

Wohnen 4.0

Digitale Plattform für leistbares Wohnen

S. Pibal, I. Kovacic, M. Lorbek,
R. Jakoubek, J. Reisinger,
R. Temel, M. Ilcik, M. Wimmer,
B. Kerbl, D. Travas, A. Bajric,
E. Hagmann, C. Hödl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

20/2023

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Wohnen 4.0

Digitale Plattform für leistbares Wohnen

DI. Sophia Pibal Bsc., Univ. Prof. DI. Dr. techn. Iva Kovacic,
DI. Dr. techn. Maja Lorbek, DI. Robin Jakoubek Bsc., DI. Julia Reisinger Bsc.
Integrale Bauplanung und Industriebau, Institut für interdisziplinäres
Bauprozessmanagement, TU Wien

Mag. arch. Robert Temel
Architektur- und Stadtforschung, Ingenieurbüro für Städtebau und
Raumplanung

Univ.Prof. DI. DI. Dr.techn. Michael Wimmer, Mag. Martin Ilcik,
DI Dr.techn. Bernhard Kerbl
Institute of Visual Computing & Human-Centered Technology/Research
Division of Computer Graphics, TU Wien

Mag. Martin Ilcik
Procedural Design s.r.o. & Co. KG

Architekt DI. Dario Travas, DI. Adrijana Bajric
ATP Planungs- und Beteiligungs AG

DI. Christoph Hödl
Hödl Ingenieurholzbau GmbH

Bmstr. DI. Elmar Hagmann
Dipl. Ing. Wilhelm Sedlak GesmbH

Wien, April 2022

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	9
2	Abstract	12
3	Ausgangslage	14
	3.1. Motivation	14
	3.2. Ziele	15
	3.3. Standes der Technik / Stand des Wissens	17
	3.3.1. Stand des Wissens der Forschungspartner	18
	3.3.2. Projekte der Forschungspartner	20
	3.3.3. Stand des Wissens im nationalen und internationalen Innovationssystem	22
4	Projekthalt	26
	4.1. Rahmenwerk der Digitalen Plattform Wohnen 4.0	26
	4.2. Wissensdatenbank	27
	4.2.1. Erfassung von modularen Bauweisen und Wohntrends	28
	4.2.2. Erfassung der Parameterdatenbank	28
	4.2.3. Expertinneninterviews	30
	4.2.4. Use Case Definition	30
	4.3. Modellbildung BIM4D2P	30
	4.3.1. Generierung der Disziplinmodelle & Datenstrukturen	31
	4.3.2. BIM to Production (BIM2P) Prozessansatz	32
	4.3.3. BIM for Design (BIM4D) Modellierungsansatz	33
	4.3.4. Generierung der BIM Objektbibliothek	34
	4.4. Modellbildung Parametric Habitat Designer	36
	4.4.1. Datenaustausch mit BIM4D2P auf Modulebene, Optimierung der Module anhand Ankerpunkte, Eingabe der Bewohnerbedürfnisse, einfache Darstellung	37
	4.4.2. Datenaustausch mit BIM4D2P hinsichtlich Metadaten und Normen, Eingabe der Grundstückdaten, komplexe Optimierung	37
	4.4.3. Interaktive Darstellung der Resultate	37
	4.4.4. Datenaustausch mit BIM4D2P hinsichtlich Einrichtung, interaktive Manipulation mit den Einrichtungsgegenständen	38
	4.4.5. Darstellung und Analyse der Zukunftsszenarien und Anordnungsvarianten	38
	4.5. Evaluierung des Rahmenwerks: Nutzerstudien	39
	4.5.1. Nutzerstudie 1: Baugruppe – Fokus Partizipation	39
	4.5.2. Nutzerstudie 2: Architekt:innen – Fokus Nutzbarkeit	39
	4.5.3. Nutzerstudie 3: Proof of Concept	40
5	Ergebnisse	42

5.1. Rahmenwerk der Digitalen Plattform Wohnen 4.0	42
5.2. Wissensdatenbank	43
5.2.1. Modulare Bausysteme & Modulare Wohnkonzepte.....	43
5.2.2. Modulbau-Katalog	47
5.2.3. Kriterienkatalog	48
5.2.4. Wohntrends & Wohnparameter	49
5.2.5. Wirtschaftliche Parameter.....	50
5.2.6. Expertinneninterviews mit Herstellern und Planern.....	51
5.2.7. Expertinneninterviews mit Architekt:innen und Bauträgern	52
5.2.8. Use Case: Baugruppen.....	54
5.3. BIM for Design to Production (BIM4D2P).....	55
5.3.1. Disziplinmodelle.....	56
5.3.2. BIM4D2P: BIM for Design, BIM to Production und BIM Objektbibliothek.....	58
5.4. Parametric Habitat Designer	62
5.5. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“	64
6 Schlussfolgerungen	65
6.1. Erkenntnisse für das Projektteam und die Öffentlichkeit.....	65
6.2. Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten	65
6.3. Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter	67
7 Ausblick und Empfehlungen	68
8 Verzeichnisse.....	69
9 Anhang.....	76
9.1. Data Management Plan (DMP)	76

1 Kurzfassung

Motivation und Forschungsfrage

Gleichzeitig mit der digitalen Transformation der Bauindustrie wurde auch, bedingt durch den steigenden Bedarf an kostengünstigem Wohnraum, der industrielle Wohnbau neu belebt. Bei Planungs- und Bauprozessen für Wohnbauten in modularen Bauweisen wurden die Potenziale digitaler Technologien in der Planung, dem Bauprozess und der Bewirtschaftung noch nicht ausreichend integriert. Im Forschungsprojekt „Wohnen 4.0“ wurde die Koppelung von digitalen Prozessen und modularen Bauweisen bzw. Baukastensystemen untersucht mit dem Ziel, die Produktion von Wohnraum nicht nur zu beschleunigen, sondern durch Skaleneffekte und optimierten Materialeinsatz Kosten- und Ressourceneinsatz zu minimieren.

Ausgangssituation/Status Quo

Bisherige Forschung zu BIM-basierten Off-Site Produktion ist stark auf die Prozessoptimierung und die Reduktion der Kosten und Zeit fokussiert, jedoch ohne die Nutzeranforderungen, wie z.B. Flexibilität und Adaptabilität bzw. Nutzerpartizipation, einzubinden. Die bisherigen Projekte sind aus der Perspektive der Bauunternehmen und Fertigteile-Industrie hervorgegangen und nicht aus der planerischen Perspektive, welche die Raumqualität, Nutzerbedürfnisse als auch sozio-politische Rahmenbedingungen berücksichtigen würde.

Projekt-Inhalte und Zielsetzungen

Im Forschungsprojekt „Wohnen 4.0“ wurde ein Rahmenwerk für die digitale Plattform „Wohnen 4.0“ entwickelt. Eine Wissensdatenbank basierend auf digitalen Werkzeugen ermöglichen eine integrale Projektabwicklung. Der Fokus wurde auf der Entwicklung und Nutzung von BIM-Objektbibliotheken für die modulare Off-Site Produktion im Geschößwohnbau gelegt. Erstmals werden auch Nutzer:innen beteiligt und dadurch der zunehmend wichtiger werdende Aspekt der Partizipation integriert. „Wohnen 4.0“ koppelt eine Wissensdatenbank und zwei Komponenten: das „BIM4D2P“ (BIM for Design to Production), welches primär die Planenden, Bau- und produzierenden Unternehmen adressiert während „PHD“ (Parametric Habitat Designer) für Nutzer:innen, Planenden und Bauträger konzipiert wurde. „BIM4D2P“ bildet die Schnittstelle zwischen Planung und Herstellung und ermöglicht die interdisziplinäre, direkte Datenübertragung der entwickelten BIM-Objekte in die Off-Site Produktion. Durch die Schaffung gemeinsamer Datenstrukturen in der Schnittstelle zwischen Bauteilplanung und -produktion können Datenverluste eliminiert werden. Mittels „PHD“ wird eine automatisierte Generierung und Visualisierung von Grundrissen und Gebäudeformen ermöglicht. PHD bietet zudem die Option von Szenarienbildungen die Entscheidungsfindung in der Lebenszyklusplanung ermöglichen.

Methodische Vorgehensweise

Innerhalb der Wissensdatenbank wurden die Kriterien, die als besonders wichtig in Verbindung mit den Zielen des Projekts identifiziert und dokumentiert. Anhand des Kriterienkataloges wurden Fallstudien nach i) Prozess, ii) Nachhaltigkeit und iii) Nutzung quantitativ bewertet. Es wurde ein Modulbau-

Katalog erstellt. Mittels Literaturrecherche und Analyse wurde eine Evaluierung der Wohntrends erstellt. Durch die Evaluierung wurden die qualitativen Parameter des Wohnens sowie die Anforderungen an Flexibilität und Adaptabilität für Off-Site Produktion, Institutionen, normative Rahmen, Akteure, Material, technische Systeme qualitativ erhoben. Die Analyse der technischen Parameter wurde in Form von technischen Constraints mit den Projektpartnern der Praxis erarbeitet. Die Untersuchung der rechtlichen Parameter, erfolgt anhand einer Evaluierung normativer Regelwerke. Wirtschaftliche Parameter wurden als Analyse des Wiener Wohnbauförderungs- und Wohnhaussanierungsgesetzes erstellt. Die nutzerspezifischen Parameter wurden anhand einer Analyse des Use Case, einer Wiener Baugruppe, erhoben. Architekt:innen, Bauträger und Hersteller-, Planende bzw. Baufirmen wurden mittels Leitfaden-gestützten Expertinneninterviews befragt. Ein Konzept des BIM4D2P wurde entwickelt, das den Design-Build-Operate Prozess abbildet. Diesem vorangehend wurden mittels forschungsgeleiteter Lehre Disziplinmodelle generiert. Die Workflows der Disziplinmodelle und die Expertinneninterviews liefern notwendige Informationen zu Prozess-, Projektabwicklungs- und Datenstrukturen, die zur Modellkonzipierung des BIM2P genutzt werden. Um Parameter und Eingabedaten, die die BIM-Objektbibliothek eines modularen, mehrgeschossigen Wohnbauprojekts beinhalten muss, wurde einen Reverse-Engineering-basierten Top-down und Bottom-up Modellierungsansatz untersucht. Für den PHD wurde die bestehende Software "Michelangelo" von Procedural Design auf die Projektdomäne ausgebaut und mit neuen Konzepten erweitert. Die neuen Konzepte für integrale Planung im architektonischen Bereich umfassen „Prefabricates“, asynchrone Aggregatoren, sowie einen Grundrissgenerator. Um das Rahmenwerk der digitalen Plattform zu testen und zu verifizieren wurden drei Nutzerstudien durchgeführt.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Wesentliche Ergebnisse des gegenständlichen Forschungsprojekts sind die Konzepte für BIM4D2P sowie PHD, die digitale BIM-Objektbibliothek, sowie die Schaffung von gemeinsamen Schnittstellen und Datenstrukturen für den Daten- und Informationsaustausch entlang der Wertschöpfungskette. In „Wohnen 4.0“ kann durch eine digitale, BIM-basierte Planung, Modellierung und Optimierung eine Kosten- und Bauzeitreduktion sowie eine Individualisierung im Wohnbausektor erzielt werden und somit nachhaltiger und leistbarer Wohnraum geschaffen werden. Um die Potenziale digitaler Technologien bei modularen Bauweisen im Geschoßwohnbau nutzen zu können, wird auf die Vernetzung von Planenden, Bauunternehmen und Bauproduzenten, sowie Nutzer:innen und Bauträgern gesetzt. Das Projekt untersuchte die Potenziale der Digitalisierung und Vorfertigung in der Planung und im Bau von modularen Geschoßwohnungsbauten entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Ausblick

Die erreichten Ergebnisse in „Wohnen 4.0“ bilden die Basis für das Folgeprojekt „**Circular Twin**“ - Ein digitales Ökosystem zur Generierung und Bewertung kreislauffähiger Digitaler Zwillinge. Das Ziel von „Circular Twin“ (FFG-Proj. Nummer: 893501) ist, Wiederverwendbarkeit und -verwertbarkeit der Materialien, Komponenten und Bauteile im Lebenszyklus bereits in der frühen Planungsphase eines Bauprojektes zu ermöglichen und zu bewerten. Um dies zu erreichen, schlägt dieses Vorhaben ein digitales Ökosystem zur Generierung und Bewertung kreislauffähiger Digitaler Zwillinge sowie Visualisierung von End of Life-Szenarien via Virtual Reality in den frühen Planungsphasen vor. Neben Generative De-

sign Methoden, die eine automatisierte und variantenreiche Generierung von Digitalen Zwillingen, gekoppelt an eine BIM Objektdatenbank ermöglichen, werden auch Algorithmen konzipiert, die eine Bewertung der Kreislauffähigkeit, Materieller Gebäudepässe (MGP) und EU-Taxonomie-Konformität ermöglichen.

2 Abstract

Motivation and research question

Simultaneously with the digital transformation of the construction industry, industrial residential construction has also experienced a renaissance due to the increasing demand for affordable housing. In planning and construction processes for modular residential buildings, the potentials of digital technologies have not yet been sufficiently integrated into the planning, construction process and management. This research project investigated the coupling of digital processes and modular construction methods or systems to explore their potential for accelerating housing production, but also for minimizing the use of costs and resources through economies of scale and optimized use of materials.

Initial situation/status quo

Previous research on BIM-based off-site production has strongly focused on process optimization and cost and time reduction. However, user requirements such as flexibility and adaptability or user participation were not considered. Previous projects have been developed from the perspective of construction companies and the precast industry and not from the planning perspective, which would take into account spatial qualities, user needs as well as socio-political framework conditions.

Project contents and objectives

In this research project, the framework conditions for the digital platform "Housing 4.0" were developed. The platform supports integral project management through a knowledge database and the coupling of digital tools. The platform enables the development and use of BIM object libraries for modular off-site production in multi-storey residential construction. For the first time, users are also involved, thus integrating the increasingly important aspect of participation. "Housing 4.0" couples two tools: the "BIM4D2P" (BIM for Design to Production), which is primarily aimed at planners, construction and production companies, and "PHD" (Parametric Habitat Designer) for users, planners and developers. "BIM4D2P" forms the interface between planning and production and enables interdisciplinary, direct data transfer of the developed BIM objects to on-site production. By creating common data structures at the interface between component planning and manufacturing, data losses can be eliminated. "PHD" makes automated generation and visualization of floor plans and building shapes possible. PHD also enables the creation of lifecycle scenarios for decision making and lifecycle planning.

Methodical procedure

The criteria most relevant to the objectives of the project were identified and documented. Using the criteria catalogue, case studies were quantitatively evaluated for i) process, ii) sustainability, and iii) use. A catalogue for modular buildings was developed. An evaluation of housing trends was conducted based on a literature review and analysis. The qualitative parameters of housing and the requirements of flexibility and adaptability for off-site production, institutions, normative frameworks, actors, materials and technical systems were qualitatively assessed. The analysis of the technical parameters was developed in the form of technical constraints with the project partners of the practice. The assessment of legal parameters examined normative regulations. The economic parameters were developed

using the analysis of the Vienna Housing Subsidy and Housing Rehabilitation Act. The user-specific parameters were collected on the basis of an analysis of the use case, a Viennese building group. Architects, developers, manufacturers, planners and construction companies were interviewed using a semi-structured approach. A BIM4D2P concept was developed to map the design-build-operate process. This was preceded by the generation of discipline models using research-guided teaching. The workflow of discipline models and expert interviews provided necessary information on process, project workflow and data structures, which were used for the model design of the BIM2P. A top-down and bottom-up modelling approach based on reverse engineering was explored to determine parameters and input data that the BIM object library of a modular, multi-story residential project must contain. For PHD, Procedural Design's existing "Michelangelo" software was extended to the project domain and new concepts were added. New concepts for integral planning in the architectural domain include "prefabricates," asynchronous aggregators, and a floor plan generator. Three user studies were conducted to test and verify the digital platform framework.

Results and conclusions

Key results of the present research project are the concepts for BIM4D2P as well as PHD, the digital BIM object library and the creation of common interfaces and data structures for data and information exchange along the value chain. "Housing 4.0" platform, based on digital, modelling and optimization can achieve a reduction in costs and construction time as well as individualization in residential construction to create sustainable and affordable housing. To be able to exploit the potential of digital technologies in modular construction methods in multi-story residential construction, the platform and digital tools utilise the networking of planners, construction companies and construction producers as well as users and building owners. The project investigated the potential of digitization and prefabrication in the planning and construction of modular multi-story residential buildings along the entire value chain.

Outlook

The results achieved in "Housing 4.0" form the basis for the follow-up project "Circular Twin" - A digital ecosystem for creating and evaluating circular digital twins. The goal of "Circular Twin" (*FFG-Proj. Nummer: 893501*) is to realize "Circular Construction": to enable and evaluate the reusability and recyclability of materials, components, and building parts in the life cycle already in the early planning phase of a construction project. To achieve this, this project proposes a digital ecosystem for generating and evaluating circular digital twins and visualizing end-of-life scenarios using virtual reality in the early design phases. In addition to generative design methods that enable automated and variant generation of digital twins, algorithms are also conceived in conjunction with a BIM object database that enable assessment of circularity, material passport (MGP) and compliance with EU taxonomy.

3 Ausgangslage

3.1. Motivation

Die größte Herausforderung im Wohnsektor ist ein stetig steigender Bedarf nach leistbaren Wohnungen in zentralen urbanen Lagen. Um die Nachfrage zu befriedigen, werden international als auch in Europa erneut industrielle Wohnungsbauten erforscht und gebaut. Im Unterschied zu seriellen und typisierten Plattenbauten aus den 1970er Jahren, die durch Monotonie in Verruf gerieten, setzen solche innovativen Wohnprojekte heute auf modulare Bauweisen und Baukastensysteme¹ sowie nachhaltige Holztechnologien. Durch ein hohes Maß an Vorfertigung, als charakteristisches Merkmal modularer Bauweisen und Baukastensysteme, kann eine Erhöhung der Ausführungsqualität erreicht, die Bauzeit verkürzt und die Kosten, insbesondere durch Skaleneffekte, erheblich verringert werden. Auch in Österreich gibt es bereits spezialisierte Anbieter für modulare (Holz)Bauweisen sowie realisierte mehrgeschossige Wohnobjekte. Allerdings wurden die Potenziale digitaler Technologien sowohl bei der Planung als auch bei realisierten modularen Geschosswohnbauten in Österreich bzw. im D-A-CH-Raum bis dato kaum genutzt. Der Einsatz von digitalen Werkzeugen bei modularen Geschosswohnbauten ermöglicht einerseits die Optimierung der Planungs- und Bauprozesse als auch die Überprüfung der Individualisierung und Adaptierbarkeit von Modulen und Gebäuden bei unterschiedlichen Bauweisen. Durch Individualisierung der einzelnen Wohneinheiten und Gebäude kann dem Trend zur Partizipation als einem der wichtigsten Wohntrends Rechnung getragen werden. Digitale Gebäude-Modelle erlauben schnelle Designüberprüfungen und Variantengenerierungen für flexible und schnell adaptierbare Grundrisse in Variation von unterschiedlichen Bauweisen. Demografischer Wandel, räumlich disparate Entwicklung, Migration und Re-Urbanisierung führen zu einer erhöhten Nachfrage nach leistbarem, sofort verfügbarem Wohnraum in den Ballungsräumen. Neu ankommende, hochmobile Fachkräfte aus dem In- und EU-Ausland sowie neu gegründete Haushalte (junge Familien, Paare nach der Familienphase, junge und ältere Singlehaushalte) konkurrieren hingegen um ein sehr eingeschränktes Segment am Wohnungsmarkt: die privaten Mietwohnungen im Altbaubestand und gebrauchte Eigentumswohnungen. Neue Wohnungen kommen erst nach einer Bauzeit von zwei Jahren auf den Markt. Der kontinuierliche Zuzug in die wachsenden Städte, günstige Kredite sowie Konkurrenz zwischen privatwirtschaftlichen Wohnungsunternehmen und gemeinnützigen Wohngenossenschaften führten zu stetigem Preisanstieg sowohl bei Kauf von Gebrauchtimmobilien (Mundt und Wagner 2017), als auch bei Neubauten und bei Grundstücken vor allem in Salzburg, Innsbruck und in Wien (Statistik Austria 2018). Das Thema „Leistbarer Wohnbau“ ist in den wachsenden urbanen Agglomerationen hochaktuell. Partizipation wird, durch den Trend zu gemeinschaftlichem Wohnen wie Baugruppen, Co-Housing und Clusterwohnungen, auch bei traditionelleren Wohnformen zunehmend wichtiger. Nachhaltiger Umgang mit Ressourcen sowie der stetige Wandel in den Haushaltskonstellationen und die Änderun-

¹ Wir verwenden die Begriffe modulare Bauweise, serielle Bauweise und Baukastensysteme, um damit die unterschiedlichen Arten der industriellen Bauweisen zu beschreiben, einschließlich Modulbauten als raumgroße Einheiten, Baukastensystem als aufeinander abgestimmte Bauelemente. Die Begriffe modulare Bauweise und Systembauweise verwenden wir als Synonyme. Mit dem Begriff ‚modulare Bauweise‘ sind sowohl Raummodule als auch Baukastensysteme basierend auf einzelnen Modulen bzw. Elementen gemeint. Wir weisen darauf hin, dass die Bauweise, die als Fallbeispiel untersucht wird, in Abstimmung mit den beteiligten Planenden und Bauunternehmen ausgewählt wird sowie in Hinblick auf größtmögliche Flexibilität und Adaptierbarkeit.

gen der Nutzerpräferenzen erfordern stärkere Beachtung von Adaptierbarkeit bzw. Flexibilität im Lebenszyklus von Wohnungsneubauten. Das Projekt „**Wohnen 4.0**“ setzt auf die Integration von digitalen Technologien in der Planung von modularen Geschoßwohnbauten. Um die Potenziale digitaler Technologien bei modularen Bauweisen im Geschoßwohnbau nutzen zu können, setzen wir auf die Vernetzung von Planenden, Bauunternehmen und Bauproduzenten, sowie Nutzer:innen und Bauträgern. Das Projekt untersucht die Potenziale der **Digitalisierung und Vorfertigung in der Planung und im Bau von modularen Geschoßwohnbauten** entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Besonderer Fokus liegt auf dem partizipativen Design und der Flexibilität und Adaptierbarkeit im Lebenszyklus.

3.2. Ziele

Das primäre Ziel des Projektes ist die Entwicklung des Rahmenwerks für die **BIM-basierte, digitale Plattform „Wohnen 4.0“**. Der Fokus liegt auf Nutzung der BIM-Potenziale für die modulare off-site Produktion im Geschoßwohnbau, um dadurch die Optimierung der Planung und Umsetzung, Kostenreduktion, Verkürzung der Bauzeit und Individualisierung (mass customization) zu erzielen. Die digitale Plattform dient als gemeinsame Wissensbasis für die Planenden und Bauunternehmen sowie Nutzer:innen und Bauträger. Weiters bietet die Plattform durch die Kopplung der digitalen Planungswerkzeuge ein Planungs- und Produktionsunterstützungs-Komponente (BIM4D2P – BIM for Design to Production) sowie eine Komponente zur auf den Nutzerbedürfnissen basierten automatisierten Grundriss-Generierung und Visualisierung (PHD – Parametric Habitat Designer). Ein wesentliches Ziel ist die Konzipierung und Erstellung von digitalen BIM-Objektbibliotheken samt relevanter Parameter² und Datenstrukturen, welche eine Datenübertragung zum PHD ermöglichen, sowie die Entwicklung der Methodik zur automatisierten Grundrissgenerierung mittels des **Parametric Habitat Designer**. Somit bietet die „Wohnen 4.0“ Plattform einen modellhaften digitalen Prozess für die Konzeption und Produktion von **leistbarem, modularem Wohnungsbau in großem Maßstab**, mit **verkürzten Bauzeiten** und mit **baukulturellen Qualitäten** aufgrund der **Individualisierung**. Das Rahmenwerk und die Methodik für das **BIM4D2P Komponente** bilden die Basis für die Digitalisierung des Design-Build-Operate-Prozesses. Dabei sollen vordergründig Datenstrukturen geschaffen werden, um den interdisziplinären Datenaustausch der digitalen Objektbibliotheken (digitale BIM-Module und -Komponenten) zu ermöglichen. Die digitalen BIM-Objektbibliotheken für die Planenden und die Bauproduktion sollen eine weitestgehend optimierte und semi-automatisierte Produktion von Wohnmodulen und -komponenten unterstützen. Das **PHD (Parametric Habitat Designer) Komponente** richtet sich sowohl an die Nutzer:innen als auch an Planende und Bauträger und ist zudem an die BIM4D2P-Objektbibliothek gekoppelt. **Die Algorithmen für die PHD Komponente**, als automatisierter Grundrissgenerator und Visualisierungswerkzeug, baut einerseits auf den Nutzer:innen-Bedürfnissen und andererseits auf der Geometrie und Parametrik der BIM-Objekte auf. PHD generiert die Grundrisse und die Aufteilung der Wohneinheiten sowie Nichtwohnnutzungen im Gebäude unter Beachtung der Parameter (technische, rechtlich-normative Anforderungen und Einschränkungen) und der Nutzerwünsche (mass customization). PHD erlaubt einerseits

² Parameter definieren wir als technische, rechtliche, normative und nutzerspezifische Anforderungen, die bei der Planung von vorfabrizierten, modularen Geschoßwohnbauten zu beachten sind und die als Property Sets in die jeweiligen BIM-Module und Objekte eingebettet werden.

die Planungsoptimierung für die Bedürfnisse von spezifischen Nutzergruppen als auch die Überprüfung der Adaptierbarkeit im Lebenszyklus des Wohngebäudes (Änderung von Wohnungsmix, hybride Nutzungen usw.) anhand parametrischer Varianten. PHD wurde für die Integration von partizipativem Design und die Einbettung der Nutzeranforderungen in der Planung in diesem Projekt mittels Nutzerstudien erprobt. Ebenso kann durch das PHD Komponente die Abbildung unterschiedlicher Wohnungskombinationen (Szenarienbildung) für Wohnungsunternehmen und Bauträger visualisiert werden.

