudefingerabdrücke betrachtet Räume und deren Relationen und kann auf andere Anwendungsfälle übertragen werden.

Scholz84		Salzmann86		Donath88	Wenzel90	Baumann90	
„Entwurfsobjekte“		(Entwurfs-)„Elemente“		„Entwurfsobjekte“	„Entwurfsobjekte“	„Entwurfsobjekte“	
Funktionen		Funktion		Funktion	Funktion	Funktion	
physische Gebilde	Räume	Raum	Ortraum Wegraum	Raum	Raum	Raum	
	raum-bildende Elemente	Körper	Gestalt Konstruktion	raum-bildende Objekte	Körper-gestalt Konstruktion	raum-bildende Elemente	Gestalt Konstruktion
Hilfs-entwurfsobjekte							

Abbildung 28 - Literaturübersicht zur Strukturierung des Entwurfsgegenstandes [204] S. 37.

Die semantischen Fingerabdrücke sind ein Hauptergebnis der vorliegenden Untersuchung und bilden ein Modell [205], das ebenso vom Menschen verstanden wie vom Computer verarbeitet und der Domäne Architektur gerecht werden muss. Die besonderen Herausforderungen sind die vagen und unvollständigen Informationen sowie die zu entwickelnde Zielvorstellung der frühen Entwurfsphasen. Während des Entwurfsprozesses ist das Ziel ein Gebäudeentwurf, der jedoch erarbeitet wird und während des Prozesses weitestgehend unbekannt ist. Daher müssen bei der Abfrage ähnliche Gebäude bzw. Fingerabdrücke ermittelt werden.

Speziell für die Computerunterstützung in den frühen Entwurfsphasen existieren nicht ausreichend intuitive digitale Werkzeuge, die dem iterativen Charakter und der meist unscharfen Zielvorstellung des Entwurfsprozesses gerecht werden. Eisenmann schreibt, dass obwohl der Architekt „[...] den Computer steuert und die Knöpfe drückt, weiß er nicht unbedingt, wohin der Prozess führt. Es handelt sich nämlich nicht um eine Zeichnung, die ein im Kopf bereits existierendes Bild nur umsetzt. Wenn man zeichnet, dann kann man nur das zeichnen, was man weiß.“ [4] S. 321. Ziel muss also die Unterstützung des Entwurfs- und Denkprozesses sein und, wie Moelle es formuliert, „[...] die Schwachstelle, das menschliche Gedächtnis, durch quasi uneingeschränkte Ausbaufähigkeit des Computermemories zu verbessern.“ [51] S. 238.

In diesem Kapitel werden die Hindernisse bei der Umsetzung von digitalen Werkzeugen für das Entwerfen und Planen von Gebäude beschrieben, Anforderungen abgeleitet und entsprechende Ansätze vorgeschlagen. Aus den oben beschriebenen Analysen werden die folgenden hauptsächlichen Problemfelder für den Anwendungsfall identifiziert:

- überschätzen der Möglichkeiten digitaler Technologien
- fehlerhafte Übertragung analoger auf digitale Vorgehensmodelle
- mangelhafte domänenspezifische Abstraktionen und Formalisierungen
- ignorieren des Domänenkontexts bei der Entwicklung von Benutzerschnittstellen
- irrtümliche Annahme, dass größere Datensammlungen per se mehr Informationen enthalten

In der Vergangenheit wurden die Potentiale digitaler Technologien häufig überschätzt und so der Faktor Mensch weitestgehend ignoriert. Aus heutiger Sicht sind vor allem die große Speicherfähigkeit, der schnelle Transport und die schnelle Verarbeitung von Informationen Argumente für den Einsatz digitaler Technologien. Die Nutzung der Informationen in einem Anwendungskontext als Wissen ist automatisch nur eingeschränkt möglich und erfordert Rückfragen vom System bzw. Eingriffe durch den Anwender.

Obwohl Schmitt [206] S. 9 schon 1991 den Computer im Zentrum des Entwurfsprozesses sieht, hat aktuell „[...] die Vernetzung aller visuellen und verbalen Entwurfswerkzeuge [...]“ [22] S. 195 nicht stattgefunden. Jedoch hat die Digitalisierung „[...] in den vergangenen Jahren das Entwerfen grundlegend verändert [...]“ [22] S. 191. Schmitts Aussage muss mit Blick auf die Übertragung von Methoden der künstlichen Intelligenz aus den 1970er und 1980er auf die Architektur in den 1990er-Jahren und Gänshirts Aussage vor dem Hintergrund des entstandenen Internets mit vernetzten Informationen verstanden werden.

Negroponete hingegen schreibt 1970: “Imagine a machine that can follow your design methodology and at the same time discern and assimilate your conversational idiosyncrasies. This same machine, after observing your behaviour, could build a predictive model of your conversational performance. Such a machine could then reinforce the dialogue by using the predictive and conversational idiosyncrasies.” [207] S. 11–13. Im Gegensatz zu Schmitt und Gänshirt fokussiert Negroponete nicht auf die Technologie, sondern u.a. auf geeignete Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Kritisch muss die Übertragung analoger auf digitale Vorgehensmodelle sowie deren Ursachen betrachtet werden. Negroponetes Vision eines Computersystems, das sich dem Verhalten des Nutzers anpasst, erscheint auch aus heutiger Sicht zielführend, jedoch wird der Nutzer gewohnte analoge Vorgehensmodelle anwenden, die digital so unter Umständen nicht abgebildet werden können. Daher müssen neue Vorgehensmodelle für das Entwerfen erarbeitet und auf deren Basis Softwaresysteme entwickelt werden. Zielführend sind außerdem Strategien, die dem Nutzer die Vorgänge des Computersystems erklären [81] und die Möglichkeit geben einzugreifen.

## **7.2. Anforderungen an die formale Beschreibung von Architektur**

Zum Verändern der Spezifikation des Entwurfsproblems muss unter anderem eine Modifikation der topologischen und geometrischen Formalisierung möglich sein. Bei

der Recherche muss der Nutzer bspw. die Zielfunktionstypen auswählen können und eine Navigation im Lösungsbaum möglich sein. Neben domänenspezifischen Visualisierungen fordert Flemming [127] S. 170–171 Möglichkeiten, topologisch zulässige Lösungen geometrisch zu spezifizieren, um maßstäbliche Zeichnungen zu erhalten.

Zeichnungen (zum Beispiel Grundrisse oder Ansichten) sind Abstraktionen, Ausschnitte und Teilaspekte eines Gebäudes. Digitale Repräsentationen werden mit Datenmodellen formalisiert, die zum heutigen Zeitpunkt vorwiegend auf mangelhaften domänenspezifischen Abstraktionen beruhen. Als Folge entstehen meist inkonsistente Datenmodelle, die existierende zeitgenössische Technologien und Modelle nur unzureichend einbeziehen und so Potentiale digitaler semantischer Gebäudemodelle teils ungenutzt bleiben.

Zur Entwicklung semantischer Technologien und konsistenter Datenmodelle ist ein kritischer Blick auf aktuelle digitale semantische Ansätze nötig, da die Ansätze der Semantik in der Sprachwissenschaft, wo Morpheme die kleinste bedeutungstiftende Einheit bilden, meist unvollständig umgesetzt werden. Diese Einheiten müssen möglichst klein, in sich konsistent und klar von anderen Einheiten abgegrenzt sein. Diese Anforderungen sind auf digitale semantische Gebäudemodelle übertragbar. Dafür müssen die Konzepte der gebauten Umgebung analysiert und die kleinsten bedeutungstiftenden Einheiten herausgearbeitet und entsprechende Datenmodelle entwickelt werden.

Die fehlerhafte Analyse und Betrachtung des Domänenkontextes Architektur hat bei der Entwicklung von Datenmodellen in der Vergangenheit zu einer Fixierung auf das Formalisieren der Gebäudegeometrie geführt. Topologische Parameter sowie domänenspezifische Arbeitsprozesse wurden nicht ausreichend umgesetzt. Unvollständige topologische Informationen erschweren aktuell die Analysen im Allgemeinen, und speziell energetische Betrachtungen sowie räumlichen Abfragen, bspw. für Recherchen. Zwingend notwendig ist die Betrachtung der Relationen bzw. die Erarbeitung entsprechender Datenmodelle zur Formalisierung der Relationen zwischen Arbeitsprozessen (oder Gewerken) und den topologischen Relationen zwischen Räumen oder Bauteilen, vergleichbar der Semantik in der Sprachwissenschaft. Valide formale Grammatiken für Bauwerksinformationen müssen entwickelt werden.

Domänenspezifische Grammatiken werden bei wissensbasierten Systemen in der Architektur vorwiegend bei regelbasierten Systemen eingesetzt. Ausreichend mächtige und allgemein gültige formale Grammatiken existieren jedoch nicht. Außerdem werden in regelbasierten Systemen meist verschiedene Typen von Informationen mit dem gleichen Regelwerk behandelt. So können bspw. topologische Informationen gut graphentheoretisch und geometrische Informationen mit analytischen 'Shape Grammar' oder Ansätzen zur Klassifizierung von Formen verarbeitet werden. Für lexikalische Informationen sollten bspw. Methoden des ontologischen Abgleichs angewendet werden.

Ein weiterer Ansatz für wissensbasierte Systeme, das fallbasierte Schließen, beruht auf der irrtümlichen Annahme, dass Datensammlungen intelligenter werden, je größer sie sind, vergleichbar dem Erfahrungsschatz des Menschen. Dieser Ansatz aus der künstlichen Intelligenz, der fallbasierte Entwurf im architektonischen Entwerfen, scheiterte u.a. an der Erstellung der Datensammlung und an den ebenfalls notwendigen, aber unzureichenden Grammatiken für die Formalisierung und Auswertung. Der zwangsläufige Paradigmenwechsel von Computersystemen, die autonom Aufgaben lösen, hin zu unterstützenden Systemen begann zu Beginn des 21. Jahrhunderts.



Negroponte formulierte bereits in den 70er Jahren drei Möglichkeiten, wie die Maschine den Entwurfsprozess unterstützen kann: "(1) current procedures can be automated, thus speeding up and reducing the cost of existing practices; (2) existing methods can be altered to fit within the specifications and constitution of a machine, where only those issues are considered that are supposedly machine-compatible; (3) the design process, considered as evolutionary, can be presented to a machine, also considered as evolutionary, and a mutual training, resilience, and growth can be developed." [207].

Die Automatisierung klassischer Vorgehensweisen ist zum aktuellen Zeitpunkt nur teilweise erfolgreich. Die Anpassung von existierenden Entwurfsmethoden an Rechnerinfrastrukturen sollte hingegen der Forschungsfokus der nächsten Jahre sein. Dabei muss kritisch beurteilt werden, welche Methoden rechnerkompatibel sind und welche weiterhin klassisch oder analog zielführender eingesetzt werden. Neben der fragwürdigen sprachlichen Anlehnung an die Evolution bleibt trotz anhaltender Diskussion durch Vertreter wie Steadman, Nassar, König, Donath, Derix oder Menges offen, ob der Prozess des Entwerfens von Gebäuden mit der darwinistischen Evolutionstheorie vergleichbar ist. Die Übertragung auf den Computer als evolutionäre Algorithmen führte zu Ansätzen, die dem Prinzip des gelenkten zufälligen Generierens großer Variantenvielfalt folgen. Das Bewerten und Filtern der Varianten wird mit der sogenannten 'Fitnessfunktion' regelhaft definiert. Problematisch sind hier, wie bei anderen Ansätzen auch, die mangelhaften domänenspezifischen Abstraktionen und Formalisierungen der Regeln.

Darüber hinaus bedarf das Formulieren von Regeln zur Unterstützung oder das automatischen Generieren von Entwürfen, unabhängig für welchen Ansatz, bereits eines hohen Grades an Denk- und Entwicklungsarbeit. Es erscheint absurd, dass ein Computersystem konkrete regelhafte Parameter vom Nutzer für die Erzeugung des Entwurfes abfragt, weil dazu die Parameter zur Verfügung stehen müssen. Der Entwurfsprozess ist damit bereits zu großen Teilen abgeschlossen und das Computersystem wird somit fast ausschließlich für die Darstellung gebraucht.

Das Ziel ist daher die Integration sinnvoller digitaler Technologien in den Entwurfsprozess bei gleichzeitiger Anpassung der Vorgehensweisen. Folgende Eigenschaft müssen Computersysteme zur wissensbasierten Entwurfsunterstützung besitzen:

- Entwurf durch den Menschen, Unterstützung durch die Maschine
- prozessorientierte Mensch-Maschine-Schnittstellen
- transparente Mensch-Maschine-Schnittstellen
- basierend auf neuen Vorgehensmodellen
- domänenspezifische und anwendungsfallbezogene Modellbildung
- Erzeugung und Sammlung zielgerichteter auswertbarer Daten

Kombiniert und adaptiert werden müssen klassische analoge Vorgehensweisen, bspw. des Anfertigen vager Zeichnungen und das Verwenden von Referenzen bereits gebauter und entworfener Gebäude zur Unterstützung des Denk- und Entwurfsprozesses. Juchmes et al. [49] schreiben: "By being as close as possible to the creative gesture, our prototype aims to capture the designer's intention, as expressed in a drawing. Exceedingly human in nature, this expression is imprecise, often vague and always incomplete." [49] S. 2. Es müssen die Stärken einer Freihandzeichnung [22] S. 121, vor allem die Vagheit und Einfachheit sowie die Schnelligkeit der Anfertigung, erhalten

bleiben und gleichzeitig für den Computer lesbare Daten für die Anfrage gewonnen werden. Benutzeroberflächen für Softwareanwendungen im Bereich des Wissensmanagements in der Architektur sollten es ermöglichen, die Regeln und Anfragen graphisch, wie ein 'shape grammar interpreter' [6] S. 8, einzugeben und transparent nutzbare Informationen bereitzustellen.

### 7.3. Ansätze zur Entwurfsunterstützung

Die Suchen von Informationen ist ein jeweils individueller Prozess, der von den zu lösenden Aufgaben und den sie bearbeitenden Personen abhängig ist. Ellis bezeichnet "[...] starting, chaining, browsing, differentiating, monitoring, and extracting." [208] S. 171 allgemein als die charakteristischen Schritte der Suche. Diese Schritte werden nicht rein sequenziell, sondern mit Rücksprüngen auf vorherige Schritte und Auslassungen von Schritten durchlaufen. Dazu werden im Folgenden beispielhaft Verfahren und Technologien für die semantische Suche in der Architektur beschrieben.

Das Ziel der semantischen Suche wird bei Dengel wie folgt beschrieben: „Der Benutzer interagiert mit einem Suchsystem, um ein Problem zu lösen bzw. ein gestecktes Ziel zu erreichen. Er verfügt über ein (ungefähres) implizites mentales Modell des Problems und leitet daraus die zur Lösung benötigten Informationen ab. Dabei wird das mentale Modell von ihm expliziert, um die Anforderungen benennen zu können.“ [18] S. 233. Der Ansatz für eine semantische Suche von Gebäuden als Referenz für das Entwerfen von Architektur wurde aus den o.g. Anforderungen abgeleitet. Dafür wurden die Merkmale semantischer Fingerabdrücke für Gebäude spezifiziert, um das mentale Modell zu formalisieren (siehe Abbildung 29) und so ähnliche Referenzen in der Datenbasis zu ermitteln.

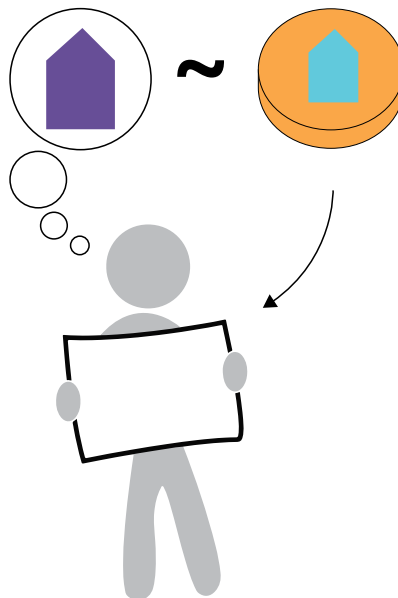


Abbildung 29 - Mentales Modell und Information in IT-Infrastrukturen.

Das Explizieren und anschließende Formalisieren des mentalen Modells in Datenstrukturen ist zwingend, um aus einer Menge von Informationen die für eine Problemstellung brauchbarste zu finden. Lässt man alle biologischen und technologischen Beschränkungen außer Acht, würde man idealerweise das Gehirn eines Menschen direkt mit einem Computersystem verbinden. Da eine direkte Verbindung (engl.: Brain-Computer-Interface) zwischen dem mentalen Modell in der Vorstellung eines

Menschen und der Information auf Speichermedien in IT-Infrastrukturen (Abbildung 29) zum heutigen Zeitpunkt nur sehr eingeschränkt möglich ist, sind Ansätze der MMI (Mensch-Maschine-Interaktion) zur Formalisierung von Informationen notwendig.

Um das mentale Modell in den frühen Entwurfsphasen zu explizieren, sind unter anderem zeichnerisch-skizzenhafte Ansätze sinnvoll. Dieses Vorgehen wird häufig von Architekten in den frühen Entwurfsphasen angewendet, um mit Schemata, Grundrissen oder anderen graphischen Darstellungen, wie den 'chamber works' von Daniel Libeskind, Denkprozesse zu unterstützen (siehe Abbildung 11). Neben zeichnerisch-skizzenhaften Eingaben zur Formalisierung des mentalen Modells (Abbildung 30, links) sind erweiterbare Systeme, wie eine BIM-Cloud (Abbildung 30, rechts) notwendig, um den ständig wachsenden digitalen Datenbeständen gerecht zu werden.



Abbildung 30 - Formalisierung des mentalen Modells zum Anfragen eines Informationssystems.

Um in sinnvollen Zeiträumen Rechercheergebnisse zu erhalten, sind effiziente Suchstrategien, bspw. durch Extraktion oder Ableitung von Metadaten, und die Erstellung eines Index notwendig. Als primäres Informationsobjekt werden im Folgenden die zu recherchierenden Dokumente bezeichnet (digitale semantische Gebäudemodelle, Gebäudezeichnungen als Raster- oder Vektorgrafiken oder textliche Beschreibung). Sekundäre Informationsobjekte sind abgeleitete Metadaten zur Beschreibung der primären Informationsobjekte, bspw. als Index. Die abgeleiteten sekundären Informationsobjekte werden als semantische Gebäudefingerabdrücke (Abbildung 4) bezeichnet und in einem föderierten Informationssystem (siehe Kapitel 8) mit den primären Informationsobjekten gespeichert und verknüpft.

Semantische Fingerabdrücke sind Abstraktionen, in denen bestimmte Merkmale formalisiert werden können. Zur Reduzierung der Komplexität und Strukturierung der Nutzerinteraktion können so Teilaspekte der Gebäudeinformationen ausgewählt, formalisiert und Teilinformationen bzw. Facetten verglichen werden. Zum Darstellen der Teilergebnisse können bspw. 'Anytime'-Algorithmen eingesetzt werden (siehe Kapitel 6.5). Die Fingerabdrücke bilden außerdem den Ansatz zur Ermittlung der Ähnlichkeit zwischen der Anfrage und den Ergebnissen. Für jeden Fingerabdruck wird der Abgleich zwischen Anfrage und Datenbasis separat durchgeführt und die Ergebnisse

werden zusammengeführt. Jedes gespeicherte Gebäudeprojekt wird mit verschiedenen Fingerabdrücken angereichert, die explizit, implizit oder durch Simulationen aus den Primärdatenobjekten extrahiert bzw. abgeleitet werden. Je nach Spezifikation des Datenmodells (bspw. Rastergrafik oder semantisches Gebäudemodell) vom Primärdatenobjekt, sind in den semantischen Fingerabdrücken explizite Objekte (wie Wände) implizite Objekte (wie Benachbarung) und simulierte Objekte (wie Blickbeziehungen) formalisiert.

"Beinhaltet der Suchraum Dokumente, die mit formalem Wissen angereichert sind, so spricht man von semantischem Dokumentretrieval. Bei semantischem Dokumentretrieval spielen bzgl. der Leistungsfähigkeit der Suchmaschine neben der Qualität der Daten und des Suchalgorithmus noch zwei Faktoren eine wichtige Rolle: die Kopplung und die Struktur der Ontologie (Mangold 2007). Die Kopplung zwischen der Ontologie und den Dokumenten kann eng oder lose sein:

- Enge Kopplung: Die Metadaten der Dokumente verweisen explizit auf die Konzepte der Ontologie oder umgekehrt.
- Lose Kopplung: Die Dokumente sind nicht an die Ontologien gekoppelt." [18] S. 244.

Auf die semantischen Fingerabdrücke können ontologiebasierte Ansätze angewendet werden. In Bezug auf die Kopplung der Ontologie (semantische Fingerabdrücke) an die Dokumente sind bspw. die semantischen Gebäudemodelle eher eng und Rastergrafik eher lose gekoppelt. Für den Abgleich zwischen Anfrage und Datenbasis kommen sowohl strukturelle fallbasierte Ansätze (zum Beispiel für Nutzerdaten oder Suchkontexte) als auch regelbasierte Ansätze (zum Beispiel für die Fingerabdrücke) in Frage.

Im folgenden Kapitel werden die Arbeitsmetapher und ausgewählte Szenarien beschrieben. In dem darauf folgenden Kapitel 7.5 werden die Fingerabdrücke konzeptionell beschrieben und in Kapitel 8.1 eine Formalisierung vorgeschlagen sowie in Kapitel 8.2 das Systemkonzept dargestellt.

#### **7.4. Arbeitsmetapher und Szenarien**

Die Arbeitsmetapher ist ein weißes Blatt Papier auf dem die Entwerfer die Gedanken und Vorstellungen für einen Gebäudeentwurf externalisieren, kommunizieren und evaluieren. Traditionell werden analog mit Stift und Skizzenrolle Ideen iterativ weiterentwickelt und ähnliche Gebäudeentwürfe als Referenz verwendet. Richter [5] S. 106 nennt fünf Anwendungsfälle für Referenzobjekte:

- als Quelle der Inspiration
- als Quelle von Entwurfsbedingungen
- als Medium zur Kommunikation
- als Mittel zur Entwurfsevaluation
- als Quelle konkreter (expliziter) Informationen

Vage Zeichnungen und Referenzen digital zusammenzuführen steigert mutmaßlich die Qualität der Entwürfe und beschleunigt den Entwurfsprozess. Dazu werden Zeichnungen und Referenzen digital vergleichbar in semantischen Fingerabdrücken formalisiert und die Ähnlichkeit der Datensätze wird bestimmt. Hillier schreibt dazu: "The human mind has no difficulty in seeing that the configurations are the same, in spite of the differences in the constituent 'thing', and this shows that we easily re-

cognise a configuration, even where we have no way of giving it a name and thus assigning it to a category - although we might try to do so by making analogies with configurations for which names are already at hand, such as 'L-shaped', or 'star-shaped'. However, the fact that our minds recognised configurations as being the same even when there is no name at hand to link them shows that our ability to recognise and understand configuration is prior to the assignment of names." [12] S. 27.

Räumliche Konfigurationen sind jedoch meist nur unvollständig formalisierbar, da die notwendige Komplexität räumlicher Attribute nur schwer in Datenmodellen abgebildet werden kann. Außerdem ist die Ähnlichkeit von zwei komplexen Objekten nur schwer quantifizierbar, da in zahlreichen Bereichen, wie zum Beispiel der Wahrnehmungspsychologie, der Gestaltpsychologie oder der Semiotik, sich teilweise widersprechende Erklärungsmodelle verwendet werden. Daher können räumliche Konfigurationen nur schwer mit einem allgemeingültigen Regelwerk beschrieben werden. Diese beiden hauptsächlichen Hindernisse erschweren eine mathematisch eindeutige Beschreibung und den Vergleich komplexer räumlicher Konfigurationen. Der vorgeschlagene Ansatz des Formalisierens in verschiedenen Fingerabdrücken wird in Kapitel 7.5 erläutert und es wird eine Auswahl an Fingerabdrücken beschrieben. Folgende zwei grundlegende Rechercheszenarien können unterschieden werden:

- Es wurde ein passender Gebäudeentwurf zur Zeichnung gefunden.
- Es wurde kein passender Gebäudeentwurf zur Zeichnung gefunden.

Für eine erfolglose Suche gibt es wiederum zwei Ursachen:

- Zu viele passende Datensätze wurden gefunden.
- Zu wenig passende Datensätze wurden gefunden.

Der Suchraum ist also entweder zu groß oder zu klein, da die voreingestellte oder nutzerdefinierte Auswahl der angefragten Fingerabdrücke entweder zu viele oder zu wenige Ergebnisse liefert. Durch eine Veränderung der Fingerabdruckauswahl (siehe Abbildung 31 links) kann der Suchraum entweder manuell durch den Nutzer oder automatisch durch Ignorieren bzw. Einbeziehen von weniger wichtig eingestuften Fingerabdrücken für den Ähnlichkeitsvergleich vergrößert oder verkleinert werden.

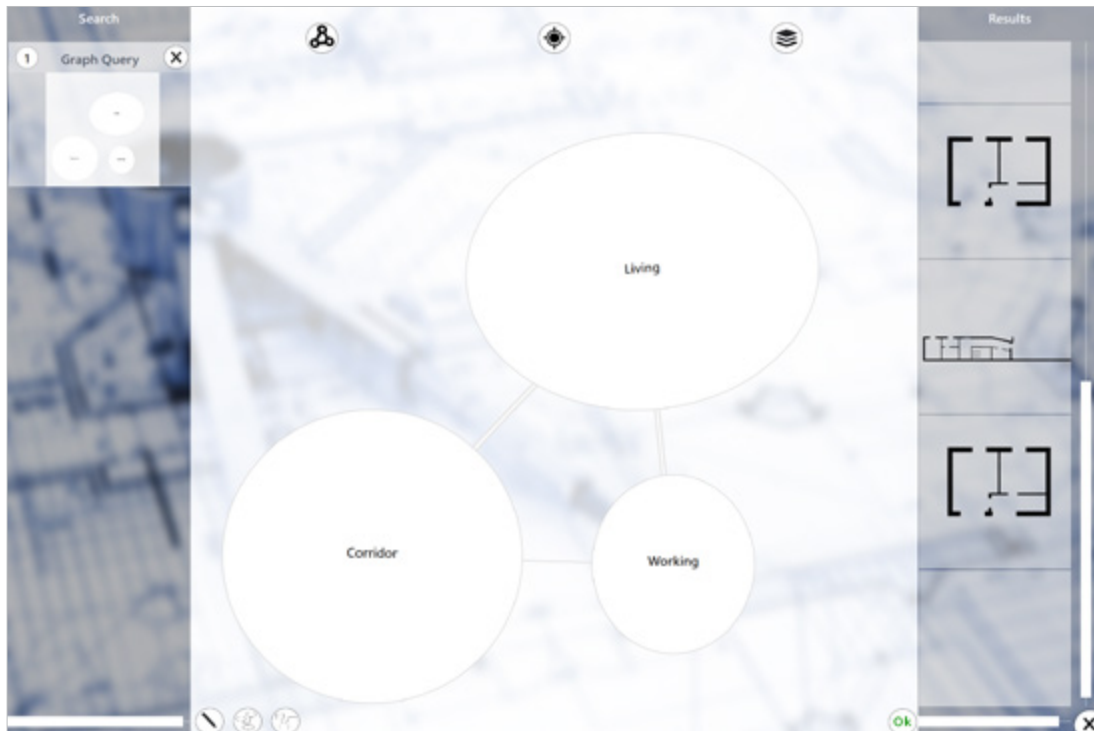


Abbildung 31 - Benutzeroberfläche 'Touchtect' – Links: Fingerabdrücke auswählen; Mitte: Zeichen-/Arbeitsfläche; Rechts: Ergebnisse der Recherche.

Wird kein passender Gebäudeentwurf zur Zeichnung gefunden, können durch nutzerseitige Anpassung der Gewichtung und Auswahl von Fingerabdrücken Fokus und Beschaffenheit des Suchraums verändert werden. Gerade bei der Anfrage mit komplexeren Zeichnungen kann mit folgenden Strategien der Suchraum erweitert, eingeschränkt oder verändert werden (siehe Kapitel 8.4 Bedienkonzepte):

- Verwendung verschiedener Algorithmen gleichzeitig (bspw. Anytime-Algorithmen)
- Facetten in Form von Kategorien einbeziehen (bspw. Durchwegung, Blockrandbebauung)
- Einbeziehung von Nutzerdaten (bspw. bereits angeschaute Gebäude)

Grundsätzlich wird zwischen dem Anfragefingerabdruck und dem Gebäudefingerabdruck unterschieden. Anfragefingerabdrücke beinhalten Nutzereingaben als Zeichnung, Text, Zahl oder Ort ebenso wie Gebäudefingerabdrücke, jedoch werden die Informationen des Gebäudefingerabdruckes aus bereits gebauten oder entworfenen Gebäuden abgeleitet.

Nach aktuellem Stand der Technik können Gebäudefingerabdrücke nicht vollautomatisch erzeugt werden. Abhängig von der Primärdatenbasis ist nach der automatischen Analyse und Extraktion eine Kontrolle und Korrektur durch Domänenexperten notwendig. Entsprechende Analyseansätze werden in Kapitel 8.3 und Bedienkonzepte in Kapitel 8.4 dargestellt. Im Folgenden werden semantische Fingerabdrücke mit identischen Attributen sowohl für den Anfrage- als auch für den Gebäudefingerabdruck vorgestellt, um auf einer einheitlichen semantischen Datenbasis Ähnlichkeiten (Kapitel 8.5) ermitteln zu können.

## 7.5. Semantische Fingerabdrücke

Im Folgenden werden beispielhaft einige semantische Fingerabdrücke für den deutschen Wohnungsbau des 20. und 21. Jahrhunderts beschrieben. Diese semantischen Fingerabdrücke sind eine strukturierte Informationsbasis, die mit konsistenten Abstraktionen Bauwerksinformationen computerinterpretierbar und für die frühen Entwurfsphasen nutzbar macht.

Die semantischen Fingerabdrücke sind die Spezifikation und Anfragefingerabdrücke sowie Gebäudefingerabdrücke sind die instanziierten Modelle der formalisierten Information. Den beschriebenen Fingerabdrücken liegen empirische Annahmen über sinnvolle in Datenstrukturen abstrahierbare Bauwerksinformationen zugrunde, die in eigens entwickelten Prototypen (siehe Anhang Kapitel 12) exemplarisch für 12 topologische Fingerabdrücke und Metainformationen umgesetzt wurden (siehe Kapitel 8).

Anlehnend an die Gebäudegliederung von Richter [149] S. 74 und Gessmann [98] werden vier Gruppen von Fingerabdrücken nach Raum-, Relations-, Stockwerks- und Gebäudeeigenschaften unterschieden. Diese Struktur der Fingerabdrücke in Abbildung 32 hat im Gegensatz zur Gebäudegliederung in Abbildung 22 drei hierarchische Ebenen. In der Abbildung werden die Ebenen und deren Formalisierung im Datenmodell IFC und AgraphML (siehe nächstes Kapitel 8.1) bzw. der Graphdatenbank dargestellt.

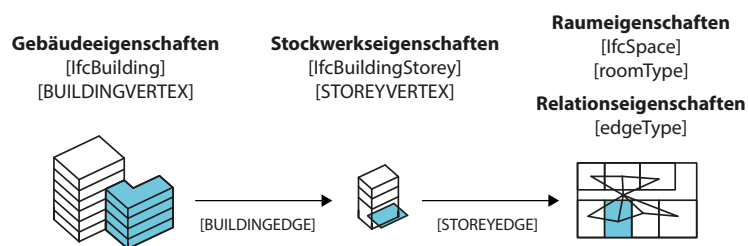


Abbildung 32 - Struktur der Fingerabdrücke und deren Formalisierung im Datenmodell IFC und AgraphML.

