



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

DIPLOMARBEIT

NUTZUNG INTELLIGENTER ARCHITEKTURLÖSUNGEN DER VERGANGENHEIT IN DER DIGITALISIERTEN ARCHITEKTUR

von Marcus Lieder

Betreuer:
Prof. Dr.-Ing. J. R. Noennig

Zweitgutachter:
Dr. Magdalena Tarkiewicz

Fakultät Architektur,
INSTITUT FÜR WISSENSARCHITEKTUR
Technische Universität Dresden

Wintersemester 2017/2018

ATTRIBUTISIERT UND KATEGORISIERT: INTELLIGENTE LÖSUNGEN DER VERGANGENHEIT DER ARCHITEKTUR FÜR DIE VERWENDUNG IN DER MODERNEN UND DIGITALISIERTEN PLANUNG

Gendererklärung: Da das Geschlecht eines Menschen aus Sicht des Autors keine Rolle für eine wissenschaftliche Arbeit darstellt, soll der folgende Text wertungsfrei und geschlechterneutral weiblich und männlich abwechselnd formuliert werden.

o. Vorwort und Beschreibung dieser Arbeit

o.1. Abstract

This diploma thesis shall analyze the different domains, particularly the one of architecture, but also of informatics and other sciences in a unifying way. The objective of this thesis is to provide an overview of changes in the different fields of work, which are infected by development in information technologies and bring out synergies that can be used to recombine architectural principals and solutions. Finally the goal is to develop a kind of tool and describe its functionalities that lead to a new usage of planning approaches and component usage, which otherwise maybe would not be found or used.

Out of the smart solutions of the past, which have been collected in the seminars called "global architecture" lead by Dr. Magdi Khalil at the laboratory of knowledge architecture, some shall be taken to analyze their usage in modern architecture. As there have been developed many new ways of planning driven by the changes through digitalization especially within the last twenty years, at first the progress in these new means shall be investigated. In this process the evolved methods of resolution shall be brought together to work out synergizing possibilities in recombination and usage. Particularly the insights of building information technology but also other sciences shall be investigated in terms of application; however this thesis will be written in regards to content and linguistics for architects or rather everyone who is involved in creation of future planning processes.

0.2. Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit soll verschiedene Felder, insbesondere der Architektur, aber auch der Informatik und weiterer Wissenschaften vereinigend analysieren. Ziel der Arbeit ist dabei, einen Überblick zu den, durch die Entwicklungen in der Informationstechnologie (IT), veränderten Arbeitsfeldern herzustellen und Synergien aufzuzeigen, welche für eine Neukombination von Prinzipien und Lösungsfindung im Fachbereich der Architektur genutzt werden können. Schlussendlich ist es das Ziel ein einfach zu verwendendes „Tool“ zu entwickeln und dessen Funktion zu beschreiben, welches bei der Planung von Gebäuden Lösungswege und/oder Bauteilverwendungen aufzeigt, die bei der herkömmlichen Planung eventuell nicht verwendet worden wären.

Von den in den Seminaren „Global Architecture“ am Lehrstuhl Wissensarchitektur an der TU Dresden, unter der Leitung von Dr. Magdi Khalil, gefundenen intelligenten Lösungen der Architekturvergangenheit, soll eine Auswahl getroffen und auf eine moderne Verwendung hin analysiert werden. Da vor allem aufgrund der immer weiter fortschreitenden Digitalisierung innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte in den Planungsbüros eine Vielzahl neuer Gestaltungsmöglichkeiten entwickelt wurden, werden zunächst der Stand dieser Entwicklung und darüber hinaus der Stand sowie die Verwendung neuer Arbeitsmittel genauer untersucht. Dabei werden die entwickelten Lösungsansätze zusammengetragen und Neukombinationen dieser, sowie derer Erkenntnisse hier synergiebringend eingearbeitet werden. Insbesondere die Erkenntnisse der Bauinformatik, aber auch Entwicklungen anderer Fachgebiete, werden auf deren Verwendung geprüft; sprachlich und inhaltlich soll sich diese Arbeit jedoch an Architekten, bzw. all diejenigen richten, welche an der Gestaltung von Planungsprozessen zukünftig beteiligt sind.

0.3. Aufgabenstellung zu dieser Arbeit

Als „smart solutions“ werden intelligente Lösungen benannt, welche teils bereits in prähistorischer Zeit entwickelt wurden und dem Komfort oder der Resistenz von Bauwerken positiv beeinflussen.

Zur Nutzung derartiger Lösungen für die moderne Architektur gibt es zahlreiche Fachbeiträge und Forschungsarbeiten. Die Ergebnisse zeigen Möglichkeiten großer Bandbreite Gebäude hinsichtlich klimatischer Bedingungen und in ihrer Resistenz z.B. gegen Erdbeben oder im Brandschutz, aber auch soziale Aspekte der Gebäudenutzung nachhaltig positiv zu beeinflussen. Das Ziel der Arbeit besteht in der Katalogisierung und analytischen Auswertung der Resultate zur Weiterverwendung im Planungsprozess. Dabei sollen die Lösungen strukturell derart aufgearbeitet werden, dass eine breite Verwendung der Daten sowohl für Planer und Bauherren, aber auch für Forschung im Bereich zukünftiger Architektur ermöglicht wird. Aus der Analyse vorhandener Ergebnisse soll durch Attributisierung der Einsatz- und Lösungsmöglichkeiten eine Darstellung erarbeitet werden, welche möglichst einfach die Kombination verschiedener Möglichkeiten bei Wahl unterschiedlichster Ausgangsbedingungen, leicht erkennen lässt.

Methoden der aktuellen interdisziplinären Forschung im Bauwesen sollen in die Analyse einfließen und die Darstell- und Auswertbarkeit hinsichtlich ihrer Nutzung skalierbar vom einzelnen Bauteil bis hin zur partizipativen Stadtplanung optimiert werden.

o.4. Inhaltsverzeichnis

0. Vorwort und Beschreibung dieser Arbeit	III
0.1. Abstract.....	III
0.2. Zusammenfassung.....	IV
0.3. Aufgabenstellung zu dieser Arbeit	V
0.4. Inhaltsverzeichnis	VII
1. Allgemeine Einordnung der Architektur im Wandel der Technologie.....	11
1.1. Geschichte I – von der Architektur zur Informatik.....	11
1.1.1. Entwurfsmuster bei Christopher Alexander	11
1.2. Geschichte II – Informatik in der Architektur.....	13
1.2.1. Anwendungen, CAD und Simulation	13
1.2.2. Wissen als ökonomischer Faktor	15
1.2.3. Ökonomie von Wissen in der Architektur.....	15
1.2.4. Wissen und Architektur in einer Industrie 4.0	17
2. BIM - Exemplarische Beispiele und Einordnung der Verwendung	19
2.1. FUCON 4.0 und die allgemeine Akzeptanz von BIM.....	19
2.1.1. Studie zur Praxisrelevanz von BIM	19
2.1.2. Geringe Nutzung von BIM und 3D-Modellen.....	20
2.1.3. Nutzung von BIM je nach Bürogröße und Anwendungsfall	21
2.2. Allgemeine Beispiele der Modernen Datenerfassung in der Architektur	23
2.2.1. BKI und Entwicklung	23
2.2.2. Building Radar – teilautomatisierte Erfassung von Bauwerksdaten	26
2.3. Mephisto und Multi-Modeling im BIM.....	28
2.3.1. Systemarchitektur von Mephisto	28
2.3.2. Prozess- und Wissensmodelle.....	29
2.3.3. Referenzmodelle und Prozessmodule	31
2.3.4. Semantik der Fachmodelle.....	32
2.4. eeEmbedded	34
2.4.1. Projektarchitektur und Möglichkeiten von eeEmbedded	34
2.4.2. Simulationsvielfalt und komplexe Analyse	37
2.4.3. Findung der optimalen Parameter	39
2.4.4. Sammlungen und Templates.....	40
2.4.5. Mögliche Auswirkungen auf den Entwurf.....	41
3. Architekten in – und Entwicklung der – IT-Branche	43
3.1. Architekten in – und Entwicklung der – IT-Branche.....	43

3.1.1.	Entwicklung des Informationsangebotes in der IT	44
3.1.2.	Facettenklassifikation – Die Colon Classification	44
3.2.	Facettennutzung in der Musik	46
3.2.1.	Pandora.....	46
3.2.2.	Allgemeine Funktionsweise und API von Spotify	48
3.3.	Extraktoren zum Anzapfen einer API.....	51
3.3.1.	Extraktoren zum Anzapfen einer API.....	51
3.3.2.	weitere Abfragesysteme wie Watson, NLP etc.	53
3.3.3.	Vernetzung der Daten in Spotify und in den Panama-Papers.....	55
3.3.4.	Variablen für Unterscheidung und Facettierung – Shinbashira	58
4.	Semantik und Struktur in Netzwerken	61
4.1.1.	Superierung und Patterns	61
4.1.2.	Kognition zur sinnhaften Gestaltung von Informationen	63
4.1.3.	Strukturentwicklung im WWW	64
4.2.	Semantic Web	66
4.2.1.	Semantik bei Christopher Alexander	67
4.2.2.	Facettierung zur semantischen Vernetzung in der Informationsverarbeitung.....	68
4.3.	Graphdatenbanken als Analysewerkzeug.....	71
4.3.1.	Vorteile von Graphdatenbanken	71
4.3.2.	Neo4j und die Abfragesprache Cypher	73
5.	Graphdatenbank zur Darstellung der Zusammenhänge	75
5.1.	Beschreibung der Analysemethode	75
5.1.1.	Kognition der Smart Solutions im Sinne der Facettierung.....	75
5.1.2.	Umsetzung in die Graphdatenbanksprache.....	75
5.2.	Analyse der Graphdatenbank	77
5.2.1.	Analyse durch stufenweises Hinzufügen von Facetten	77
5.2.2.	Auswertung der Analyse	82
5.2.3.	Patternbildung und Patternerkennung.....	82
5.2.4.	Gemeinsamkeiten und Ähnlichkeiten zur vergleichenden Abfrage	84
5.3.	Verwendung und Ausblick	86
5.3.1.	Automatisierte Mustererzeugung	86
5.3.2.	Musterverwendung im Vergleich	87
5.3.3.	Datenbeschaffung und Verwendung.....	88
5.3.4.	Das Richtige Ergebnis zur richtigen Zeit.....	89
5.3.5.	Vernetzte Bauteilbibliotheken	89
5.3.6.	Datenerfassung aus realen Bauaufträgen.....	90

5.3.7.	Wettbewerb um die bessere Patternanalyse	91
5.3.8.	Schlusswort	92
6.	Verzeichnisse und Anlagen	93
6.1.	Stichwörterklärung	93
6.2.	Stichwortverzeichnis	93
6.3.	Abbildungsverzeichnis	94
6.4.	Literaturverzeichnis	96
6.5.	Quellcode zur Herstellung der Graphdatenbank	97
6.6.	Tabelle der verwendeten Smart Solutions	103

1. Allgemeine Einordnung der Architektur im Wandel der Technologie

Die Arbeitswelt des Architekten hat sich in den letzten 25 Jahren durch die flächendeckende Durchsetzung und den Einsatz von Computern enorm verändert. Nicht nur der Umstieg vom analogen Zeichenbrett zur digitalen und vektorbasierten CAD haben die Art des Planens grundlegend überholt, es sind Möglichkeiten zur Kreierung ganz neuer, ohne den PC nicht möglich gewesener, Architekturen entstanden. Beispiele sind etwa die parametrisch berechneten Freiformarchitekturen z.B. von Zaha Hadid. Diese bilden ein derart komplexes System, dass jede Änderung eines Parameters sich prinzipiell auf alle weiteren Parameter des Gebäudes – und damit z.B. auch auf dessen Statik – auswirken kann. Doch stehen durch den Einsatz von Computersystemen nicht nur völlig neue Entwurfsmöglichkeiten bei Seite. Vor allem in der Analyse und Bedarfsberechnung können inzwischen genaueste Vorhersagen, etwa zum späteren Komfort, im Gebäude erstellt werden.

Viele Planungsansätze gelten seit der Zeit der Computer überholt, einige können und müssen in neue Definitionen gefasst werden, um von den Maschinen verarbeitbar zu sein.

1.1. Geschichte I – von der Architektur zur Informatik

Insbesondere die Informatik hat in den späten 1980er und frühen 1990er Jahren, durch die Notwendigkeit der Entwicklung von Programmstrukturen, viel von der Architektur lernen können.¹ Zur Einordnung und späteren Rückkopplung der Entwicklungen in dieser Arbeit, soll an dieser Stelle ein kurzer Überblick über die Entwicklung des Entwurfsmusteransatzes gegeben werden.

1.1.1. Entwurfsmuster bei Christopher Alexander

Bereits in den 1970er Jahren hat Christopher Alexander begonnen, Architektur in Patterns zu beschreiben und mit dem Buch „A pattern language“ eine Sammlung von 253 Entwurfsmustern veröffentlicht. Der vermutlich meist zitierte Satz dieses Buches ist folgender:

„Each pattern describes a problem which occurs over and over again in our environment, and then describes the core of the solution to that problem, in such a way that you can use this solution a million times over without ever doing it the same way twice.“²

Alexander beschreibt dabei unterschiedlichste architektonische Lösungen, vom städtebaulichen Entwurfsprinzip bis hin zur sozialverträglichen Raumanordnung, und katalogisiert diese Entwurfsansätze als „patterns“. Während das Werk mit seinen knapp 1.200 Seiten, wobei jedem beschriebenen Muster etwa 3-6

¹ (Bauer, 2014), S. 29 ff.

² (Alexander, A pattern language, 1977), S.X

Seiten zugestanden werden, in der Architektur unterschiedlichen kritischen Einordnungen unterliegt³, hat die IT viele Ansätze daraus gezogen.

Auch weitere Zweige der Wissenschaften haben Erkenntnisse und Ansätze aus den Theorien von Alexander gewonnen und sich mit den „Patterns“ beschäftigt.

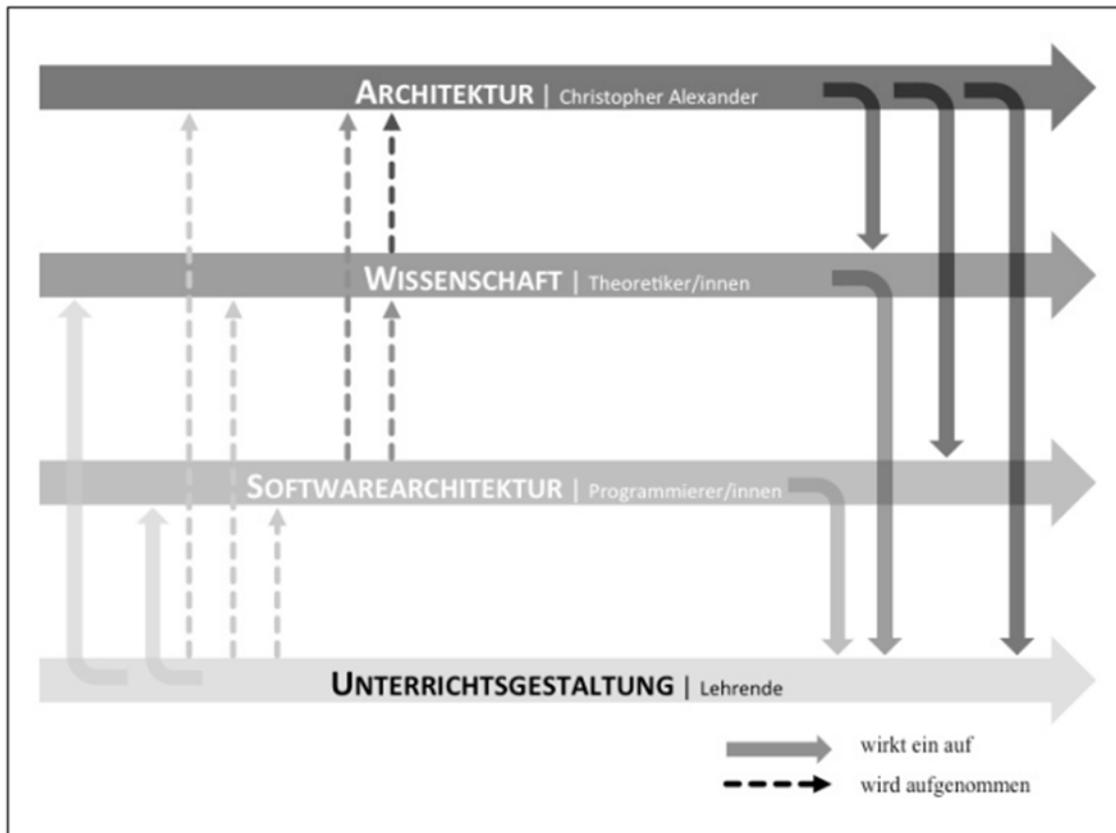


Abbildung 1 - Diskursebenen zur Mustertheorie⁴

Während sich spätestens mit der Dissertation Reinhard Bauers 2014⁴ auch die Pädagogik mit den Mustern beschäftigt, wurden sich in der Objektorientierten Programmierung bereits 1987⁵ die Ansätze der Mustersprachen zu eigengemacht. Auch der Prototyp der Wikipedia, welche sich zur damals fast zeitgleich entstehenden Microsoft Encarta, entwickelte und durchsetzte, wurde mit Hilfe Alexanders Patterns entwickelt.⁶

Die Softwareentwicklung hat vor allem in ihrer Strukturierung viele Ansätze der Muster übernommen und daraus unterschiedlichste Ontologien entwickelt. Einige dieser Ansätze sollen in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit untersucht und deren Erkenntnisse auf eine Rückführung in den Planungsprozess untersucht werden.

³ Arch+189, Kühne, S. 26 ff.

⁴ (Bauer, 2014). S. 45

⁵ (Bauer, 2014). S. 34

⁶ (Leitner, 2015), S. 26

1.2. Geschichte II – Informatik in der Architektur

Neben dem Einfluss der Architektur auf die Informatik, führten die Entwicklungen aber auch in umgekehrter Richtung zu enormen Veränderungen. Wie bereits beschrieben, sind neuartige Wege – wie etwa das parametrische Entwerfen – ohne den Einsatz von Software und dem sogenannten Scripting, in der Zeit Alexanders gar nicht denkbar gewesen. Zwar verwenden die auch die Architekten des 21. Jahrhunderts insbesondere für schnelle Skizzen bei Planungsbesprechungen noch immer Papier und Stift, doch ist die digitale Übergabe von Plänen längst zum Standard geworden. Auf der einen Seite haben sich unlängst Standardformate wie DWG und PDF herausgebildet, welche in der Lage sind, auch 3-dimensionale Bauwerksdaten zu repräsentieren. Auf der anderen Seite gibt es aber auch neue Anforderungen an Planungsdaten, welche neue Datei- und Austauschformate erforderlich machen. Da fast jede Fachplanung mit seinen Analysewerkzeugen, wie z.B. Statik, Bauklimatik, Akustik, Tageslichtberechnung etc. andere Betrachtungswinkel auf den Bauplanungsprozess richten, gibt es Bemühungen, die verschiedenen proprietär entstandenen Dateiformate zu vereinheitlichen.

Parallel zu den Entwicklungen im Softwareeinsatz in der Architektur wurden neue Fertigungsverfahren etwa von Bauteilen entwickelt, welche völlig neue Planungserfordernisse erforderlich machen.

1.2.1. Anwendungen, CAD und Simulation

Im alltäglichen Umgang findet sich als wichtigstes Werkzeug des Architekten vermutlich die CAD-Software. Zwar sind Skizzierungen im Sand, vor Ort auf der Baustelle, zwar immer noch von gewisser Bedeutung, doch werden die Pläne der Architekten an die Bauausführenden längst digital übermittelt. Der Trend geht, so findet man zumindest viele Ansätze der führenden Softwarehersteller, jedoch zur interaktiven Planungsbesprechung mit Hilfsmitteln wie Tablet und Smartphone. Die im Büro am Bildschirm kreierte Zeichnungen werden derzeit in den meisten Büros⁷ als 2-dimensionale Pläne erstellt. Da diese Zeichnungen nicht mehr pixelvektorbasiert sind, kann bereits jetzt in jedes Detail nahezu unendlich, je nachdem wie genau gezeichnet, hineingezoomt werden.

Auch werden beim Erstellen der Pläne längst Bauteilkataloge verwendet, welche z.B. Detailzeichnungen von Fenstern, Aufzügen, Entwässerungsrinnen etc. mit einem Mausklick in den Plan einfügen lassen. Währenddessen ist die Softwareentwicklung mit ihrer Sicht auf die Arbeit der Architekten schon zwei, wenn nicht gar drei, Schritte weiter. Laut einer Studie des Fraunhofer Instituts IAO 2015, zum *Thema Digitale Planungs- und Fertigungsverfahren*, werden viele der inzwischen vorhandenen Möglichkeiten in der Praxis fast gar nicht, bzw. nur kaum verwendet. So sollen zukünftig die aus den Bauteilkatalogen abgerufenen Elemente, mit Kostenkennwerten, Auswirkungen auf den Entwurf und anderen relevanten Informationen versehen sein.

⁷ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 11



Abbildung 2 - Darstellungsmöglichkeit eines Digitalen Gebäudemodells⁸

Die im Plan gezeichneten Bauteile könnten dabei mit einem Klick auf die entsprechende Stelle der Zeichnung, bzw. einem "Touch" auf dem Tablet, sinnvolle und für den Fortgang des Baugeschehens einflussreiche Informationen, wie Kosten, Bauzeitentwicklung, Heizbedarfveränderung etc., preisgeben.

Gleichzeitig stehen den Architekten und Fachplanern inzwischen zahlreiche Analysewerkzeuge zur Seite, welche den Entwurf in fast jeder Hinsicht beurteilen lassen. Sagte noch Le Corbusier „Die Kurve ist verderblich, schwierig und gefährlich. Sie lähmt“⁹ und wollte sie damit im Entwurf meiden, sind inzwischen komplizierteste Entwurfsideen nicht nur darstell- und skalierbar, sondern auch in ihrer Auswirkung in allerlei Hinsicht berechenbar. Einige Probleme, aber auch die mögliche Weiterverwendung von Vorteilen, welche sich aus diesen Möglichkeiten ergeben, sollen ebenfalls in den kommenden Kapiteln dieser Arbeit beleuchtet werden.

⁸ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), Titelbild

⁹ Städtebau, übersetzt und herausgegeben von Hans Hildebrandt, Stuttgart/Berlin/Leipzig 1929 (frz.: Urbanisme, Paris 1925), S. 10

1.2.2. Wissen als ökonomischer Faktor

Insbesondere Patrick Schumacher – Architekt und Theoretiker – hat sich bei der Zusammenarbeit mit Zaha Hadid nicht nur mit parametrischer Architektur auseinandergesetzt, sondern sich auch mit tangierenden Wissenschaftsbereichen, wie etwa der Ökologie und dem Wissenstransfer beschäftigt. „In der Ökonomie der Wissensgesellschaft kommt Wissen als entscheidender Faktor zu den traditionellen Produktionsfaktoren - Land, Arbeit, Kapital - hinzu.“¹⁰ Während das Wissen um *gewisse* Dinge schon seit der Antike für stabile und funktionsgerechte und ästhetische Bauwerke sorgt, nimmt der Einfluss von Wissen auf die Wirtschaft, durch den Wandel in eine Dienstleistungsgesellschaft, enorm zu.

Dabei stellt Schumacher fest, dass sich dieser Produktionsfaktor in seinem Ressourcenverbrauch jedoch grundlegend anders verhält. „Während materielle Kapitalgüter bei Gebrauch verschleißten und ihren Wert verlieren, wächst das intellektuelle und soziale Kapital im Gebrauch.“¹¹ Nehmen wir uns ein Reihenhaus als Beispiel, um diesen Satz näher zu betrachten. Mit der Produktion eines jeden Hauses wird immer die nahezu gleiche Menge an Material, wie etwa Beton für die Bodenplatte, verwendet. Entspricht eine Einheit Beton einem fertiggestellten Domizil, können mit 100 Einheiten Sandzementgemisch demnach 100 Wohnhäuser errichtet werden. Dies verhält sich bei erarbeitetem Wissen anders und stellt damit auch die Begründung für Reihenhäuser dar. Fasst man den nötigen Planungsaufwand als eine Planungseinheit zusammen, entspricht diese sowohl einem fertiggestellten Eigenheim, gleichzeitig aber auch hunderten. Der Faktor Wissen wird an dieser Stelle also effizient genutzt und lässt damit die Kosten pro Wohneinheit sinken. Ähnliche Verfahren des Wirtschaftens lassen sich in der Automobilindustrie, bei Herstellern von Smartphones, PCs, Einbauküchen etc. finden. Da gleichzeitig aber diese Wiederholung zu einem *ästhetischen Verbrauch*¹² führt, werden derart produzierte Erzeugnisse im Allgemeinen und/oder auf Dauer eher als fad wahrgenommen. Die Lösung besteht für die in der Industrie oftmals in einer Individualisierung, welche als Aufpreis zum Häuschen, Auto, oder der Einbauküche quasi dazu gebucht werden kann. Regelmäßige Neuauflagen sind ebenfalls ein Teil des Produzierens. Während in der fordistischen Massenproduktion meist die gleiche Plattform für die Herstellung der nächsten Produktgeneration genutzt werden kann, werden bei der Baustellenfertigung meist grundlegend neue Planungen erstellt.

1.2.3. Ökonomie von Wissen in der Architektur

Um neue, ästhetisch moderne und zeitgemäße Architekturen zu schaffen, befinden sich die Architekten und Planer in einem ständigen Prozess des Erneuerns. „Die Architektur muss sich - wie auch das Recht, die Politik, die Kunst und wie jede andere Disziplin auch - ihre für sie relevanten gesellschaftlichen

¹⁰ Architektur für eine wissensbasierte Ökonomie, Patrik Schumacher, 2001, Published in: conference Serve City, Bauhaus Dessau Foundation, Dessau

¹¹ Ebd.

¹² (Lieder, 2017), Vgl. S. 10

Anknüpfungspunkte erst - und immer wieder neu - erarbeiten.¹³ Bei diesen Prozessen entsteht Wissen. Wissen über Prozesse, Wissen über ästhetische Wirkung; eben jenem Grundstock, der einen erfahrenen Architekten ausmacht. Gleichzeitig weiß er um den Einfluss der personellen Verortung dieser Kenntnisse.

Ökonomisch gesehen werden dabei von einigen Menschen, z.B. Methoden entwickelt, welche von anderen Personen angewendet und bei Bedarf modifiziert werden. Die erarbeiteten Kenntnisse werden gemeinsam genutzt. „Dem entspricht in der neueren Organisationslehre der Begriff des organisationalen Wissens und Lernens, das sich nicht auf die bloße Agglomeration von individuellem Wissen und Lernen reduzieren lässt, dieses nicht einmal bei allen Beteiligten unbedingt voraussetzt., sondern erst im komplexen Kommunikationsnetz der Organisation entsteht.“¹⁴

Auf verschiedenen Ebenen ist implizites Wissen vorhanden, welches z.B. durch notieren oder parlieren von der Gruppe gemeinsam genutzt werden kann. Dies macht laut Schumacher „den einzelnen als historisch-individuell gewachsenen Netzknoten fast unersetzbar“¹⁵. Demnach ist jedes einzelne Mitglied in einer wissensbasierten Wirtschaft, beim wissensbasierten Wirtschaften mit seinem speziellen impliziten Erfahrungsschatz für den Gesamterfolg eines Unternehmens notwendig.

Lernen etwa an den Universitäten die studierenden Mitglieder von den Lehrenden, entsteht dabei z.B. explizites Wissen bei Studenten, welches aber auch durch Kommunikation in der Gruppe, verspätet auf weitere Studenten übertragen werden könnte. In der praktischen Arbeit werden in den meisten Planungsbüros vermutlich eher selten universitäre Kommunikations- und Lernstrukturen anzutreffen, da der Faktor Zeit, als Form von Kosten, hier in seinem opportunen Charakter eine größere Rolle spielt. Dennoch sind die „Produktionseinheiten, auf der ständigen Suche nach Allianzen, Symbiosen und Andockungsoportunitäten.“ Da jede Kollegin von jeder anderen Kollegin lernen kann, bleibt es dem Architekten in seiner Arbeit Aufgabe, nicht nur die täglichen Verkehrswege im Gebäude, sondern auch die Kommunikationswege zu beachten. Interessant wird dabei die sich aufdrängende Frage, ob Kollegen einer Abteilung eher sinnvolle Informationen von Kollegen aus einer ähnlichen Abteilung erhalten, oder ob Kolleginnen aus unterschiedlichen Abteilungen, etwa durch Inspiration aus völlig unterschiedlichen Themengebieten, einen sinnreicheren Informationszufluss erfahren.

Festzuhalten bleibt, dass der intelligente Umgang mit der Verteilung von Wissen einen ökonomisch relevanten Charakter haben kann, welcher von den Architekten und Planern berücksichtigt werden sollte.

¹³ Architektur für eine wissensbasierte Ökonomie, Patrik Schumacher, 2001, Published in: conference Serve City, Bauhaus Dessau Foundation, Dessau

¹⁴ Architektur für eine wissensbasierte Ökonomie, Patrik Schumacher, 2001, Published in: conference Serve City, Bauhaus Dessau Foundation, Dessau

¹⁵ Ebd.

1.2.4. Wissen und Architektur in einer Industrie 4.0

Da abzusehen ist, dass viele Bereiche der Wirtschaft sich im Verlauf der Digitalisierung enorm verändern werden, soll in dieser Arbeit analysiert werden, welche Teile des Planungsprozesses für eine digitalisierte Architektur, beispielhaft an einzelnen Entwicklungen, genutzt werden können.

Welche Auswirkungen diese Veränderungen haben werden, wird oft unter dem Begriff Industrie 4.0 zusammengefasst, wobei an dieser Stelle die Entwicklung verschiedener Bereiche zusammenspielt. Vor allem im englischsprachigen Raum, wird Industrie 4.0 oft mit IOT (dem Internet der Dinge) synonym behandelt. Während eine Fertigungsanlage durch Vernetzung der einzelnen Roboter und Maschinen auf diese Weise völlig autonom arbeiten wird, wird das „Internet of Things“ jedoch vermutlich nicht für alle wirtschaftlichen Bereiche die Lösung sein.

Im Beispiel der Rechtswissenschaften werden Gesetzestexte in der Zukunft wohl größtenteils von Maschinen interpretiert. Sind die Paragraphen in ihrer Menge einmal im Computer erfasst, kann dieser in kürzester Zeit auswerten, vergleichen und Resultate liefern, welcher Paragraph schlussendlich in einem Rechtsfall anzuwenden ist. Die Aufgabe des Menschen bis dahin ist es, ohne Frage, die Computer mit diesem Wissen zu versorgen und die Algorithmen der Auswertung zu beschreiben. Auch in Zukunft wird es vermutlich die Aufgabe des Menschen sein, die Ergebnisse zumindest zu prüfen. Inwieweit die Erfassung des vorliegenden Falles und die Aufnahme der zur Entscheidung notwendigen Parameter bis dahin automatisiert geschehen kann, soll hier nicht weiter beleuchtet werden. Fakt ist jedenfalls, dass der Mensch die Algorithmen und Paragraphen vorgibt, nach welchen Maschinen entscheiden.

Die reine Auswirkung auf die Arbeitsplätze in den kreativen Berufen durch die Industrie 4.0, im Vergleich zu den produzierenden Berufen, wird im Allgemeinen als eher gering beschrieben. Dies begründet sich in der Tatsache, dass diese Berufe kreative Berufe sind – und beispielsweise neue Algorithmen schaffen, nach denen Maschinen verfahren.

Wie auch immer eine avantgardistische Architektur der Zukunft aussieht, die darin enthaltende Avantgarde – also der ästhetische Sinn – wird an irgendeiner Stelle menschengemacht sein. Die Methoden und Möglichkeiten, die Computer zur Kreation des Neuen bereitstellen, können lediglich unterstützend wirken. An dieser Stelle drängt sich die Frage auf, wie eine künstliche Intelligenz kreativ werden und Architektur gestalten würde. Dieser Frage soll hier in aller Kürze begegnet werden. So lange keine KI tatsächlich existiert können wir nur „orakeln“. Moderne Computer können und werden Entscheidungen in gewissem Maße selber treffen – die Methoden, nach denen sie verfahren sind jedoch vom Menschen geschaffen.

Selbst die mögliche Beurteilung von Ästhetik durch Maschinen muss, im Sinne der Kreisrelation aus subjektivem Informationsverlust durch ästhetischen Verbrauch¹⁶, stets durch den Menschen wieder mit neuer Information angereichert und bewertet werden um nicht fad zu wirken. Weiter gedacht könnte man der Maschine nun eine Vorhaltezeit programmieren und damit die Möglichkeit geben, „Dinge langweilig zu finden“; dennoch wird hier wieder durch die Programmierung bestimmt, zu welchem Zeitpunkt der

¹⁶ (Lieder, 2017), Vgl. S. 10

ästhetische Verbrauch auftritt. Bei der Wahl eines Wertes, der die Geschwindigkeit des ästhetischen Verbrauchs beim Menschen stark übersteigt, würde ein Computer derartig schnell „neue Formen“ produzieren, dass der Mensch schlicht nichts mehr damit anfangen kann und er sich enttäuscht und gelangweilt abwendet.

2. BIM - Exemplarische Beispiele und Einordnung der Verwendung

Wie im ersten Kapitel beschreiben unterlag die Architektur durch die Entwicklung der Computer bereits einem starken Wandel.

2.1. FUCON 4.0 und die allgemeine Akzeptanz von BIM

FUCON ist die Abkürzung für Future Construction und stellt ein Forschungsprojekt dar, an dem unter anderem Partner aus der Industrie wie SCHÜCO und Bollinger, aber auch das Fraunhofer Institut und die Universität Stuttgart beteiligt sind und vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gefördert wird. Ziel ist es, in einem Innovationsnetzwerk die ganzheitliche Optimierung im Planungsprozess und der Fertigungsindustrie zu erlangen. Der Fokus liegt also vergleichsweise vor allem auf den Bauelementen. Von großem Interesse ist für die Projektpartner daher die Parametrisierung von Bauteilen, also der Beschreibung dieser durch eindeutige Parameter. Fertigungsprozesse und z.B. die Skalierbarkeit von Produkten können auf diese Weise eindeutig beschrieben werden. „Während herkömmliche Planungsstrategien nur eine begrenzte Anzahl von Optimierungszielen verwalten können, zeigt die Integration parametrischer Planungs- und digitaler Produktionsmethoden Lösungen für die Durchführung von Bauprojekten auf, die es ermöglichen, trotz stetig steigender Planungskomplexität material-, energie-, kosten- und zeiteffizient zu bauen.“¹⁷ Um eine derartige Umsetzung in der Planung zu realisieren, wird es für alle Beteiligten am Prozess unabdingbar 3D-Modelle zu verwenden, bzw. zu erstellen.

Bereits beim Lesen der Studie wird demjenigen mit Praxiserfahrung aus einem Planungsbüro vermutlich schnell der Gedanke an die tatsächliche Praktikabilität einer derartigen Umsetzung ereilen, so bestätigt auch die Studie, dass, neben allen Vorteilen, dieses Vorgehen „eine **neue Art des Denkens** bei allen Beteiligten“¹⁸ voraussetzt.