Die Methodik der Integralen Planung fehlt in der Planungspraxis und den Prozessen für die Entwicklung der industrialisierten Bauproduktion (off-site production, Vorfertigung) und ist noch nicht etabliert. Somit ist das Ziel des gegenständlichen Projekts, die Entwicklung einer integralen Methodik als auch die Optimierung der BIM-gestützten Planungs- und Bauprozesse, durch die Schaffung von gemeinsamen Datenstrukturen, offenen Schnittstellen und die Entwicklung von Standards für die Erstellung von gemeinsamen BIM-Objektbibliotheken für Design-Built-Operate-Prozesse in enger Zusammenarbeit zwischen Planenden und Bauunternehmen.

Die Ansprüche unterschiedlicher Akteure (Stakeholder aus der Planung, Bauwirtschaft, Wohnungsunternehmen sowie Endnutzer:innen) werden mit jenem Ziel erfasst und evaluiert, um ein Anforderungsprofil für die geplante digitale Plattform zu definieren. Industrialisierung und Digitalisierung der Bauwirtschaft sind nicht nur eine technische Herausforderung, sondern erfordern komplexe Lösungen, die gesellschaftliche, ökonomische und politische Einschränkungen mitberücksichtigen müssen (Ågren und Wing 2014). Durch Analyse der Bau- und Wohnwirtschaft, der Wohnpolitik sowie des legislativen Rahmens im österreichischen Kontext werden die Chancen und Hemmnisse der Digitalisierung am Wohnbausektor identifiziert und Strategien für die erfolgreiche Überwindung der Barrieren und eine effiziente Ausnutzung der Potenziale festgelegt. Besonderer Fokus wird auf die Hemmnisse, die aus dem Schutz des geistigen Eigentums (betriebliches Know-How, Patente etc.) resultieren, gelegt.

Wie Albus und Drexler festhalten, ist die Vorfertigung nur eine von vielen Strategien zur Schaffung von bezahlbarem Wohnraum (2017). Diese technische Strategie muss mit anderen Maßnahmen kombiniert und komplementiert werden, dazu zählen politische (Rahmenbedingungen), wirtschaftliche (Finanzierung), soziale und organisatorische Fragen (Partizipation, Rechtsformen), Entwurf und Gebäudetypologie (Architektur), Städtebau, Standards und schließlich spielen auch die Methoden der Planung und Projektentwicklung eine maßgebliche Rolle (Albus und Drexler 2017).

Das Rahmenwerk für die digitale Plattform „Wohnen 4.0“ soll eine integrale Projektabwicklung durch Kooperation zwischen Planenden und Bauunternehmen ermöglichen. Die „Wohnen 4.0“ Plattform enthält neben digitalen Objekten auch eine Wissensdatenbank samt den wesentlichen Aspekten für die Entwicklung von modularen, leistbaren Wohnprojekten.

Im Unterschied zu nationalen und internationalen Forschungsprojekten, die vorwiegend auf Kooperation zwischen professionellen Stakeholdern (Planende, Bauindustrie, Facility Management) setzen, werden im vorliegenden Projekt auch Nutzer:innen beteiligt und dadurch der zunehmend wichtige Aspekt der Partizipation beachtet. Darüber hinaus setzt das Projekt auf Adaptabilität und Flexibilität als entscheidende Kriterien für die Auswahl der modularen Bauweise bzw. Baukastensystems, da dadurch eine Optimierung der Ressourceneffizienz im Lebenszyklus, die Verlängerung der Gebäudenutzungsphase und eine Erhöhung der Lebensqualität erreicht werden kann.

Der Fokus der Untersuchung liegt auf einem spezifischen Fallbeispiel (Use Case), dessen Rahmenbedingungen gezielt im Zuge der Projektentwicklung festgelegt wurden. Das Projektkonsortium wählte für die Fallstudie eine etablierte Gebäudetypologie: einen Geschoßwohnbau, dessen technische Konzeption von einem Generalplaner in Kooperation mit dem Generalunternehmen erfolgt, während die funktionale Planung nach Prinzipien des partizipativen Designs unter Beteiligung einer spezifischen Nutzergruppe (Baugruppe) umgesetzt wird.

Der Schwerpunkt liegt auf einem offenen Baukastensystem mit unterschiedlichen Herstellern. Diese Prämisse spiegelt die Struktur des österreichischen Bau- und Baunebengewerbes mit mehrheitlich KMUs wider und erlaubt die Entwicklung eines offenen Systems. Weitere wichtige Prämissen der Plattform „Wohnen 4.0“ sind offene Schnittstellen. Zurzeit sind Datenstrukturen für BIM-Objekte kaum vorhanden. Ein Framework für Datenstrukturen, das im Rahmen des Projektes entwickelt wurde, soll die Übertragung von Daten systemunabhängig von Planung zu Bauproduktion ermöglichen.

Um leistbaren Wohnungsbau auf Basis industrieller Bauweisen voranzutreiben, verbindet das Projekt drei wichtige Bereiche: **BIM-basierte Planung und Produktion, Vorfertigung** und **partizipatives Design** bzw. Individualisierung.

3.3. Standes der Technik / Stand des Wissens

Die Bauindustrie erfährt zurzeit eine digitale Transformation. Die Prozesse in der Immobilienwirtschaft (Planen, Bauen, Betreiben) werden entlang der Wertschöpfungskette zunehmend digitalisiert. Um jedoch die vollen potentiale der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) nutzen zu können, ist eine Integration und Kopplung der einzelnen digitalen Prozesse, als auch aller Stakeholder notwendig. Gerade die Kopplung von Planung und Errichtung – vom Design zur Produktion – hat das Potenzial eine der wesentlichsten Herausforderungen unserer Zeit und das Grundbedürfnis unserer Gesellschaft, nämlich die Schaffung von leistbarem Wohnraum, zu revolutionieren. Durch den Einsatz von Building Information Modelling (BIM) und digitalen Werkzeugen in der Planung und der industriellen Bauproduktion wird es möglich, die Errichtungskosten und die Bauzeit erheblich zu reduzieren, sowie auch die zukünftig immer mehr zunehmende notwendige Flexibilität und Adaptabilität der Grundrisse und Gebäude zu gewährleisten. Industrielles Bauen erlebt gegenwärtig, bedingt durch die zunehmende Urbanisierung und den steigenden Bedarf an kostengünstigem Wohnraum in zentralen urbanen Lagen, eine Renaissance. Industrieller Wohnbau durchlief in seiner Entwicklung fünf Generationen (Ågren und Wing 2014). Philipp Meuser identifizierte die ersten vier Generationen als Gebäude, Gebäudeabschnitt, Wohneinheit und Bauteilkatalog (Meuser 2019). Die letzte, die fünfte Generation der industriellen Wohnbauproduktion basiert Meuser zufolge auf dem individuellen Entwurf, der dann in vorgefertigte Elemente unterteilt wird (Meuser 2019). Individualisierung, die insbesondere im Bereich der Geschoßwohnbauten zunehmend an Bedeutung gewinnt, bedeutet jedoch weniger Automatisierung und eine Verlangsamung des Planungsprozesses, so Lidelöw, welche die Fertigteilproduktion am schwedischen Wohnsektor analysierte (Lidelöw 2017). Die Digitalisierung der Planungsprozesse basierend auf digitalen Plattformen und der Einsatz parametrischer Modellierung ermöglicht ein partizipatives und individualisiertes Design bei modularen, vorgefertigten Geschoßwohnanlagen. In der industriellen Vorfertigung sind digitale Produktionstechniken in den meisten Betrieben Standard. Diese Er-

höhung der Produktionseffizienz benötigt jedoch zeitintensive Datenvorbereitung. Der Datenaustausch zwischen Produktionsunternehmen und Planern ist meist mit mehr Zeit und höheren Kosten verbunden, da Informationen häufig nicht kompatibel erstellt werden und diese aufwendig nachbereitet werden müssen, oft kommt es sogar bis zur Neuerstellung der Daten. Um eine effiziente, digitale Datenkette gewährleisten zu können, ist auf die Schnittstelle zwischen Planung und Herstellung in der frühen Planungsphase daher besonderer Fokus zu legen. Dies kann durch informationsreiche 3D-Modelle und eine BIM-Planungsweise erreicht werden, da alle zu produzierenden Gebäudeelemente direkt an die digitale Produktion weitergeleitet werden können (Matcha 2010). Im seriell gefertigten, industrialisierten Wohnungsbau ergeben sich durch die Produktion gleicher Bauprodukte in hoher Stückzahl erhebliche Einsparpotenziale. Auch die „Erfindung eines neuen Details“ kann entfallen. Durch die BIM-Planungsweise können aufgrund des Wegfalls von ständigen Anpassungsplanungen im Planungsprozess langfristig Kostensenkungen erreicht werden. Die Planungs- und Produktionsoptimierung kann bestmöglich mit unabhängigen Open-Source Systemen und dadurch echtes industrialisiertes Bauen erreicht werden (TU München 2018). Es gibt noch wenig Forschung über BIM-Anwendung und -Implementierung in der Fertigung in der Bauindustrie und eine Wissenslücke von BIM für Produktion (Off-Site Produktion). Die bisherige Forschung konzentrierte sich auf das Thema BIM-Objekte und deren grafischen und nicht-grafischen Inhalt. Auf die BIM-Anwendung und die Workflows innerhalb der Produktionsunternehmen, die Schnittstellen und den Datenaustausch mit weiteren Unternehmensfunktionen wurde bis dato nicht eingegangen (Dawood et al. 2016). Pasetti Monizza et al. (2018) haben die Potentiale und Probleme von parametrischen und generativen Designtechniken in der Off-Site Produktion (Massenproduktion) im Bauwesen anhand der Glued Laminated Timber (GLT) Industrie untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass durch parametrische Algorithmik in der GLT Herstellung Verbesserungen in der Effizienz der Fertigung, sowie auch in der Produktionseffizienz festgestellt werden können. Aufgrund der fehlenden Industrie 4.0 Ansätze in der gewöhnlichen Wertschöpfungskette mussten jedoch auch Einschränkungen berücksichtigt werden.

3.3.1. Stand des Wissens der Forschungspartner

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Integrale Bauplanung und Industriebau - TU Wien

Die Forschungsgruppe für Integrale Planung hat einschlägige Kompetenz und Erfahrung in Erforschung und Entwicklung der Methoden für integrale, interdisziplinäre Planung gestützt durch BIM (Building Information Modeling) und digitale Planungswerkzeuge (Simulation, Prädiktion). Die Hypothese, dass BIM das Potential birgt, die Fragmentierung der Bauindustrie (Planung, Errichtung und Betrieb) zu reduzieren und den größten Nutzen entlang des Lebenszyklus von Gebäuden aufzuweisen, wird empirisch mittels Studierendenexperimenten untersucht und durch forschungsgeleitete Lehre im Integrated Design Lab umgesetzt. Zu dieser Experimentreihe (Forschungsprojekt BIM_sustain), welche erstmalig die BIM-gestützten Planungsprozesse qualitativ und quantitativ untersucht, wurden zahlreiche Publikationen veröffentlicht. Die Forschungsschwerpunkte im Bereich von BIM liegen auf der Modellierung und dem Datentransfer im interdisziplinären Kontext (an der Schnittstelle zwischen Architektur und Bauwesen), der Schaffung von Transferregeln für den reibungslosen Datenaustausch (Doctoral College Computational Design), der Definition der Workflows für die Geometrieübertragung ins

Building Energy Modelling (BaMa_Balanced Manufacturing) sowie der automatisierten Erstellung von Materiellen Gebäudepässen und Ökobilanzen (BIMaterial).

Institute of Visual Computing and Human-Centered Technology / Research Division of Computer Graphics - TU Wien

Die Rendering- und Modeling-Gruppe des Instituts für Visual Computing and Human-Centered Technology an der TU Wien, betreibt seit fünfzehn Jahren Forschung zu Problemstellungen, die Informatik und Architektur verbinden. Im GameWorld Projekt haben die Forschenden zusammen mit einem Industriepartner Methoden zur algorithmischen Erzeugung von Gebäuden und Städten für Computerspiele entwickelt. Automatische Planung und Einrichtung der Innenräume hat dann das Data-Driven Procedural Modeling of Interiors Projekt unter die Lupe genommen. Die Forschungsgruppe hat erfolgreich das EU Projekt Harvest 4D koordiniert und damit die Grenzen der 3D-Datenerfassung und -Darstellung neu gesetzt. Obwohl die Expertise vorwiegend in Vorbereitung und Darstellung komplexer Modelle liegt, werden außer Geometrie und Materialien in letzter Zeit auch zusätzliche Daten herangezogen. Als Mitglied des Smart Communities Cluster werden Methoden für ein besseres Verständnis komplexer, zeitabhängiger urbaner 3D-Daten entwickelt. Im jüngsten Projekt SCI_BIM befasst sich die Forschungsgruppe gemeinsam mit dem Forschungsbereich Integrale Bauplanung und Industriebau mit Datenerfassungsmethoden für BIM.

Procedural Design s.r.o. & Co. KG

Procedural Design spezialisiert sich auf generative und parametrische 3D-Modellierung. Das junge Unternehmen der TU Wien entwickelt eine eigene App für die Erzeugung architektonischer Modelle. Sie basiert auf 10-jähriger universitärer Forschung. Eine neuartige graphische Schnittstelle wurden im Rahmen eines creative_pioneer Projekts der Wirtschaftsagentur Wien entwickelt.

ATP Planungs- und Beteiligungs AG

ATP war am Projekt FreeBIM in Tirol beteiligt. Im Rahmen des Projektes wurde in Kooperation zwischen Planern und Unternehmen eine einheitliche Parameterstruktur für den Bereich Hochbau entwickelt und in Form eines frei zugänglichen ASI-Merkmalsservers zur Verfügung gestellt. Diese Parameterstruktur kann auch bereits für verschiedene Softwaresysteme wie REVIT, ArchiCAD etc. heruntergeladen werden. Das Projekt wurde verlängert und in der Folge wird ein Konzept zum neuen freeBIM-Tirol-Standard und der freeBIM-Tirol-Datenbank entwickelt.

Robert Temel

Robert Temel führte mehrere Studien zum Thema Baugruppen und partizipative Planung durch. Dazu zählen unter anderem die Studie über den Entstehungsprozess von Baugemeinschaftsprojekten in der Wiener Seestadt Aspern mit Fokus auf partizipativer Planung und kooperativer Planung zwischen den Gruppen im Auftrag der Wiener Wohnbauforschung (MA 50) sowie eine Studie im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zum Thema Konzeptvergabe in deutschen Städten.

Dipl. Ing. Wilhelm Sedlak GesmbH

Das Bauunternehmen Sedlak war im FFG Forschungsprojekt BauOptimizer vertreten. Im Projekt BauOptimizer – Software-Tool für energie- und kosteneffiziente Bauplanung – wurde eine Software zur Baukosten- und Wärmeeffizienzapproximation architektonischer Entwürfe entwickelt.

3.3.2. Projekte der Forschungspartner

INFO – Nummer: 825384

INFO - Interdisziplinäre Forschung zur Energieoptimierung in Fertigungsbetrieben - befasst sich mit der Energieoptimierung in Fertigungsbetrieben. Im ersten Schritt wird durch energetische Analyse und Erstellung von Simulationsmodellen der Mikrostrukturen von Produktionsbetrieben (Prozesse und Einzelmaschinen) Optimierungspotential generiert. Die Ergebnisse fließen in die Produktionssysteme und das Hallenlayout ein. Die Zusammenführung der einzelnen Ebenen ergibt schlussendlich eine Gesamtsimulation, mit welcher der minimale Energieverbrauch entlang der Wertschöpfungskette berechnet werden kann. Das Projekt INFO bietet durch die gekoppelte Simulation die Integration der Teilmodelle: Maschine – Prozess – Gebäude – Energieversorgung, womit die energieeffiziente Fertigung ganzheitlich analysiert und optimiert werden kann. *Fördergeber: FFG, Klima- und Energiefonds im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“, Proj. Nummer 825384*

BaMa – Nummer: 840746

In BaMa – Balanced Manufacturing – wird eine simulationsbasierte Methode für Monitoring, Prädiktion und Optimierung der Produktionsplanung entwickelt. Das Werkzeug ermöglicht es, Energieeffizienz in das Zielsystem der PPS zu integrieren und neben den wirtschaftlichen Zielen Zeit, Kosten und Qualität zu verfolgen. Die Stellgrößen umfassen dabei zusätzlich zur Auftragsplanung auch die optimierte Ansteuerung von Aggregaten in der Produktionsperipherie (TGA und Gebäude). Der Leuchtturmcharakter des Projekts wird durch einen systematischen, umfassenden und interdisziplinären Ansatz veranschaulicht. *Fördergeber: Flagship Project e!MISSION.at / FFG, Proj. Nummer 840746*

BIM_sustain – Nummer: 836461

In BIM_sustain – Process Optimisation for BIM-supported Sustainable Design – werden Strategien zur Gestaltung von zeit- und kosteneffizienten, BIM-unterstützten Planungsprozessen entwickelt. Gemeinsam mit BIM-Software-Herstellern als Wirtschaftspartnern wird dabei der state-of-the-art im Bereich BIM-unterstützter Planung analysiert und optimiert. Durch die sozialemprirische Forschung – Studierendenexperimente – werden die BIM-gestützten Planungsprozesse simuliert und ausgewertet, sowie Verbesserungspotentiale für Software und Planungsprozesse ausgearbeitet. *Fördergeber: FFG, Bridge, Proj. Nummer 836461*

BIMaterial – Nummer: 850049

Im Rahmen des Projekts wird das Prozess-Design für einen materiellen Gebäudepass (MGP), gestützt durch BIM, erstellt, welcher die materielle Zusammensetzung eines Bauwerks dokumentiert. Der MGP dient als Planungs- und Optimierungswerkzeug in bereits frühen Planungsphasen in Hinsicht auf den effizienten Materialeinsatz und späteren Rückbau als Dokumentation für das Rezyklieren von Gebäuden und als Grundlage für einen urbanen Rohstoffkataster auf Stadt-Ebene. Im Rahmen des Projekts

wurde eine Methodik für die automatisierte Generierung eines MGP entwickelt, welche die Kopplung mehrerer Werkzeuge beinhaltet. Dabei wird das Gebäudemodell anhand des eigens entwickelten Modellierleitfadens, welcher die Anforderungen für das MGP-Modell vorgibt, mit BIM-Software (Graphisoft Archicad 21 / Autodesk Revit 2018) generiert. Die bidirektionale Schnittstelle zwischen der Materialdatenbank- und Analysewerkzeug BuildingOne und BIM-Software ermöglicht eine automatisierte Synchronisierung von Daten in beide Richtungen. Zudem ermöglicht das Materialdatenbank- und Analysewerkzeug die Attribuierung von einzelnen Schichten (mit z.B. Ökokennzahlen und für Recycling relevanten Daten), was in BIM zurzeit noch nicht möglich ist. *Fördergeber: FFG, Proj. Nummer 850049*

SCI_BIM – Nummer: 867314

Ziel dieses Projekts ist es, durch Kopplung unterschiedlicher digitaler Technologien und Methoden zur Datenerfassung (Geometrie und materielle Zusammensetzung) und Modellierung (as-built BIM) die Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz mittels Gamification Ansatz zu ermöglichen. Anhand einer realen Fallstudie (Aspanggründe TU Wien) wird die integrale Datenerfassung getestet und wirtschaftlich evaluiert. Für die Erfassung der Geometrie wird Laserscan und Photogrammetrie und für die materielle Zusammensetzung die Georadar-Technologie eingesetzt. *Fördergeber: FFG, Proj. Nummer 867314*

GAMEWORLD - Procedural Worlds for Games – Nummer: 813387

Das Ziel von GAMEWORLD war prozedural Städte, Dörfer und andere Spielumgebungen für die nächste Generation von Computerspielen zu generieren. Im Gameworld Projekt wurde der Prozess der interaktiven Generierung von 3D Modellen vereinfacht und automatisiert. Dabei behalten die DesignerInnen immer noch einen hohen Grad an Kontrolle über die visuellen und architektonischen Stilmerkmale der produzierten Modelle. *Fördergeber: FFG, Proj. Nummer 813387*

Data-Driven Procedural Modeling of Interiors – FWF Nummer: P24600-N23

In diesem Projekt wurden neue algorithmische Methoden für die Generierung von Innenräumen erforscht. Der Anwendungsbereich war Entertainmentindustrie, also vor allem Computerspiele, Filme und Werbung. Es wurden drei Themen behandelt: 1) Optimierung von Grundrissen hinsichtlich einer vorgegebenen Menge an Räumen und eine plausible Verteilung von Tragkörpern. 2) Möbelplatzierung in den Räumen und 3) prozedurales Design von einzelnen Möbelstücken. *Fördergeber: FWF, Proj. Nummer P24600-N23*

Harvest 4D – EU Programm Nummer: 323567

Hochwertige digitale Modelle von verschiedenen Ausmaßen, von einzelnen Objekten über Gebäude bis zu ganzen Städten, werden derzeit kostenaufwendig produziert. Sorgfältige Planung, detaillierte Messung vor Ort und aufwendige Nachbearbeitung. In naher Zukunft werden aber allgegenwärtige Sensoren, z.B. in Smartphones oder Hobbydrohnen, große Mengen an Bild- und Metadaten zur Verarbeitung und Darstellung liefern. Deshalb schlagen wir einen Paradigmenwechsel vor: statt zielorientierter Datensammlung sollen die Geräte mit Sensoren selbst den Prozess entscheiden. Wir stehen vor verschiedenen Herausforderungen, um die resultierenden Datenmengen verarbeiten zu können: z.B. ständiger Datenfluss von neuen Daten, Integration von Daten aus verschiedenen Sensoren, Detektion

von Änderungen über die Zeit, oder interaktive Inspektion von 4D-Datensätzen. In diesem Projekt haben wir diese Herausforderungen durch Forschung leistbarer und innovativer Technologien zur Abtastung unserer Welt angesprochen. *Fördergeber: EU 7th Framework Program, Proj. Nummer 323567*

Michelangelo – Generates Virtual Worlds: Wiener Wirtschaftsagentur 1848280

Michelangelo ist eine neuartige Cloud-Plattform für effiziente Erzeugung von virtuellen Welten. Es sammelt Designvorlagen und kombiniert sie selbständig je nach Anfrage. Repetitive Modellierungsarbeit wird erspart, Variationen werden automatisch generiert. Mit Michelangelo können sich auch selbständige Künstler:innen an große Projekte heranwagen. Unser Projekt steigert die Konkurrenzfähigkeit von CG-Künstler:innen und öffnet ganz neue Wege. Da alle Designs mit semantischen Angaben verknüpft sind, lassen sich virtuelle Welten sogar ohne grafisches Talent erzeugen. Der Prototyp verfügt nur über ein text-basiertes Interface. Designs werden mühsam als generative C#-Skripte eingegeben. Das Hauptziel dieses Projektes ist die Entwicklung einer grafischen Schnittstelle für direkte Manipulation der 3D-Szene, wobei Benutzeraktionen automatisch auf Skriptbefehle abgebildet werden. Dadurch kann das System die breite Masse von Nichtprogrammierern erreichen und erfolgreich in den kreativen Markt eintreten. *Fördergeber: Wiener Wirtschaftsagentur, Proj. Nummer 1848280*

BauOptimizer: Software-Tool für energie- und kosteneffiziente Bauplanung – Nummer: 823875

Ziel des Projektes BauOptimizer ist die Erstellung einer Software zur Baukosten- und Wärmeeffizienzapproximation architektonischer Entwürfe. Sie soll bereits aufgrund einer rudimentären Vorgabe des Grundrisses der geplanten Bauphysik sowie der eingeplanten Baustoffe den Planer:innen beim Gebäudeentwurf unterstützen, schon in einer sehr frühen Planungsphase eine gute Balance zwischen Quadratmeterpreis und Jahres-Heizwärmebedarf sowie Ökonomie und Ökologie finden zu können, wodurch eine Optimierung der einzelnen Kenngrößen erfolgen kann und auch die Anzahl der nötigen Planungsiterationen reduziert werden soll. *Fördergeber: FFG, Proj. Nummer 823875*

3.3.3. Stand des Wissens im nationalen und internationalen Innovationssystem

Dieses Kapitel verschafft einen Überblick über den Stand des Wissens im nationalen und internationalen Innovationssystem mit Fokus auf Projekte der Themen BIM, Digitalisierung im Bauwesen, modulare Bauweisen, Leistbares Wohnen, industrielles Bauen, Vorfabrikierung sowie realisierte Projekte und Visual Computing und Grundrissgenerierung sowie Optimierung im Bauwesen.