In den folgenden Abbildungen 33 bis 36 sind in Tabellen Fingerabdrücke, deren Beschreibungen und beispielhaft Ansätze zur Ermittlung der Ähnlichkeit (Kapitel 8.5) aufgeführt. Bei Raumeigenschaften werden einzelne Räume und deren quantifizierbare und textliche Attribute betrachtet. Die Fingerabdrücke der Raumeigenschaften werden in folgende Gruppen unterschieden:

- Typ
- Anzahl
- Proportion
- binäre Attribute
- subjektive Attribute
- abgeleitete Attribute

Mit abgeleiteten Attributen werden Räume nach Regeln in Zonen zusammengefasst. Jedem Raumtypen werden mehrere der sechs Zonen (Trocken-/ Nasszone, Wohn-/ Schlafzone, Aufenthalts-/ Servicezone), jedoch jeweils mindestens eine und höchstens drei Zonen zugeordnet:

- Küche – Nasszone, Wohnzone, Aufenthaltszone

- Wohnen – Trockenzone, Wohnzone, Aufenthaltszone
- Schlafen – Trockenzone, Schlafzone, Aufenthaltszone
- Arbeiten – Trockenzone, Aufenthaltszone
- Flur – Trockenzone, Servicezone
- WC – Nasszone, Servicezone
- Bad – Nasszone, Servicezone
- Außenraum – Aufenthaltszone
- Lager – Servicezone
- Technikraum – Servicezone
- Kinderzimmer – Trockenzone, Aufenthaltszone
- Parken – Servicezone

Die fixierte Taxonomie der Raumtypen und Zonen ist als Vorschlag zur Beschreibung des deutschen Wohnungsbaus des 20. und 21. Jahrhunderts zu verstehen. Dabei wurde auf die Vermeidung von Mehrdeutigkeiten geachtet, um für ein Konzept wie 'Küche' keinen anderen zuordenbaren Begriff zu definieren. Für andere Gebäude- oder Nutzungstypen, Epochen der Architekturgeschichte oder Kulturkreise muss die Taxonomie nach sorgfältiger Analyse erweitert werden. Dies gilt natürlich auch für die gesamte Liste der Fingerabdrücke, da bspw. Achsen oder Raumabfolgen in anderen Kulturen (wie in China) eine größere Bedeutung beigemessen wird als bei der hier betrachteten Raumanordnung der klassischen Moderne in Deutschland.

Die Fingerabdrücke der Gruppen Typ und Anzahl werden anhand der abzählbaren Mengen bzw. deren Abweichung zwischen Anfrage- und Gebäudefingerabdrücken verarbeitet. Mit proportionalen Attributen werden geometrische Verhältnisse des Raumes betrachtet und für den Ähnlichkeitsvergleich formalisiert. Zur Berechnung eines einheitlichen Raummittelpunktes wird in Kapitel 8.3 ein Ansatz beschrieben, damit entsprechende Vergleiche der Proportionen und Distanzen (siehe Abbildung 34) möglich sind. Die subjektiven Attribute sind wichtige architektonische Attribute, können jedoch nicht automatisch abgeleitet werden und müssen vom Nutzer sowohl für die Anfragefingerabdrücke als auch die Gebäudefingerabdrücke angegeben werden.



Bezeichnung	Beschreibung	Beispiele
<b>Typ</b>		
Raum	Fixierte Taxonomie, deren Konzeptualisierungen klar voneinander abgegrenzt sind	Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken
Nachbarräume	Von welchem Typ sind die Nachbarräume - Fixierte Taxonomie, deren Konzeptualisierungen klar voneinander abgegrenzt sind	Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken
<b>Anzahl</b>		
Nachbarräume	Anzahl der Relationen des Raumes	4 Nachbarräume
Nachbarraumtyp	Anzahl nach Typ (Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken)	1 x Küche, 2 x Schlafen
Nachbarraumrelationen	Anzahl nach Typ (Wand, Tür, Eingang, Passage, Treppe, Decke, Fenster)	1 x Tür, 3 x Fenster
Raumecken	Die Raumecken werden auf die Grundrissprojektion bezogen addiert (minimal 3 Ecken)	6 Ecken
<b>Proportion</b>		
Punkte	Längenunterschied Strecke Raummittelpunkt/Raumeckpunkt	%
Kontur	Verhältnis Länge/Breite der Bounding Box	%
Goldener Schnitt	Abweichung Länge/Breite vom goldenen Schnitt	% Abweichung ( $1,618=a+b/a$ )
Konvexe Hülle	Verhältnis Raumgrundfläche / konvexe Hülle	%
Kompaktheit	Verhältnis Raumumfang / Raumgrundfläche	%
Flächenanteil	Anteil der Raumfläche an Gesamtgrundriss	%
Raumhöhe	Verhältnis Raumhöhe / Wurzel der Grundfläche	%
<b>Binäre Attribute</b>		
Natürliches Licht	Raum hat mindestens ein Fenster	Ja/Nein
Offener Raum	Raum ist nicht vollständig von Wänden umgeben	Ja/Nein
<b>Subjektive Attribute</b>		
Helligkeit	Subjektiver Tageslichteintrag im Raum	1-20
Privatheit	Subjektive Privatheit eines Raumes	1-20
<b>Abgeleitete Attribute</b>		
Trockenzone	Ist der Raum der Trockenzone zugeordnet, sonst Nasszone?	Ja/Nein
Wohnzone	Ist der Raum der Wohnzone zugeordnet, sonst Schlafzone?	Ja/Nein
Aufenthaltszone	Ist der Raum der Aufenthaltszone zugeordnet, sonst Servicezone?	Ja/Nein

Abbildung 33 - Parameter für Fingerabdrücke der Raumeigenschaften.

Die Raumeigenschaften werden für den Ähnlichkeitsvergleich (Kapitel 8.5) von jeweils einem Raum eines Anfragefingerabdrucks und einem Raum der Gebäudefingerabdrücke herangezogen. Diese Vorgehensweise wird ebenfalls bei den Eigenschaften der Raumrelationen angewendet. Die Fingerabdrücke der Relationseigenschaften werden in folgende Gruppen unterschieden:

- Typ
- Raummittelpunkte
- Differenz
- simulationsbasierte Attribute

Wie bei den Typen der Räume sind die Typen der Relationen eine mögliche Taxonomie für den deutschen Wohnungsbau des 20. und 21. Jahrhunderts, die jedoch darüber hinaus erweitert werden muss. Die Typen werden in zwei Gruppen mit jeweils zwei Untergruppen unterschieden:

- Benachbarung
  - horizontal (Wand)
  - vertikal (Decke)
- Durchwegung
  - horizontal (Tür, Eingang, Passage)
  - vertikal (Treppe)

Die horizontalen Relationen finden in einzelnen Stockwerken (Abbildung 35) und zusammen mit den vertikalen Relationen im Gesamtgebäude (Abbildung 36) Anwendung. Diese Relationen werden in die Gruppen Benachbarung und Durchwegung untergliedert und finden sich in dieser Form meist in der Literatur. In der Gruppe der Fingerabdrücke mit Fokus auf den Raummittelpunkt wird die Abweichung von den durchschnittlichen Distanzen der gesamten Raumanordnung zwischen zwei berechneten Mittelpunkten verwendet.

Bezeichnung	Beschreibung	Beispiele
<b>Typ</b>		
Relation	In welcher Relation stehen je zwei Räume	Wand, Tür, Eingang, Passage, Treppe, Decke, Fenster
<b>Raummittelpunkte</b>		
Lineare Distanz	Lineare Distanz zwischen zwei Raummittelpunkten im Verhältnis zu den durchschnittlichen Distanzen	%
Simulierte Laufdistanz	Laufdistanz zwischen zwei Raummittelpunkten im Verhältnis zu den durchschnittlichen Distanzen	%
Subjektive Distanz	Subjektive Distanz zwischen Raummittelpunkten im Verhältnis zu den durchschnittlichen Distanzen	%
<b>Differenz</b>		
Flächenanteil	siehe Raumeigenschaften	%
Proportion – Punkte	siehe Raumeigenschaften	%
Proportion – Kontur	siehe Raumeigenschaften	%
Proportion – Goldener Schnitt	siehe Raumeigenschaften	%
Proportion – Konvexe Hülle	siehe Raumeigenschaften	%
Proportion – Kompaktheit	siehe Raumeigenschaften	%
Helligkeit	siehe Raumeigenschaften	%
Privatheit	siehe Raumeigenschaften	%
<b>Simulationsbasiert Attribute</b>		
Sichtbarkeit	Anteil der sichtbaren Fläche eines Betrachters in Tür, Eingang oder Passage im Verhältnis zu Gesamtfläche der Räume	%

Abbildung 34 - Parameter für Fingerabdrücke der Relationseigenschaften.

Weitere Eigenschaften der Raumrelation sind Differenzen zwischen Raumattributen oder Sichtbarkeiten. Die isolierte Betrachtung einzelner Raumrelationen und Raumeigenschaften ermöglicht den Einsatz beherrschbarer Algorithmen für den Ähnlichkeitsvergleich. Für Stockwerke werden die Fingerabdrücke in folgende Attribute unterschieden:

- Anzahl der Raumtypen und Raumrelationen
- Verhältnisse
- gesamte Raumanordnung

Fingerabdrücke von Raumanordnungen lassen sich vergleichsweise schwer verarbeiten, da graphentheoretische Ansätze Anwendung finden.

Bezeichnung	Beschreibung	Beispiele
<b>Anzahl</b>		
Raumtypen	Differenz zur Anfrage (Exakt, Maximal, Minimal)	Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken ( $\Delta$ Exakt, $\Delta$ Min, $\Delta$ Max)
Raumrelation	Differenz zur Anfrage (Exakt, Maximal, Minimal)	Tür, Eingang, Passage, Treppe, Decke, Fenster ( $\Delta$ Exakt, $\Delta$ Min, $\Delta$ Max)
<b>Verhältnis</b>		
Verhältnis Räume Benachbarung	Das Stockwerk hat wie viele Wandrelationen im Verhältnis zu den Räumen?	%
Verhältnis Räume Durchwegung	Das Stockwerk hat wie viele Türen, Eingänge und Passagenrelationen im Verhältnis zu den Räumen?	%
<b>Anordnung</b>		
2D Benachbarungsgraph	Knoten und Kanten	Räume (ohne Knotenattribut) und Relationen (Wand, Fenster)
2D Durchwegungsgraph	Knoten und Kanten	Räume (ohne Knotenattribut) und Relationen (Tür, Eingang, Passage)
2D Benachbarungsgraph + Raumtyp	Knoten und Kanten	Räume (Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken) und Relationen (Wand, Fenster)
2D Durchwegungsgraph + Raumtyp	Knoten und Kanten	Räume (Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken) und Relationen (Tür, Eingang, Passage)
2D Raumgraph	Knoten und Kanten	Räume (Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken) und Relationen (Wand, Tür, Fenster, Eingang, Passage)
2D Editieren der Raumtypen	Knoten mit alternativen Raumtypen	Küche & Bad/ Schlafen & Arbeiten & Kinderzimmer/ Lager & Technikraum
2D Editieren der Relationstyp	Kanten mit alternativen Relationstypen	Wände & Tür & Passage

Abbildung 35 - Parameter für Fingerabdrücke der Stockwerkseigenschaften.

Die Fingerabdrücke der Stockwerke sind mit einigen Erweiterungen auch auf die Eigenschaften des gesamten Gebäudes anwendbar. Dies betrifft vor allem Attribute, die vertikale Relationen repräsentieren und projektbezogene textliche Beschreibungen. Folgende Gruppen von Fingerabdrücken werden unterschieden:

- Anzahl
- Verhältnis
- Anordnung
- textliche Metadaten

Die stockwerksübergreifende Betrachtung gesamter Gebäude (Abbildung 36) erhöht die Knotenanzahl des Gesamtgraphen und steigert die Komplexität. Für be-

stimmte entwerferische Fragestellungen, wie vertikale räumliche Zusammenhänge für Fassadengestaltungen, ist die dreidimensionale Betrachtung von Bedeutung.

Bezeichnung	Beschreibung	Beispiele
<b>Anzahl</b>		
Raumtypen	Differenz zur Anfrage (Exakt, Maximal, Minimal)	Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken, Raum ( $\Delta$ Exakt, $\Delta$ Min, $\Delta$ Max)
Raumrelation	Differenz zur Anfrage (Exakt, Maximal, Minimal)	Wand, Tür, Eingang, Passage, Treppe, Decke, Fenster ( $\Delta$ Exakt, $\Delta$ Min, $\Delta$ Max)
Geschosse	Wie viele Geschosse hat das Gebäude?	Summe ( $\Delta$ Exakt, $\Delta$ Min, $\Delta$ Max)
<b>Verhältnis</b>		
Verhältnis Räume Benachbarung	Das Gebäude hat wie viele Wändrelationen im Verhältnis zu den Räumen?	%
Verhältnis Räume Durchwegung	Das Gebäude hat wie viele Tür, Eingang und Passagenrelationen im Verhältnis zu den Räumen?	%
<b>Anordnung</b>		
3D Benachbarungsgraph	Knoten und Kanten	Räume (ohne Knotenattribut) und Relationen (Wand, Fenster, Decke)
3D Durchwegungsgraph	Knoten und Kanten	Räume (ohne Knotenattribut) und Relationen (Tür, Eingang, Passage, Treppe)
3D Benachbarungsgraph + Raumtyp	Knoten und Kanten	Räume (Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken) und Relationen (Wand, Decke)
3D Durchwegungsgraph + Raumtyp	Knoten und Kanten	Räume (Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken) und Relationen (Tür, Eingang, Passage, Treppe)
3D Raumgraph	Knoten und Kanten	Räume (Küche, Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Flur, WC, Bad, Außenraum, Lager, Technikraum, Kinderzimmer, Parken) und Relationen (Wand, Decke, Tür, Eingang, Passage, Treppe, Fenster)
3D Editieren der Raumtypen	Subgraph mit variierten Raumtypen (Küche & Bad/ Schlafen & Arbeiten & Kinderzimmer/ Lager & Technikraum)	Editierdistanz
3D Editieren der Relationstypen	Subgraph mit variierten Relationstypen (Wände & Eingang & Passage/ Treppen & Decke)	Treppen & Decke
<b>Textliche Metadaten</b>		
Land	In welchem Land steht das Gebäude?	Text
Ort	In welcher Stadt, Gemeinde, etc. steht das Gebäude?	Text
Adresse	Straße & Hausnummer	Text
Architekt	Wer hat das Gebäude entworfen?	Text
Anzahl der Geschosse	Wie viele Geschosse?	Zahl
Bautyp	Bautypologie	Geschosswohnungsbau (Blockrandbebauung, Eckhäuser, Brandwand, Solitär, Freistehende Zeile, Wohntürme, Terrassenhäuser, Raumbildende Strukturen, Baulücke), Flachbau (Einzelhäuser, Doppelhäuser, Reihenhäuser, Wohnanlage), Temporäre Bauten
Baujahr(e)	Wann wurde das Gebäude errichtet?	Datum (von/ bis)
Jahr des Entwurfes	Wann wurde das Gebäude entworfen?	Datum

Abbildung 36 - Parameter für Fingerabdrücke der Gebäudeeigenschaften.

Technologische Ansätze zum Formalisieren von Fingerabdrücken werden in Kapitel 8.1, und das Systemkonzept wird in Kapitel 8.2 beschrieben. Das umgesetzte Systemkonzept hat zwei grundlegende Anwendungsszenarien: Zum einen die zeichnerische Recherche (Kapitel 8.4) und zum anderen die Aufbereitung der zu recherchierenden Information (Kapitel 8.3). Der topologische Abgleich von Fingerabdrücken (Kapitel 8.5) der Anfrage und der Gebäude ist ressourcenkritisch, weshalb das vorgeschlagene Informationssystem als verteiltes System mit föderierten Datenbanken umgesetzt wurde, um so ein skalierbares System zu erhalten.

## **8. Konzeption eines zeichnerischen Informationssystems**

### **8.1. Formalisierung semantischer Fingerabdrücke**

Der in dieser Arbeit betrachtete Anwendungsfall zielt auf die skizzenhaft-zeichnerische Anfrage semantisch-topologischer Informationen zur Unterstützung des Entwerfens in den frühen Entwurfsphasen ab. Zum Strukturieren des Prozesses werden semantische Fingerabdrücke vorgeschlagen und mit dem eigens entwickelten XML-basierten AgraphML-Schema formalisiert. Im Rahmen des Forschungsprojektes 'metis' wurde die AgraphML Spezifikation vom Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH) und der Technischen Universität München (TUM) entwickelt.

Das AgraphML Schema ist die technologische Basis für das umgesetzte föderierte Informationssystem (Abbildung 39). Die einzelnen Komponenten des Informationssystems funktionieren autonom und können, basierend auf dem AgraphML-Schema, angefragt werden und miteinander kommunizieren. Außerdem werden die primären und sekundären Informationsobjekte mit dem GUID (Globally Unique Identifier) und einer URI (Uniform Resource Identifier) eindeutig identifiziert und so identische Konzeptualisierungen in unterschiedlichen Instanzen zugeordnet. Die GUID des primären Informationsobjektes wird übernommen oder eine GUID erzeugt, falls bisher keine vorhanden ist, da die Objekte in verschiedenen Datenbasen abgelegt und abgerufen werden.

Im umgesetzten Informationssystem werden die sekundären Informationsobjekte als Metadaten (wie Architekt oder Baujahr) und als Graph gespeichert. In Graphen werden als Knoten Objekte (wie Gebäude, Stockwerke oder Räume) und als Kanten deren Relationen abgebildet. Diese Informationen können mit der AgraphML-Spezifikation zum Speichern, Kommunizieren und Verknüpfen formalisiert werden. Für das Austauschformat AgraphML wurde die existierende graphML-Spezifikation für Gebäudeinformationen erweitert und auch als Datenbankschema für die Graphdatenbank neo4j verwendet. Es können so vorhandene XML-Programmbibliotheken, die Abfragesprache CYPHER für die neo4j und Softwareanwendungen für graphML genutzt werden.

Aktuell existierende Softwareanwendungen für Graphen sind bspw. Graphviz [209], Gephi [210], Commetrix [211] oder Pajek [212]. Die Daten können meist als Knoten-Kanten-Diagramme visualisiert und mit Filtern, Gruppenbildung und Netzwerkmetriken analysiert werden. In Abbildung 37 ist ein Grundriss mit dem entsprechenden Raumgraphen als Knoten-Kanten-Diagramm der AgraphML-Spezifikation dargestellt.

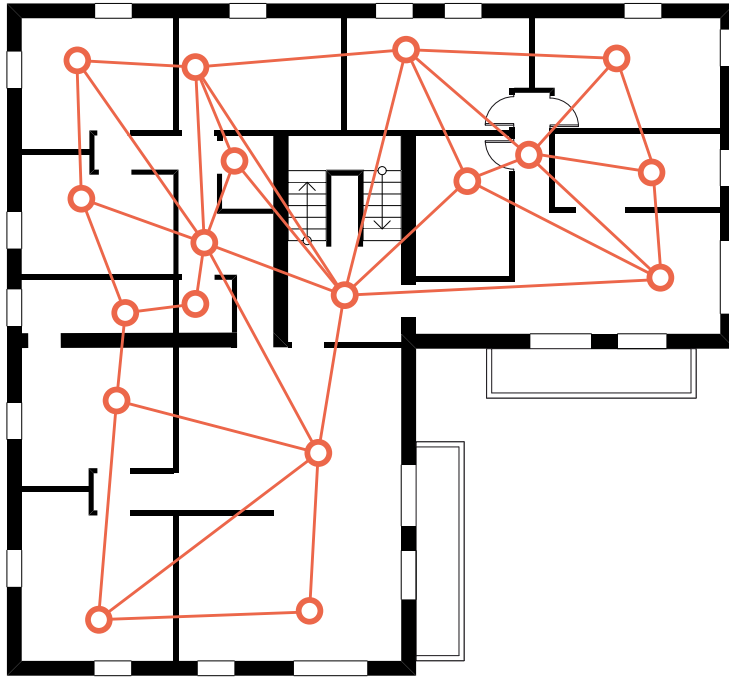


Abbildung 37 - Darstellung eines Grundrisses und des zugehörigen Raumgraphen der Benachbarung.

Bei dem hier vorgestellten Datenmodell werden als Knoten die Räume repräsentiert, wobei die Räume nicht zwangsläufig von Wänden umgeben sein müssen. Diese etwas weiter gefasste Definition von Räumen ist notwendig, um offen kombinierte Wohnbereiche, bspw. als Wohnküche bezeichnet, zu formalisieren. Mit dem Knoten-Attribut 'enclosedRoom' und dem Kanten-Attribut 'edgeType' und dem Wert 'PASSAGE' (siehe Abbildung 38) können diese räumlichen Konfigurationen modelliert und angefragt werden. Neben dem hier beschriebenen Modell können auf den Knoten auch Bauteile wie Türen und Wände [165], Schnittpunkte von Wänden, einzelne Gewerke oder Arbeitsschritte im Bauablauf formalisiert werden.

Graph-Attribute		
Name	Datentyp	Werte
id	string	GUID of the IFC model
<b>Pflichteinträge</b>		
floorLevel	float	Floor level of the storey (0 is ground floor)
buildingId	string	GUID of the building this floor plan is part of
imageUri	string	URI of the floor plan image file
imageMD5	string	MD5 checksum of the floor plan image file
validatedManually	boolean	True if the room graph of the storey was validated by a user
<b>Optionale Einträge</b>		
ifcUri	string	URI of the IFC server
bimServerPoid	long	id of the project in the bimserver containing the source ifc file
alignmentNorth	float	Alignment to the north in degree (0 is north, 90 is east, 180 is south, 270 is west)
geoReference	string	WKT point; Geographic coordinates in EPSG:21781, height: EPSG:5728
scalesMeter	boolean	true if the scale of the floorplan is known to be meter
scaleToMeter	float	Factor to scale to meters (1.0 = scale is meters)
<b>Knoten-Attribute</b>		
id	string	ID of the room
<b>Pflichteinträge</b>		
roomType	enumeration	ROOM, KITCHEN, LIVING, SLEEPING, WORKING, CORRIDOR, TOILET, BATH, EXTERIOR, STORAGE, BUILDINGSERVICES, CHILDREN, PARKING
name	string	Name of the room/space
center	string	Center point of room in floor plan formatted as well-known text, coordinates (scale as given for graph)
<b>Optionale Einträge</b>		
corners	string	Polygon of the floor formatted as well-known text, coordinates (scale as given for graph)
windowExist	boolean	True if the room/space has a window
enclosedRoom	boolean	True if the room/space is completely enclosed
area	float	Floor area of the room/space in square meters
light	int	Felt brightness on a scale from 1 to 20
privacy	int	Felt privacy on a scale from 1 to 20
zone	string	Zone description, comma-separated list of tags, e.g, "wet", "dry", ... but no fixed tags yet
<b>Kanten Attribute</b>		
id	string	GUID of the edge
<b>Pflichteinträge</b>		
edgeType	enumeration	DOOR, ENTRANCE, PASSAGE, SLAB, STAIRS, WALL, WINDOW
<b>Optionale Einträge</b>		
weight	float	0 to 1
linearDistance	float	Direct distance between room centers (scale as given for graph)
position	string	WKT point; Spacial center of the represented room link (door, entrance, etc.)
walkingDistance	float	Walking distance between room centers (scale as given for graph)
feltDistance	float	Felt distance from on room to another (scale as given for graph)
viewRelation	int	Visual relation between rooms on a scale from 1 to 20

Abbildung 38 - AgraphML-Spezifikation für den Austausch von Gebäudeinformationen.

In einer AgraphML-Datei wird jeweils ein Geschoss eines Gebäudes abgebildet. Mit dem Graph-Attribut 'buildingId' können die Geschosse dem Gebäude zugeordnet werden und mit dem Attribut 'floorLevel' vertikal sortiert werden. Dieses Vorgehen ist für die skizzenhafte-zeichnerische Anfrage sinnvoll, da zweidimensional nur ein Geschoss

gleichzeitig gezeichnet werden kann und das AgraphML als Austauschspezifikation für die Anfrage und die Suchergebnisse entwickelt wurde. Für die persistente Speicherung der Graphen in einer Datenbank werden aufbauend auf der AgraphML-Spezifikation zusätzlich die zwei Knotentypen 'STOREYVERTEX' und 'BUILDINGVERTEX' und analog die Kantentypen 'STOREYEDGE' sowie 'BUILDINGEDGE' verwendet, um die Knoten der Geschosse und die Geschosse eines Gebäudes zu formalisieren. Die übrigen Attribute aus der AgraphML-Spezifikation werden übernommen.

Wie für das Datenbankschema, wird die AgraphML-Spezifikation auch als Basis für die Vernetzung mit weiteren Datenbanken (Kapitel 8.2) und die Definition von Schnittstellen verwendet. Beispielsweise ist die GUID des 'STOREYVERTEX' im aktuellen Anwendungsfall in der Graphdatenbank 'neo4j', im CMS 'mediaTUM', im BIM-Server 'open source BIM Server' und in der entsprechenden AgraphML-Datei gespeichert. Außerdem sind die URIs von Objekten in den Datenbanken im AgraphML gespeichert, um einzelne Objekte wie Geschosse oder Räume eindeutig identifizieren und von den Quellen abfragen zu können. Im folgenden Kapitel 8.2 wird das Systemkonzept des Informationssystems beschrieben.

## 8.2. Systemkonzept des föderierten Informationssystems

Sowohl die primären als auch die sekundären Daten werden dezentral in verschiedenen Datenbanken, für topologische, geometrische, lexikalische, zeichnerische oder nutzungsbasierte Informationen, gespeichert. In Abbildung 39 ist die Softwarearchitektur des Informationssystems anlehnd an die grundsätzliche Softwarearchitektur semantischen Suchmaschinen bei Dengel et al. [18] S. 243 dargestellt. Die dort dargestellten Aufgaben werden von mehreren Softwarekomponenten erledigt, die topologische Informationen nach der AgraphML-Spezifikation (Kapitel 8.1) speichern und austauschen. Zur Recherche werden die topologischen Informationen aus formalen (semantischen Gebäudemodellen) und informalen (Grafiken von Grundrissen) Datenquellen mit verschiedenen Verfahren aufbereitet und als semantische Fingerabdrücke formalisiert. Es wurden Server- und Clientkomponenten umgesetzt, die nach ihrem Anwendungsbereich wie folgt unterschieden werden:

- Server
  - Datenhaltung
    - Gebäudeinformationsmodelle (BIM)
    - topologische Information (Graph)
    - Dokumente und lexikalische Information (CMS)
  - Verarbeitung
  - Koordination
- Client
  - Recherche von Gebäudeinformation
  - Aufbereitung von Gebäudeinformation
  - Wartung des Gesamtsystems

Jede Clientanwendung benötigt mindestens eine Komponente auf dem Server, um zu funktionieren. Diese Gruppen von zusammenarbeitenden Komponenten werden in Abbildung 39 für die Aufbereitung als offline und für die Recherche als online bezeichnet. Die Anwendungen für die Aufbereitung werden im nächsten Kapitel 8.3 und die Anwendungen für die Recherche in Kapitel 8.4 erläutert.



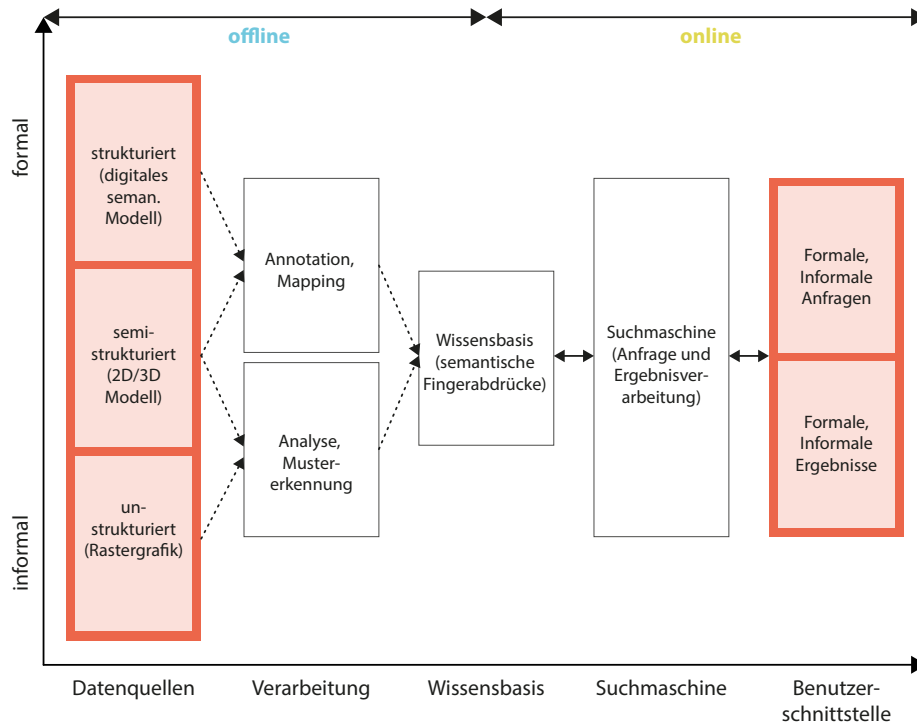


Abbildung 39 - Softwarearchitektur des Informationssystems anlehndend an Dengel et al. [18].

Offline-Prozesse dienen der Erzeugung und Anreicherung des Datenbestandes und Online-Prozesse zum Explizieren des mentalen Modells, also dem Entwerfen und Recherchieren. Im Gegensatz zu Online-Prozessen sind Offline-Prozesse meist nicht laufzeitkritisch, da die Aufbereitung der Daten jederzeit gemacht werden kann. Die Recherche hingegen muss nach sinnvollen Zeiträumen Ergebnisse liefern, damit das Informationssystem genutzt werden kann.

Das umgesetzte Informationssystem wurde mit einer serviceorientierten Softwarearchitektur (SOA) umgesetzt und die Datenintegration [25] S. 23 in einem föderierten Informationssystem [18] S. 200 vorgenommen. Für den Anwendungsfall der zeichnerischen Architturrecherche wurden verschiedene autonome Datenbanksysteme (BIM Server, Graphdatenbank und CMS) mit dem entwickelten AgraphML-Schema (Kapitel 8.1) verknüpft und können wie ein einziges Informationssystem abgefragt werden. In Abbildung 40 sind die vier Hauptebenen des Informationssystems für Online- und Offline-Prozesse dargestellt.

Ebene	Online	Offline
<b>Nutzeroberfläche</b>	Zeichnen/ eingeben/ konfigurieren	Prüfen/ ergänzen/ ändern
<b>Koordination</b>	Interpretieren/ anfragen	Warten/ Konfigurieren
<b>Verarbeitung</b>	Klassifizieren/ abgleichen	Analysieren/ anreichern
<b>Datenhaltung</b>	Quelle	Speicher

Abbildung 40 - Ebenen des Informationssystems bei der online und offline Anfrage sowie deren Aufgaben.

Die Ebenen für die Online- und Offline-Anfragen sind identisch, jedoch unterscheiden sich die Aufgaben der Komponenten. Für die Offline-Verarbeitung zur Erzeugung der Gebäudefingerabdrücke sind Komponenten zur Analyse und Anreicherung von unstrukturierten Datenquellen und Komponenten für die Anreicherung und Zuord-

nung von Konzepten strukturierter Datenquellen notwendig. Die notwendigen Strategien, um dem Nutzer in den Online- und Offline-Prozess einzubinden, werden in Kapitel 8.4 erläutert. Eigens entwickelte Prototypen werden für den Domänenanwender (Online-Prozess) in Anhang 13.2 und für den Domänenexperten (Offline-Prozess) in Anhang 13.3 beschrieben. Anwendungen für IT-Experten zur Wartung des Informationssystems finden sich im Anhang 13.4.