2.1.1. Studie zur Praxisrelevanz von BIM

Im Rahmen des Projekts wurde zur besseren Einordnung der Praxisrelevanz daher eine Umfrage zur tatsächlichen Nutzung von BIM durchgeführt. Ein paar der Ergebnisse sollen hier exemplarisch vorgestellt werden:

- „18% der Teilnehmer finden diese Methode [BIM] jedoch gänzlich ungeeignet.“¹⁹
- 87% nutzen DWG/DXF²⁰, nur 2,6% nutzen IFC²¹

¹⁷ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 3

¹⁸ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 3

¹⁹ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 5

²⁰ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), vgl. S. 5

²¹ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S.18

- „Für keinen der Befragten erfüllt das Austauschformat IFC die inhaltlichen und formalen Anforderungen an den Austausch von Projektdaten zu 100%.“²²
- 47% der Teilnehmer stimmen der Aussage zu 75-100% zu, dass sich durch die Verwendung von digitalen Gebäudemodellen die Kommunikation im Planungs- und Bauprozess verbessert hat. Fast genauso viele bestätigen, dies in Puncto Kostenkalkulation und Controlling.“²³
- „Jeder zweite vertritt die Meinung, dass der erhöhte Planungsaufwand zum Erstellen von Gebäudeinformationsmodellen in der HOAI (anders) berücksichtigt werden muss.“²⁴
- „Nur 6% der Befragten sind der Meinung, dass die Abgabe von digitalen Gebäudeinformationsmodellen vom Gesetzgeber vorgeschrieben werden sollte.“²⁵
- 59% geben an, dass Probleme durch fehlende Austauschformate und unterschiedliche Software entstehen“²⁶

2.1.2. Geringe Nutzung von BIM und 3D-Modellen

- Die Zusammenfassung der Ergebnisse in folgender Grafik stimmt der anfangs geäußerten Vermutung zu:

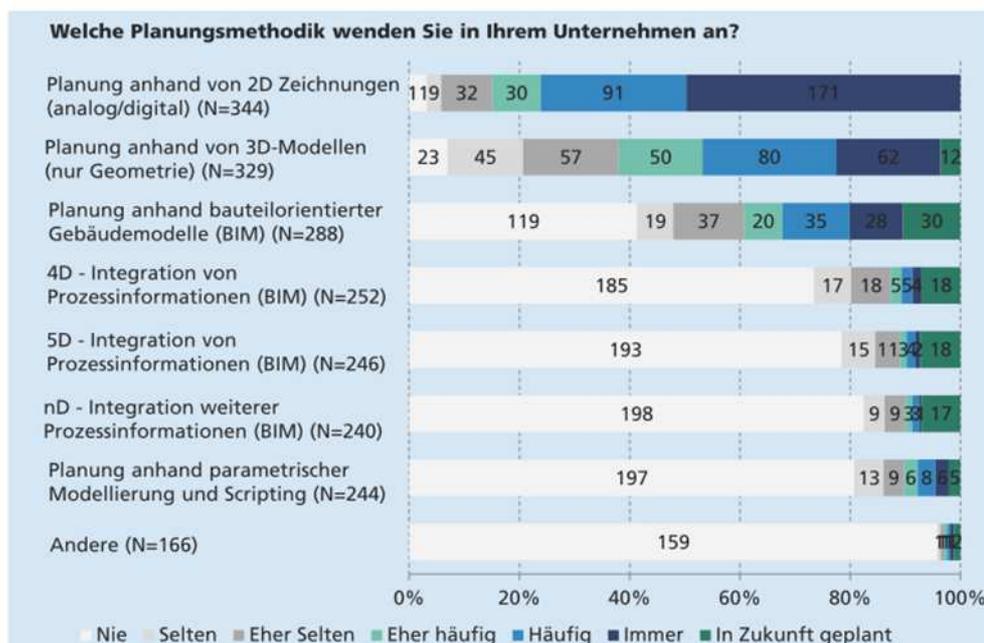


Abbildung 3 - Umfrageergebnisse zur Nutzung von BIM²⁷

²² (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 5

²³(Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 6

²⁴(Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 6

²⁵(Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 6

²⁶ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 6

²⁷ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 11

Äußert auffällig ist das Ergebnis, dass die große Mehrheit der Planung in 2D-Zeichnungen erstellt wird; eine Differenzierung zwischen analoger und digitaler Planerstellung macht die Studie leider nicht. Etwas stolzer wirken die Auswertenden dass immerhin 43% der Befragten 3D-Modelle häufig oder immer anwenden. Leider wird an dieser Stelle keine Unterscheidung gemacht, ob nur Teile der Planung in 3D ausgeführt werden, oder das gesamte Vorhaben in dieser Form realisiert wird. Aus eigener Erfahrung in verschiedenen Architektur- und Planungsbüros ist meine Erfahrung, dass fast immer ein weniger aufwendiges 3D-Modell zur reinen Visualisierung, der Großteil der Planung jedoch in zweidimensionalen Zeichnungen hergestellt wird. Dieser Interpretationsspielraum der Studienergebnisse trifft leider auch auf die Ergebnisse zur Nutzung von BIM-Bauteilen, bzw. der 4D- und 5D-Planung zu. Die Ergebnisse zur Antwortmöglichkeit „in Zukunft geplant“ an den rechten Bereich der Balkendiagramme zu rücken scheint zwar in unserer links-nach-rechts Leserichtung (für die Zukunftsbetrachtung) richtig eingeordnet. Büros, welche angeben den Einsatz (lediglich) zu planen, müssten als Ergebnis sinngemäß den nicht-Nutzern zugeordnet werden, da ein Einsatz von BIM in diesen Büros derzeit offensichtlich nicht der Fall ist.

2.1.3. Nutzung von BIM je nach Bürogröße und Anwendungsfall

Festgestellt wird außerdem, dass die digitalisierte Nutzung von Planungswerkzeugen proportional zur Bürogröße und Auftragssumme im Allgemeinen abnimmt. Außerdem seien die Kosten für die Software zu hoch.²⁸ Auffallend ist auch, dass 87% der Nutzer DWG, bzw. DXF-Dateien zum Austausch bevorzugen und nur 2,6% der Nutzer das inzwischen zum ISO-Standard²⁹ vorgeschrittene IFC. Bei den Bauhandwerkern war die Feststellung zu fehlenden Austauschformaten gar 100%³⁰.



Abbildung 4 - zukünftige Nutzung von BIM³¹

²⁸ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 13 ff.

²⁹ <https://www.iso.org/standard/51622.html>

³⁰ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 19

³¹ (Braun, Dr. Rieck, & Köhler-Hammer, 2015), S. 13

Festgestellt werden musste auch, dass etwa 3D-Modelle vorrangig nur bis zur Leistungsphase 4 genutzt werden, was meine Aussage zur Praxiserfahrung bestätigt.

Abschließend kann in jedem Fall festgestellt werden, dass die tatsächliche Verbreitung und Nutzung von BIM im Planungsprozess praxisrelevant bisher nur in geringem Maße Einzug gehalten hat, für die Zukunft jedoch eine erhöhte Bedeutung erwartet werden kann, insbesondere wenn sich die Entwicklungskosten amortisiert und in fallenden Preisen für die entsprechende Software niederschlägt. Da es sich bei der Studie um eine Onlineumfrage handelt, finden sich die Ergebnisse zu Planungsbüros, welche ausschließlich analog arbeiten, vermutlich nur gering bis gar nicht ausgedrückt wieder.

2.2. Allgemeine Beispiele der Modernen Datenerfassung in der Architektur

Neben der Entwicklung des Building Information Modeling (BIM), bzw. Management und neuen Funktionalitäten in der CAD, wie z.B. intelligente Bibliotheken, oder Werkzeuge um parametrische Bauteile zu erzeugen, werden parallel auch weitere Informationsquellen aufgebaut, bzw. weiterentwickelt.

Wie in Kapitel 1 aufgezeigt, stellen Informationen und Wissen einen wichtigen ökonomischen Faktor dar, welche neben der Entwicklung der Werkzeuge, für die Architekten und Planer gleichfalls verfügbar sein müssen.

2.2.1. BKI und Entwicklung

Mit dem BKI – dem Baukostenindex der deutschen Architektenkammer – steht den Planern eine mehrere tausend Projekte³² umfassende Sammlung an Gebäudedaten zur Verfügung. Unterteilt nach verschiedenen Gebäudekategorien, wie z.B. freistehendes Einfamilienhaus und Doppelhaus, aber auch öffentliche Gebäude oder etwa Laborbauten, können verschiedene Informationen zu den Baukosten in diesem Kompendium eingesehen werden.

³² Vgl. <http://www.bki.de/kostenplanung.html>

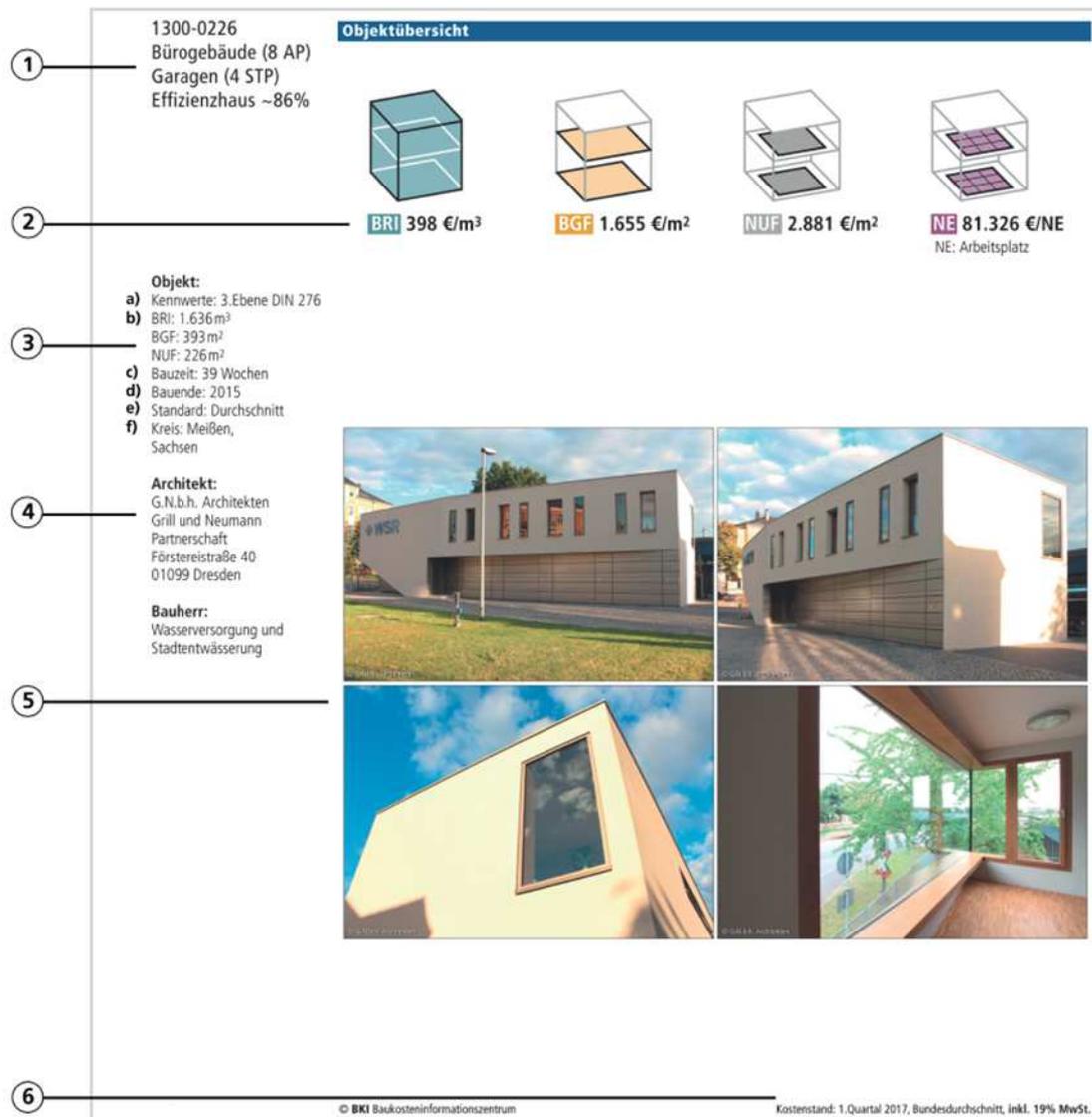


Abbildung 5 – Musterseite 1 BKI Objektdaten Energieeffizientes Bauen E7

Neben Daten zu den Kosten pro Fläche und Volumen, wie der Brutto-Grundfläche oder dem Brutto-Rauminhalt können auch Informationen über die Bauzeit und den Architekten erlangt werden.

Die Kostenkennwerte sind dabei als zu erwartender Investitionsbedarf mit Maximal-, Minimal- und Durchschnittswert zu vergleichbaren Bauvorhaben dargestellt. Auch die Auswertung auf Bauteilebene ist vorgenommen worden, so dass sich mit Hilfe dieses Kataloges die meisten Planungsergebnisse kostentechnisch einschätzen lassen.

Zur Gewinnung der Daten wird es ermöglicht, dass Architektur- und Ingenieurbüros die von ihnen zur Realisierung eines Bauvorhabens ermittelten Daten an das Baukosteninformationszentrum übermitteln³³.

³³ Vgl. <http://www.bki.de/daten-an-bki-liefern.html>

Neben der kollektiven Datenerhebung und –nutzung, gibt es für die Planungsbüros noch weitere Vorteile, wie eine Aufwandsentschädigung und Veröffentlichung im BKI-Planner-Verzeichnis.

Inzwischen ist man dazu übergegangen, neben den Baupreiskennwerten, auch weitere planungsrelevante Informationen bereitzustellen.

<p>1300-0226 Bürogebäude (8 AP) Garagen (4 STP) Effizienzhaus –86%</p>	<p>Objektbeschreibung</p>	
	<p>Allgemeine Objektinformationen</p> <p>Zur Erweiterung von Büroflächen und für die Möglichkeit der Unterstellung von Servicefahrzeugen im Winter wurde ein neues Gebäude innerhalb des Betriebsgeländes der Wasserversorgung und Stadtentwässerung Radebeul gebraucht.</p>	<p>Energetische Kennwerte</p> <p>Gebäudenutzfläche (EnEV): 192,00m² Spez. Jahresendenergiebedarf: 145,20kWh/(m²·a) Spez. Jahresprimärenergiebedarf (EnEV): 197,10kWh/(m²·a) CO₂-Emissionen: 45,00kg/(m²·a)</p>
<p>Nutzung</p> <p>1 Erdgeschoss Garagen, Archiv, Technik</p> <p>1 Obergeschoss Büroräume, Besprechung, Sanitäräume, Teeküche</p>		
<p>Nutzeinheiten</p> <p>Arbeitsplätze: 8 Stellplätze: 4</p>		
<p>Grundstück</p> <p>Bauraum: Beengter Bauraum Neigung: Ebenes Gelände Bodenklasse: BK 1 bis BK 4</p>		
<p>Markt</p> <p>Hauptvergabezeit: 3.Quartal 2014 Baubeginn: 4.Quartal 2014 Bauende: 3.Quartal 2015 Konjunkturelle Gesamtlage: Durchschnitt Regionaler Baupmarkt: Durchschnitt</p>		
<p>Baukonstruktion</p> <p>Das Gebäude wurde in Massivbauweise errichtet. Im Bereich der Einschnitte in der Kubatur wurde eine vorgehängte Aluminiumverbundplattenfassade montiert, die restliche Außenfassade ist als Wärmedämmverbundsystem mit einem mineralischen Glattputz ausgeführt. Sämtliche Fenster sind als Holz-Alufenster, teilweise fassadenbündig ausgeführt.</p>		
<p>Technische Anlagen</p> <p>Das Gebäude besitzt keine eigene Heizanlage und ist über eine Nahwärmeleitung an ein Bestandsgebäude auf dem Gelände angeschlossen. Die Warmwasseraufbereitung für die Teeküche erfolgt dezentral.</p>		
<p>© BKI Baukosteninformationszentrum</p>	<p>Kostenstand: 1.Quartal 2017, Bundesdurchschnitt, inkl. 19% MwSt.</p>	

Abbildung 6 - Musterseite 2 BKI Objektdaten Energieeffizientes Bauen E7

Die dafür Ermittelten Werte, wie etwa der erwartete Primärenergiebedarf, kann somit von den Planern bereits mit dem Entwurf berücksichtigt werden. Da in den kommenden Kapiteln Werkzeuge vorgestellt werden sollen, welche eine Vorhersage für den Energieverbrauch von Bauwerken wesentlich effizienter und komplexer erstellen lassen, ist die Verwendung der im derzeit im BKI gemachten Angaben wohl eher von geringerer Bedeutung.

Dennoch stellt das Informationszentrum weitere Mittel und Werkzeuge zur Verfügung, welche es erlauben noch weitere Gebäudekennwerte einzubeziehen. Seit Ende Oktober steht z.B. eine neue Version der Software BKI Energieplaner zur Verfügung.³⁴ Für den Austausch wird das sogenannte eLCA-Dateiformat angeboten, welches erlaubt Werte aus dem vom Bund entwickelten Bauteileditor zu übernehmen. Wie im Kapitel zur Nutzung von BIM bereits beschrieben, deutet sich an dieser Stelle bereits an, dass künftig verschiedenste Dateiformate miteinander in Konkurrenz stehen werden.

Das eLCA-Format soll die von der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) entwickelten Kriterien zur Ökobilanz von Gebäuden und deren Umweltauswirkungen unterstützen. Auch das bereits beschriebene Dateiformat und inzwischen als ISO-Standard³⁵ geführte IFC beherrscht den Umgang mit ähnlichen Informationen. Zur Verarbeitung aller künftig im Planungsprozess relevanter Informationen besteht offenbar was Schnittstellen und Austauschformate angeht für die Zukunft noch einiger Entwicklungs- und Standardisierungsbedarf.

2.2.2. Building Radar – teilautomatisierte Erfassung von Bauwerksdaten

Neben dem BKI stellt Building Radar ein System dar, welches es entsprechenden Interessenten bereits 2-3 Jahre vor Fertigstellung³⁶, relevante Daten und Fakten zum aktuellen Baugeschehen bereitzustellen vermag. „Bei Building Radar durchsucht ein Algorithmus selbstständig vertrauenswürdige Quellen im Netz und identifiziert und sortiert weltweit Bauvorhaben aller Art.“³⁷ Dabei werden verschiedene Quellen zur Katalogisierung aktueller und geplanter Bauvorhaben genutzt. Dabei werden auch analoge Quellen, wie z.B. Zeitungsartikel, bzw. –annoncen ausgewertet und digital zur Auswertung bereitgestellt.

Wichtige Informationen zum aktuellen Baufortschritt werden für die Verwendung vor allem aus Luftbildern gezogen. „Die Technik beruht auf der steigenden Zahl der Satelliten, von denen das Start-up die Fotos bezieht. Etwa 1000 Gigabyte pro Tag sendet allein der neue Erdbeobachtungssatellit Sentinel-2A der Europäischen Weltraumorganisation ESA zur Erde.“³⁸ Zur Auswertung werden neben Satellitenfotos, aus dem europäischen Projekt Copernicus, auch weitere manuell abgefragte Quellen genutzt. Ziel ist es, eine Datenbank bereitzustellen, welche bereits vor Abschluss von einzelnen Bauvorhaben, Informationen über die späteren Gebäude bereitstellt. Zwar ist dieses System weniger eine Entwicklung für Architekten und eher für Gewerbetreibende zur Akquise „vorab“ gedacht, zur Informationsgewinnung ist das angewandte Prinzip aber dennoch für diese Arbeit ein interessantes Werkzeug.

³⁴ Vgl. <http://www.energieberater-ausbildung.de/index.php/neuigkeiten/165-neue-schnittstelle-bki-energieplaner-elca-bauteileditor>

³⁵ <https://www.iso.org/standard/51622.html>

³⁶ <https://buildingradar.com/de/construction-blog/10-aus-10-000-kuenstliche-intelligenz-findet-bauprojekt/>

³⁷ <https://www.brandeins.de/archiv/2016/richtig-bewerten/building-radar-satellitenbilder-alles-im-blick/>

³⁸ Ebd.

Während bei Building Radar zwar ebenfalls ähnliche, wenn sogar weniger, Informationen zu Bauprojektkosten und deren Mengen bereitgestellt werden als beim BKI, besteht das Prinzip der Monetarisierung des Projektes in der Vernetzung der Akteure. Dabei werden Beziehungen von verschiedensten Unternehmen quasi nebenbei ermittelt, verknüpft mit Informationen zu den Bauvorhaben. Eine Untersuchung dieser Daten lässt z.B. Rückschlüsse auf Zusammenhang von bestimmten Personengruppen zu Finanzierungs- oder etwa Bauvolumina ziehen. In einer Architekturwelt, welche den ökonomischen Faktor Wissen nutzen will, kann die Entdeckung vieler weiterer Verbindungen von Projekttypologien und Interessenten sehr von Nutzen sein.

2.3. Mephisto und Multi-Modeling im BIM

Mit Mefisto wurden, als vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziertes Projekt, mit 12 Partnern aus Wirtschaft, Industrie und Forschung neue Lösungen, rund um das IT-gestützte Planen und Bauen, erarbeitet.³⁹ Das unter Mitarbeit der Bauinformatik der TU Dresden entwickelte Vorhaben stellt mit dem Projektschluss von 2012 einen fast aktuellen Stand der Entwicklung dar und bietet für diese Arbeit und die späteren Schlussfolgerungen eine hervorragende Datengrundlage.

Parallel zur Forschung wurden zwei Referenzprojekte erstellt und dabei versucht, die praktischen Aufgaben und die daraus resultierenden Probleme systematisch in Fallbeispielen durchzuarbeiten und entsprechende Lösungen zu entwickeln. Dies geschah aufgeteilt in 9 Arbeitspakete.

2.3.1. Systemarchitektur von Mephisto

Als eines der einflussreichsten Probleme haben sich die verschiedensten Datenstrukturen durch die unterschiedlichen Beteiligten des Bauprozess gezeigt. Die verschiedenen Planungsbereiche haben diverse Anforderungen an Darstellung und Datenstrukturen. Zur Integration der enormen Bandbreite wurde das Multi-Modell entwickelt, welches, gekapselt voneinander, die Entwicklung eines ganzheitlichen Planungstools ermöglicht.

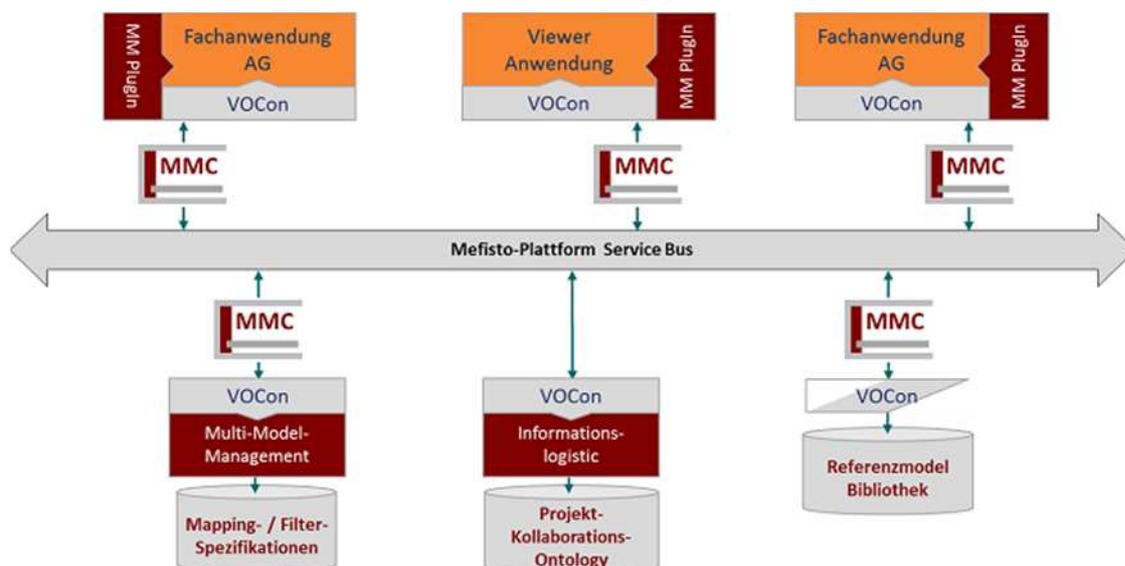


Abbildung 7 - Informationslogistik im Multi-Modell-Management⁴⁰

Durch die unterschiedlichsten Möglichkeiten, welche heutzutage bereitstehen, um ein Bauwerk zu beleuchten, entstehen bereits in den einzelnen Fachgebieten enorme Datenmengen. Diese müssen jedoch eine Rückkopplung zum Bauwerksmodell besitzen, da eine Änderung, z.B. des Entwurfs oder des gewählten

³⁹ (Scherer P. D.-I., 2013), S. 5 ff.

⁴⁰ (Scherer P. D.-I., 2013), S. 75

Heizungssystem, sich weiter auf die bauklimatischen Simulationsdaten auswirkt. Klar definierte Schnittstellen ermöglichen durch eigens definierte Ontologien den geregelten Datenfluss und damit die Zusammenarbeit.

2.3.2. Prozess- und Wissensmodelle

Nachdem die Systemarchitektur entwickelt war, wurden modulare Prozess- und Wissensmodelle entwickelt. „Die Module kapseln formalisierte Prozessabläufe, die über zusätzliches Verknüpfungs-, Verwendungs- und Strategiewissen zu konsistenten Prozessketten flexibel konfiguriert werden können.“⁴¹

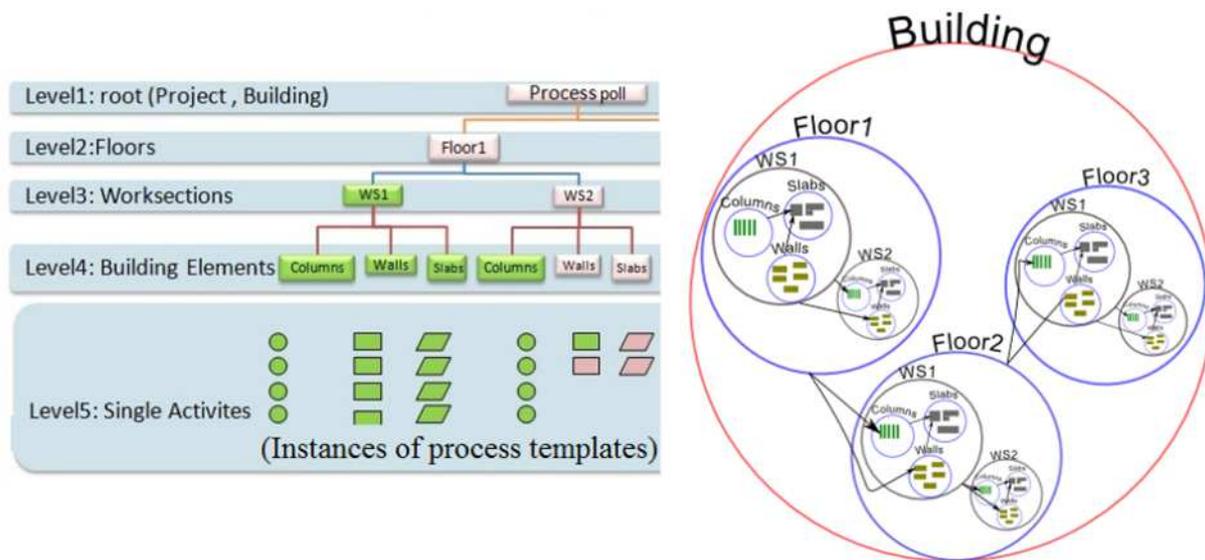
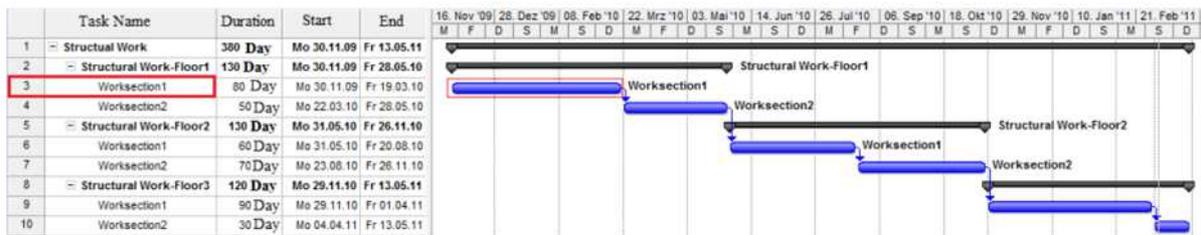


Abbildung 8 - Prozessmodell eines 3-geschossigen Gebäudes⁴²

Hierzu wurden typische Prozessketten etwa des typischen Bauausführungsprozess untersucht und versucht daraus Ableitungen zu entwickeln. Oft auftretende Abläufe wurden in ihrer Idealform als Templates definiert, welche somit vorab dem Planungsprozess zur Verfügung stehen. Im Beispiel bedeutet dies, dass bei der geplanten Bauausführung in Stahlbetonbauweise die typische Dauer, für das Bewehrung legen, Beton einbringen und die entsprechende Aushärtungszeit für Standardbeton, vorgegeben werden kann.

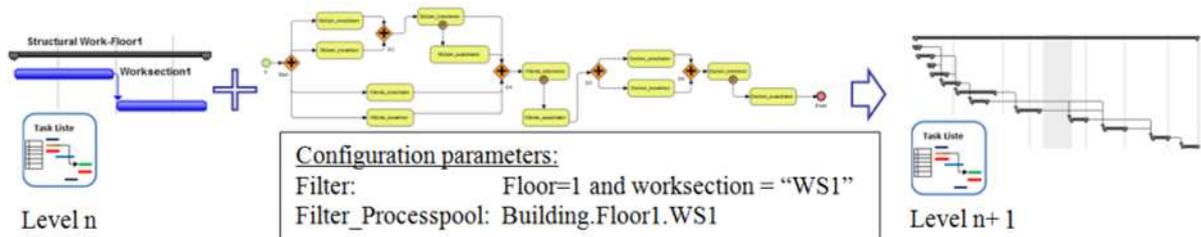
⁴¹ (Scherer P. D.-I., 2013), S. 17

⁴² (Scherer, 2011), S. 10

Abbildung 9 - Beispiel eines klassischen Projektablaufplanes⁴³

Wird nun allerdings ein Spezialbeton, bzw. Zuschläge zum schnelleren Abbinden des Zements, verwendet kann dieses Template im Bauablaufplan individuell angepasst werden um die tatsächlich erwartete Prozessdauer zu optimieren.

Der Nutzen wird also allein schon durch die Vereinfachung der Arbeit, und dem ggf. Einfluss nehmenden Unvermögen des Planers alle, typischen Prozessdauern zu kennen, klar. Weitere Vorteile entstehen dadurch, dass in den Templates bereits diverse Unterinformationen über notwendige Teilprozesse enthalten sein können.

Abbildung 10 - Automatisch generierter Ablaufplan durch Prozess-Templates⁴⁴

Zur sauberen Kapselung der Daten musste vorab jeder untersuchte Prozess gründlich zerlegt werden, so dass Platzhalter, bzw. Variablenräume für jede entstehende Möglichkeit vorhanden sind, um jeden Ablauf in seiner Vollständigkeit abbilden zu können.

Gleichzeitig muss bei der Kapselung sichergestellt werden, dass nicht nur die interne Informationsverarbeitung einwandfrei funktioniert, sondern auch die externe. In einem vollständig kompatiblen System muss, durch die Rückkopplungseffekte, stets der Blick auf den einzelnen Verursacher möglich sein.

"Filter process templates can be used here to break the project schedule one or more levels down. Each task (related to structural work) in the high level schedule will be linked with a filter process template and provided

⁴³ (Scherer, 2011), S. 5

⁴⁴ (Scherer, 2011), S. 5

with a filter expression to obtain only the related elements of the BIM model according to BIM filter specifications (Katranuschkov et. al. 2010).⁴⁵

Es muss also der Zugriff auf den Einzelprozess heruntergebrochen ermöglicht werden, ohne gleich sämtliche bauvorhabenbezogenen Daten bereitgestellt zu bekommen.

2.3.3. Referenzmodelle und Prozessmodule

Um „innovative Modellierungskonzepte“ für Planer und Projektmanager zu ermöglichen wurden aus den Prozesstemplates „sogenannte wiederverwendbare Referenzprozessmodule, die, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, für ein spezielles Bauprojekt konfiguriert werden können“,⁴⁶ entwickelt. Diese Referenzmodule umfassen neben dem reinen Prozessablauf auch das Wissen um die Einbindung des Einzelprozesses in das Gesamtbauvorhaben. Ziel war es, durch das spezifische Strategiewissen sicherzustellen, dass die zuvor entwickelten Prozessmodelle kompatibel mit relevanten beeinflussten Prozessen bleiben. Dabei galt es insbesondere die entsprechende Ontologie zu entwickeln und entsprechende Attribute zur Vernetzung der einzelnen Prozesse bereitzustellen.

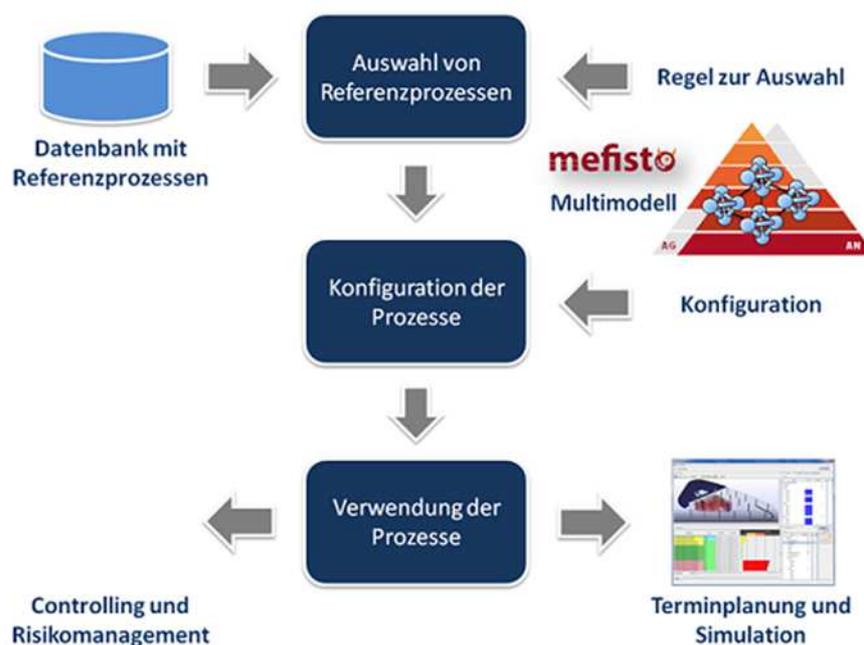


Abbildung 11 – Referenzprozessmodule⁴⁷

Mit Hilfe dieser Module können nun typische Bauabschnitte beschrieben und damit wiederverwendbar eingesetzt werden. Diese Clusterung ist ebenfalls wieder für die Verwendung der verschiedenen Datenmodelle, sowie der unterschiedlichen am Bauprozess beteiligten Fachbereiche wichtig. Für diese Arbeit

⁴⁵ (Scherer, 2011), S. 5

⁴⁶ (Scherer P. D.-I., 2013), S. 20

⁴⁷ (Scherer P. D.-I., 2013), S. 21

semantischen Zusammenhänge sicherstellen, dass die gewählte Darstellung auch tatsächlich einen Sinn ergibt.