BIM und Digitalisierung im Bauen

Die Mehrzahl der BIM-nahen Projekte befasst sich mit den Themen Energieeffizienz und Reduktion der Treibhausemissionen am Gebäudesektor, so zum Beispiel das Projekt „BIMsavesEnergy“ (seit 2018), in dem BIM-basierte Planungsmethoden zur Sicherstellung von Energieeffizienz im Bauprozess untersucht wurden. Das Projekt „6D BIM-Terminal: Missing Link für die Planung CO₂-neutraler Gebäude“ verfolgt den Ansatz, durch Einsatz von BIM Fachkonsulenten zu vernetzen und dadurch eine durchgehende planungsbegleitende Lebenszyklusanalyse von Gebäuden und so CO₂-neutrale Gebäude zu ermöglichen. Auch die beiden weiteren Projekte, BIM4BEMS – „Building Information Modeling for Building Energy Management Systems“ und „Digitaler Zwilling / Building Tracker - Kopplung der Gebäu-

desimulation mit physischen Gebäuden in Echtzeit“ befassen sich mit der Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich. Die angeführten Projekte fokussieren auf Energieeffizienz durch Einsatz vom BIM.

Modulare Bauweisen

In Österreich gibt es bereits einige Anbieter für modulare Bauweisen, auch im Geschößwohnungsbau. Dazu zählen unter anderem Kaufmann Bausysteme aus Vorarlberg, das in Kooperation mit Vogewosi (Vorarlberger gemeinnützige Wohnungsbau- und Siedlungsgesellschaft) einige Wohnanlagen realisiert hat. Kaufmann Bausysteme basieren auf Raummodulen (Raumzellen) aus Holz. Zu den wichtigsten Systemanbietern für Holzbauweisen gehört auch Lukas Lang Building Technologies, das auf vorgefertigten, kleinteiligen Komponenten basiert. In Österreich gibt es auch einige mehrgeschoßige Wohnobjekte, die auf Adaptierbarkeit und Flexibilität durch Einsatz von modularen Bauweisen und Vorfertigung setzen. Beispielhaft wird in dem Projekt „Forum am Seebogen“ (Seestadt Aspern), geplant von herri und salli Architekten, im Auftrag von Familienwohnbau, ein Prototyp erarbeitet, in dem Modul- und Systembauweisen für ein heterogenes Projekt, in dem Wohnen, Arbeiten und kulturelle Vermittlung stattfinden, eingesetzt werden. Inwieweit bei den genannten Produzenten und dem geplanten Projekt „Forum am Seebogen“ BIM und digitale Informationsplattformen angewandt wurden, geht aus den Firmen- und Projektinformationen nicht hervor. Bei den Produzenten von Raummodulen bzw. vorgefertigten, komponentenbasierten Bauweisen handelt es sich um einzelne Unternehmen und daher um geschlossene Baukastensysteme. In Österreich gibt es bereits Anbieter von modularen Bauweisen und Pilotprojekte auf Basis modularer Bauweisen bzw. Baukastensystemen. Allerdings gab es bisher keine systematische Erfassung des Marktangebotes bzw. Evaluierung unterschiedlicher Bauweisen in Hinblick auf Digitalisierung, Kosten- und Zeiteinsparung sowie Flexibilität und Adaptierbarkeit im Lebenszyklus im mehrgeschossigen Wohnbau.

Das Projekt „Intensified Density – kleinmaßstäbliche Nachverdichtung in modularer Bauweise“ (Finanzierung aus Programm „Stadt der Zukunft“) befasst sich mit Modularisierung und Nachverdichtung als nachhaltige Strategien der Stadtentwicklung, die Themen Digitalisierung und BIM werden jedoch nicht behandelt.

BIM in der Bauindustrie, Industrielles Bauen und Vorfabrikierung (off-site construction)

Es gibt noch wenig Forschung über BIM-Anwendung und -Implementierung in der Fertigung in der Bauindustrie. Es besteht eine Wissenslücke für den Einsatz von BIM für Produktion (Off-Site Produktion). Mostafa et al. (2018) stellen im australischen Kontext fest, dass BIM zwar enormen Einfluss auf die Bauindustrie ausübt, der Einsatz von BIM für Vorfertigung jedoch minimal ist. Die Minimierung der Planungsfehler, Übereinstimmung zwischen Planung und Ausführung, frühe Einbindung wesentlicher Stakeholder in die Prozesse sowie mass customization sind den Studienautoren zufolge die wesentlichen Vorteile des BIM-Einsatzes in der Vorfertigung (Mostafa et al. 2018). In der Studie, die auf Befragung wesentlicher Akteure in Australien beruht, wurde zudem festgestellt, dass bei Vorfabrikierung von Wohnbauten in Australien BIM bereits als Visualisierungstool und als Wissensdatenbank anerkannt wurde (2018).

Umfangreiche Studien zu industriellem Wohnbau, die neben der Übersicht über die unterschiedlichen Technologien auch umfangreiche Fallbeispielsammlungen von Geschoßwohnanlagen in Europa, Russland und Asien enthalten, sind Philip Meusers „*Handbuch und Planungshilfe. Industrieller Wohnbau*“ (2019) sowie die Publikation „*Prefabrication and Automated Processes in Residential Construction*“ von Jutta Albus (2018). In beiden Studien wird das Thema Digitalisierung bei Planungsprozessen kaum behandelt, Albus fokussiert sich auf Automatisierung in der Produktion ohne Anbindung an die Planung, während Meuser auf die Potenziale der individuellen konfigurierten Gebäude mittels BIM hinweist, allerdings wird der Einsatz parametrischer Modellierung bei der Vorstellung von realisierten Projekten nicht systematisch dargestellt. Insbesondere in Deutschland gibt es heute erhebliche Fortschritte und Innovationen beim modularen Bauen. Das ist auf die Rahmenvereinbarung über den Neubau von mehrgeschossigen Wohnbauten in serieller und modularer Bauweise zwischen Bundesministerium für Inneres, Bau und Heimat (BMI / ehemals BMUB) und dem GdW, dem Spitzenverband der Wohnungswirtschaft, den Planern und dem Baugewerbe, zurück zu führen (GdW 2018b). Im Zuge dieser Initiative wurde sowohl eine Studie über seriellen und modularen Wohnungsbau durchgeführt als auch ein europaweiter Wettbewerb, bei dem zukunftsweisende Wohnkonzepte von neun Bietern ausgewählt wurden.

Die Studie „*Serieller Wohnungsbau*“ (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. 2017), enthält ebenfalls eine große Anzahl realisierter Projekte. Bei dieser Studie wurde der Einsatz von BIM systematisch erhoben, allerdings geht aus der Aufstellung der Fallbeispiele hervor, dass BIM nur bei wenigen Projekten eingesetzt wurde und zum Teil beschränkt auf Teilbereiche des Planungsprozesses blieb. Hierzu ist anzumerken, dass dies auf den bis dato noch geringen Einsatz von BIM im Baugewerbe zurückzuführen ist.

An der TU München wurde 2018 ein Forschungsprojekt zum Thema Systembaukasten Geschoßwohnungsbau (Titel „Bauen mit WEITBLICK - Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau“) abgeschlossen. Im Projekt wurden zur Identifikation noch vorhandener Kosten-, Qualitäts- und Zeitpotentiale bei modularen Bauweisen digitale Planungsmethoden auf Grundlage des Building Information Modeling (BIM) angewandt. Es wurde festgestellt, dass „nur ein spezifisches Bausystem (z.B. Betonfertigteil-Bauweise) entwickelt wird, da tragwerksplanerische, bauphysikalische und brand-schutztechnische Eigenschaften unterschiedlicher Bausysteme stark differieren und eine vollständige Parametrisierung derzeit (noch) nicht zu bewältigen ist“ (Winter et al. 2018).

In unserem Projekt werden tragwerksplanerische und bauphysikalische Aspekte berücksichtigt, durch die Erfahrung des Forschungsbereichs Integrale Bauplanung und Industriebau im interdisziplinären Planungsprozess.

Leistbares Wohnen

Eine ältere Studie (2012), finanziert von MA 50 Wohnbauforschung, befasst sich mit dem Thema kostengünstiger Wohnbau. Dabei wurden baukostenrelevante Entwurfs- und Planungsparameter ermittelt. Das Working Paper von Mundt und Wagner „Regionale Wohnungspreisindizes in Österreich – erste Erkenntnisse auf Basis hedonischer Modelle“ liefert grundlegende Erkenntnisse zu Preissteigerungen bei Wohnimmobilien in Österreich (Mundt und Wagner 2017). Wiederum spielt Digitalisierung und Automatisierung in dem Vorhaben keine Rolle.

Nach dem Neubau von mehrgeschoßigen Wohnbauten in serieller und modularer Bauweise und dem Bündnis nach Leistbarem Wohnen kam es in Deutschland zu einer Aufschwung bei der Entwicklung und Umsetzung von modularen Geschoßwohnbauten. Beispielhaft wird hier ein Projekt beschrieben. Vonovia, ein bundesweit aktives Wohnungsunternehmen, entwickelte in Kooperation mit ALHO, einem Unternehmen spezialisiert auf die modulare Systembauweise, Geschoßwohnanlagen mit spezifischem Wohnungsmix, die schnell und kostengünstig errichtet werden können. Besonders geeignet sind die modulbasierten Wohnriegel bei Nachverdichtung in Wohnquartieren der 1950er und 1960er. Bei der Konzeption der seriell-modularen Bauten wurde zunächst 2016 in Bochum ein Pilotprojekt, geplant von Koschany + Zimmer Architekten, realisiert. Nun werden seriell-modulare Wohnanlagen an vielen Vonovia-Standorten realisiert. Bei dem europaweiten Wettbewerb, der 2017 im Zuge der Rahmenvereinbarung zwischen dem BMI und den Stakeholdern am Wohnsektor durchgeführt wurde, wählte man 15 Produzenten für Pilotprojekte, die in Deutschland realisiert werden, dazu zählt auch das österreichische Unternehmen Lukas Lang Building Technologies (GdW 2018a).

Visual Computing und Grundrissgenerierung & Optimierung im Bauwesen

Parametrisches Design von architektonischen Modellen kommt vor allem in Computerspielen, VFX in Filmen und in Werbung zum Einsatz. Die wichtigsten Methoden für Außenfassaden basieren auf Split-Regeln (Wonka et al. 2003) integriert in symbolische Shape-Grammatiken (Müller et al. 2006). Müllers CityEngine hat sich als industrieller Standard zur Generierung von großflächigen Stadtszenen entwickelt. Die Grundidee wurde später weiterentwickelt, um komplexere Formen repräsentieren zu können (Krecklau et al. 2010, Schwarz et al. 2015).

Benutzerfreundliche Bedienung bleibt bis heute ein großes Thema (Lipp et al. 2008, Silva et al. 2013). Grammatische Ansätze dominieren nur die Außenszenen. Für die Generierung von Grundrissen wurden zuerst lokale Heuristiken (Lopes et al. 2010, Leblanc et al. 2011) und statistische Auswahl (Merrell et al. 2010) verwendet. Diese Methoden konnten aber nur rechteckige Räume generieren. Um beliebige Raumformen zu unterstützen haben Wissenschaftler nach Optimierungsansätzen gegriffen. Zuerst wurde quadratische (Bao et al. 2013) oder ganzzahlige lineare Optimierung (Peng et al. 2014), später auch MIQP (Wu et al. 2018) eingesetzt.

Statistische Methoden wurden zuerst auch für die Einrichtung der Innenräume verwendet (Merrell et al. 2011), um eine plausible und funktionelle Platzierung der Möbelstücke zu erzielen. Es wurden verschiedene Richtlinien zum Design und der Nutzung in Betracht gezogen. Globale Optimierung (Yu et al. 2011) wurde auf diese Problemstellung auch angewandt. Es folgten statistische Ansätze, welche die Einrichtung nach Beispielen (Fischer et al. 2012) ausrichten. Diese wurden neulich ausgebaut und durch neurale Netzwerke erweitert, um Text (Chang et al. 2014) oder auch Sprache (Wang et al. 2018) als Eingaben zu akzeptieren.

4 Projektinhalt

4.1. Rahmenwerk der Digitalen Plattform Wohnen 4.0

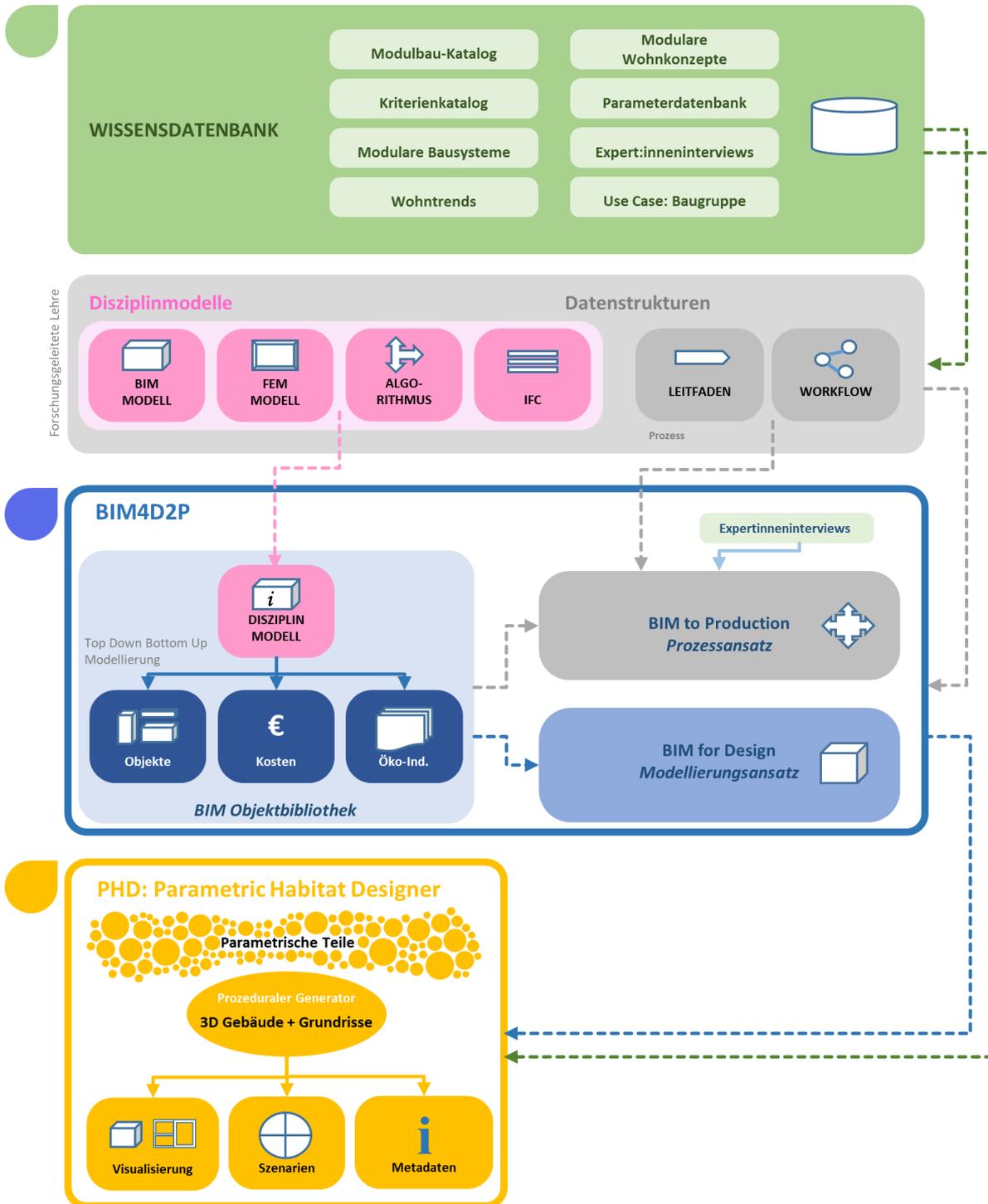


Abbildung 1: Konzipierung des Rahmenwerks und Komponenten der digitalen Plattform

Der Inhalt des Projektes ist die Entwicklung des Rahmenwerks (Abbildung 1) für die BIM-basierte, digitale Plattform „Wohnen 4.0“. Der Fokus liegt auf Nutzung der BIM-Potenziale für die modulare off-site Produktion im Geschloßwohnbau, um dadurch die Optimierung der Planung und Umsetzung, Kostenreduktion, Verkürzung der Bauzeit und Individualisierung (mass customization) zu erzielen. Die digitale Plattform dient als gemeinsame Wissensbasis für die Planenden und Bauunternehmen sowie Nutzer:innen und Bauträger. Weiters bietet die Plattform durch die Kopplung der Wissensdatenbank und der digitalen Planungswerkzeuge eine Planungs- und Produktionsunterstützungs-Komponente (BIM4D2P – BIM for Design to Production) sowie eine Komponente zur auf den Nutzerbedürfnissen basierten automatisierten Grundriss-Generierung und Visualisierung (PHD – Parametric Habitat Designer). Ein wesentliches Ziel ist die Konzipierung und Erstellung von digitalen BIM-Objektbibliotheken samt relevanter Parameter und Datenstrukturen, welche die semi-automatisierte Datenübertragung zur PHD Komponente ermöglichen, sowie die Entwicklung der Methodik zur automatisierten Grundrissgenerierung. Somit bietet die „Wohnen 4.0“ Plattform einen modellhaften digitalen Prozess für die Konzeption und Produktion von leistbarem, modularem Wohnungsbau in großem Maßstab, mit verkürzten Bauzeiten und mit baukulturellen Qualitäten aufgrund der Individualisierung. Wesentliche Ergebnisse des gegenständlichen Forschungsprojekts sind die Wissensdatenbank, die Konzepte für die BIM4D2P sowie PHD Komponenten, samt der digitalen BIM-Objektbibliothek, sowie die Schaffung von gemeinsamen Konzepten zu Schnittstellen und Datenstrukturen für den Daten- und Informationsaustausch entlang der Wertschöpfungskette. Das Rahmenwerk der digitalen Plattform „Wohnen 4.0“ basiert auf dem Konzept des interdisziplinären und offenen Informationsaustauschs entlang der Wertschöpfungskette und dient als gemeinsame Wissensbasis für Planende, Bauunternehmen sowie Nutzer:innen und Bauträger. Die Methoden zur Generierung der Komponenten und Daten des Rahmenwerks umfassen qualitative Analysemethoden, Expertinneninterviews, forschungsgeleitete Lehre, BIM Modellierung, Modellkonzipierung und Modellbildung sowie Nutzerstudien und prozedurale Modellierung. Die angewandten Methoden und Projektinhalte sind in den folgenden Kapiteln beschrieben.

4.2. Wissensdatenbank



Abbildung 2: Wissensdatenbank und dessen erfasste/generierte Inhalte

4.2.1. Erfassung von modularen Bauweisen und Wohntrends

Analyse Anwendungsfälle & Offsite – Production

Die Analyse von Anwendungsfällen begann mit einer Vorstudie zu Modularen Bauweisen. Hier wurden 14 Fallstudien analysiert und aufbauend auf diesen ein Kriterienkatalog zur Bewertung und Auswahl von modularen Bausystemen generiert. Anhand einer qualitativen Analyse wurden die Kriterien, die als besonders wichtig in Verbindung mit den Zielen des Projekts identifiziert wurden, dokumentiert. Der Kriterienkatalog wurde im Zuge der Bewertung der Projekte im späteren Projektverlauf während eines Workshops (Quality Gate) erweitert und umfasst: Integrale Qualität des Gesamtprojekts, Architektur und Tragwerk; Qualität und Übertragbarkeit der Modularen Bauweise oder Systembauweise; Qualität der Grundrisse, Funktionalität, Flexibilität; Industrielle Bauproduktion, Grad der Vorfertigung; Energie- und Ressourceneffizienz sowie Prozess Integration, Digitalisierung und Leistbarkeit. Anhand der ersten Stufe des Kriterienkataloges wurden Fallbeispiele für den Modulbau-Katalog evaluiert und eine Eingrenzung der Auswahl der Bauweisen ist erfolgt. Fallstudien wurden anhand des Kriterienkatalogs nach i) Prozess, ii) Nachhaltigkeit und iii) Nutzung quantitativ bewertet. Nach der umfassenden Recherche zu internationalen Modulgebäuden und eine Sammlung dieser als Fallbeispiele wurde danach eine Medienrecherche zu Unterlagen der Fallbeispiele vorgenommen. Folgend wurde eine Medienanalyse der Unterlagen vorgenommen. 1. Stufe war das Erstellen von Kategorien und 2. Stufe das Überarbeiten und Erstellen von finalen Kategorien; diese Kategorien ergeben die 23 Gebäudeparameter. Die Daten wurden in Excel übertragen und bilden den Modulbau-Katalog mit 60 Fallbeispielen.

Analyse der Wohntrends und Wohnparameter

Anhand einer Literaturrecherche und typologisch-morphologischer Analyse wurde eine Studie zu Wohnparametern erstellt. Im Zuge der Studie wurden durch Medienanalyse die Wohntrends sowie die Anforderungen an Flexibilität und Adaptabilität für Off-Site Produktion, Institutionen, normative Rahmen, Akteure, Material, technische Systeme qualitativ erhoben. Es wurde nach einschlägiger Fachliteratur und Fachzeitschriften in ausgewählten Datenbanken gesucht. Es wurde nach den Stichwörtern, wie modulare Bauweise, Wohnbau und modulares Wohnen gesucht. Im Zuge einer qualitativen Inhaltsanalyse wurden Schlagwörter beziehungsweise Kategorien bestimmt, um die vorhandene Literatur thematisch einzuordnen. Die Literatur wurde nach den Kategorien ausgewertet, die Kernaussage dargelegt und die Relevanz zur Beantwortung der Forschungsfrage erörtert.

4.2.2. Erfassung der Parameterdatenbank

Die Analyse der **technischen Parameter** wurde in Form von technischen Constraints mit den Projektpartnern der Praxis erarbeitet. Input für diese Analyse waren praxisbezogene Erfahrungen und implizites Wissen der jeweiligen Partner. Eine Analyse der Gebäudeparameter des Modulbau-Katalogs floss in die technischen Parameter ein. Erkenntnisse der Studie zu Wohnparametern wurden ebenso aufgenommen. Die technischen, rechtlichen, wirtschaftlichen und nutzerspezifischen Parameter werden innerhalb der Parameterdatenbank als Dokumentensammlung dokumentiert, Abb. 3.

Die Analyse der **rechtlichen Parameter**, erfolgt bezogen auf den Use Case in Form der systematischen Erfassung und Untersuchung der Bauordnung für Wien, Wohnbauförderungs- und Wohnhaussanierungsgesetzes 1989 (Neubauverordnung 2007), Barrierefreies Planen, OIB Richtlinie 1,2 und 4. Dieser Parameterkatalog samt Constraints wurde als umfassendes Dokument erarbeitet. Bauordnung, OIB-

Richtlinien und Wohnbewertungssysteme wurden in komplettem Umfang analysiert. In anderen Quellen wurden relevante Kapitel, Unterkapitel oder Textpassagen aus dem Inhaltsverzeichnis oder durch Schlagwortsuche identifiziert. Eine Relevanz ergab sich, wenn die Kapitel, Paragraphen oder Textpassagen zumindest einen der ausgearbeiteten wohnraumspezifischen Parameter direkt oder indirekt behandeln. Jede einzelne Quelle definiert eine Überkategorie, der die innerhalb dieser Quelle erarbeiteten Constraints zugeordnet wurden. Sind in den Quellen Gültigkeitsbereiche einer bestimmten Regel beschrieben, wurden diese in die Constraints miteingearbeitet. So können sich auch für die Constraints entweder abgeschlossene oder in eine erlaubte Richtung offene Gültigkeitsbereiche ergeben. Die in die Constraints übersetzten Grenzwerte beziehen sich auf die rechtlichen und qualitativen Mindestanforderungen.

Wirtschaftliche Parameter wurden als Analyse des Wiener Wohnbauförderungs- und Wohnhaussanierungsgesetzes 1989 (Neubauverordnung 2007) erstellt.

Die **nutzerspezifischen Parameter** (Anforderungen und Restriktionen) wurden anhand einer Analyse des Use Case Baugruppe erhoben. Es erfolgte zudem eine Analyse der WWFSG 1989 (Neubauverordnung 2007), Wiener Garagengesetz 2008, OIB-Vorgaben für Beherbergungsbetriebe und Studentenheime und eine Beschreibung zu Baugemeinschaften in Wien und Initiative Gemeinsam Bauen & Wohnen.