### **8.3. Aufbereiten von Gebäudeinformationen**

Informationen können unterschiedlich in Daten formalisiert [213] S. 341 werden, jedoch werden Gebäude aktuell vorwiegend in 2D- und 3D-Modellen sowie mit unterschiedlich starker Semantik abgebildet. Für bestimmte Verfahren und Algorithmen sind jedoch anderen Datenstrukturen notwendig oder effizienter. Bei der Konvertierung können Informationsverluste auftreten oder Informationen stehen für die Zieldatenstruktur nicht zur Verfügung und müssen ergänzt werden. Das wird automatisch, manuell oder semiautomatisch, wie häufig bei Ansätzen der sogenannten 'Visual Analytics' [25], umgesetzt. Im Folgenden werden semiautomatische Analyseansätze (Offline-Prozesse) für Gebäudeinformationen beschrieben.

"As a prerequisite for any analytical task, analysts must first look at the data and identify uncertainties, inconsistencies and missing items. Only then can the data be pre-processed accordingly to make it suitable for analysis:

- ameliorate incomplete data by deriving missing parts from related data and from simulation models;
- harmonise inconsistent data by cross-checking with related data and knowledge;
- enrich and refine the data by deriving relevant new characteristics and constructs." [25] S. 82.

Wie in Kapitel 8.2 beschrieben, können Daten in strukturiert, semistrukturiert und unstrukturiert unterschieden werden, wobei sich der Aufwand für die Analyse entsprechend unterscheidet. Im umgesetzten Informationssystem wurde die Erstellung von Gebäudefingerabdrücken für größtenteils strukturierte semantische Gebäudemodelle und fast komplett unstrukturierte Rastergrafiken von Grundrissen umgesetzt. Aktuell erfüllt keine Standardsoftware [25] S. 97 vollständig die Anforderungen der semantischen Fingerabdrücke zur semiautomatischen Strukturierung von Bauwerksinformationen. Daher wurden eigene Prototypen (Anhang Kapitel 13.3) entwickelt, die ein ausreichend hohes Niveau der semantischen Annotation erreichen, um Anfragen räumlicher Konfigurationen und deren Abgleich zu ermöglichen.

Es ist notwendig, Rastergrafiken und semantische Gebäudemodelle soweit aufzubereiten, so dass für das entwickelte AgraphML-Datenmodell alle Pflichtattribute (siehe Abbildung 38) vorhanden sind, damit die weitere Verarbeitung in dem umgesetzten Informationssystem möglich ist. "While data analysis was initially developed for structured data, recent research aims at analysing semi-structured and complex data types such as Web documents or multimedia data." [25] S. 14. Diese Datenanalysen sind notwendig, da die Menge der vorliegenden, teilweise unstrukturierten Daten zunimmt und sich die Datenqualität der Gebäudeinformationen unterscheidet, für Anfragen jedoch ein einheitliches semantisches Niveau notwendig ist.

Die Rastergrafiken im Content-Management-System (CMS) (Abbildung 41) wurden als Grundriss klassifiziert und die Informationen separiert, wie Texte und graphische

Elemente (Symbole, Linien). Die Analyseergebnisse werden dem Nutzer als Graph auf dem Grundriss dargestellt, manuell korrigiert und in einer Graphdatenbank gespeichert.

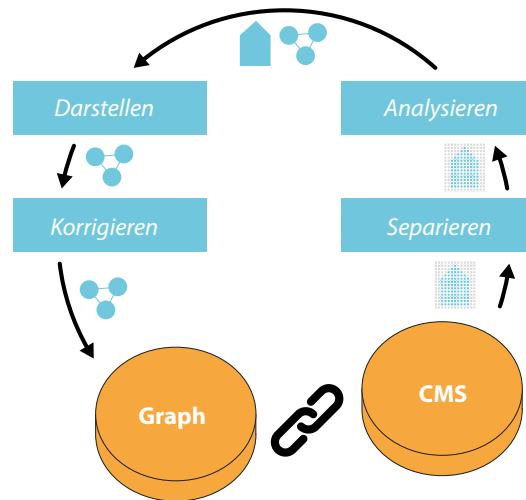


Abbildung 41 - Fingerabdrücke aus Bildanalysen.

Für die Korrektur der Analyseergebnisse und Erstellung der Gebäudefingerabdrücke wurde prototypisch die Clientanwendung 'surfID' (Abbildung 42) für Grundrisse implementiert. Mit Hilfe von vier Serverkomponenten werden verschiedene Schritte durchlaufen und die sekundären Datenobjekte anschließend in die Datenbanken übertragen. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Anhang 13.3 und bei Weber et al. [214] sowie Ahmed et al. [174] die am DFKI und der TUM entwickelten Analysemethoden.



Abbildung 42 - Benutzerschnittstelle 'surfID'.

Bei semantischen Gebäudemodellen (bspw. IFC) muss hingegen ermittelt werden, ob die notwendigen Entitäten (zum Beispiel Räume und Wände) instanziiert wurden, um die expliziten Informationen zu extrahieren (siehe Abbildung 43) und die impliziten Informationen mit Analysen abzuleiten. Aus dem Gebäudemodell wird dann ein Grundriss berechnet und in dem Content-Management-System (CMS) als Grafik ge-

speichert. Diese Grafik wird dem Nutzer mit dem abgeleiteten Graph dargestellt. Nach der manuellen Korrektur wird der Graph in der Datenbank für die spätere Abfrage genutzt.

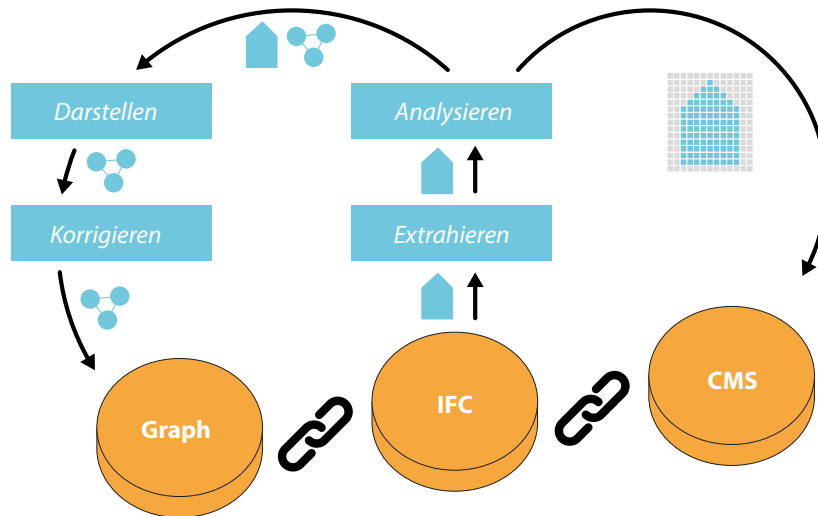


Abbildung 43 - Fingerabdrücke aus IFC.

Prototypisch wurde eine Desktop-Anwendung zur Korrektur der extrahierten Gebäudefingerabdrücke und für die Übertragung in die Datenbanken implementiert. Weitere Informationen finden sich in Anhang 13.3 sowie bei Langenhan et al. [37] die am DFKI und der TUM entwickelten semantischen Analysen. Geometrische Analysen zur Ableitung von Fingerabdrücken wurden an der TUM am Lehrstuhl Computergestützte Modellierung und Simulation und am Lehrstuhl für Architekturinformatik von Daum et al. [102] erarbeitet. Diese Ansätze können in Zukunft weiter verbessert und mit anderen Ansätzen kombiniert oder neu entwickelt werden, um den Automatisierungsgrad weiter zu erhöhen. Beispielsweise können über das aktuelle, einfache automatische Erweitern des Wörterbuches der Raumtypen hinaus zukünftig lernende Informationssysteme eingesetzt werden.

Das Formalisieren von Gebäudefingerabdrücken ist nach aktuellem Stand der Technik also nicht vollautomatisch möglich, da nicht ausreichend strukturierte Daten über Gebäude existieren. Es muss kritisch hinterfragt werden, wie hoch der technische Aufwand ist, um die Aufbereitung weiter zu automatisieren, da man davon ausgehen muss, dass immer subjektive Attribute vom Menschen manuell annotiert werden müssen. Im nächsten Kapitel werden Ansätze der MMI (Mensch-Maschine-Interaktion) vorgestellt, um in den Datenbeständen mit skizzenhaften Zeichnungen, klassischen Schlagworten und ortsbezogenen Kriterien zu recherchieren.

#### 8.4. Bedienkonzepte für die Wissensunterstützung im Entwurfsprozess

Aufbauend auf der Arbeitsmetapher und den Szenarien (Kapitel 7.4) für die Unterstützung des Entwerfens mit semantischen Fingerabdrücken (Kapitel 7.5) werden im Folgenden Bedienkonzepte für die Einbindung des semantischen Informationssystems (Kapitel 8.2) in den Entwurfsprozess beschrieben. Ziel ist das Formalisieren des mentalen Modells von Entwurfsgedanken, um Referenzobjekte zu erhalten. Unterstützt wird der Entwurfsprozess durch das Externalisieren der Entwurfsgedanken und Referenzobjekte.

Beim Erarbeiten von Bedienkonzepten sind die individuellen kognitiven Prozesse, wie bspw. das mentale Modell des Menschen und dessen Formalisierung, zentrale Herausforderungen. "For many years it was thought that 'seeing' was a generally passive activity with a detailed 'map of the world', whereas now we recognise that it is very active, only searching for and selecting visual information [...]" [25] S. 15. Es ist entscheidend, wie der Nutzer eingebunden wird, um diesen aktiven Prozess zu steuern und für den Nutzer brauchbare Ergebnisse zu erhalten. Shneiderman formulierte das Mantra der Informationsvisualisierung: "overview first, zoom and filter, then details on demand" [213] S. 336.

Notwendig sind darüber hinaus MMI-Ansätze, die dem Nutzer die Möglichkeit geben, das mentale Modell zu formulieren und damit vergleichbare Darstellungen zur Ausgabe der Suchergebnisse zu erhalten. "Guidance is often required, especially for novice users, on what visualisations (scatterplot, parallel coordinates, treemaps, etc.) are appropriate for a given task; the focus should be on the problem to be solved rather than the type of raw data." [25] S. 123. Für ein verbessertes Nutzerverständnis sind neben domänenspezifischen Darstellungen, Strategien zum Steigern der Erklärungsfähigkeit [81] von komplexen Informationssystemen notwendig. Die Art der Nutzereinbindung wird nach Anwendertyp unterschieden, um dem Nutzer bspw. nachvollziehbar darzustellen, wie sich die Ergebnisse zusammensetzen.

Im umgesetzten Informationssystem werden die Anwendertypen (Domänenanwender, Domänenexperte und IT-Experte) unterschieden, um problembezogene Clientanwendungen zur Interaktion mit dem System zu entwickeln. Es werden Recherchansätze für den Domänenanwender beschrieben und im Anhang 13.2 die eigens entwickelten Prototypen vorgestellt. Wichtig sind Ansätze, um dem Nutzer nicht nur die Ergebnisse zu präsentieren, sondern transparent und verständlich die Abhängigkeiten von meist zahlreichen Kriterien und deren Ergebnissen [215] darzustellen und dem Nutzer Einflussmöglichkeiten zu geben. Keim fasst diese Anforderungen wie folgt zusammen:

- "Progressive analysis: provide quick answers first, then make improvements incrementally or on-demand;
- Management of dynamic data: incremental analysis instead of restarting it from the beginning;
- Steerable analysis: allow long-computations to be steered by users when possible." [25] S. 106.

Obwohl Keim diese Anforderungen für Analysen großer Datenbestände formuliert, sollten die Eingabe des Nutzers auch bei kleineren Datenbeständen systematisch interpretiert und analysiert werden. Für die Nutzerschnittstellen und die Ansätze für den Abgleich der Fingerabdrücke können diese Anforderungen übertragen werden, da die Anfragefingerabdrücke (Client) und die Gebäudefingerabdrücke (Server) analysiert werden. Ziel ist die schrittweise Annäherung an ein Problem durch eine kontinuierliche transparente Rückmeldung des Systems und bspw. die Detaillierung der Anfrage und die Steuerung der Ergebnismenge durch den Nutzer. In Abbildung 44 sind beispielhaft Darstellungen für Gebäudeinformation in den frühen Entwurfsphasen abgebildet.

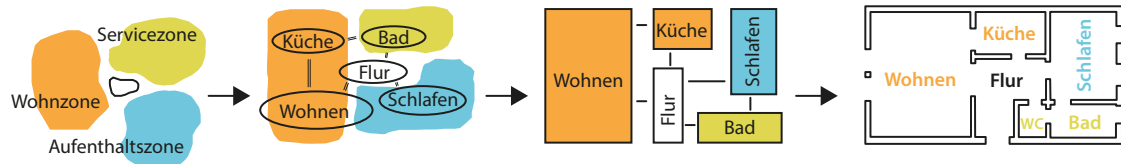


Abbildung 44 - Klassische Darstellungen und deren mögliche Transformation anlehnend an Hanson [13] S. 308 und Liebich [126] S. 75.

Entsprechende Interaktionsstrategien für geometrische, topologische, geographische und lexikalische Informationen sind notwendig. Im umgesetzten Informationssystem werden fünf hauptsächliche Repräsentationen zum Formalisieren des mentalen Modells entsprechend ihrer Eigenschaften unterschieden:

- Texte (zum Beispiel Architekt, Baujahr, Baukosten, Volltextsuche Beschreibungen, Gebäudetypologie)
- Tabellen (zum Beispiel Raumprogramm, Ablaufpläne, Kosten, Leistungsverzeichnis, Benachbarung, Erschließung)
- Schema (zum Beispiel Diagramm, Raumanordnung, Zonen, Ausrichtung, Proportionen, Durchwegung, Benachbarung)
- Freihandzeichnung (zum Beispiel Raumanordnung, Zonen, Ausrichtung, Proportionen, Durchwegung, Benachbarung, Raumumrisse, Grundrisse, Ansichten, Schnitte)
- 2D/3D-Darstellung (zum Beispiel Raumanordnung, Zonen, Ausrichtung, Proportionen, Durchwegung, Benachbarung, Kubatur, Grundrisse, Ansichten, Schnitte, Perspektiven)

Prinzipiell sind diese Darstellungsmethoden auch für die Suchergebnisse anwendbar, jedoch ist das Dargestellte vom mentalen Modell und von der in der Datenbasis vorhandenen Information abhängig. Zur transparenten Ergebnisrepräsentation müssen Darstellungen des mentalen Modells im Vergleich mit den Informationen in der Datenbasis visualisiert werden. Beispielsweise durch Überblendung, farbliche Kodierung oder statistische Auswertungen in Diagrammen können die Zusammenhänge für den Nutzer nachvollziehbar dargestellt werden. Folgende Ansätze zur Einflussnahme auf die Recherche sind unter anderem denkbar:

- Anpassung der eingegebenen Anfragefingerabdrücke
- Auswahl der Anfragefingerabdrücke
- Anpassung der Gewichtung der Anfragefingerabdrücke
- Anpassung der Ergebnisrepräsentation der Gebäudefingerabdrücke

Die aus den Eingaben abgeleiteten Anfragefingerabdrücke werden in verschiedenen Abstraktionen formalisiert. Der Nutzer gibt die Anfragefingerabdrücke ein, die dann unter anderem für die Durchwegung oder Benachbarung abstrahiert bzw. separiert und dem Nutzer zur Auswahl (Abbildung 45 linkes Fenster) bzw. Definition der Gewichtung dargestellt werden.

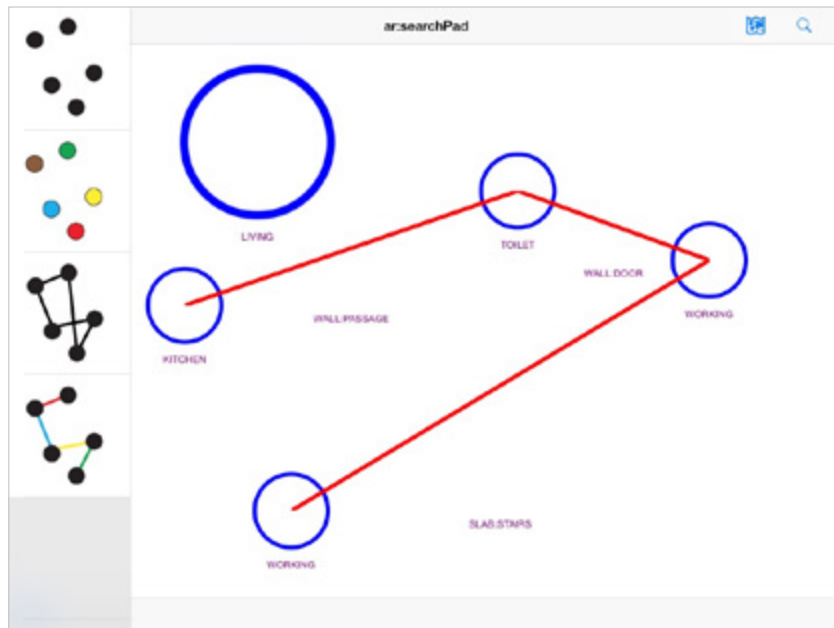
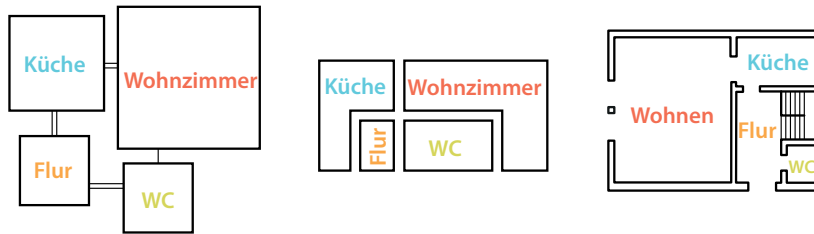


Abbildung 45 - Benutzerschnittstelle 'ar:searchPad'.

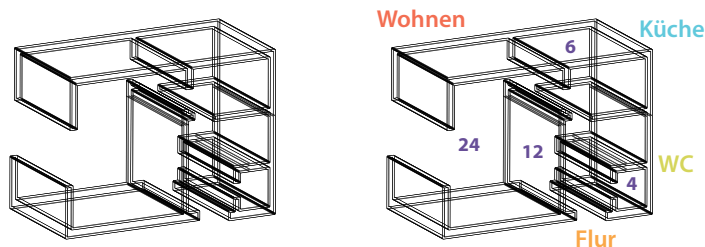
Durch Detaillierung oder Änderung der Eingaben, wie bspw. das Hinzufügen von Räumen in der Zeichnung, werden die Anfragefingerabdrücke feingranularer, und das formalisierte mentale Modell entspricht stärker dem mentalen Modell des Nutzers. Durch kontinuierliche Rückmeldung des Informationssystems, wie bspw. durch die Darstellung der Referenzobjekte zu den Anfragefingerabdrücken, kann die Zeichnung der Entwurfsidee modifiziert werden. Mit der Spezifikation oder Verallgemeinerung der Suchparameter wird der Suchraum definiert und eine möglichst problembezogene Ergebnismenge dargestellt. In Abbildung 46 a-c werden mögliche Beispiele verschieden detaillierter Anfragen ohne Topologie (a), mit 2D-Topologie (b) sowie mit 3D-Topologie illustriert. Die verwendeten Begriffe in Abbildung 46 sind keine stehenden Fachbegriffe der Architektur, sondern dienen mit den Zeichnungen zur (nicht erschöpfenden) Illustration der Bedeutung der Informationsdichte bzw. möglicher häufig genutzter Darstellungen in der Architektur.



a.) Ohne Topologie: Raumprogramm, Raumgruppen, Raumanordnung, Blasendiagramm.



b.) 2D-Topologie: Raumkonfiguration, Raumumriss, Grundriss.



c.) 3D-Topologie: Kubatur, Semantische Modelle.

Abbildung 46 - Verschieden detaillierte Anfrage.

Welche Informationsdichte sinnvoll und notwendig ist, ist abhängig vom Anwendungsfall und dem Suchenden. Für das raumbezogene Formalisieren der Topologie (zum Beispiel für Durchwegung oder Benachbarung) können Graphen verwendet werden. Graphen können als Knoten- und Kantendiagramm oder tabellarisch [216] S. 88 dargestellt werden. Im umgesetzten Informationssystem wurden Knoten- und Kantendiagramm verwendet, da so die Lagebeziehungen der Räume bzw. Knoten anschaulicher abgebildet werden. Für darüber hinaus gehende Darstellungen ist im Anhang 13.2 das eigens entwickelte 'AgraphML'-Plug-In für die Graphvisualisierungssoftware 'Gephi' beschrieben. Es können semantische Gebäudefingerabdrücke erstellt, dargestellt, gefiltert und analysiert werden. Im Anhang 13.2 wird die eigens entwickelte 'ar:searchbox' für klassische schlagwortbasierte Recherchen in dem umgesetzten Informationssystem beschrieben. Hier kann für gefundene Gebäude das semantische Gebäudemodell oder der Graph heruntergeladen und mit 'Gephi' visualisiert werden.

Nach Juchmes et al. [49] S. 1 sind vage Eingaben wie in Abbildung 31, Abbildung 45, Abbildung 60, Abbildung 61 und Abbildung 62 eher den Zeichenwerkzeugen und präzisere Eingaben wie in Abbildung 58, Abbildung 64, Abbildung 65 und Abbildung 67 eher den Modellierwerkzeugen zuzurechnen. Zur Transformation von einer Darstellung in eine andere, wie in Abbildung 44 oder Abbildung 46 bspw. zum Detaillieren oder Vergrößern der Informationsdichte, wurde im Rahmen des Projektes 'metis' die 'WebUI' (Abbildung 47) von Bayer et al. [217] am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH) plattformunabhängig umgesetzt. In Abbildung 47 ist die räumliche Anordnung links als Blasendiagramm und rechts als konkretere räumliche Anordnung mit Türsymbolen und Fenstern dargestellt. So sind verschiedene Abstraktionen und Detailierungsgrade transformierbar und formalisierbar.



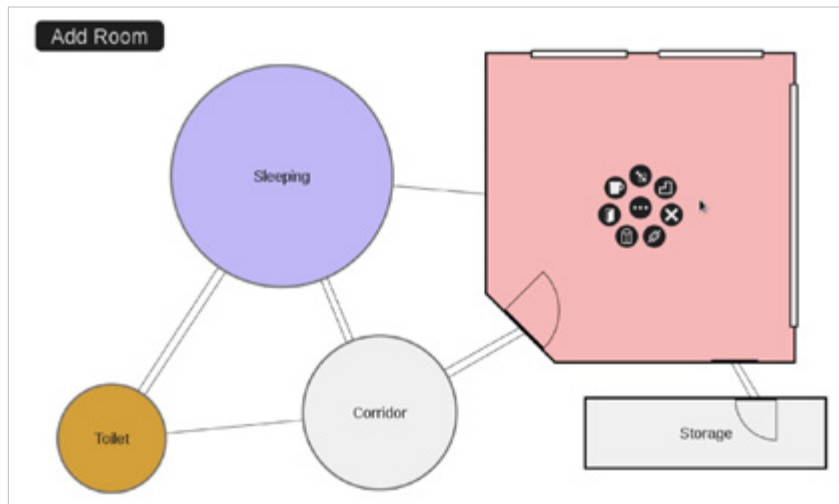


Abbildung 47 - Benutzerschnittstelle 'metis WebUI'.

Zur konkreten Vermassung und Spezifikation von räumlichen Konfigurationen wurde im Rahmen des Projektes ‚metis‘ von Thurow et al. [218] der Prototype ‚Flamingo‘ Abbildung 48 umgesetzt. Bei der ‚metis WebUI‘ kann zur Formalisierung des mentalen Modells die konkrete Geometrie ergänzt und mit dem Prototyp ‚Flamingo‘ Maße ange tragen werden. Mit dem Verfahren der Ausgleichsrechnung [219] wird versucht, die Struktur der räumlichen Situation so weit wie möglich zu erhalten. Wenn bspw. ein neues Maß angegeben wird, werden alle verknüpften Geometrien neu berechnet und gegebenenfalls verändert.

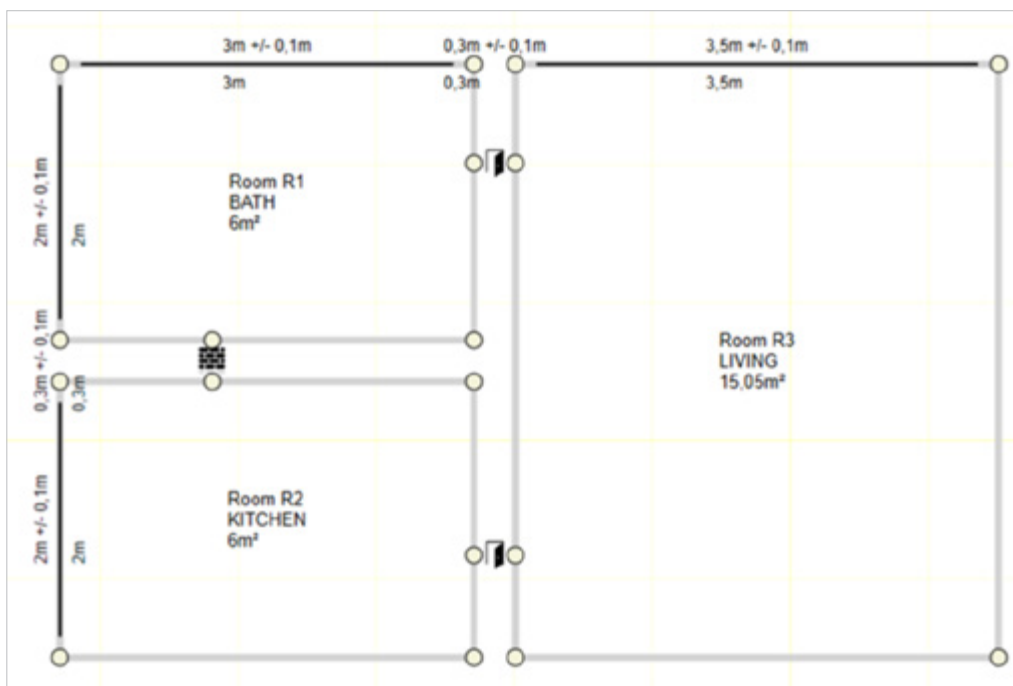


Abbildung 48 - Benutzerschnittstelle ‚Flamingo‘ zur Korrektur und Detaillierung der Geometrie.

Die beschriebenen Interaktions- und Darstellungsmethoden [220] stellen keine erschöpfende Auswahl dar und sind exemplarisch für den Anwendungsfall zu betrachten. Entsprechend den Anforderungen sind sie schnell anzufertigen und unterstützen vage, unscharfe und unvollständige Eingaben, um den kreativen Prozess in den frühen Entwurfsphasen so wenig wie möglich zu stören. Die in den Eingaben gefundenen

Daten werden dem Nutzer nachvollziehbar bspw. als semantische Fingerabdrücke zur Auswahl und Festlegung der Prioritäten angezeigt. Die serverseitige Verarbeitung und Reduktion der Komplexität, speziell der topologischen Verfahren, wird vor dem Nutzer verborgen. Dazu werden im Folgenden Ansätze zur Anfrageverarbeitung, dem Abgleich mit der Datenbasis zur Ermittlung der Ähnlichkeit sowie für Visualisierungen der gewichteten Suchergebnisse vorgestellt.

## **8.5. Abgleich von Fingerabdrücken und Ähnlichkeitsmaß**

Notwendig für den Abgleich zwischen Anfrage und Datenbasis ist die Definition von atomaren Elementen („primitives“ [199] S. 7–8) und deren Relationen. "Such a description of primitives and their interrelationships is called a structural or a relational description." [199] S. 7. Die Verfahren können auf einer Fallbasis beruhen, dem sogenannten strukturellen fallbasierten Schließen, oder andere regelbasierte Ähnlichkeitsmaße umsetzen. Im semantischen Fingerabdruck sind die Räume und deren Relationen die atomaren Elemente. Der Abgleich zweier Elemente und von Gruppen von Elementen kann exakt oder inexakt durch Ermittlung von Abweichungen zwischen Anfrage und Datenbasis erfolgen.

Für die Elemente wurden in der 'AgraphML' Spezifikation (Kapitel 8.1) Attribute definiert, um die Information einheitlich zu formalisieren. Gruppen von Attributen werden als semantische Fingerabdrücke (Kapitel 7.5) bezeichnet und sind unter anderem in Graphen formalisierte domänenspezifische Abstraktionen. Semantische Fingerabdrücke strukturieren die Nutzerinteraktion und reduzieren beim Abgleich die Komplexität der Anfrage. Sie bilden die Grundlage für die Ermittlung der Ähnlichkeit. Ein einfaches Ähnlichkeitsmaß findet sich bei Colajanni et al. [45] S. 114, dieses bildet jedoch die Komplexität der Bauwerkinformation unzureichend ab.

Die Anfrage einer Clientanwendung wird in verschiedene Anfragefingerabdrücke auf der koordinierenden Ebene (Kapitel 8.2) separiert. Roith et al. [221] hat an der TUM einen regelbasierten Koordinator (Abbildung 49) umgesetzt, der nach definierten Regeln die separierten Anfragefingerabdrücke an spezialisierte Softwarekomponenten mit Konditionen zum Verarbeiten übergibt. Die Softwarekomponenten sind als Microservices [222] umgesetzt und werden im Folgenden als Fingerabdruckagenten bezeichnet. Diese Fingerabdruckagenten wurden teilweise neu entwickelt, jedoch werden auch bereits existierende Dienste genutzt und erweitert wie zum Beispiel Komponenten der Graphdatenbank, neo4j'.

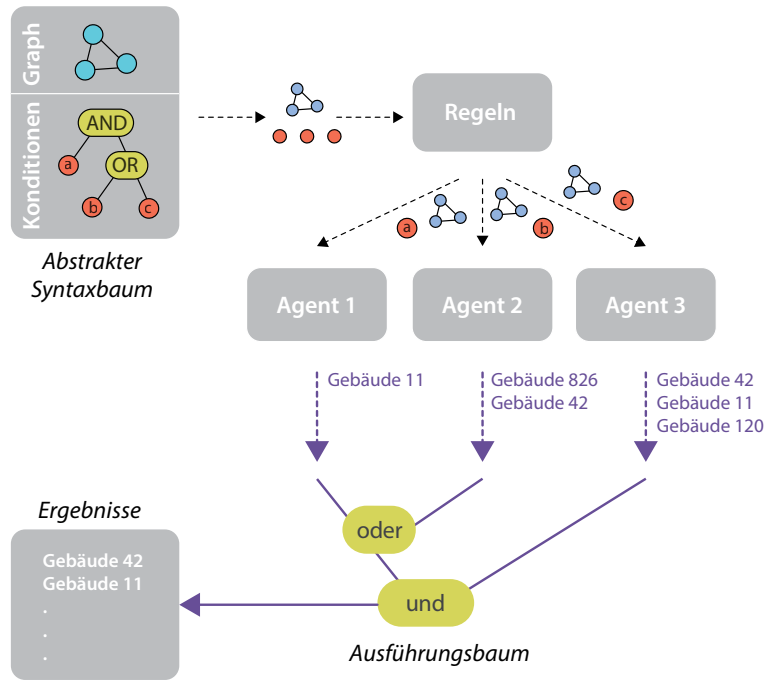


Abbildung 49 - Konzept des regelbasierten Koordinators zur Verarbeitung von Suchanfragen.