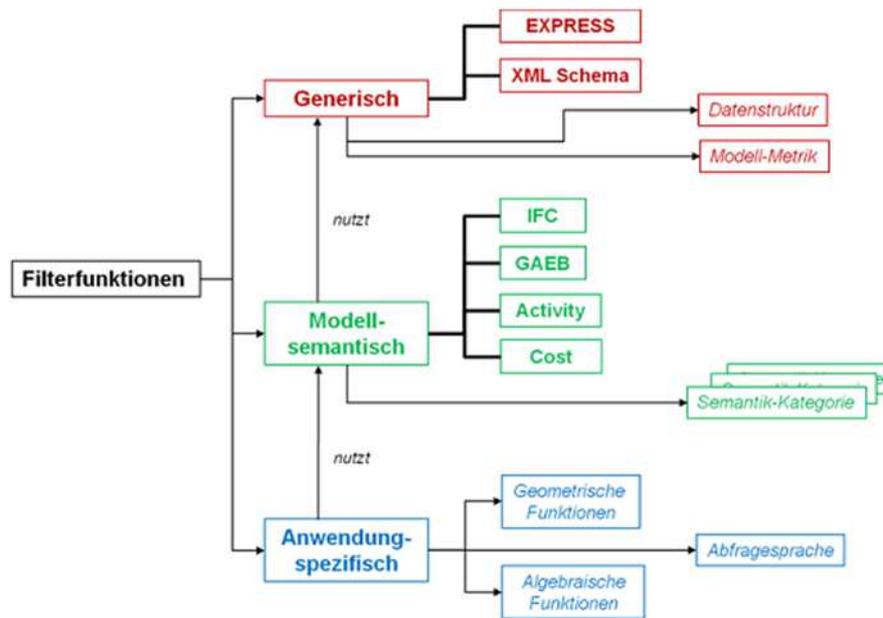


Abbildung 13 - Filtertechnologien in Mephisto⁵⁰

Auch für die Darstellung einer digitalisierten Architektur im Entwurfsprozess steht der Semantik eine enorme Bedeutung zu. Im einfachsten Falle könnten bei einer syntaktisch korrekten, aber semantisch inkorrekten Ausführung die Innentüren einer Wohnung alle mit Türknauf versehen werden. Bautechnisch wäre die Ausstattung einer Tür mit einem Knauf zwar korrekt, jedoch ist diese Anordnung bei Wohnungsinnentüren nicht sinnbringend.

Insgesamt ist mit dem Mefisto-Projekt eine umfangreiche und, durch die Teilnahme der unterschiedlichen Projektpartner, auch eine praxisorientierte Beschreibung der Prozesse und Zusammenhänge im Planungs- und Bauprozess entstanden.

⁵⁰ (Scherer P. D.-I., 2013), S. 37

2.4. eeEmbedded

Mit dem EU-Projekt *eeEmbedded* und dessen *final report* steht uns eine weiterentwickelte und hochgradig aktuelle Wissenssammlung zur Verfügung, welche im September 2017, also unmittelbar vor dem Zeitpunkt des Entstehens dieser Arbeit, zum Abschluss gebracht wurde. Am Projekt waren 15 Projektpartner, darunter wieder die TU Dresden und die Fakultät Bauinformatik, beteiligt. „The vision of eeEmbedded was to increase, by an order of magnitude, the quality of energy-efficiency in building design through the development of an In-Silico Energy Simulator Laboratory.“⁵¹

2.4.1. Projektarchitektur und Möglichkeiten von eeEmbedded

Mit den im Mephisto-Projekt gewonnenen Erfahrungen beispielsweise zu Prozessmodellen, oder der Zerlegung durch Multi-Modeling, konnten bewährte Ansätze auf die Systemarchitektur von eeEmbedded übertragen werden.

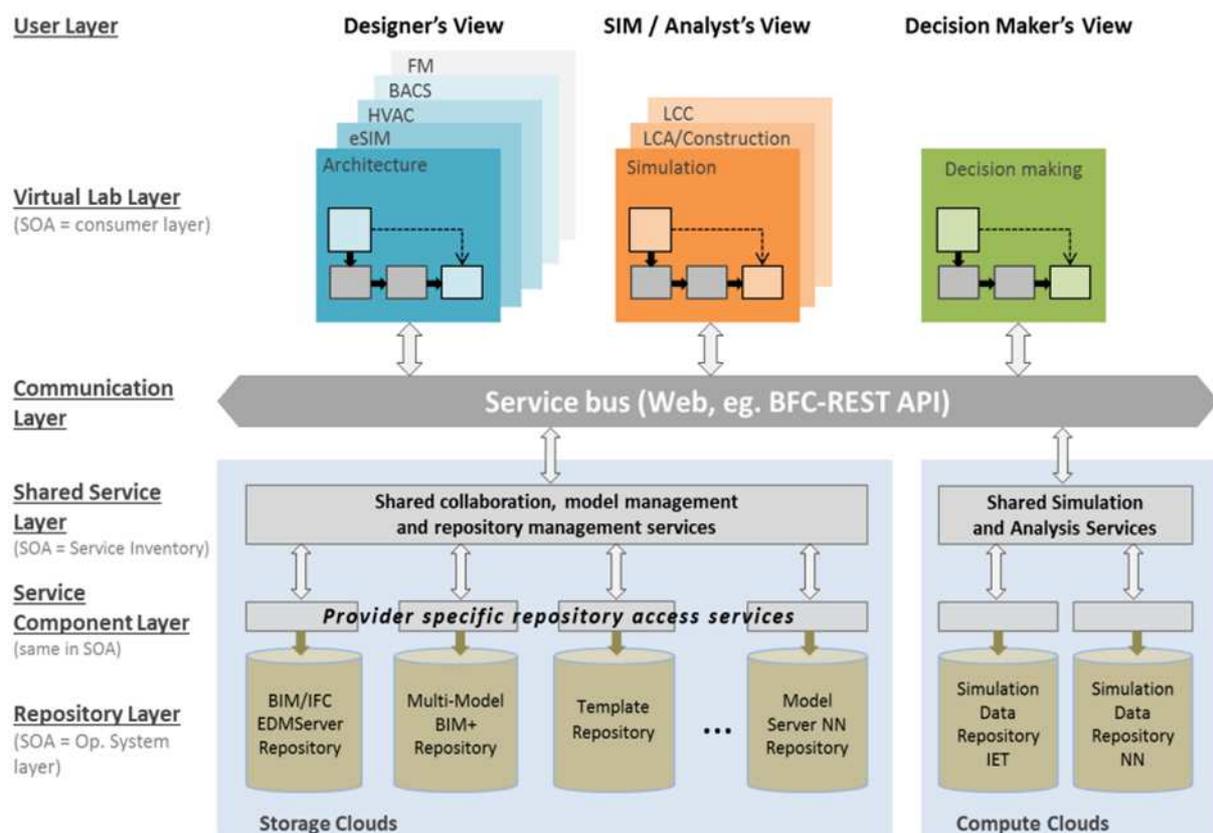


Abbildung 14 - Softwarearchitektur des Projektes eeEmbedded⁵²

⁵¹ (Scherer R. J., 2017), S. 7

⁵² (Scherer R. J., 2017), S. 21

Zum grundlegenden Verständnis soll das System in seinem Aufbau hier kurz beschrieben werden, um einen einfachen und nicht abschließenden Überblick über die Vielzahl der eingesetzten Dienste zu geben. Die Plattform besteht dabei, wie auch Mephisto, aus einem Service-Bus, welcher die Kommunikation der einzelnen Fachmodule, welche dort „virtual labs“ genannt werden, untereinander auf einer *geregelten Bahn* ermöglicht. Neben der Kommunikation ergibt diese Struktur auch bessere Möglichkeiten der Erweiterung, da auf diese Weise weitere Module ergänzt werden können. Diese vereinheitlichte Struktur wird dabei in vertikaler Ebene in drei Layer aufgeteilt. Die einflussgebenden Werkzeuge sind dabei in horizontaler Ebene im Benutzer-Layer dargestellt und ermöglichen die Interaktion mit dem System aus unterschiedlicher Sicht. Gleichzeitig werden im System-Layer die Analysewerkzeuge repräsentiert, welche eine Auswertung des Gesamtmodells nach unterschiedlichen Aspekten ermöglicht, wovon einige im Folgenden vorgestellt werden sollen.

Völlig neuentwickelt wurde für eeE der Scenario Manager, welcher wie eine Art Kontrollorgan über die verschiedenen Prozesse wacht. Der ScM informiert dabei die einzelnen Module beispielsweise über Änderungen im BIM-Modell und stellt dabei immer die zur Laufzeit relevanten Daten über die WMF-Engine zur Verfügung.

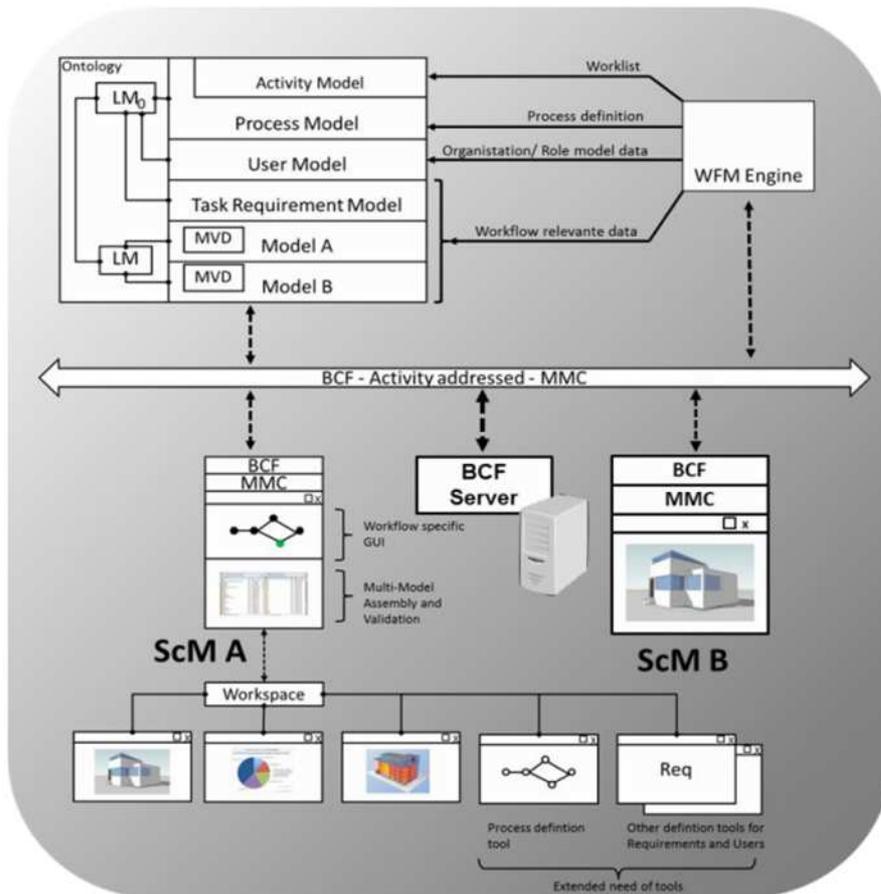
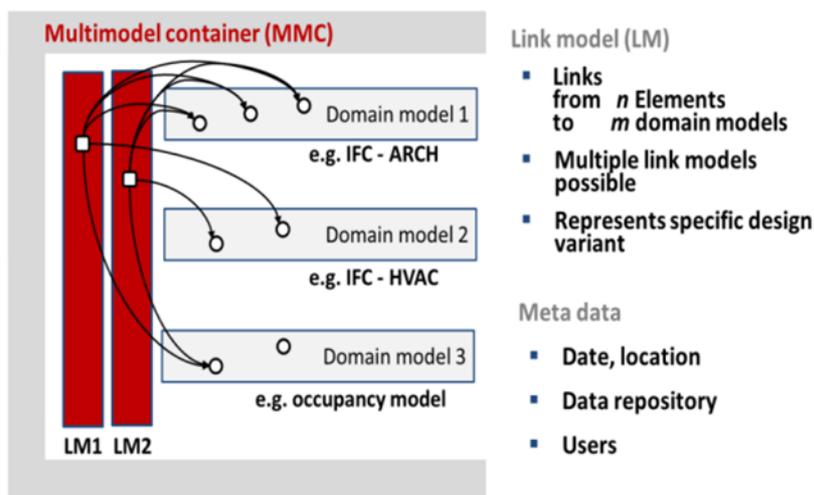


Abbildung 15 - Darstellung der Kommunikationsebenen der eeEmbedded Virtual Lab platform⁵³

Da in komplexen Szenarien eine enorme Datenmenge anfallen kann, welche sich durch laufende Simulationen zudem ständig vermehrt, können die Datenzugriffe über das Multicontainer-Modell abstrahiert werden. Um einen Einblick auf bestimmte Fortschritte des Gesamtmodells zu erlangen, kann dabei jederzeit von jedem Modul der Zustand der anderen Module mit ihren einzelnen Prozessen abgerufen werden. Die zu übergebenden Informationen werden dabei in Multicontainern übergeben werden. Dieses Konzept wurde gewählt, da viele der am Baugeschehen beteiligten Akteure mit verschiedensten Dateiformaten arbeiten. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die zu verwertenden Informationen an jeder Stelle im eeE zur Verfügung stehen.

Abbildung 16 - Multi-Modell Containerconcept⁵⁴

Wie schon zum Mephisto-Projekt erläutert, muss beim Zusammenspiel unterschiedlichster Akteure mit unterschiedlichsten Bedarfen an Informationen, eine syntaktisch sinnvolle Kommunikation über Schnittstellen gewährleistet werden. Da die einzelnen Fachgebiete das Gesamtmodell oft nur mit sehr spezieller Sicht betrachten, müssen zudem nicht bei jeder Informationsabfrage alle Informationen, sondern immer nur die benötigten bereitgestellt werden. Dies reduziert zum einen den Datenfluss in seinem Umfang im Allgemeinen, erleichtert aber auch die Schnittstellendefinition mit ihren Eigenheiten je Fachbereich im Speziellen. Die Kommunikationsmöglichkeiten innerhalb der Plattform gehen dabei weit über die sprachlichen Möglichkeiten von IFC hinaus, wenngleich die verwendeten Ontologien daran angelegt sind und dieses Format als primäres Austauschformat unterstützt wird⁵⁵.

⁵³ (Scherer R. J., 2017), S. 34

⁵⁴ (Scherer R. J., 2017), S. 23

⁵⁵ (Scherer R. J., 2017), S. 17

2.4.2. Simulationsvielfalt und komplexe Analyse

Neben inzwischen im Planungsprozess gängigen Analysen, wie beispielsweise Klima- und Luftströmungssimulationen werden im eeEmbedded Projekt viele weitere Analysen ermöglicht. „The eeEmbedded platform incorporates generic climate, occupancy, construction, HVAC, BACS and maintenance templates which can be assigned to element types, to analyse the impact of various parameters on the sustainable performance of a building.“ Ein derartiger Gesamtüberblick über die verschiedenen Einflüsse auf einen gesamtstrategischen Erfolg des Entwurfs, erlauben künftig völlig neue Rückschlüsse auf die während der Planung gewählten Parameter.

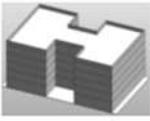
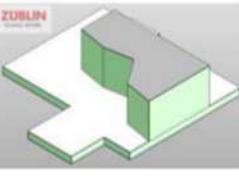
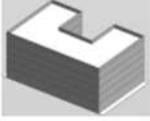
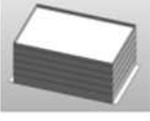
Alternatives-IFCs			Alternatives (IFC model)					
	A1 (H Shape)	WWR (NE & SW side) 40% 60% U-Value Wall Heavy - Brick: 0,19 W/m2.K Lightweight - Steel: 0,15 W/m2.K U-Value Window 2-pane: 1,10 W/m2.K 3-pane: 0,66 W/m2.K	Heating System District heating Heat pump		A1 (original state) WWR 30% 50% U-Value Wall 0,10 W/m2.K 0,19 W/m2.K Outer skin of external Heavy - Granite Lightweight - Timber	Energy System Variants Heating system E1 District heating supply E2 Natural gas condensing boiler E3 Biomass boiler		
		A2 (U Shape)	WWR (NE & SW side) 40% 60% U-Value Wall Heavy - Brick: 0,19 W/m2.K Lightweight - Steel: 0,15 W/m2.K Shell 2-pane: 1,10 W/m2.K 3-pane: 0,66 W/m2.K		Heating System District heating Heat pump	A2 (increased size) WWR 30% 50% U-Value Wall 0,10 W/m2.K 0,19 W/m2.K Outer skin of external Heavy - Granite Lightweight - Timber	Energy System Variants Heating system E1 District heating supply E2 Natural gas condensing boiler E3 Biomass boiler	
			A3 (Rectangular)		WWR (NE & SW side) 40% 60% U-Value Wall Heavy - Brick: 0,19 W/m2.K Lightweight - Steel: 0,15 W/m2.K Shell 2-pane: 1,10 W/m2.K 3-pane: 0,66 W/m2.K	Heating System District heating Heat pump	A3 (changed position) WWR 30% 50% U-Value Wall 0,10 W/m2.K 0,19 W/m2.K Outer skin of external Heavy - Granite Lightweight - Timber	Energy System Variants Heating system E1 District heating supply E2 Natural gas condensing boiler E3 Biomass boiler

Abbildung 17 - Auswertung verschiedener Designvarianten in Gegenüberstellung⁵⁶

So können in der frühen Planungsphase bereits Rückschlüsse auf den Entwurf gezogen werden. Die oben stehende Abbildung zeigt die Gegenüberstellung verschiedener Bauwerksgeometrien in einfachster Form. Zur frühzeitigen Abschätzung von Einflüssen, können in einer schematischen Darstellung exemplarisch erste Abwägungen zur Entwicklung der Gebäudehülle getroffen werden.

⁵⁶ (Scherer R. J., 2017), S. 16

Zur Entwicklung der Analyse, können verschiedene Gebäudemodelle über das BIM-Austauschformat IFC⁵⁷, in den Scenario Manager geladen werden, welcher diese Modelle an die einzelnen Analysetools zur Auswertung übergibt.

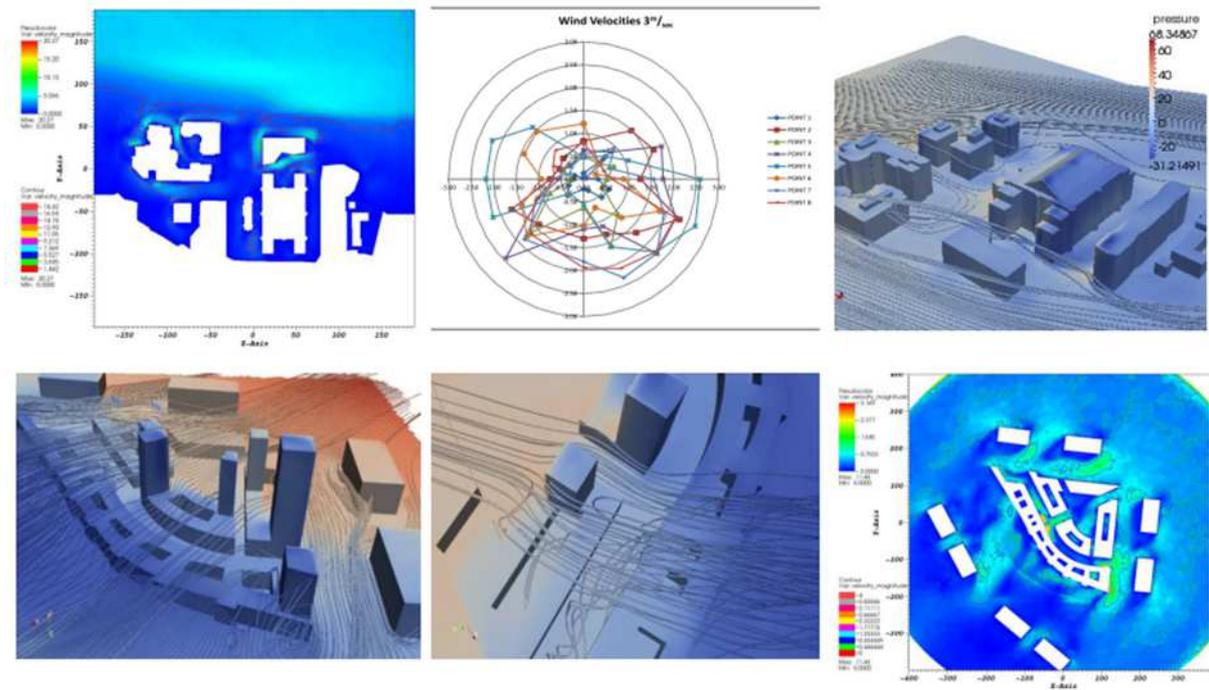


Abbildung 18 - Windanalyse und urban design in eeEmbedded⁵⁸

Ebenfalls können z.B. Rückschlüsse aus Windsimulationen eine wesentlich komplexere Analyse auf eine städtebauliche Einordnung von Gebäuden ermöglichen.

In Mehrfachsimulationen können die Einflüsse, der aus den Ergebnissen der einen Analyse gezogenen Resultate, als neuer Input auf andere Simulationen automatisiert erstellt und anschließend ausgewertet werden.

⁵⁷ (Scherer R. J., 2017), S. 17

⁵⁸ (Scherer R. J., 2017), S. 53

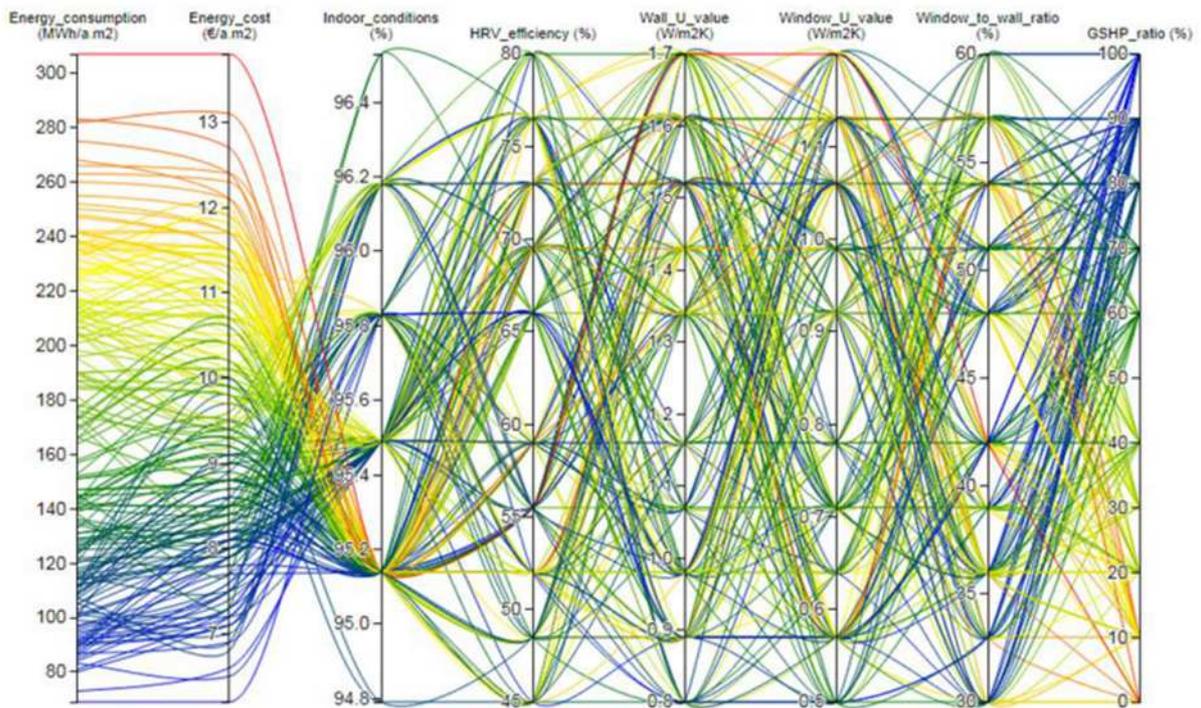


Abbildung 19 - Performance bei verschiedensten Designparametern⁵⁹

Die Abbildung stellt dabei die übereinandergelegten Ergebnisse einer solchen Mehrfachsimulation dar. Dabei wird der Einfluss der gewählten Parameter je durch eine der Kurven repräsentiert und kann somit in seiner Auswirkung auf die Gesamteffizienz vergleichend betrachtet werden. Die für die Visualisierung durchgeführte Abhängigkeitsanalyse wird dafür mit den Ergebnissen als KPI zur Performanz aus der Analyse der einzelnen Module gespeist, um die Gewichtung der einzelnen Entwurfsparameter zu priorisieren. Gleichzeitig werden für die Simulation aber auch Unsicherheitsfaktoren, wie beispielsweise Wettereinflüsse beachtet und die ermittelten Ergebnisse in die Visualisierung übernommen.

Die Kurvenschar zeigt dabei ein komplexes Gebilde, welches im Folgenden ausgewertet werden kann.

2.4.3. Findung der optimalen Parameter

Die zuvor ermittelten Kurven, welche die Einflüsse verschiedener Parameter auf den Entwurfsprozess in einer Komplexität repräsentieren, welche vom Menschen nur schwer erfasst werden können, müssen zuvor für eine Auswertung noch verarbeitet werden. Dafür werden gehäuft parallel verlaufende Graphen gefiltert und zusammengefasst.

⁵⁹ (Scherer R. J., 2017), S. 62

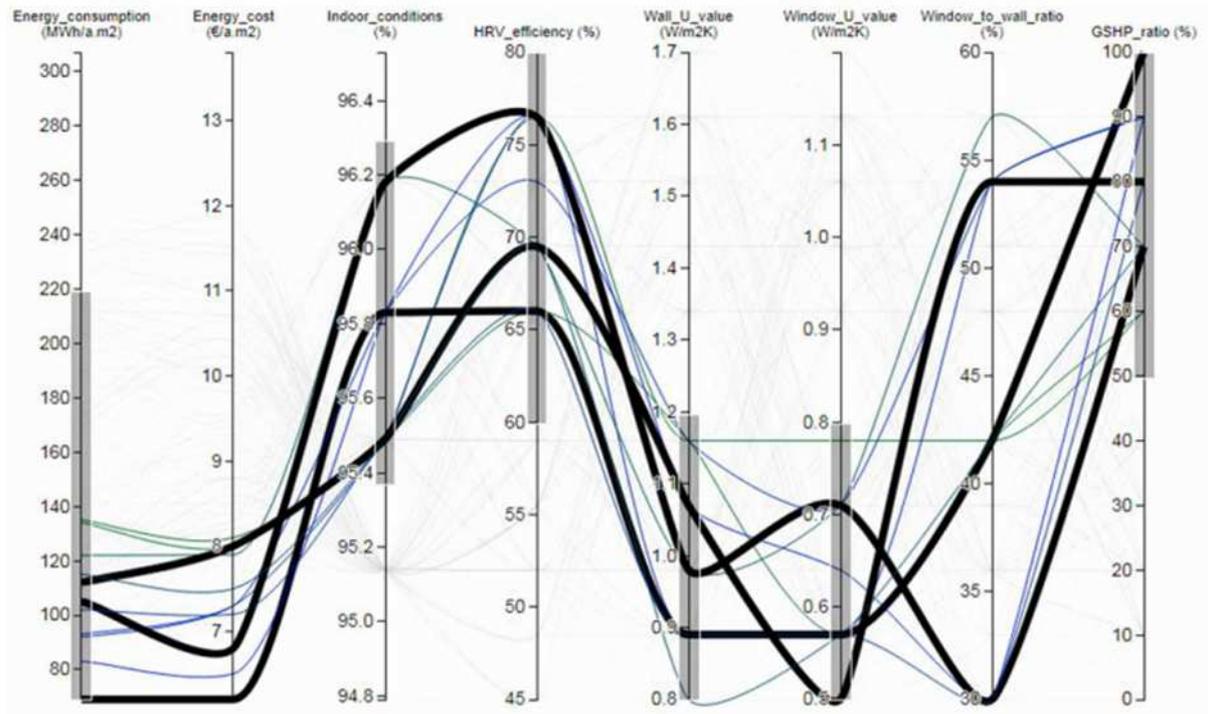


Abbildung 20 - gefilterte Darstellung der Designparameter⁶⁰

Die fett dargestellten Kurven stellen nach der Auswertung dabei die optimalen Parameter in gefilterter Form dar. Dabei werden die zuvor ermittelten KPIs im Szenario Manager gewichtet und können somit an die speziellen Anforderungen der Beteiligten im Bauprozess angepasst werden.

Auf diese Weise wird es in eeEmbedded ermöglicht einen weitreichenden Überblick über die Ergebnisse einer Vielzahl von Analysewerkzeugen zu geben.

2.4.4. Sammlungen und Templates

Insbesondere in der analytischen Auswertung von Entwürfen, wie sie zuvor beschrieben wurden, werden sogenannte Templates verwendet. Diese repräsentieren eine Schablone von beispielhaften Gebäudedaten, welche zur initialen Erstellung eines Modells vorgeladen werden können. Dabei würden am Beispiel einer Klimaberechnung vordefinierte Werte zu erwartenden Heiztemperaturen, dem Einfluss an Wärmezufuhr aus erwarteten Personen je m² oder Temperature Auswirkungen aus Durchschnittsklimadaten in das Modell eingefügt. Auch exemplarische U-Werte zu Fenstern und Wänden etc. werden dabei initial aus einem der Templates abgerufen. Dies ermöglicht etwa die sofortige Evaluation eines Entwurfs auf Basis von Standarddaten. Diese können selbstverständlich an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden und wieder als neue Schablone abgespeichert werden.

⁶⁰ (Scherer R. J., 2017), S. 63

2.4.5. Mögliche Auswirkungen auf den Entwurf

Wie zuvor gezeigt, werden die möglichen Analysemethoden im Planungsprozess stets komplexer und erschaffen neue Möglichkeiten der Auswertung eines Entwurfs. Durch computergestützte Rechenverfahren ergeben sich zudem völlig neue Wege des Konstruierens. So stellt Eberhard Möller in Bezug auf Hans Sharouns organische Architektur beispielsweise fest, dass der Architekt sich diesen neuen Möglichkeiten des Konstruierens dringend annehmen sollte, wenn er nicht als reiner Dekorateur der Konstruktion zurückbleiben möchte⁶¹. Da sowohl aus technischer Sicht, als auch aus ästhetischer Sicht Gebäude inzwischen auf vielen neuen Wegen beurteilt und ausgewertet werden können, muss auch deren Wirken auf die verschiedenste Akteure künftig beachtet werden⁶². Insbesondere bei einer Attributisierung von *Patterns* in der digitalisierten Architektur, sollte hier den verschiedenen Betrachtungsebenen durch sinnvolle Kategorisierung, den Wahrnehmungsebenen ein Datenraum gelassen werden.

Während die Templates in den klimatischen Berechnungen und Vordimensionierung die Gebäude virtuell mit Leben füllen und Vorhersagen zur Energieeffizienz des Entwurfs erlauben, sind vergleichbare Ansätze in Kombinationen zur Konstruktion als ganzheitlichen Ansatz kaum zu finden, was auch Möller betitelt. „Die bisherige wissenschaftliche Behandlung des Themas der Konstruktion in der Architekturtheorie ist sowohl bezüglich des Umfangs, als auch hinsichtlich der Intensität als eher punktuell und spärlich zu bezeichnen. Sie lässt ausreichend Raum für weitergehende Untersuchungen, bei denen neben dem architektonischen gerade der ingenieurwissenschaftliche Blickwinkel aufgrund der großen bautechnischen Bedeutung des Themas Konstruktion von besonderer Relevanz ist.“⁶³

Es sind zu den einzelnen, den Entwurf beeinflussenden Faktoren, teils schon Anthologien und Kataloge wie etwa dem Baukostenindex und architekturtheoretische Sammlungen vorhanden, auf die zurückgegriffen werden kann. Gleichzeitig sind einzelne Gebiete aus dem komplexen Bereich des Fügens der Teile bisher eher unberücksichtigt geblieben.

Neben der Verwendung zur Auswertung im Nutzen für eine digitalisierte Architektur, sollte eine Untersuchung der bereits vorhandenen Wissenssammlungen berücksichtigt werden. Im Idealfall kann aus der Kombination des repräsentierten Wissens, mit Hilfe von computergestützten Systemen neue Erkenntnisse gezogen werden.

⁶¹ (Möller, 2011), vgl. S. 10

⁶² (Lieder, 2017), Vgl. S. 34 ff., bzw. (Möller, 2011), vgl. S. 12

⁶³ (Möller, 2011), S. 16

3. Architekten in – und Entwicklung der – IT-Branche

Architektur und Informatik haben Verbindungen auf den unterschiedlichsten Ebenen. Nicht ohnehin findet man bei der Suche auf Jobbörsen inzwischen öfter Stellengesuche für Architekten in der IT-Branche, als Anstellungen für den klassischen Entwerfer. Die genaue Bezeichnung für die Kollegen des Entwurfs der virtuellen Welt, variiert dabei im Detail je nach Aufgabe und reicht vom Datenbankarchitekten bis zum Generalplaner, dem Systemarchitekten.

3.1. Architekten in – und Entwicklung der – IT-Branche

„Als Berufsbezeichnung wird Information Architect das erste Mal im Jahr 1975 von Richard Saul Wurman verwendet [...denn er...] erkennt während seiner Arbeit das Potential der von Architekten für den Entwurf von Gebäuden genutzten Prozesse für die Entwicklung der Informationsdarstellungen.“⁶⁴ Währenddessen hat sich die Informationsverarbeitung seit der Entwicklung von Computern nicht nur enorm beschleunigt, sondern durch neue Verfahren und Auswertungsansätze beachtlich weiterentwickelt. Inzwischen werden Daten etwa mit Hilfe von cloudbasierten Anwendungen auf riesigen Serverstrukturen verteilt und massenhaft neue Daten durch verschiedenste Analysemethoden von Fachplanern und Architekten selber erzeugt. Notwendig ist im Anschluss immer die Interpretation der gewonnen Informationen, um Rückschlüsse auf den Planungsprozess ziehen zu können. „Für das Ingenieurwesen sind die Nutzer nur biologische Körper, insbesondere Wärmequellen, Stickstoffquellen, und vielleicht noch Determinanten von anzustrebenden, biologisch determinierten, raumklimatischen Regelgrößen. In der Architektur geht es immer um mehr als um physische Prozesse und biologische Regelgrößen. Hier geht es um die Aktivitäten und Intentionen der Nutzer,...“⁶⁵ Patrick Schumacher ordnet die Rolle der ökologischen Anforderung an Gebäude hier als eine der Disziplinen der Architektur ein und zeigt im Verlauf des Textes Möglichkeiten der „sozialen“ Partizipation einer parametrischen Architektur an diesen ökologischen Disziplinen. Eine tatsächliche inhärente Rolle des Parametrismus im Sinne von ökologischer Bauweise wird nicht aufgezeigt, soll aber in dieser Arbeit untersucht werden.