Parameterdatenbank *innerhalb der Wissensdatenbank*

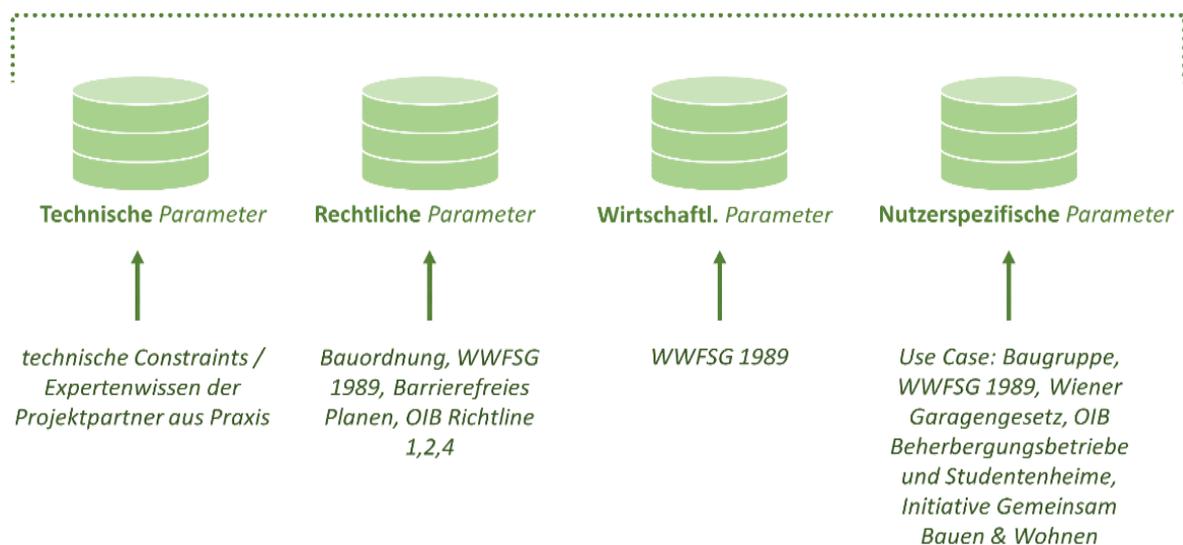


Abbildung 3: Parameterdatenbank innerhalb der Wissensdatenbank: technische, rechtliche, wirtschaftliche und nutzerspezifische Parameter sowie deren Informationsquellen

4.2.3. Expertinneninterviews

Es wurden Leitfäden für Expertinneninterviews (Architekturschaffende, Bauunternehmen, Bauträger) erstellt. Anhand eines Kriterienkataloges wurden Interviewpartner im Bereich Architektur, Bauträger und Herstellende ausgewählt. Im Zuge der Vorbereitungen für die Interviews wurden ein Leitfaden, welcher Themen wie Partizipation, Flexibilität, Modularität und Innovation abdeckt erstellt. Sodass in den folgenden Interviews nach diesen gezielt gefragt werden konnte und sich die verschiedenen Sichtweisen der einzelnen Teilnehmer:innen zu jenem Projekt für uns erschließen. Gemäß Prinzipien qualitativer Sozialforschung wurden die Interviews als open-ended Expert:inneninterviews geführt, transkribiert, codiert und anhand qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet und interpretiert. Die Expert:inneninterviews geben Aufschluss über die Anforderungen an modulare Bauweise, Digitalisierung und somit Potentiale der Digitalen Plattform „Wohnen 4.0“ aus Sicht der Praxis. Es wurden **8 Architekt:innen, 4 Bauträger** und **16 Hersteller-, Planer- bzw. Baufirmen** mittels offenen Leitfaden-gestützten Expert:inneninterviews befragt. Siehe hierzu die detaillierte Beschreibung unter Ergebnisse.

4.2.4. Use Case Definition

Der Fokus der Untersuchung liegt auf einem spezifischen Fallbeispiel (Use Case), dessen Rahmenbedingungen gezielt und forschungsbezogen festgelegt wurden. Das Projektkonsortium wählte für das Fallbeispiel eine etablierte Gebäudetypologie: einen Geschoßwohnbau, dessen technische Konzeption von einem Generalplaner in Kooperation mit dem Generalunternehmen erfolgt, während die funktionale Planung nach Prinzipien des partizipativen Designs unter Beteiligung einer spezifischen Nutzergruppe (Baugruppe) umgesetzt wurde. Eine Wiener Baugruppe wurde für den Use Case rekrutiert. Unterlagen des Use Case wurden von den Architekten zu Forschungszwecken zur Verfügung gestellt. Nach detaillierter Analyse der Gebäudepläne, Bauplatzbesichtigung und Gesprächen mit den Planenden und den Bewohnern konnte eine detaillierte Analyse in Form von einer Sammlung von Plänen und Dokumenten erstellt und die Nutzerwünsche erfasst werden. Nach Analyse der Pläne und Daten des Projekts wurde anhand dessen ein Raumprogramm des Use Case erarbeitet und dessen Gebäude und Modulparameter erfasst und der Use Case definiert.

4.3. Modellbildung BIM4D2P

Ein Konzept der Modellbildung des BIM4D2P (Abbildung 1) wurde entwickelt, das die Teilbereiche BIM for Design und BIM for Production des Design-Build-Operate Prozess abbildet. Diesem vorangehend wurden mittels forschungsgeleiteter Lehre Disziplinmodelle als Varianten des Use Case generiert. BIM4D2P teilt sich in ein BIM for Design Modellierungsansatz (Top-Down Bottom-Up Modellierung) und ein BIM to Production Prozessansatz (Datenübertragung und Anforderungen) sowie die damit zusammenhängende BIM Objektbibliothek (Elemente, Kosten und Öko-Indikatoren).

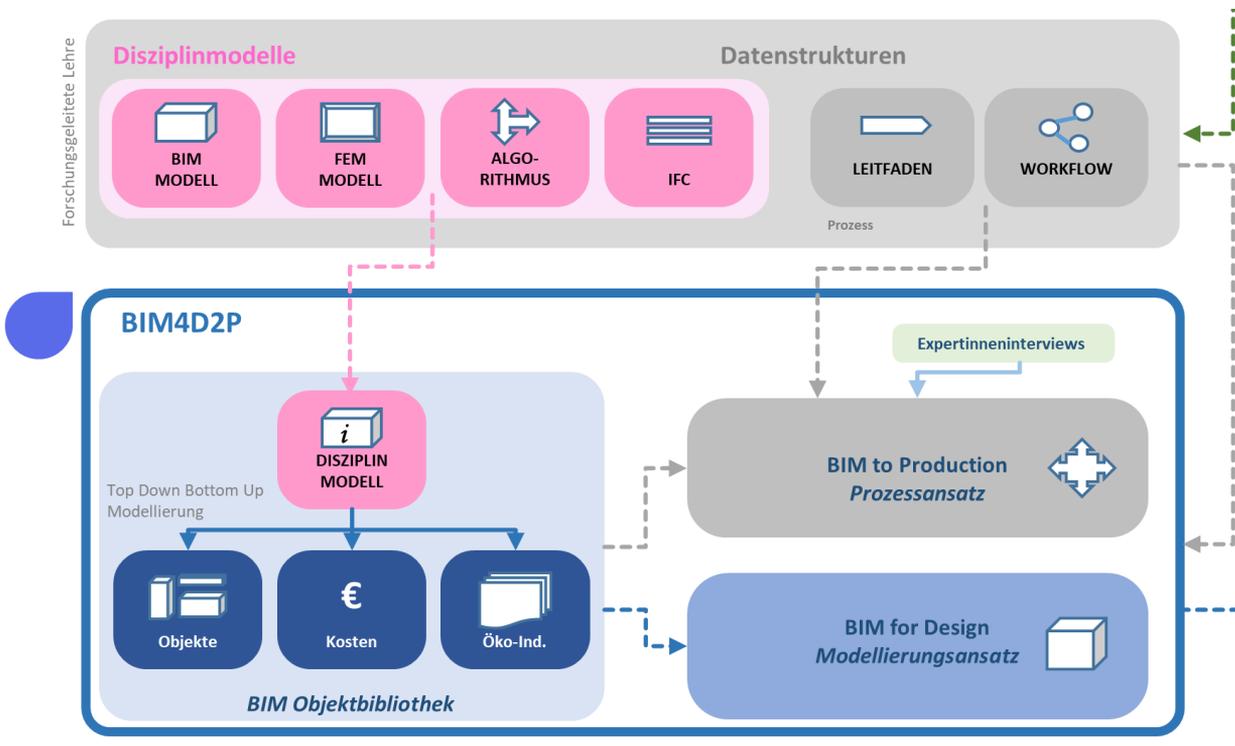


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Modellbildung des BIM4D2P

4.3.1. Generierung der Disziplinmodelle & Datenstrukturen

Es wurde die disziplinspezifische Software (ARCHICAD, Revit, Grasshopper, RFEM, Archiphysik) und ein interdisziplinärer Prozessvorschlag basierend auf dem Expertenwissen der Projektpartner zur Modellbildung festgelegt. Die Projektpartner entwickelten ein Konzept zur Integration der Teilmodelle. Diese Konzepte der interdisziplinären Gebäudeplanung und Datenstrukturierung wurden im Zuge der forschungsgeleiteten Lehre von 8 interdisziplinären Studierendenteams (Architekt:innen und Bauingenieurinnen der TU Wien) angewandt, getestet und modifiziert. Weiters wurde ein Konzept zur Datenübertragung und Definition der Schnittstellen basierend auf einer Software - State of the Art Analyse entwickelt. 8 Studierendenteams bestehend aus Architekt:innen und Bauingenieurinnen entwickeln mittels Forschungsgeleiteter Lehre die Disziplinmodelle (Vorstufe des BIM4D2P), samt Tragwerk- und Energiekonzept, sowie die Zusammenführung der Teilmodelle. Mittels Parametric Design (Software: Grasshopper) wurden als Vorstudie für den PHD parametrische Modelle/Algorithmen generiert.

Um eine große Anzahl und Vielfalt von architektonischen Entwürfen, BIM-Modellen, BIM-Modulen und BIM-Objekten zu erhalten, wurde im interdisziplinären Designstudio "Integrated BIM Lab" ein forschungsgeleiteter Lehransatz mit Studenten angewendet. Die Modelle und Objekte sind wesentliche Elemente, auf denen das PHD Komponente aufbaut, und bilden die Grundlage für die digitale Objektbibliothek des BIM4D2P (Kovacic et al. 2020). Für unseren bestimmten Anwendungsfall (Use Case) wurde der architektonische und strukturelle Entwurf, die parametrische und BIM-Modellierung im Rahmen eines einsemestrigen Kurses durchgeführt, der als Studentenwettbewerb organisiert wurde. Mit diesem Ansatz führen wir den methodischen Rahmen für forschungsgeleitete Lehre fort, der im Rahmen von Integrated Design Studios entwickelt wurde (Filzmoser et al. 2016, Filzmoser et al. 2017).

Basierend auf den oben beschriebenen besonderen Anforderungen, dem realen Standort und einem Kundenbriefing eines realen Wohnbauprojekts (Use Case) der Baugruppe als Bauherr und Nutzer, entwickelten die Studierenden Designvorschläge für modulare Wohnbauten mit der Anforderung nach maximaler Flexibilität und maximalem Vorfertigungsgrad in der zukünftigen Nutzung (Kovacic et al. 2020). Die interdisziplinären Teams nutzten visuelle Programmierertools zur Entwurfsuntersuchung von Varianten sowie zur Vorentwurfsbewertung und Optimierung der Tragwerke. Nach der Entwicklung des kollaborativen Algorithmus und des interdisziplinären Entwurfskonzepts begannen die Architektur- und Bauingenieurstudenten gleichzeitig mit der BIM- und FEM-Phase, die parallel verlief. Der Datenaustausch erfolgt hauptsächlich über direkte Schnittstellen (z.B. Grasshopper-Archicad Live-Connection) und IFC. Zu Beginn der Algorithmen-gestützten BIM-Phase legen die interdisziplinären Teams gemeinsam Parameter, Grenzen und Beschränkungen sowie eine explizite Erklärung der Entwurfsabsicht und die Schritte zu ihrer Verwirklichung fest. Diese Methode sollte die vorläufige Entwurfsuntersuchung unterstützen, indem sie ein Werkzeug zum Erstellen und Testen von Entwurfsvarianten anbietet und Probleme beim Datenaustausch verringert, indem sie dasselbe Werkzeug zum nahtlosen Datenaustausch über eine Datenschnittstelle anbietet. Nach der Festlegung von Regelsätzen hinsichtlich der Parameter und der Entwurfsabsicht begannen die Architekturstudenten mit der Entwicklung des Algorithmus durch visuelle Programmierung im Algorithm Aided Design Tool Grasshopper (Pibal et al, 2020). Der Algorithmus wurde so erstellt, dass er für den Datenaustausch über Algorithm Aided BIM-Datenschnittstellen mit BIM- und FEM-Software geeignet ist. In dieser Phase verwenden beide Disziplinen denselben Algorithmus und legen gemeinsam den vorläufigen Entwurf und die Struktur fest. Auf der Grundlage des Entwurfs erstellten die Architekturstudenten BIM-Objektelemente in ARCHICAD oder Revit. Die Elemente stellen Decken, Stützen, Wände, Träger, Fassadenelemente und Objekte dar. Diese Elemente wurden in den Algorithmus eingebettet und bidirektional zwischen Grasshopper und ARCHICAD, Revit und RFEM verknüpft. Dies bietet die Möglichkeit, den Algorithmus direkt in ein vollständiges BIM-Modell zu übersetzen und gleichzeitig Änderungen an der Geometrie und den Parametern vorzunehmen. Das Modell wird als unmittelbare Reaktion auf Änderungen im Algorithmus aktualisiert. Die Studierenden führten den Datenaustausch mit BIM und FEM über eine Datenschnittstelle durch. Hier wurden die parametrischen Modelle in i) BIM Software ARCHICAD und Revit übertragen und dort bis LOD 300 entwickelt (Mehrschichtige Bauteile, Anreicherung mit Material-, Trag-, Bauphysikalischen Eigenschaften) und in ii) FEM Software RFEM zur Überprüfung übertragen. Hiermit wurden die Modellierungsanforderungen für die einzelnen Disziplinen definiert und die Zusammenführung der Teilmodelle getestet. Der Datenaustausch zwischen BIM und FEM erfolgte überwiegend manuell oder über direkte Daten/Softwareschnittstellen. Zu diesem Zeitpunkt hatte jedes interdisziplinäre Team einen interdisziplinären Algorithmus und ein entsprechendes BIM- sowie ein FEM-Modelle generiert (Pibal et al, 2020).

4.3.2. BIM to Production (BIM2P) Prozessansatz

Die Workflows der Disziplinmodelle und die Experteninterviews mit Bauunternehmen, Planern und Herstellern liefern notwendige Informationen zu Prozess-, Projektabwicklungs- und Datenstrukturen, die zur Modellkonzipierung des BIM2P genutzt werden. Weitere Daten, die für die Konzipierung des Ansatzes herangezogen wurden, stammen aus der forschungsgeleiteten Lehre. Aufbauend auf den Datenstrukturen der BIM Objektbibliothek wurde ein Template sowie ein Leitfaden zur Erstellung neuer

BIM Objekte samt Metadaten erstellt und ein Konzept der Übertragung der Daten aus der Merkmalbibliothek in BIM Software konzipiert. Anhand der Ergebnisse der forschungsgeleiteten Lehre und den Interviews mit Herstellern wurde ein BIM4D2P Schnittstellen bzw. ein BIM zur Produktion Konzept - „Prozessansatz“ (Abbildung 5) erarbeitet.

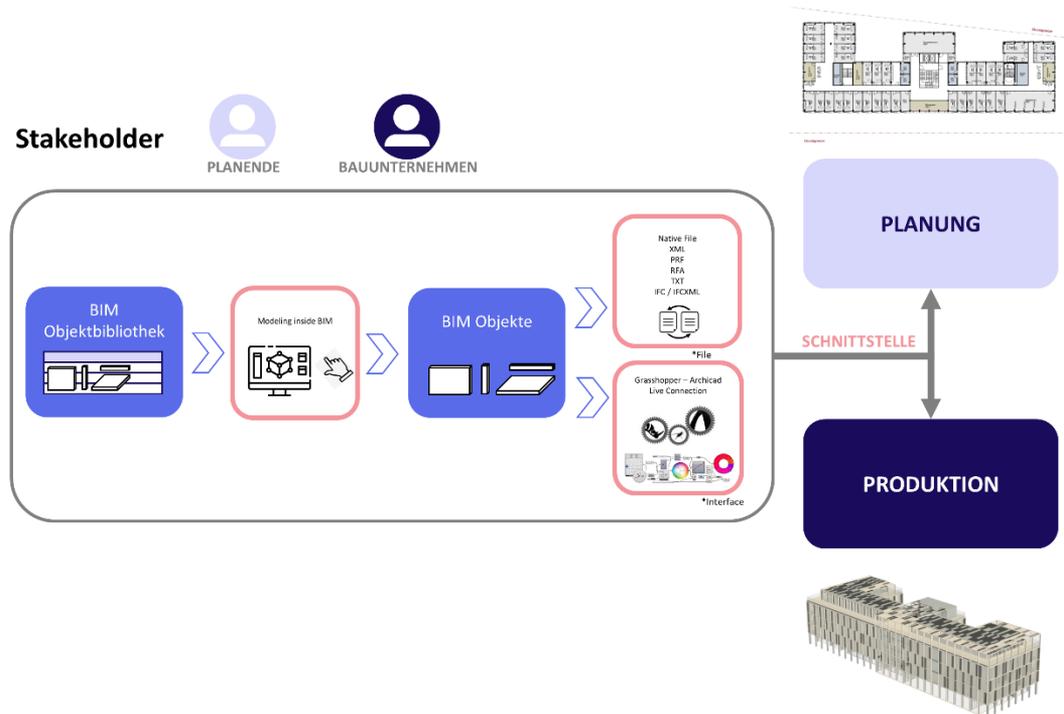


Abbildung 5: Konzept des BIM2P Prozessansatz

4.3.3. BIM for Design (BIM4D) Modellierungsansatz

Im Gegensatz zu etablierten Methoden des Computer Aided Design oder Building Information Modeling konnten wir nicht auf bereits vorhandene Komponenten oder Objekte für eine BIM-Objektbibliothek zurückgreifen, da diese für unseren speziellen Zweck kaum existieren. Um das BIM4D2P-Komponente entwickeln und testen zu können, mussten wir eigene Testdaten generieren. Um herauszufinden, welche Parameter und Eingabedaten die BIM-Objektbibliothek eines modularen, mehrgeschossigen Wohnbauprojekts übernehmen muss, haben wir einen Reverse-Engineering-basierten Top-down und Bottom-up Modellierungsansatz (Abbildung 6) untersucht.

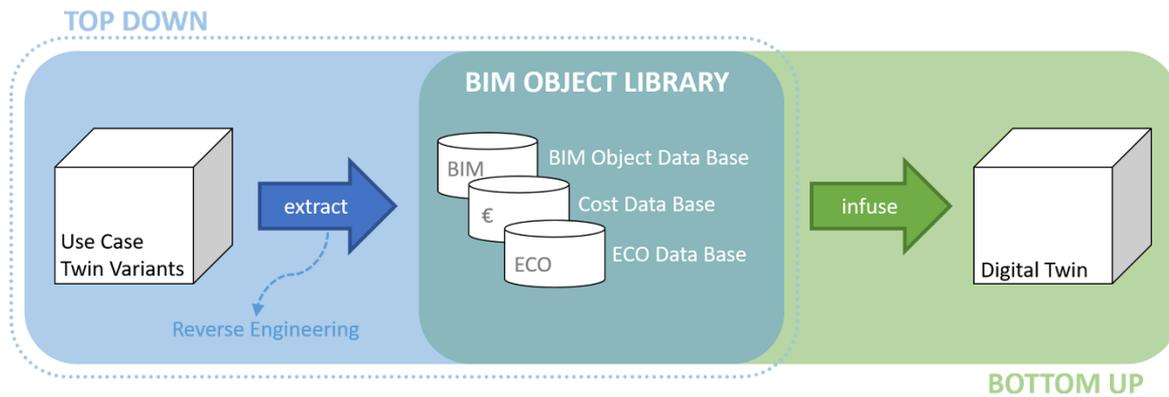


Abbildung 6: BIM4D - BIM for Design Modellierungsansatz - Top Down und Bottom Up (Pibal et al, 2021)

Um den kombinierten Top-Down- und Bottom-Up-Modellierungsansatz zu spezifizieren, müssen wir diese beiden Ansätze in unserem Kontext erläutern. Wir verwenden die Top-down-Modellierung, um die für die Bibliothek benötigten Daten aus den speziell für diesen Zweck generierten digitalen Modellen zu zerlegen und zu extrahieren, und wir beabsichtigen, die Bottom-up-Modellierung anzuwenden, um die BIM-Objektbibliothek zu nutzen, um neue BIM-basierte Modelle zu generieren (Pibal et al, 2021).

4.3.4. Generierung der BIM Objektbibliothek

Die BIM Objekte wurden auf Grundlage der Disziplinmodelle mittels Top-Down Methode erstellt: Bauteile, die bereits in den BIM-Geäudemodellen der Disziplinmodelle vorhanden waren, wurden herangezogen um die generischen Komponenten (Decke, Stütze, Außenwand, Dach, Fassade etc.) zu generieren.

Die **Top-Down-Modellierung** (Abbildung 7) ist ein vielversprechender Ansatz, wenn kaum Testdaten vorhanden sind. Wir verwenden die Top-down-Modellierung, um die für die Bibliothek benötigten Daten aus den speziell für diesen Zweck generierten digitalen Modellvarianten zu zerlegen und zu extrahieren. Ziel war es daher, zu untersuchen, inwieweit ein Top-Down-Modellierungsansatz genutzt werden kann, um eine generische BIM-Objektbibliothek für modulare mehrgeschossige Wohngebäude zu generieren (Pibal et al, 2021). Generische BIM Objekte waren für unsere Forschung nicht von außen beziehbar, zum einen da Herstellerobjekte oft Informationen beinhalten können, welche für das aktuelle Projekt nicht notwendig sind (The Institution of Engineering and Technology, 2020), keine Anpassung der Objekte bei einer Änderung des Produktkataloges des Herstellers erfolgt (Corke, 2014) und Händische Anpassung der Informationen dazu führen kann, dass falsche Informationen eingebettet werden (Corke, 2014). Derzeitige BIM Objektbibliotheken weisen schwache Performance durch fehlende Differenzierung bei der Vergabe von Attributen für generische und spezifische Objekte auf (Pavan et al, 2019) und es existiert keine *allgemein* anwendbare BIM Bibliothek (Lu, Weisheng et al, 2017). Dennoch bieten generische Objekte in BIM Bibliotheken Potentiale wie eine Kostenersparnis durch bereits erstellt Objekte (Lu, Weisheng et al, 2017), Arbeitserleichterung durch genau definierte Modelle (Horner, 2021), die Erschaffung einer Einheitssprache (BIM&CO, 2020) und Informationen des

Objektes können nach Fertigstellung weiterverwendet werden, z.B. Facility Management (BIMMDA, 2022). Da jedoch Testdaten und solche BIM Objekte selbst kaum verfügbar sind, haben wir uns in dieser Phase zum Ziel gesetzt, die Modelle zu zerlegen und ihre vorläufigen, informationsreichen Komponenten zu generieren. Um die Leistbarkeit und Nachhaltigkeit von Objekten und damit von digitalen Modellen über die digitale Plattform zu bestimmen, müssen den spezifischen Objekten sowohl Kosten als auch ökologische Indikatoren zugeordnet werden. Um eine große Vielfalt an Testdaten zu gewährleisten, generierten 11 Teams von Bauingenieurstudierenden die Daten via forschungsgeliebte Lehre (Schützenhofer et al 2020).