Der regelbasierte Koordinator arbeitet nach dem Anytime-Ansatz und liefert Ergebnisse an die Clientanwendung, sobald die erste Antwort eines Fingerabdruckagenten vorliegt. Die Ergebnisse werden in einem Ausführungsbaum zusammengefasst, es wird die Ergebnisliste erstellt, die kontinuierlich auf der Clientanwendung aktualisiert wird. Im Rahmen des Projektes 'metis' wurde von Viktor Ayzenshtadt ein fallbasierter Koordinator als Multiagentensystem [223] & [36] entwickelt, um auf Basis der Fingerabdrücke ähnliche Fälle zu ermitteln.

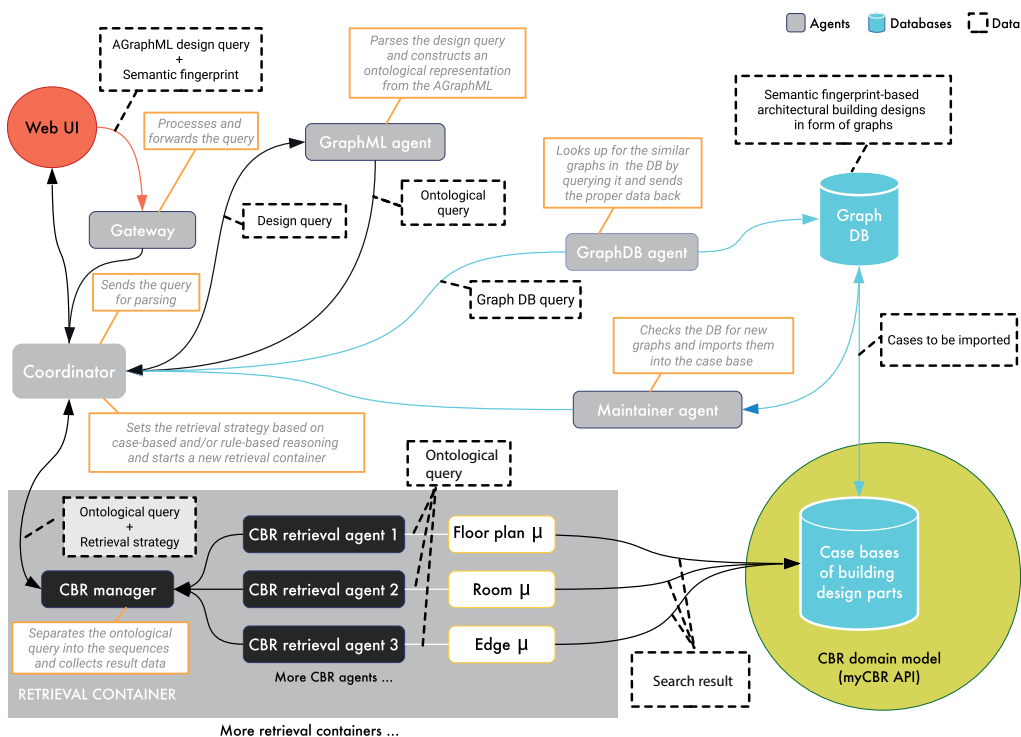


Abbildung 50 - Konzept des fallbasierten Koordinators zur Verarbeitung von Suchanfragen.

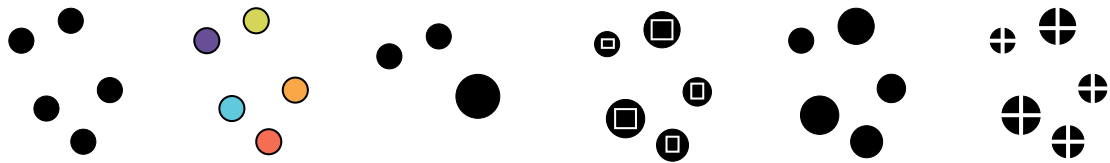
Im Verlauf der Anfragebearbeitung werden die verschiedenen Ergebnismengen von den Fingerabdruckagenten als Multimengen [224] behandelt, in die gereichte Ergebnisliste integriert und der Clientanwendung werden die Aktualisierungen in der gereichten Ergebnisliste übergeben. Außerdem werden die gefundenen Anfragefingerabdrücke sowie der Status der Fingerabdruckagenten an die Clientanwendung gesendet. Das ist notwendig, um die Erklärungsfähigkeit des umgesetzten Informationssystems zu erhöhen und durch eine Veränderung der Gewichtung der Fingerabdrücke die Ergebnismenge anzupassen. Folgende Aufgaben werden von der koordinierenden Ebene übernommen:

- Analyse der Anfragen von Nutzeroberflächen
- separieren der Fingerabdrücke
- Rückgabe der Fingerabdruckliste an Nutzeroberfläche
- berechnen der Größen und Komplexität der Fingerabdrücke
- Auswahl und Anfrage der Fingerabdruckagenten zur Verarbeitung
- zusammenführen der Ergebnismengen
- vorbereiten der Daten für die Darstellung auf der Nutzeroberfläche
- Rückgabe der gereichten Ergebnisliste an die Nutzeroberfläche
- Rückgabe des Status der Fingerabdruckagenten

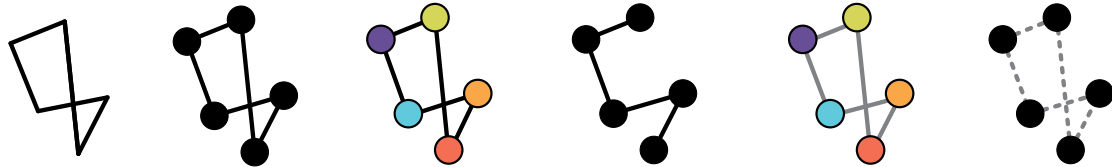
Die Anfragen der Fingerabdruckagenten erfolgen kombiniert parallel und sequenziell, abhängig von der Größe und Komplexität der topologischen Anfragen. Fingerabdruckagenten werden meist parallel angefragt, um für weniger laufzeitkritische Fingerabdrücke schon früher Ergebnisse an die Clientanwendung zu übergeben. Speziell die topologischen Abgleiche sind laufzeitkritisch und einzelne Agenten liefern erst sehr spät oder nie Ergebnisse. Bei sequenziellen Anfragen werden bestimmte kompatible Fingerabdruckagenten nacheinander angefragt, damit bspw. ein laufzeitkritischer Agent auf einer von einem anderen Agenten reduzierten Ergebnismenge operiert.

Die Ergebnisse der prototypisch implementierten regelbasierten und fallbasierten Koordinatoren wurden von Ayzenshtadt et al. [225] evaluiert. Bei der Beurteilung der Ergebnisse muss der Suchansatz des Entwerfers berücksichtigt werden. Bei weniger detaillierten Eingaben und eher lösungsorientierter Recherche lieferte der regelbasierte Koordinator die besseren Ergebnisse. Bei stärker detaillierten Eingaben und eher inspirationsorientierter Recherche hingegen waren die Ergebnisse des fallbasierten Koordinators nutzbringender.

Um die Abläufe der Koordinatoren stärker zu beeinflussen, könnten Domänen-Experten mit multikriteriellen Ansätzen die Ergebnismenge manipulieren, die Algorithmen bewerten und deren Parameter modifizieren. Außerdem könnte nach vorheriger Spezifizierung der gesuchten Fingerabdrücke das System Rückfragen zu fehlenden Eingaben stellen. Exemplarisch wurden im umgesetzten Informationssystem 12 Fingerabdrücke (Abbildung 51) verwendet und in Agenten umgesetzt.



Ohne Topologie: Knotenanzahl, Knotentyp, Fenster, Hüllfläche, Grundfläche, Raummittelpunkt



Mit Topologie: Kantenanzahl, Raumgraph, Semantischer Raumgraph, Durchwegungsgraph, Semantischer Raumverbindungsgraph, Raumdistanz

Abbildung 51 - Exemplarisch umgesetzte Fingerabdrücke.

Im vorliegenden Anwendungsszenario (siehe Kapitel 1.2) kennt der Nutzer die Datenbasis nicht, da er nicht ein bestimmtes Dokument sucht, das er bereits kennt, sondern etwas Unbekanntes ähnlich zum mentalen Modell. Ob der Abgleich mit der Datenbasis eine exakte Übereinstimmung oder eine inexakte ähnliche Übereinstimmung ergibt, hängt von der Anfrage und der Datenbasis ab. Daher haben die Grenzwerte auf der verarbeitenden Ebene Einfluss auf die Ergebnisse und müssen für den verschiedenen Agenten definiert und angepasst werden.

## 9. Resümee

Im Folgenden werden das Ergebnis der Untersuchung allgemein und aus den Hypothesen (Seite 11) abgeleitete Teilergebnisse erläutert. Diese Teilergebnisse sind als Ansätze für die Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge zu verstehen. Außerdem wird in einem ‚Importance-Satisfaction Diagram‘ beispielhaft ein entwickeltes Denkwerkzeug für die Recherche mit Hilfe von Freihandzeichnungen evaluiert. Ziel dieser Evaluierung mit Architekten ist die Frage, wie nutzbringend das Denkwerkzeug im Entwurfskontext ist und welche Eigenschaften die semantischen Fingerabdrücke dafür haben müssen.

Die beschriebenen Fingerabdrücke sind eine nicht erschöpfende, sinnvolle Auswahl an Abstraktionen für Gebäudeinformationen und können nicht als allgemeingültige Parameter für das Verarbeiten von Gebäudeinformationen verstanden werden, da die Definition der Fingerabdrücke subjektiv ist und mit Blick auf konsistente Formalisierungen in Datenstrukturen erarbeitet wurde. Schwer oder nur inkonsistent formalisierbare Parameter wurden außer Acht gelassen und so nur Teilaspekte der Gebäudeinformationen formalisiert.

Auch die Objektivierung von Architekturinformationen und Systematisierung von Entwurfsprozessen kann mit den Fingerabdrücken nicht geleistet werden, da unter anderem die Begriffe der Taxonomien (zum Beispiel Küche oder Durchwegung) unterschiedlich von Menschen verstanden werden können. Beispielsweise wird eine Küche im mentalen Modell eines Menschen häufig nicht mit der Küche in einem gefundenen Gebäudemodell übereinstimmen. Diese Mehrdeutigkeiten von Begriffen konnten im Gegensatz zu klassischen Rechercheansätzen reduziert werden, da die semantischen Fingerabdrücke weniger Begriff und dafür mehr räumliche Strukturen in der Wissensbasis abbilden.

Die Koordinationskomponenten brauchen diese Wissensbasis (siehe Abbildung 39), um die Anfragefingerabdrücke bei der Online-Abfrage zu interpretieren und die verarbeitenden Komponenten anzufragen. Beispielsweise müssen die Komponenten die Fingerabdrücke und die Regeln für die Interpretation kennen und zur Weiterverarbeitung anwenden. Die verarbeitenden Komponenten fragen die Datenbasis ab und liefern den Koordinationskomponenten Teilergebnisse, die diese wiederum interpretieren und aus den Teilmengen eine priorisierte Ergebnisliste an die Clientanwendungen übergeben.

Eine qualitativ hochwertige Datenbasis mit einer ausreichend großen Anzahl an Objekten ist ein weiterer kritischer Punkt. Unabhängig von der Quelle zur Ableitung von topologischen Bauwerksinformationen (siehe Kapitel 6.3) ist eine Aufbereitung und Anreicherung notwendig, da die notwendige Datenqualität für die topologischen Anfragen in den Quellen aktuell nicht vorliegt. Je nach Quelle und Qualität der Daten unterscheiden sich Aufwand und Automatisierungsgrad. Der manuelle Aufwand des Überprüfens, Korrigierens und Anreicherns der Informationen kann durch neue Datenmodelle und Modelliervorschriften für Bauwerksinformationen reduziert werden.

Außerdem müssen für das digitale Entwerfen neue Vorgehensmodelle (siehe erste Hypothese) entwickelt werden, da aktuell meist ohne Computer entworfen und mit dem Computer das Entworfenen dargestellt wird. Die untersuchte Fusion von Zeichnen und Recherchieren am Computer bedingt neue Vorgehensweisen, und entsprechende Denkwerkzeuge für die Architektur wurden erarbeitet. Das direkte Feedback für die Zeichnung in Form von Referenzprojekten unterstützt den Denk-/ Entwurfsprozess.

Zum Formalisieren von Entwurfsprozessen sind konsistente Regeln und Grammatiken (siehe zweite Hypothese) wie für die semantischen Fingerabdrücke notwendig. Mit semantischen Fingerabdrücken können Teilaspekte des Entwurfsprozesses abgebildet werden. In der vorliegenden Arbeit wurde unter anderem auf topologische Informationen fokussiert, um so räumliche Anordnungen konsistent zu speichern und abzufragen.

Für die Formalisierung wurden domänenspezifische Abstraktionen (siehe Hypothese drei) erarbeitet und darauf aufbauend die Fingerabdrücke und deren Regeln sowie Grammatiken zur Verarbeitung definiert. Die Herausforderung besteht darin, voneinander abgegrenzte Abstraktionen zu erarbeiten, die für den Menschen nachvollziehbar sind und computerlesbar formalisiert werden können.

Dafür sind semantische Beschreibungen zur Abbildung räumlicher Konfigurationen notwendig (siehe vierte Hypothese). Diese Semantik muss ausreichend stark und detailliert sein, um für den Anwendungsfall notwendige Operation durchführen zu können. Für den untersuchten Anwendungsfall müssen die Zeichnungen und die Gebäudeprojekte mit einer vergleichbaren Semantik abgebildet werden, um die Ähnlichkeit zwischen Zeichnung und Suchergebnis berechnen zu können. Dazu müssen die vorliegenden Daten analysiert und die formalisierbaren Informationen für den Anwendungsfall identifiziert werden (siehe fünfte Hypothese).

Zur Formalisierung sollten möglichst existierende Standardtechnologien genutzt oder erweitert werden (siehe sechste Hypothese), da bereits funktionierende Softwarekomponenten verwendet werden können. Außerdem werden etablierte Standards von Spezialisten gepflegt und bleiben so aktuell. Im untersuchten Informationssystem wurden unter anderem die Graphdatenbank ‚neo4j‘, das Dokumentenmanagementsystem ‚mediaTUM‘ und die Gebäudemodelldatenbank ‚open source BIM Server‘ verwendet. Für den Datenaustausch wurde der auf XML basierende graphML-Standard erweitert und das sogenannte AgraphML für die Fingerabdrücke entwickelt.

So werden Informationen nach ihrer Beschaffenheit separiert und gespeichert und können effizient verarbeitet werden (siehe siebte Hypothese). Im untersuchten Informationssystem wurde die Datenintegration basierend auf der AgraphML-Spezifikation in einem föderierten Informationssystem umgesetzt. Für die zeichnerische Recherche wurden dazu zwei Koordinatoren (Online-Prozess) und ein System für die Wartung und Überwachung (siehe Kapitel 13.4) der Datenbanken, Koordinatoren, Microservices und Suchagenten entwickelt. Außerdem wurden zwei Koordinatoren für die semantische Anreicherung (Offline-Prozess) der Primärdaten in semantischen Fingerabdrücken entwickelt.

So können die Informationen zweckgebunden aufbereitet (siehe achte Hypothese) und im Informationssystem abgelegt werden. Beispielhaft wurde dies halbautomatisch für die Aufbereitung (siehe Kapitel 13.3) von digitalen semantischen Gebäudemodellen (BIM) und Rastergrafiken von Gebäudegrundrissen umgesetzt. Da ausreichende Standards für die Primärdaten fehlen, kann dies aktuell nur teilweise automatisiert werden.

Basierend auf domänenspezifischen Abstraktionen müssen die Abläufe eines Informationssystems für den Anwender transparent dargestellt werden (siehe neunte Hypothese). Nur so können die Ergebnisse verstanden und angewendet werden, um Denkprozesse zu unterstützen. Durch Verändern der Zeichnung und Auswahl der An-

fragefingerabdrücke kann der Anwender das Informationssystem steuern ohne die komplexen Vorgänge, Verfahren und Algorithmen zu kennen. Außerdem kann die Transformation zwischen Abstraktionen (wie Durchwegung im Blasendiagramm und im Grundriss) verschiedene Sichten auf die Ergebnisse ermöglichen.

Die Informationen sind verknüpft und werden separat verarbeitet (siehe zehnte Hypothese). Dazu erhält jedes Objekt wie zum Beispiel ein Raum oder Stockwerk eine Identität (GUID) für das abgebildete Objekt und eine Identität (URI) für die Instanzen des Objektes in den verschiedenen Datenbasen. Abhängig von der Darstellung der Suchergebnisse wird ein entsprechender Ausschnitt aus den Gesamtdaten zusammengestellt.

Insgesamt konnte der untersuchte Ansatz weitestgehend bestätigt werden, jedoch muss aktuell der Aufbau der Datenbasis aus Primär- und Sekundärdaten als Flaschenhals des Ansatzes betrachtet werden. Zum einen fehlen technologisch gesehen allgemeingültige Standards für die Primärdaten, um automatisch Sekundärdaten zu erzeugen. Zum anderen sind menschliche Faktoren einschränkend, da die Primärdaten von einem Akteur der Baubranche zur Verfügung gestellt und aufbereitet werden müssen.

Welche Eigenschaften ein Informationssystem für den architektonischen Entwurf in den frühen Phasen haben sollte wurde mit einer heuristischen Evaluierung [226] ermittelt und die Ergebnisse in Abbildung 52 zusammengefasst. In dem Diagramm wird die Wichtigkeit und die Umsetzbarkeit bestimmter Eigenschaften von Denkwerkzeugen in den frühen Entwurfsphasen dargestellt. Dazu wurden sieben junge Architekten (5-10 Jahre Berufserfahrung, 30-45 Jahre alt) gebeten, die Wichtigkeit bestimmter Eigenschaften aus ihrer Sicht anzugeben, um anschließend mit Freihandzeichnungen (siehe Prototyp in Abbildung 31) zu recherchieren. Im Anschluss wurde in einem zweiten Fragebogen bewertet in welchem Maß die Eigenschaften umsetzbar erscheinen.

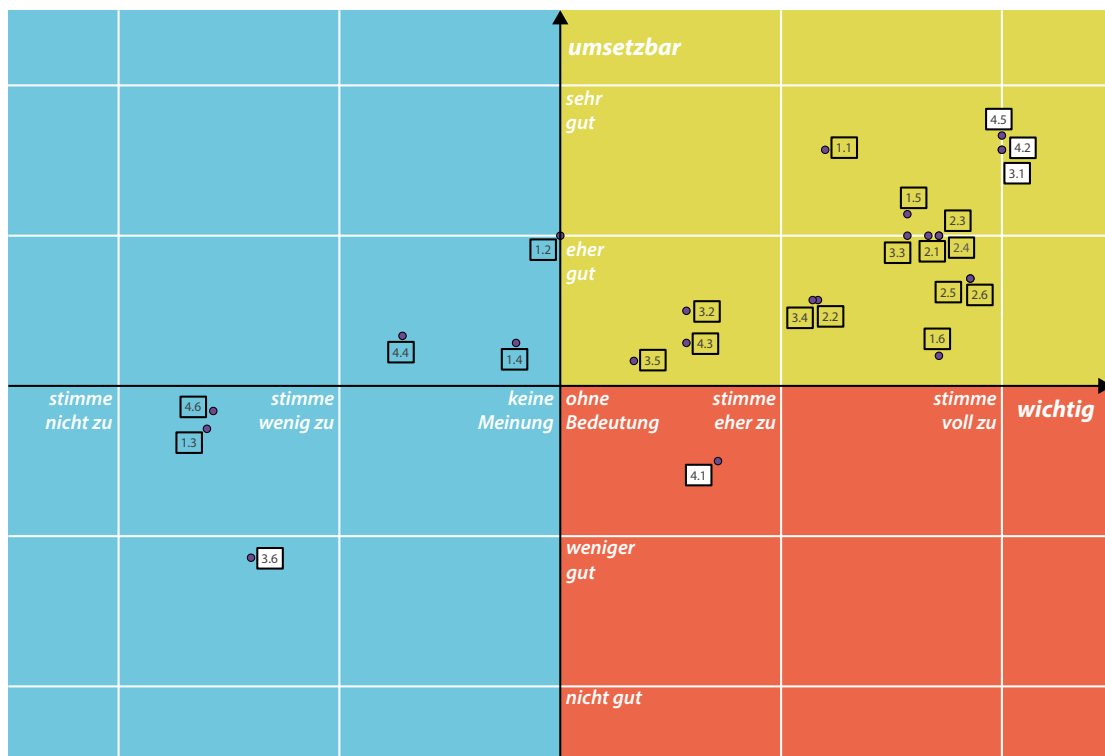


Abbildung 52 - Importance-Satisfaction Diagram zur Bewertung verschiedener Eigenschaften. (Grün: fortsetzen, Rot: verbessern, Blau: unwichtig)



Von den abgefragten 24 Eigenschaften (siehe Fragenbogen im Anhang 13.6) werden 17 (grüner Bereich) als eher gut bis sehr gut umsetzbar bewertet und eine Weiterentwicklung empfohlen. Die höchsten Prioritäten zur Weiterentwicklung haben Freihandzeichnungen (4.5), Zeichnen von Entwurfsideen (4.2) und zweidimensionale Darstellungen (3.1). Ausschließlich bei der Umsetzung von schematischen Darstellungen (4.1) sind Verbesserungen notwendig (roter Bereich) und müssen überarbeitet werden. Ziel zukünftiger Nutzerbefragungen muss eine Bewertung der Eigenschaft 4.1 im grünen Bereich sein.

Eigenschaften im blauen Bereich haben eine niedrige Priorität zur Weiterverfolgung von den Architekten erhalten. Als nicht wichtig und nicht gut umsetzbar werden dreidimensionale Gebäudeinformationsmodelle (BIM) mit der niedrigsten Priorität versehen die frühen Entwurfsphasen zu unterstützen. Die Ergebnisse der Befragung sind als Richtung für weitere Forschungsbemühungen im Bereich des wissensbasierten Entwerfens zu verstehen und sind keine erschöpfende Evaluierung der Nutzeroberfläche, des Szenarios oder des Standes der Digitalisierung im Bauwesen allgemein. Es handelt sich vielmehr um eine Vorstudie zu einem Nutzertest, um im Vorfeld umfangreicher Softwareentwicklungen grobe Fehler in der Konzeption zu entdecken.

Aus der vorliegenden Untersuchung insgesamt muss das Fazit gezogen werden, dass – entgegen der Euphorie der 1980er-Jahre in der Informatik und in den 1990er-Jahren in der Architektur sowie aktuellen Kritikern [227] – in den nächsten Jahren die künstliche Intelligenz weder den Menschen im Allgemeinen noch den entwerfenden Architekten im Besonderen ersetzen wird. Dies drückt sich auch in dem aktuellen Ansatz einer servicebasierten künstlichen Intelligenz aus. Das umgesetzte Informationssystem ist in diesem Verständnis der künstlichen Intelligenz zu sehen. Servicebasierung bedeutet, menschliche Denkprozesse nicht vollständig technologisch nachzubilden, sondern diese Prozesse teilweise – mit Assistenz-Systemen wie bspw. Siri, Google Now oder Cortana – zu unterstützen und damit den Prozess qualitativ und quantitativ aufzuwerten.

Goldschmidt und Smalkov hingegen hinterfragen grundsätzlich, ob visuelles Denken auf mentalen Prozessen oder existierenden visuellen Darstellungen beruht: “[...] are inner representations, using imagery, the prime generator of visual thinking in designing, or are external representations, in the form of drawings of all sorts and other two- and three-dimensional representations, indispensable to design thinking?” [228] S. 549. Gänshirt konstatiert dass „[...] implizit jedes Programm eine mehr oder minder verdeckte ‘Ideologie’“ [22] S. 192 besitzt.

Daher müssen für die Entwicklung wissensbasierter Denkwerkzeuge die zu unterstützenden Prozesse analysiert und bspw. entsprechende Fingerabdrücke entwickelt werden. So können je nach Anwendungsfall einige Teilprozesse gut digital unterstützt, andere hingegen analog durchgeführt werden. Kombiniert digitale und analoge Ansätze erscheinen vielversprechend.

## 10. Glossar

Im Folgenden werden eventuell missverständliche Begriffe näher im Kontext der vorliegenden Arbeit erläutert. Es handelt sich nicht um allgemeingültige Definitionen.

### **Abfragesprache**

Eine Abfragesprache ist eine digitale Sprache aus definierten Sprachelementen, die nach Regeln kombiniert werden können, um eine Frage computerlesbar zu formulieren und Informationen abzufragen.

### **Ähnlichkeit**

Zwei Objekte sind ähnlich, wenn die definierten Kriterien für den Vergleich nur teilweise erfüllt sind. Die Abweichung von der exakten Übereinstimmung kann bspw. als normalisierter Wert zur Quantifizierung der Ähnlichkeit einzelner oder mehrerer Kriterien verwendet werden.

### **Analyse**

Die Untersuchung von Datenbeständen nach definierten Kriterien, um Metadaten abzuleiten oder nach der Analyse der Einzelobjekte die Ähnlichkeit zweier Objekte zu bestimmen.

### **Anytime-Ansätze**

Für die Dauer einer Suchanfrage bleiben nicht abgeschlossene Suchagenten aktiv und liefern ggf. weitere Suchergebnisse. So können dem Nutzer schnell Suchergebnisse angezeigt werden, komplexere und zeitaufwändigere Analysen werden später der Ergebnisliste hinzugefügt.

### **BIM Server**

Ein zentrales Computersystem zur objektbasierten Speicherung von digitalen semantischen Gebäudemodellen, um Arbeitsweisen nach der BIM Methode (Building Information Modeling) zu unterstützen und bspw. die Gebäudemodelle für die Darstellung von Suchergebnissen anzuzeigen.

### **Darstellung**

Ist das Visualisieren von Bauwerksinformationen bspw. als Such- oder Analyseergebnis in graphischer Form.

### **Denkwerkzeug**

Ein Denkwerkzeug unterstützt Denkprozesse von Menschen, um mit geeigneten Mitteln unter anderem Sachverhalte darzustellen und zu prüfen, um so Handlungsmöglichkeiten zu entwickeln.

### **Digitales semantisches Gebäudemodell**

Die digitale Formalisierung von Bauwerksinformationen zum Beispiel in topologischer, geometrischer und semantischer Form zur Unterstützung lebenszyklusübergreifender Datenhaltung eines Gebäudes.

### **Fallbasiert**

Gebäude werden als sogenannte Fälle nach definierten Regeln gespeichert und bei der Abfrage der Informationen nach ähnlichen Fällen gesucht und bspw. automatisch oder manuell auf aktuell bearbeitete Problemstellungen übertragen.

## **Graphen**

Mathematische Formalisierung der Topologie bspw. räumlicher Beziehungen.

## **Industry Foundation Classes (IFC)**

Ein interoperables Austauschformat für digitale semantische Gebäudemodelle.

## **Intrinsische Metadaten**

Den Inhalt eines Dokumentes beschreibende Metadaten.

## **Medienbrüche**

Medienbrüche sind durch den Verlust von Informationen beim Wechsel zwischen verschiedenen Medien wie Papierzeichnung, CAD-System, parametrische oder geometrische Modellierer gekennzeichnet.

## **Metainformation**

Metainformation beschreibt andere Informationen um diese bspw. zu recherchieren.

## **Muster**

Muster sind wiederkehrende Strukturen unter anderem in topologischen Konstellationen in Gebäuden.

## **Parametrik**

Computerbasiertes Modellieren der Abhängigkeiten von Gebäudegeometrie ohne semantische Beschreibung von Bauteilen.

## **Raumgraph**

Formalisiert topologische Zusammenhänge in Gebäuden wie bspw. Bauteile und Räume.

## **Räumliche Anordnung**

Räumliche Anordnungen können unter anderem in Raumgraphen mit Lagebeziehungen von Räumen formalisiert werden.

## **Regelbasiert**

Im Gegensatz zu fallbasierten Ansätzen werden Regeln definiert, um bestimmte Aufgabe mit einem Algorithmus zu lösen.

## **Repräsentation**

Sachverhalte werden in Datenstrukturen formalisiert, um diese weiter verarbeiten zu können.

## **Semantik**

Begriffe (Taxonomie) der Domäne Architektur bezeichnen verknüpfte Geometrien bspw. das Bauteil Tür.

## **Semantischer Fingerabdruck**

Gebäudeinformationen werden unter anderem als Graph formalisiert und mit Begriffen (Taxonomie) und den Lagebeziehungen der Räume (Topologie) semantisch angereichert.

### **Anfragefingerabdruck**

Semantischer Fingerabdruck aus der Zeichnung des Suchenden abgeleitet.

### **Gebäudefingerabdruck**

Semantischer Fingerabdruck aus digitalen semantischen Gebäudemodellen, digitalen geometrischen Modellen oder Zeichnungen von Gebäuden abgeleitet.

### **Skizzenhafte zeichnerische Darstellungen**

Vage unvollständige graphische Darstellung von Gebäuden, bspw. eine Freihandzeichnung.

### **Subgraphisomorphismus**

Ein kleiner Graph ist strukturell vollständig in einem größeren Graph vorhanden.

### **Taxonomie**

Hierarchische Liste von Begriffen.

### **Typologie**

Eine Typologie besteht aus verschiedenen Kategorien, um ein Themenfeld wie die Architektur oder Teile davon zu beschreiben und bspw. bestimmte Gebäudetypen der Kategorie Blockrandbebauung zu zuordnen.

### **Visualisierung**

Es werden Daten sichtbar gemacht um die Information bspw. in einem Kontext als Wissen anzuwenden.

### **Wissensmanagement**

Alle Prozesse zur Wiederverwendung von Wissen.

## 11. Literaturverzeichnis

[1] Andersen, K.: The geometry of an art : The history of the mathematical theory of perspective from Alberti to Monge. New York, London : Springer, 2007 (Sources and studies in the history of mathematics and physical sciences).

[2] Liebich, T.: 6. buildingSMART BIM Anwendertag. – Aktualisierungsdatum: 2010-11-15 – Überprüfungsdatum 2011-03-30.

[3] Eastman, C.M: Building product models : Computer environments supporting design and construction. Boca Raton, Fla : CRC Press, 1999.

[4] Eisenman, Peter: Aura und Exzess : Zur Überwindung der Metaphysik der Architektur. Wien : Passagen-Verl, 1995 (Passagen Architektur).

[5] Richter, K.: Augmenting Designers' Memory : Case Based Reasoning in der Architektur. Dissertation. Berlin : Logos-Verlag, 2010.

[6] Purcell, P. A. ; Mitchell, W. J. ; McCullough, M.: The Electronic design studio : Knowledge and media in the computer era. Cambridge, Mass : MIT Press, 1990.

[7] Maak, N.: Wohnkomplex : Warum wir andere Häuser brauchen. München : Hanser, 2014.

[8] Bachmann, W.: Etymologisches – Überprüfungsdatum 2016-06-03.

[9] Steadman, P. ; Mitchell L.J.: Architectural morphospace: mapping worlds of built forms. In: Environment and Planning B: Planning and Design. 37. Aufl., 2010, S. 197–220.

[10] Nassar, K.: New advances in the automated architectural space plan layout problem. In: Tizani, Walid (Hrsg.): Proceedings of 13th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCBE 2010) and the 17th International EG-ICE Workshop on Intelligent Computing in Engineering (ICE10), Nottingham, UK, 30 June - 2 July 2010. Nottingham : The University of Nottingham, 2010.

[11] Hovestadt, L.: Jenseits des Rasters - Architektur und Informationstechnologie/ Beyond the Grid - Architecture and Information Technology : Anwendungen einer digitalen Architektonik Applications of a Digital Architectonic : Birkhäuser Verlag, 2009.