Festzuhalten bleibt, dass sich die IT-Branche mit vielen neuen Spezialgebieten offenbar rascher entwickelt hat, als die klassischen Entwurfsmethoden der Architektur. Zwar gibt es enorme Entwicklungen etwa im BIM, jedoch stellt sich hier die Frage, ob das BIM eher ein Werkzeug, als ein wahrhaftes Verfahren, im Entwurf darstellt. Klar ist, dass die Entwicklung in der Informationstechnologie die Arbeit der heutigen Architekten auf vielen Feldern verändert hat; untersucht werden soll in dieser Arbeit, welche Vorteile die Architektur aus dieser zügigen Wissenserweiterung, insbesondere durch Systeme mit künstlicher Intelligenz, ziehen kann.

⁶⁴ (Arndt, 2006), S. 13

⁶⁵ Ökologischer Parametrismus, Patrik Schumacher, Innsbruck 2012, Published in: Out of AZ4 reloaded

3.1.1. Entwicklung des Informationsangebotes in der IT

Neben neuen Verfahren der Datenverarbeitung haben sich vor allem die Informationsflüsse in der IT etwa durch, dynamisch ermittelt und ausgewertete Daten, stark verändert und weiterentwickelt. So bestand die Arbeit der Informationsarchitekten „bis vor kurzem vor allem darin, statische Informationen innerhalb einer Webseite zu strukturieren und zu benennen [...während...] mittlerweile auch die Konzeption und Definition von Regelwerken dazu“⁶⁶ gehört. In einem einfachen Beispiel muss etwa die Kommunikation der Webseite mit dem virtuellen Warenkorb definiert sein, damit der angezeigte Preis schlussendlich tatsächlich auch der entsprechenden Buchung zugeordnet wird. Weiter könnte es nun der Fall sein, dass der Kunde online einen Gutschein einlöst und alle Preise nun dynamisch mit einem Rabatt von 15% auf den Preis angezeigt werden sollen.

Eine solche Dynamik in den Informationen begegnet dem Entwerfer hingegen bei seiner Arbeit permanent. Verschiebt der Architekt in der CAD z.B. eine Wand, verändert die neue Situation eine ganze Reihe an untergeordneten und resultierenden Daten. Offensichtlich ist, dass sich die Raumabmessungen verändern, gleichzeitig sind aber auch das Raumvolumen, und damit die Daten einer eventuellen Klimasimulation betroffen. Gleiches gilt für Statik, Tageslichteinfall, Leitungsführungen, Fluchtweglängen etc. welche zukünftig gleichzeitig in ihrer Betroffenheit in der CAD erfasst werden sollen. Diese Datenflut bringt, zum einen Probleme bei der Verarbeitung mit sich, gleichzeitig aber auch Chancen, neue Zusammenhänge zu entdecken und/oder von der Entwicklung der Datenverarbeitung zu profitieren.

3.1.2. Facettenklassifikation – Die Colon Classification

Zum besseren Auffinden von Büchern mit ganz speziellen Anforderungen führt der indische Bibliothekar und Mathematiker Shiyali Ramamrita Ranganathan bereits in den 1920er Jahren die Klassifikationspraxis der Facettierung⁶⁷ ein. „Die Colon Classification findet zunächst jedoch nur wenig Beachtung. Denn sie ist ausschließlich manuell nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand umsetzbar. Vermehrte Aufmerksamkeit erhält sie aber mit der Einführung von Computern und Datenbanksystemen für die Verwaltung von Bibliotheksbeständen“⁶⁸

Zur Einordnung der Informationen müssen „typische Elemente identifiziert und entsprechend ihrer relevanten Eigenschaften ins so genannte Einfachklassen unterteilt werden. Anschließend werden die klassifizierten Eigenschaften, die auch Foci genannt werden, zu mehreren gleichrangigen, voneinander unabhängigen Gruppen, den sogenannten Facetten zusammengefasst.“⁶⁹ Diese Facetten könnten auch mit Kategorien verglichen werden. Wichtig für einen sinnvollen Einsatz solcher Foci ist dabei das Bilden der „richtigen“ Kategorien. So könnten beispielsweise Attribute vergeben werden, welche etwa für Baustoffe, Bauelemente

⁶⁶ (Arndt, 2006), S. 14

⁶⁷ (Arndt, 2006), vgl. S. 159

⁶⁸ (Arndt, 2006), vgl. S. 160

⁶⁹ (Arndt, 2006), S. 159

oder bestimmten Verfahren einen hohen charakteristischen Bezug darstellen, jedoch für die im speziellen Einsatzzweck keinerlei Bedeutung haben. Denkbar wäre es für eine Architekturdatenbank mit Bauteilen, dass dem dort abgelegten Fenster zwar ein U-Wert und das Schlagwort 3-fach-Verglasung beigefügt wurde, um dessen klimatische Einordnung zu beurteilen. Fall dem Auftraggeber an dieser Stelle jedoch historische Kastenfenster mit Einfachverglasung, beispielsweise zum Einhalten der Auflagen aus dem Amt für Denkmalschutz, wichtiger sind, ergibt eine Auswahl des Fensters über dessen Eigenschaften zum Wärmeschutz ggf. nur wenig Sinn. „Eine sehr hohe Abstraktion der realen Welt ist oftmals Voraussetzung, damit ein realer Sachverhalt in eine eindeutige maschinenverständliche Sprache übersetzt werden kann.“⁷⁰ Diese notwendige Abstraktion soll hier für die Architektur weiter untersucht werden, um die noch vorhandenen semantischen Lücken⁷¹ Stück für Stück schließen zu können.

⁷⁰ (Werres, 2009), S. 6

⁷¹ (Werres, 2009), vgl. S. 6

3.2. Facettennutzung in der Musik

Aus der Musikbranche, welche in den Aspekten Ästhetik, Wahrnehmung und Geschmack durchaus mit der Architektur vergleichbar ist, sollen im Folgenden zwei Beispiele beschrieben werden, welche sich bereits eine sinnvolle und intelligente Auswertung von manuell zugeordneten Attributen zu Nutze machen.

3.2.1. Pandora

„Ein Paradebeispiel eines solchen geschlossenen, getaggt Systems im World Wide Web ist Pandora, eine Audio-Streaming-Website, die seit Juli 2005 zugänglich ist.“⁷² Pandora ist eine Musikstreamingplattform, welche ein automatisiertes Abspielen ähnlicher Titel unterstützt. Mit dem Projekt *Music Genome Project*, wurde über Jahre eine attributisierte Musikdatenbank geschaffen, welche inzwischen über 300.000 Titel und über 10.000 Künstler umfasst⁷³.

⁷² (Arndt, 2006), S. 170

⁷³ (Arndt, 2006), vgl. S. 170

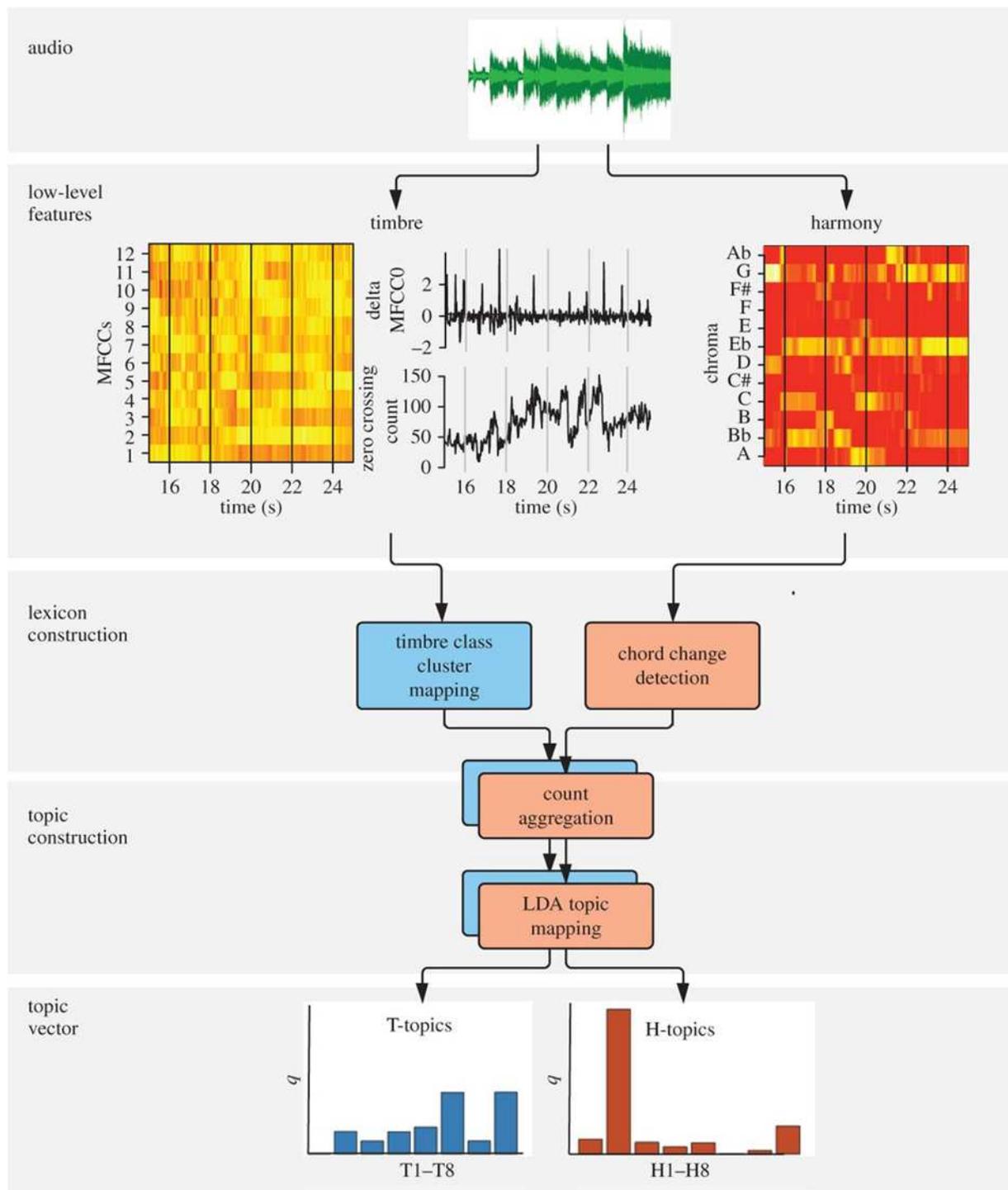


Abbildung 21 - Auswertung einer Sequenz von Bohemian Rhapsody der Band Queen⁷⁴

Nach einem eigens erarbeiteten Schema wurden dabei Facetten festgelegt, welche anschließend den einzelnen Titeln zugeordnet wurden. Zur Einordnung der Attribute wurden über 400 Facetten gebildet, welche verschiedenste Eigenschaften wie den Klang, die Rhythmik das Genre, das Tempo etc. beschreiben.⁷⁵

⁷⁴ <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/2/5/150081>

⁷⁵ (Arndt, 2006), S. 170

„Ziel der Website ist es, den Nutzer an die Lieder von Interpreten oder Bands heranzuführen, die seinem Musikgeschmack entsprechen, die er aber dennoch bisher nicht kennt.“⁷⁶

Leider ist Pandora in Deutschland durch die GEMA verboten und die Funktionsweise auf offiziellem Wege nicht testbar. Für den Vergleich in dieser Arbeit zur möglichen Anwendung der Prozesse auf die Architektur gibt es aber einige andere Musikanbieter mit ähnlicher Funktion. Spotify etwa stellt der Community und damit auch der Wissenschaft eine komplett offene API bereit, welche im Folgenden etwas genauer betrachtet werden soll.

3.2.2. Allgemeine Funktionsweise und API von Spotify

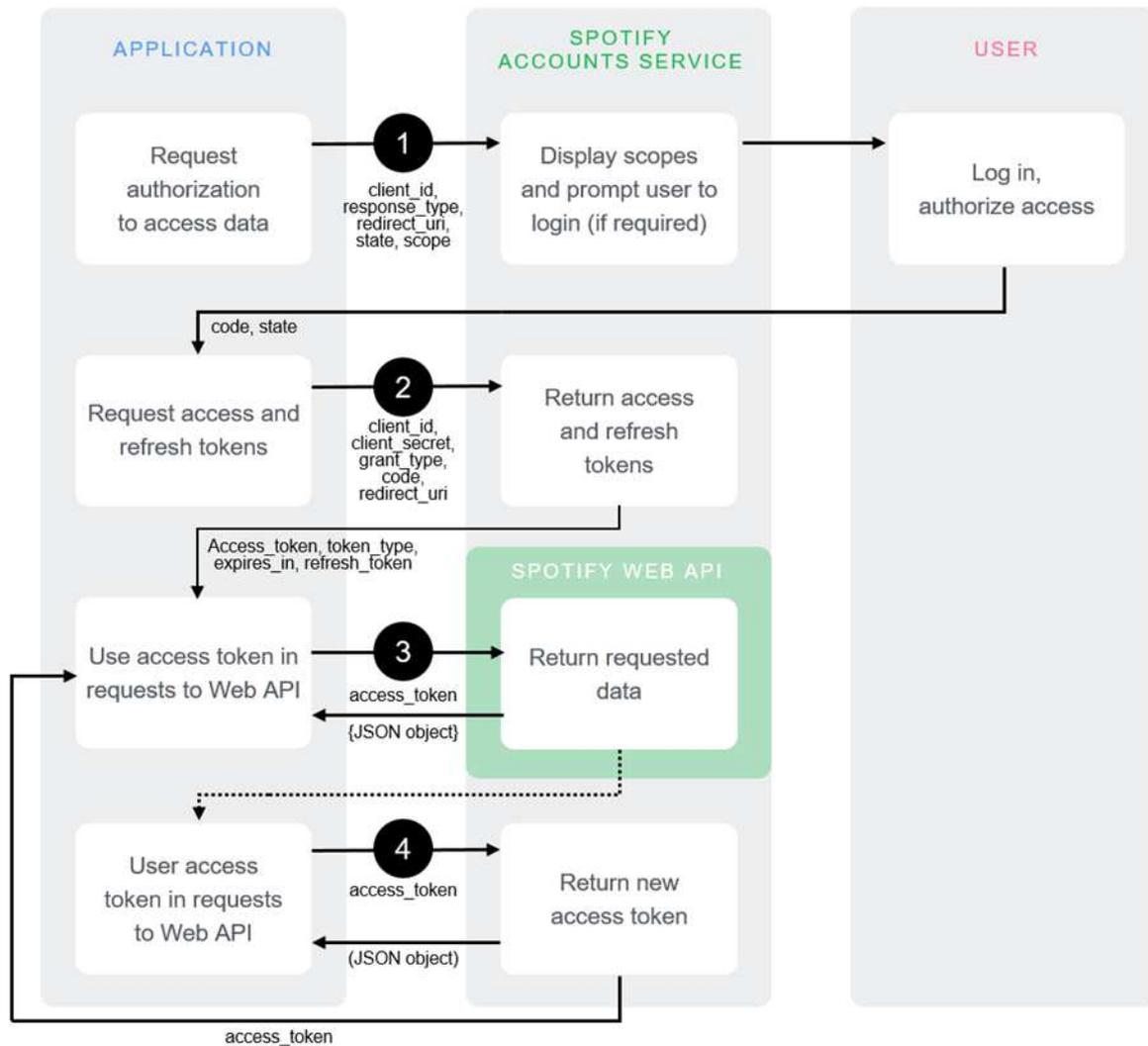
Auch Spotify bietet dem Nutzer die Funktion „ähnliche Titel“ an und hält dafür verschiedene Varianten bereit. „Für das Backend hat man sich mit Echo Nest einen Big Data-Aggregator eingekauft, der in seiner Datenbank Musik-Kataloge auf höchst intelligente Weise mit Abspieldaten der Stücke aus Musikanwendungen, psychoakustischer Klanganalyse und der Auswertung von Musik-Postings in sozialen Netzwerken verbindet. Für den Nutzer ergibt das zum Beispiel Künstler-Biographien, die Hintergrund-Informationen mit Verlinkung zu anderen Künstlern verknüpft“⁷⁷ Dabei werden also „fremde“ Daten aus dem Internet derart kombiniert, um rein aus dem Verhalten entweder völlig fremder, oder dem der eigenen Freunde Musikempfehlungen zu generieren. Diese Funktion hat für diese Arbeit daher eine besondere Bedeutung, da hier Erkenntnisgewinne aus dem soziokulturellen Rahmen von Personen getroffen werden können.

Um die erforderlichen Daten zu ermitteln werden die Titel mit verschiedenen Eigenschaften entsprechend dem Spotify-Objekt-Modell⁷⁸ attributisiert und in einer Datenbank abgelegt. Auf die Daten kann über die Web-API zugegriffen, und diese somit ausgewertet werden.

⁷⁶ (Arndt, 2006), S. 170

⁷⁷ <https://www.smart-digits.com/2013/02/content-marketing-uber-spotify-ein-modell-fur-buchinhalte/>

⁷⁸ <https://developer.spotify.com/web-api/object-model/>

Abbildung 22 - Aufbau von Spotify und Zugriff auf die Web-API⁷⁹

„Eine weitere Funktion auf Basis von Echo Nest ist die „Ähnliche Künstler“-Auswertung – nur basiert sie im Unterschied etwa zu den Empfehlungen von Amazon nicht auf einer Einkaufshistorie, sondern auf echten Abspielfdaten sowie klanglicher Ähnlichkeit der Stücke und hat deswegen eine ganz andere Qualität. Großen Spaß macht auch das „Künstlerbasierte Radio“: Hier wird auf der Basis derselben Daten eine persönliche Playlist generiert, die in der Regel genau die richtige Balance zwischen Ähnlichkeit/Bekanntem und unbekanntem Stücken/Künstlern hat und so immer wieder für eine Überraschung gut ist. Selbst Spezialisten finden hier immer wieder Neues, das man auf anderen Kanälen niemals entdeckt hätte.“⁸⁰

Durch die Verknüpfung der Daten Verschiedener Nutzer, gelingt also über die Betrachtung der vernetzten Gemeinsamkeiten, eine Empfehlung von artverwandten „Elementen“ für den Nutzer. Überträgt man dieses Verfahren auf die Architektur, so können etwa sortiert, gruppiert, oder besser facettiert, aus der Einordnung

⁷⁹ <https://beta.developer.spotify.com/documentation/general/guides/authorization-guide/>

⁸⁰ <https://www.smart-digits.com/2013/02/content-marketing-uber-spotify-ein-modell-fur-buchinhalte/>

zum soziokulturellen Rahmen, zur Umgebungsbebauung, zur Gebäudenutzung etc., denkbarer Weise ähnliche mögliche Bauweisen ermittelt werden. Auch auf Bauteilebene ließen sich „artverwandte“ Elemente ermitteln und etwa automatisiert vorschlagen. Um die erforderlichen Daten zu ermitteln, werden die Titel mit verschiedenen Eigenschaften entsprechend dem Spotify-Objekt-Modell⁸¹ attributisiert und in einer Datenbank abgelegt.

„The API also provides access to user-related data such as playlists and music saved in a “Your Music” library, subject to user’s authorization“⁸² und ermöglicht somit eine vielfältige Auswertung der Daten.

⁸¹ <https://developer.spotify.com/web-api/object-model/>

⁸² <https://developer.spotify.com/web-api/>

3.3. Extraktoren zum Anzapfen einer API

In einem Projektbericht über Künstliche Intelligenz der Universität Bremen⁸³ wurden, für ein Experiment zur automatisierten Beantwortung von Quiz-Fragen, Spotify und ähnliche Systeme mit automatisierter Zuordnung ausgewertet und auf Verwendbarkeit derer Schnittstellen zur Datengewinnung geprüft. Für die Untersuchung wurde versucht, die richtigen Antworten auf Quizfragen zu finden, wobei zu jeder der Fragen je 4 Antwortmöglichkeiten vorgegeben wurden.

3.3.1. Extraktoren zum Anzapfen einer API

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, verwendet der Musikstreamingdienst Spotify unterschiedlichste Attribute zur Einordnung von Musik, welche anschließend genutzt werden können, um dem Nutzer weitere, zum gerade gehörten Track, passende Musiktitel anzubieten. Für das Quizprojekt wurde das *Wissen* des Dienstes genutzt, um Fragen aus der Kategorie Musik zu beantworten. „Für die eigentliche Extraktion der Informationen von Spotify wurden mehrere Extraktoren implementiert. Sie definieren alle die selbe Schnittstelle und können so von der Hauptkomponente des Moduls einheitlich verwendet werden.

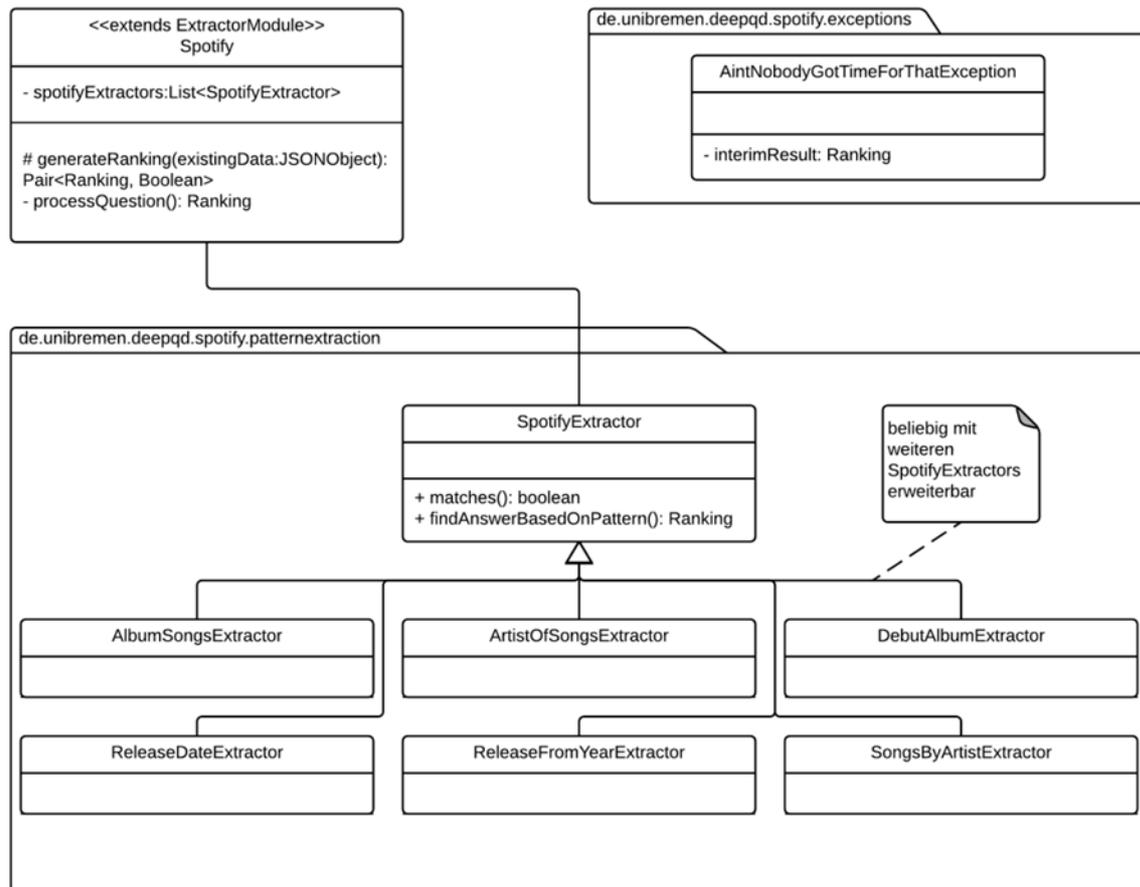
Diese Schnittstelle wird durch die Methoden *matches* und *findAnswerBasedOnPattern* definiert.⁸⁴ Auch hier werden also klar definierte Schnittstellen angeboten, welche je nach Anwendungsfall den Zugriff auf bestimmte Informationen ermöglichen, nicht jedoch gleichzeitig auf alle abgelegten Daten.

Aus der Arbeit geht außerdem hervor, dass nur wenige Datenbankanfragen beantwortet werden konnten und der Einsatz der Informationen von Spotify für diesen Fall – der Beantwortung von Fragen in einem Quiz – in der vorliegenden Form nur bedingt für die Beantwortung der vorliegenden Problemstellungen geeignet gewesen seien. Das Problem bestand darin, dass nicht alle zur Verfügung stehenden Daten in der Form abgerufen werden konnten, wie sie benötigt worden wären. Da die für das Experiment notwendigen Daten zwar vorhanden, aber nicht abrufbar sind, „besteht also noch Potential mehr Fragen zu beantworten, oder von den beantworteten Fragen mehr richtig zu beantworten. Dazu müssten lediglich – nach weiterer und genauerer Analyse von möglichen Fragen zum Thema Musik – beliebig viele *weitereSpotifyExtractors* implementiert werden.⁸⁵ Das Implementieren dieser Extraktoren lässt sich mit der Facettenbildung, bzw. der Auswertung dieser, vergleichen. Lägen mehr auswertbare Foci vor, könnten also weitere Informationen extrahiert werden, obwohl die notwendigen Daten bereits vorhanden sind.

⁸³ (Balitzki, 2016)

⁸⁴ (Balitzki, 2016), S. 84

⁸⁵ (Balitzki, 2016), S. 86

Abbildung 23 - Architektur des Spotify Moduls⁸⁶

Die Abbildung zeigt die verschiedenen Module des Musikdienstes. Jedes Modul enthält modulspezifische Informationen. „Bei Spotify kann man nur Informationen zur Musik direkt – d.h. Titel, Alben, Interpreten, Veröffentlichungsdaten, etc. – finden. Es gibt dort keine Informationen zu Musiktheorie oder anderem Hintergrundwissen, wie etwa zur Beantwortung von Fragen der Art Welche Tonart ist die Paralleltonart zu C-Dur? [...] Dadurch ist das Spotify-Modul zwar nur für eine kleine Fragendomain anwendbar, erzielt dort aber mit ca. 86 % Präzision ein gutes Ergebnis, d.h. wenn es eine Frage bekommt, die in seine Domain fällt, kann es sie mit sehr großer Wahrscheinlichkeit richtig beantworten.“⁸⁷ Für den Anwendungsfall zur vorliegenden Arbeit über künstliche Intelligenz konnte Spotify also nur bedingt eingesetzt werden, erzielte aber gute Ergebnisse, wenn sich die Anfrage in eine der Facetten zur Musik einordnete.

Zwar besitzt der Dienst verschiedene Module, jedoch bleiben sie alle in der Musik zu verorten. Für jede Facette wird zur Auswertung ein Extraktor benötigt, der die anwendungsfallspezifischen Daten liefern kann.

⁸⁶ (Balitzki, 2016), S. 83

⁸⁷ (Balitzki, 2016), S. 86

3.3.2. weitere Abfragesysteme wie Watson, NLP etc.

Zur Prüfung auf Informationsgewinnung verschiedener intelligenter Systeme wurden neben den Spotify-Extraktoren noch weitere Plattformen untersucht, wie etwa die an der Universität Stanford entwickelte Sprache NLP. „Das Natural Language Processing-Modul analysiert die Frage und deren gegebene Antwortmöglichkeiten und stellt die daraus gewonnenen Informationen für die Extraktormodule zur Verfügung, um diesen die Wissensextraktion und schließlich das Finden des richtigen Antwortkandidaten zu erleichtern.“⁸⁸ Da es bei dem beschriebenen Projekt um die Beantwortung von Quizfragen geht, ist es naheliegend, auch den semantischen Gehalt der Frage zu nutzen. „Um das zu ermöglichen, wird die Satzstruktur der Frage analysiert, um z.B. Eigennamen herauszufiltern, damit nach diesen gesucht werden kann. Außerdem besteht das Modul aus mehreren Komponenten, die jeweils bestimmte „Pattern“ wie Verneinungen, Zitate, Rechnungen, Daten, etc. aus der Frage extrahieren oder den Antworttyp der Frage bestimmen.“⁸⁹ Auf die Architektur bezogen lassen diese Eigennamen z.B. mit schon bekannten Entwurfsmustern, etwa denen von Christopher Alexander vergleichen. Der semantische Zusammenhang muss an dieser Stelle, immer speziell auf das Entwurfsproblem bezogen, hergestellt werden. Auch auf Bauteilebene sind derartige Verknüpfungen zu finden. Konstruktiv könnte exemplarisch ein Fenster aus einem Bauteilkatalog gewählt werden, um es im Entwurf zu platzieren. In diesem Falle könnte die Software das Absetzen des Fensters zulassen, da es sich im Beispiel um eine Außenwand handelt. Ist dieser Wand aber z.B. ein Balkon vorgestellt, müsste ggf. überprüft werden, ob mindestens eine Tür vorhanden ist, um die entsprechende Zugänglichkeit sicherzustellen. Diese Zusammenhänge können selbstverständlich für eine Fragestellung auch im Umgekehrt betrachtet werden. Auf einer möglichen Suche nach ähnlichen Lösungen, wäre das Auffinden einer Terrasse denkbar. Findet ein Automatismus also immer bei vorgelagerten Bauteilen immer mindestens auch eine Tür angeordnet vor, könnte eine entsprechende Facettierung vorgenommen werden.

Anschließend wurden, auf Grund sehr unterschiedlicher Herangehensweisen, etwa des menschlichen Vorgehens bei der Suche auf Google, Kategorien gebildet. Diese Kategorien, ermöglichen es einem spezialisierten „Extraktor, wie die MovieDB-Extraktoren, die Klassifizierung nutzen, um Fragen, die nach einer Antwort auf eine Rechnung fragen, abzulehnen.“⁹⁰ Ein Vergleich zur Beantwortung der Fragen dieser Arbeit kann auf mehreren Ebenen angestellt werden, je nachdem, wie die Kategorien gebildet werden. Ziel ist es, beim Auffinden von Möglichkeiten, nicht jede verfügbare Information abzufragen, sondern entsprechende Filter vorzuschalten. Diese Filter könnten in der Gebäudeplanung von der Bauteilebene, über die Abgrenzung einer entsprechenden Nutzung, bis hin zu einem städtebaulichen, oder gar kulturellen Kontext reichen. Zur tatsächlichen Entwicklung einer Software, wären entsprechende Filter je nach Größe der abgefragten Datenmengen mit Sicherheit ein sinnvolles Mittel, zur Strukturierung der Datenflüsse

⁸⁸ (Balitzki, 2016), S. 46

⁸⁹ (Balitzki, 2016), S. 46

⁹⁰ (Balitzki, 2016), S. 47

Während sich die Arbeit an dieser Stelle nur mit der Beantwortung von eingeschränkten Lösungskreisen beschäftigt, wurde die Beantwortung von freien Fragen nicht berücksichtigt. So wird etwa über die von IBM entwickelte Suchmaschine **Watson** festgestellt: der „Fokus von Watson war Informationen automatisch aus freien Texten, literarische Werke und Wissensquellen in eigene und strukturierte Wissensbasen zu extrahieren und zu speichern.“⁹¹ Eine derart komplexe Anfrage, welche eine zusätzliche Datenspeicherung erforderlich macht, war dort jedoch nicht vorgesehen. Auch in dieser Arbeit kann auf die Speicherung der Quellen mit den direkten Wissensquellen auf Grund der Tiefe nur ein Ausblick gegeben werden. Auch wird in der Arbeit auf die **Stanford NLP** (Natural Pattern Language)⁹² verkürzt eingegangen, welche versucht über Muster beispielsweise Zitate zu erkennen. Für die Architektur müssen, um Zitate zu erkennen, allerdings erst optische Erkennungsverfahren entwickelt werden, welche ein Entwurfsmuster klar einem bestimmten Architekten zuordnen lassen. Da dies vorhersehbar in Kürze nicht der Fall sein wird, wird an dieser Stelle nicht näher auf die **Stanford NLP** eingegangen, wenn auch für zukünftige Untersuchungen der Bezug zu diesem Projekt vermutlich unabdingbar sein wird.

Anders verhält es sich mit dem Patternbezug bei der **DBpedia**, einer Wissensquelle, welche sich auf die Infoboxen der Wikipedia bezieht⁹³. Hier werden bereits Datentripel gebildet, welche im Kapitel zu den „Graphdatenbanken“ genauer erläutert werden. Das DBpedia-Modul besteht aus drei weiteren, untergeordneten Modulen. Während sich zwei dieser Sub-Module auf das Auffinden von Schlüsselwörtern beziehen, ist für diese Arbeit das dritte, sogenannte *DBpediaPattern*-Modul interessant, da dieses auf eine Art Ontologie zurückgreift und vorher festgelegte Phrasen, wie etwa „geboren in“ aus den Artikeln sucht. Analog zur Architektur könnte hier etwa auf Bauteil- oder eben Patternebene definierte Abfragen wie „verwendet in“ oder „hilfreich gegen“ (Kälte, Erdbeben, Sonneneinstrahlung etc.) verwendet werden. Festzuhalten bleibt in jedem Fall, dass die reine Suche nach Schlüsselwörtern auf Grund des fehlenden Bezugs zum speziellen „Anwendungsfall“ zwar vermutlich mehr Ergebnisse bringt, diesen jedoch keine Qualifikation im Sinne des Anwendungsfalles mitgegeben wird, bzw. diese nicht überprüft werden kann. Dem Problem der Datenmenge, könnte mit den zuvor in diesem Kapitel beschriebenen Filtern begegnet werden. Schlüsselwörter können demnach eher als Indikatoren für eine Anwendbarkeit, nicht jedoch als Garantie dafür betrachtet werden, während hingegen eine Abfrage, unter Beachtung der Beziehungen der Elemente zueinander, diese Garantie mit sich bringen kann.

Tatsächlich wird in Kapitel 2.5.4 auch festgestellt, dass das größte Potential der DBpedia im DBpediaPattern-Extraktor liegt. Dieses Modul arbeitet in den durchgeführten Tests mit der höchsten Genauigkeit, liefert jedoch leider oft gar kein Ergebnis, was durch die Bildung neuer Patterns überwunden werden könnte.⁹⁴ Abschließend wird demzufolge festgestellt, dass insbesondere die Strukturierung in Datentripeln (Subject-

⁹¹ (Balitzki, 2016), S. 14

⁹² (Balitzki, 2016), vgl. S. 48

⁹³ (Balitzki, 2016), vgl. S. 72

⁹⁴ (Balitzki, 2016), vgl. S. 80

Property-Object) einen positiven Effekt auf die Beantwortung von Anfragen an die Datenbank hat und insgesamt sehr gute Ergebnisse liefert.