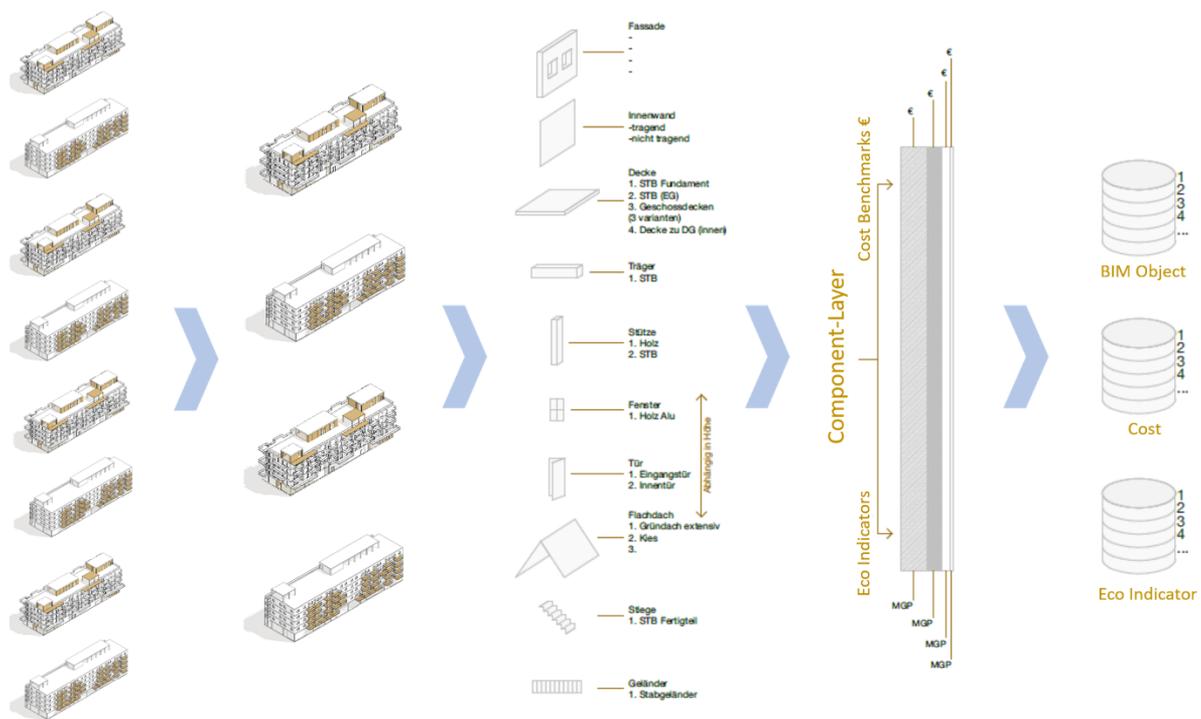


Abbildung 7: Methode der Generierung der BIM Objektbibliothek, Top Down Modellierung (Pibal et al, 2021)

Die Modelle, in Form von nativen ARCHICAD-Modellen und IFC-Dateien, wurden in Komponenten und Komponentenschichten zerlegt. Für die Speicherung und Anreicherung der Komponenten, die Berechnung der Kosten und die Ermittlung ökologischer Indikatoren wurde eine spezielle Methode verwendet (Schützenhofer et al 2020). Ökologische Indikatoren wurden über das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie, genauer baubook-eco2soft, erhoben, die Berechnung basiert auf dem Materialpass von Honic et al (2019). Die Benchmarks für die Kostenberechnung wurden vom Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI) aus den Jahren 2017 und 2020 für Wohngebäude erhoben. Als Ergebnis erhielten wir 11 optimierte Bauteilkataloge mit Kosten- und Ökokennzahlen für 4 spezifische Modellvarianten. Bei der Überprüfung des Komponentenkatalogs traten folgende Probleme auf: i) mangelnde Skalierbarkeit der projektspezifischen Komponenten, ii) zahlreiche identische oder sehr ähnliche Komponenten, iii) unsichere Qualität der Komponenten. Folglich haben wir einen iterativen Prozess der Generalisierung, Reduktion und Normalisierung durchgeführt, um den generischen Objektkatalog zu generieren: Wir haben die 11 Kataloge in einzelne Komponenten zerlegt. Bei der Generalisierung wurden die Bauteile erstens in horizontale und vertikale Bauteile und zweitens

in Bauteiltypen (z.B. Wände, Decken, Stützen) und in detailliertere Untertypen, abhängig ihrer Bauteilschichten (Außenwand 01, Außenwand 02, Decke 01, Stütze 15) gruppiert. Während der Reduktion wurden identische oder hoch ähnliche Bauteile identifiziert und zusammengeführt. Während der Normalisierung wurden die Anforderungen (Unabhängigkeit, funktionale Abhängigkeit und Redundanzfreiheit) an die Einzelinformationen der normalisierten Bauteile sichergestellt. Die generischen Komponenten wurden optimiert und wiederum mit Kosten- und Ökoindikatoren angereichert (Pibal et al, 2021).

4.4. Modellbildung Parametric Habitat Designer

Für den Parametric Habitat Designer (Abbildung 8) wurde die bestehende Software "Michelangelo" von Procedural Design auf die Projektdomäne ausgebaut und mit einigen ganz neuen Konzepten erweitert. Durch Umbau am Backend wurde die angestrebte kollaborative Arbeitsweise ermöglicht. Pandemiebedingt wurde sogar Zusammenarbeit und Synchronisierung in Echtzeit erzielt. Die neuen Konzepte für integrale Planung im architektonischen Bereich umfassen „Prefabricates“, asynchrone Aggregatoren, sowie einen Grundrissgenerator. Das PHD kann in drei Schichten geteilt werden. Die 1. umfasst eine Menge von parametrischen 3D Teilen und 2D Layouts mit reicher Semantik aber ohne vordefinierte Verbindungen. Die 2. Schicht besteht aus einer prozeduralen Engine. Sie verbindet die 3D Teile zu komplexen Modellen. Dabei werden Parameterwerte gewählt. Für 2D Layouts wird ein Optimizer ausgeführt. Die 3. Schicht bietet verschiedene Möglichkeiten zur Interaktion mit den generierten Resultaten.

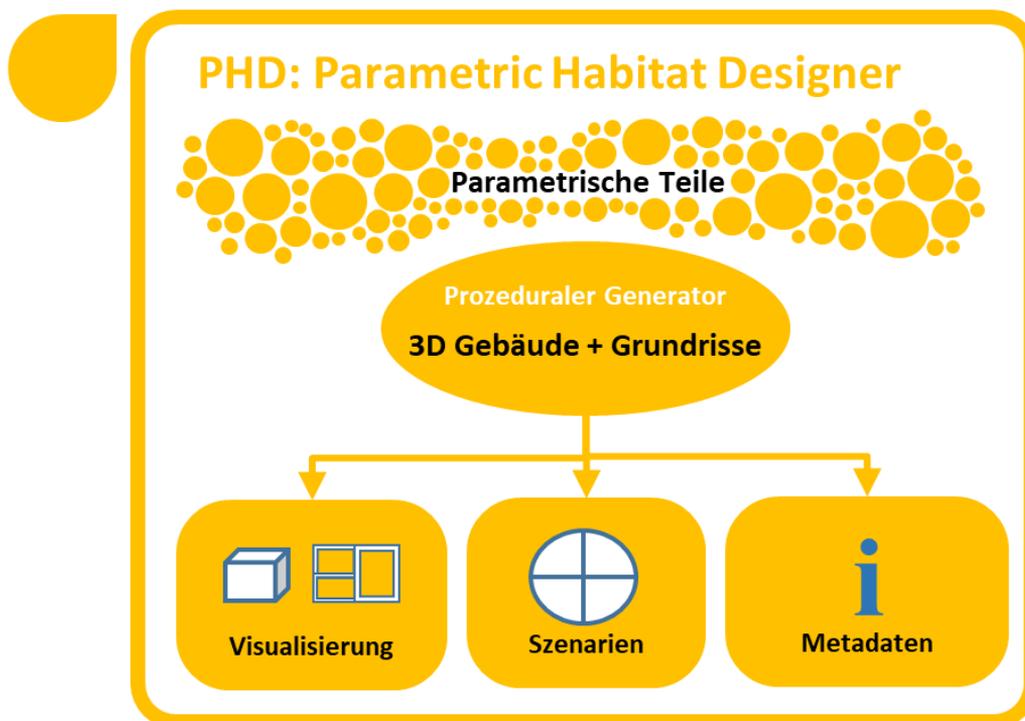


Abbildung 8: PHD besteht aus drei Schichten: 1. verwaltet eine dynamische Menge von parametrischen 3D Teilen und 2D layouts, 2. diese werden von einer prozeduralen Engine und einem Grundrissgenerator zu komplexen 3D Modellen optimal zusammengefügt, 3. bietet verschiedene Möglichkeiten zur Interaktion mit den generierten Resultaten

4.4.1. Datenaustausch mit BIM4D2P auf Modulebene, Optimierung der Module anhand Ankerpunkte, Eingabe der Bewohnerbedürfnisse, einfache Darstellung

Daten aus BIM4D2P werden in Michelangelo's Vorlagen als semantische Attribute übernommen. Zwecks Flexibilität und Modularität kann jedes Attribut eine Menge von verschiedenen Werten annehmen. Wir haben das Konzept von Prefabricates entwickelt um die prozeduralen Parameter von Bauteilen und Einrichtungsgegenständen auf bestimmte Konfigurationen – jene die massenhaft produziert werden – zu limitieren. Somit werden Standardteile bevorzugt und maßgeschneiderte Objekte minimal eingesetzt. Aggregatoren behandeln die asynchrone Auswertung der prozeduralen Modelle. Sie führen Synchronisationspunkte in den Genrierungsprozess ein, wo ausgewählte Attribute aus verschiedenen Regionen zuerst aggregiert werden sollen, bevor die Generierung fortfahren kann. So können verschiedene Flächen, Volumen oder Kosten aggregiert werden und Einfluss auf weitere Bildung des 3D Objekts oder der 3D Szene haben, oder einfach nur als Statistische Daten.

4.4.2. Datenaustausch mit BIM4D2P hinsichtlich Metadaten und Normen, Eingabe der Grundstückdaten, komplexe Optimierung

Aus den Nutzerstudien ist ein allgemeines Regelwerk für hierarchische Zerteilung der Gebäude in einzelne Stockwerke, Bereiche, Wohneinheiten und letztlich in einzelne Zimmer entstanden. Bei der Zerteilung kann zwischen einfacheren 3D Schnitten und komplexen 2D Aufteilungen gewechselt werden. Für die letztere Strategie wurde ein spezieller Grundrissgenerator entworfen.

Der Grundrissgenerator zerteilt zuerst die verfügbare Fläche in kleine Zellen und sucht dann nach einer optimalen Zuweisung der gewünschten Region (z.B. Zimmer) zu den verfügbaren Zellen. Eingabe der Geometrie und Metadaten erfolgt über eine eigene domänenspezifische Skriptsprache, basierend auf C#. Es ermöglicht auch Nutzerwünsche und Normen als Randbedingungen zu spezifizieren. Das kombinatorische Optimierungsproblem der Grundrissgenerierung wird mit einem Constraint Programming Ansatz gelöst. Im Laufe des Projekts wurde die initiale Beschränkung auf regelmäßige Rechteckgitter aufgehoben. Während der kombinatorische Suchraum enorm ist, es steigt exponentiell mit der Anzahl der Zellen, bleibt der Anteil an überhaupt zulässigen Lösungen sehr gering. Um eine der wenigen Lösungen nicht zu verfehlen wird möglichst der ganze Suchraum abgetastet. Heuristiken werden nur minimal für grobe Flächenfilterung eingesetzt. Die Chance das globale Optimum zu erreichen ist also sehr hoch.

4.4.3. Interaktive Darstellung der Resultate

Die Benutzerschnittstelle von Michelangelo wurde für die Projektbedürfnisse von Grund auf neugestaltet. Es handelt sich um eine Browser App, es kann also ohne Installation an jedem Rechner genutzt werden. Es bietet eine interaktive 3D Darstellung der generierten Modelle mit einigen Möglichkeiten zur Analyse der Geometrie und Attribute. Die 3D Darstellung ist mit einem Infopanel mit detaillierten Angaben verlinkt. Hochwertige Bilder und Videos lassen sich automatisch durch eine Anbindung an den Cycles Renderer erstellen.

4.4.4. Datenaustausch mit BIM4D2P hinsichtlich Einrichtung, interaktive Manipulation mit den Einrichtungsgegenständen

Konzepte der Möblierung aus der forschungsgeleiteten Lehre wurden analysiert und in das erarbeitete Beispielregelwerk als Randbedingungen des Grundrissgenerators integriert. Wichtig sind vor allem Mindestabmessungen der verschiedenen Räume, um genug Platz für die Einrichtung zu reservieren. Bei feineren Zellengrößen (unter 1 m^2) wurden unpraktische Nischen, als auch zu viele Ecken in den generierten Räumen zu häufigen Problemen. Die Rechenzeit ging überwiegend auf solche unpraktischen Lösungen verloren, denn sie belegen den Großteil des Lösungsraums. Der Nachteil wurde zum Vorteil als wir dafür zwei spezielle Abbruchkriterien formuliert haben, die in jedem Schritt der kombinatorischen Regionbildung ungünstige Lösungswege identifizieren und nicht weiterverfolgen. Manipulation mit einzelnen Möbelstücken oder deren Kompositionen ist der Handhabung von Bauteilen gleichgestellt, es werden dieselben Methoden, vor allem das Konzept der Prefabricates, wiederverwendet.

4.4.5. Darstellung und Analyse der Zukunftsszenarien und Anordnungsvarianten

Die meisten prozeduralen Systeme arbeiten auf der Basis eines zufälligen Lösungsweges. Um mehrere Alternativen zu betrachten, wird die Generierung mehrfach mit verschiedenen Initialwerten des Zufallsgenerators ausgeführt. Solch Strategie garantiert weder Vollständigkeit noch Einzigartigkeit der Ergebnismenge. Der Anteil gültiger Lösungen zu allen möglichen Kombinationen ist nämlich sehr gering. Deshalb wurden auch mit verschiedenen Zufallszahlen dieselben Lösungen wiederholt generiert. Als ein sehr wichtiges Konzept haben wir die Berechnung von Lösungs-Ensembles entwickelt. Es ermittelt die vollständige Menge von optimalen Lösungen, ohne Wiederholungen. Somit können verschiedene gleich gute Varianten gemeinsam betrachtet und verglichen werden. Ensembles haben sich bei den Nutzerstudien als sehr inspirativ und wichtig für den Entscheidungsprozess erwiesen.

4.5. Evaluierung des Rahmenwerks: Nutzerstudien

Es wurden im Zeitraum von 2020 bis 2021 drei Nutzerstudien durchgeführt, um das Rahmenwerk der digitalen Plattform zu testen und zu verifizieren. Die drei Nutzerstudien wurden zu 3 verschiedenen Reifestufen des PHD durchgeführt und Feedback der Studien sowie ausgewertete Nutzeranforderungen wurde jeweils in die Optimierung des Rahmenwerks implementiert (Abbildung 9).

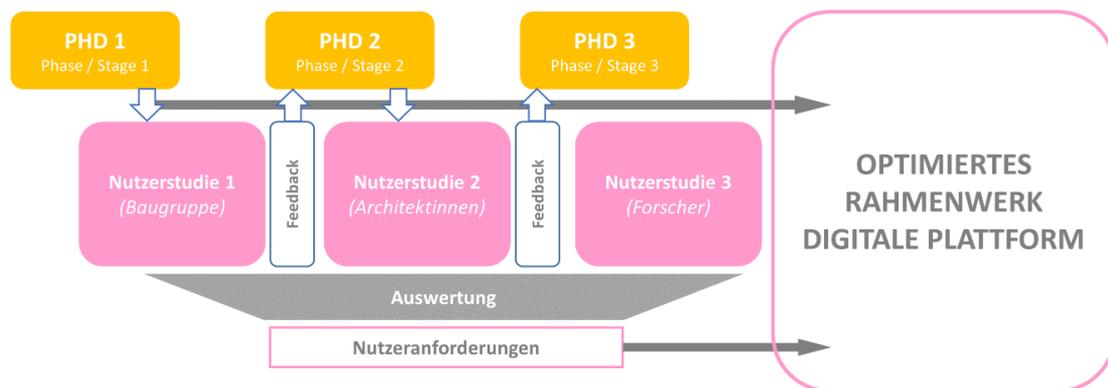


Abbildung 9: Evaluierung und Optimierung des Rahmenwerks anhand der Nutzerstudien

4.5.1. Nutzerstudie 1: Baugruppe – Fokus Partizipation

Die Nutzerstudie 1 wurde mit 4 Personen einer Wiener Baugruppe (Fokus Partizipation) durchgeführt und richtete sich an Architekturlaien mit Vorerfahrung in Planungsbeteiligung. Die Testpersonen sollten eine Wohnungsplanung im Rahmen der Möglichkeiten des PHD wiederholen. In diesem Workshop ging es darum, insbesondere die Einsatzfähigkeit für kollaboratives Entwerfen mit Laien zu testen. In jedem Durchgang wurden zunächst der PHD und seine Funktionen erläutert und dann ein Entwurfsdurchgang simuliert. Anschließend führte der Workshopleiter ein Interview. Als Grundlage für die Workshops dienten ein konkretes Grundstück und Gebäude, das von Studierenden im Rahmen des Projekts analysiert und modelliert worden war. Die Evaluierung der Partizipation erfolgte durch die Evaluierung der Nutzerstudie 1, welche mit der Baugruppe durchgeführt wurde. Die Transkripte der Nutzerstudie sowie die Transkripte der anschließenden Interviews wurden anhand qualitativer Inhaltsanalyse codiert und analysiert.

4.5.2. Nutzerstudie 2: Architekt:innen – Fokus Nutzbarkeit

Nutzerstudie 2 wurde mit Architekt:innen (Fokus Usability/Feasibility) durchgeführt. Hier ging es darum, die Einsatzfähigkeit für professionelles Entwerfen zu testen und Feedback zur Kompatibilität mit der zeitgenössischen Planungspraxis im österreichischen und insbesondere Wiener Wohnbau zu testen. In jedem Durchgang wurde eine geringer strukturierte Vorgangsweise gewählt, es ging demnach weniger um einen iterativen Entwurfsprozess als darum, die Freiheiten und Möglichkeiten des PHD auszutesten. Anschließend folgte wiederum ein Interview, um Feedback einzuholen. Die Evaluierung

der Nützlichkeit erfolgte durch die Evaluierung der Nutzerstudie 2, welche mit Architekt:innen durchgeführt wurde. Die Transkripte der Nutzerstudie sowie die Transkripte der anschließenden Interviews wurden anhand qualitativer Inhaltsanalyse codiert und analysiert.

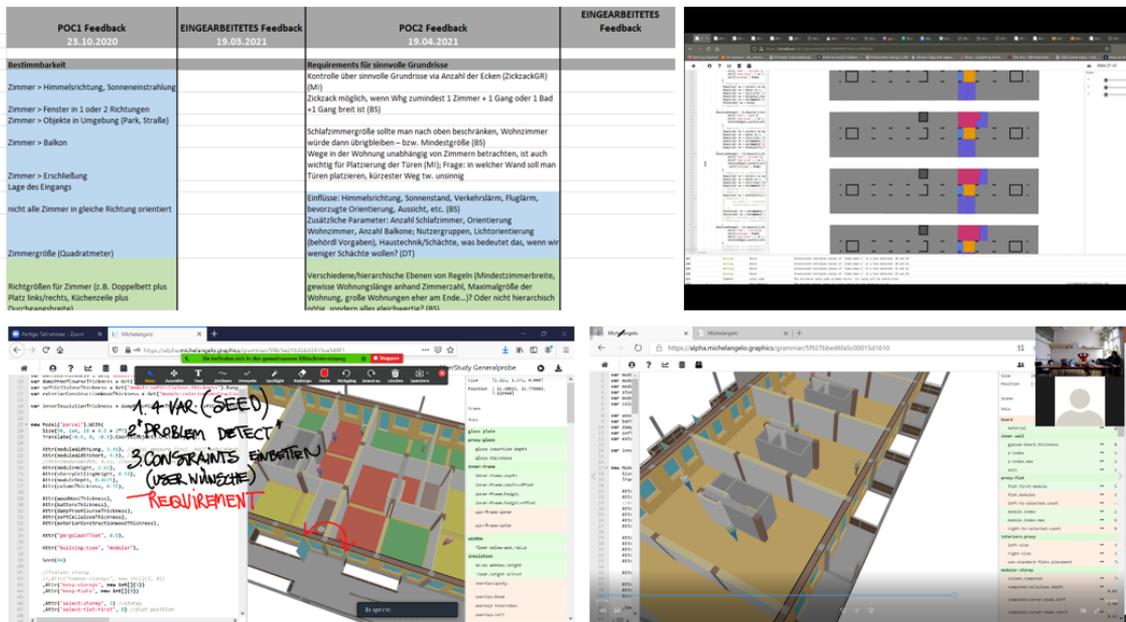


Abbildung 10: Impressions der Nutzerstudien - Parametric Habitat Designer: Rechts oben Szenarien für den Umbau zweier Wohnungen. Links unten die Darstellung von farbkodierten Räumen integriert im 3D Modell des Gebäudes. Rechts unten die virtuelle Studie zur nutzergesteuerten Zerteilung eines Stockwerks in Wohneinheiten

4.5.3. Nutzerstudie 3: Proof of Concept

Die Nutzerstudie 3 wurde mit den beteiligten Projektpartner:innen durchgeführt, als Proof of Concept. Dabei wurde der Proof of Concept ähnlich wie bei den vorhergehenden Workshops vom Forschungsteam selbst hinsichtlich Funktionsfähigkeit und Entwicklungsmöglichkeiten und Szenarienbildung getestet. Folgend wurden die Resultate der beiden ersten Workshops diskutiert und analysiert. Der Leitfaden für die Interviews umfasste Fragen zur Usability, zu Visualisierung und Interface, zur Einschätzung der Brauchbarkeit für partizipatives bzw. professionelles Entwerfen, zur Nutzbarkeit für verschiedene Entwurfssettings sowie zu den Themen Flexibilität, Nachhaltigkeit, Partizipation und digitale Planung. In den Workshops wurde auch über Möglichkeiten der Weiterentwicklung gesprochen, die die Anwendbarkeit des PHD verbessern würden. Die Workshop-Durchgänge wurden transkribiert und die Transkripte hinsichtlich ihrer Aussagen zu Funktionsumfang, Usability und Entwicklungspotenzialen des PHD analysiert, die Analyse wurde schließlich im Forschungsteam diskutiert und gemeinsam weiterentwickelt. Die Ergebnisse der Nutzerstudien sind die Nutzeranforderungen, welche in das optimierte Framework der digitalen Plattform einfließen. Anhand der Nutzerstudie 3, welche mit den Projektpartner:innen als Proof of Concept durchgeführt wurde, erfolgte die Validierung und Analyse des Rahmenwerks. Die Transkripte der Nutzerstudie sowie die Transkripte der anschließenden Interviews wurden anhand qualitativer Inhaltsanalyse codiert und analysiert. Die Validierung erfolgte zusätzlich

auch durch die Evaluierung und Dokumentation der entwickelten Datenstrukturierung und Hierarchisierung, der Daten- und Modellplattform, der Schnittstellen und Komponenten BIM4D2P und PHD.

5 Ergebnisse

5.1. Rahmenwerk der Digitalen Plattform Wohnen 4.0

Die Evaluierung des Rahmenwerks nach Nützlichkeit und Interoperabilität für Nutzer:innen und die Validierung der Ergebnisse wurde anhand der Nutzerstudien, Interviews sowie anhand der Ergebnisse des Projekts im Zuge der Optimierung durchgeführt. Eine umfassende Dokumentation der Evaluierung hinsichtlich Anwendbarkeit und Nutzen bildet die Basis für das optimierte Rahmenwerk (Abbildung 11). Dieses Rahmenwerk beinhaltet die Komponenten der Digitalen Plattform: die erweiterte Wissensdatenbank, den getesteten PHD und das Konzept des BIM4D2P samt BIM-Objektbibliothek, sowie die damit verknüpften Anforderungen der Komponenten, deren Relationen und Daten.

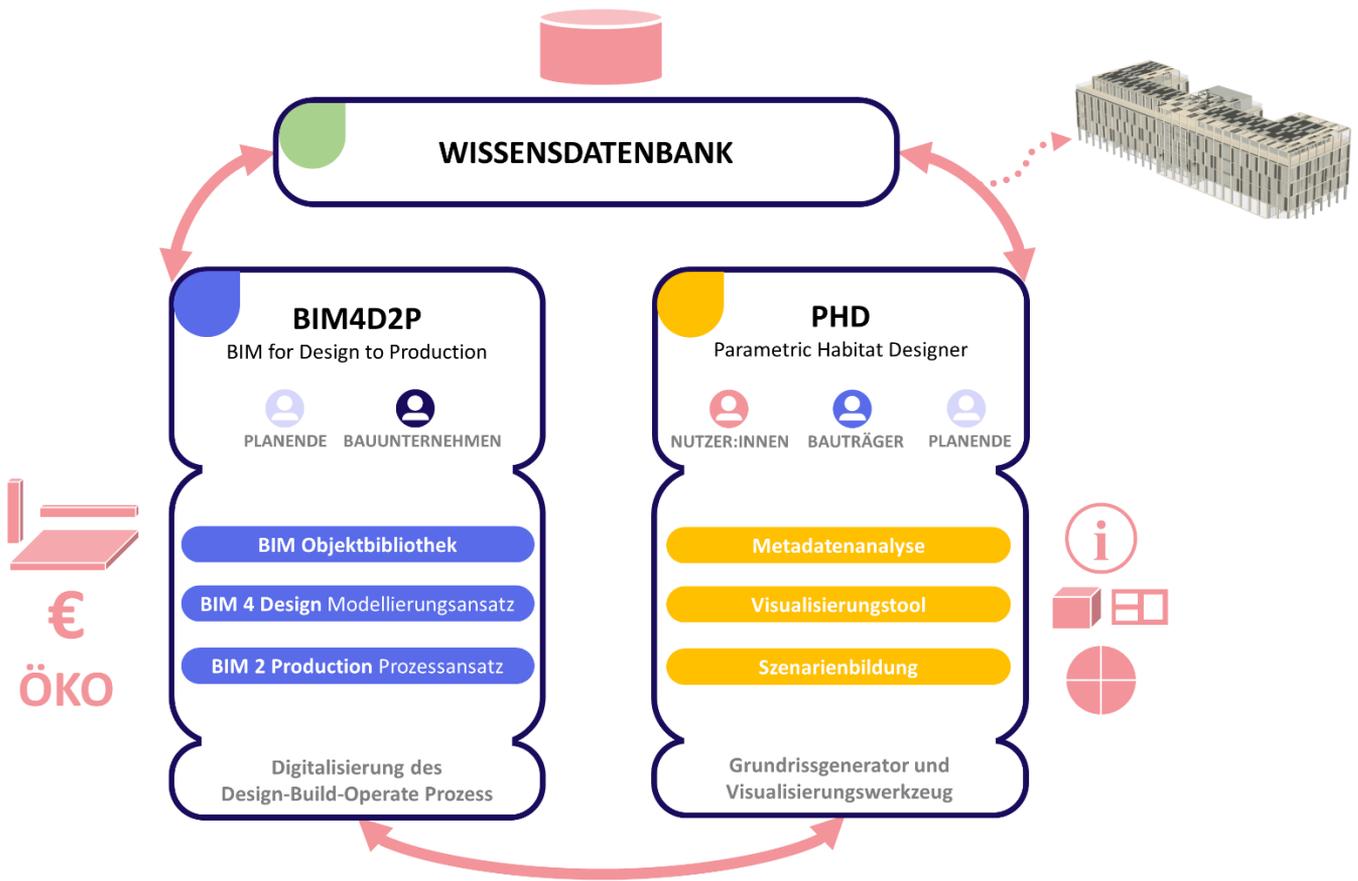


Abbildung 11: Rahmenwerk der Digitalen Plattform „Wohnen 4.0“ - Wissensdatenbank - BIM4D2P Komponente - PHD Komponente

5.2. Wissensdatenbank

Die Wissensdatenbank (Abbildung 12) dient als gemeinsame Wissens-Basis für alle Stakeholder über gesamte Wertschöpfungskette. Diese Wissensdatenbank umfasst Informationen und Dokumente zu modularen Wohnkonzepten, modularen Bauweisen, die Parameterdatenbank (technische, rechtliche, wirtschaftliche Parameter), den Kriterienkatalog zur Bewertung und Auswahl modularer Bauweisen, den Modulbau-Katalog als Repositorium der möglichen Bauweisen und spezifischen Merkmale, den Use Case in Form einer Wiener Baugruppe, die Wohntrends sowie Expert:inneninterviews mit Architekt:innen, Planenden, Herstellern und Bauträgern.