[12] Hillier, B.: Space is the machine, 2007.

[13] Hanson, J.: Decoding homes and houses. Cambridge ;, New York : Cambridge University Press, 1998.

[14] Stiny, G. ; Gips, J.: Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. In: Proceedings of IFIP Congress.

[15] Grobler, F. Aksamija A. ; Kim, H. ; Krishnamurti, R. ; Hickerson, K.Y ; Hickerson, C.: Ontologies and Shape Grammars : Communication between Knowledge-Based and Generative Systems. In: Gero, J.S.; Goel, A.K. (Hrsg.): DCC, 2008, S. 23–40.

[16] Junge, R. ; Liebich, T.: Product Data Model For Interoperability in and Distributed Environment. In: CAAD futures, 1997.

[17] buildingSMART e.V.: buildingSMART. URL <http://www.buildingsmart.de/>. – Aktualisierungsdatum: 2011-02-21 – Überprüfungsdatum 2011-03-24.

- [18] Dengel, A.: Semantische Technologien : Grundlagen - Konzepte - Anwendungen. In: Semantische Technologien (2012).
- [19] Schulte-Sasse, J. ; Werner, R.: Einführung in die Literaturwissenschaft. München : W. Fink, 1977.
- [20] Eco, U.: A Componential Analysis of the Architectural Sign /Column/. In: Broadbent, G.; Bunt, R.; Jencks, C. (Hrsg.): Signs, symbols, and architecture. Chichester, [Eng.], New York : Wiley, 1980, S. 213–232.
- [21] Bense, Max: Aesthetica : Einführung in die neue Aesthetik. Baden-Baden : Agis-Verl, 1965.
- [22] Gänshirt, C.: Werkzeuge für Ideen : Einführung ins architektonische Entwerfen. Basel : Birkhäuser, 2007.
- [23] Davis, D.: The MacLeamy curve – Daniel Davis. URL <http://www.danieldavis.com/macleamy/> – Überprüfungsdatum 2014-06-18.
- [24] Steinmann, F.: Modellbildung und computergestütztes Modellieren in frühen Phasen des architektonischen Entwurfs. Weimar, Bauhaus-Universität Weimar. 1997 – Überprüfungsdatum 2011-08-31.
- [25] Keim, D. ; Kohlhammer, J. ; Ellis, G. ; Mansmann, F.: Mastering the information age : Solving problems with visual analytics. Goslar : Eurographics Association, 2010.
- [26] Petzold, F.: Computergestützte Bauaufnahme als Grundlage für die Planung im Bestand : Untersuchungen zur digitalen Erfassung und Modellbildung. Weimar, Bauhaus-Universität Weimar. Dissertation. 20.11.2001 – Überprüfungsdatum 2011-12-01.
- [27] Sutherland, I.E: Sketchpad : A man-machine graphical communication system. In: Spring Joint Computer Conference AFIPS, 1963 (23).
- [28] Neumann, G.: Text-basiertes Informationsmanagement. In: Carstensen, K.-U (Hrsg.): Computerlinguistik und Sprachtechnologie : Eine Einführung. 3. Aufl. Heidelberg : Spektrum, Akad. Verl., 2010.
- [29] Buxton, William: Sketching user experience : Getting the design right and the right design. San Francisco, Calif : M. Kaufmann, 2007.
- [30] Beetz, J. ; van Leeuwen, J. ; de Vries, B.: Towards a Topological Reasoning Service for IFC-Based Building Information Models in a Semantic Web Context, Vol. 11. In: Anumba, C. (Hrsg.): Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, 2006, S. 3426–3435.
- [31] Langenhan, C. ; Petzold, F.: The Fingerprint of Architecture : Sketch-Based Design Methods for Researching Building Layouts Through the Semantic Fingerprinting of Floor Plans. In: International electronic scientific-educational journal: Architecture and Modern Information Technologies 4 (13) (2010). URL <http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2010/4kvart10/langenhan/abstract.php> – Überprüfungsdatum 2011-03-23.
- [32] Tautz, C.: Customizing software engineering experience management systems to organizational needs. Stuttgart : Fraunhofer IRB-Verl., 2001 (PhD theses in experimental software engineering 4).
- [33] Bergmann, R.: Developing industrial case-based reasoning applications : The INRECA methodology. Berlin, New York : Springer, ©1999 (Lecture notes in computer science Lecture notes in artificial intelligence 1612).

- [34] Harutunian, M. ; Kinnen, T. ; Quach, H.-K ; Stoll, M. ; Langenhan, C.: ar:searchbox.services : Dienstorientiertes System zur Recherche und Analyse von Referenzbeispielen auf Multi-Touch-Devices zur Unterstützung der frühen Entwurfsphasen. In: Forum Bauinformatik 2013, S. 59–70.
- [35] Roith, J. ; Langenhan, C. ; Petzold, F.: Supporting the building design process with graph-based methods using centrally coordinated federated databases. In: ICCCBE. Osaka, 2016.
- [36] Ayzenshtadt, V. ; Langenhan, C. ; Bukhari, S. ; Althoff, K-D ; Petzold, F. ; Dengel, A.: Thinking With Containers: A Multi-Agent Retrieval Approach for the Case-Based Semantic Search of Architectural Designs. In: ICAART. Rome, 2016.
- [37] Langenhan, C. ; Weber, M. ; Liwicki, M. ; Petzold, F. ; Dengel, A.: Graph-based retrieval of building information models for supporting the early design stages. In: Advanced Engineering Informatics (2013).
- [38] Lorenz, P.: Entwerfen : 25 Architekten - 25 Standpunkte. München : DVA, 2004
- [39] Libeskind, D.: Chamber Works : Architectural meditations on themes from Heraclitus. London, 1983 (Folio. Architectural Association 1) .
- [40] Aicher, O.: Analog und digital. Berlin : Ernst, 1991.
- [41] Lawson, B.: How designers think : The design process demystified. Completely rev. 3rd ed., twice repr. Oxford : Architectural Press, 2000.
- [42] Gross, M.D.: The Electronic Cocktail Napkin : A computational environment for working with design diagrams. In: Design Studies, 1996 (17), S. 53–69.
- [43] Laseau, P.: Graphic thinking for architects and designers. New York : Van Nostrand Reinhold, 1980.
- [44] Schenck, D. ; Wilson, P. R.: Information modeling: the EXPRESS way. New York u.a. : Oxford Univ. Press, 1994.
- [45] Colajanni, B. ; Pellitteri, G. ; Concialdi, S.: Retrieval tools in Building Case Bases. In: Donath, D. (Hrsg.): eCAADe. Proceedings of the. Weimar : VDG, 2000, S. 113–116.
- [46] Borrmann, A. (Hrsg.); König, M. (Hrsg.); Koch, C. (Hrsg.); Beetz, J. (Hrsg.): Building information modeling : Technologische Grundlagen und industrielle Praxis (VDI-Buch).
- [47] Rittel, H.W.J. ; Reuter, W.D.: Planen, Entwerfen, Design : Ausgewählte Schriften zu Theorie und Methodik. Stuttgart : Kohlhammer, 1992 (Facility management 5).
- [48] Steadman, P.: Architectural morphology : An introduction to the geometry of building plans. London : Pion, 1983.
- [49] Juchmes, R. ; Leclercq, P. ; Azar, S.: A Multi-Agent System for the Interpretation of Architectural Sketches. In: Eurographics, 2004.
- [50] Bielefeld, B. ; El-Khouli, S.: Entwurfsidee. Basel : Birkhäuser, 2007 (Basics).
- [51] Moelle, H.: Rechnergestützte Planungsprozesse der Entwurfsphasen des Architekten auf Basis semantischer Modelle. Technische Universität München. Dissertation. 13.11.2006 – Überprüfungsdatum 2010-12-08.
- [52] Meadati, P. ; Irizarry, J.: BIM – A Knowledge Repository.

- [53] Hannus, M.: Islands of Automation in Construction. URL <http://cic.vtt.fi/hannus/islands/index.html>. – Aktualisierungsdatum: 2002-04-04 – Überprüfungsdatum 2011-08-31.
- [54] The Europeana Foundation: Europeana. URL <http://www.europeana.eu/portal/> – Überprüfungsdatum 2013-03-20.
- [55] Digital Public Library of America: DPLA platform. URL <http://dp.la/> – Überprüfungsdatum 2014-09-24.
- [56] Lüdecke, D.: Zettelkasten. Nach dem Vorbild von Niklas Luhmann - Eine Open-Source-Literaturkartei für Windows, Macintosh (Mac OS X) und Linux. URL <http://www.zettelkasten.danielluedecke.de/> – Überprüfungsdatum 2013-08-26.
- [57] ONUMA: Onuma BIM Server. URL <http://www.onuma.com/> – Überprüfungsdatum 2011-03-30.
- [58] Autodesk: Autodesk Revit Architektur. URL <http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?id=14644879&siteID=403786>. – Aktualisierungsdatum: 2011-03-11 – Überprüfungsdatum 2011-03-11.
- [59] GRAPHISOFT Deutschland: ArchiCAD. URL <http://www.graphisoft.de/>. – Aktualisierungsdatum: 2011-03-22 – Überprüfungsdatum 2011-03-11.
- [60] Nemetschek AG: bim+. URL <https://www.bimplus.net/> – Überprüfungsdatum 2014-09-24.
- [61] Kaiser, G. ; Spiluttini, M.: Der Achleitner-Kasten. In: Bauwelt - Analoge Archive 102 (2011), Nr. 14.11, S. 15–19 – Überprüfungsdatum 2011-04-11.
- [62] Neufert, E. ; Kister, J.: Bauentwurfslehre. 38. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2005.
- [63] Schneider, F.: Grundrissatlas Wohnungsbau : Floor plan atlas, housing. 2. Aufl. Basel, Boston : Birkhäuser, 1997.
- [64] Gieselmann, Reinhard: Wohnbau. 1. Aufl. Düsseldorf : Werner, 1998.
- [65] Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG: DETAIL Inspiration. URL <http://www.detail.de/inspiration/> – Überprüfungsdatum 2013-03-20.
- [66] Bauverlag BV GmbH: BAUWELT. URL <http://www.bauwelt.de/> – Überprüfungsdatum 2014-12-16.
- [67] Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH: AIT Online. URL <https://www.ait-online.de/zeitschrift/aktuell/> – Überprüfungsdatum 2014-12-16.
- [68] Architektenkammer Nordrhein-Westfalen: baukunst-nrw - Führer zu Architektur und Ingenieurbaukunst in NRW. URL <http://www.baukunst-nrw.de/> – Überprüfungsdatum 2013-03-20.
- [69] Hendel, S.: archINFORM : Internationale Architektur-Datenbank. URL <http://deu.archinform.net/index.htm> – Überprüfungsdatum 2013-03-20.
- [70] Meister, J.: nextroom. URL <http://www.nextroom.at/> – Überprüfungsdatum 2013-03-20.
- [71] Miele, V. ; Schiphorst, N.: MIMOA | Modern Architecture Guide. URL <http://www.mimoa.eu/> – Überprüfungsdatum 2013-03-20.



[72] BBK - Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe: Zentraler Bergungsort. URL [http://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Kulturgutschutz/ZentralerBergungsort/zentralerbergungsort\\_node.html](http://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Kulturgutschutz/ZentralerBergungsort/zentralerbergungsort_node.html) – Überprüfungsdatum 2014-09-24.

[73] Deutsche Digitale Bibliothek: DDB Plattform. URL <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/> – Überprüfungsdatum 2014-09-24.

[74] Schapke, S.-E ; Fuchs, S.: Mefisto - Eine multimodellbasierte Plattform für das Bauprojektmanagement. In: Scherer, R. J.; Tauscher, H.; Schapke, S.-E (Hrsg.): Mefisto: eine Modell-, Informations- und Wissensplattform für das Bauwesen : Tagungsband 2. Mefisto Kongress, 13. Oktober 2011, Dresden ; [Management, Führung, Information ; Simulation im Bauwesen]. Dresden : Inst. für Bauinformatik, 2011 (Veranstaltungen des Instituts für Bauinformatik, 4).

[75] Stelzer, D.: Wissen — Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik. URL <http://www.oldenbourg.de:8080/wi-enzyklopaedie/lexikon/daten-wissen/Wissensmanagement/Wissen>. – Aktualisierungsdatum: 2011-03-22 – Überprüfungsdatum 2011-03-22.

[76] Abecker, A. ; Decker, S.: Organizational Memory : Knowledge Acquisition, Integration and Retrieval Issues. In: Puppe, F. (Hrsg.): Knowledge-based Systems: Survey and Future Directions, Proceeding of the 5th German Conf. on Knowledge-based Systems. Würzburg, 1999.

[77] Staab, S. (Hrsg.); Studer, R. (Hrsg.): Handbook on ontologies. Dordrecht [u.a.] : Springer, 2009 (International handbooks on information systems).

[78] Gero, J.S. ; Maher, M.L: Mutation and Analogy to Support Creativity in Computer-Aided Design. In: Schmitt, G. N. (Hrsg.): CAAD Futures : Education, research, applications. Zürich : Chair for Architecture [etc.], 1991, S. 261–269.

[79] Zamanian, M.K ; Fenves, S.J: A Framework for Modeling and Communicating Abstractions of Constructed Facilities. In: Schmitt, G. N. (Hrsg.): CAAD Futures : Education, research, applications. Zürich : Chair for Architecture [etc.], 1991, S. 245–260.

[80] Lömker, M.T: Plausibilität im Planungsprozess : Umbau und Umnutzung als Optimierungsaufgabe. Weimar, Bauhaus-Universität Weimar. Dissertation. 19.10.2006 – Überprüfungsdatum 2011-09-28.

[81] Roth-Berghofer, T. ; Richter, M.M: On explanation. In: Künstliche Intelligenz (2008), Nr. 2, S. 5–7.

[82] Riesbeck, C. K. ; Schank, Roger C.: Inside case-based reasoning. Hillsdale, N.J : Lawrence Erlbaum Associates, Pubs., 1989.

[83] Kolodner, J.L.: Case-based reasoning. San Mateo, CA : Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

[84] Heylighen, A. ; Neuckermans, H.: (Learning from Experience)? Promises, Problems and Side-effects of Case-Based Reasoning in Architectural Design. In: International Journal of Architectural Computing 1 (2003), Nr. 1, S. 60–70.

[85] Aamodt, A. ; Plaza, E.: Case-Based Reasoning : Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches, Vol. 7, Nr. 1. In: AI Communications, 1994, S. 39–59.

[86] Althoff K.-D.: Fallbasiertes Schließen. URL <http://www.dfki.de/web/forschung/km/kompetenz/forschung/fallbasiertes-schliesen> – Überprüfungsdatum 2017-02-20.

[87] Manago, M.: Computer Cooking Contest. URL <http://computercookingcontest.net/>. – Aktualisierungsdatum: 2012-07-31 – Überprüfungsdatum 2013-03-21.

[88] König, M. ; Tauscher, E.: Transferprojekt zur Modellierung von Ausführungsvarianten in der Bauprozessplanung, Bd. 17. In: International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering, 2006.

[89] Shapir, K.: Feature-basierte Mustererkennung in Bauablaufplänen. In: Forum Bauinformatik 2013, 2013.

[90] Mikuláková, E.: Wissensbasierte Bauablaufplanung mit Fallbasiertem Schließen. Bauhaus-Universität Weimar. Dissertation. 10.06.2010 – Überprüfungsdatum 2011-02-11.

[91] Beißert, U.: Constraint-basierte Simulation zur Terminplanung von Ausführungsprozessen : Repräsentation baubetrieblichen Wissens mittels Soft Constraints. Weimar : Verl. der Bauhaus-Universität, 2012 (Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren 23).

[92] Tauscher, E.: Vom Bauwerksinformationsmodell zur Terminplanung : Ein Modell zur Generierung von Bauablaufplänen. Weimar : Bauhaus-Universität Weimar, 2011 (Informatik in Architektur und Bauwesen 7).

[93] Inanc, B.S.: CaseBook : An information retrieval system for housing floor plans. In: CAADRIA. Proceedings of the, 2000.

[94] Hwang, J.E. ; Choi, J.W.: SpaceScope: Spatial Content-Based Retrieval of Architectural Floor Plans. In: CAAD Futures. Proceedings of the, 2003.

[95] Hua, K. ; Faltings, B. ; Schmith, I.: CADRE : case-based geometric design, Bd. 10. In: Artificial Intelligence in Engineering, 1996.

[96] Smith, I. ; Lottaz, C. ; Faltings, B.: Spatial composition using cases: IDIOM, Volume 1010. In: Lecture Notes in Computer Science, 1995, S. 88–97.

[97] Richter, K. ; Heylighen, A. ; Donath, D.: Looking Back to the Future : An Updated Case Base of Case-Based Design Tools for Architecture, Bd. 25. In: eCAADe. Proceedings of the, 2007.

[98] Gessmann, R.: Ein internetbasiertes Gebäudedatenrepositorium als lebenszyklusorientierte Integrationsplattform. Karlsruhe, Universität Karlsruhe. Dissertation. 05.11.2008 – Überprüfungsdatum 2010-12-08.

[99] Göttig, R.: Informationssystem für den architektonischen Planungsprozess auf Produktmodellbasis. Aachen. Dissertation. 2010.

[100] Göttig, R. (Hrsg.); Schubert, G. (Hrsg.): Forum 3D 2007 : 3D-Technologien an der Technischen Universität München. Aachen : Shaker, 2007.

[101] Borrmann, A.: Computerunterstützung verteilt-kooperativer Bauplanung durch Integration interaktiver Simulationen und räumlicher Datenbanken. Dissertation. München : Shaker.

[102] Daum, S. ; Borrmann, A. ; Langenhan, C. ; Petzold, F.: Automated generation of building fingerprints using a spatio-semantic query language for building information models. In: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2014. Vienna, Austria, 2014.

- [103] Tulke, J.: Kollaborative Terminplanung auf Basis von Bauwerksinformationsmodellen. Dissertation. Weimar.
- [104] Wülfing, A. ; Windisch, R. ; Scherer, R.J: A visual BIM query language. In: Proceedings of the 10th European Conference on Product & Process Modelling, 2014.
- [105] Igal, B.: About Me - Who is The JsMaker? URL <http://jsmaker.com/>. – Aktualisierungsdatum: 2012-12-18 – Überprüfungsdatum 2014-09-26.
- [106] Google Inc.: Postman. URL <https://chrome.google.com/webstore/category/apps> – Überprüfungsdatum 2014-09-26.
- [107] Wikimedia Foundation: Wikipedia - Sketchpad. URL <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=116272345>. – Aktualisierungsdatum: 2013-10-29 – Überprüfungsdatum 2013-11-14.
- [108] Williams, M. G. ; Altom, M. W. ; Mynatt, E. D. ; Igarashi, T. ; Edwards, W. K. ; LaMarca, A.: Flatland : new dimensions in office whiteboards. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems. Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 1999, S. 346–353.
- [109] Egli, L. ; Hsu, C-Y ; Brüderlin B. D. ; Elbert, G.: Inferring 3D models from free-hand sketches and constraints, Bd. 29. In: Computer-Aided Design, 1997, S. 101–112.
- [110] Cutler, B. ; Nasman, J.: Interpreting Physical Sketches as Architectural Models. In: Ceccato, Cristiano (Hrsg.): Advances in architectural geometry 2010. Wien ;, New York : Springer, 2010, S. 15–35.
- [111] Do, E.Y.L.: VR Sketchpad. In: Vries, B. de; van Leeuwen, J.; Achten, H. (Hrsg.): International conference on computer aided architectural design futures, 2001, S. 161–172.
- [112] Piccolotto, Moreno Attilio: Sketchpad+ : Architectural modeling through perspective sketching on a pen-based display, 1998.
- [113] Igarashi, T. ; Matsuoka, S. ; Tanaka, H.: Teddy - A Sketching Interface for 3D Free-form Design. In: SIGGRAPH, 1999, S. 490-416.
- [114] Lucid: EsQUIsE SMA. URL [http://www.lucid.ulg.ac.be/Projects\\_EsQUIsE\\_SMA.php](http://www.lucid.ulg.ac.be/Projects_EsQUIsE_SMA.php) – Überprüfungsdatum 2011-03-31.
- [115] Egenhofer, M.J: Spatial-query-by-sketch. In: IEEE Symposium on Visual Languages, 1996, S. 60–67.
- [116] Lee, J. ; Funkhouser, T.: Sketch based search and composition of 3d models. In: Eurographics, 2008.
- [117] Bian, Q. ; Hu, Z. ; He, Y. ; Cai, H.: Bling : A new sketch based 3D model search engine. In: 3rd International Conference on Information Sciences and Interaction Sciences (ICIS), 2010, S. 142–147.
- [118] Zimring, C. ; Ataman, O.: Incorporating Guidelines Into A Case-Based Architectural Design Tool. In: Harfmann, A. C.; Fraser, M. (Hrsg.): Reconnecting : ACADIA 94. [U.S.] : Association for Computer-Aided Design in Architecture, 1992, S. 87–102.
- [119] Blümel, I. ; Berndt, R. ; Ochmann, S. ; Vock, R. ; Wessel, R.: PROBADO3D : Indexing and Searching 3D CAD Databases: Supporting Planning through Content-Based Indexing and 3D Shape Retrieval. In: Design & Decision Support Systems, 2010.

[120] Shilane, P. ; Min, P. ; Kazhdan, M. ; Funkhouser, T.: The Princeton Shape Benchmark. In: Shape Modeling International : SMI '04. Proceedings of the, 2004.

[121] Wessel, R. ; Blümel, I. ; Klein, R.: The Room Connectivity Graph : Shape Retrieval in the Architectural Domain. In: The 16-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision : UNION Agency-Science Press, 2008.

[122] Wessel, R. ; Ochmann, S. ; Vock, R. ; Blümel, I. ; Klein, R.: Efficient Retrieval of 3D Building Models Using Embeddings of Attributed Subgraphs. 2011 (CG-2011-2).

[123] Leclercq, P.: Interpretative Tool for Architectural Sketches. URL <http://www.cartage.org.lb/en/themes/arts/architec/architecturalstructure/InterpretativeTool/InterpretativeTool.htm>. – Aktualisierungsdatum: 2004-02-05 – Überprüfungsdatum 2011-03-15.

[124] Landay, J.A. ; Myers, B.A.: Sketching Interfaces : Toward More Human Interface Design, Bd. 34. In: IEEE Computer, 2001, S. 56–64.

[125] Fonseca, M. J. ; Ferreira, A. ; Jorge, J. A.: Content-based retrieval of technical drawings. In: International Journal of Computer Applications in Technology 23 (2005), 2/3/4, S. 86–100.

[126] Liebich, T.: Wissensbasierter Architektorentwurf : Von den Modellen des Entwurfs zu einer intelligenten Computerunterstützung : [ein Weg zu den Entwurfsgrammatiken und zur multiplen graphischen Repräsentation : dissertation]. Weimar : VDG, Verlag und Datenbank für Geisteswissenschaften, 1994.

[127] Flemming, U.: Automatisierter Grundrissentwurf : Darstellung Erzeugung u. Dimensionierung von dicht gepackten rechtwinkligen Flächenanordnungen. Berlin, 1977.

[128] Wagener, R. ; Böckenförde, D. ; Horstick, M. ; Aschenbrenner, C. ; Pech, M.: mensch und Maschine acadGraph GmbH. URL <http://www.acadgraph.de/>. – Aktualisierungsdatum: 2014-04-11 – Überprüfungsdatum 2014-04-24.

[129] Suter, G. ; Petrushevski, F. ; Sipetic, M.: Boolean operations on network-based space layouts. In: Borrmann, A.; Geyer, P. (Hrsg.): 19th Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering. Herrsching (Munich), Germany, 2012.

[130] Schon, Donald A.: Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. In: Research in Engineering Design 3 (1992), Nr. 3, S. 131–147.

[131] Kotulski, L. ; Sedziwy, A. ; Strug, B.: Heterogeneous graph grammars synchronization in CAD systems supported by hypergraph representations of buildings. In: Expert Systems with Applications 41 (2014), 4, Part 1, S. 990–998. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413005307>.

[132] Google Brain Team: TensorFlow. URL <https://www.tensorflow.org/>.

[133] Martschinke, S.: Der Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen : Eine experimentelle Studie über die Bedeutung der Merkmalsdimensionen Elaboriertheit und Strukturiertheit im Sachunterricht der Grundschule. Münster : Waxmann, 2001 (Internationale Hochschulschriften 307).

[134] Baybars, I. ; Eastman, C.: Enumerating architectural arrangements by generating their underlying graphs. In: Environment and Planning (1980), Nr. 7, S. 289–310.

[135] Koenig, R. ; Knecht, K.: Comparing two evolutionary algorithm based methods for layout generation: Dense packing versus subdivision. In: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing 28 (2014), Nr. 03, S. 285–299.

[136] Donath, D. ; König, R. ; Petzold, F.: KREMLAS : Entwicklung einer kreativen evolutionären Entwurfsmethode für Layoutprobleme in Architektur und Städtebau. Weimar : Verl. der Bauhaus-Univ., 2012.

[137] Rottke, E.: ExTraCAD : Computerunterstützung des architektonischem Tragwerkentwurfs. Aachen : RWTH, Fak. für Architektur, 1998 (Technische Hochschule <Aachen> / Fakultät für Architektur: [Dissertationen an der Fakultät Architektur der RWTH Aachen / 2] 1).

[138] Bergmann, R. ; Althoff, K.-D ; Breen, S. ; Göker, M. ; Manago, M. ; Traphöner, R. ; Wess, S.: Developing Industrial Case-Based Reasoning Applications : The INRECA Methodology. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg; Springer e-books, 2003 (Lecture Notes in Computer Science 1612).

[139] Gruber, T. R.: A translation approach to portable ontology specifications. In: Knowl. Acquis 5 (1993), Nr. 2, S. 199-220.

[140] Gursel, I. ; Sariyildiz, S. ; Stouffs, R. ; Akin, Ö.: Contextual ontology support as external knowledge representation for building information modeling. In: Tidafi, T.; Dorta, T. (Hrsg.): CAAD Futures, 2009.

[141] Katranuschkov, P. ; Gehre, A. ; Scherer, R.J: An Ontology Framework As Advanced User Gateway to IFC Model Data, Bd. 8. In: ITcon, 2003, S. 413–437.

[142] Yang, Q.Z ; Zhang, Y.: Semantic interoperability in building design : Methods and tools. In: Computer-Aided Design 38 (2006), Nr. 10, S. 1099–1112.

[143] Abanda, F.H ; Tah, J.H.M ; Keivani, R.: Trends in built environment semantic Web applications: Where are we today? In: Expert Systems with Applications 40 (2013), Nr. 14, S. 5563–5577.

[144] Borrmann, A. ; Ji, Y. ; Obergrießer, M. ; Rank, E. ; Klaubert, C. ; Günthner, W.: ForBAU : The virtual construction site project. In: 26th nCIB-W78 Conference on Managing IT in Construction, 2009.

[145] Hartmann, T. ; Goodrich, W. ; Fischer, M. ; Eberhard, D.: Fulton Street Transit Center Project : 3D/4D Model Application Report. TR170. 2007. – TR170.

[146] Ma, Z. ; Wei, Z. ; Song, W. ; Lou, Z.: Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China. In: Automation in Construction (2011), Nr. 20, S. 196–204.

[147] Kimpian, J. ; Mason, J. ; Coenders, J. ; Jestico, D. ; Watts, S.: Sustainably Tall : Investment, Energy, Life Cycle. In: Sterk, T.; Loveridge, R.; Pancoast, D. (Hrsg.): ACADIA 09 : building a better tomorrow : proceedings of the 29th annual conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA). [United States] : Association for Computer-Aided Design in Architecture, 2009, S. 130–142.

[148] Junge, R. ; Steinmann, R. ; Beetz, K.: A Dynamic Product Model : A base for distributed applications. In: CAAD futures, 1997.

[149] Richter, P.: Entwicklung einer integrierten Informationsstruktur für relationale Datenbanken im Bauwesen. Kassel, Gesamthochschule Kassel. Dissertation. 1988.

- [150] Tauscher, E.: IFC TOOLS PROJECT. URL <http://www.ifctoolsproject.com/> – Überprüfungsdatum 2013-11-14.
- [151] Ward, A. ; Benghi, C. ; Ee, S. ; Lockley S.: The xBIM Toolkit. URL <http://xbim.codeplex.com/> – Überprüfungsdatum 2014-08-16.
- [152] Theiler, M. ; Tauscher, E. ; Tulke, J. ; Riedel, T.: Visualisierung von IFC-Objekten mittels Java3D – Überprüfungsdatum 2011-12-22.
- [153] NOUR, M. ; BEUCKE, K.: An Open Platform for Processing IFC Model Versions. In: Tsinghua Science & Technology 13 (2008), S. 126–131.
- [154] Beetz, J.; van Laat, R. (Mitarb.); van Berlo, L. (Mitarb.); van den Helm, P. (Mitarb.) : Towards an Open Building Information Model Server : Report on the progress of an open IFC framework. In: Design & Decision Support Systems, 2010.
- [155] Beetz, J. ; Leeuwen, J. van ; Vries, B. de: IfcOWL: A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies. In: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (2009), Nr. 23, S. 89–101.
- [156] W3C: OWL Web Ontology Language Overview. URL <http://www.w3.org/TR/owl-features/>. – Aktualisierungsdatum: 2009-11-13 – Überprüfungsdatum 2012-03-15.
- [157] Weise, M. ; Liebich, T. ; Wix, J.: Integrating use case definitions for IFC developments. In: ECPPM, 2008.
- [158] Staub-French, S. ; Fischer, M.A. ; Kunz, J. ; Paulson, B.: An Ontology for Relating Features with Activities to Calculate Costs, Bd. 17. In: Journal of Computing in Civil Engineering, 2003, S. 243–254.
- [159] Bhatt, M. ; Hois, J. ; Kutz, O.: Ontological Modelling of Form and Function for Architectural Design. In: Journal of Applied Ontology, 2012.
- [160] Beetz, J. ; Leeuwen, J. van ; Vries, B. de: An ontology web language notation of the industry foundation classes. In: spat (Hrsg.): 22nd CIB W78 Conference on Information Technology in Construction, 2007, S. 193–198.
- [161] Beetz, J. ; de Vries, B. ; van Leeuwen, J.: RDF-BASED DISTRIBUTED FUNCTIONAL PART SPECIFICATIONS FOR THE FACILITATION OF SERVICE-BASED ARCHITECTURES. In: spat (Hrsg.): 22nd CIB W78 Conference on Information Technology in Construction, 2007, S. 183–188.
- [162] Berndt, R. ; Blümel, I. ; Wessel, R.: PROBADO3D – Towards an automatic multimedia indexing workflow for architectural 3D models, Bd. 14. In: International Conference on Electronic Publishing, 2010.
- [163] Blümel, I.: Metadatenbasierte Kontextualisierung architektonischer 3D-Modelle. URL <http://edoc.hu-berlin.de/docviews/abstract.php?lang=ger&id=40441>.
- [164] Khalili, A. ; Chua, D. K. H.: IFC-Based Graph Data Model for Topological Queries on Building Elements. In: Journal of Computing in Civil Engineering 29 (2015), Nr. 3, S. 4014046.
- [165] Markova, S. ; Langenhan, C. ; Russell, P. ; Petzold, F.: Building Elements Re-usability Optimization-Design Decision Support Using a Case-Base of Building Information Models and Semantic Fingerprints. In: Zhang, J.; Sun, C. (Hrsg.): Global design and local materialization : 15th International Conference, CAAD Futures 2013, Shanghai, China, July 3-5, 2013. Proceedings, 2013 (Communications in computer and information science, 369).

[166] Standfest, M.: Unsupervised Symmetric Polygon Mesh Mapping : The Dualism of Mesh Representation and Its Implementation for Many Layered Self-Organizing Map Architectures. Zürich : ETH-Zürich, 2014.