„Jeder Antwortkandidat bekommt für jedes Extraktor-Ranking einen Score, der der Anzahl der in diesem Extraktor-Ranking schlechter platzierten Antwortkandidaten entspricht.“⁹⁵

„Watson grob in 4 Phasen gliedern:

- Analysieren der Frage
- Antwortfindung mithilfe des Ergebnisses vom Fragenanalyse durch mehrere parallel laufende Module
- das Zusammenfügen ähnlicher Lösungsvorschläge (**merging**)
- Vergleich und Bewertungen der Lösungsvorschläge (**ranking**).⁹⁶
-

3.3.3. Vernetzung der Daten in Spotify und in den Panama-Papers

Die offene API von Spotify hat einige Menschen mit Experimentierfreudigkeit aus der IT-Welt dazu bewegt, recht interessante Versuche im Umgang mit den extrahierten Daten vorzunehmen. So hat etwa der Softwareentwickler Alexandre Quintino eigens die Daten seines Spotify-Accounts mit Hilfe einer Graphdatenbank mit folgendem Ergebnis ausgewertet:

⁹⁵ (Balitzki, 2016), S. 165

⁹⁶ (Balitzki, 2016), S. 14

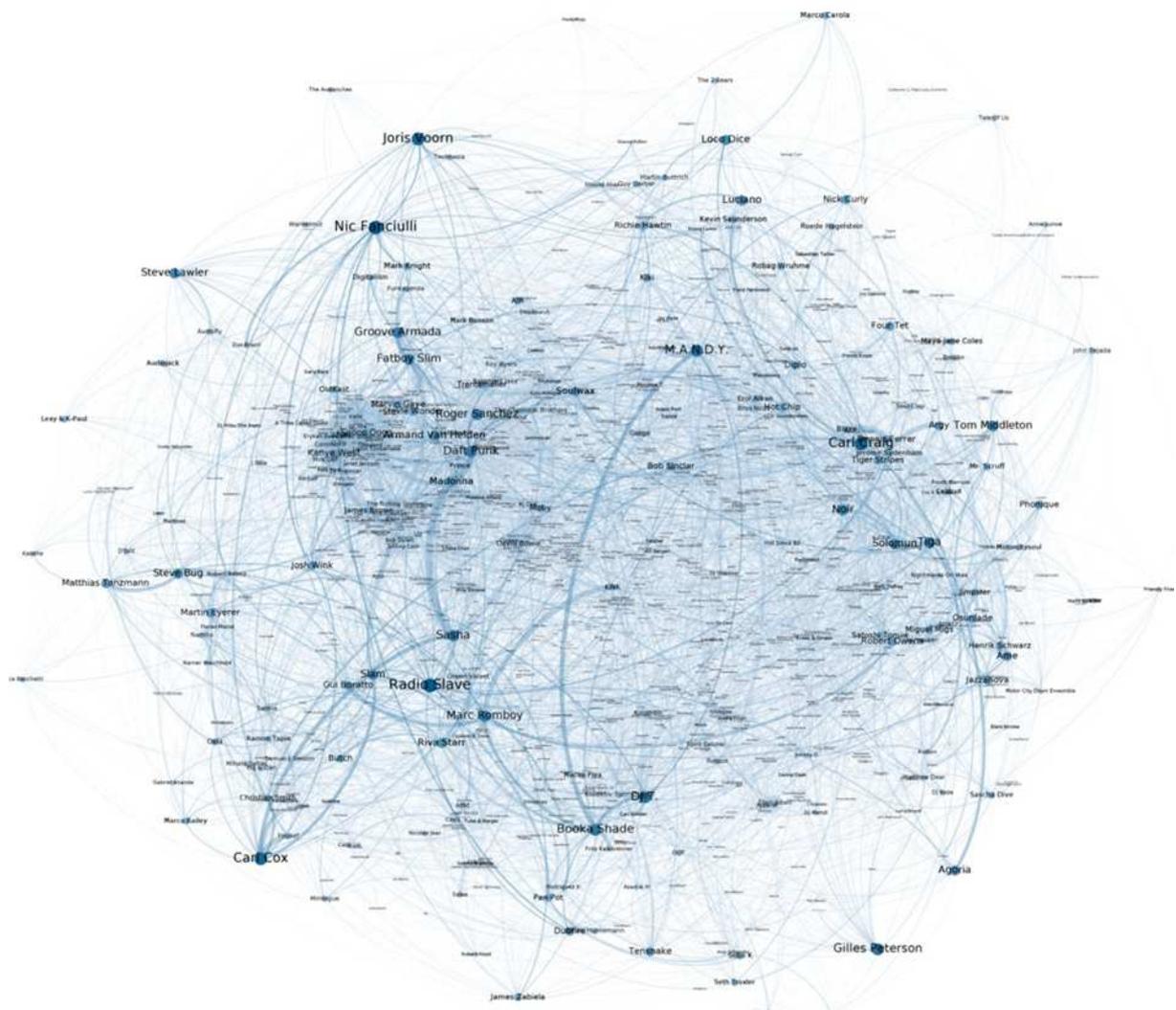


Abbildung 24 - Auswertung eines Spotify-Accounts mit einer Graphdatenbank⁹⁷

In der hier zu sehenden Abbildung sind die Namen aller von ihm gehörten Interpreten als Knoten und derer Verbindungen, z.B. durch Remixes, oder Zusammenarbeit der jeweiligen Künstler, zu sehen. Dabei gibt es zwei Gewichtungen: Das Graphgewicht und das Knotengewicht. Je dicker der Knoten, desto mehr Zusammenarbeit hatte der Künstler mit seinen Kollegen und je dicker der Graph, desto mehr Zusammenarbeiten hatten die entsprechenden Künstler. Es lassen sich also schon rein visuell, aber auch in der Auswertung mindere oder stärkere Zusammenhänge erkennen.

⁹⁷ <https://alexquintino.github.io/blog/visualizing-collaborations-between-artists/>

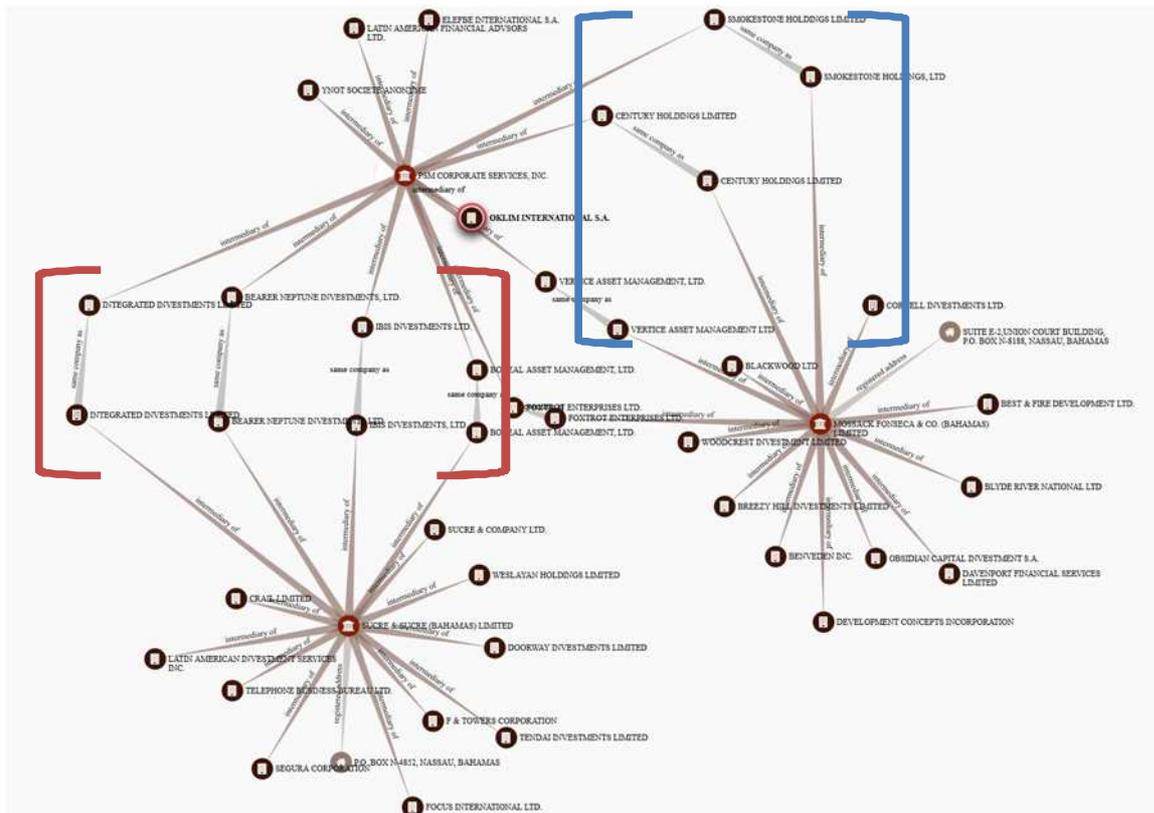


Abbildung 26 - Mehrfach Vernetzung Bearer Neptune Investments Panama Papers⁹⁹

In der Abbildung wird die Vernetzung der „Bearer Neptune Investments“ zu verschiedenen staatlichen Einrichtungen und natürlichen Personen aufgezeigt. Dabei werden bestimmte Mehrfachverknüpfungen analog der Zusammenarbeit der Künstler im zuvor betrachteten Projekt erkennbar. Die in großen, eckigen Klammern zusammengefassten Knoten sind jeweils identisch und stellen damit einen stärkeren Bezug zueinander dar. Diese Mehrfachverknüpfungen sind also mit einer hohen Ähnlichkeit, analog der Musikdatenbank, vergleichbar.

Gelingt es für die Architektur eine entsprechende Facettierung, können auf diese Weise Ähnlichkeiten dieser aufgezeigt und ausgewertet werden.

3.3.4. Variablen für Unterscheidung und Facettierung – Shinbashira

Für eine sinnvolle Attributisierung ist also, wie in den vorangegangenen Kapiteln festgestellt, eine entsprechende Facettenbildung zur Wahl der am besten geeigneten Vergleichsmöglichkeiten von unterschiedlichen Elementen notwendig. Dafür muss zuerst selbstverständlich der Sinn einer Sache korrekt erfasst werden, in einem zweiten Schritte aber auch der Sinn der Beziehung zum zu vergleichenden Element. Zur Erfassung des Sinns bietet es sich an, ein entsprechend gewähltes Attribut zu verwenden.

⁹⁹ <https://offshoreleaks.icij.org/nodes/10174384>, (Eigene Expansion gemäß Abb.)

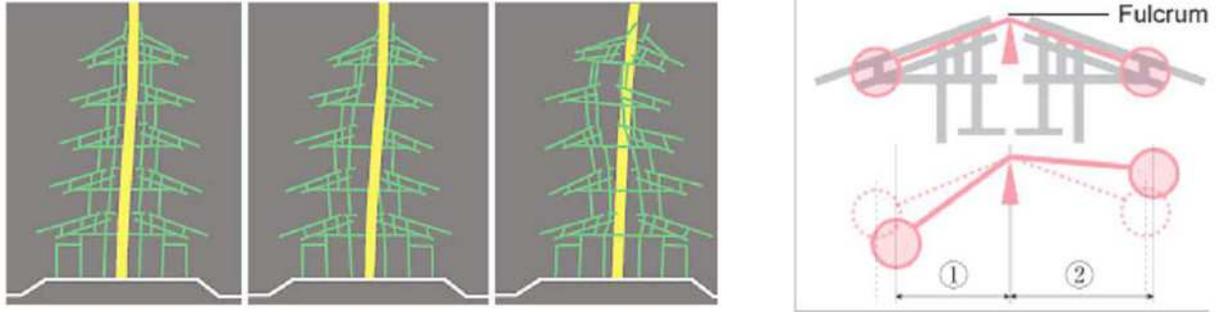


Abbildung 27 - Shinbashira als zentraler Stabilisator¹⁰⁰

Der Shinbashira etwa stellt eine statische Lösung aus dem frühen Japan dar. Dabei muss der zentrale Stabilisator nicht, wie es auf den ersten Blick vielleicht erscheinen mag, mit dem Boden verbunden sein, denn die Orthogonalkräfte werden „im Gebäude“ abgetragen.

“The yajirobe balancing toy principle the weights at the two ends of the cross arm of a yajirobe balancing toy exert equal forces from opposite sides of the fulcrum, keeping the arm level. If the weight on the left side is pushed downward, the horizontal distances from the fulcrum to the two weights become unequal, (see (1) and (2)). Because distance (2) is now longer, the weight on the right will exert more downward force and bring the cross arm back into equilibrium. Thus, every vertical displacement of the weights finally results in a return to horizontal.”¹⁰¹

Der Shinbashira ist also ein ausgeklügeltes, statisch-dynamisches System, welches bei durch Schwingung verursachten Schwankungen ein Netzwerk aus Ziehen und Drücken zur Anwendung kommen lässt, um eine dauerhafte Stabilität des Gebäudes zu gewährleisten. Doch was bedeutet dieses Beispiel für die Facettierung? Der trivialste Fehler wäre, den in der Darstellung gelb abgebildeten Stabilisator als Abträger für orthogonale Kräfte zu attributisieren. Komplexer wird hingegen die semantisch korrekte Beschreibung dieses Pendelstabes, der nur durch das Zusammenspiel aller für dessen Funktion notwendigen Komponenten funktioniert: Den recht frei schwingbaren Etagen des Gebäudes. Es muss also in der zu bildenden Facette ein Zusammenhang dargestellt werden, welcher zugleich zum Ausdruck bringt, dass schwingende Elemente benötigt werden und dass diese orthogonal miteinander, sowie horizontal mit dem Pendelstab, verbunden sind.

¹⁰⁰ GA_ S. 76

¹⁰¹ GA_ S. 76

4. Semantik und Struktur in Netzwerken

4.1.1. Superierung und Patterns

Um die Eindrücke, welche täglich in unserer Umwelt aufgenommen werden verarbeiten zu können, bilden wir Superzeichen bzw. Metaphern. Wir fassen Gelerntes und bereits Analysiertes zusammen und entlasten damit unser Gehirn.¹⁰² So nehmen wir nicht jedes Element einer Fassade oder jeden Grashalm auf einer Wiese einzeln wahr, sondern bilden Begriffe und Bilder, wie eben Fassade und Wiese und können uns so etwa auf Verkehr oder das spielende Kind konzentrieren.

Sowohl in der Architektur, als auch in der Informationstechnologie, haben sich dabei feste Metaphern gebildet, welche intuitiv bedient oder verarbeitet werden können, ohne dass eine längere Definition dieser benötigt wird. Beim Anblick einer Türklinge wissen wir um deren Funktion, während eine Treppe uns automatisch „steigen“ lässt. Auch die Benutzeroberflächen von Computersystemen haben ihre Metaphern in den Köpfen verfestigt.

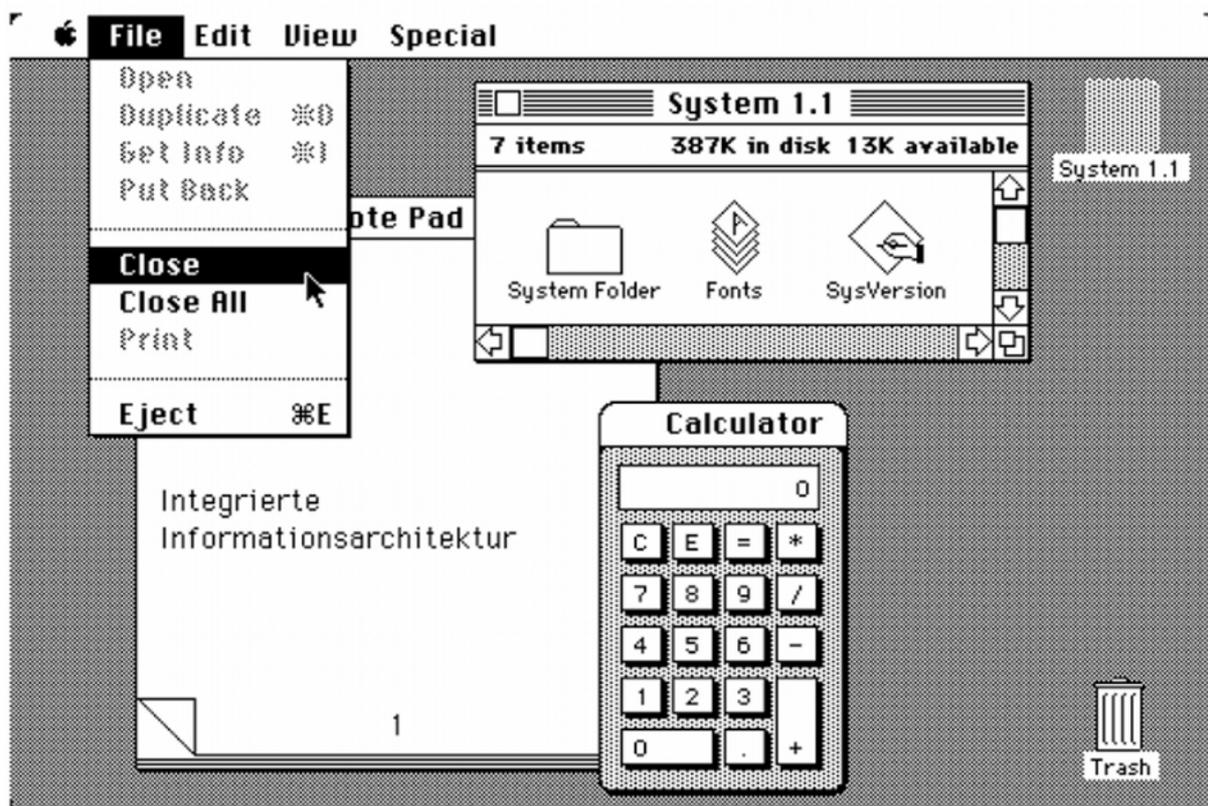


Abbildung 28 - Betriebssystem des ersten Macintosh¹⁰³

Viele dieser sogenannten Superzeichen¹⁰⁴ wurden dabei speziell für die neu aufkommenden Anwendungen erschaffen und sind für uns heute selbstverständlich. Die Bauinformatik hat aufgezeigt, dass eindeutige

¹⁰² (Lieder, 2017), Vgl. S. 9 ff.

¹⁰³ (Arndt, 2006), S. 30

¹⁰⁴ (Lieder, 2017), Vgl. S. 8 ff.

Ontologien gebildet werden können, um die semantischen Zusammenhänge im Planungsprozess digital darzustellen.

Für die Weiterentwicklung von BIM, aber auch für eine moderne Nutzung im Entwurfsprozess, können Muster vorteilhaft genutzt werden. Sogar zur Analyse von Börsenentwicklung werden verschiedene Patterns verwendet, welche unter dem Wissen gebildet werden, dass Börsenkurse sich oft periodisch oder in bestimmten Wechselbeziehungen zu anderen Ereignissen fortschreiben.¹⁰⁵



Abbildung 29 - Nothing new here¹⁰⁶

Für eine erfolgreiche Digitalisierung in der Architektur sind also die entsprechenden Metaphern und Superzeichen zu bilden und können mit den Patterns verglichen werden. Mit Hilfe der notwendigen Facettierung kann eine eindeutige Semantik unter den Elementen aufgebaut werden, damit Dinge nicht nur korrekt gefügt, sondern auch deren Funktionalität gewährleistet werden kann.

¹⁰⁵ <http://www.boersennews.de/lexikon/begriff/pattern/852>

¹⁰⁶ Brian Foote, 1997 ix, übers. aus dem Vortrag Reinhard Bauers, Didaktische Entwurfsmuster, LLL-Kolleg (Juni 2011)

4.1.2. Kognition zur sinnhaften Gestaltung von Informationen

Zur Bildung von nutzbaren Patterns für den Entwurfsprozess müssen also die „Zusammenhänge der Dinge“ geklärt und definiert werden, vergleichbar mit der Kognition, welche irgendwo zwischen *erkennen* (der lateinischen Bedeutung) und *wahrnehmen* einzuordnen ist¹⁰⁷. Während die Bauinformatik derzeit Abläufe und Prozesse digital zerlegen kann, um damit Schnittstellen zur Weiterverwendung bereitzustellen, können die Zusammenhänge beim Zusammenfügen der einzelnen Bausteine immer nur durch Menschen festgelegt oder auch definiert werden. Zwar forscht die Wissenschaft derzeit massiv an der künstlichen Intelligenz (KI) und deren Einsatz in den unterschiedlichsten Bereichen, doch sind diese Intelligenzen in ihren kognitiven Fähigkeiten weitgehend noch insofern eingeschränkt, dass sie nicht als Ersatz für menschliche Entscheidungsfindung in Frage kommen. Als aufmerksamer Leser des Tech-Portals Golem erfährt man fast täglich von Neuentwicklungen auf diesem Gebiet. Kürzlich wurde berichtet, dass Microsoft ein Bilderzeugungssystem entwickelt hat, was in der Lage ist, durch einfache Spracheingabe fotorealistische Bilder entstehen zu lassen.

Doch haben diese Intelligenzen insbesondere in der Semantik ihre Schwächen. Während im erwähnten Artikel von der Maschine auf Zuruf Vögel dargestellt wurden, welche im Übrigen meistens als auf Ästen sitzend dargestellt wurden, weil der KI eben meist Bilder von auf Ästen sitzenden Vögeln bereitstanden, wurden diese Vögel dann doch oft im Detail falsch – z.B. mit einem blauen Schnabel – dargestellt.

Das entscheidende Merkmal, sowohl in der Bauinformatik, als auch in der Linguistik und in allen weiteren bisher untersuchten Wissenschaften, ist die Möglichkeit, Zusammenhänge zu erkennen. Diese müssen, zumindest bisher, durch den Menschen definiert und zusätzlich durch Anwendung der Kognition in einer Ontologie verfasst, dem Systemen vorab bereitgestellt werden – erst dann werden die angewendeten Verfahren auch mit dem entsprechenden Sinn versehen.

Auf der Suche wie Entwurfsmuster, Patterns, bzw. Zusammenhänge erkannt und zur Verarbeitung durch Computersysteme bereitgestellt werden können, muss der Sinn der Zusammenhänge erfasst und definiert werden. Dies stellt damit auch bei der Massenverarbeitung von Daten, dem so genannten *Big Data*, die größte Herausforderung dar. Um zu verstehen, wie Informationen zum anschließenden Verstehen der Zusammenhänge aufgearbeitet bzw. strukturiert werden können, lohnt sich ein Blick auf die vermeintlich größte Datenquelle, das WWW.

¹⁰⁷ <https://www.medien.ifi.lmu.de/lehre/ws0506/mmi1/kognitive-faehigkeiten.xhtml>

4.1.3. Strukturentwicklung im WWW

Grundlegend ist das Internet mit seinen Domains ein hierarchisch strukturiertes Netzwerk. Die Domains können Unterseiten, sog. Subdomains haben, auf denen wieder Teilinformationen dargestellt werden. Ein Prinzip, welches in fast jeder Internetseite steckt, ist allerdings die *Startseite*. Von dieser aus wird auf die entsprechenden Unterseiten, meist mit Hilfe eines Menüs verwiesen.

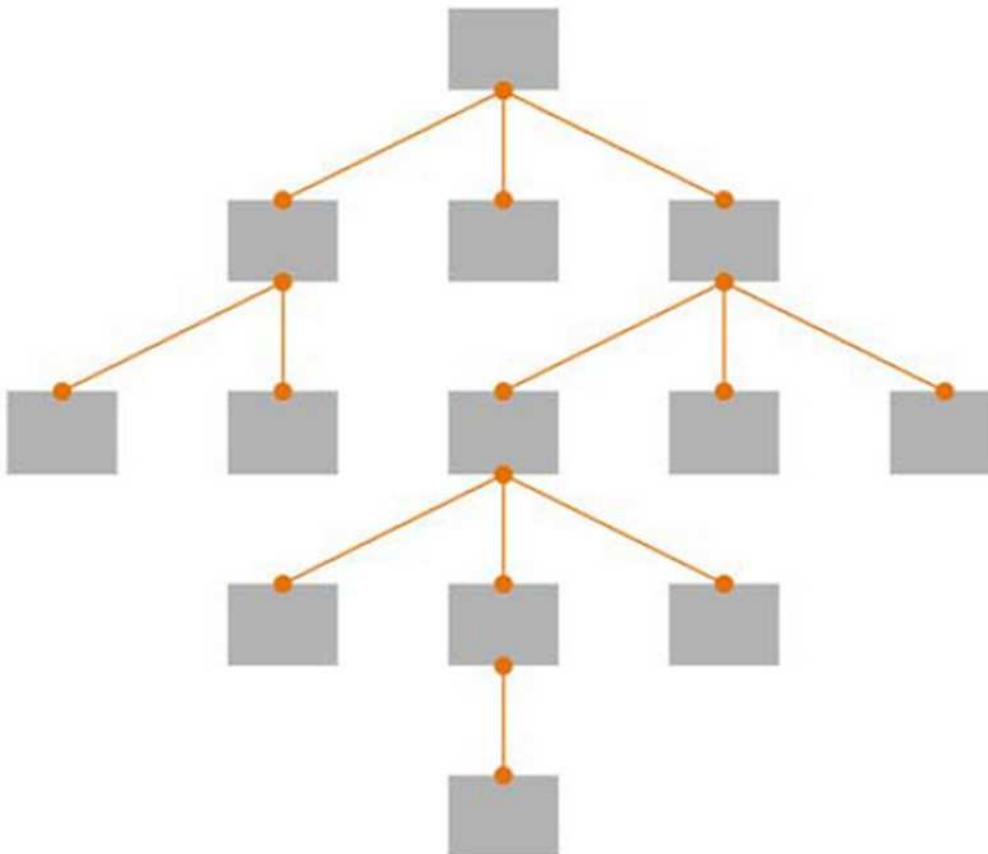


Abbildung 30 - hierarchische Struktur in Netzwerken¹⁰⁸

In der abgebildeten Struktur sind die Informationen hierarchisch angeordnet. Die Syntax gibt die Beziehung der Eltern- und Kindelemente eindeutig vor. Dieses Modell ist ebenfalls recht einfach auf Gebäude zu übertragen. Während ganz oben etwa der Standort eines Gebäudes positioniert ist und die wichtigsten Informationen, etwa die Angaben der geographischen Lage, an die Kindelemente vererbt. Auf einer tieferen Stufe der Struktur ließe sich nach diesem Modell zum Beispiel eine Wand finden, welche wiederum ihre Information etwa zur Ausrichtung nach Norden auf das Kindelement Fenster vererbt.

Inzwischen ist aber die Netzcommunity dazu übergegangen, die Internetseiten z.B. nach Themen oder Schlagwörtern zu kategorisieren, was sich wie folgt darstellt:

¹⁰⁸ (Arndt, 2006), S. 156

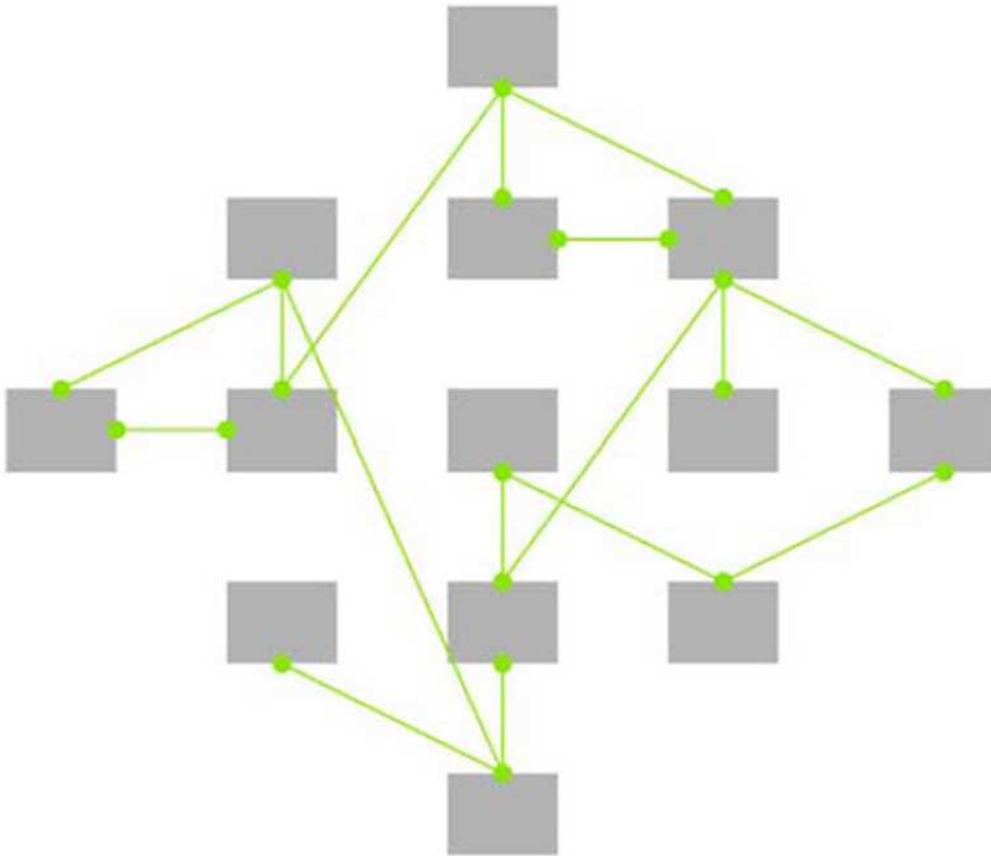


Abbildung 31 - Hypertext-Struktur mit assoziativen Beziehungen¹⁰⁹

Diese assoziative Struktur hingegen kann die semantischen Zusammenhänge beschreiben. So könnten übertragen auf die Architektur, ebenso wie den Artikeln der Webseite, Bauteilen Attribute, wie beispielsweise *hochwertig*, *kostengünstig* oder *energiesparend* zugeordnet werden. Elemente gleicher oder ähnlicher Eigenschaften können auf diesem Wege assoziativ miteinander verbunden werden.

Die Daten liegen also nicht nur hierarchisch strukturiert, sondern auch kategorisiert nach ihrem Sinn vor. Da jedoch jeder Internetseiten-Betreiber, sowie Blogger, Firmen, Zeitungsportale und Nutzerforen über die Zeit ihre eigene Logik der Zusammenhänge entwickelt haben, ist die Idee des *Semantic Web* entstanden.

¹⁰⁹ (Arndt, 2006), S. 156

4.2. Semantic Web

Zur einheitlich strukturierten Datenablage im WWW entstand die Idee des Semantic Web, mit dem Ziel einheitliche assoziative Strukturen zu erschaffen. Die im Internet bereitgestellten Informationen sind über die Jahre zu einer enormen Datenmenge herangewachsen. So ist inzwischen das gezielte Auffinden von Informationen fast ausschließlich über Suchmaschinen zu bewerkstelligen. Das Problem liegt in der Unterschiedlichkeit der Webseiten. Stellt man sich etwa die Wikipedia als eine einzige Webseite in einem geschlossenen System vor, kann man hier relativ einfach zwischen den vorhandenen Artikeln navigieren. Die Wikipedia bringt teilweise eine eigene Logik mit sich, ihre Inhalte zu strukturieren, während die Verfasser der Artikel beim Schreiben derer, die Ontologie der Wikipedia beachten müssen. Auch hier ist es der Nutzer (Verfasser), welcher der Maschine den Sinn beschreibt, in dem er etwa sinnvolle Verlinkungen zu passenden anderen Artikeln dem Beitrag hinzufügt. "Digitale Informationen werden mit formaler Bedeutung ergänzt, die es Computern ermöglicht, sinnvolle Zusammenhänge zwischen Daten zu erkennen und dadurch den Nutzer bei der Navigation durch große Datenbestände und dem Auffinden von relevanten Informationen unterstützt. Intelligenter und nutzerorientierte Web-Anwendungen werden dadurch den Kommunikationsprozess in sozialen Netzwerken, Anbietern, Nachfragern, Geschäftspartnern und Applikationen enorm auf."¹¹⁰

Aus dem Bereich der Architektur gibt es für die Darstellung in solch einem Informationssystem bereits einige Ansätze. Die meisten kommen jedoch aus der Konstruktion, bzw. dem Bauingenieurwesen und der Bauklimatik, also der energetischen Betrachtung von Bauwerken. Insbesondere für die Architektur gibt es also viele noch nicht *in Computersprache ausdrückbare Bereiche*, welche in der Theorie des Semantic Web als „Semantische Lücke“¹¹¹ beschrieben werden.

So definiert Michael Fellman den Unterschied von XML und RDF mit folgenden Zeilen:

Unterschiede:

- Im Gegensatz zu XML-Schema werden jedoch nicht syntaktische Beschreibungen wie Elementnamen und Häufigkeit des Auftretens definiert, sondern semantische Aspekte.
- Beispiel:
 - o Das Attribut `hasPublished` darf nur auf Instanzen der Klasse `Mensch` angewendet werden, nicht jedoch auf Instanzen der Klasse `Tier`.
 - o In der Schemasprache formuliert, hat das Attribut `hasPublished` die Domäne `Mensch`.¹¹²

In diesem Beispiel wird also erläutert, dass das Attribut `hasPublished` nur auf Menschen, nicht jedoch auf Tiere angewendet werden darf. *Der Hund von Frau Müller hat kürzlich seine Doktorarbeit eingereicht* ist demnach syntaktisch korrekt, nicht jedoch semantisch, da Hunde unlängst keine Doktorarbeiten einreichen. Dieser Aspekt wird für uns zwingend, wenn Bauteile oder Konstruktionsverfahren digitalisiert dargestellt oder gar

¹¹⁰(Werres, 2009), S. 5

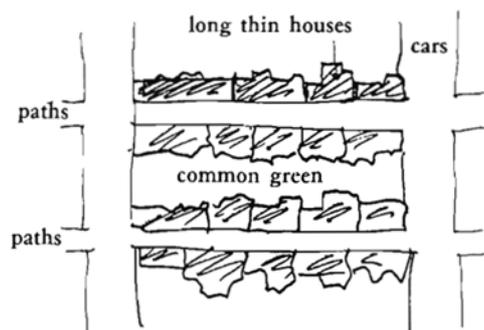
¹¹¹ (Werres, 2009), vgl. S. 6

¹¹² Vortrag über den Nutzen von RDF (SBPM&EB) im SS2013 an der Universität Osnabrück, S. 39

zusammengefügt werden sollen. Gleichzeitig kann die Prüfung auf semantische Korrektheit auch etwa auf das Baugesetz hin überprüft werden.

4.2.1. Semantik bei Christopher Alexander

Christopher Alexander kannte 1977 selbstverständlich noch kein Semantic Web, wohl aber war ihm bewusst, dass die von ihm entwickelte Mustersprache ein komplexes Gebilde darstellt, welches nicht so leicht im Gesamten zu erfassen ist. Seine Entwurfsmuster hat er daher indexiert.



✦ ✦ ✦

Make the individual houses and cottages as long and thin along the paths as possible—LONG THIN HOUSE (109); vary the houses according to the different household types—THE FAMILY (75), HOUSE FOR A SMALL FAMILY (76), HOUSE FOR A COUPLE (77), HOUSE FOR ONE PERSON (78); build roads across the paths, at right angles to them—PARALLEL ROADS (23), NETWORK OF PATHS AND CARS (52), with small parking lots off the roads—SMALL PARKING LOTS (103). In other respects build row houses in clusters—HOUSE CLUSTER (37), BUILDING COMPLEX (95). . . .

Abbildung 32 - Vernetzung der Patterns durch Indexierung¹¹³

Vergleichbar mit einer Enzyklopädie, oder eben einem modernen Wikipedia-Eintrag finden sich unter den analysierten Mustern Hinweise auf Verknüpfungen zu ähnlichen Mustern, oder solchen, die bei Verwendung des gerade Beschriebenen dringend beachtet werden sollten. Damit erstellt Alexander bereits Beziehungen zwischen seinen Mustern, welche durch die Indexierung eine Art von Prüfung auf semantische Korrektheit ermöglichen.