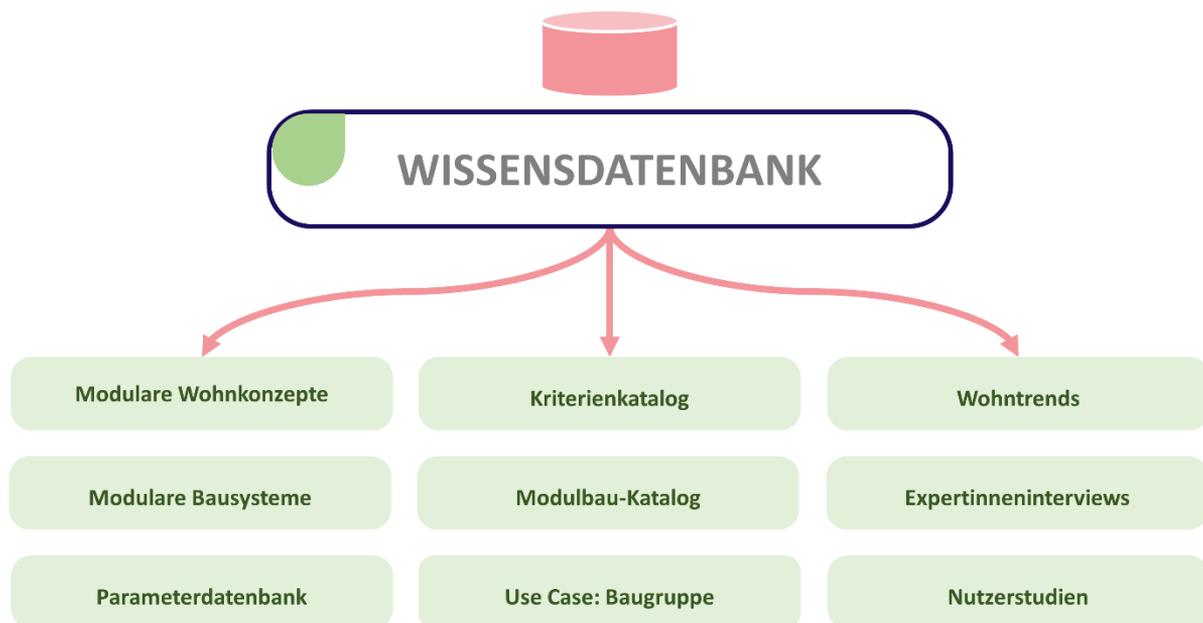


Abbildung 12: Wissensdatenbank der Digitalen Plattform samt Sub-Ergebnissen

5.2.1. Modulare Bausysteme & Modulare Wohnkonzepte

Die Modulbauweise wird als Möglichkeit gesehen, kostengünstig und schnell die Problematik des Wohnraumbedarfs zu decken. Mit monetären Vorteilen gehen auch kürzere und besser geplante Bauzeiten durch die Industrialisierung des Bauwesens einher (Kumlehn; Schütte; Schwerdtner 2018). Die „Neue Wohnungsnot“ soll dem seriellen Bauen einen Aufschwung in der Gesellschaft verschaffen, war es doch in den 60er bis 80er Jahren geprägt von der Architektur der Groß- und Plattenbausiedlungen (Gill, 2016). Diese gestalterische Monotonie der Architektur fand in der damaligen Gesellschaft keinen großen Zuspruch und führte damit zu einer Stagnation des industriellen Bauens (Kaufmann; Lechner; Fleischmann; Brech 2019). Heute wird versucht im Modulbau vom Gedanken des schnellen Produzierens von gleichen Elementen wegzukommen. Die Entwicklung der Technologie in Planung, Produktion und Montage, als auch die unterschiedlichen Einflüsse in Bezug auf Energie-, Klimatechnik und Materialeffizienz modellierten jedes System zu einem Individuum, das wiederum individuell dargestellt werden kann (Dörrhöfer; Staib; Rosenthal 2008).

Planungsprozess

BIM ist nicht nur in der traditionellen Bauweise bedeutend, sondern auch in der modularen. Sie hat Vorteile, wie eine bessere Darstellung, der gute Informationsaustausch, die Reduzierung von Abfall und die erhöhte Produktivität und Qualität (Chung-Klatte, et al., 2012; Al-Hussein & Liu, 2019). Neben BIM existiert auch die sogenannte Design Structure Matrix, DMS, eine Technik, die die komplexen Aufgaben eines Projekts in unterschiedlichen Fachbereichen unterteilt und zu den Fachgruppen zuweist, visualisiert. Damit ist es ersichtlich, für welche Aufgabe welche Gruppe zuständig ist, und wie die einzelnen Herausforderungen bei der Planung aufeinander aufbauen. Die DMS ist ein Informationsfluss und gibt einen guten Überblick über die Zusammenhänge der auszuführenden Arbeiten an (Bekdik & Pörzgen, 2017). Bei der Grundlagenermittlung ist zu bedenken, wie oft dasselbe Element produziert werden soll. Da je größer der Wiederholungsfaktor von einem bestimmten Element ist, desto günstiger ist die Herstellung. Bei dieser Methode ist die gute Zusammenarbeit von Architekt:innen mit der Bauindustrie und mit den Herstellern besonders wichtig (Benze, et al., 2020). Für den erfolgreichen Bau ist schon am Anfang an eine „out of the box“ denkweise erforderlich, um alle Optionen und Vorteile von modularer Bauweise auszunutzen zu können. Falls eine Änderung der Schlüsselentscheidungen nach der Vorplanungsphase erforderlich ist, kann die modulare Bauweise ihre Vorteile verlieren und in Nachteile übergehen (Bekdik & Pörzgen, 2017; Wilson, o.J.). Das Genehmigungsverfahren kann ebenfalls durch die Serienproduktion vereinfacht werden. Die Zulassung von individuellen Elementen kann durch die Herstellung von Proben und deren Prüfungen mit hohen Innovationskosten verbunden werden. Die Wiederholungen in der Ausführung und in der Wiederverwendung von möglichst großen Elementen sind essentiell für die Ausführungsplanung. Wie schon oben erwähnt wurde, sind die Mitarbeit und die rechtzeitige Einbindung von Expert:innen aus der Bauindustrie ganz wichtig, um die Planung in allen Aspekten so effizient wie möglich zu machen. Die Aufgaben der Bauleitung werden durch die Arbeiten in den Fabriken erheblich reduziert. Durch die Dokumentation der einzelnen Arbeitsschritte und Ausführung können für die zukünftigen Projekte die Erkenntnisse herangezogen werden (Benze, et al., 2020).

Bauprozess

Die einzigen Arbeiten bei der modularen Bauweise, die auf der Baustelle ausgeführt werden, sind Gründungs-, Zusammenstellungs- und Verbindungsarbeiten. (Goodier, et al., 2014) Diejenige, die bei der modularen Bauweise parallel mit der Vorfertigung von Modulen in Werken ablaufen kann, ist die Gründung auf der Baustelle. Dabei wird in erste Linie der Boden ausgeglichen und anschließend ein Fundament aus Beton hergestellt, der für die Lastabtragung erforderlich ist. Der zeitliche und technische Aufwand hängt vor allem von den Bodeneigenschaften ab, aber auch von den Anforderungen des Gebäudes und seiner Funktionen. Der Aufwand der Arbeiten kann auch davon abhängen, ob die Gründung für temporäre oder permanente Gebäude gemacht wird. Die Prüfung der Lagesicherheit muss in jedem Fall auf Gleit- und Kippsicherheit erfolgen, egal ob das Gebäude aus einem einzelnen Container oder aus Modulen zusammengestellt wird. (Jakob, 2019) Wie schon in Kapitel 1.2 erwähnt, ist die einzige Einschränkung bei der Größe eines Moduls die begrenzten Transportmöglichkeiten. Auch wenn theoretisch die Möglichkeit besteht ganze Gebäude im Werk vorzufertigen, wäre es unmöglich, sie in ihrer Gesamtheit auf die Baustelle zu transportieren. Aus diesem Grund werden die meisten Module in einer Geschoßhöhe hergestellt und geliefert. (Dörries & Zahradnik, 2019) Wenn die standardisierten Größen eingehalten werden, ist auch keine Sondererlaubnis für den Transport notwendig. Nach der

Lieferung auf die Baustelle werden die Module zu einem Gebäude zusammengestellt, danach werden die Fugen zwischen den Raummodulen geschlossen. (Chung-Klatte, et al., 2012) Für die Montage werden Krane verwendet. Man kann hauptsächlich zwischen Mobilkrane und Turmdrehkrane unterscheiden. Mobilkrane können sich an einer oder an beiden Seiten des Gebauten bewegen, dagegen sind Turmdrehkrane meistens fix an einem zentralen Ort aufgebaut, um eine möglichst große Ausladung zu haben. Der Architekt soll außerdem bei der Planung bedenken, wo und wie die Schleifen für die Hebung platziert werden. (Dörries & Zahradnik, 2019)

Modulares Wohnen

Das modulare Wohnen beschreibt das Wohnen in Wohnmodulen, die durch modulares Bauen entstehen. Diese Bauweise ist eine spezielle Art des elementierten Bauens, da nicht nur Elemente, sondern ganze Raumeinheiten im Werk produziert und auf die Baustelle transportiert werden (Pawlitschko 2018, S.22). Heutzutage soll das elementierte Bauen, im Speziellen das modulare Bauen, eine Lösung für die Problematik eines kostengünstigen Wohnraums darstellen (Aitchison 2018, S.18). Modulares Wohnen fand wegen der Flexibilität des Standortes seine Anfänge als temporäre Unterkunft, beispielsweise für Flüchtlinge (Grundke; Wildemann 2017, S.15ff.). Diese, meist waren es Containerbauten, hatten schlecht erkennbare räumliche und architektonische Qualität. Deshalb entstanden Vorbehalte gegenüber dem Modulbau und einem dauerhaften Einsatz im Wohnbau. Erst nach einer Verbesserung der Qualität der Modulbauten stieg die Nachfrage kontinuierlich. Heutzutage sind die Modulbauten baukonstruktiv ausgereift, energietechnisch optimiert und architektonisch gleichgestellt mit den konventionell errichteten Bauten (Dutczak 2018, S.5). Modulare Häuser bieten aber auch im Laufe der Zeit eine gute Anpassungsfähigkeit. So können durch die zuvor definierten Schnittstellen, Module nach Belieben hinzugefügt beziehungsweise entfernt werden (Grundke; Wildemann 2017, S.24.). Bei der Aufstockung ist nur auf eine anfängliche richtige Bemessung des Fundamentes zu achten (Jakob 2019, S.165). Die Innenräume lassen sich durch die freitragende Struktur mit nichttragenden Innenwänden, ebenfalls flexibel umgestalten (ebd., S.164). In Bezug auf Nachhaltigkeit kann modulares Wohnen nicht nur im Herstellungsprozess energiesparend wirken, sondern auch im Nutzen (Engelmeier; Grundke 2017, S.64ff.). Der hohe Vorfertigungsgrad der Module führt zu dem Ansatz, diese mit Aktiv- oder Passivhäusern zu kombinieren, um einen noch nachhaltigeren Effekt zu erzielen (Geuder 2019, S.60). Durch den digitalisierten Planungsprozess wird schon in der Planungsphase die Haustechnik an Energiespeicherung und Energiegewinnung angepasst und ermöglicht dem Kunden auch einen sofortigen Überblick seiner Kosten (Engelmeier; Grundke 2017, S.64ff.). Die Bearbeitung im Werk kann die modernste Technik bezüglich Energieeinsparung und Energieerzeugung in die Module problemlos integrieren. So können bereits im Werk Photovoltaik Anlagen, die dadurch kostengünstiger kommen, unkompliziert angebracht werden (Grundke; Wildemann 2017, S.15ff.). Die Technik im Modulbau entwickelt sich in die Richtung „intelligenter, vernetzter“ und „smarter“ Häuser. Unter dem Motto, dass die Technik das Leben unterstützen und erleichtern soll, sollen Häuser mit Passivhausstandard und Photovoltaikanlagen das Leitmotiv werden. Die Visionen der Unternehmen und Ingenieur:innen in Bezug auf die Wohnentwicklung geht in die Richtung der Verbesserung der Sicherheitstechnik, die Entwicklung von einfachen und komfortablen Steuerungs- und Bedientechniken und die Vernetzung die unterschiedlichen elektrischen und elektronischen Geräte. Allerdings werden die „smarten“ Lösungen kritisch hinterfragt, weil nicht alle einen tatsächlichen, sinnvollen Nutzwert besitzen (Scharp 2005, S.11ff.). Eine Umsetzung aller technischen Gedanken ist auch durch die Prägung der handwerklichen

Prozesse in der Bauindustrie nur bedingt möglich. Derzeit weist das Bauwesen eine geringere Industrialisierung und Automation im Vergleich zu anderen Industrien auf (Albus; Drexler 2017, S.304). Beispielsweise ist der Vorfertigungsgrad bezüglich der Haustechnik noch gering. Diese benötigen in den meisten Fällen noch eine konventionelle Ausführung (ebd., S.326). Eine mögliche Erleichterung wären eigens hergestellte Haustechnik Module (DETAIL Magazin für Architektur + Baudetail 2019). Weiters ergeben sich Erschwernisse bei der mangelhaften Standardisierung in der firmenübergreifenden Zusammenarbeit, höhere Transportkosten bei großen Bauteilen beziehungsweise Einschränkungen des Auslieferungsradius, hoher Fixkostenanteil durch hohe Mechanisierung in der Produktion und bei Einzellösungen höhere Planungsaufwendungen (Girmscheid o.J., S.21). Dieser Prozess soll optimiert werden durch eine Weiterentwicklung der Digitalisierung im Bauwesen, d.h. eine integrale und interdisziplinäre Zusammenarbeit mit verstärkter Kundenorientierung, eine Erhöhung des Vorfertigungsgrades, d.h. automatisierte Produktionsanteile in der Bauwirtschaft und den Einsatz von Baustellenrobotern, d.h. eine effizientere Durchführung der verbleibenden Baustellenarbeit (ebd., S.86). Die einzelnen Grundlagen des elementierten Bauens sind voneinander abhängig. Eine frühe Zusammenarbeit aller Beteiligten, wie Nutzer:innen, Architekt:innen, Produktion und der Transport und Montageunternehmen, ist effizienzsteigernd (Hairstans 2014, S.25). Ein kontinuierlicher Datenaustausch erleichtert die Kommunikation, vermeidet eine Mehrerfassung von Daten und gilt im industriellen Bauen als erfolgsentscheidend (Girmscheid o.J., S.14ff.). Gegen eine Umsetzung des Modulbaus als dauerhaften Wohnraum gibt es in der Gesellschaft noch Vorbehalte aufgrund der Containerbauten, die eine schlecht erkennbare räumliche und architektonische Qualität aufweisen. Auch der Gedanke, dass das serielle Bauen weiterhin von der Architektur der Groß- und Plattenbausiedlungen aus den 60er bis 80er Jahren geprägt sei, trägt dazu bei. Die Nachfrage für Modulbauten stieg durch die Verbesserung der Qualität, die heutzutage baukonstruktiv, energietechnisch und architektonisch der konventionellen Bauweise in nichts mehr nachsteht. Eine individuelle Umsetzung von Modulen bedeutet allerdings derzeit noch einen Mehraufwand in der Planung und eine teurere Vorproduktion. Das Prinzip der mass customisation soll diesem Problem entgegenwirken. In der Umsetzung sollen die Kundenwünsche zukünftig besser berücksichtigt werden und die Architektur ihre gestalterische Monotonie verlieren. Momentan ermöglicht das modulare Wohnen bereits eine flexible Umgestaltung der Innenräume, durch die freitragende Struktur der nichttragenden Innenwände, wie auch durch die Möglichkeit die Module nach Belieben hinzuzufügen beziehungsweise zu entfernen. Weiters kann die mögliche Erweiterung der Anzahl von Baugruppen im sozialen Wohnungsbau, unterschiedliche Grundstückssituationen gestalterisch und städtebaulich angemessen adaptieren. Der ökonomisch-ökologische Aspekt von Materialien und Energie gewinnt im Bauwesen ebenfalls an Bedeutung. Die Verwendung von nachhaltigen Baustoffen, wie beispielsweise Holz, durch seine leichte Bearbeitbarkeit und dem geringen Gewicht, ist eine beliebte Methode im elementierten Bauen. Durch die gezielten computergesteuerten Maschinen wird der Zuschnitt optimiert und die produzierte Abfallmenge reduziert. Die additive Bauweise verstärkt zusätzlich noch den positiven Effekt der Rückbau- und Wiederverwertungsfähigkeit.

5.2.2. Modulbau-Katalog

Im Zuge der Anforderungsanalyse zur Erfassung der modularen Bauweisen wurde eine Studie durchgeführt, die die Aspekte des leistbaren Wohnens und modularen Bauweisen behandelt. Ergebnis ist eine Fallbeispielsammlung in Form eines **Modulbau-Katalogs**, der 60 Fallbeispiele beinhaltet. Der Modulbau-Katalog erfasst tabellarisch die qualitativen Eigenschaften der 60 Fallbeispiele und beinhaltet 23 spezifische Merkmale (Parameter) zu den Kategorien Bauablauf, Flächen, Gebäudeparameter, Wohnungen, Module, Tragsystem und Flexibilität. Tabelle 1 zeigt die Kategorien sowie die spezifischen Merkmale der modularen Gebäude, Abbildung 13 zeigt eine Übersicht des gesamten Katalogs.

Tabelle 1: Exzerpt Modulbau-Katalog: Kategorien und spezifische Merkmale/Parameter

Kategorien	Projekt-daten	Bauablauf	Flächen	Gebäude	Wohnungen	Module	Tragsystem	Flexibili-tät
Spezifische Merkmale/Parameter	Projekt-name	Bauzeit	BGF, Footprint	Anzahl Ge-schosse	Anzahl Wohneinhei-ten	Modulart	Tragsystem Primär- und Sekundär-konstruktion	Art der Flexibili-tät
	Ort und Fertig-stellung	Herstel-lung	Verhält-nis der Flächen	Erschlie-ßungssys-tem	Größe Wohneinhei-ten	Bau-weise/ Material	Lage der Versor-gungs-stränge	
	Gebäu-denut-zung	Transport, Lagerung, Dimensio-nen		Energeti-scher Stan-dard	Freiräume		Wandaufbau + Gebäude-hülle	
	Ziel-gruppe	Rohbau & Ausbau		Energiever-sorgung + Energieab-gabesystem				

Projektdaten			Baubau			Räumen			Gebäude			Wohnungen			Module		Tragsystem		Flexibilität		
Projektname	Nutzung	Wohnform	Bauzeit	Herstellung	Transport, Lagerung, Dimensionen	Rohbau & Ausbau	BGF, Footprint	Verhältnis	Anzahl Geschosse	Erdbebenzone	Energetischer Standard	Versorgungssystem	Anzahl WE	Größe WE	Freiräume	Modulart	Bauweise/ Material	Lage der Versorgungspfeiler	Wandaufbau + Gebäuschle	Art der Flexibilität	Sonstige Merkmale
183 Häuser in 3 Gemeinden			Haus spezifisch			bei Selbsterweiterung möglich: Balkon, Terrasse,			Vorgefertigte Bauelemente			Holztafelbauweise; EG und Stieghäuser; StB-Skelettbauweise		Holzrahmenelemente, balloon							

Wohnungen			Module	
Anzahl WE	Größe WE	Freiräume	Modulart	Bauweise/ Material
18	ab Grundmodul 18m ²	Loggia	Scheiben	Holztafelbau
1	2 bedroom, 2 bäder, auf verschiedenen Geschossen	Dachterrasse	3D Level 2 (reduzierte Skelettmodule)	Aluminium und Glas Skelettkonstruktion Fa. Next Ben
66	36-115m ²	Terrassen und Loggien	containerartigen Stapelung	Beton + Holz
36 Wohneinheiten	26 m ² Apartments	Vor der Wohnung überdachter Freiraum	Raummodul	Außenwände: Ständerprofile und Mineralwolle Innenwände: Holztragwerk
159	16,3m ²	nicht vorhanden	volumetrisches Raummodul	Stahl mit Spritzbeton
411	Studio 26m ² , Duplex 53m ² , Triplex 80m ²	Begegnungszone zwischen den Kiegele (Laubgänge, Brücken, Stiegen); Grünflächen (Ilirhan, Gardanina, Leunardarke, Vollaughallinat)	Container	ISO-Container aus Cortenstahl
12	50-60 m ²	Terrasse & Eigengarten oder Balkon	2D, auf Baustelle verlegt	Massivholz
33	35m ² , 55m ² , 75m ² und 110m ²	Balkone und Terrassen	Prefab	Holztafelbauweise; EG und Stieghäuser; StB-Skelettbauweise

Abbildung 13: Übersicht und Exzerpt des Modulbaukatalogs und dessen Parameter

5.2.3. Kriterienkatalog

Der **Kriterienkatalog** umfasst: Integrale Qualität des Gesamtprojekts, Architektur und Tragwerk; Qualität und Übertragbarkeit der Modularen Bauweise oder Systembauweise; Qualität der Grundrisse, Funktionalität, Flexibilität; Industrielle Bauproduktion, Grad der Vorfertigung; Energie- und Ressourceneffizienz sowie Prozess Integration, Digitalisierung und Leistbarkeit.

Tabelle 2: Exzerpt des Kriterienkatalogs mit beispielhafter Bewertung

Kriterien	Quantitative Bewertung			Qualitative Bewertung / Anmerkung
	erfüllt / teilweise erfüllt / nicht erfüllt			
Integrale Qualität des Gesamtprojekts, Architektur und Tragwerk	✓	~	x	(projektspezifisch)
Qualität und Übertragbarkeit der Modularen Bauweise oder Systembauweise nach Österreich	✓	~	x	Bauweise übertragbar - österreichischer Herstellende der Module
Qualität der Grundrisse & Funktionalität	✓	~	x	Baugruppe / Heim
Flexibilität & Adaptierbarkeit	✓	~	x	Innere Flexibilität, im Lebenszyklus adaptierbar

Kriterien	Quantitative Bewertung			Qualitative Bewertung / Anmerkung
Industrielle Bauproduktion, Grad der Vorfertigung	✓	~	x	Module, Off-Site, EG Ortbeton
Energieeffizienz und Ressourceneffizienz	✓	~	x	Passivhausstandard Re-Use Konzept umgesetzt
Prozess Integration & Digitalisierung	✓	~	x	Durchgängige Digitalisierung
Leistbarkeit	✓	~	x	Geförderter Wohnbau

5.2.4. Wohntrends & Wohnparameter

Faktoren hinsichtlich des demografischen Wandels wie Altersadäquate (ältere Menschen, Kinder, Menschen mit eingeschränkter Mobilität) Wohngrundrisse, Barrierefreiheit, Antidiskriminierung zählen zu den Megatrends des Wohnens. Faktoren hinsichtlich einer Pluralisierung der Lebensstile zeigen auf, dass die Haushaltsformen in Österreich 27,9% Singlehaushalte, 7,4% Alleinerziehende, 27,2% Paare mit Kindern, 24,7% Paare ohne Kinder sowie 2,0% Wohngemeinschaften und 1,6% Mehrfamilienhaushalte aufweisen (REF). Hinsichtlich **Wohntrends** gibt diese Forschung Aufschluss über den Fortbestand traditioneller Wohnmodelle als „Dominanz des Generischen“ bei Bauträgern (Grundriss Atlas Wohnungsbau 2018) und in der Tradition des Wiener sozialen und kommunalen Wohnbaus. Neue Entwicklungen hinsichtlich Wohnmodelle sind die i) Minimalisierung (tiny und smart housing, Micro Apartments, Auslagerung), ii) Gemeinschaften, wie Co-housing, Clusterwohnungen, alternative Finanzierungsformen, Sharing Economy und Baugruppen, sowie iii) Multilokales Wohnen (Pendler, Studenten, Zweitwohnsitze). Neue Entwicklungen, auch beschleunigt durch die Pandemie, sind Work at Home, das Homeoffice als Zone/ Raum, Co-working spaces und atypische Beschäftigung. Auch der Asset-based Welfare in Form von Vorsorgewohnungen, ‘Betongold’ und eine Wohnpolitik pro Eigentum, zählt zu den neuen Wohnmodellen. Diese Trends bergen auch Risiken, zum einen hinsichtlich Leistbarkeit, vor allem Wohn- und Grundstückspreise in zentralen Lagen, Altersarmut, prekäre Erwerbskarrieren, Fehlallokation Wohnraum im sozialen Segment, Fehlallokation Wohnraum aufgrund der expansiven Geldpolitik, Unintended-Consequences Markt- und Eigentumseingriffe, Gebäudeerhalt (Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus in unattraktiven Lagen) sowie steigende Neubaukosten aufgrund von Regulierung. Zum anderen bestehen Risiken bezogen auf Unvorhersehbarkeit, beim sozialen Wohnbau das Risiko der Privatisierung und das „Right-to-buy“, sowie demografische Prognosen und (geo)politische Entwicklungen.