[167] kubit GmbH: hylasFM. URL [http://www.kubit.de/CAD/Produkte/hylasFM/Facility\\_Management.php](http://www.kubit.de/CAD/Produkte/hylasFM/Facility_Management.php) – Überprüfungsdatum 2015-01-07.

[168] Autodesk: Autocad - Raster Design. URL <http://www.autodesk.com/products/autocad-raster-design/overview> – Überprüfungsdatum 2016-09-23.

[169] Grafex: Raster-/Image-Technologie. URL <https://www.grafex.de/content/index.html> – Überprüfungsdatum 2016-09-23.

[170] las Heras, L.-P de ; Fernandez, D. ; Valveny, E. ; Lladós, J. ; Sanchez, G.: Unsupervised Wall Detector in Architectural Floor Plans. In: 2013 12th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), S. 1245–1249.

[171] Macé, S. ; Locteau, H. ; Valveny, E. ; Tabbone, S.: A System to Detect Rooms in Architectural Floor Plan Images, Bd. 9. In: IAPR, 2010, S. 167–174.

[172] Dosch P. ; Tombre, K. ; Ah-Soon, C. ; Masini, G.: A complete system for the analysis of architectural drawings, Bd. 3. In: IJDAR, 2000, S. 102–116.

[173] Lu, T. ; Yang, H. ; Yang, R. ; Cai, S.: Automatic analysis and integration of architectural drawings. In: International Journal of Document Analysis and Recognition (IJDR) 9 (2007), Nr. 1, S. 31–47 – Überprüfungsdatum 2011-03-24.

[174] Ahmed, S. ; Weber, M. ; Liwicki, M. ; Langenhan, C. ; Dengel, A. ; Petzold, F.: Automatic Analysis and Sketch-Based Retrieval of Architectural Floor Plans. In: Pattern Recognition Letters (2013).

[175] Tombre, K.; Tabbone, S. (Mitarb.); Pélissier, L. (Mitarb.); Lamiroy, B. (Mitarb.); Dosch P. (Mitarb.) : Text/Graphics Separation Revisited. In: Lecture Notes in Computer Science, 2002, S. 200–211.

[176] Fletcher, L.A ; Kasturi, R.: A robust algorithm for text string separation from mixed text/graphics images. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 10 (1988), Nr. 6, S. 910–918.

[177] Lladós, J. ; López-Krahe, J. ; Martí, E.: A system to understand hand-drawn floor plans using subgraph isomorphism and Hough transform. In: Machine Vision and Applications 10 (1997), Nr. 3, S. 150–158. URL <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0030675745&partnerID=40&md5=7ca2ab805880e359637a7799a0376fd5>.

[178] Tamke, M. ; Blümel, I. ; Ochmann, S. ; Vock, R. ; Wessel, R.: From Point Clouds to Definitions of Architectural Space. In: Proceedings of the 32nd eCAADe Conference, S. 557–566.

[179] Google: Project Tango. URL <https://developers.google.com/project-tango/>. – Aktualisierungsdatum: 2015-07-23 – Überprüfungsdatum 2015-10-01.

[180] Lee, J.H.: Integrating Housing Design and Case-Based Reasoning. Pittsburgh, Carnegie Mellon University. Dissertation. 2002 – Überprüfungsdatum 2011-03-23.

[181] Strug, B.: Automatic design quality evaluation using graph similarity measures. In: Automation in Construction (2013).

[182] Lee, J.-K ; Eastman, C. ; Lee, J. ; Jeong, Y.-s ; Kannala, M.: Accessible Distance Measurement Using The GT Metric Graph. In: CIB W084, S. 142–149.

[183] Schneider, S. ; König, R.: Visibility-based Floor Plan Design : The Automatic Generation of Floor Plans based on Isovist Properties. URL [http://infar.architektur.uni-weimar.de/service/drupal-infar/webfm\\_send/1112](http://infar.architektur.uni-weimar.de/service/drupal-infar/webfm_send/1112).

[184] Franz, G. ; Mallot, H. A. ; Wiener, J. M.: Graph-based models of space in architecture and cognitive science - a comparative analysis. In: Leong, Y. T.; Lasker, G. E. (Hrsg.): Proceedings of the 17th International Conference on Systems Research, Informatics and Cybernetics, 2005, S. 30–38.

[185] Doherty, B. ; Rumery, D. ; Barnes, B. ; Zhou, B.: A Spatial Query & Analysis Tool for Architects. In: Nikolovska, L.; Attar, R. (Hrsg.): Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design 2012 : (SimAUD 2012) : Orlando, Florida, USA, 26-30 March 2012 : 2012 Spring Simulation Multiconference. Vista, CA, Red Hook, N.Y : Society for Modeling and Simulation International; Available from Curran Associates, 2012 (Simulation series, vol. 48, no. 8).

[186] Alexander, C. ; Ishikawa, S. ; Silverstein, M.: A pattern language : Towns buildings construction. New York : Oxford Univ. Pr, 2004 (Center for Environmental Structure <Berkeley, Calif.>: Center for Environmental Structure series 2).

[187] Gross, M.D. ; Do, E.Y.L.: Drawing on the Back of an Envelope : a framework for interacting with application programs by freehand drawing. In: Jorge, J.A. (Hrsg.): Computers & Graphics. 24. Aufl., 2000.

[188] Gross, M.D ; Do, E.Y.-L: Diagram query and image retrieval in design. In: International Conference on Image Processing, 1995, S. 308–311.

[189] Davies, J. ; Goel, A.K.: Transfer of problem-solving strategy using Covlan. In: Journal of Visual Languages & Computing 18 (2007), Nr. 2, S. 149–164.

[190] Yaner, P.W. ; Goel, A.K.: Visual Analogy : Viewing Retrieval and Mapping as Constraint Satisfaction Problems, 25 (1). In: Applied Intelligence, 2004, S. 91–105.

[191] Weber, M. ; Liwicki, M. ; Dengel, A.: Indexing with Well-Founded Total Order for Faster Subgraph Isomorphism Detection. In: Graph-Based Representations in Pattern Recognition: 8th IAPR-TC-15 International Workshop. IAPR International Workshop on Graph-Based Representations in Pattern Recognition (Gbr-11) 8th IAPR-TC-15 International Workshop on Graph-Based Representations in Pattern Recognition, May 18-20, Münster, Germany : Springer, 2011.

[192] Börner, K.: Structural similarity as guidance in case-based design. 12.05.2005.

[193] Schaffranek, R.: Parallel planning : An experimental study in spectral graph matching. In: Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium, 2015.

[194] Grasl, T. ; Economou, A.: Spatial Similarity Metrics: Graph theoretic distance measurement and floor plan abstraction. In: Dong, A.; Vande M., Andrew E.; Gero, J.S. (Hrsg.): Computer-aided architectural design futures (CAADFutures) 2007 : Proceedings of the 12th International CAAD Futures Conference. Dordrecht, the Netherlands : Springer, 2007.

[195] Bunke, H.: On a relation between graph edit distance and maximum common subgraph. In: Pattern Recognition Letters 18 (1997), Nr. 8, S. 689–694.



- [196] Yan X. ; Yu, P. S. ; Han, J.: Substructure similarity search in graph databases. In: ACM SIGMOD international conference, 2005, S. 766.
- [197] Tian, Y. ; Mceachin, R. C. ; Santos, C. ; States, D. J. ; Patel, J. M.: SAGA : A subgraph matching tool for biological graphs. In: Bioinformatics 23 (2007), S. 232-239.
- [198] Riesen, K.: Graph Matching Toolkit. URL <http://www.fhnw.ch/wirtschaft/iwi/gmt> – Überprüfungsdatum 2015-06-17.
- [199] Vosselman, G.: Relational matching. Berlin, New York : Springer-Verlag, 1992 (Lecture Notes in Computer Science 628).
- [200] Knight, T.: Designing with Grammars. In: Schmitt, G. N. (Hrsg.): CAAD Futures : Education, research, applications. Zürich : Chair for Architecture [etc.], 1991, S. 33–48.
- [201] Coyne, R.: The Impact of Computer Use on Design Practice. In: Schmitt, G. N. (Hrsg.): CAAD Futures : Education, research, applications. Zürich : Chair for Architecture [etc.], 1991, S. 414–424.
- [202] Nadin, M.: Computational Design : Design im Zeitalter einer Wissensgesellschaft. In: formdiskurs : form, 1997 (2), S. 40–60.
- [203] König, M. (Hrsg.); Borrmann, A. (Hrsg.); Koch, C. (Hrsg.); Beetz, J. (Hrsg.): Building Information Modeling : Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2015 (SpringerLink : Bücher).
- [204] Petzold, F.: Computergestützte Bauaufnahme als Grundlage für die Planung im Bestand : Untersuchungen zur digitalen Erfassung und Modellbildung. [S.l. : s.n.], 2001.
- [205] Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Wien : Springer, 1973.
- [206] Schmitt, G. N. (Hrsg.): CAAD Futures : Education, research, applications. Zürich : Chair for Architecture [etc.], 1991.
- [207] Negroponte, N.: The architecture machine : Toward a more human environment. Cambridge, Mass : MIT Pr, 1970.
- [208] Ellis, D.: A BEHAVIOURAL APPROACH TO INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM DESIGN. In: Journal of Documentation 45 (1989), Nr. 3, S. 171–212.
- [209] Graphviz: Graph Visualization Software. URL <http://www.graphviz.org/> – Überprüfungsdatum 2015-06-12.
- [210] The Gephi Consortium: Gephi : The Open Graph Viz Platform. URL <https://gephi.github.io/>. – Aktualisierungsdatum: 2014-09-13 – Überprüfungsdatum 2014-12-02.
- [211] Tier, M.: Commetrix : Dynamic Network Visualization Software - Dynamic Visualization of Networks - Dynamic Social Network Analysis Software Visualization - Dynamic Network Analysis - Virtual Communities. URL <http://www.commetrix.de/> – Überprüfungsdatum 2015-06-17.
- [212] Mrvar, A.: Program Package Pajek / PajekXXL. URL <http://mrvar.fdv.uni-lj.si/pajek/>. – Aktualisierungsdatum: 2015-06-09 – Überprüfungsdatum 2015-06-12.
- [213] Shneiderman, B.: The eyes have it : A task by data type taxonomy for information visualizations. In: IEEE Symposium on Visual Languages, 1996, S. 336–343.

[214] Weber, M. ; Langenhan, C. ; Roth-Berghofer, T. ; Liwicki, M. ; Dengel, A. ; Petzold, F.: a.SCatch Semantic Structure for Architectural Floor Plan Retrieval. In: Bichindaritz, I.; Montani, S. (Hrsg.): ICCBR. Berlin : Springer, 2010 (6176), S. 2010; NUMB 6176, 510-524.

[215] Gratzl, S. ; Lex, A. ; Gehlenborg, N. ; Pfister, H. ; Streit, M.: LineUp : Visual Analysis of Multi-Attribute Rankings. In: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 19 (2013), Nr. 12, S. 2277–2286.

[216] Beck, F. ; Burch, M. ; Diehl, S. ; Weiskopf, D.: The State of the Art in Visualizing Dynamic Graphs. In: EuroVis - STARs : Eurographics Association, 2014, S. 83–103.

[217] Bayer, J. ; Bukhari, S. ; Langenhan, C. ; Eichenberger-Liwicki M. ; Althoff K.-D. ; Petzold, F. ; Dengel, A.: Migrating the Classical Pen-and-Paper based Conceptual Sketching of Architecture Plans Towards Computer Tools : Prototype Design and Evaluation. In: GREC 2015, 2015.

[218] Thurow, T. ; Langenhan, C. ; Petzold, F.: Assisting Early Architectural Planning Using a Geometry-Based Graph Search. In: eCAADe 2016, 2016.

[219] Wikimedia Foundation: Wikipedia - Ausgleichsrechnung. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Ausgleichsrechnung> – Überprüfungsdatum 2016-09-23.

[220] Langenhan, C. ; Petzold, F.: Perspectives on architecture: Different abstraction layer of building information imply special working methods and interaction metaphors to support a variety course of action. In: Sigradi, 2016. XX Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 2016.

[221] Roith, J. ; Langenhan, C. ; Petzold, F.: Supporting the building design process with graph-based methods using centrally coordinated federated databases. In: ICC-CBE, 2016.

[222] Wikimedia Foundation: Wikipedia - Microservices. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Microservices> – Überprüfungsdatum 2016-09-23.

[223] Ayzenshtadt, V. ; Langenhan, C. ; Althoff, K.-D ; Petzold, F.: Distributed Domain Model for the Case-Based Retrieval of Architectural Building Designs. In: UKCBR, 2015.

[224] MONGIOVI, M. ; Di NATALE, R. ; Giugno, R. ; PULVIRENTI, A. ; FERRO, A. ; SHARAN, R.: SIGMA: A SET-COVER-BASED INEXACT GRAPH MATCHING ALGORITHM. In: Journal of Bioinformatics and Computational Biology 08 (2010), Nr. 02, S. 199–218.

[225] Ayzenshtadt, V. ; Roith, J. ; Langenhan, C. ; Bukhari, S. ; Althoff, K-D ; Petzold, F. ; Dengel, A.: Comparative Evaluation of Rule-Based and Case-Based Retrieval Coordination for Search of Architectural Building Designs. In: The Twenty Fourth International Conference on Case-Based Reasoning (ICCBR 2016), 2016.

[226] Nielsen, J.: How to Conduct a Heuristic Evaluation. URL <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/> - Überprüfungsdatum 2016-10-24.

[227] derStandard.at GmbH: Forscher warnen: Künstliche Intelligenz kann das Ende der Menschheit bedeuten - Technik - derStandard.at › Wissenschaft. URL <http://derstandard.at/2000010353922/Zahlreiche-Forscher-warnen-Kuenstliche-Intelligenz-kann-das-Ende-der-Menschheit> – Überprüfungsdatum 2015-01-14.

[228] Goldschmidt, G. ; Smalkov, M.: Variances in the impact of visual stimuli on design problem solving performance. In: Design Studies 27 (2006), Nr. 5, S. 549–569 – Überprüfungsdatum 2011-09-27.

## 12. **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1	<b>Struktur der Dissertation.</b>	10
Abbildung 2	<b>Wesentliche Komponenten wissensbasierter Denkwerkzeuge.</b>	14
Abbildung 3	<b>Schema der Funktionsweise des Informationssystems.</b>	15
Abbildung 4	<b>Semantische Fingerabdrücke von der Topologie bspw. der Benachbarung und Durchwegung.</b>	16
Abbildung 5	<b>Einfaches Systemkonzept ‚InfoCloud‘.</b>	17
Abbildung 6	<b>Vorgehensweisen im iterativen Prozess des Entwerfens anlehnend an Lawson [41] S. 47.</b>	18
Abbildung 7	<b>Die Entwurfstrichter anlehnend an Laseau [43] S. 91.</b>	19
Abbildung 8	<b>Entwerfen als verzweigtes Untersuchen, Auswählen und Zusammenführen von Lösungen anlehnend an Buxton [29] S. 388.</b>	19
Abbildung 9	<b>Unterschied Skizze und Prototyp [29] S. 140.</b>	19
Abbildung 10	<b>BIM Kreislauf.</b>	21
Abbildung 11	<b>Unterstützung von Denkprozessen mit Skizzen anlehnend an Buxton [29] S. 114.</b>	23
Abbildung 12	<b>Islands of Automation in Construction [53].</b>	26
Abbildung 13	<b>Grundlegender Ansatz des fallbasierten Schließens.</b>	32
Abbildung 14	<b>FBS-Kreislauf anlehnend an Aamodt et al. [85] S. 46.</b>	33
Abbildung 15	<b>FBS-Systeme nach Planungsphase.</b>	34
Abbildung 16	<b>FBS-Systeme in der Architektur anlehnend an Richter [5] S. 125.</b>	34
Abbildung 17	<b>Nutzerschnittstelle für die Eingabe bei ‚Alberti‘ [51] S. 292</b>	38
Abbildung 18	<b>Nutzerschnittstelle für die Darstellung bei ‚Alberti‘ [51] S. 294</b>	39
Abbildung 19	<b>Benutzeroberfläche von ‚FUNPLAN‘ in Autocad [24] S. 115.</b>	39
Abbildung 20	<b>Bei Ansatz 1 wird ein Knoten (h) hinzugefügt [48] S. 73 und bei Ansatz 2 bleibt die Topologie gleich (siehe Kantenanzahl) und die Geometrie wird geändert [48] S. 102.</b>	41
Abbildung 21	<b>Beispiele für Konzeptualisierungen mit unterschiedlichem Formalisierungsgrad und Geltungsbereich [18] S. 135.</b>	43
Abbildung 22	<b>Gebäudegliederung angelehnt an Richter [149] S. 74 &amp; Gessmann [98].</b>	44
Abbildung 23	<b>Grundlegende Relationen räumlicher Konfigurationen anlehnend an Hanson [13] S. 23.</b>	47
Abbildung 24	<b>Geometriegraph (grüne Linien) und Graph der Benachbarung (blaue Linien) inklusive vierer Außenbereiche der Himmelsrichtungen anlehnend an [48] S. 66.</b>	48
Abbildung 25	<b>Teilgraphen in N-S Richtung (blaue Linien) und W-O Richtung (grüne Linien) [48] S. 105.</b>	48

Abbildung 26	<b>Verschiedene Graphmodelle in der Architektur anlehnend an Franz et al. [184] S. 35.</b>	49
Abbildung 27	<b>Einordnung gängiger Formate zur Repräsentation von Informationen entlang einer syntaktischen und semantischen Dimension anlehnend an Dengel et al. [18] S. 206.</b>	50
Abbildung 28	<b>Literaturübersicht zur Strukturierung des Entwurfsgegenstandes [204] S. 37.</b>	54
Abbildung 29	<b>Mentales Modell und Information in IT-Infrastrukturen.</b>	58
Abbildung 30	<b>Formalisierung des mentalen Modells zum Anfragen eines Informationssystems.</b>	59
Abbildung 31	<b>Benutzeroberfläche 'Touchtect' – Links: Fingerabdrücke auswählen; Mitte: Zeichen-/Arbeitsfläche; Rechts: Ergebnisse der Recherche.</b>	62
Abbildung 32	<b>Struktur der Fingerabdrücke und deren Formalisierung im Datenmodell IFC und AgraphML.</b>	63
Abbildung 33	<b>Parameter für Fingerabdrücke der Raumeigenschaften.</b>	65
Abbildung 34	<b>Parameter für Fingerabdrücke der Relationseigenschaften.</b>	66
Abbildung 35	<b>Parameter für Fingerabdrücke der Stockwerkseigenschaften.</b>	67
Abbildung 36	<b>Parameter für Fingerabdrücke der Gebäudeeigenschaften.</b>	68
Abbildung 37	<b>Darstellung eines Grundrisses und des zugehörigen Raumgraphen der Benachbarung.</b>	70
Abbildung 38	<b>AgraphML-Spezifikation für den Austausch von Gebäudeinformationen.</b>	71
Abbildung 39	<b>Softwarearchitektur des Informationssystems anlehnend an Dengel et al. [18].</b>	73
Abbildung 40	<b>Ebenen des Informationssystems bei der online und offline Anfrage sowie deren Aufgaben.</b>	73
Abbildung 41	<b>Fingerabdrücke aus Bildanalysen.</b>	75
Abbildung 42	<b>Benutzerschnittstelle 'surfid'.</b>	75
Abbildung 43	<b>Fingerabdrücke aus IFC.</b>	76
Abbildung 44	<b>Klassische Darstellungen und deren mögliche Transformation anlehnend an Hanson [13] S. 308 und Liebich [126] S. 75.</b>	78
Abbildung 45	<b>Benutzerschnittstelle 'ar:searchPad'.</b>	79
Abbildung 46	<b>Verschieden detaillierte Anfrage.</b>	80
Abbildung 47	<b>Benutzerschnittstelle 'metis WebUI'.</b>	81
Abbildung 48	<b>Benutzerschnittstelle 'Flamingo' zur Korrektur und Detaillierung der Geometrie.</b>	81
Abbildung 49	<b>Konzept des regelbasierten Koordinators zur Verarbeitung von Suchanfragen.</b>	83

Abbildung 50	<b>Konzept des fallbasierten Koordinators zur Verarbeitung von Suchanfragen.</b>	83
Abbildung 51	<b>Exemplarisch umgesetzte Fingerabdrücke.</b>	85
Abbildung 52	<b>Importance-Satisfaction Diagram zur Bewertung verschiedener Eigenschaften. (Grün: fortsetzen, Rot: verbessern, Blau: unwichtig)</b>	88
Abbildung 53	<b>Übersicht der Prototypen.</b>	110
Abbildung 54	<b>Konfigurationsseite des 'GML-Matcher' im Browser.</b>	111
Abbildung 55	<b>Statusseite des 'FPA Webservice' im Browser.</b>	112
Abbildung 56	<b>Meldung des BIM2Graph-Webservice im Browser.</b>	112
Abbildung 57	<b>Benutzerschnittstelle des 'rules based coordinator' zum Testen und Konfigurieren.</b>	113
Abbildung 58	<b>Mockup 'a.vista' für Maus und Tastatur Eingaben.</b>	114
Abbildung 59	<b>Benutzerschnittstelle der 'ar:searchbox'.</b>	114
Abbildung 60	<b>Benutzerschnittstelle 'a.scatch'.</b>	115
Abbildung 61	<b>Benutzerschnittstelle 'ar:searchDroid'.</b>	115
Abbildung 62	<b>Benutzerschnittstelle 'cormorant'.</b>	116
Abbildung 63	<b>Benutzerschnittstellen für Smartphones - links 'ar:searchbox.app' und rechts 'mediaTUM4android'.</b>	117
Abbildung 64	<b>Anfrage in Standardmodelliersoftware und parametrischen Plug-In, Dolphin'.</b>	118
Abbildung 65	<b>Benutzerschnittstelle BIM2Graph.</b>	119
Abbildung 66	<b>Benutzerschnittstelle 'surfID'.</b>	120
Abbildung 67	<b>'AgraphML' Plug-In für 'Gephi'.</b>	120
Abbildung 68	<b>Benutzerschnittstelle 'Inspektor Columbo'.</b>	121
Abbildung 69	<b>Ergebnisse der Konsistenzprüfung der drei Datenbestände.</b>	122
Abbildung 70	<b>Grundriss Automatisierung.</b>	123
Abbildung 71	<b>Planfinder.</b>	124
Abbildung 72	<b>Solo / Gruppe / Paar.</b>	125
Abbildung 73	<b>Graph-based Computational Space Planner.</b>	126

# 13. Anhang

## 13.1. Einführung

Aktuelle Ablage- und Recherchestrategien orientieren sich meist an Schlagwörtern und bilden räumliche Konfigurationen (wie zum Beispiel die Proportionen und Beziehungen von Räumen und Gebäuden) nur unzureichend ab. Statt einer rein textbasierten Recherche hat Christoph Langenhan in der Diplomarbeit 'a.vista' (Bauhaus-Universität Weimar) 2008 eine grafische Abfragesprache erarbeitet, die einerseits formale Strukturen und andererseits Konzeptskizzen verarbeiten kann. Dazu wurden, vergleichbar mit der Identifikation eines Menschen anhand seines Fingerabdruckes, sogenannte semantische Fingerabdrücke als Metadaten für die verschiedenen Teilaspekte von Gebäudeinformationen abgeleitet. Jedem Gebäudeprojekt werden jeweils für verschiedene Merkmale Fingerabdrücke zugeordnet. Ein Merkmal im semantischen Fingerabdruck ist eine Kombination von Einzelinformationen, die in einer bestimmten Relation zueinanderstehen und in dieser Kombination in ähnlichen Projekten vorkommen. Diese Ansätze bilden die Grundlage der im Folgenden beschriebene Projekte (siehe Übersicht Abbildung 53) und wurden 2009 mit dem 1. Preis beim Wettbewerb 'Auf IT gebaut' (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) ausgezeichnet. Die Ansätze wurden in der Masterarbeit von Markus Weber 2009 (Universität Kaiserslautern und DFKI GmbH) aufgegriffen und die technologischen Grundlagen für die im Folgenden beschriebenen Projekte erarbeitet, wodurch die Ansätze teilweise evaluiert werden konnten. Die theoretischen Ausführungen finden sich detailliert in Kapitel 7.3.

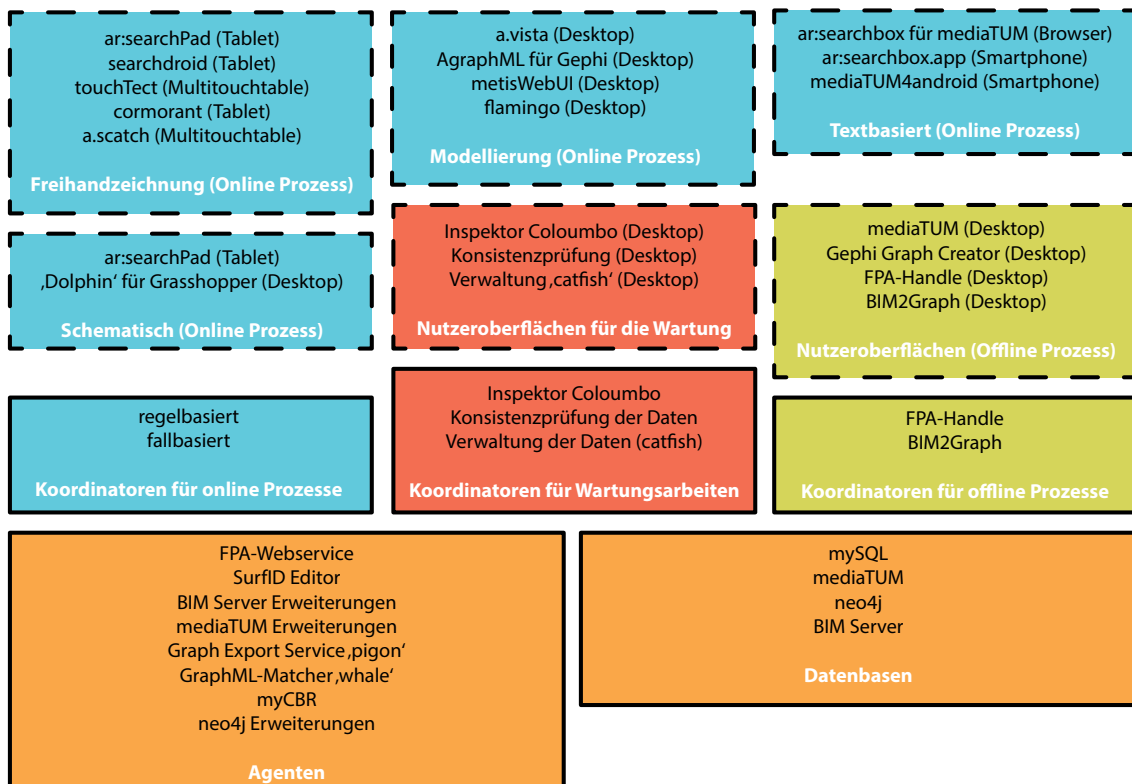


Abbildung 53 - Übersicht der Prototypen (gestrichelte Linie: Clients, durchgezogene Linie: Server, blau: Recherche, rot: Wartung, grün: Annotation, orange: Verarbeitung).

Der überwiegende Teil der Prototypen arbeitet in einer webservicebasierten Infrastruktur zusammen. Sie tauschen bspw. Informationen aus, erledigen Aufgaben für andere Prototypen oder sind für Nutzereingaben zuständig. Die Prototypen sind an

der TUM (Technische Universität München) am Lehrstuhl für Architekturinformatik, in der Universitätsbibliothek sowie teilweise in sogenannten interdisziplinären Projekten mit Studenten der Fakultät für Informatik entstanden. Darüber hinaus wurde auch mit dem Bereich Medieninformatik der Ludwig-Maximilians-Universität (LUM), der Universität Kaiserslautern, dem Deutschen Forschungsinstitut für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH) und der Universität Hildesheim zusammengearbeitet.

Da ca. 50 Personen aus verschiedenen Fachbereichen und mit heterogenem Wissenstand an der Umsetzung gearbeitet haben, wurden so weit möglich Standardsoftware und -werkzeuge verwendet und mit definierten Schnittstellenspezifikationen verknüpft. Außerdem wurden für die Softwareentwicklung 'XEN-Server', 'Jenkins', 'Maven', 'Vagrant', 'Gitlab', 'Doxygen' und 'Puppet' von Tristan Helmich getestet, um die Implementierung der Prototypen zu vereinfachen und zu verbessern. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass die Beherrschung der zahlreichen Werkzeuge zeitaufwendig ist und für die Entwicklungstätigkeit an Forschungseinrichtungen nur eingeschränkt Nutzen bringt. Bei der umgesetzten Softwarearchitektur als Microservices übersteigt die Einrichtung und Wartung dieses Systems für die über 50 Einzelkomponenten den zu erwartenden Nutzen. Tatsächlich genutzt wurde zur Versionierung der Entwicklungsstände 'Gitlab', zur Verwaltung und Versionierung der Server 'XEN-Server' sowie für die Softwareverteilung (eng.: Deployment) 'Maven' und die Dokumentation 'Doxygen'.

Die Prototypen werden mit Programmiersprachen wie 'Java', 'C#', 'Python' oder 'Swift' erstellt und ausgeführt auf Betriebssystem wie 'Linux' für die Serveranwendungen sowie 'Windows', 'Android' oder 'iOS' für Clientanwendungen. Zwei Server werden für den Betrieb und die Evaluierung verwendet. Ein Debian-Server für die eigenen Webservices und ein Ubuntu-Server für die Graphdatenbank 'neo4j' und die digitalen Gebäudemodelle 'Open-Source BIMserver'. Die übrigen Metainformationen, Rastergrafiken und PDF-Dokumente wurden in dem CMS 'mediaTUM' auf dem Server der Universitätsbibliothek gespeichert.

Die Datenbanken befinden sich auf der Ebene der Datenhaltung (Abbildung 40), jedoch sind bereits zahlreiche Dienste integriert, die der Ebene der Verarbeitung im Systemkonzept zugeordnet werden. Diese Dienste werden genutzt und könnten durch Plug-Ins oder Erweiterungen der Open-Source-Datenbanken um notwendige Funktionen erweitert werden. Als separater Webservice wurde von Fabian Streitl das Subgraphmatching von Markus Weber in den Webservice 'GML Matcher' (Abbildung 54) integriert und um ein geometrisches Reihungsverfahren ergänzt. Auf dieser Basis hat Christopher Will durch Parallelisierung der Verfahren den Webservice 'whale' weiter verbessert.

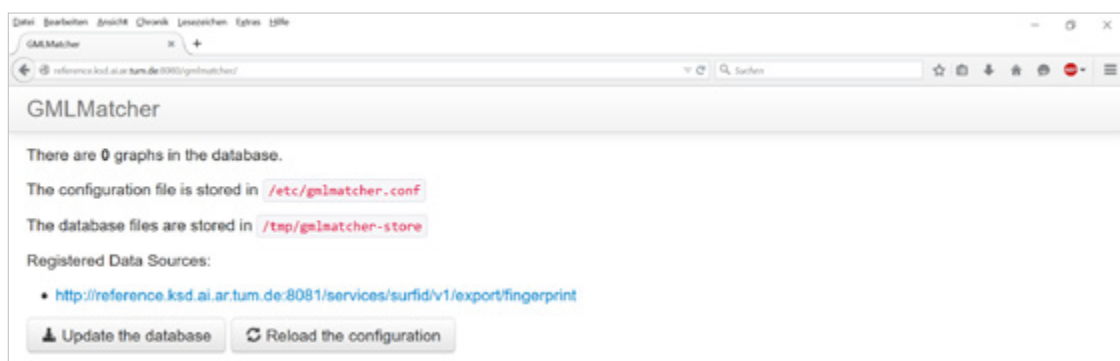


Abbildung 54 - Konfigurationsseite des 'GML-Matcher' im Browser.