Diese Zusammenhänge analysierte bereits Helmut Leitner 2015 im Buch *Die Welt der Commons*, allerdings in einem anderen Zusammenhang. Untersucht wurde die Anwendbarkeit von Alexanders Patterns auf Commons, also auf Gemeingüter, bei der eine sehr interessante Grafik entstand:

¹¹³ (Alexander, A pattern language, 1977), S. 208

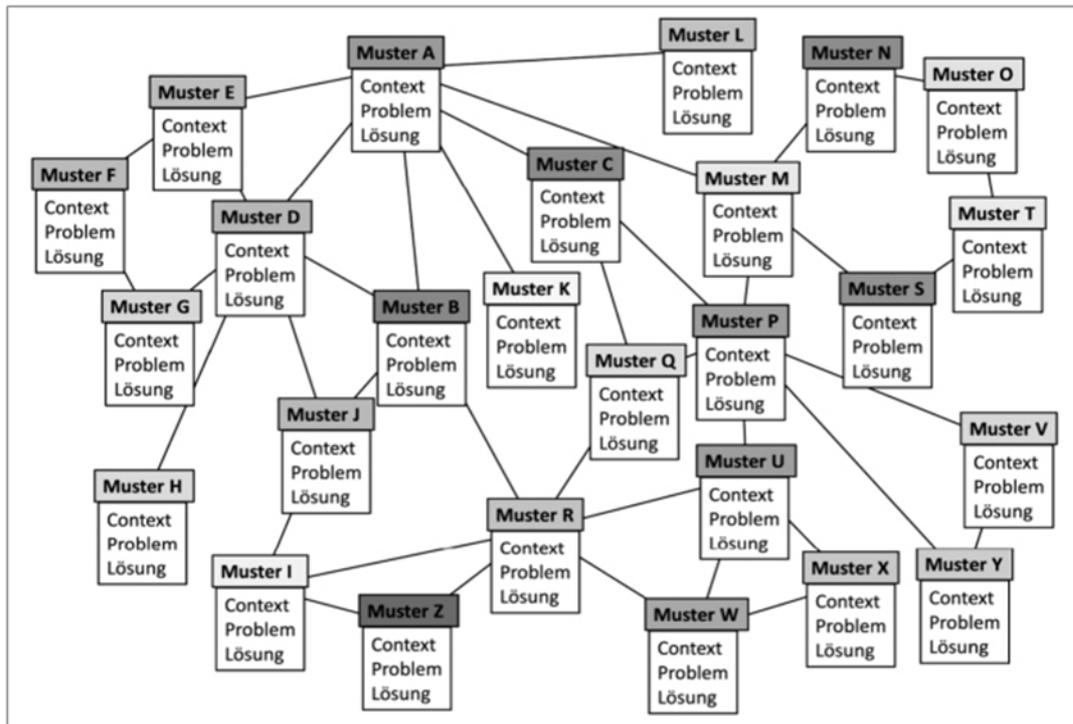


Abbildung 33 - Eine Mustersprache als Netzwerk¹¹⁴

Das Auffinden der oben dargestellten Grafik war für diese Arbeit mit einem recht hohen Überraschungswert verbunden, da zu diesem Zeitpunkt bereits zum Voranschreiten der Arbeit, parallel die beschriebenen Smart Solutions in einer Excel-Tabelle zugeordnet waren. Ähnlich, wie auch Leitner Alexanders Muster bereits die Attribute Kontext, Problem und Lösung zugeordnet hatte, wurden fast die gleichen Attribute, wenn auch eine Menge mehr, in der Tabelle den Smart Solutions zugeordnet.

4.2.2. Facettierung zur semantischen Vernetzung in der Informationsverarbeitung

Eine reine Vernetzung von Elementen, etwa mit einem Link, einer Art Datenzeiger bzw. einem Index ist für die maschinenautomatisierte Nutzung in der Informationstechnologie nicht hinreichend. „Zum Beispiel kann die Farbe Rot bei einem Menschen nur deshalb eine Signalwirkung auslösen, weil der Mensch Assoziationen bilden kann, die auf seinen persönlichen Erfahrungen und Weltbildern basieren. Für den Computer bleibt die Farbe Rot lediglich eine Dezimal- oder Hexadezimalzahl.“¹¹⁵ Erst wenn also einem Computersystem per vorheriger Definition „klar“ gemacht wird, dass beim Erkennen von roten Elementen eine Art Index „Gefahr/Achtung“ hinzuzufügen ist, kann diese Information, auch von den Folgesystemen bei etwaiger Übergabe an andere Softwaremodule, vom System verstanden werden.

¹¹⁴ (Leitner, 2015), S. 28

¹¹⁵ (Werres, 2009), S. 4

Vor allem die in den Kapiteln 2.3. und 2.4. beschriebenen Systeme aus der Bauinformatik erlauben eine weitreichende Analyse von Gebäuden und Gebäudeteilen. Bereits dort wurde festgestellt, dass das ordnungsgemäße Zusammenspiel der Einzelkomponenten nur durch die Definition zahlreicher Schnittstellen und einer eigens entwickelten Datenflusststeuerung ermöglicht werden konnte.

„Das Semantic Web (WWW-Diktion 'Web 3.0') zielt [jedoch] auf eine erheblich erweiterte digitale Kodierung kommunizierter Inhalte ab, welche das Wirtschaften von Unternehmen, ausgehend vom derzeitigen Internet, weiter effektiviert.“¹¹⁶ Es kann prinzipiell davon ausgegangen werden, dass die Entwicklung, auch der im Bauwesen verwendeten Software, immer weiter modularisiert und in seinen Modulen von den einzelnen am Planungsprozess beteiligten Akteuren räumlich getrennt über das Internet genutzt wird.

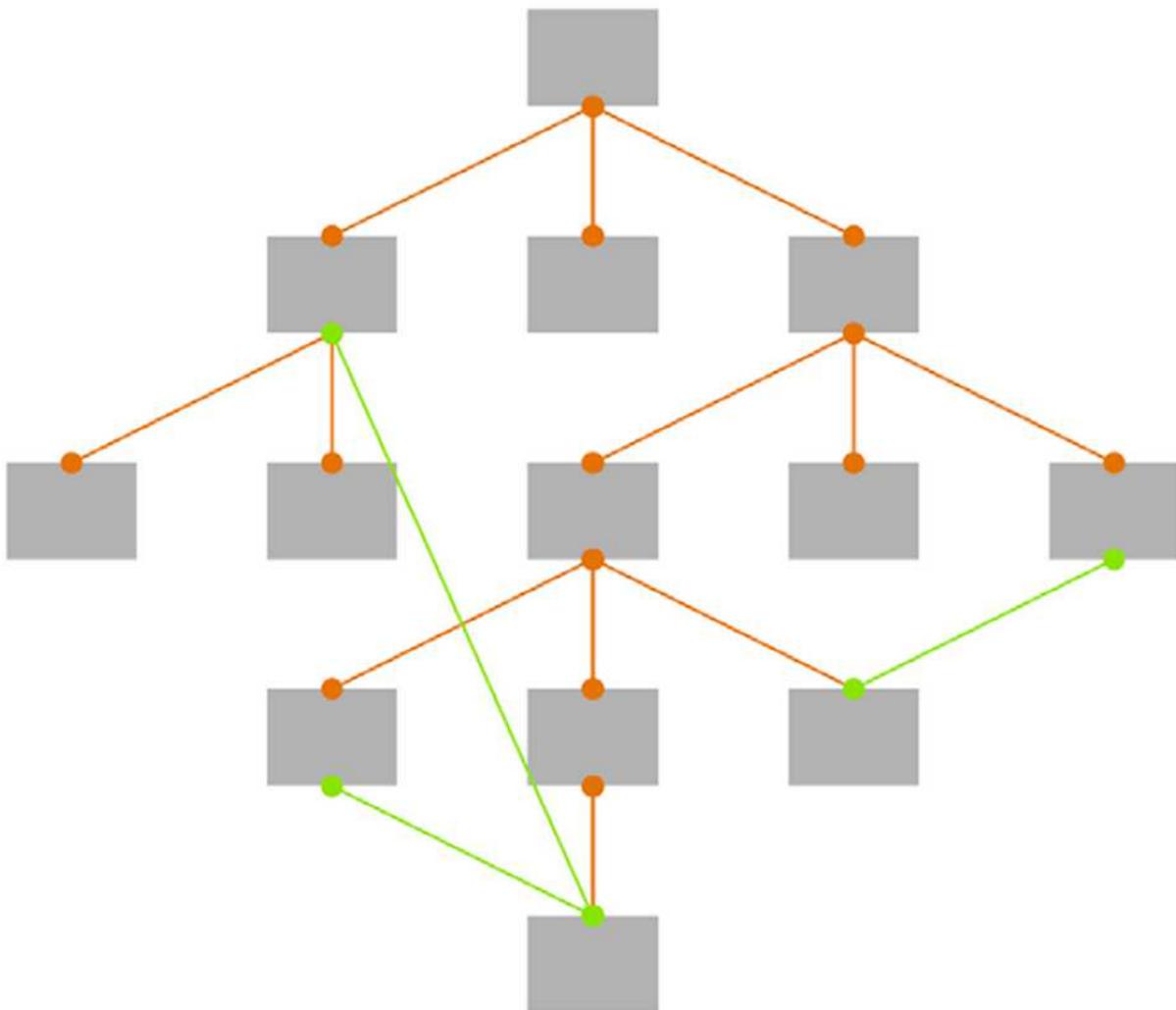


Abbildung 34 - kombiniert hierarchisch- und assoziativverknüpfte Struktur¹¹⁷

¹¹⁶ (Werres, 2009), S. 5

¹¹⁷ (Arndt, 2006), S. 157

Gebäude und Gebäudeteile können also mit ihren assoziativen Verknüpfungen (grün) beschrieben und gleichzeitig die korrekte Anordnung der Bauteile (orange) überprüft werden.

4.3. Graphdatenbanken als Analysewerkzeug

Durch die Idee des Semantic Web, aber auch durch die Entstehung von großen Datawarehouses, etwa bei Amazon und eBay, sind relationale Datenbanken schnell an ihre Grenzen gestoßen. Ein klassisches Problem ist hier beispielsweise das Vorschlagen relevanter Artikel nach dem inzwischen bekannten Prinzip: „Kunden kauften auch“. Zwar ermöglicht die In-Memory Verfahrensweise, durch die Umlagerung großer Datenmengen von den langsamen Festplatten in den schnellen Arbeitsspeicher, inzwischen ganz neue Gestaltung und Nutzung der Datenbankmanagementsysteme, doch wurden mit den Graphdatenbanken auch eine völlig neue Herangehensweisen entwickelt.

4.3.1. Vorteile von Graphdatenbanken

Wie in den vorherigen Kapiteln aufgezeigt, hat die IT in den vergangenen Jahren enorme Fortschritte gemacht und vor allem seit der Forschung an der künstlichen Intelligenz die Arbeit mit Datentripeln und Graphdatenbanken entdeckt.

Why Graph Databases?

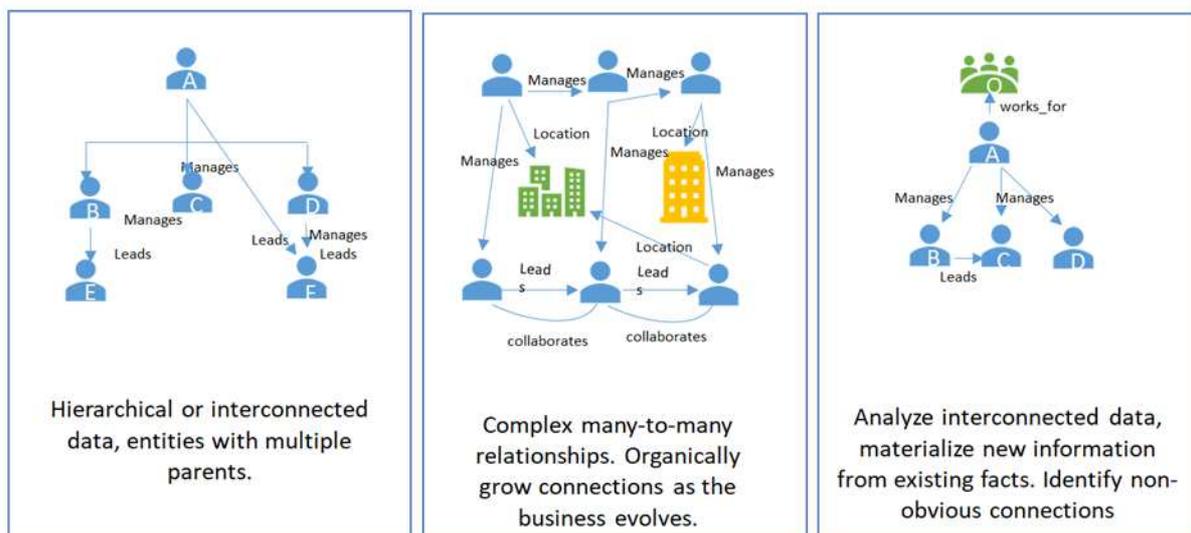


Abbildung 35- Gründe für Graphdatenbanken¹¹⁸

Insbesondere die performanten Grenzen von relationalen Datenbanksystemen stoßen durch die unter dem Begriff Big Data zur Verfügung stehenden Datenmengen inzwischen schnell an ihre Grenzen. „Beziehungen zwischen den Tabellen lassen sich nur über sogenannte Joins der Primär- und Fremdschlüssel-Tabelle

¹¹⁸ (Sack, Joe, Principal Program Manager, Microsoft, 2017), Vortrag, S. 13

aufwendig berechnen. Will ein Entwickler etwa ein Produkt hinsichtlich seiner regulatorischen Vorgaben oder vorrätigen Komponenten betrachten, muss er mehrere Tabellen miteinander verbinden.¹¹⁹

In der Praxis bedeutet das, dass man je Anwendungsfall eine eigene Tabelle hat. Bei der Onlineverkaufsplattform eBay wäre das beispielsweise je eine Tabelle für die Käufer, für die Anbieter, für die Produkte, für die möglichen Kategorien etc. Viele Prozesse laufen dabei beim Onlinehändler in Echtzeit. Denkbar wäre der Anwendungsfall, dass ein Käufer einen Verkäufer zu einem bestimmten Produkt kontaktieren möchte. Dabei muss nun aus der Tabelle der Verkäufer dessen Telefonnummer oder Emailadresse über die Tabelle mit den aktuell stattfindenden Auktionen der Tabelle mit dem potentiellen Käufer zugeordnet werden. Diese Verknüpfungen werden Joins genannt und deren Ergebnisse können in einer neuen Tabelle abgespeichert werden. Da in vielen Bereichen eine millionenfache Verknüpfung möglich ist, werden zum schnelleren Bereitstellen der Ergebnisse gewisse Joins auch schon vorab durchgeführt. Denkbar wäre dies im aktuellen Beispiel etwa für alle gelisteten Auktionen des aktuellen Datums. Würden alle Anfragen in herkömmlicher Weise in Echtzeit (ohne vorherigen Join) durchgeführt, müssten womöglich erst Millionen Datensätze mit allen vorhandenen Auktionen durchsucht werden.

Aus architektonischer Sicht betrachtet, könnten dies die in der immer wieder stattfindenden Kreisrelation aus Entwurfsanpassung und Ergebnissen sein. Exemplarisch ist an dieser Stelle der Einfluss einer klimatischen Simulation vorzustellen, welcher mit den errechneten Zwischenergebnissen Auswirkungen auf den Entwurf hat. Die Veränderung im Entwurf muss an dieser Stelle wieder neu simuliert und die Ergebnisse wieder auf Auswirkung auf den Entwurf überprüft werden, bis die optimale Variante gefunden wurde.

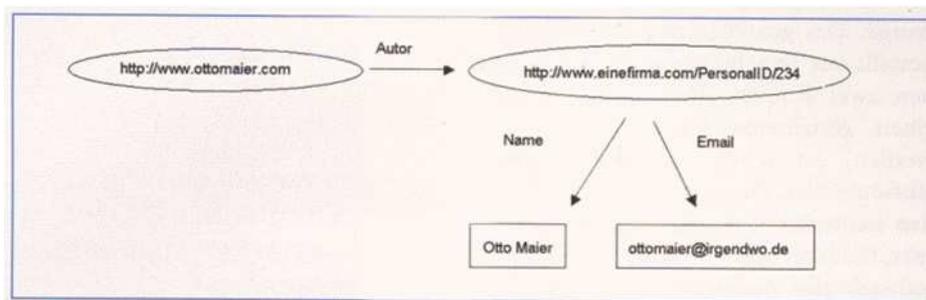


Abbildung 36 - RDF-Diagramm mit Zuordnung zweier Objekte¹²⁰

Die Zuordnung der Daten funktioniert hier nicht mehr in relationalen Tabellen, sondern in Objekten als Datentupel oder -tripel, welche durch eine Beziehung miteinander in Verbindung gebracht werden. Eine besondere Bedeutung haben die Graphdatenbanken inzwischen in der Darstellung von Beziehungen z.B. in den sozialen Netzwerken wie Facebook, XING oder LinkedIn gefunden. Es stehen spezielle Funktionen zur Verfügung, um beispielsweise die kürzeste Verbindung über gemeinsame Bekannte zweier nicht bekannter Personen, oder etwa eine Auflistung aller Personen in einer bestimmten Stadt mit ähnlichen Interessen, einfach darstellen zu können.

¹¹⁹ <https://www.bigdata-insider.de/diese-vorteile-bieten-graphdatenbanken-a-615118/>

¹²⁰ (Schröder, 2003)

Da vergleichbare Verknüpfungen auch in den Planungsprozessen zu finden sind, liegt eine detailliertere Betrachtung der Anwendbarkeit von Datentupeln auf die Lösungen der Architektur nah. Vergleichbar wird eine solche Untersuchung, wenn man die Verknüpfungen der sozialen Netze auf die ähnlichen Einsatzmöglichkeiten von Architekturlösungen bezieht. Anhand einer Graphdatenbank kann der Einsatz getestet und deren Mehrwert analysiert werden.

4.3.2. Neo4j und die Abfragesprache Cypher

Um die Vernetzung der attributisierten Smart Solutions in einer Graphdatenbank zu untersuchen, ist ein entsprechendes Datenbanksystem erforderlich. Nach einiger Recherche fiel die Wahl Umsetzung der Graphdatenbank auf das Open-Source-System Neo4j mit der Abfragesprache Cypher. Einer der Vorteile dieses Systems ist, dass das Datenbankmanagementsystem prinzipiell kostenfrei zum Download angeboten wird und dieses sogar online in einer Sandbox zu nutzen ist. Ein Teil des zur Herstellung des Graphen in dieser Arbeit verwendeten Codes und die Beschreibung der Vorgehensweise wurden zum Testen und Ausprobieren in Kapitel 6.5 dieser Arbeit beschrieben. Die Schritte zum fertigen Graphen sind dort derart bereitgestellt, dass auch Nicht-Programmierer innerhalb von 2 Minuten zu einem Ergebnis gelangen können.

5. Graphdatenbank zur Darstellung der Zusammenhänge

Wie in den vorherigen Kapiteln erläutert, lassen sich Beziehungen von Elementen durch Datentripel darstellen, welche von herkömmlichen relationalen Datenbanken nur schlecht erfasst bzw. nur über Umwege ausgewertet werden können. Diese Datentripel lassen sich jedoch in Graphdatenbanken hervorragend darstellen, während gleichzeitig die Beschreibung der Beziehung der Elemente zueinander sich wesentlich näher am Grundprinzip des menschlichen Denkens und Zuordnens orientieren.

5.1. Beschreibung der Analysemethode

Mit der inzwischen bekannten Technik der Attributisierung und Facettenbildung und der damit möglichen Darstellung von Informationen als Graphen in Graphdatenbanken, soll nun im praktischen Beispiel untersucht werden, wie tatsächliche Architekturelemente ausgewertet werden und dabei Gemeinsamkeiten und Überschneidungen aufgedeckt werden können.

5.1.1. Kognition der Smart Solutions im Sinne der Facettierung

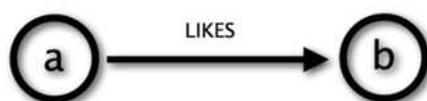
In den vergangenen Semestern wurden unter Dr. Magdi Khalil im Kurs „Global Architecture“ viele Lösungen aus der Welt der Architektur der vergangenen etwa 3.000 Jahre zusammengetragen und ausgewertet. 25 dieser Lösungen wurden für diese Arbeit exemplarisch ausgewertet und entsprechend der in Kapitel 3.1.2 (Facettenklassifikation – Die Colon Classification) beschriebenen Klassifikation attributisiert dazu über 20 Einfachklassen, bzw. Foci gebildet.

Neben der eigentlichen Lösung wurden Klassen wie **Kategorie**, **Kontinent**, **Entstehungsjahr**, **Klimazone**, **Beschreibung**, **Skalierbarkeit** etc. gebildet und Zuordnungen wie etwa **verwendet-in-Bauteil** oder **bekämpft-jenes-Problem** getroffen. Die Daten wurden in einer Excel-Tabelle erfasst, welche zur Auswertung verwendet werden soll und eine Möglichkeit von rund 250.000 Kombinationen der Elemente zulässt. Diese Daten sollen im Folgenden als Datentripel übersetzt und in einer Graphdatenbank ausgewertet werden.

5.1.2. Umsetzung in die Graphdatenbanksprache

Die Abfragesprache Cypher stellt Datentripel in folgender Form dar:

Cypher using relationship 'likes'



Cypher

(a) -[:LIKES]-> (b)

Abbildung 37 - Darstellung einer Datenbeziehung in Cyphe¹²¹

Dabei steht (a) etwa für eine der Lösungen der Excel-Tabelle, (b) für eine der getroffenen Eigenschaften aus und LIKES für die Beziehung der Einfachklassen.

Die Syntax der Abfragesprache wurde dabei mit Verkettungsformeln ins Excel übertragen, so dass etwa die Zelle A1 und B1 kombiniert als fertiger Abfragebefehl ausgegeben werden können. Durch Herunterkopieren der Formel können nun auch A2 und B2, A3 und B3 etc. schnell als fertige Syntax zur Auswertung ausgegeben werden.

¹²¹ <https://neo4j.com/developer/cypher-query-language/>

5.2. Analyse der Graphdatenbank

Der zuvor entwickelte Code wurde zur Analyse stufenweise der Graphdatenbank hinzugefügt. Dabei wurde mit jeder neuen Eingabe die Syntax um eine Facette erweitert. Da die Foci zuvor aus der Wahl der Attribute gebildet wurden, welche gemeinsamen Eigenschaften der verwendeten Lösungen entsprechen können, entstand mit jedem Hinzufügen einer weiteren Stufe ein weiterer Grad der Vernetzung im Graphen.

5.2.1. Analyse durch stufenweises Hinzufügen von Facetten

In einem ersten Schritt wurden zur Analyse, die Kombination der vorhandenen Lösungen und der Attribute, zur Einfachklasse **bekämpft-jenes-Problem** ausgewertet.

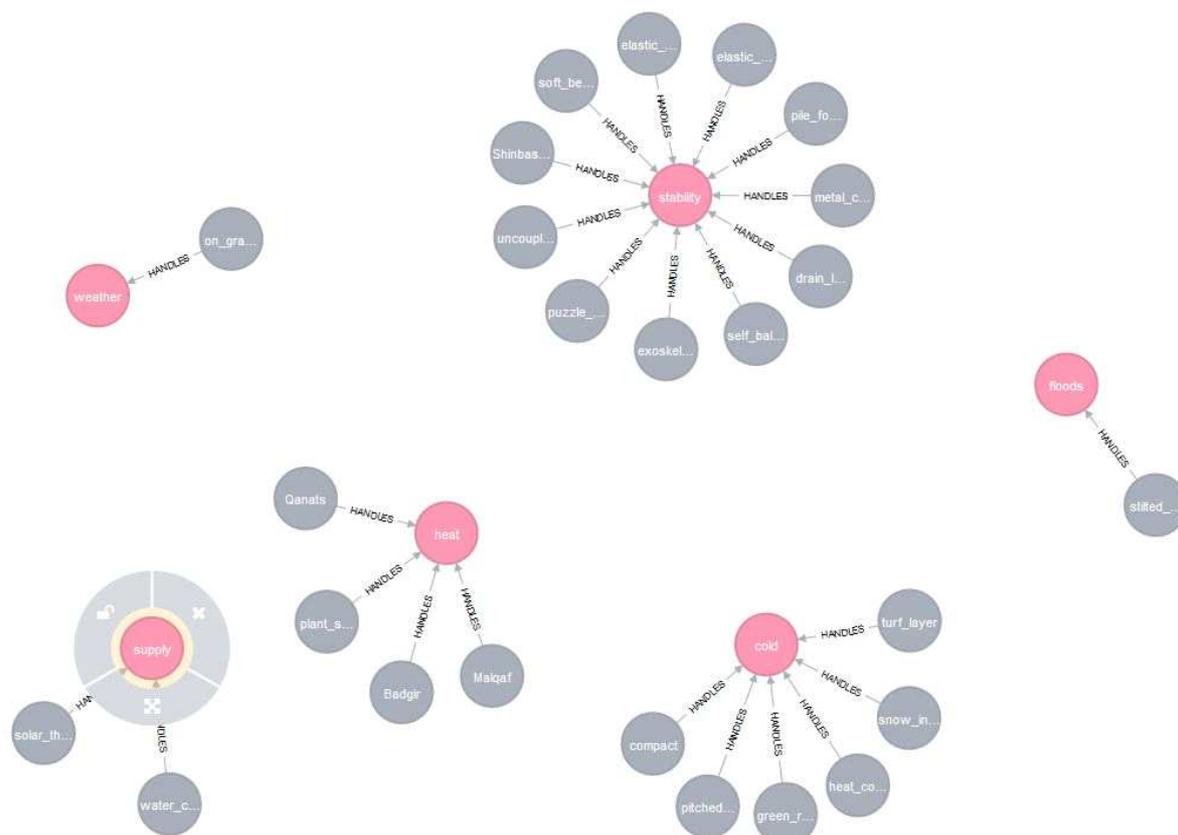


Abbildung 38 - Graph der 1. Stufe: Probleme und Lösungen

Rot dargestellt sind hier die behandelten Probleme und in Grau dargestellt die Lösungen. Da keine weiteren Beziehungen aus Einfachklassen bestehen, bilden sich folgerichtig Datenverbindungen, welche die Lösungen um das jeweilige Problem bündeln, ohne jedoch eine weitere Vernetzung auszubilden.

In einem zweiten Schritt wurden nun die Beziehungen der Facette mit dem Titel Kontinent hinzugefügt.

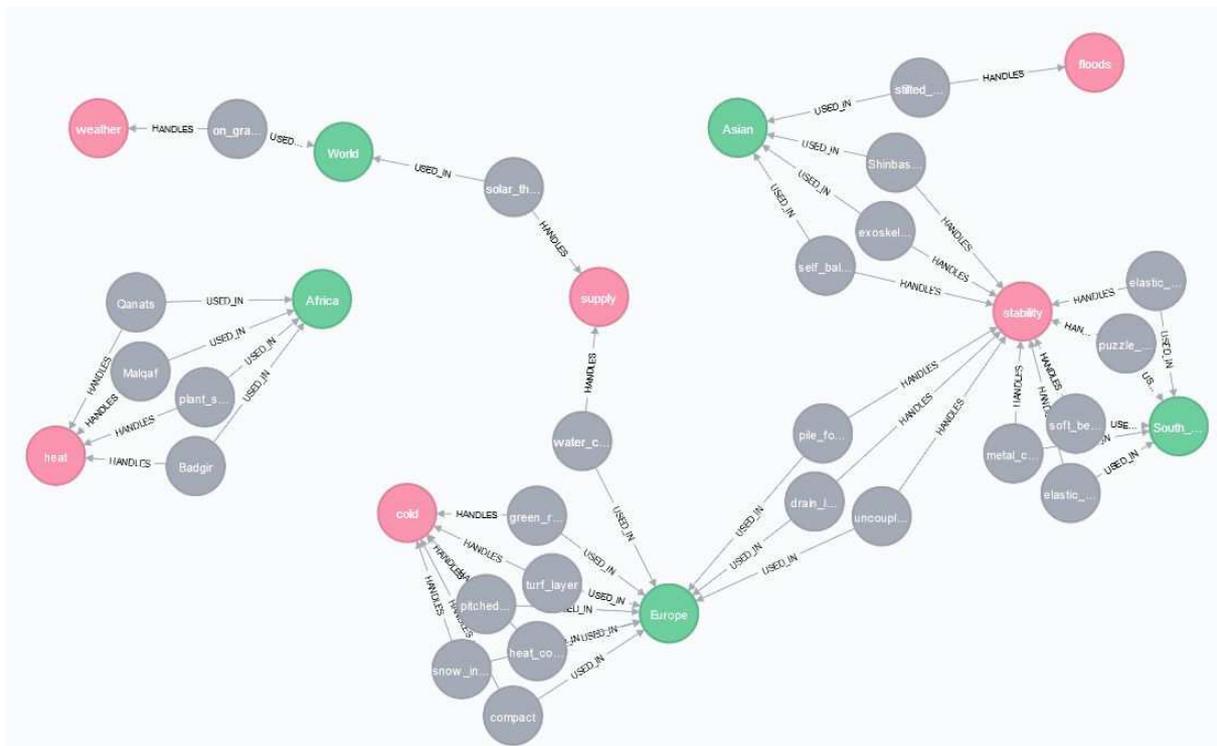


Abbildung 39 - Graph der 2. Stufe: Probleme mit Kontinent

Deutlich wird die Verkettung des gesamten Graphs, ausgenommen Afrika, da z.B. Lösungen zu Problemen mit der Stabilität von Gebäuden sowohl in Asien, als auch in Südamerika entwickelt wurden.

Diese Beobachtung ist vor Allem darauf zurückzuführen, dass beide Kontinente am „Ring of Fire“ liegen, welche einen hufeisenförmige Region mit erhöhter vulkanischer und seismischer Aktivität darstellt.

Zwar steht die Verbindung von Kontinent und Klimazone in einem denkbar nahen Zusammenhang, doch sollte zur Untersuchung der Verbindungen teilweise in einem dritten Schritt auch diese Facette ausgewertet werden.

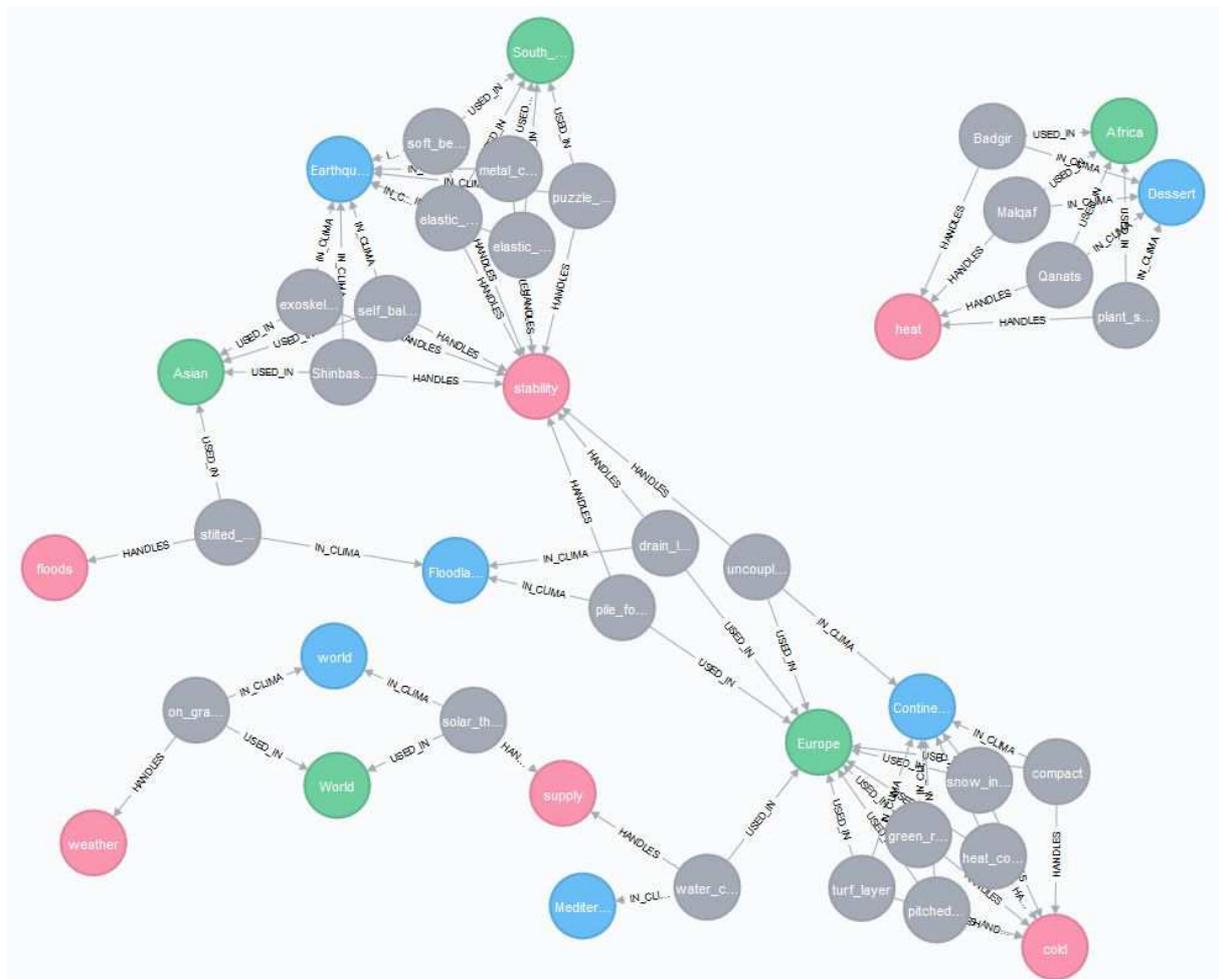


Abbildung 40 - Graph der 3. Stufe: Probleme mit Kontinent und Klimazone

Das zu erwartende Ergebnis ordnet den Graphen nicht „wirklich“ neu, sondern stärkt eher die bereits vorhandenen Beziehungen. Etwas deutlicher zu erkennen ist nun, dass Probleme mit der Stabilität von Gebäuden sich zwischen Asien, Europa und Südamerika einordnen. Weiterhin bleibt zu beobachten, dass Probleme rund um das Feld Hitze Afrika immer noch deutlich von den anderen Regionen trennt.

Aus klimatischer Sicht erfolgt die Einordnung also sehr logisch und nachvollziehbar.

In einem vierten Schritt wurden zur Auswertung nun die betroffenen bzw. in der Lösung involvierten Bauteile mit betrachtet. Während sich die Lösungen in Afrika durch die Sonneneinstrahlung und auch dem meist flacheren Gelände eher auf das Bauteil Dach beziehen, wurden im Rest der Welt eher die Gründung der Bauwerke oder die Struktur der Fassade optimiert.