Im Zuge der Studie zu Wohntrends wurden auch die Faktoren **Flexibilität** und **Adaptabilität** analysiert. Laut Gorak (2002) wird die Flexibilität definiert als Fähigkeit, physische Umgebung neu zu konfigurieren (eingebaute Flexibilität z.B. mobile Trennwände, oder bauliche Eingriffe) und die Adaptabilität ist die Anpassbarkeit in Bezug auf unterschiedliche soziale Nutzungen, Polyvalenz der Räume (NL), nutzungsneutrale Räume (DE, AT). Hinsichtlich Anpassungsfähigkeit beschreibt der Open Building Approach nach Habraken die unterschiedliche Eingriffstiefe für unterschiedliche Akteure und Ebenen und nach Kendall (2017) die explizit gemachte Trennung zwischen gemeinsam genutzten langlebigen Gebäudeteilen/Flächen und Räumen, in der kurzfristigen Perspektive von individuellen Akteuren kontrollierte

Kapazität für Wandel/Adaptierbarkeit und die Ermächtigung der Nutzer:innen. Gosling et al. (2012) definieren das adaptierbare Gebäude bzw. das Gebäudesystem durch die Planung der Anpassungsfähigkeit und die Prozesse der Anpassungsfähigkeit, ersteres umfasst die Schichtung der Bauelemente, die Unbestimmtheit, austauschbare Komponenten und das Design für Demontage. Die Prozesse umfassen Flexibilität im Planungsprozess, eine integrierte Lieferkette und flexible Lieferkette. So sehen wir auch hier einen Wohntrend zu Nutzungsneutralität, Loose-fit und Polyvalenz. Die **Megatrends des Bauens** umfassen die Vorfertigung und modulare Bauweisen, Building Information Modeling, 3D Druck, Big Data, Augmented Reality und Virtual Reality sowie 3D Scanning (World Economic Forum, Boston Consulting Group), Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft. Hinsichtlich normativ-rechtlichen Anforderungen & steigenden Standards und Sicherheit umfassen die transnationalen Faktoren: Energieeffizienz, Barrierefreiheit, Erdbebenertüchtigung, Brandschutz, Genehmigungsverfahren, Widmung, Bewilligung, unterschiedliche rechtliche Bestimmungen in den Bundesländern, Bauordnungen und Judikaturen (REF). Ein weiterer Megatrend des Bauens ist die Partizipation, Einbeziehung der Nutzer, NIMBY & partizipative Planungsprozesse. **Wohnparameter** wie Institutionen, normative Rahmen, Akteure, technische Systeme, Materialität, Virtualität wurden als Koproduzenten der gebauten Umwelt identifiziert. Gesetzlich normative Quellen, die in unserer Forschung herangezogen wurden, umfassen die Bauordnung für Wien, Techniknovelle, OIB-Richtlinien, Wiener Wohnbauförderungs- und Wohnhaussanierungsgesetz – WWFSG 1989, Neubauverordnung 2007, Wiener Antidiskriminierungsgesetz, Ö-Normen insbesondere Ö-Norm B 1600.

5.2.5. Wirtschaftliche Parameter

Seit 2018 existiert keine gesetzliche Festlegung der angemessenen Gesamtbaukosten mehr, sondern diese werden seitdem "im Wege der Auswahl des besten Angebots von einzuladenden Baufirmen" ermittelt. Wohl aber existiert eine festgelegte Obergrenze, wie viel dieser angemessenen Gesamtbaukosten monatlich als Mietanteil verrechnet werden dürfen, nämlich 4,97 Euro pro m² Nutzfläche und Monat:

- *WWFSG § 63. (1) Bei nach §§ 12 [Förderdarlehen] und 15 [nichtrückzahlbare Beiträge] geförderten Wohnungen darf für die Finanzierung der angemessenen Gesamtbaukosten nach § 4 Abs. 3 auf Förderdauer der Hauptmietzins höchstens mit einem Betrag von insgesamt 4,97 Euro je Quadratmeter Nutzfläche und Monat begehrt werden, wenn in der Zusicherung nicht ein niedrigerer Betrag als höchstzulässig erklärt wurde. Bei Wohnungen in Hochhäusern (§ 7f Bauordnung für Wien) erhöht sich die Mietzinsobergrenze um 1 Euro je Quadratmeter Nutzfläche. Neben diesem Betrag dürfen für den Anteil an Grundkosten, der nicht gemäß § 69 Abs. 1 [Finanzierungsbeitrag] überwältzt wurde, der laufende Bauzins gemäß § 5 Z 4 [müsste eigentlich § 5 Z 1 lauten] sowie jährliche Finanzierungskosten bzw. die Verzinsung des Eigenkapitals maximal jeweils in Höhe der mit Verordnung der Landesregierung festgelegten Verzinsung für die Aufnahme eines Darlehens gemäß § 6 Abs. 2 begehrt werden.*

Zu diesen 4,97 Euro dürfen anteilige Grundkosten dazugerechnet werden (soweit sie nicht als Finanzierungsbeitrag (Eigenmittelanteil) einbezahlt wurden), außerdem der Bauzins und die Finanzierungskosten (mit per Verordnung definierten Höchstgrenzen). Weiters darf man noch höchstens 0,74 Euro Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag einheben. Die Aufteilung auf die Nutzflächen erfolgt entsprechend dem Nutzwert. Außerdem ist es erlaubt, max. 12,5% der Baukosten als Baukostenbeitrag sowie, wie bereits erwähnt, die Grundkosten einmalig zu Beginn einzuheben:

- *WWFSG § 69. (1) Im Falle der Vermietung eines nach dem I. Hauptstück, ausgenommen nach § 15, geförderten Mietgegenstandes ist der Vermieter berechtigt, vom Mieter einen Baukostenbeitrag bis zum Ausmaß der auf den Mietgegenstand gemäß § 8 entfallenden Eigenmittel sowie die anteiligen Grundkosten zu begehren (Finanzierungsbeitrag). Gleiches gilt im Falle der Vermietung eines nach dem II. Hauptstück geförderten Mietgegenstandes, wenn der Einsatz von Eigenmitteln im Sinne des § 8 vorgeesehen ist. Im Falle der Vermietung einer nach § 15 geförderten Wohnung (eines Geschäftsraumes) ist der Vermieter berechtigt, vom Mieter einen Finanzierungsbeitrag bis zum hundertzehnfachen des Betrages gemäß § 63 Abs. 1 erster Halbsatz (indexiert nach Abs. 3 und 4) zu begehren.*
- *NeubauVO § 3 (2) Die gemäß § 69 Abs. 1 WWFSG 1989 in Form eines Baukostenbeitrages überwälzbaren Eigenmittel dürfen maximal 12,5 vH der angemessenen Gesamtbaukosten betragen.*

Folglich bedeutet dies, dass von den Gesamtbaukosten (je nach Finanzierungsbeitrag) zwischen 0 und 12,5% Baukostenbeitrag abgezogen werden. Der Rest wird über das Förderdarlehen und ein Bankdarlehen finanziert, dafür dürfen max. die genannten 4,97 Euro pro Monat verrechnet werden. Damit eruiert werden kann, was dies für die Gesamtbaukosten bedeutet, müsste man von einem Finanzierungsmodell ausgehen. Klar ist, dass die mögliche Annuität von 4,97 Euro knapp ist und somit im geförderten Wohnbau in Wien heute meist langfristige Darlehen, z.B. über 35 Jahre, eingesetzt werden.

5.2.6. Expert:inneninterviews mit Herstellern und Planern

Die Expert:inneninterviews geben Aufschluss über die Anforderungen an modulare Bauweise, Digitalisierung und somit Potentiale der Digitalen Plattform „Wohnen 4.0“ aus Sicht der Praxis. Es wurden in diesem Sample **16 Hersteller-, Planer- bzw. Baufirmen** mittels offenen Leitfaden-gestützten Expert:inneninterviews befragt.

Die Interviews mit Herstellern, Baufirmen bzw. Planenden wurden in zwei Stufen mit zwei verschiedenen Leitfäden geführt. Die Kriterien der Auswahl der Partner:innen waren: Erfahrung mit modularen Bausystemen, Erfahrung im Holzbau, Innovationsgehalt von firmenbezogenen Bausystemen, Wohnbau und BIM. Die Interviews der ersten Stufe (Interviewpartner 1-8) wurden mit dem Fokus auf modulare Bauweisen und mehrgeschossigem Wohnungsbau geführt. Die Unternehmensgrößen in diesem Sample reichen von Klein- und Mittelunternehmen bis Großunternehmen im DACH Raum, vorwiegend Österreich. Der Leitfaden umfasste Fragen zu den Überkategorien Planungs- und Bauprozess, Konstruktionssysteme und mehrgeschossiger Wohnbau, Logistik und Baustellenabwicklung, Produktentwicklung sowie Digitalisierung und Einstellung zu BIM. Die Interviews der zweiten Stufe (Interviewpartner 9-16) wurden mit dem Fokus auf Building Information Modeling und Holzbau geführt. Es werden deren Tätigkeiten und Rollen in BIM-Prozessen beleuchtet, detailliertere Fragen über die Implementierung von BIM analysiert und die unterschiedliche Methodik hinsichtlich Datenaustausch näher behandelt. Darüber hinaus wird ebenfalls auf Digitalisierung und Standards eingegangen. Der Leitfaden umfasste Fragen zu den Überkategorien: Durchführung der Projekte im BIM, Standardisierung, Programme und Know-How bezüglich Holzbauherstellung. Die Unternehmensgrößen in diesem Sample reichen von Klein- und Mittelunternehmen bis Großunternehmen im DACH Raum und international. Die Interviews, die zwischen 40 Minuten und 1,5 Stunden dauerten und in Präsenz sowie online durchgeführt wurden, wurden transkribiert, codiert und interpretiert. Bezogen auf modulare Bauweisen in Verbindung mit mehrgeschossigem Wohnbau (Interviews 1-8) konnten hinsichtlich Potentialen, Defiziten und Verbesserungsvorschläge 3 Ebenen (Zielebene, technische Ebene und Prozessebene)

und damit verbundene Schlüsselfaktoren identifiziert werden: Integrale Planung, Digitalisierung und Innovation, Konstruktion und Modularität, Normative Regeln, Planungsprozess und Bauprozess. Befragte nannten beispielhaft folgende Defizite: Keine Einbindung in Planung bei öffentlicher Ausschreibung; BIM hat sich in Österreich noch nicht durchgesetzt; Brandschutz stellt Hindernis für Holzbau dar; Flexibilität ist ein Problem im Modulbau; Rechtzeitige, interdisziplinäre Planung fehlt; Es wird doppelt geplant (Planung und Werkplanung) und Schnittstelle fehlt. Genannte Potentiale und Verbesserungsvorschläge wurden beispielhaft genannt als: Digitalisierung wird Bauablauf stark positiv verändern; Spezialisten sollten in früher Planungsphase miteinbezogen werden; Interdisziplinäres Team in einem Unternehmen ist förderlich und der Modulbau hat großes Potential benötigt aber Standardsystem; Lean Construction Prozess verbessert Terminplanung; Interdisziplinäre Vorplanung ist hilfreich; Schnelle Bauphase im Modulbau; Modulbau führt zu höherer Qualität durch bessere Produktionsbedingungen oder dass Digitalisierung sich positiv auf die Produktion auswirken wird.

Grundsätzlich ist aus den Antworten ersichtlich, dass die Firmen alle über ein grundlegendes Verständnis in Bezug auf den BIM verfügen. Darüber hinaus wird die Rolle, die BIM in verschiedenen Planungsprozessen spielt, ebenfalls angesprochen. Insgesamt kann konstatiert werden, dass die Firmen BIM als eine Möglichkeit sehen, komplette Planungsprozesse verschiedener Projekte zu koordinieren und um ein integrales Modell zu generieren, welches Informationen verschiedenen Fachdisziplinen in sich vereint. Aus den Interviews kann entnommen werden, dass Planerfirmen hauptsächlich die Möglichkeiten hinsichtlich Managements besonders hervorheben. An zweiter Stelle erfolgt die Effizienzsteigerung durch BIM. Potentiale im Rahmen der Vorfertigung, Kommunikation und Individualität wurden ebenfalls genannt. Im Gegensatz dazu ordnen die Herstellerfirmen der Digitalisierung denselben Stellenwert zu wie Management oder Kommunikation. Die Interviews (9-16) ergaben, dass die Expertinnen insbesondere Erfahrungsmangel als ein deutliches Defizit hinsichtlich der Implementierung von BIM sehen. Diese Einsicht geht Hand in Hand mit der Komplexität von BIM-Vorgängen, was den am zweitmeisten genannte Mangelpunkt darstellt. Finanzielle Aspekte, Datenverluste als auch Zeitaufwand wurden ebenfalls aufgegriffen, allerdings mit einer geringeren Häufigkeit. Herstellerunternehmen sehen nahezu ausschließlich ein Defizit in den Datenverlusten, die durch BIM-Prozesse oftmals einhergehen. Zusammengefasst kann schlussgefolgert werden, dass Datenverluste und Erfahrungsmangel die größten Komplikationen in BIM-Prozessen ergeben. Da der Einsatz des BIM als Arbeitsmethode im Holzbausektor und im Modulbau eine Neuerscheinung ist, ist oftmals von der Komplexität der eingesetzten Technologien die Rede. Im Rahmen dieses Themenpunktes nannten die Expertinnen grundlegende Digitalisierungsprozesse, die zur Implementierung des BIM vorgenommen werden müssen und auch von fehlendem Wissen hinsichtlich der Abwicklung von BIM-Prozessen. Darüber hinaus gilt zu erwähnen, dass trotz der exakten und linearen Abfolge von BIM die verschiedenen Problemfelder durch die Anwendung von Applikationen wie beispielsweise dem "BIM4D2P" entgegengewirkt werden kann.

5.2.7. Expert:inneninterviews mit Architekt:innen und Bauträgern

In diesem Sample wurden **8 Architekt:innen** und **4 Bauträgern** mittels offenen Leitfaden-gestützten Expert:inneninterviews befragt. Die Kriterien für die Auswahl der Architekten und Bauträger waren: Erfahrungen mit partizipativ geplanten Wohnanlagen sowie realisierte Wohnprojekte auf Basis von seriell-modularem Bauen. Die Fragen reichten vom Planungs- und Bauprozess über die Auswahl der

Konstruktionsweise und Materialien, die Einstellung zu BIM bis zum Stellenwert der Flexibilität im Lebenszyklus von Wohngebäuden. Interviewpartnern mit Erfahrungen in partizipativer Planung und Baugruppen wurden auch Fragen zu diesem Themenkomplex gestellt. Architekturbüros in unserem Sample gehören zur Kategorie Klein- und Mittelunternehmen, ebenso wie die Bauträger. Die nachfolgende Analyse basiert auf der Auswertung der Interviews und Projektpublikationen sowie Evaluierung des Wiener Systems der Bauträger- und Baugruppenwettbewerbe.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass der Planungsprozess bei geförderten mehrgeschossigen Wohnanlagen in Wien entscheidend von stark formalisierten Bauträgerwettbewerben geprägt ist, in dem die Bauträger die dominante Rolle einnehmen und auf wechselnde Architektenteams setzen, während es bei Konsulenten längerfristige Kooperationen gibt. Erfolgreiche Teilnahme an den Bauträgerwettbewerben erfordert auf der Seite der Architekt:innen spezielles Know-how. Vielfach entscheiden Bauträger bereits im Vorfeld über die Bauweise der künftigen Wohnbauten, insbesondere über den Einsatz von seriellen und modularen Bauweisen bzw. Vorfabrikation. Höhere Preise wurden mehrfach als Hindernis für Holzbauweisen genannt. Sowohl Architekt:innen als auch Bauträger bekennen sich zu Prinzipien des nachhaltigen Bauens. Der Wohnungsmix wird sowohl von Bauträgern aufgrund der Erfahrungswerte als auch vom Auslober der Bauträgerwettbewerbe (Wohnfonds Wien) bestimmt. Im Falle der Baugruppenwettbewerbe können die teilnehmenden Baugruppen die Wahl der Konstruktion und das Raumprogramm der künftigen Wohnanlage innerhalb des finanziellen Rahmens selbst bestimmen. Allerdings ist das Verfahren sehr aufwändig. Für einen unserer Gesprächspartner steht das Prinzip Wettbewerb im Widerspruch zu Solidaritätscharakter der Baugruppen. Der Planungs- und Bauprozess ist sequenziell, die Baufirmen werden erst im Zuge der Vergabe eingebunden. Der Vergabeprozess beeinflusst die Planung, zum Teil gibt es Änderungen bei der Materialwahl und Vereinfachungen in der Ausführung. In manchen Fällen ist es notwendig, aufgrund der Kostenüberschreitungen, statt der GU-Ausschreibung nach Gewerken auszuschreiben und zu vergeben. Auf partizipative Planung sind nur wenige der Architekturbüros spezialisiert. Der Stellenwert von BIM sowie insbesondere der Digitalisierung wird nach Einschätzung unserer Interviewpartner zunehmen, allerdings dominiert die abwartende Haltung. Im Planungsalltag haben einige Architekt:innen und einer der Bauträger bereits einzelne Projekte unter Anwendung von BIM geplant. Interviewpartner mit BIM-Erfahrung nannten eingeschränkte Interoperabilität mit anderen Konsulenten als das größte Hindernis für BIM-basierte Planungsprozesse. Flexibilität und Variabilität im Kontext des geförderten Wiener Wohnbaues ist für unsere Informanten vor allem in der Planungs- und weniger in der Nutzungsphase relevant. Analyse von Wohnkonzepten in einigen Wohnanlagen (geplant oder entwickelt von Architekten und Bauträgern in dieser Studie) zeigt, dass Flexibilität vielfach als sogenannte „innere Flexibilität“ konzipiert wird. „Innere Flexibilität“ wird innerhalb einer Wohneinheit umgesetzt, und zwar mittels nutzungsneutraler bzw. polyvalenter Räume. Als größtes Hindernis für die flexible Konzeption von Wohneinheiten wurden von unseren Gesprächspartnern Heiz- und Stromkreise genannt. Fazit: Erfolgreiche Einführung von neuen digitalen Komponenten und insbesondere Datenbanken im Planungsprozess ist im Fall des geförderten Wiener Wohnbaues nur dann möglich, wenn solche Komponenten Teil der Bauträger- bzw. Baugruppenprozesse werden.

5.2.8. Use Case: Baugruppen

Geförderte Wohnheime

Baugemeinschaften in Wien im Rahmen der Wohnbauförderung werden meist als geförderte Wohnheime errichtet. Das bedeutet, dass für die Wohnnutzflächen der niedrigste Fördersatz angewandt wird (510 Euro, § 3 Neubauverordnung), es aber 25% Förderaufschlag für Gemeinschaftsflächen gibt (§ 1 (2) Neubauverordnung). In der Praxis werden oft, wenn auch nicht ganz so viele Gemeinschaftsflächen gebaut. Diese Heime haben den Vorteil, dass sie deutlich weniger Stellplätze als Wohnhäuser errichten müssen (§ 50 (1) Garagengesetz). Nachteil ist, dass die Brandschutzvorschriften über die eines Wohnhauses hinausgehen (OIB-Vorgaben für Beherbergungsbetriebe und Studentenheime). Ob die Addition von Fördermodellen, Stellplatzverpflichtung und Brandschutzmehraufwand in einem individuellen Fall bedeutet, dass ein Wohnheim oder ein Wohnhaus günstiger ist, kann nicht generell gesagt werden, sondern hängt vom Mobilitätskonzept eines Stadtteils ab (z.B. Stellplatzregulativ, Verpflichtung zur Abgeltung eines Stellplatzes auf fremden Grund etc.). Im Areal „Leben am Helmut-Zilk-Park“ ist für die meisten Grundstücke, und auch für das Grundstück C.17.C des Use Case, die Errichtung einer Tiefgarage auf eigenem Grund ausgeschlossen. Stattdessen muss an den Betreiber der nächstliegenden Sammelgarage ein fixierter Betrag pro Pflichtstellplatz bezahlt werden. Die Wohnungen eines solchen Heimes entsprechen bisher immer den Vorgaben einer Wohnung, die in der Bauordnung und im Wohnbauförderungsgesetz bestehen, auch wenn sie das rechtlich nicht müssten.

Baugemeinschaften in Wien

Die in Wien heute übliche rechtliche Konstruktion ist, dass die Mitglieder einer Baugemeinschaft einen Verein gründen, der das Haus errichtet und besitzt und die einzelnen Wohnungen an seine Mitglieder vermietet. Die Mitglieder eines solchen Vereins sind somit gleichzeitig Eigentümer:in und Vermieter:in (als Gruppe der Vereinsmitglieder) und Mieter:in (als Einzelpersonen bzw. Familien oder andere Wohnkonstellationen). Die Kosten für die Gemeinschaftsflächen werden dann auf die Miete pro Quadratmeter Wohnnutzfläche umgeschlagen. Gewerbeflächen werden extra vermietet. Bei der Planung erarbeiten die Architekt:innen somit zuerst mit der Gruppe ein Grundkonzept für das Haus (Erschließung, Wohnungsmix, Gemeinschaftsflächen etc.). Danach folgt die detailliertere Planungsbeteiligung für die Gemeinschaftsflächen und auch für die einzelnen Wohnungen. Meist gibt es eine Vereinbarung, wie viele Planungstreffen für jede Wohnung vorgesehen sind. Natürlich setzen die Kosten einen Rahmen dafür, wie viel spezifische Ausformung in einer Wohnung möglich ist. Das sehen verschiedene Gruppen unterschiedlich, manche legen ein paar wenige Typen fest, von denen dann nur geringfügig abgewichen werden kann; andere planen die einzelnen Wohnungen sehr individuell. Bei vielen Projekten ist es heute üblich, in der Konstruktion darauf Rücksicht zu nehmen, dass in der Projektentwicklung noch relativ lange Veränderungen an den Wohnungsgrundrissen vorgenommen werden können, damit später dazukommende Mitglieder ihre Wohnung noch an ihre Wünsche adaptieren können. Das geschieht z.B. dadurch, dass die Häuser mit tragenden Außenwänden und Stützen konstruiert werden statt in Schottenbauweise. Abgesehen davon sind die technischen und architektonischen Abweichungen von üblichen Wohngebäuden gering, außer dass es einen größeren Anteil an Gemeinschaftsflächen gibt. Der Use Case entspricht diesem heute üblichen Modell, es gibt jedoch auch andere Formen von Baugemeinschaftsmodellen in Wien (Wohnungseigentum, Einzelmiete).

Projektspezifischer Use Case

In Anlehnung an ein real gebautes **Baugruppenprojekt** in Wien, welches in modularer Bauweise errichtet wurde, wurde der projektspezifische Use Case entwickelt. Das Raum- und Funktionsprogramm, Grundstück und Grobkonzept wurde für die Modellbildung des Use Case und somit die Generierung der Disziplinmodelle herangezogen. Der Use Case umfasst 4000 m² über 5 Stockwerke (Erdgeschoß + 4 Obergeschoße und Dachgeschoß/Dachlandschaft) sowie 34 Wohneinheiten zwischen 35 und 150m² sowie zahlreiche Gemeinschaftsräume, Freiräume und Gewerberäume.

5.3. BIM for Design to Production (BIM4D2P)

Das Konzept der **BIM4D2P** Komponente (Abbildung 1) bildet die Teilbereiche BIM for Design (BIM4D) und BIM to Production (BIM2P) und somit den Design-Build-Operate Prozess ab. Diesem zur Grundlage wurden mittels forschungsgeleiteter Lehre Disziplinmodelle als Varianten des Use Case generiert.