Wie im Systemkonzept beschrieben, vereinheitlichen die Koordinatoren die Kommunikation zwischen den Clients und der verarbeitenden Ebene. Zur Analyse von Rastergrafiken wurden beispielsweise die 'FPA-Webservices' für Grundrisse von Arno Schneider, Martin Stoll, Hong-Khoan Quach, Matteo Harutunian, Bishwa Hang Rai, Thomas Kühner und Markus Dausch auf der technologischen Basis von Markus Weber umgesetzt und erweitert. In Abbildung 55 ist die Benutzerschnittstelle im Browser dargestellt, um zum Beispiel den Status aktueller Grundrissanalysen oder den Algorithmus zur Berechnung der Fingerabdrücke auszuwählen. Im Kapitel 13.3 wird die Benutzerschnittstelle zur Korrektur und Ergänzung der semantischen Fingerabdrücke beschrieben.

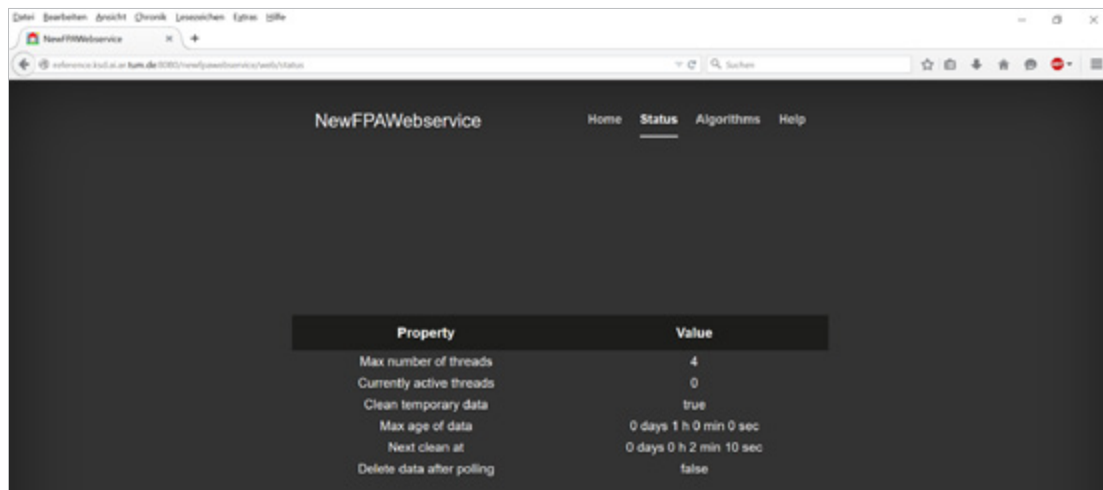


Abbildung 55 - Statusseite des 'FPA Webservice' im Browser.

Der Webservice 'BIM2Graph' (Abbildung 56) wurde in einem Studentenprojekt von Leon Höß zur halbautomatischen Extraktion von semantischen Gebädefingerabdrücken aus digitalen semantischen Gebäudemodellen entwickelt. Die Benutzerschnittstelle zu diesem Serverdienst wird in Kapitel 13.3 beschrieben. Der Serverdienst koordiniert die Datenflüsse zwischen den Analysen auf der verarbeitenden Ebene und führt automatische geometrische Kontrollen der Ergebnisse durch. Außerdem wird mit einer Datenbank als automatisches Wörterbuch die Erstellung von Gebädefingerabdrücken unterstützt.

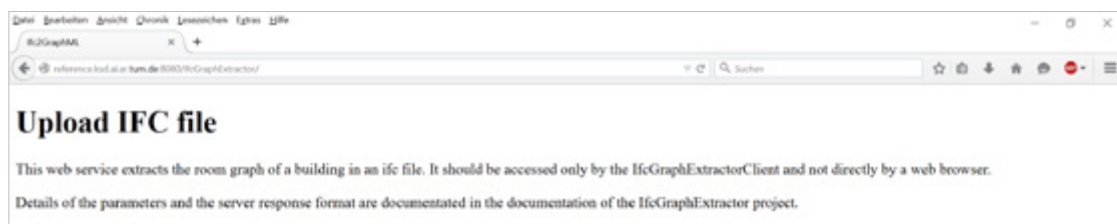


Abbildung 56 - Meldung des BIM2Graph-Webservice im Browser.

Neben den o.g. Koordinatoren zur Erzeugung von Gebädefingerabdrücken sind ein oder mehrere Koordinatoren für die Recherche in dem föderierten Informationssystem notwendig. Basisfunktionen wurden bspw. von David Frey im 'Unified Query Service' als Datenweiche implementiert, um in erster Linie die Kommunikation auf Basis des AgraphML Schema zu ermöglichen. Darauf aufbauend hat Viktor Ayzenshtadt ein 'fallbasiertes Multiagentensystem' [223] und Johannes Roith den 'Rule-Based coordinator' (Abbildung 57) [221] entwickelt. Hauptaufgaben sind das automatische Analysieren der Anfrage, um die Fingerabdrücke zu extrahieren und für jeden Finger-



abdruck auf der verarbeitenden Ebene einen oder mehrere Dienste anzufragen. Die Ergebnisse werden anschließend zusammengeführt und den Clientanwendungen zur Darstellung übergeben.

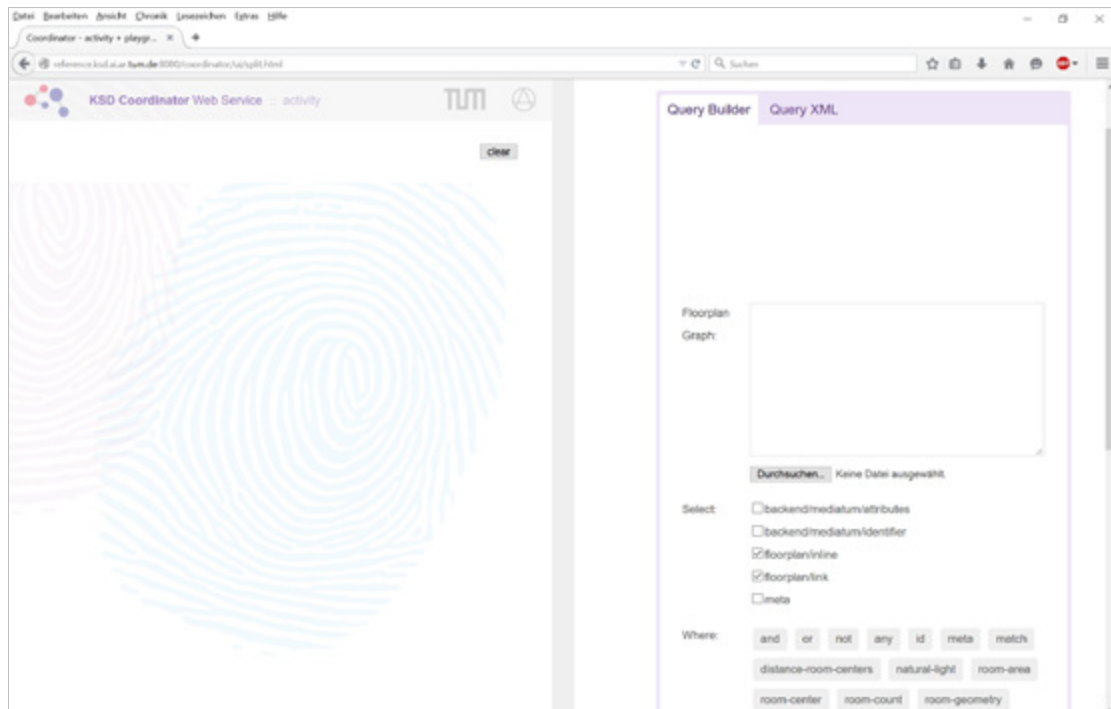


Abbildung 57 - Benutzerschnittstelle des 'rules based coordinator' zum Testen und Konfigurieren.

Um mit mobilen Geräten und deren eingeschränkten Ressourcen das föderierte Informationssystem anzufragen, wird die Intelligenz des Systems so fast vollständig auf den Servern belassen und die Clientanwendungen zum Formulieren von Anfragen, Steuern der Prozesse auf den Servern und zur Darstellung der Ergebnisse genutzt. Im Folgenden werden Benutzerschnittstellen für die Domänenanwender (bspw. Architekten), für die Domänenexperten (bspw. BIM-Manager) oder IT-Experten (bspw. Informatiker) beschrieben. Dabei handelt es sich um Apps für verschiedene Betriebssysteme und Geräte sowie plattformunabhängige HTML-basierte Benutzerschnittstellen, die im Browser verwendet werden.

## 13.2. Domänenanwender

Entsprechend dem Anwendungsfall (zum Beispiel Büroumgebung, Kundenbesuch, Besprechung, Exkursion oder Entwurf), sind die Prototypen für den Domänenanwender konzeptioniert. Für klassische zeichnerische Ansätze mit Maus und Tastatur wurde von Christoph Langenhan 2008 das Konzept 'a.vista' (Abbildung 58) mit verschiedenen semantischen Bauwerkebenen (Level, Unit, Zone, Room) vorgeschlagen.

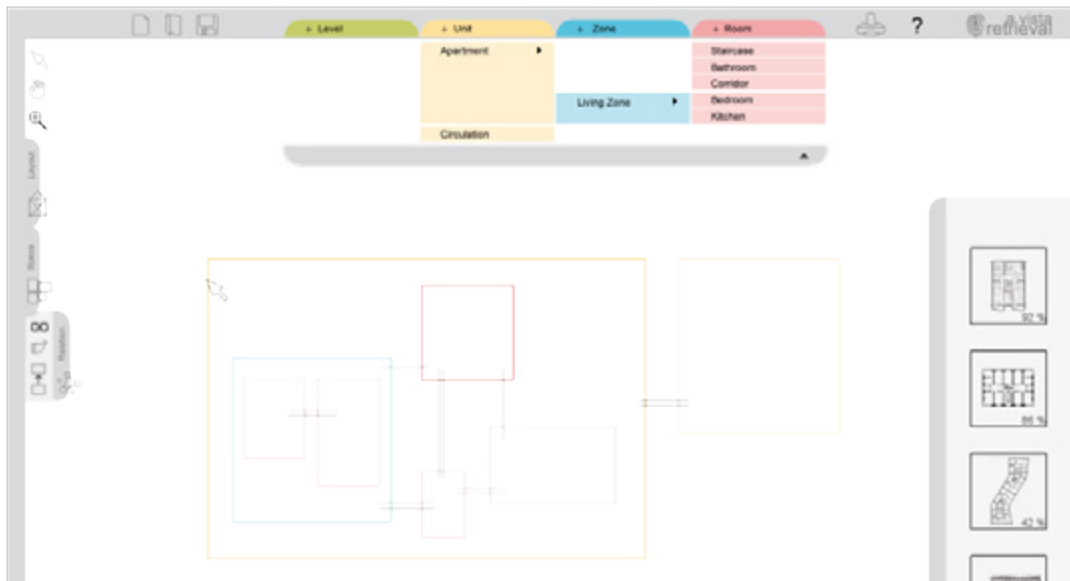


Abbildung 58 - Mockup 'a.vista' für Maus und Tastatur Eingaben.

Die 'ar:searchbox' (Abbildung 59) ist eine Kollektion von 'mediaTUM', die für die Anforderungen von Recherchen von Gebäuden entwickelt wurde. Die Universitätsbibliothek und Studierende der Informatik setzen Änderungen um, Studierende der Architektur legen Datenbestände an und pflegen diese. Es kann mit klassischen Schlagworten im Browser gesucht werden und die Einträge werden durch Analysen der Rastergrafiken, Darstellungen von Gebäudemodellen oder Links zu anderen Informationsquellen, wie zum Beispiel der Webseite des Architekten oder dem digitalen Gebäudemodell, erweitert.

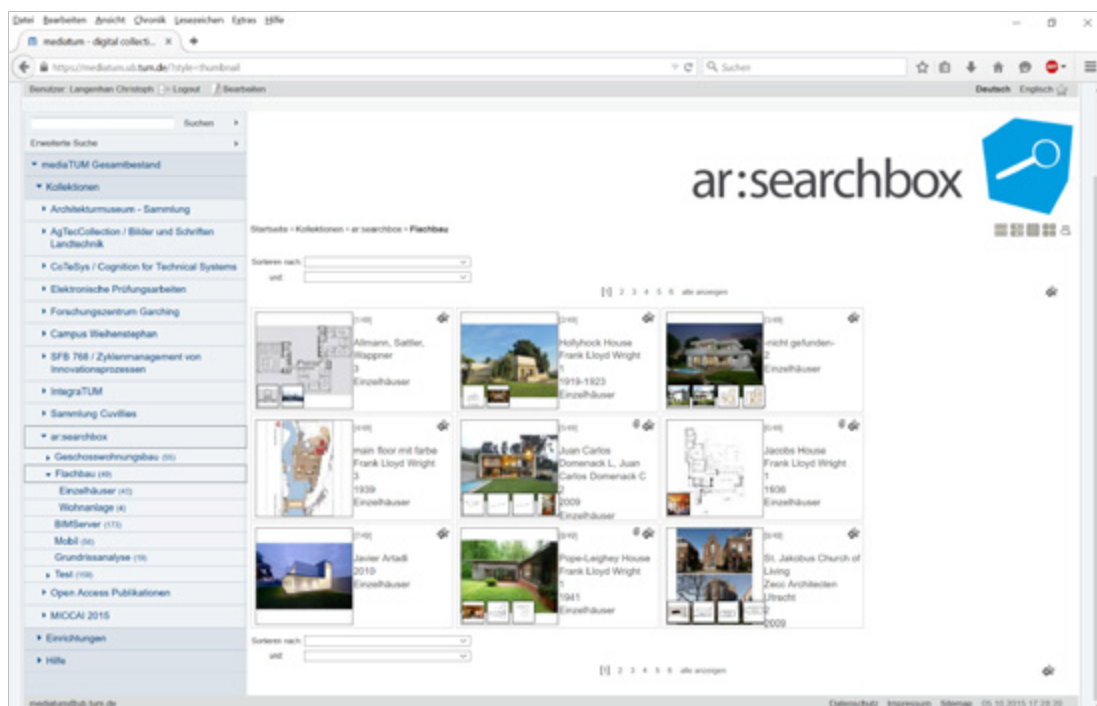


Abbildung 59 - Benutzerschnittstelle der 'ar:searchbox'.

Einen Ansatz zur Formulierung der Anfrage mit Freihandzeichnungen hat Markus Weber mit 'a.scatch' Abbildung 60 umgesetzt. Wie auch in Abbildung 47 werden Türen durch Doppellinien und Wände durch einfache Linien formalisiert und die Räume

(Abbildung 60 links a) erkannt und mit dem Raumtyp handschriftlich (Abbildung 60 links c) bezeichnet. Der erkannte Raum (Abbildung 60 links b) kann so für die Anfrage genutzt werden und die Suchergebnisse können betrachtet werden (Abbildung 60 rechts).



Abbildung 60 - Benutzerschnittstelle 'a.scatch'.

Die Anwendung 'Touchtect' (Abbildung 31) von Thomas Kinnen und Dario Banfi auf einem Multi-Touch-Tisch kombiniert Freihandzeichnungen, geographische Eingaben und Metainformationen der 'ar:searchbox' (Abbildung 59). Hier wird der Raumtyp jedoch aus einer vordefinierten Liste ausgewählt und nicht durch Handschrifterkennung ermittelt. Mit der Anwendung 'ar:searchDroid' (Abbildung 61) von Sebastian Seitz für Tablet Computer kann mobil recherchiert und die Suche bspw. auf Gebäude in der Umgebung eingeschränkt werden.

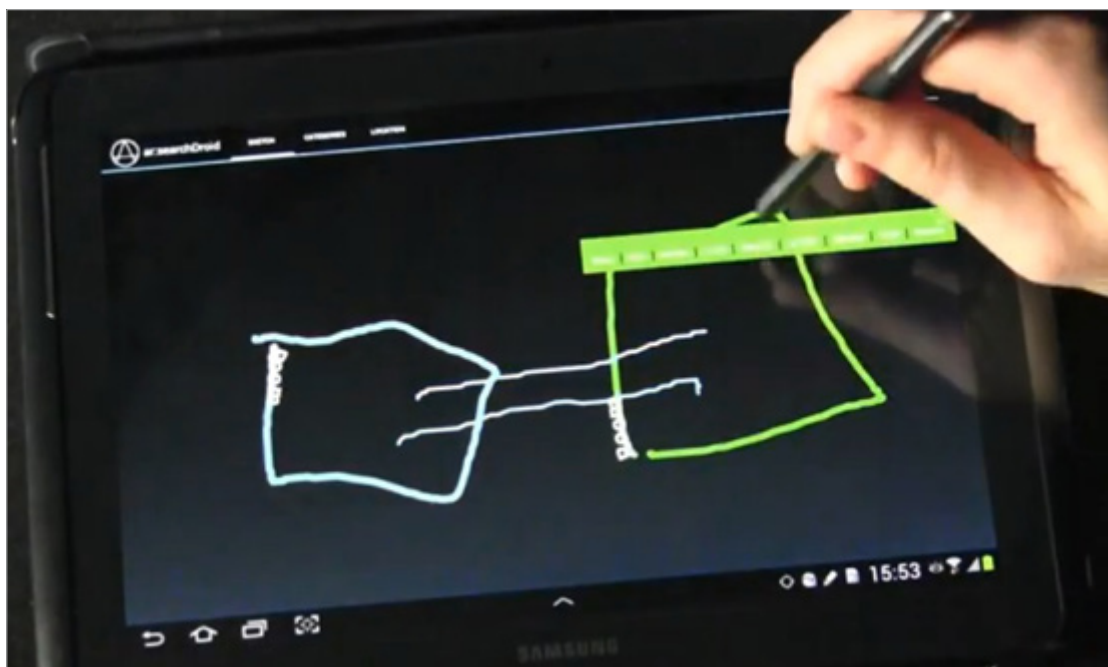


Abbildung 61 - Benutzerschnittstelle 'ar:searchDroid'.

Die o.g. Anwendungen für Freihandzeichnungen erkennen die Räume nicht wie beim maschinellen Sehen, sondern aus den Bewegungen des Stiftes werden die Objekte ermittelt. Daher muss bspw. das Polygon geschlossen sein, damit ein Raum für die Anfrage vorhanden ist. Um dem Nutzer mehr Freiheit beim Zeichnen zu geben, wurde in der Anwendung 'cormorant' (Abbildung 62) von Dominic Henze eine Programmbi-

blibliothek zur Gestenerkennung der Universität Washington eingebunden und in der Anwendung von Jana Pejić (Abbildung 45) wurde auf die Eingabe der Geometrie des Raumes komplett verzichtet. Diese Anwendung basiert auf der Eingabe und Ausgabe von Blasendiagrammen.



Abbildung 62 - Benutzerschnittstelle 'cormorant'.

Vollständig auf zeichnerische Eingaben verzichteten die Anwendungen für Smartphones 'ar:searchbox.app' (Abbildung 63, links) von Alexander Sahm und 'mediaTU-M4android' (Abbildung 63, rechts) von Patrick Bernhard. Hier liegt der Fokus auf der ortsabhängigen Recherche mit klassischen Schlagworten und dem Aufbau der Informationsbasis. So kann beispielsweise auf einer Studentenexkursion das Gebäude in der 'ar:searchbox' (Abbildung 59) angelegt werden und weitere Bilder und Fotos können von anderen Personen hinzugefügt werden. Anschließend können die Angaben, zum Beispiel von Zuhause aus mit einem digitalen Gebäudemodell ergänzt und zeichnerisch recherchiert werden. Hochgeladene Grundrisse können bspw. mit den FPA-Webservices (Kapitel 13.3) analysiert und so Graphen für die zeichnerische Recherche erzeugt werden.

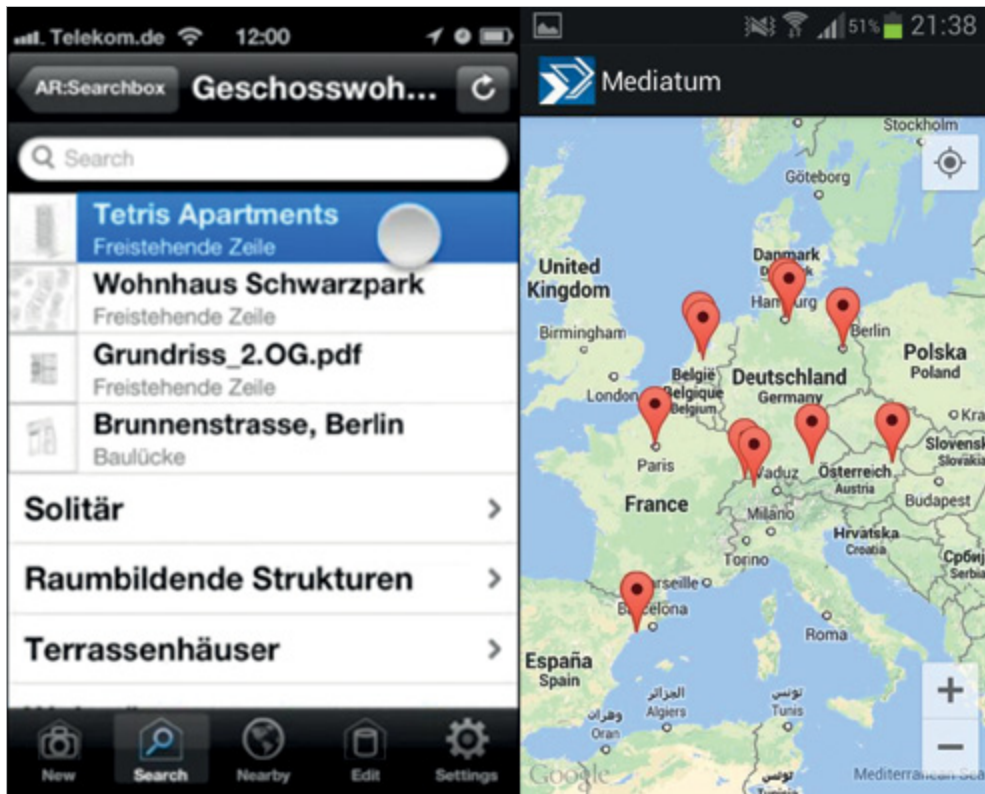


Abbildung 63 - Benutzerschnittstellen für Smartphones - links 'ar:searchbox.app' und rechts 'mediaTUM4android'.

Für die Einbindung von topologischen Ansätzen in den Entwurfsprozess haben Thomas Stocker, Dario Banfi, Jana Pejic, Thomas Kühner, Markus Dausch, Bishwa Hang Rai, Dominic Henze, Arno Schneider und Johannes Roith das 'Dolphin' Add-on für 'Rhino 3D' bzw. die parametrische Erweiterung 'Grasshopper 3D' implementiert. Das 'Dolphin' Add-on stellt eine Reihe von Komponenten für die visuelle Programmierung im 'Grasshopper 3D' zur Verfügung, um das föderierte Informationssystem mit Zeichnungen im 'Rhino3D' und zusätzlichen Metainformationen anzufragen. Die Daten können direkt aus der Graphdatenbank mit einem Dienst 'pigeon' von Leon Höß und Christopher Will exportiert, heruntergeladen und genutzt werden.



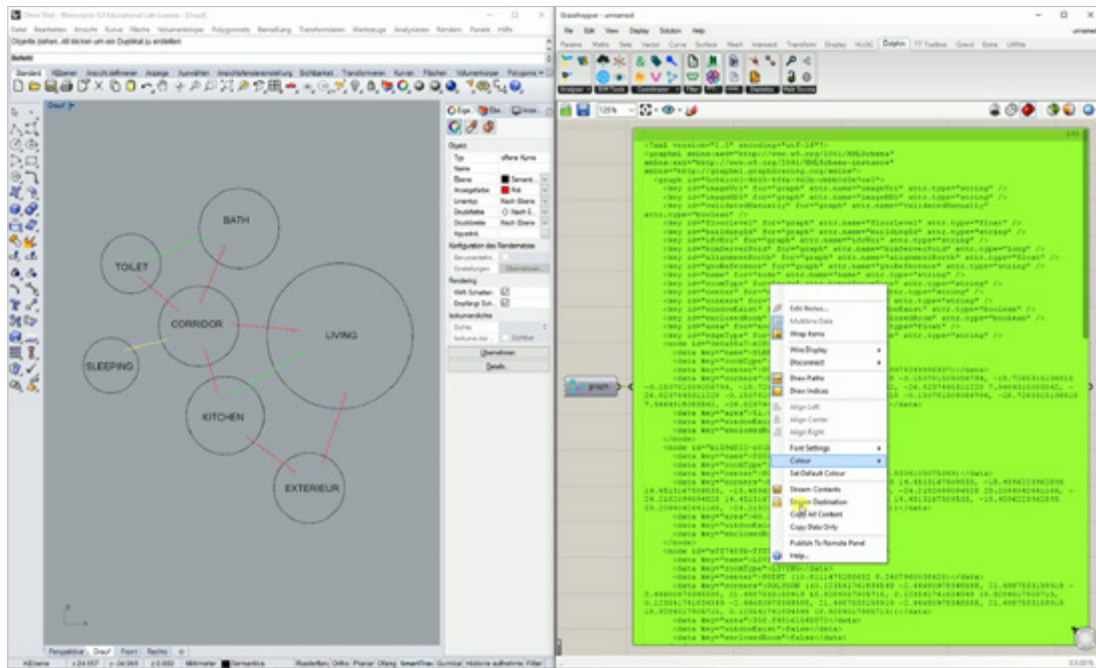


Abbildung 64 - Anfrage in Standardmodelliersoftware und parametrischen Plug-In ‚Dolphin‘.

Beispielsweise können die AgraphML-Dateien mit weiteren Komponenten einzeln oder zu mehreren aus einem Verzeichnis in ‚Grasshopper 3D‘ importiert und genutzt werden. Mit dem ‚Dolphin‘-Plug-In können auch direkt kombiniert topologische, lexikalische und geometrische Anfragen an das umgesetzte Informationssystem gestellt werden. Die Ergebnisse, zum Beispiel die Topologie oder Geometrieinformation, bzw. das semantische Gebäudemodell, unterstützen den Entwurfsprozess. Außerdem können die Informationen bspw. als Basis für die Erzeugung von Entwurfsvarianten mit ‚Galapagos‘ für ‚Grasshopper‘ oder zur automatischen Evaluierung eigener Entwurfsidee verwendet werden. In Kapitel 13.5 werden einige Projekte von Studierenden der Architektur dargestellt, die mit ‚Dolphin‘ und anderen ‚Grasshopper 3D‘ Add-ons wie ‚Space Syntax‘, ‚Spider Web‘ oder ‚Galapagos‘ Gebäude analysieren und Varianten erzeugen.

### 13.3. Domänenexperten

Die Anwendungen für Domänenexperten unterstützen Anwender mit Kompetenzen im Bereich der Architektur und der Informatik, um mit Verfahren zur Annotation, zum Mapping sowie zur Analyse und Mustererkennung (Abbildung 39) aus dem Primärobjekten Sekundärobjekte, zum Beispiel als Graph oder Grundriss, zu erhalten. In drei Anwendungen (eine für digitale semantische Gebäudemodelle und zwei für Rastergrafiken von Grundrissen) wurden exemplarisch verschiedene Verfahren implementiert.

Für digitale semantische Gebäudemodelle hat Leon Höß eine Clientanwendung und einen Serverdienst implementiert. Zunächst schickt der Benutzer mithilfe des Clients ein Gebäudemodell als IFC-Datei zum Webservice. Dieser speichert das Modell im ‚Open Source BIMserver‘. Der Webservice leitet daraufhin einen Raumgraphen ab und visualisiert dem Nutzer den Graphen als Blasendiagramm auf dem dargestellten Grundriss. Der Benutzer hat nun die Möglichkeit, nicht erkannte Elemente zu ergänzen, falsche zu löschen und neue hinzuzufügen. Dabei dient das 3D-Modell im ‚Open

Source BIMserver' als Hilfestellung zur Erkennung der Raumzusammenhänge. Danach speichert der Webservice den Grundriss in der 'ar:searchbox' und den fertigen Raumgraphen in der Neo4j-Graphdatenbank. Hier wird der Graph über die Unterscheidung von Raum-, Geschoss- und Gebäudeknoten abgebildet, wobei jedes Element über eine eigene ID verfügt.



Abbildung 65 - Benutzerschnittstelle BIM2Graph.

Die BIM2Graph Anwendung wurde durch die Eingabe und die manuelle Nachbearbeitung von über 200 IFC-Dateien getestet, wobei sich die manuelle Nachbearbeitung als zwingend erwiesen hat, obwohl das Programm bereits 70% der Knoten und Kanten richtig erkannt hat. Die Anwendung nutzt fast ausschließlich die Semantik der Gebäudemodelle und geometrische Verfahren werden nur zur Plausibilitätsprüfung verwendet. Der Automatisierungsgrad kann weiter erhöht werden, wenn die Gebäudemodelle nach einheitlichen Modellervorschriften erstellt und geometrische Abfragen und Analysen genutzt werden. Die Komplexität der Verfahren variiert von einfachen Mengen oder Überschneidungen von Geometrie bis zu Ansätzen des maschinellen Sehens.

Im Gegensatz dazu spricht man bei Rastergrafiken von nahezu nicht-semantischen Datenbeständen. Daher sind Verfahren des maschinellen Sehens für automatische Analysen und Ableitungen von Fingerabdrücken notwendig. Die entsprechenden Serverkomponenten 'FPA-Webservices' sind in Kapitel 13.1 beschrieben. Die zugehörige Benutzerschnittstelle 'surfID' (Abbildung 66) wurde von Matteo Harutunian für die Grundrissanalyse auf einem Multi-Touch-Tisch implementiert. Die Grundrisse aus der 'ar:searchbox' werden dem Nutzer zur Auswahl angezeigt. Nach der automatischen Analyse werden der erkannte Graph als Blasendiagramm und die Räume auf dem Grundriss angezeigt, um vom Nutzer kontrolliert und korrigiert zu werden. Anschließend werden der Graph in der 'neo4j' und die dazugehörigen Links in der 'ar.searchbox' gespeichert.



Abbildung 66 - Benutzerschnittstelle 'surfID'.

Zur komplett manuellen Erstellung von Graphen wurde von Thomas Stocker das 'AgraphML' Plug-In (Abbildung 67) für die Open-Source-Anwendung für Graphen 'Gephi' entwickelt, um Graphen zu erstellen und Visualisierungen, Analysen oder Filter zu nutzen. Um einen Raumgraphen zu erstellen, wird ein Grundriss mit Maus und Tastatur wie bei 2D-Modellieranwendungen (bspw. Adobe Illustrator) überzeichnet. Mit weiteren Funktionen des 'AgraphML'-Plug-Ins kann der Graph editiert und ergänzt werden, um bspw. die gefühlte Distanz zwischen zwei Räumen.