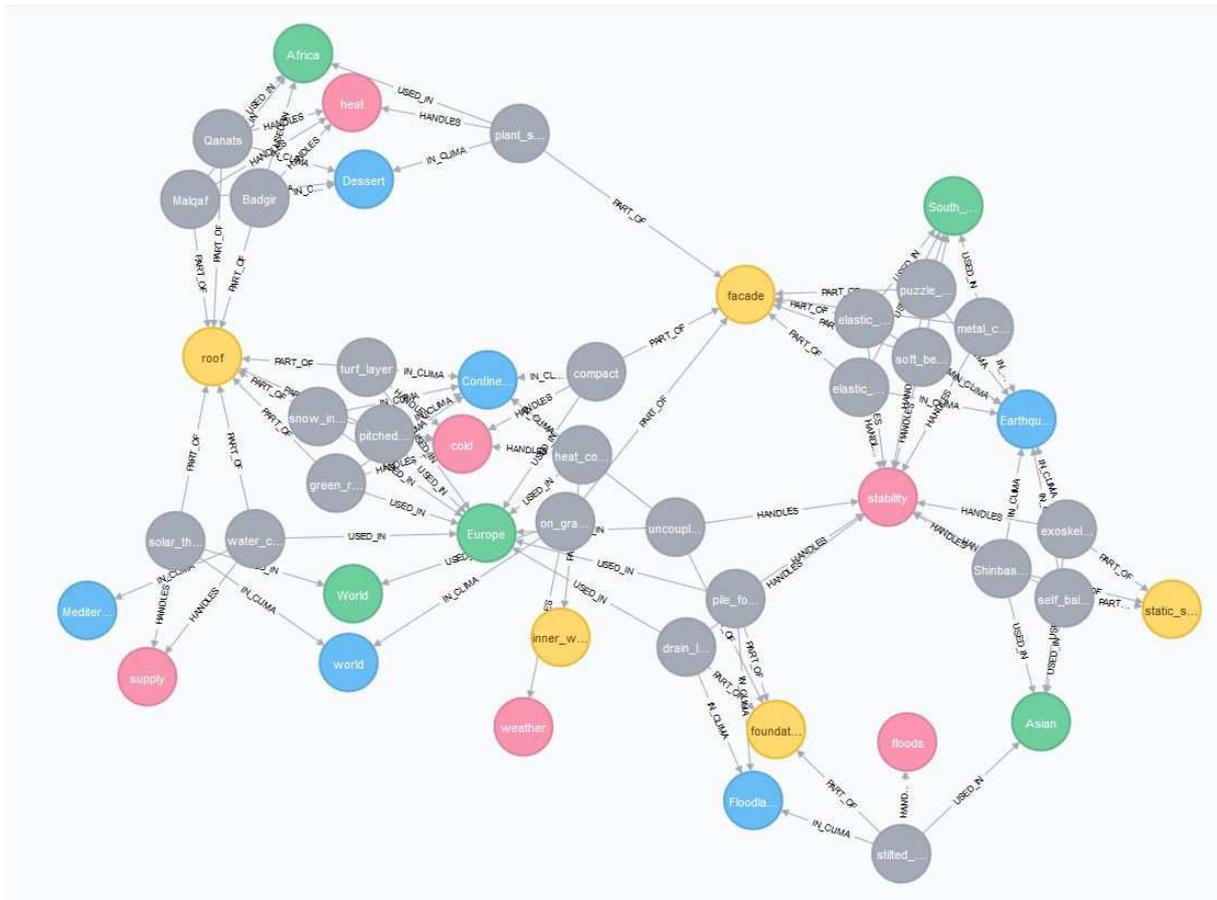


Abbildung 41 - Graph der 4. Stufe: Probleme, Kontinent, Klimazone und Bauteil

Offensichtlich wird nun hervorragend erkennbar, dass die zugeordneten Foci die entsprechenden Lösungen regelrecht umschließen.

Während sich zwischen Europa, Stabilität und Flutgefährdung etwa die Drainage, die Pfahlgründung und die Bodenkopplung situieren, besteht weiterhin im Graphen keine direkte Verbindung zwischen den Foci „Gründung“ und „Flutgefahr“; dennoch liegen beide deutlich direkt nebeneinander.

Es wird inzwischen deutlich klar, dass auch optisch die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Kategorisierungen und Attributen sichtbar werden. Da in diesem einfachen Beispiel bisher eher nur wenige Elemente aus der Architektur ausgewertet wurden, lässt sich schon jetzt erahnen, dass bei einer Erfassung z.B. weiterer Elemente, Bauweisen und statischen Systemen viele weitere Zusammenhänge ergeben und erkennen lassen.

In einem für diese Arbeit letzten Schritt wurde anschließend noch die eventuelle Skalierbarkeit der Lösungen mit betrachtet. Bei der Attributisierung der Lösungen wurden hier die meisten Lösungen als *skalierbar* und wenige als *eventuell skalierbar* eingeschätzt. Bei keiner der Lösungen ist eine Verwendung in völlig unterschiedlichen Maßstab nicht denkbar. Der Unterschied kann hier etwa zur etwas moderneren Lösung der Türklinke gemacht werden, welche zwar theoretisch, nicht jedoch im praktischen Einsatz skalierbar ist.

5.2.2. Auswertung der Analyse

Durch Hinzufügen weiterer Attribute, bzw. Facetten und Zuordnungen der betrachteten Elemente konnte eine klare Orientierung und Bündelung von Zusammenhängen beobachtet werden. Die zuvor attributisierten Smart Solutions werden deutlich von den zu ihrer Entstehung führenden Einflussfaktoren wie Klimazone und auslösendes Problem eingeschlossen und ordnen sich dabei nahezu automatisch ähnlichen Lösungen zu. Offensichtlich lassen sich die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Prinzipien für diese recht einfache Auswertung anwenden. Bereits optisch zu erfassen waren Zusammenhänge und Anordnungen der Probleme zu ihren Verursachern. Dabei wurde die Verknüpfung von Problem und Verursacher durch Facettenbildung hergestellt. Je nach Wahl der Facetten ergeben sich andere Verknüpfungen der Elemente. Da für diese Arbeit lediglich 25 Elemente eingesetzt wurden, muss für einen praktischen Einsatz die Möglichkeit analysiert werden, welche Auswirkungen, Einflüsse, Möglichkeiten etc. bei der Wahl von einer weitaus größeren Anzahl an Elementen entstehen. Für diese theoretische Skalierung der Datengrundlage muss ebenfalls die entsprechende Auswahl von sinnvollen Foci für große Datenmengen betrachtet werden. Gleichzeitig ist die Frage zu stellen, auf welche Weise die Daten gewonnen werden können, welche anschließend zur maschinellen Auswertung tausender bzw. mehrerer Millionen Verknüpfungen genutzt werden sollen.

5.2.3. Patternbildung und Patternerkennung

Die Auswertung der nur 25 gewählten Smart Solution hat bereits ein interessantes Netzwerk ergeben, welches eindeutige Zuordnungen und Muster erkennen ließ. Ein Netzwerk von Architekturpatterns wurde bereits im Kapitel 4.2 vorgestellt, welches von Helmut Leitner zur Beschreibung von Zusammenhängen im Umgang mit Gemeingütern wie folgt dargestellt wurde:

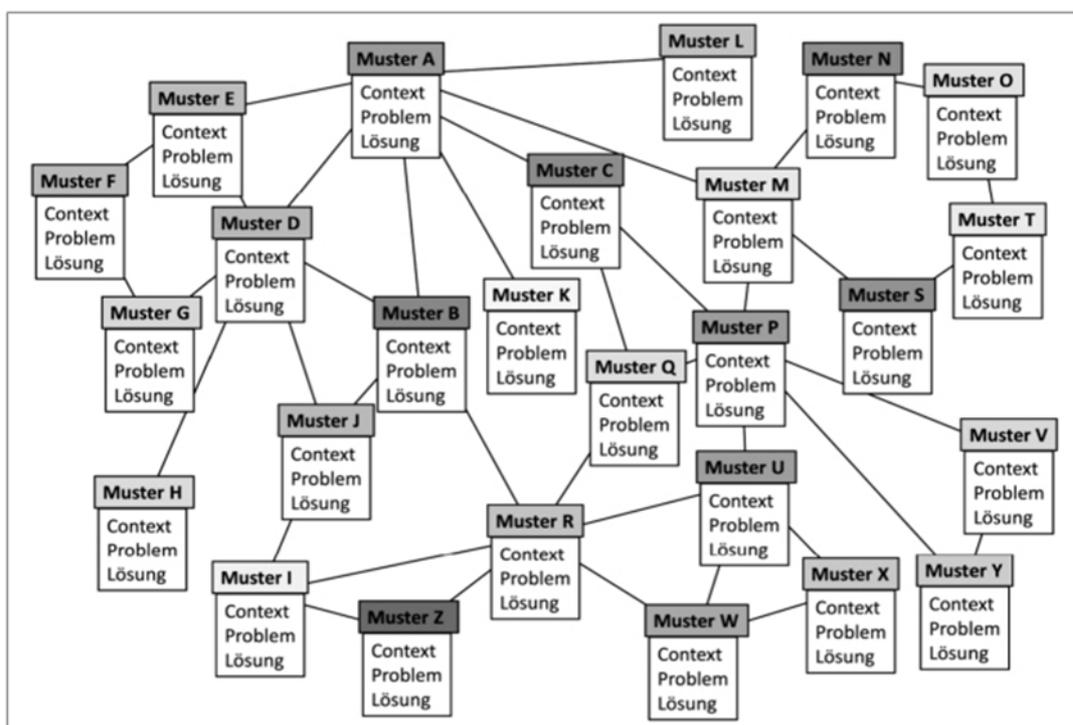


Abbildung 43 - Eine Mustersprache als Netzwerk¹²²

Nach der Facettenbildung zur Tripelbildung im vorangegangenen Kapitel wird nun beim Blick auf diese Abbildung schnell offensichtlich, dass die Zusammenhänge unter den dargestellten Mustern quasi nur 2-dimensional hergestellt sind. Gemeint ist damit, dass die Muster zwar durch Linien verbunden sind, jedoch keine Aussage getroffen wird, welche Art von Verbindung diese Linien darstellen.

Zur Bildung der Datentripel aus den Smart Solutions wurden für diese Arbeit Kategorien, bzw. bestimmte Zusammenhänge zwischen den einzelnen vergebenen Attributen durch Facettierung festgelegt, welche in der Graphdatenbank nun die Verbindungen mit einer Form der Semantik versehen haben. Bereits beim Hinzufügen der zweiten Facette entstand eine komplexe, wenn auch klar geordnete Vernetzung im Graphen.

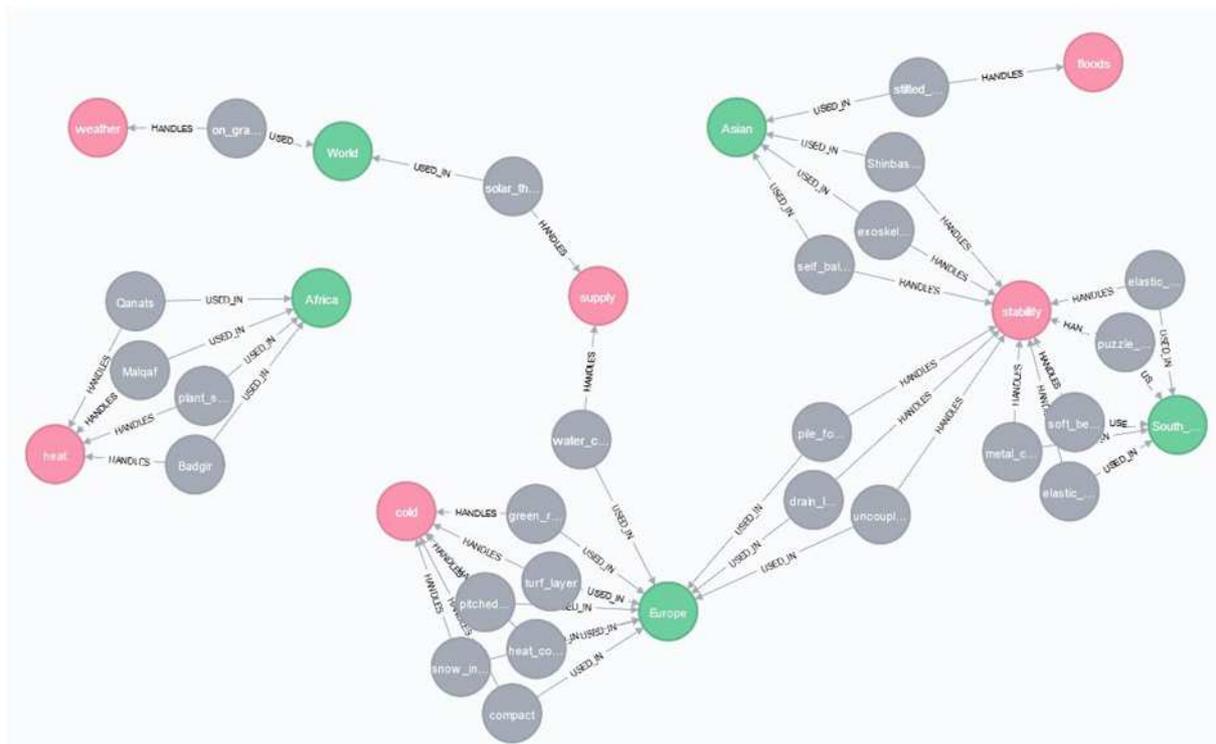


Abbildung 44 - Graph der 2. Stufe: Probleme mit Kontinent

Je mehr dieser Facetten dem Graphen hinzugefügt wurden, desto komplexer wurde die Vernetzung. Die Vernetzung einzelner Muster, bzw. Lösungen war also bereits bei Alexander angedacht, die Bildung der „gewichteten“ Zusammenhänge im Graphen konnte jedoch erst durch das Hinzufügen von Facetten entstehen. Beim Hinzufügen von bereits vier Facetten konnten sich deutlich *Facettenmuster* erkennen lassen.

¹²² (Leitner, 2015), S. 28

5.2.4. Gemeinsamkeiten und Ähnlichkeiten zur vergleichenden Abfrage

Wie auch beim Verfahren der in Kapitel 3 vorgestellten Musikstreamingdienste, zum Finden ähnlicher Musiktitel, konnte bereits optisch gezeigt werden, dass sich Elemente mit Gemeinsamkeiten unterschiedlichster Art im Graphen „einander zugeordnet“ haben. Dabei können sich in einem automatisierten Verfahren sogenannte Shortest-Path-Abfragen, zum Finden der kürzesten Verbindung zwischen verschiedenen Knoten eignen. Werden Lösungen aus architektonischen Problemen attributisiert abgelegt, kann über die Wahl der richtigen Facette mindestens eine, aber auch mehrere Verknüpfungsmöglichkeiten hergestellt werden. Durch dieses Vorgehen lassen sich z.B. Bauteile miteinander in Bezug setzen. Zusätzlich könnten zum Finden der optimalen Lösung noch weitere Problemstellungen zur Auswertung als Parameter hinzugefügt werden. Da in den meisten bereits bekannten Lösungswegen und Planungsverfahren oft mehrere Lösungsansätze verarbeitet sind, kann in einem computergestützten Analyseverfahren „die optimale Verbindung“ gefunden werden.

Vergleichbar ist dieser *Shortest Path* mit dem aus der Mathematik bekannten *kgv* – dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen – welches die optimale Lösung zur Kombination verschiedener Zeichen darstellt. Die Zeichen entsprechen dabei den mit Attributen versehenen Lösungswegen, und die optimale Kombination dieser entspricht einer möglichst engen Netzdichte. Werden mehrere optimale Vernetzungswege zwischen denselben Zeichen gefunden, weist dies auch auf eine höhere Ähnlichkeit und damit auf eine wahrscheinlichere Verwendbarkeit der Lösung hin. Dabei werden durch die Auswertung mehrerer Attribute nicht nur die expliziten Informationen ausgewertet, welche in einem Lösungsweg stecken, sondern auch implizite Informationen. Exemplarisch lässt sich dies an einem Sachverhalt beschreiben, welcher sich während der Erstellung dieser Arbeit ergeben hat. Dabei ist an der Haupteingangstür zu den Ateliers der Studenten das Transpondersystem ausgefallen und die Tür ließ sich nicht mehr öffnen. Da das Auto eines Kommilitonen vor den Ateliers geparkt war, erhielt dieser nun einen Anruf mit der Frage, ob er einer Studentin die Tür von innen öffnen könne. Das Auto hatte er jedoch am Vortag dort geparkt und hat stattdessen den Bus genommen. Da der Student jedoch die Tür mit einer Art Trick zum Öffnen dieser versehen hatte, konnte er seiner Kommilitonen durch Informationsweitergabe Zutritt verschaffen. Zugegebenermaßen ist dies ein recht einfaches Beispiel, dennoch lässt sich das Prinzip der Gemeinsamkeit der Zeichen hier wieder entdecken. Die Studentin kannte die Zeichen „Auto“ und „Telefonnummer“ und hat als weiteren Parameter das Problem „nicht öffnbare Tür“ mit in die Analyse gegeben. Die Parameter führten eben zu jenem Studenten, welcher zwar nicht im Sinne des Anrufs mit der erwarteten Lösung – Öffnen der Tür von innen – dienen konnte, jedoch einen weiteren Lösungsweg anbieten konnte. Wäre etwa das Wissen um das Zeichen der Telefonnummer nicht vorhanden gewesen, wäre eine Problemlösung zwar nicht gänzlich ausgeschlossen, jedoch nur auf komplizierterem Wege zu erarbeiten gewesen.

Für das beschriebene Beispiel könnte das *kgv* die Anzahl der Personen darstellen, welche angerufen hätte werden müssen, bis sich der Kandidat unter ihnen findet, der die Tür öffnen kann. Durch die Beachtung von gewissen Attributen lässt sich der Personenkreis vorab eingrenzen, so dass nur noch wenige Möglichkeiten zur Lösungsfindung untersucht werden mussten. Gleichzeitig konnte sich die Lösung jedoch unerwartet schnell finden lassen, da durch Kombination ein völlig neuer Lösungsweg entdeckt wurde.

Mit den Werkzeugen der Graphdatenbanken, wie dem zuvor beschriebenen *Shortest Path*, können schlussfolgernd auch für Probleme aus der Architektur Lösungen erarbeitet werden. Da in der Planung Aufgaben der unterschiedlichsten Art anfallen, muss ein weites Spektrum an Lösungsansätzen betrachtet werden. Es werden Fragen aufgeworfen, welche den Entwurf betreffen, aber auch Fragen die technische Lösungen erfordern. Zwischen beiden Feldern gibt es oft zusätzlich Korrelationen, da beispielsweise nicht jede technische Lösung die ästhetischen Ansprüche an den Entwurf befriedigt; wobei die Ästhetik nur eines der Teilgebiete der Entwurfsaufgaben darstellt. Nahezu alle Betrachtungen können bei der Facettierung in unterschiedlichster Skalierung erarbeitet werden, von der Mikrostruktur bis zur Makrostruktur.

5.3. Verwendung und Ausblick

Wie gezeigt, können die Zusammenhänge der Elemente bei Darstellung als Graphen bereits optisch erfasst werden. Zur Auswertung großer Datenmengen können Verknüpfungen in automatisierten Verfahren erkannt und Lösungen geschlussfolgert bzw. angeboten werden. Gleichzeitig sind für den Planungsprozess ein nahezu grenzenloses Spektrum an Lösungs- bzw. Problembetrachtungen möglich. Einige der möglichen Betrachtungen sollen daher im Folgenden näher beschrieben werden.

5.3.1. Automatisierte Mustererzeugung

Zur Findung optimaler Lösungen mit dem Shortest Path Verfahren in einem automatisierten System könnten unzählige Datenpaare ausgewertet werden und neue Verknüpfungen gefunden werden. Lassen sich aus diesen Zusammenhängen Verfahrensweisen ableiten, können diese als wiederverwendbare Architekturmuster herausgelesen werden. Da zur Erzeugung der auswertbaren Graphen nahezu unzählige Ansätze denkbar sind, könnten bereits vorhandene Ansätze genutzt werden.

Die in Kapitel 2 vorgestellten Analyseverfahren könnten dafür beispielsweise in ihren Ergebnissen untersucht werden. Dabei können die Resultate aus den beschriebenen Mehrfachsimulationen zur Findung der optimalen Entwurfsparameter herangezogen werden, da diese an vielen Stellen bereits mit sinnvollen Attributen versehen sind. Auch die Facettierung ist teilweise schon erfolgt und es wurden sinnvolle Zuordnungen getroffen. Da bei den Mehrfachsimulationen verschiedene Parameter solange angepasst werden können bis eine optimale Lösung gefunden ist, könnten die Ergebnisse daher in den verschiedenen Varianten verglichen werden. Für die automatisierte Mustererkennung könnten dabei die Gemeinsamkeiten der Entwurfsversionen verglichen werden, welche bei der Analyse als optimal eingestuft wurden. Werden dabei immer bei bestimmten Kombinationen von Entwurfsparametern ein gehäuftes Auftreten der gleichen *Shortest Path* Ergebnisse beobachtet, können diese als Muster identifiziert werden. Während die Analysemethoden jede Variante des Entwurfs neu bewerten muss, könnten die gefundenen Muster z.B. auch ohne die Notwendigkeit Behaglichkeitsanalyse auf positive Resultate schließen lassen.

Auf diese Weise wäre es möglich tausende bereits vorhandener Ergebnisse zu untersuchen, wobei bei gefundenen Häufungen von Kopplungen Muster auf verschiedenen Stufen entstehen. Im einfachsten Falle ist es denkbar, dass immer wieder positive Ergebnisse festgestellt werden, wenn stets ein Zusammenspiel von zwei bestimmten Elementen vorliegt. Wahrscheinlich ist es dann auch möglich Zusammenhänge bei Gruppen zu erkennen. Dies ist dann der Fall, wenn immer positive Ergebnisse festgestellt werden, wenn stets die gleiche Konstellation verschiedener Elemente, im Entwurf verwendet wurde. Wie bereits beschrieben, kann bei den zu untersuchenden Elementen die Wahl, auf unterschiedlichster Skalierung angreifen.

Eine Untersuchung auf optimale Verknüpfungen kann nicht nur auf bereits erstellte Analysen durchgeführt werden, vielmehr ist es auch denkbar, dass diese bei jeder neuen Simulation automatisch durchgeführt wird. Weiter ist es möglich, die Werte aus verschiedensten Datengrundlagen zu analysieren. Dabei könnten z.B. die Informationen des Baukostenindex, Bildbewertungen im Internet, aber auch semantisch erfasste Texte über Architektur künftig analysiert werden. Je mehr mit Attributen versehene Informationen über Architektur

bereitstehen, desto mehr Verknüpfungen können erkannt werden. Eine Implementierung einer solchen Funktion wäre über das modulare System und die Multicontainer im eeEmbedded Projekt ebenfalls denkbar.

5.3.2. Musterverwendung im Vergleich

Für die Verwendung in der Pädagogik hat Reinhard Bauer in seiner Dissertation ebenfalls Muster untersucht. Dabei hat er festgestellt, dass diese auch im Bildungsbereich, für die Forschung im Bereich der Gestaltung von Unterricht, sinnvoll genutzt werden können. Ähnlich wie dem Prozess des Entwerfens von einer optimal gestalteten Architektur lässt sich die didaktische Planung von Unterrichtseinheiten vergleichen. Er kommt dabei zum Schluss, dass nach einer Analyse Muster gefunden werden können, welche zum „Verfeinern eines didaktischen Rahmenmodells“¹²³ einsetzbar sind.

Es ist demnach denkbar, dass nicht nur die Mustererkennung, sondern auch die Verknüpfungsanalyse in weiteren Wissenschaften künftig angewendet wird. Da an dieser Stelle auch dort eine Facettenbildung, über die fachspezifischen Attribute, vorgenommen werden muss, sollte bei einer derartigen Entwicklung auch ein Blick auf deren Ergebnisse geworfen werden. Wie in Kapitel 1 erläutert, profitierte einst die Informatik mit der objektorientierten Entwicklung vom in der Architektur entwickelten *Entwurfsverfahren*. Vergleichbar könnten in den anderen Wissenschaften denkbar neue Ansätze der Facettierung entwickelt werden, welche wiederum auch in der Architektur genutzt werden könnten, um gänzlich andere Ansetze in der Bildung von Foci zu entwickeln. Beispielhaft sei an dieser Stelle die für die Pädagogik entscheidende Wissensvermittlung, aber auch der kindgerechte Umgang bzw. die entsprechende Gestaltung von Unterricht, genannt. Dabei ist es durchaus denkbar, dass die Pädagogik völlig neue Attribute entwickelt, um z.B. den Lernerfolg bei Wohlbefinden der Schüler zu messen, welche anschließend auf die Auswertung der Behaglichkeit in der Architektur genutzt werden könnte. Bei dieser Untersuchung entstehen also nicht zwangsläufig Daten welche ausgewertet werden, es könnten aber die Auswertungsmethoden selbst eventuell übernommen werden.

Auch Alexander verknüpfte seine Entwurfsmuster bereits, um die Möglichkeit zur Bildung immer neuer Mustersprachen sicherzustellen. Neben den Verweisen auf ähnliche, oder dringend im Zusammenhang zu betrachtende Muster, zählt er zu den einzelnen Mustern viele Attribute auf, welche anschließend genutzt werden können, um eine wohldefinierte Architektur zu beschreiben.

¹²³ (Bauer, 2014), S. 249

Here is the outline of another simple pattern language for stone houses in the South of Italy.

SQUARE MAIN ROOM, ABOUT 3 METERS
TWO STEP MAIN ENTRANCE
SMALL ROOMS OFF THE MAIN ROOM
ARCH BETWEEN ROOMS
MAIN CONICAL VAULT
SMALL VAULTS WITHIN THE CONE
WHITEWASHED TOP TO THE CONE
FRONT SEAT, WHITEWASHED

Abbildung 45 - Alexanders Weg zu Patterns¹²⁴

Auf der einen Seite impliziert er dabei Pfade, die durch das *Nachdenken* über bestimmte Sachverhalte zur Lösungsentwicklung, welche allein dadurch schon entstehen kann, wenn man sich das Zusammenwirken von verschiedenen Attributen vorstellt. Zum anderen stellt er damit eine enorme Grundlage an Informationen dar, welche untersucht werden könnte um neue Facetten zu entwickeln, damit diese anschließend als neues Analysewerkzeug genutzt werden können. Eine Auswertung der durch ihn bereits getroffenen Verknüpfungen in seinen Patterns wäre zur Auswertung ohnehin interessant.

5.3.3. Datenbeschaffung und Verwendung

Neben den Methoden der Analyse spielen die zur Verfügung stehenden Daten eine im Mindesten gleichwertige Rolle. Durch die Vernetzung der Welt im „Internet der Dinge“ sollen Gebäude und Gebäudeteile künftig intelligenter werden. Bereits seit vielen Jahren werden z.B. Windwächter verbaut, welche automatisiert die Raffstoreanlage zum Schutz bei zu schnellen Luftbewegungen, einfahren lassen. Dass dies ein nerviges Unterfangen werden kann weiß jeder, der einmal in einem moderneren Bürogebäude gearbeitet hat. Mit dem IOT werden völlig neue Lösungen denkbar. Angefangen bei einer automatisierten Kohlenmonoxidüberwachung in Klassenzimmern, über Smartwatch zeitlich gesteuerte Zugangskontrollen bis hin zur online-terminplaner-basierten Heizungssteuerung. An nahezu jeder Stelle und zu jeder Zeit werden Daten erhoben, welche im sogenannten „Big Data“ ausgewertet und verwendet werden können. Zukünftig wäre es damit denkbar, dass der von der automatisiert gesteuerten Jalousieanlage genervte Nutzer seine Verdrossenheit zum Ausdruck bringt, schlicht einen „traurigen Smiley“ ins System schickt. Wird dieses Verhalten nun von mehreren Personen gleichzeitig an den Tag gelegt, wäre es maschinell möglich, diesen Zusammenhang zu erkennen. In einem komplexeren System wäre es denkbar, dass Systeme derart Verknüpfungen erkennen können, dass Nutzer sich immer bei automatisiertem Stören der Technik unwohl fühlen. Da ähnliche Prinzipien zur analytischen Auswertung auch auf Entwurfsfragen angewendet werden können, besteht künftig die Frage, welche Daten erhoben und in welcher Weise sie ausgewertet werden sollten.

¹²⁴ (Alexander, *The timeless way of building*, 1979), S 188

5.3.4. Das Richtige Ergebnis zur richtigen Zeit

Schiva Rajaraman, welcher von Google und YouTube zu Spotify wechselte, brachte dabei zur spezifisch semantischen Zuordnung der passenden Musiktitel eine neue Idee ins Projekt mit ein. Er beachtetete zusätzlich den Anlass bzw. die Situation in der Musik gehört wird: "Music that might kickstart your morning, music that might help you run faster in the afternoon, music that might help you fall asleep at night."¹²⁵

Diese Analyseergebnisse zur Bereitstellung von anlassbezogener Musik nennt Spotify "Moments", welche künftig mehr Einsatz finden sollen. "Spotify is beginning to read your context—your location, the time of day, and more—to make deeply educated guesses about what you might want to listen to."¹²⁶

Die für die Architektur zu entwickelnden Patterns könnten also an verschiedenste Standort-, Bauherren-, oder etwa nutzungsspezifische Bedingungen jeweils neu angepasst werden. Für die Architektur muss an dieser Stelle in der Zukunft überprüft werden, welche genauen Bedingungen das sein können, da zahlreiche Einflussfaktoren hier beachtet werden könnten. Dies fängt bei kleinen Entscheidungen an, etwa wenn temporäre Bauten im Sommer oder im Winter erstellt werden sollen, und könnte beispielsweise in der Repräsentanz der Außendarstellung von Verwaltungsgebäuden oder der Verwendung von wiederverwendbaren Baustoffen- und teilen enden.

Zur Verwendung derartiger Daten könnten allerlei Quellen „angezapft“ werden. Wichtig kann es dabei sein, den Ort, den soziokulturellen Rahmen, den Einsatzzweck, die Einsatzdauer und viele weitere Faktoren zu kennen und abzugleichen. Anschließend können maschinell neue oder ähnliche Einsatzzwecke entdeckt und bereitgestellt werden. Entscheidend sind die Verwendung sinnvoller Facetten und das Vorhandensein der notwendigen Datengrundlage.

5.3.5. Vernetzte Bauteilbibliotheken

Die zur Facettengenerierung notwendigen Daten könnten in Zukunft auf vielen denkbar unterschiedlichen Wegen beschafft werden. Eine Möglichkeit für die Findung bzw. Entwicklung von neuen Patterns wäre das Vernetzen von Bauteilbibliotheken verschiedener Planungsbüros. Dabei würden z.B. Entwurfsansätze oder Bauteilverwendungen etwa über das Internet abgeglichen werden. Recht leicht anschaulich wird dieses Verfahren, wenn man sich exemplarisch 2 Menschen vorstellt. Beide haben 10 Bücher gelesen, neun dieser beiden Bücher waren die gleichen. Das Verhältnis der Gemeinsamkeit von 9 zu 1 lässt darauf schließen, dass sowohl die erste Person das nicht gelesene Buch der zweiten Person interessant finden könnte, als auch umgekehrt.

Wird dieses Prinzip auf die Entwicklung von Bauvorhaben angewendet können über die Vernetzung von Planungsdaten neue Zusammenhänge automatisiert ermittelt werden.

¹²⁵ <https://www.wired.com/2015/07/spotify-perfect-playlist/>

¹²⁶ <https://www.wired.com/2015/07/spotify-perfect-playlist/>

5.3.6. Datenerfassung aus realen Bauaufträgen

Das Prinzip des in Kapitel 2 dieser Arbeit beschriebenen Baukostenindex, welcher komplexe Informationen zu realisierten Bauvorhaben bereitstellt, könnte auch zur Patternfindung genutzt werden.

Vergleichbar mit dem BKI, welcher die Baukosten nach verschiedenen Bauweisen zur besseren Kalkulation aufweist, könnte eine Datensammlung aus Baubeschreibungen und Ausschreibungstexten und weiteren Daten der Architekturbüros entstehen. Ebenfalls in Kapitel 2 vorgestellt wurde das System Building Radar, welches bereits 2-3 Jahre vor Realisierung von Bauvorhaben eine Menge Daten über diese bereitstellen kann.

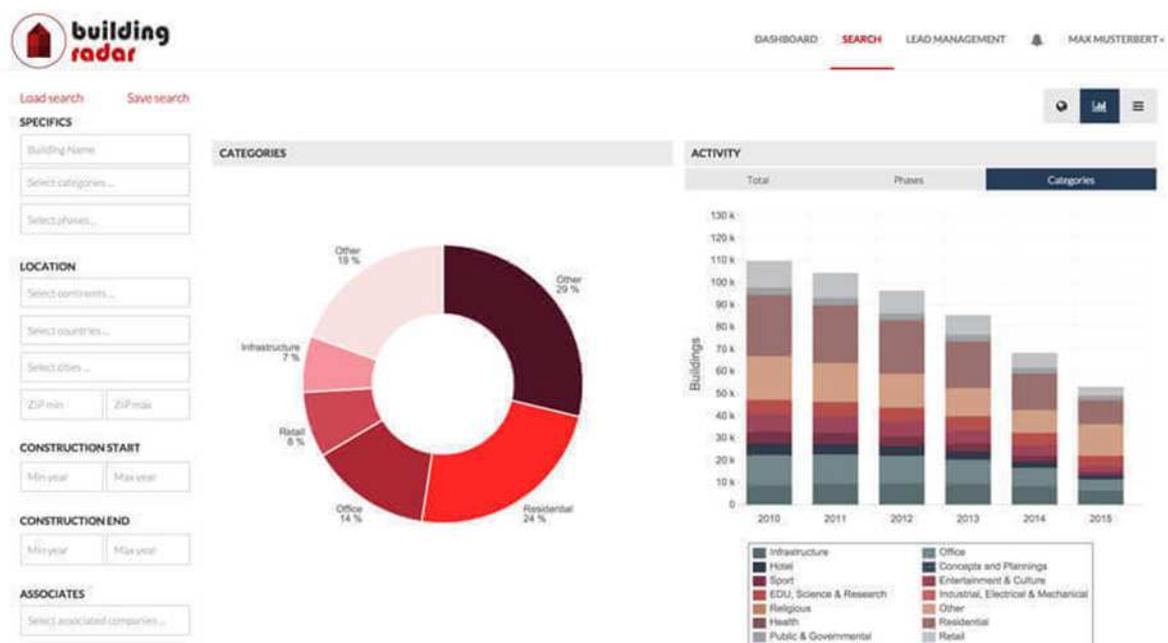


Abbildung 46 - Kategorisierung von sich im Bau befindlichen Bauvorhaben¹²⁷

So lassen sich über die Auswertung, bereits vor Abschluss der Bauvorhaben, Rückschlüsse über die verhältnismäßige Anzahl bestimmter Bauwerkstypen ziehen. Diese Informationen können für verschiedenste Einsatzzwecke genutzt werden. Es ist exemplarisch denkbar, dass bestimmte, sich derzeit in Entwicklung befindende, Analysetools oder Entwicklungen bevorzugt erarbeitet werden, da in den folgenden 2-3 Jahren mehr Gebäude einer Art zu erwarten sind. Auch die Lage der Bauvorhaben könnte etwa für städtebauliche oder verkehrstechnische Entscheidungen etc. herangezogen werden.

Dabei arbeitet das Unternehmen mit vielen anderen Startups aus dem Feld der Gebäudetechnologie in der GTPI, der „German PropTech Initiative“¹²⁸ zusammen. Ziel ist es weitere Synergien zu entdecken und ggf. Daten gemeinsam zu verwenden.

¹²⁷ <https://buildingradar.com/wp-content/uploads/Lead-Generation-Market.jpg>

5.3.7. Wettbewerb um die bessere Patternanalyse

Das Entstehen und Entwickeln von Patterns wurde in dieser Arbeit ausführlich an Musikabspieldiensten wie Pandora oder Spotify erörtert. Im freien Markt unterliegen diese Anbieter der Konkurrenz von vielen Nebenbuhlern mit ähnlichen oder neuartigen Ansätzen um für den Zuhörer die perfekte Musikmischung bereitzustellen. Die freie Marktwirtschaft impliziert daher, dass der Anbieter mit der besten Mustererkennung schließlich auch das Herz der Zuhörer gewinnt und somit einen Wettbewerb um das bessere Verfahren herrscht. Vergleichbar ist diese Selektion im Markt auch mit den Suchmaschinenanbietern, wo derjenige die Gunst des Nutzers gewinnt, der nicht nur eine einfache und komfortable Bedienung ermöglicht, sondern auch möglichst relevante Suchergebnisse bereitzustellen in der Lage ist.

Auch für den Markt der Anbieter für Lösungen von Architektursoftware ist ein vergleichbarer Wettbewerb denkbar. Neben der derzeit bereits vorhandenen Konkurrenz bei der Entwicklung möglichst intuitiver CAD-Systeme, könnten die Hersteller künftig durch den Wettbewerb angehalten sein, ständig neue Facettierungen zu bilden. Ziel könnte es dabei exemplarisch sein, dem Anwender bereits beim Erstellen einer Zeichnung, bereits relevante Bauteile, oder sogar Entwurfsfortschreibungen, vorzuschlagen. Vergleichbar mit der Vorhersage beider Eingabe von Suchanfragen bei Google oder Bing könnten dabei Live-Vorschläge, angefangen mit einfachsten Mustern wie geschlossenen Raumpolygonen, bis hin zu energieverbrauchsoptimierenden Maßnahmen unterbreitet werden. Durch in der Praxis entstehende Benutzeranforderungen kann zusätzlich eine Weiterentwicklung gänzlich neuer Verknüpfungsprozesse und damit zusätzliche Fortschritte zur optimalen Verwendung der gezeigten Methoden im Planungsprozess erwartet werden.

Zudem lassen die derzeitigen Entwicklungen von künstlichen Intelligenzen künftig neue Wege der Bewertung von Lösungen zu. Da in der Architektur meist komplexe Lösungsansätze und Entwurfsuntersuchungen auf vielen unterschiedlichen Ebenen notwendig sind ist eine Abwägung verschiedener Einflussfaktoren zu treffen. Dass eine Wertung bzw. Gewichtung der Auswirkungen künftig automatisiert möglich sein wird lässt sich am Beispiel von Googles *AlphaZero* zeigen. Dabei handelt es sich um eine KI, welche die derzeit besten Maschinen im Spiel Schach geschlagen hat¹²⁹. Die Entwickler haben dabei dem System lediglich die Regeln erklärt. Der Computer hat anschließend so lange gegen sich selbst gespielt bis er, so könnte man es sagen, „die Wertigkeit der Figuren“ einschätzen konnte.

Auch im Planungsprozess ließe sich ein derartiges Vorgehen implementieren. Auch hier müssen vorab der Maschine die Regeln, also die Bedingungen an den Entwurf, erklärt werden. Anschließend kann eine KI in einer Kreisrelation mit den vorhandenen in Kapitel 2 vorgestellten Analysetools die Variante des Entwurfs ermitteln, welche die beste Abwägung aller Einflussfaktoren darstellt. Da die genannten Regeln jedoch stets durch Weiterentwicklung und ästhetischen Verbrauch im Wandel sein werden, werden auch Menschen künftig

¹²⁸ <http://gpti.de/>

¹²⁹ (DeepMind, 5 Dec 2017)

stets an diesem Prozess beteiligt sein. Da im Entwurfsprozess neben Gesetzen und beispielsweise statischen Berechnungen auch ästhetische Abwägungen zu treffen, sind werden Menschen mindestens die Vorschläge der Maschine prüfen. Zudem müssen regelmäßig Anpassungen, bei den zur Entscheidungsfindung auszuwertenden Attributen, erfolgen, da sich der jeweilige soziokulturelle Rahmen in einem stetigen Wandel befindet.

5.3.8. Schlusswort

Bei der Untersuchung von *historischen Lösungen* der Architektur konnte gezeigt werden, dass mit Werkzeugen der *Digitalisierung* eine Auswertung des versteckten impliziten Wissens möglich ist. Die Analyse dieser Informationen ist prinzipiell auf alle bereits gefundenen *Lösungswege* anwendbar und ermöglicht die Prüfung, ob die enthaltenen *Lösungsansätze* auch auf andere Problemstellungen anwendbar sind. Eine automatisierte *Lösungsfindung* durch informationstechnisch gestützte Analyse ist auf verschiedenen Ebenen im Entwurf künftig zu erwarten. Die Regeln, nach denen künstliche Intelligenzen zur Verknüpfung von Informationen dabei verfahren, können fortan durch die Architekten gestaltet werden.

6. Verzeichnisse und Anlagen

6.1. Stichwörterläuterung

API – informationstechnologische Schnittstelle für einen definierten Datenzugriff verschiedener Parteien

Facette – Bezeichnung einer bestimmten Gruppierung / Kategorisierung von Elementen

Graphdatenbank – graphenorientierte Datenbank zur Analyse komplexer und stark vernetzter Informationen

Kognition – etwa die Mischung zwischen Wahrnehmen und Erkennen zur sinnvollen Informationsverarbeitung

Ontologie – Ordnung von Begrifflichkeiten, kann im Gegensatz zur Taxonomie ein schlüssiges Wissensnetzwerk repräsentieren

OWL – Web Ontologie Language, Sprache zur Sicherung der semantischen Zusammenhänge (maschinenverstehbarer Sinn)

Parametrisierung – Beschreibung durch Parameter zur geometrischen Definition von Elementanordnungen

Taxonomie – mehrstufiges Klassifikationsschema, etwa in der Biologie zur Kategorisierung der Lebewesen

Semantik – sinnführende Bedeutung einer Sache, vgl. Syntaktik

Superierung – Abstraktion (unter subjektivem Informationsverlust) komplexer Einzelteile zu einer höheren Klasse, dem Superzeichen

Syntaktik – spezielle Ordnung der Dinge zueinander, welche ein Funktionieren gewährleistet

6.2. Stichwortverzeichnis

API	48, 50, 51
Facette.....	44, 75, 93
Graphdatenbank.....	54, 55, 56, 57, 71, 73, 75, 77, 83, 97
Kognition	63, 75, 93
Ontologie.....	29, 31, 54, 66, 93
Parametrisierung.....	19, 43
Semantic.....	66
Semantik.....	32, 33, 45, 61, 62, 67, 68, 69, 83, 89, 93
Superierung	62, 93
Syntaktik.....	33, 66, 76, 93
Taxonomie.....	93

6.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Diskursebenen zur Mustertheorie.....	12
Abbildung 2 - Darstellungsmöglichkeit eines Digitalen Gebäudemodells	14
Abbildung 3 - Umfrageergebnisse zur Nutzung von BIM	20
Abbildung 4 - zukünftige Nutzung von BIM	21
Abbildung 5 – Musterseite 1 BKI Objektdaten Energieeffizientes Bauen E7	24
Abbildung 6 - Musterseite 2 BKI Objektdaten Energieeffizientes Bauen E7	25
Abbildung 7 - Informationslogistik im Multi-Modell-Management	28
Abbildung 8 - Prozessmodell eines 3-geschossigen Gebäudes	29
Abbildung 9 - Beispiel eines klassischen Projektablaufplanes	30
Abbildung 10 - Automatisch generierter Ablaufplan durch Prozess-Templates	30
Abbildung 11 – Referenzprozessmodule	31
Abbildung 12 - Systematisierung von Prozessmodellen	32
Abbildung 13 - Filtertechnologien in Mephisto.....	33
Abbildung 14 - Softwarearchitektur des Projektes eeEmbedded.....	34
Abbildung 15 - Darstellung der Kommunikationsebenen der eeEmbedded Virtual Lab platform.....	36
Abbildung 16 - Multi-Modell Containerconcept.....	36
Abbildung 17 - Auswertung verschiedener Designvarianten in Gegenüberstellung.....	37
Abbildung 18 - Windanalyse und urban design in eeEmbedded	38
Abbildung 19 - Performance bei verschiedensten Designparametern	39
Abbildung 20 - gefilterte Darstellung der Designparameter	40
Abbildung 21 - Auswertung einer Sequenz von Bohemian Rhapsody der Band Queen.....	47
Abbildung 22 - Aufbau von Spotify und Zugriff auf die Web-API	49
Abbildung 23 - Architektur des Spotify Moduls	52
Abbildung 24 - Auswertung eines Spotify-Accounts mit einer Graphdatenbank	56
Abbildung 25 - Vernetzung James Meyer Sassoon Panama Papers	57
Abbildung 26 - Mehrfach Vernetzung Bearer Neptune Investments Panama Papers	58
Abbildung 27 - Shinbashira als zentraler Stabilisator	59
Abbildung 28 - Betriebssystem des ersten Macintosh	61
Abbildung 29 - Nothing new here.....	62
Abbildung 30 - hierarchische Struktur in Netzwerken	64
Abbildung 31 - Hypertext-Struktur mit assoziativen Beziehungen.....	65
Abbildung 32 - Vernetzung der Patterns durch Indexierung.....	67
Abbildung 33 - Eine Mustersprache als Netzwerk	68
Abbildung 34 - kombiniert hierarchisch- und assoziativverknüpfte Struktur	69
Abbildung 35- Gründe für Graphdatenbanken.....	71
Abbildung 36 - RDF-Diagramm mit Zuordnung zweier Objekte	72
Abbildung 37 - Darstellung einer Datenbeziehung in Cypher	76
Abbildung 38 - Graph der 1. Stufe: Probleme und Lösungen.....	77

Abbildung 39 - Graph der 2. Stufe: Probleme mit Kontinent	78
Abbildung 40 - Graph der 3. Stufe: Probleme mit Kontinent und Klimazone	79
Abbildung 41 - Graph der 4. Stufe: Probleme, Kontinent, Klimazone und Bauteil	80
Abbildung 42 - Graph der 5. Stufe: Probleme, Kontinent, Klimazone, Bauteil und Skalierbarkeit	81
Abbildung 43 - Eine Mustersprache als Netzwerk	83
Abbildung 44 - Graph der 2. Stufe: Probleme mit Kontinent	83
Abbildung 45 - Alexanders Weg zu Patterns	88
Abbildung 46 - Kategorisierung von sich im Bau befindlichen Bauvorhaben	90

6.4. Literaturverzeichnis

- Alexander, C. (1977). *A pattern language*. New York: Oxford University Press.
- Alexander, C. (1979). *The timeless way of building*. New York: Oxford University Press.
- Alfarra, A. (2016). *Numerische Analyse von Bauwerk-Wind-Wechselwirkungen mit RANS-Turbulenzmodellen*. Braunschweig: Institut für Statik Technische Universität Braunschweig.
- Arndt, H. (2006). *Integrierte Informationsarchitektur*. Heidelberg: Springer Science & Business Media.
- Balitzki, A. (2016). *Bachelorprojektbericht DeepQD*. Bremen: AG Theorie der Künstlichen Intelligenz - Universität Bremen.
- Bauer, R. (2014). *Didaktische Entwurfsmuster*. Breitenfurt: Alpen-Adria-Universität Klagenfurt .
- Bense, M. (1958). *Aesthetica III (Ästhetik und Zivilisation)*. Krefeld und Baden Baden.
- Braun, S., Dr. Rieck, A., & Köhler-Hammer, C. (2015). *Ergebnisse der BIM-Studie für Planer und Ausführende*. Stuttgart: Fraunhofer IAO.
- DeepMind, P. z. (5 Dec 2017). *Mastering Chess and Shogi by Self-Play with a General Reinforcement Learning Algorithm*. London: N1C 4AG.
- Eco, U. (1972 (Ü.v.2002)). *Einführung in die Semiotik*. UTB GmbH.
- Kiemle, M. (1967). *Ästhetische Probleme der Architektur unter dem Aspekt der Informationstästhetik*. Berlin: Schnelle Quickborn.
- Leitner, H. (2015). Mit Mustern arbeiten. In H. B. David Bollier, *Die Welt der Commons* (S. 26-35). Transcript Verlag.
- Lieder, M. (2017). *Informationsästhetik unter den Aspekten der Informationstechnologie* . Dresden: Technische Universität Dresden.
- Möller, E. (2011). *Die Konstruktion in der Architekturtheorie*. München: Dr. Hut Verlag.
- Raymond, E. S. (2000). *The Cathedral and the Baraar*. Thyrsus Enterprises.
- Sack, Joe, Principal Program Manager, Microsoft. (2017). *Graph Database Processing with Azure SQL DB and SQL Server 2017*. Orlando.
- Scherer, A. I. (2011). *PROCESS-BASED SIMULATION LIBRARY FOR CONSTRUCTION PROJECT PLANNING*. Dresden: Dresden University of Technology.
- Scherer, P. D.-I. (2013). <http://mefisto-bau.de>. Abgerufen am 05. 01 2018 von <http://mefisto-bau.de>: <http://mefisto-bau.de/ff>.
- Scherer, R. J. (2017). *OPTIMISED DESIGN METHODOLOGIES FOR ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS INTEGRATED IN THE NEIGHBOURHOOD ENERGY SYSTEMS*. Dresden: European Union Seventh Framework Programme.
- Schröder, A. (2003). *RDF - Web der Zukunft*. XMLmagazin & web services.
- Vitruv. (etwa 33-22 v.Ch.). *Baukunst | Erster Band | Bücher I-V*. Übersetzung von August Rode, Artemis Verlag, 1987.
- Werres, T. (2009). *Semantic Web - Architektur und Status Quo*. Sankt Augustin: GRIN.

6.5. Quellcode zur Herstellung der Graphdatenbank

Der folgende Quellcode kann genutzt werden, um die beschriebene Graphdatenbank zu testen.

[Dauer zum Einrichten und online ausprobieren: ~2 Minuten]

Erfreulicher Weise stellt der Anbieter Neo4j kostenlos ein Datenbankmanagementsystem zur Seite, welches in zwei Varianten genutzt werden kann:

- Online-Tool als Sandbox
- kostenloser Download

Die einfachste Möglichkeit ist wohl das Online-Tool; wer mit Graphen etwas mehr „herumspielen“ möchte, sollte die Möglichkeit des Downloads wählen.

Online-Tool als Sandbox

Der Link neo4jsandbox.com sollte direkt zum Tool umleiten. Dort muss man sich einmalig registrieren, anschließend kann das Tool mit einem Klick auf „**Neo4j Browser**“ direkt gestartet werden. In die Zeile mit den `$`-Zeichen muss der Code hineinkopiert werden, welcher hier etwas weiter unten bereitgestellt wird. Anschließend baut sich das Graphmodell auf.

Zusätzlich werden auch weitere Graphen zum Ausprobieren angeboten, z.B. einen Movie-Datenbank, in der man Beziehungen verschiedener Schauspieler und Filme untersuchen kann. Leider läuft die Instanz der Sandbox nach 3 Tagen ab, man kann aber jederzeit eine neue Instanz eröffnen.

kostenloser Download

Hier verhält es sich eigentlich ähnlich wie bei der Sandbox, nur dass die Daten auf dem eigenen PC dauerhaft zur Verfügung stehen.

Unter neo4j.com/download/ gelangt man zum Download des DBMS und kann dies innerhalb 2 Minuten auf dem eigenen Rechner installieren. Beispiele werden auch hier angeboten – für die Architektur-Datenbank braucht man ebenfalls nur den unten angegebenen Code „copy+pasten“.

Code zum Ausführen

Mit folgendem Code kommt man zum oben gezeigten Ergebnis und kann mit den Knoten und Verbindungen „herumspielen“. Der Code wurde automatisiert aus einer Exceltabelle entwickelt und kann beliebig erweitert werden. Wer neue Kombinationen testen will und die Rohdaten möchte kann sich gern bei mir melden.

Nach dem Einfügen des Codes werden durch Eingabe der Zeile

```
Match (n) return n
```

alle angelegten Knoten und Verbindungen abgerufen und in vernetzter Form dargestellt.

<CODE ab hier kopieren>

```
Create (heat_conduction:Solution{title:'heat_conduction'})
Create (stilted_buildings:Solution{title:'stilted_buildings'})
Create (uncouple_from_ground:Solution{title:'uncouple_from_ground'})
Create (pile_foundation:Solution{title:'pile_foundation'})
Create (drain_land:Solution{title:'drain_land'})
Create (turf_layer:Solution{title:'turf_layer'})
Create (green_roof:Solution{title:'green_roof'})
Create (on_grade_building:Solution{title:'on_grade_building'})
Create (elastic_wall_compound:Solution{title:'elastic_wall_compound'})
Create (elastic_joins:Solution{title:'elastic_joins'})
Create (puzzle_structure:Solution{title:'puzzle_structure'})
Create (soft_bedded_walls:Solution{title:'soft_bedded_walls'})
Create (metal_clips:Solution{title:'metal_clips'})
Create (Shinbashira:Solution{title:'Shinbashira'})
Create (self_balancing_mass:Solution{title:'self_balancing_mass'})
Create (exoskeleton:Solution{title:'exoskeleton'})
Create (water_collection:Solution{title:'water_collection'})
Create (compact:Solution{title:'compact'})
Create (pitched_roof:Solution{title:'pitched_roof'})
Create (snow_insulation:Solution{title:'snow_insulation'})
Create (plant_shading:Solution{title:'plant_shading'})
Create (solar_thermal_system:Solution{title:'solar_thermal_system'})
Create (Badgir:Solution{title:'Badgir'})
Create (Malqaf:Solution{title:'Malqaf'})
Create (Qanats:Solution{title:'Qanats'})
```

```
Create (cold:Problem{title:'cold'})
Create (floods:Problem{title:'floods'})
Create (stability:Problem{title:'stability'})
Create (weather:Problem{title:'weather'})
Create (supply:Problem{title:'supply'})
Create (heat:Problem{title:'heat'})
```

```
Create (heat_conduction)-[:HANDLES]->(cold)
```

Create (stilted_buildings)-[:HANDLES]->(floods)
Create (uncouple_from_ground)-[:HANDLES]->(stability)
Create (pile_foundation)-[:HANDLES]->(stability)
Create (drain_land)-[:HANDLES]->(stability)
Create (turf_layer)-[:HANDLES]->(cold)
Create (green_roof)-[:HANDLES]->(cold)
Create (on_grade_building)-[:HANDLES]->(weather)
Create (elastic_wall_compound)-[:HANDLES]->(stability)
Create (elastic_joins)-[:HANDLES]->(stability)
Create (puzzle_structure)-[:HANDLES]->(stability)
Create (soft_bedded_walls)-[:HANDLES]->(stability)
Create (metal_clips)-[:HANDLES]->(stability)
Create (Shinbashira)-[:HANDLES]->(stability)
Create (self_balancing_mass)-[:HANDLES]->(stability)
Create (exoskeleton)-[:HANDLES]->(stability)
Create (water_collection)-[:HANDLES]->(supply)
Create (compact)-[:HANDLES]->(cold)
Create (pitched_roof)-[:HANDLES]->(cold)
Create (snow_insulation)-[:HANDLES]->(cold)
Create (plant_shading)-[:HANDLES]->(heat)
Create (solar_thermal_system)-[:HANDLES]->(supply)
Create (Badgir)-[:HANDLES]->(heat)
Create (Malqaf)-[:HANDLES]->(heat)
Create (Qanats)-[:HANDLES]->(heat)

Create (Europe:Continent{title:'Europe'})
Create (Asian:Continent{title:'Asian'})
Create (World:Continent{title:'World'})
Create (South_America:Continent{title:'South_America'})
Create (Africa:Continent{title:'Africa'})

Create (heat_conduction)-[:USED_IN]->(Europe)
Create (stilted_buildings)-[:USED_IN]->(Asian)
Create (uncouple_from_ground)-[:USED_IN]->(Europe)
Create (pile_foundation)-[:USED_IN]->(Europe)
Create (drain_land)-[:USED_IN]->(Europe)
Create (turf_layer)-[:USED_IN]->(Europe)
Create (green_roof)-[:USED_IN]->(Europe)
Create (on_grade_building)-[:USED_IN]->(World)

Create (elastic_wall_compound)-[:USED_IN]->(South_America)

Create (elastic_joins)-[:USED_IN]->(South_America)

Create (puzzle_structure)-[:USED_IN]->(South_America)

Create (soft_bedded_walls)-[:USED_IN]->(South_America)

Create (metal_clips)-[:USED_IN]->(South_America)

Create (Shinbashira)-[:USED_IN]->(Asian)

Create (self_balancing_mass)-[:USED_IN]->(Asian)

Create (exoskeleton)-[:USED_IN]->(Asian)

Create (water_collection)-[:USED_IN]->(Europe)

Create (compact)-[:USED_IN]->(Europe)

Create (pitched_roof)-[:USED_IN]->(Europe)

Create (snow_insulation)-[:USED_IN]->(Europe)

Create (plant_shading)-[:USED_IN]->(Africa)

Create (solar_thermal_system)-[:USED_IN]->(World)

Create (Badgir)-[:USED_IN]->(Africa)

Create (Malqaf)-[:USED_IN]->(Africa)

Create (Qanats)-[:USED_IN]->(Africa)

Create (Floodland:Clima{title:'Floodland'})

Create (Continental:Clima{title:'Continental'})

Create (world:Clima{title:'world'})

Create (Earthquake_region:Clima{title:'Earthquake_region'})

Create (Mediterran:Clima{title:'Mediterran'})

Create (Dessert:Clima{title:'Dessert'})

Create (heat_conduction)-[:IN_CLIMA]->(Continental)

Create (stilted_buildings)-[:IN_CLIMA]->(Floodland)

Create (uncouple_from_ground)-[:IN_CLIMA]->(Continental)

Create (pile_foundation)-[:IN_CLIMA]->(Floodland)

Create (drain_land)-[:IN_CLIMA]->(Floodland)

Create (turf_layer)-[:IN_CLIMA]->(Continental)

Create (green_roof)-[:IN_CLIMA]->(Continental)

Create (on_grade_building)-[:IN_CLIMA]->(world)

Create (elastic_wall_compound)-[:IN_CLIMA]->(Earthquake_region)

Create (elastic_joins)-[:IN_CLIMA]->(Earthquake_region)

Create (puzzle_structure)-[:IN_CLIMA]->(Earthquake_region)

Create (soft_bedded_walls)-[:IN_CLIMA]->(Earthquake_region)

Create (metal_clips)-[:IN_CLIMA]->(Earthquake_region)

Create (Shinbashira)-[:IN_CLIMA]->(Earthquake_region)

Create (self_balancing_mass)-[:IN_CLIMA]->(Earthquake_region)

Create (exoskeleton)-[:IN_CLIMA]->(Earthquake_region)
Create (water_collection)-[:IN_CLIMA]->(Mediterran)
Create (compact)-[:IN_CLIMA]->(Continental)
Create (pitched_roof)-[:IN_CLIMA]->(Continental)
Create (snow_insulation)-[:IN_CLIMA]->(Continental)
Create (plant_shading)-[:IN_CLIMA]->(Dessert)
Create (solar_thermal_system)-[:IN_CLIMA]->(world)
Create (Badgir)-[:IN_CLIMA]->(Dessert)
Create (Malqaf)-[:IN_CLIMA]->(Dessert)
Create (Qanats)-[:IN_CLIMA]->(Dessert)

Create (inner_walls:Part{title:'inner_walls'})
Create (foundation:Part{title:'foundation'})
Create (roof:Part{title:'roof'})
Create (facade:Part{title:'facade'})
Create (static_system:Part{title:'static_system'})

Create (heat_conduction)-[:PART_OF]->(inner_walls)
Create (stilted_buildings)-[:PART_OF]->(foundation)
Create (uncouple_from_ground)-[:PART_OF]->(foundation)
Create (pile_foundation)-[:PART_OF]->(foundation)
Create (drain_land)-[:PART_OF]->(foundation)
Create (turf_layer)-[:PART_OF]->(roof)
Create (green_roof)-[:PART_OF]->(roof)
Create (on_grade_building)-[:PART_OF]->(facade)
Create (elastic_wall_compound)-[:PART_OF]->(facade)
Create (elastic_joins)-[:PART_OF]->(facade)
Create (puzzle_structure)-[:PART_OF]->(facade)
Create (soft_bedded_walls)-[:PART_OF]->(facade)
Create (metal_clips)-[:PART_OF]->(facade)
Create (Shinbashira)-[:PART_OF]->(static_system)
Create (self_balancing_mass)-[:PART_OF]->(static_system)
Create (exoskeleton)-[:PART_OF]->(static_system)
Create (water_collection)-[:PART_OF]->(roof)
Create (compact)-[:PART_OF]->(facade)
Create (pitched_roof)-[:PART_OF]->(roof)
Create (snow_insulation)-[:PART_OF]->(roof)
Create (plant_shading)-[:PART_OF]->(facade)

Create (solar_thermal_system)-[:PART_OF]->(roof)

Create (Badgir)-[:PART_OF]->(roof)

Create (Malqaf)-[:PART_OF]->(roof)

Create (Qanats)-[:PART_OF]->(roof)

Create (yes:Scalable{title:'yes'})

Create (maybe:Scalable{title:'maybe'})

Create (heat_conduction)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (stilted_buildings)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (uncouple_from_ground)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (pile_foundation)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (drain_land)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (turf_layer)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (green_roof)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (on_grade_building)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (elastic_wall_compound)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (elastic_joins)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (puzzle_structure)-[:IS_SCALABEL]->(maybe)

Create (soft_bedded_walls)-[:IS_SCALABEL]->(maybe)

Create (metal_clips)-[:IS_SCALABEL]->(maybe)

Create (Shinbashira)-[:IS_SCALABEL]->(maybe)

Create (self_balancing_mass)-[:IS_SCALABEL]->(maybe)

Create (exoskeleton)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (water_collection)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (compact)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (pitched_roof)-[:IS_SCALABEL]->(maybe)

Create (snow_insulation)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (plant_shading)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (solar_thermal_system)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (Badgir)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (Malqaf)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

Create (Qanats)-[:IS_SCALABEL]->(yes)

<End of CODE>

6.6. Tabelle der verwendeten Smart Solutions

Solution	Deals	Category	Category2	building_p	Continent	Origin	Clima	ShortDescr
heat_conduction	equipment	pipe_system	equipment	inner_walls	Europe	Slovak	Continental	heat conduction using smoke to heat-walls
stilted_buildings	floods	foundation	basement_structure	foundation	Asian	Cambodia	Floodland	stilted up buildings on piles to protect from floods
uncouple_from_ground	ground	foundation	basement_structure	foundation	Europe	Island	Continental	uncouple from ground
pile_foundation	ground	foundation	basement_structure	foundation	Europe	Italian	Floodland	pile foundation
drain_land	ground	foundation	basement_structure	foundation	Europe	Italian	Floodland	drain parts of land to raise level
turf_layer	ground	envelope	roof_structure	roof	Europe	Island	Continental	turf layer
green_roof	ground	envelope	roof_structure	roof	Europe	Island	Continental	grass layer protection
on_grade_building	ground	envelope	basement_structure	facade	World	worldwide	world	construct building under the ground to protect from sun and coldness
elastic_wall_compound	quakes	envelope	facade_structure	facade	South_America	Columbia	Earthquake_region	compound of bamboo and filling material for flexible
elastic_joins	quakes	inner_structics	static_system	facade	South_America	Columbia	Earthquake_region	flexible joins allow structure to resonate
puzzle_structure	quakes	envelope	facade_structure	facade	South_America	Chile	Earthquake_region	puzzle of heavy stones scatter forces of earthquakes
soft_bedded_walls	quakes	envelope	facade_structure	facade	South_America	Chile	Earthquake_region	heavy stones are bedded an smaler ones to scatter forces of earthquakes
metal_clips	quakes	inner_structics	facade_structure	facade	South_America	Chile	Earthquake_region	strategic stones are bound with metal
Shinbashi	quakes	inner_structics	static_system	static_system	Asian	Japan	Earthquake_region	shock-absorbing central pillar
self_balancing_mass	quakes	inner_structics	static_system	static_system	Asian	Japan	Earthquake_region	shock-absorbing and stabilizing single hanged floors
exoskeleton	quakes	inner_structics	static_system	static_system	Asian	Japan	Earthquake_region	shock-absorbing surrounding framework

Solution	Deals	Used_in	Problem	Benefit1	Benefit2	Benefit3	EnergyNeed	Year	DraftInfl
heat_conduction	equipment	cold_areas	cold	re_using_heat/_coolness	getting construction dry	x	0	BC1500	no
stilted_buildings	floods	wet_ground	floods	interact with tiding water	transportation handling while flood	shaded places while draught	0	BC2000	yes
uncouple_from_ground	ground	earthquake	stability	less_contact_to_ground	x	x	0	BC2000	maybe
pile_foundation	ground	wet_ground	stability	stabilization	getting construction dry	x	0	BC2000	maybe
drain_land	ground		stability	stabilization	land gathering	x	0	BC2000	maybe
turf_layer	ground	cold_areas	cold	self_healing_sod_layer	insulation	water transportation	0	BC2000	yes
green_roof	ground	cold_areas	cold	self_healing_sod_layer	insulation	water transportation	0	BC2000	yes
on_grade_building	ground	all_areas	weather	protected building	can use ground heat	x	0	BC2000	yes
elastic_wall_compound	quakes	earthquake	stability	stabilization	thermal insulation	x	0	BC2000	maybe
elastic_joints	quakes	earthquake	stability	stabilization	x	x	0	BC3000	maybe
puzzle_structure	quakes	earthquake	stability	stabilization	thermal mass	x	0	BC3000	yes
soft_bedded_walls	quakes	earthquake	stability	stabilization	thermal mass	x	0	BC3000	yes
metal_clips	quakes	earthquake	stability	stabilization	material saving	x	0	BC3000	yes
Shinbashi_ra	quakes	earthquake	stability	stabilization	x	x	0	AD500	yes
self_balancing_mass	quakes	earthquake	stability	stabilization	x	x	0	AD500	yes
exoskeleton	quakes	earthquake	stability	stabilization	x	x	0	AD2000	maybe

Solution	Needs	Need2	Scalabel	Usable	Description
heat_conduction	inner walls	x	yes	Worldwide	distrbute heat or smoke through pipes to other building parts#
stilted_buildings	ground_contact	x	yes	Worldwide	stilted up buildings on piles to protect from floods, give shade while draught an let air circulate through gaps between walls and roof
uncouple_from_ground	construction	x	yes	Worldwide	less contact with ground keeps warmth inside and groundwater away
pile_foundation	ground_contact	x	yes	Worldwide	wooden piles rammed into the ground and built up with layers of stones for stability on swampy ground
drain_land	ground_contact	swampy ground	yes	Worldwide	drain parts of land with basket work to raise level of land
turf_layer	weather exposition	flat/pitched roofs	yes	Worldwide	mixture from turf layers, sod/grass and birch bark bring insulation and tough wall construction
green_roof	weather exposition	flat/pitched roofs	yes	Worldwide	mixture from grass layers / sod brings insulation and tough roof construction, grass can shadow and save water
on_grade_building	ground_contact	x	yes	Worldwide	construct building under the ground to protect from sun and coldness
elastic_wall_compound	construction	x	yes	Worldwide	compound of bamboo and filling material like straw for flexible walls resisting earthquakes
elastic_joins	construction	x	yes	Worldwide	flexible joins of bound bamboo allow the structure to resonate and move without breaking
puzzle_structure	construction	x	maybe	Worldwide	puzzle of giant sandstones scatter forces of earthquakes in 12° inclined walls
soft_bedded_walls	construction	x	maybe	Worldwide	heavy stones are bedded and smaller ones to scatter forces of earthquakes
metal_clips	construction	x	maybe	Worldwide	strategic stones are bound with metal clips
Shinbashi-ra	construction	self_balancing_mass	maybe	Worldwide	shock-absorbing central pillar, don't takes orthogonal power, just inner stability
self_balancing_mass	construction	central structure	maybe	Worldwide	shock-absorbing and stabilizing single hanged floors
exoskeleton	construction	x	yes	Worldwide	shock-absorbing surrounding framework made of bamboo or other flexible material to protect the surrounded structure

water_collection	rain	collector	basement_structure	roof	Europe	Italian	Mediterran	collecting water in e.g. basement
compact	shape	envelope	facade_structure	facade	Europe	Island	Continental	compact shape
pitched_roof	snow	envelope	roof_structure	roof	Europe	Slovak	Continental	more or less steep roof to avoid snow
snow_insulation	snow	collector	roof_structure	roof	Europe	Island	Continental	flat roofs
plant_shading	sun	envelope	facade_structure	facade	Africa	Arabic	Dessert	plant shading
solar_thermal_system	sun	collector	roof_structure	roof	World	worldwide	world	water conduction system to collect thermal energy
Badgir	wind	windcatcher	roof_structure	roof	Africa	Arabic	Dessert	wind scattering tower
Malqaf	wind	windcatcher	roof_structure	roof	Africa	Arabic	Dessert	wind catching building part
Qanats	wind	windcatcher	roof_structure	roof	Africa	Arabic	Dessert	underground cooling pipe

water_collection	rain	hot_areas	supply	water_supply	thermal mass	x	0	BC1000	maybe
compact	shape	cold_areas	cold	less_energy_loss	less material	x	0	BC1500	yes
pitched_roof	snow	cold_areas	cold	stabilization	insulation	x	0	BC2000	yes
snow_insulation	snow	cold_areas	cold	snow_as_insulation	can green roof	x	0	BC1500	yes
plant_shading	sun	hot_areas	heat	shading	air refreshing	x	0	BC2000	maybe
solar_thermal_system	sun	all_areas	supply	hot_water_supply	x	x	1	AD2000	no
Badgir	wind	hot_areas	heat	ventilation	fresh air supply	x	0	BC2000	maybe
Malqaf	wind	hot_areas	heat	ventilation	fresh air supply	x	0	BC2000	maybe
Qanats	wind	hot_areas	heat	cooling	x	x	0	BC2000	maybe

water_collection	waterproof insulation	x	yes	Worldwide	by collecting ground water fresh water for drinking or washing can be supplied
compact	construction	x	yes	Worldwide	most compact form would be the sphere _ as closer to it the better energy rate you have
pitched_roof	weather exposition	x	maybe	Worldwide	more or less steep roof to avoid snow
snow_insulation	construction	x	yes	Worldwide	Snow has a pretty good insulation value, nearly like industrial insulation, but works only if it's longer time cold enough that it don't melts away
plant_shading	weather exposition	x	yes	Worldwide	use plants an e.g. hanging lines as shading systems
solar_thermal_system	weather exposition	flat/pitched roofs	yes	Worldwide	water conduction system to collect thermal energy from the sund
Badgir	weather exposition	x	yes	Worldwide	Tower is catching wind in large opening and speeding up the air in thinner channels
Malqaf	weather exposition	x	yes	Worldwide	Tower let air stream through building
Qanats	Windcatcher	x	yes	Worldwide	cool air is drawn of underground tunnels / pipes by air circulation of badgir