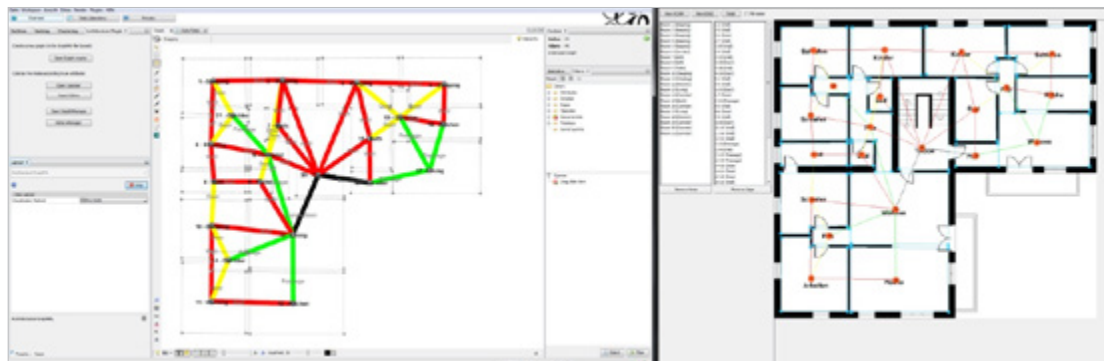


Abbildung 67 - 'AgraphML' Plug-In für 'Gephi'.

Die Graphen werden nach der AgraphML-Spezifikation gespeichert und können direkt mit der 'neo4j' Anbindung in 'Gephi' in der Graphdatenbank oder als Datei gespeichert werden. Die Daten können wieder von anderen Komponenten wie dem 'Dolphin' Plug-In für 'Grasshopper' genutzt werden. Zur Pflege der Datenbestände in den verschiedenen Datenbanksystemen oder zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der über 50 Komponenten sind Anwendungen für IT-Experten notwendig, die im Folgenden beschrieben werden.



## 13.4. IT-Experten

Neben Komponenten für den Domänenanwender und –experten sind für IT-Experten sowohl Komponenten auf Client- als auch Serverseite für folgende Wartungsaufgaben auf Ebene der Nutzeroberflächen und der Koordinationsebene notwendig:

- Überwachen der SOA-Infrastruktur
- Konfigurieren der Dienste
- Lastausgleich der Algorithmen
- Verwalten der Datenbestände

Die bereits beschriebenen Vorteile von SOA-Softwarearchitekturen bedingen Hindernisse bei der Wartung aller notwendigen Komponenten des Systems. Um die vollständige Funktionsfähigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt und auch automatisch in regelmäßigen Abständen auf verschiedenen Detaillierungsebenen prüfen zu können, kommen sowohl server- als auch clientseitige Komponenten zum Einsatz. Folgenden Testebenen wurden definiert:

- Erreichbarkeitstest – Komponente antwortet auf Anfragen
- Komponententest – Aufruf des Selbsttests der Komponente
- Integrationstest – Anfrage definierter Testszenarien für mehrere Komponenten

Zur Überwachung und zum Testen der Funktionsfähigkeit der Infrastruktur haben Markus Dausch, Thomas Kühner und Bishwa Hang Rai das Framework 'Inspektor Columbo' (Abbildung 68) entwickelt. Automatisch und auf Nutzerwunsch können diese drei Tests ausgeführt werden. Der Erreichbarkeitstest prüft, ob alle Dienste erreichbar sind. Der Selbsttest wird vom 'Inspektor Columbo' von den Diensten angefordert und es werden definierte Fehlerberichte geliefert. Der Integrationstest prüft Gruppen von Diensten, die gemeinsam bspw. für die Grundrissanalyse (FPA-Webservices) zuständig sind. Da die Softwareentwickler neue Dienste im 'Inspektor Columbo' registrieren und kompatible Fehlerberichte ausgeben müssen, sind entsprechende Spezifikationen und Dokumentationen für zukünftige Dienste erarbeitet worden.

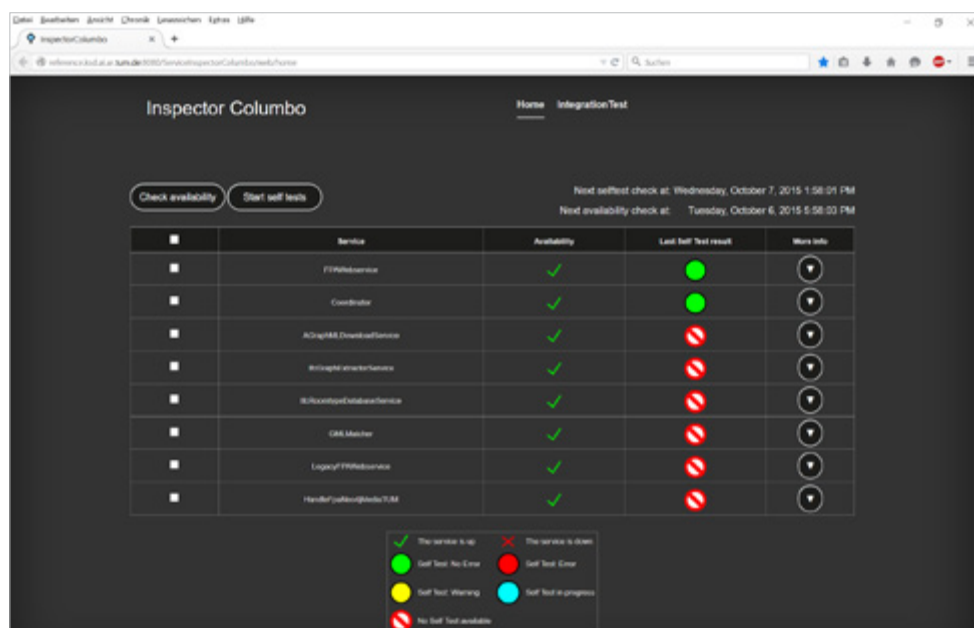


Abbildung 68 - Benutzerschnittstelle 'Inspektor Columbo'.

Neben den Diensten auf den Ebenen für die Koordination und die Verarbeitung müssen die Datenbestände konsistent sein. Johannes Roith hat eine Konsistenzprüfung (Abbildung 69) implementiert, um zu überprüfen, ob in jeder Datenbank identische Objekte repräsentiert werden. Beispielsweise ist ein Geschoss als Graph in der 'neo4j', als Instanz mit Semantik und Geometrie im 'Open-Source BIMserver' und als Vektorgrafik mit zusätzlichen Informationen in der 'ar:searchbox' gespeichert. So können zum Beispiel durch teilweise abgebrochene Annotationen oder Netzwerkverbindungen Inkonsistenzen entstehen. Das wird jedoch nicht immer automatisch erkannt und verhindert, weil der notwendige Aufwand bei der Softwareentwicklung für Forschungsprototypen nicht gerechtfertigt ist.

Neo	Med	Building ID	Floorlevel	Storey ID	Mediatum ID	Mediatum Name
✓	✓	081de95d9q7pqlT5oC8t8	0.0	180waFaby009Iab8a1aa	1231444	Building Projekt.ifc
✓	✓		1.0	0880e0808Qw4140R2HwQ	1231445	Building_02Idm95UQpTjg75oC4eR_floor_1.0
✓	✓		2.0	38C8u1xkAT01LEht8ANue	1231446	Building_02Idm95UQpTjg75oC4eR_floor_2.0
✓	✓	02V0E08DMy0x81u8kkC8FV	0.0	285j0W61011LEq0_VYI3ka	1231271	Building ifc_Michaelaem.ifc
✓	✓	02ua5Q8AK2Vh1g11g4M81	0.0	3xj30TJ0020Wjy28wQ9ka	1231414	Building Grundriss 1.0G.ifc
✓	✓		1.0	1EJ0884TBqP8w071Qab8	1231415	Building_02u3Q8XK2Vh1g11g4M81_floor_1.0
✓	✓	033w0W128YxAc0886xj8F	0.0	033w0W128YxAc0886xj8F	1231430	Building ifc_Export (2).ifc
✓	✓		1.0	033w0W128YxAc0886xj8F	1231431	Building_033w0W128YxAc0886xj8F_floor_1.0
✓	✓	070eQ8fYxWVukaCwjdFC	0.0	2j088v0e3y8D8axee0u	1231272	Building ifc-CAD_11.ifc
✓	✓	08kQypayk3eTqnt50E2w8	0.0	22T0Ap808jx85wa1oq8e	1230214	Building BIM CAAD.ifc
✓	✓	08M13p0u08u8a1Aa51a8	0.0	231Y0u82828711V_9148W	1231432	Building ifc_export (3).ifc
✓	✓		1.0	1_w0f808A3f0G5018w018	1231433	Building_DAM3p0u08u8a1Aa51a8_floor_1.0
✓	✓	08A0oa_Fubdyj888a0c0f8	0.0	1Y88ov3F98aFF08e98a	1231275	Building JohannaSuess BIM.ifc
✓	✓		1.0	3p8y0p0E_FB049F5ab03F	1231276	Building_08A0oa_Fubdyj888a0c0f8_floor_1.0
✓	✓	0881ee4308E4V9V92v84	0.0	22x8Q2e1Vz748F5084851	1231300	Building Wohnung_Yuanyuan Zhang_11.ifc
✓	✓	0C127812187488x11A80	0.0	11g851oAdp4F8G8L88kx87	1231238	Building CAD_Etage.ifc
✓	✓	08f9p1k8T08a08a_7yg2	0.0	1a888x8F88C2q562T808aw	1231301 [Floorlevel.doc-type wrong] [Floor missing]	Building_08f9p1k8T08a08a_7yg2_floor_0.0

Abbildung 69 - Ergebnisse der Konsistenzprüfung der drei Datenbestände.

Für die Korrektur von Fehlern und Inkonsistenzen hat Stefan Marcik das Framework 'catfish' zur Wartung und nachträglichen Annotation der Datenbestände entwickelt. Auf diese Weise können in Zukunft bspw. Attribute ergänzt oder die Datenstruktur geändert werden, um spezielle Algorithmen testen und auf Forschungsergebnisse reagieren zu können. Um diese semantisch angereicherten Datenbestände direkt im Entwurfsprozess zu nutzen, wurden das 'Dolphin'-Plug-In für 'Grasshopper 3D' und 'Rhino3D' entwickelt. Im Folgenden werden einige Projekte von Studierenden der Architektur beschrieben.

### 13.5. Studierendenprojekte zu semantischen Fingerabdrücken

Getreu Mies van der Rohes Motto „Man kann nicht jeden Montag eine neue Architektur erfinden“, befassen sich die Studentenprojekte des Masterkurses 'ar:searchbox – Beyond the bubble' mit der Entwicklung von Grundrissen, basierend auf der Analyse bestehender Entwürfe. Dazu wird das 'Dolphin'-Plug-In für 'Grasshopper' und 'Rhino3D' verwendet, um Anforderungen zu formulieren, entsprechende Informationen bereits gebauter oder entworfener Gebäude abzufragen und diese direkt mit parametrischen Entwurfsmethoden zu nutzen.

Die klassische Herangehensweise, über Raumorganigramme ein Raumprogramm zu erschließen, um dadurch Zusammengehörigkeiten und Beziehungen zwischen Räumen zu erkennen, kann so auf den Computer übertragen werden, der bei der Grundrissorganisation schnell viele Varianten erzeugen und bewerten kann. Dorian Zank (Abbildung 70) hat mit dem evolutionären Löser 'Galapagos' von 'Grasshopper' Varianten von Raumanordnungen erzeugt und die verschiedenen Layoutvarianten bewertet.

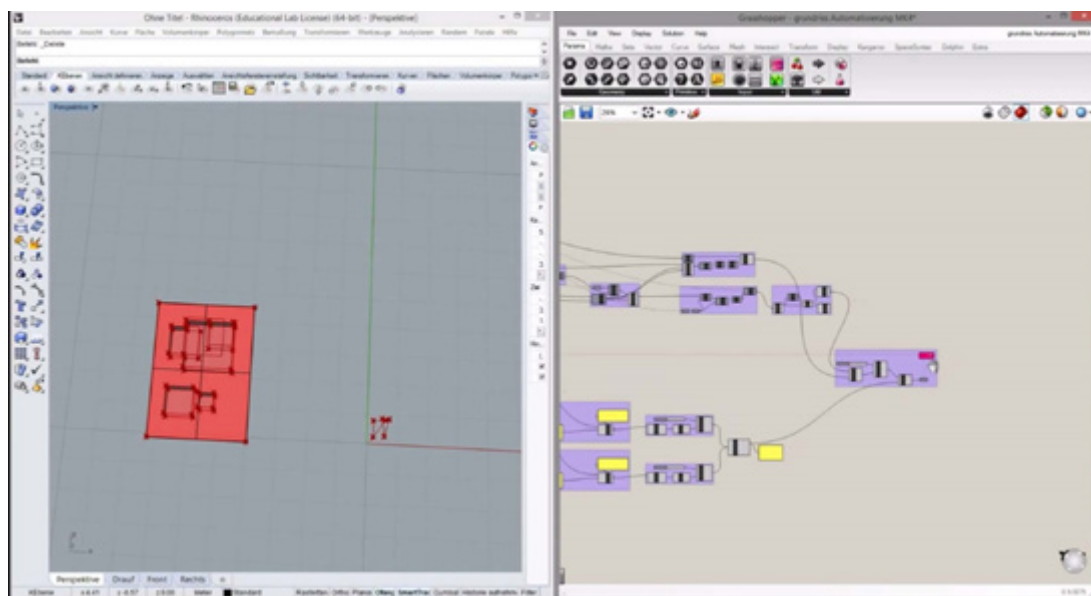


Abbildung 70 - Grundriss Automatisierung.

Das Projekt 'Planfinder' von Quirin Mühlbauer (Abbildung 71) beschäftigt sich mit der Grundrissoptimierung bzw. -manipulierung, basierend auf dem Konzept der Pfadfindung (also der tatsächlich zurückgelegten Strecke innerhalb eines Grundrisses). So können die Bedingungen getestet werden, um zwei Räume nebeneinander zu positionieren oder eine Durchwegung möglichst kurz zu halten. Über Galapagos werden nach dem Prinzip der evolutionären Optimierung Pfade ermittelt, aus denen sich ein optimaler Voronoi-Zellen-Plan bilden lässt. Dieser wird in einem letzten Schritt wieder in einen – hinsichtlich der Wegedistanzen optimierten – orthogonalen Grundriss übersetzt.

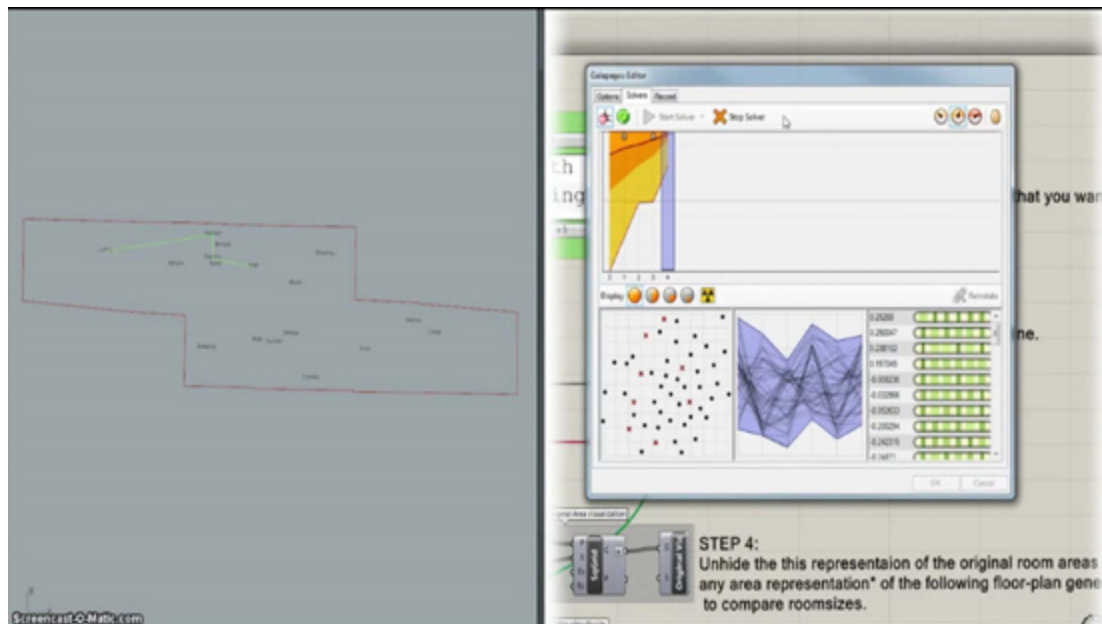


Abbildung 71 - Planfinder.

Die traditionelle Herangehensweise des Architekten, von einem großen städtebaulichen Maßstab zu einem kleinen Maßstab ins Detail zu gehen, kann auch umgedreht werden. Detailliert entwickelte Wohnmodule sollen zu einem großen Ganzen arrangiert werden. Joost Meulenkamp hat (Abbildung 72) sieben Wohnungen mit Balkonen als Referenz verwendet, um diese Balkone zu bündeln und so einen Innenhof zu erhalten. Wenn nun einem Raumtyp eine höhere Anziehungskraft zugeordnet wird, beginnt die Formation zu rotieren und der entsprechende Raumtyp jedes Wohnmoduls bewegt sich in Richtung Zentrum. Es lassen sich weitere Faktoren zuschalten, die dafür sorgen, dass sich Raumknoten anziehen oder abstoßen, beziehungsweise dass Überlappungen vermieden werden. Es entstehen neue Gruppierungen, die wiederum Vorbild für neue Anordnungen sein können.

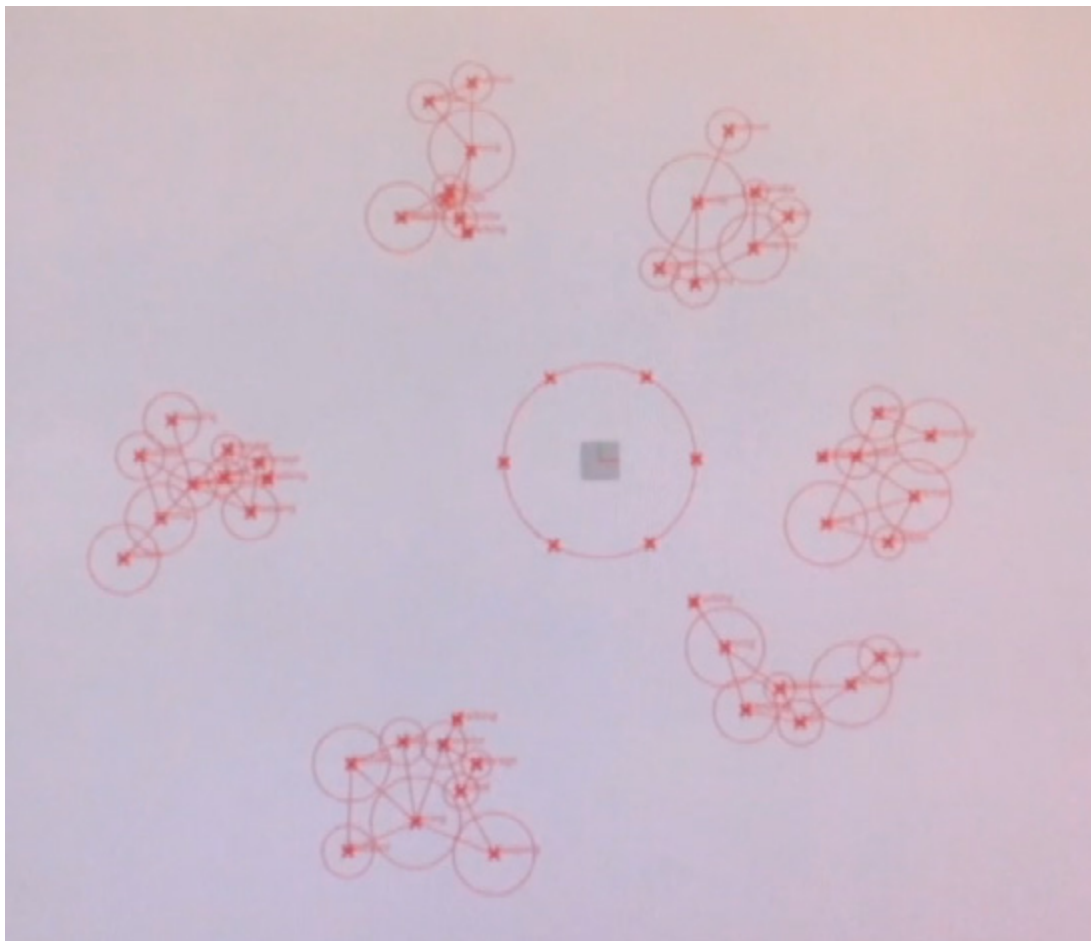


Abbildung 72 - Solo / Gruppe / Paar.

Oliver Tessin (Abbildung 73) hat ein Work-Flow-Konzept entwickelt, das aus mehreren Tools besteht und sich so flexibel für subjektive Entwurfsschwerpunkte und für eine breite Auswahl an entwerferischen Aufgaben eignet. Es sollen Grundrisse generiert werden, die nicht aus baulichen Konventionen oder subjektiven Quellen beruhen, sondern aus den rein funktionellen Zusammenhängen eines Wohnraumes bestehen. Diese Geometrien sollen sich an den Mechanismen des natürlichen Wachstums orientieren, z.B. dem Aufbau von Knochenstrukturen. Nach der Eingabe in 'Grasshopper' kann der Graph mit dem 'Kangaroo'-Plug-In in Feder-, Anziehungs- und Abstoßkräfte übersetzt werden. Die Parameter können sich gegenseitig beeinflussen oder sogar aufheben. So wird beispielsweise die Privatheit eines Raumes maßgeblich von seiner Größe und Lage im Grundriss, von der Anzahl sowie der Art der Verbindungen und der Helligkeit durch Fenstergröße und -ausrichtung beeinflusst. Der sich automatisch anordnende Graph kann für verschiedene Zwecke verwendet werden, bspw. zur Analyse mit dem 'Space Syntax'-Plug-In.

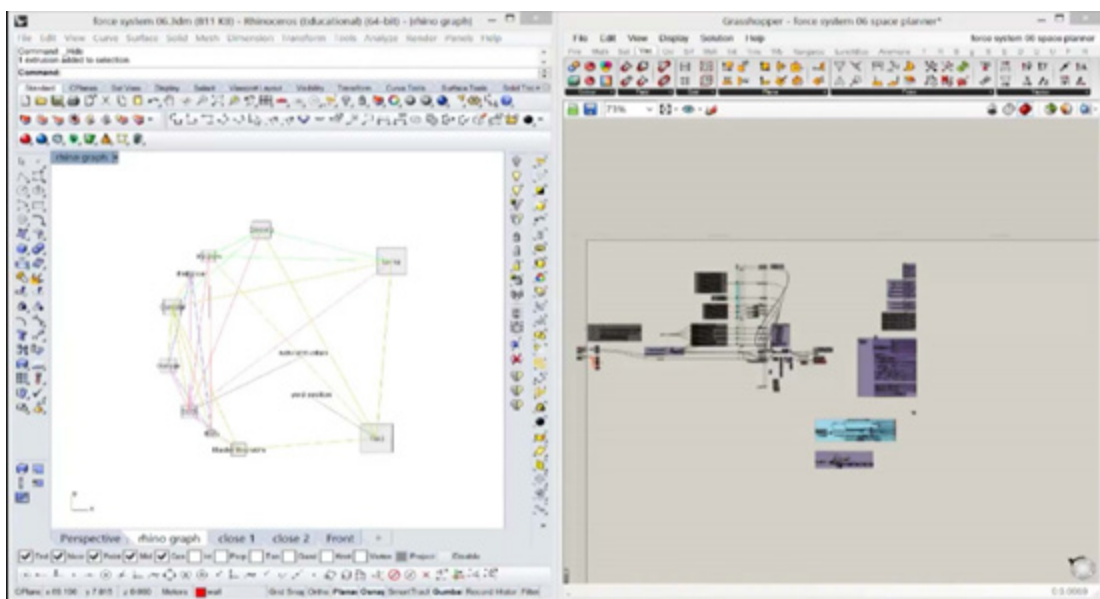


Abbildung 73 - Graph-based Computational Space Planner.

Die Arbeit der Architekturstudenten mit dem Informationssystem hat die Potentiale digitaler Technologien im Entwurfsprozess aufgezeigt. Die Integration in den Entwurfsprozess erscheint sinnvoll, erfordert jedoch profunde IT-Kenntnisse, um das Informationssystem in vollem Umfang nutzen zu können. Der größte Teil der Studierenden konnte einfache Abfragen formulieren und die Ergebnisse auf verschiedenen Niveaus auswerten und analysieren. Formalisierte architektonische Situationen oder Entwurfskonzepte können für das Entwerfen am Computer direkt genutzt werden.

## 13.6. Fragebögen der heuristischen Evaluierung

Fragebogen 1 - Seite 1	1	2	3	4	0
	Stimme nicht zu	Stimme wenig zu	Stimme eher zu	Stimme voll zu	keine Meinung
<b>1.0 Recherche von Referenzobjekten in den frühen Entwurfsphasen von Gebäuden. (Einstiegsfragen)</b>					
1.0.1. Recherchieren ist Ihnen wichtig beim Entwerfen.					
1.0.2. Recherchieren stört Ihre Kreativität beim Entwerfen.					
1.0.3. Ohne Recherche ist Entwerfen Ihrer Meinung nach nicht zielführend.					
1.0.4. Sie recherchieren mit Suchmaschine lieber mehr Information die aber weniger detailliert sind.					
1.0.5. Sie recherchieren lieber weniger Information die jedoch aufbereitet und detaillierter sind. (bspw. in Bibliothekskatalogen oder Webseiten von Fachzeitschriften)					
1.0.6. Sie recherchieren um Inspirationen zu bekommen.					
1.0.7. Sie recherchieren um die Qualität eigener Entwürfe zu prüfen.					
1.0.8. Sie recherchieren um Lösungen für Entwurfsprobleme zu finden.					
<b>1.1 Formen in den frühen Entwurfsphasen von Gebäuden. (Geometrie)</b>					
1.1.1. Sie bevorzugen zweidimensionale Darstellungen wie Grundrisse, Ansichten oder Schnitte.					
1.1.2. Sie bevorzugen perspektivische Renderings oder Photographien.					
1.1.3. Sie bevorzugen dreidimensionale digitale Modelle.					
1.1.4. Sie bevorzugen skizzenhafte ungenaue Raum- oder Gebäudeformen.					
1.1.5. Die Proportionen von Räumen und Gebäuden sind Ihnen wichtig.					
1.1.6. Die Form der Räume und Gebäude ist Ihnen wichtig.					
<b>1.2 Anordnung in den frühen Entwurfsphasen von Gebäuden. (Topologie)</b>					
1.2.1. Die ungefähre Lage der Räume zueinander in einem Gebäude ist Ihnen wichtig.					
1.2.2. Ihnen ist wichtig welche Räume direkt nebeneinander sind. (gemeinsame Wand ohne Tür)					
1.2.3. Ihnen ist wichtig von welchen Räumen man in welche Räume gelangen kann. (gemeinsame Tür)					
1.2.4. Für Sie macht es einen Unterschied ob Räume mit Türen oder einer Öffnung ohne Tür verbunden sind.					
1.2.5. Ihnen ist wichtig ob Räume Fenster haben.					
1.2.6. Ihnen ist wichtig in welche Himmelsrichtung Räume ausgerichtet sind.					

## Fragebogen 1 - Seite 2

### 1.3 Graphische und textliche Information in den frühen Entwurfsphasen von Gebäuden. (Semantik)

	1	2	3	4	0
	Stimme nicht zu	Stimme wenig zu	Stimme eher zu	Stimme voll zu	keine Meinung
1.3.1. Sie interessieren sich für Abbildungen wie Grundriss, Rendering oder Foto.					
1.3.2. Sie interessieren sich für Texte über Gebäude.					
1.3.3. Sie interessieren sich für aufbereitete Beiträge (Text, Abbildung, 3D-Modell) zu Gebäuden. (bspw. in Fachzeitschriften, Büchern oder als PDF zum Herunterladen)					
1.3.4. Raumtypen sind wichtige Informationen für Sie. (bspw. Küche, Wohnzimmer, etc.)					
1.3.5. Es muss dargestellt werden welche Teile der eingegebenen Suchparameter in den Suchergebnissen gefunden wurden.					
1.3.6. Sie interessieren sich für dreidimensionale Gebäudeinformationsmodelle (BIM). (bspw. mit Raumtypen, Materialien)					
<b>1.4 Herangehensweise in den frühen Entwurfsphasen von Gebäuden. (Entwurfsprozess)</b>					
1.4.1. Sie nutzen schematische Darstellungen wie Blasendiagramme oder Raumschemata.					
1.4.2. Sie zeichnen erste Entwurfsideen auf.					
1.4.3. Erste Entwurfsideen schreiben Sie auf.					
1.4.4. Sie nutzen Tabellen um bspw. das Raumprogramm darzustellen.					
1.4.5. Sie nutzen Freihandzeichnung zur Darstellung erster Entwurfsideen.					
1.4.6. Sie fertigen Freihandzeichnungen am Computer oder Tablet an.					

## Fragebogen 2 - Seite 1

### 2.1 Umsetzung - Geometrie

	1	2	3	4	0
	nicht gut	weniger gut	eher gut	sehr gut	ohne Bedeutung
2.1.1. Zweidimensionale Darstellungen wie Grundrisse, Ansichten oder Schnitte sind für Sie.					
2.1.2. Perspektivische Renderings oder Photographien sind für Sie.					
2.1.3. Dreidimensionale digitale Modelle sind für Sie.					
2.1.4. Skizzenhafte ungenaue Raum- oder Gebäudeformen sind für Sie.					
2.1.5. Die Proportionen von Räumen und Gebäuden sind für Sie.					
2.1.6. Die konkrete Form der Räume und Gebäude ist für Sie.					
<b>2.2 Umsetzung - Topologie</b>					
2.2.1. Die ungefähre Lage der Räume zueinander in einem Gebäude ist für Sie.					
2.2.2. Welche Räume direkt nebeneinander sind (gemeinsame Wand ohne Tür) ist für Sie.					
2.2.3. Von welchen Räumen man in welche Räume gelangen kann (gemeinsame Tür oder Öffnung) ist für Sie.					
2.2.4. Der Unterschied ob Räume mit Türen oder einer Öffnung ohne Tür verbunden sind, ist für Sie.					
2.2.5. Ob Räume Fenster haben ist für Sie.					
2.2.6. In welche Himmelsrichtung Räume ausgerichtet ist für Sie.					



## Fragebogen 2 - Seite 2

	1	2	3	4	0
	nicht gut	weniger gut	eher gut	sehr gut	ohne Bedeutung
<b>2.3 Umsetzung - Semantik</b>					
2.3.1. Abbildungen wie Grundriss, Rendering oder Foto sind für Sie.					
2.3.2. Texte über Gebäude sind für Sie.					
2.3.3. Aufbereitete Beiträge (Text, Abbildung, 3D-Modell) zu Gebäuden (bspw. in Fachzeitschriften, Büchern oder als PDF zum Herunterladen) sind für Sie.					
2.3.4. Raumtypen als Informationen (bspw. Küche, Wohnzimmer, etc.) sind für Sie.					
2.3.5. Die Darstellung, welche Teile der eingegebenen Suchparameter in den Suchergebnissen gefunden wurden, ist für Sie.					
2.3.6. Dreidimensionale Gebäudeinformationsmodelle (BIM). (bspw. Raumtypen, Materialien) sind für Sie.					
<b>2.4 Umsetzung - Entwurfsprozess</b>					
2.4.1. Schematische Darstellungen wie Blasendiagramme oder Raumschemata sind für Sie.					
2.4.2. Zeichnen erster Entwurfsideen ist für Sie.					
2.4.3. Textliche Beschreibungen erster Entwurfsideen sind für Sie.					
2.4.4. Tabellen um bspw. das Raumprogramm darzustellen sind für Sie.					
2.4.5. Freihandzeichnen zur Darstellung erster Entwurfsideen ist für Sie.					
2.4.6. Freihandzeichnungen am Computer oder Tablet sind für Sie.					