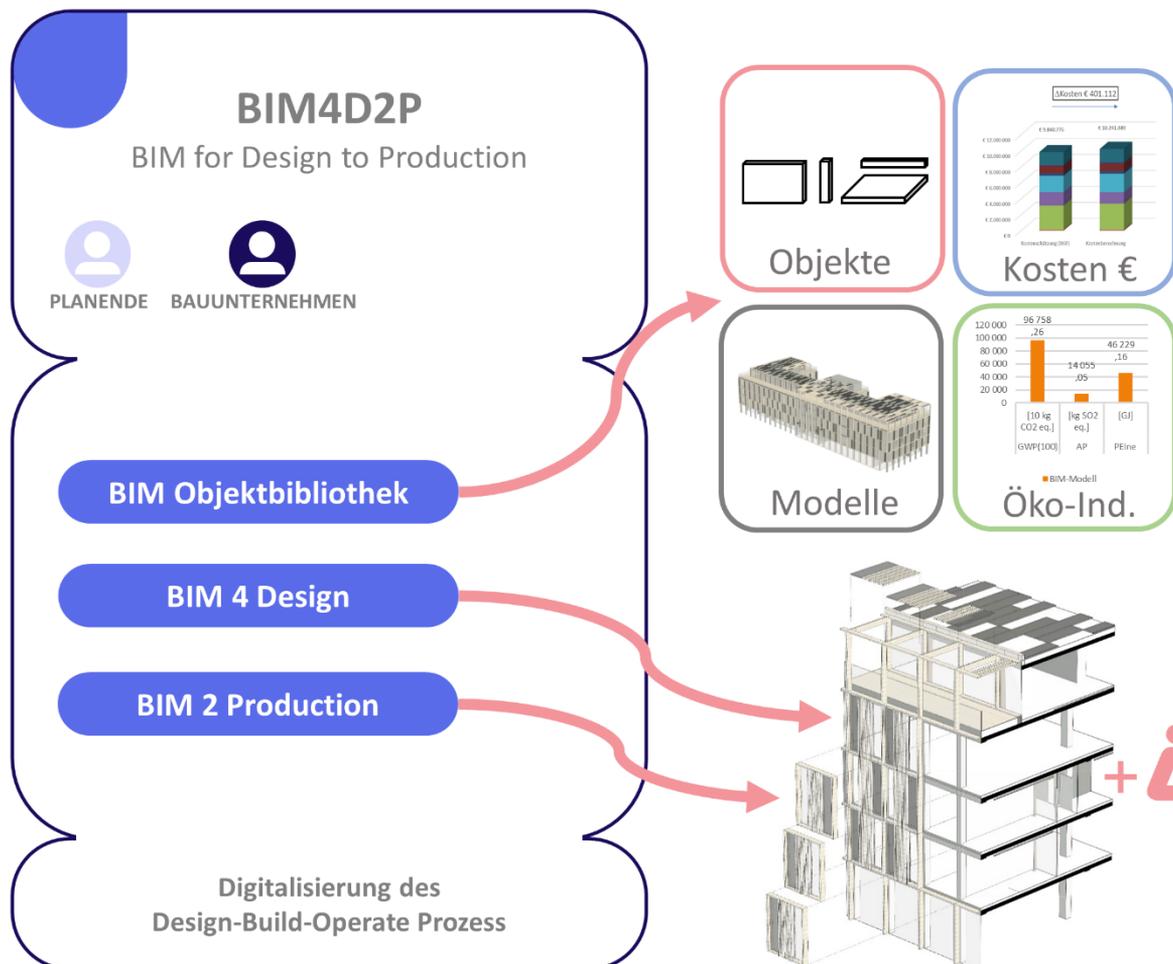


Abbildung 14: BIM4D2P innerhalb der Digitalen Plattform Wohnen 4.0

5.3.1. Disziplinmodelle

Im Zuge der Generierung der Disziplinmodelle wurden folgende Ergebnisse erzielt: i) 8 Disziplinmodelle, als Varianten des Use Case und ein ii) Workflow zur Generierung und Zusammenführung der Teilmodelle Architektur und Tragwerk. Das Framework der Modelle wurde im Rahmen der forschungsgeleiteten Lehre durch interdisziplinäre Lehrveranstaltung „Integrated BIM Lab“ 2019/2020 (Pibal et al, 2020) generiert und später optimiert. Der Workflow und das Konzept für die Integration der Teilmodelle dient als Schnittstelle zwischen Architektur und Tragwerks- Modellen. Bezogen auf die Disziplinmodelle wurden 8 integrale Modelle als Variantenstudie des Use Case (Abbildung 15 und Abbildung 16) entwickelt. Sub-Ergebnisse der Disziplinmodelle sind i) 8 Algorithmen in der Software Rhinoceros Grasshopper als Grundlage für den Datenaustausch und parametrische Generierung von Modellen und das damit verbundene Schnittstellen-Konzept für den PHD und Prozessansatz des BIM4D2P, ii) 8 BIM Modelle in Revit bzw. Archicad sowie als IFC Datei (Open BIM), iii) 8 FEM Modelle in RFEM, iv) 8 Bauteilkataloge, sowie v) 8 Workflowdiagramme inklusive Prozessanalyse und technische Berichte zu den Disziplinmodellen als Grundlage für die Modellbildung, Datenstrukturen und BIM Objekte. Es zeigte sich, dass BIM-Software, wenn sie allein eingesetzt wird, für die Vorplanung, die sich noch in der Explorationsphase befindet, nicht optimal ist. Darüber hinaus ergeben sich Herausforderungen im Zusammenhang mit der interdisziplinären Teamarbeit, genauer gesagt mit der mangelnden Beteiligung und Integration von Bauingenieurinnen während des gesamten digitalen Entwurfsablaufs. Was der integralen Planung widerspricht. Probleme beim Datenaustausch wie Fehlinterpretationen von Geometrie und Metadaten sowie Datenverluste, die zu einem erheblichen Aufwand bei der Umgestaltung bereits vorhandener Daten führten, veranlassten zur Einführung eines neuen Ansatzes im Rahmen des Forschungsprojekts „Wohnen 4.0“. Die Verwendung von Algorithm Aided Design-Werkzeugen wie Grasshopper zusammen mit BIM- und FEM-Software wie ARCHICAD, Revit und RFEM; kombiniert mit Algorithm Aided BIM-Plug-ins wie Grasshopper-ARCHICAD Live Connection oder Data Interface RFEM to Grasshopper, charakterisiert diesen digitalen Entwurfsworkflow und muss als wesentlicher Unterschied zur konventionellen Planung genannt werden.

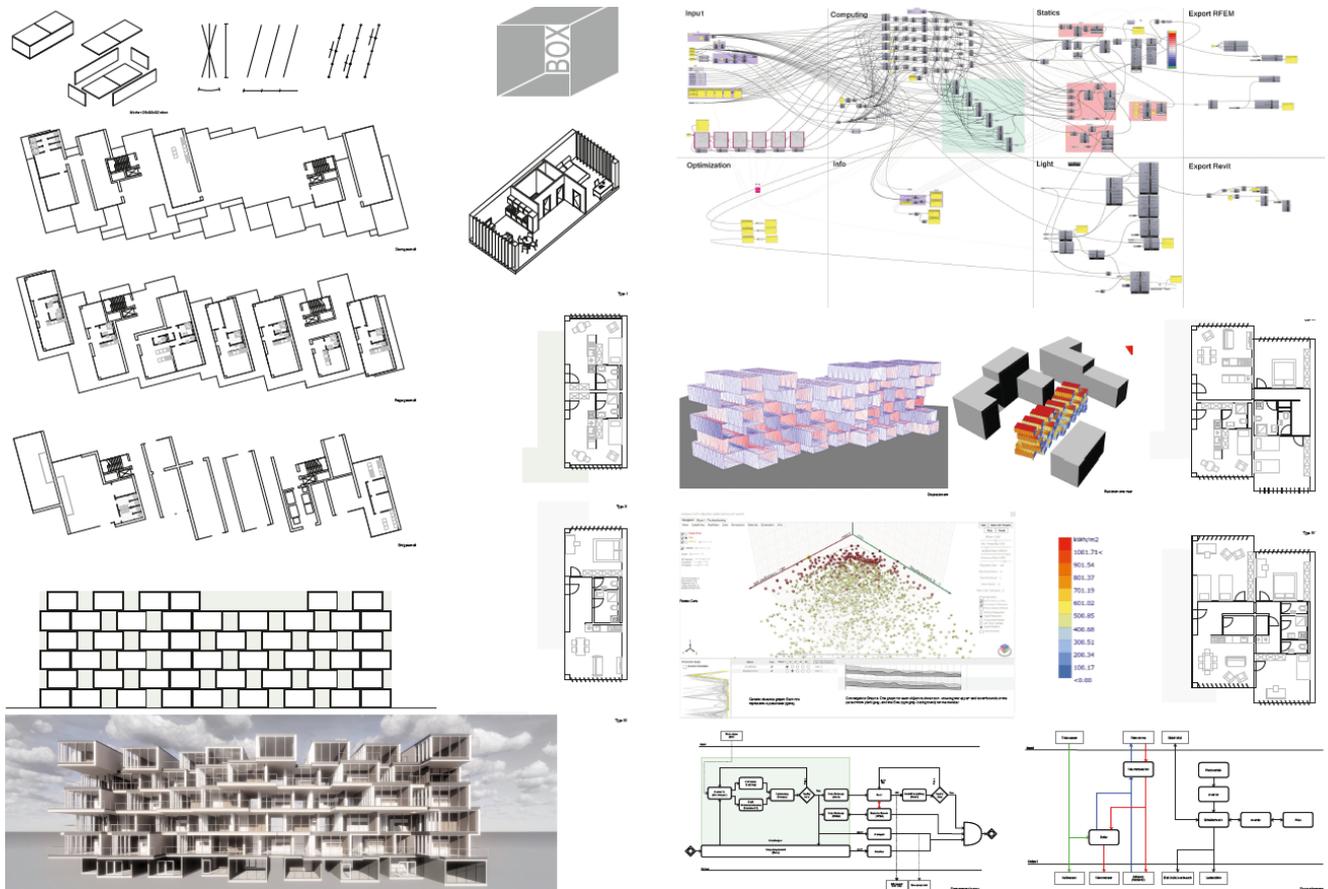


Abbildung 15: Disziplinmodelle: Architektur, Statik, Algorithmus – forschungsgeleitete Lehre, Projekt „Box“



Abbildung 16: BIM Modell aus Grasshopper Algorithmus - Variante des Use Case - forschungsgeleitete Lehre, Projekt "BaumHome"

Algorithmus-gestütztes BIM fügt einen Ansatz für die Entwurfsexploration in der Vorentwurfsphase hinzu, mit der Absicht, den Prozess der integralen Entscheidungsfindung - Generierung von Varianten und Optimierungen - an den Anfang des digitalen Entwurfsprozesses zu verlagern - vor die detaillierte BIM- und FEM-Modellierung (Pibal et al, 20202). Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass erstens die alleinige Verwendung von BIM-Software die Anforderungen der Vorplanung, die sich noch in der

Entwurfsphase befindet, nicht vollständig erfüllt, zweitens, dass die interdisziplinäre Teamarbeit fehlt und drittens Probleme beim Datenaustausch bestehen. Alle genannten Probleme führen zu einem manuellen Datenaustausch und einem erheblichen manuellen Änderungsaufwand während des gesamten digitalen Planungsprozesses. Sequenzielle Planung ist in Aufeinanderfolgen von disziplinspezifischen Modellierungsphasen unterteilt, was zu einer sequenziellen Beteiligung der Disziplinen und einer interdisziplinären Entwicklung des Projekts führt. Da nach der Erstellung des BIM-Modells iterative Tragwerksbewertungen durchgeführt werden, müssen die daraus resultierenden Änderungen an Struktur und Design mit erheblichem Nachbearbeitungsaufwand durchgeführt werden. Zudem scheiterte der Datenaustausch über IFC oder Datenschnittstellen oft an Datenverlusten oder Fehlinterpretationen von Geometrie und Metadaten. Dies führte dazu, dass entweder kein digitaler Datenaustausch und eine vollständig manuelle Nachbearbeitung (manueller Datenaustausch) der bestehenden Disziplinmodelle stattfindet, oder ein teilweise erfolgreicher Datenaustausch zu einer teilweise manuellen Nachbearbeitung in BIM- oder FEM-Modellen führte. Im Vergleich zum bisherigen Planungsansatz untersucht das Projekt „Wohnen 4.0“ diese Probleme durch die Umsetzung des neuen Ansatzes. Hier kann die verstärkte Einbindung von Bauingenieurinnen - da die interdisziplinäre Teamarbeit fast den gesamten digitalen Entwurfsprozess durchläuft aufgezeigt werden. Besonders intensive Teamarbeit fand während der Algorithmus-gestützten BIM-Phase statt, in der Optimierungen hinsichtlich der Entwurfsentscheidungen und Leistungsbewertungen hinsichtlich der Struktur gemeinsam durchgeführt wurden. Beide Disziplinen entwickelten und arbeiteten an derselben Datei und nutzten und modifizierten den über visuelle Programmierung gescrripteten Algorithmus in Grasshopper. Auf der Grundlage der erweiterten vorläufigen Designuntersuchung während dieser Phase konnte ein Großteil der Entscheidungen bezüglich Designs und Struktur vor der detaillierteren BIM- und FEM-Phase getroffen werden. Der Datenaustausch erfolgte hauptsächlich über Algorithmus-gestützte BIM-Datenschnittstellen (Live-Connection) von Grasshopper zu BIM oder FEM und über Datenschnittstellen oder IFC zwischen BIM und FEM. Obwohl diese Methode der Generierung von Disziplinmodellen und Zusammenführung der Teilmodelle erfolgreich war, steht sie selbst noch vor Herausforderungen. Da dieser Ansatz auf einer neuartigen und komplexen Methode beruht, bei der die Entwurfsstrategien und -werkzeuge von Algorithm Aided Design und BIM kombiniert werden, ist der Endanwender bei der Umsetzung dieser Methode stark gefordert. Wenn der Endanwender weder mit Algorithm Aided Design noch mit BIM vertraut ist, ist die Anwendung dieser Methode sehr ressourcenintensiv (Pibal et al, 2020).

5.3.2. BIM4D2P: BIM for Design, BIM to Production und BIM Objektbibliothek

BIM4D2P teilt sich in ein BIM for Design **Modellierungsansatz** (Top-Down Bottom-Up Modellierung) und ein BIM to Production **Prozessansatz** (Datenübertragung und Anforderungen) sowie die **BIM Objektbibliothek** (Elementkatalog, Kosten und Öko-Indikatoren), siehe Abbildung 17. **BIM4D2P** soll es den Akteuren der gesamten Wertschöpfungskette ermöglicht, eine BIM-Objektbibliothek für den modularen mehrgeschossigen Wohnungsbau zu nutzen. Im Gegensatz zu etablierten Methoden des computergestützten Planens oder des Building Information Modeling konnten wir nicht auf bereits existierende Komponenten oder Objekte für eine BIM-Objektbibliothek zurückgreifen, da diese für unseren speziellen Zweck kaum existieren. Um BIM4D2P entwickeln und testen zu können, mussten wir unsere eigenen Testdaten generieren. Um herauszufinden, welche Parameter und Eingabedaten die BIM-Objektbibliothek eines modularen mehrstöckigen Wohnbauprojekts in Modulbauweise enthalten muss,

haben wir einen Reverse-Engineering basierten Top-Down-Modellierungsansatz angewandt (Pibal et al, 2021).

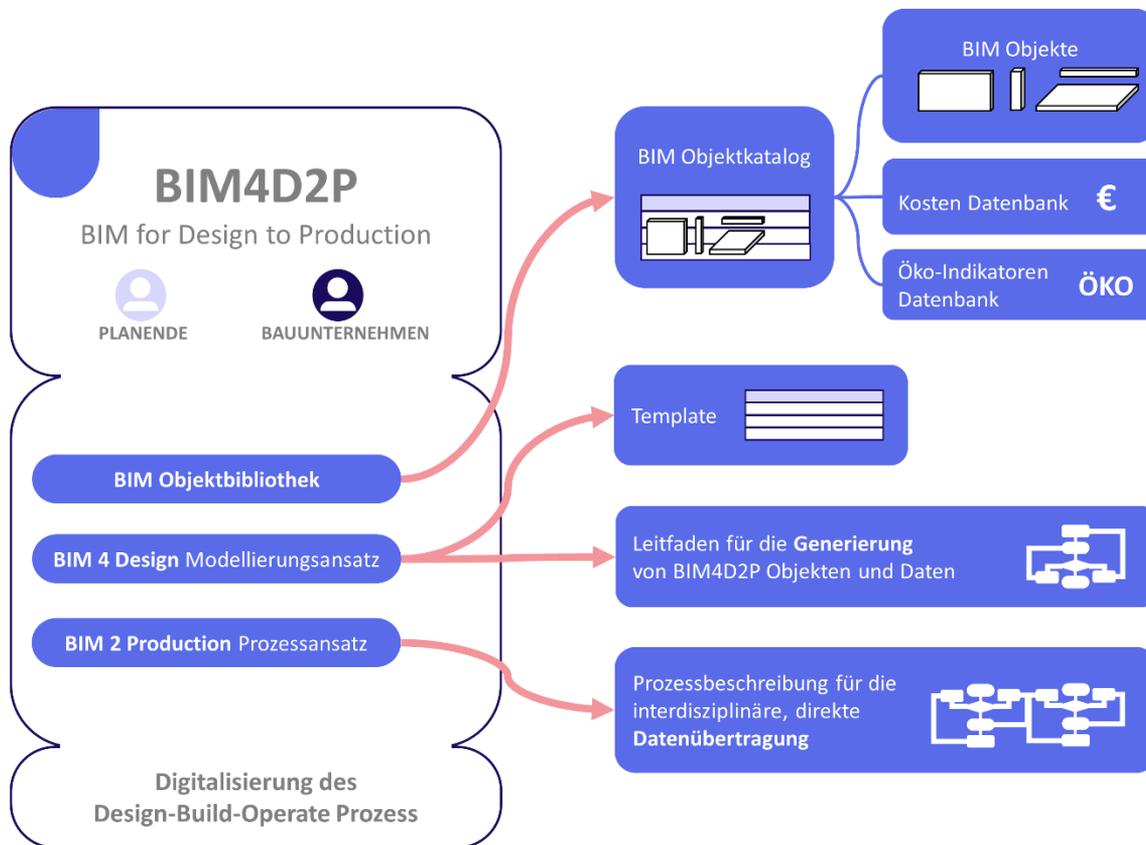


Abbildung 17: Rahmenwerk der Komponente BIM4D2P (Pibal et al, 2021)

Resultate der Konzipierung des BIM4D2P sind: i) die optimierten **Disziplinmodelle** (Abbildung 18) samt ii) **BIM-Modulen/Objekten**, iii) die **BIM Objektbibliothek** als **Merkmalsbibliothek** (Abbildung 19) mit: 1) **Bauteilen** (Komponenten) samt Aufbauten, 2) **Kosten** 1., 2. und 3. Ebene sowie 3) **Ökoindikatoren/Lebenszyklusdaten** in Form eines Materiellen Gebäudepasses (MGP) sowie iv) **Grobterminpläne** und **Bauphasensimulationen**. Die Benchmarks für die Kostenberechnung wurden vom Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI) für die Jahre 2017 und 2020 für Wohngebäude erhoben und auf das aktuelle Jahr valorisiert. Diese Kosten und Indikatoren sind entweder einzelnen Bauteilschichten oder Schichtpaketen zugeordnet. Die ökologischen Indikatoren wiederum enthalten die drei wichtigsten Indikatoren für Umweltauswirkungen: Treibhauspotenzial (GWP)-CO-Äquivalent, Versauerungspotenzial (AP) und Primärenergieintensität (PEI), bestehend aus nicht erneuerbaren und erneuerbaren Anteilen. Basierend auf dem Materiellen Gebäudepass von Honic et al. (2019) werden zusätzliche Indikatoren wie Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit und Trennbarkeit bewertet (Pibal et al, 2021).



Abbildung 18: BIM-Disziplinmodell „Baumhome“ und BIM Module (Pibal et al, 2021)

Durch Top-down-Bottom-up Modellierung wurden die aus den Modellen verfügbaren Daten und die angereicherten Informationen in den **BIM Objektkatalog** integriert (Bauteiltyp, Lage, Eigenschaften, Konstruktion, Schicht, Material). Der Objektkatalog gruppiert die vertikalen und horizontalen Bauteile nach Typen. Diese Typen bestehen aus Untertypen und Varianten. Die Untertypen werden durch ihre spezifischen Bauteilschichten definiert. Da wir den Ansatz des Datenmanagements verfolgen, die Plattform mit dem externen Kosten- und Ökodatenrepositorium zu verknüpfen, anstatt die Daten in die BIM-Objekte selbst zu integrieren, wird diese Datensammlung innerhalb der Spreadsheet-Datei mit der Plattform und den digitalen BIM-Objekten in gängiger Software wie REVIT oder ARCHICAD verknüpft (Pibal et al, 2021). Folglich beinhaltet die **BIM-Objektbibliothek**: i) **BIM Objektkatalog**, ii) **Kostendatenbank** und iii) **Ökoindikatordatenbank**. Im Zuge der Entwicklung des BIM4D2P wurde ein **Template** (Vorlage) und ein **Modellierleitfaden** (Abbildung 20) für die Skalier- und Erweiterbarkeit der BIM-Objektbibliothek konzipiert.

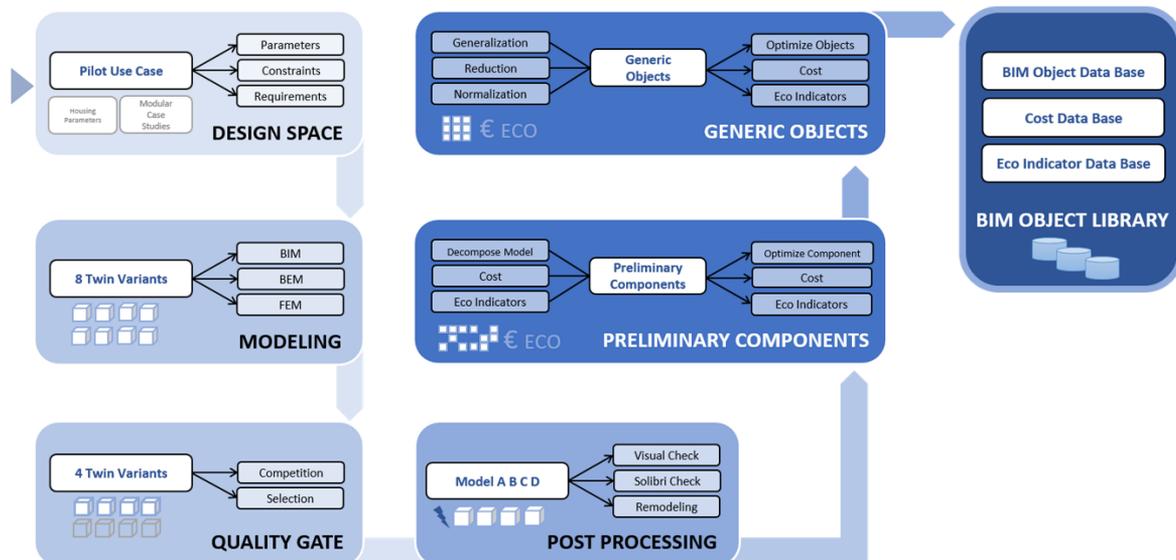


Abbildung 20: Modellierleitfaden von Objekten in Phasen und Zwischenergebnissen mit Ergebnis Objektkatalog, Kosten und Ökoindikatoren (Pibal et al, 2021)

5.4. Parametric Habitat Designer

Der Parametric Habitat Designer (PHD), Abbildung 21, wurde als eine Erweiterung der 3D Software für prozedurale Modellierung "Michelangelo" entworfen. Die Software wurde für die Projektzwecke erheblich ausgebaut damit ganze Gebäude inkl. BIM Daten entstehen können. Vor allem wurde ein spezielles Layout Modul – das PHD – erstellt. Das PHD übernimmt äußere Gebäudegeometrie und BIM Daten und erstellt optimale Grundrisse. Wir haben eine möglichst allgemeine Formulierung angestrebt, dadurch kann es auf verschiedenen Ebenen arbeiten: Zerteilung in Bereiche, Verteilung von Wohneinheiten, Zimmeraufteilung innerhalb einer Wohnung, u.ä. Durch Ensemblebildung lassen sich mehrere Varianten auf einmal betrachten, was optimale Entscheidungen unterstützt und oft auch neue Möglichkeiten entdecken lässt. Die resultierenden Vorschläge werden angeordnet nach nutzerdefinierten Qualitätskriterien dargestellt. Eine ausgewählte Lösung wird direkt in eine 3D Darstellung vom Gebäude integriert, die berechneten BIM Daten werden mittransferiert. PHD ermöglicht die Eingabe von Nutzerbedürfnissen hinsichtlich der Grundrisse. Eigens dafür wurde eine domänenspezifische Skriptsprache definiert. Dadurch können die Bedürfnisse als lokale als auch globale und harte als auch weiche Randbedingungen spezifiziert werden. Der Optimierungsalgorithmus von PHD sucht kombinatorisch das exakte globale Optimum. Das zu lösende Layout Problem ist aber NP-hart, deshalb müssen bei größeren Problemstellungen auch Heuristiken aktiviert werden. Intern zerteilt der Algorithmus die verfügbare Fläche auf Zellen und weist jede Zelle einer Region zu. Nach viel Forschungsarbeit in kombinatorischer Optimierung ist es im Stande Probleme mit rund 100 Zellen innerhalb einer Stunde zu lösen. Eines der Alleinstellungsmerkmale des Algorithmus ist die Fähigkeit mit beliebig förmigen Zellen zu arbeiten, das heißt auf einem unstrukturierten Gitter, ohne dass die Berechnungszeit

dadurch leiden würde. Zum Vergleich, Standardalgorithmen arbeiten meistens nur auf regelmäßigen oder orthogonalen Gittern, was eine wesentliche Limitierung darstellt, die bei PHD entfällt.

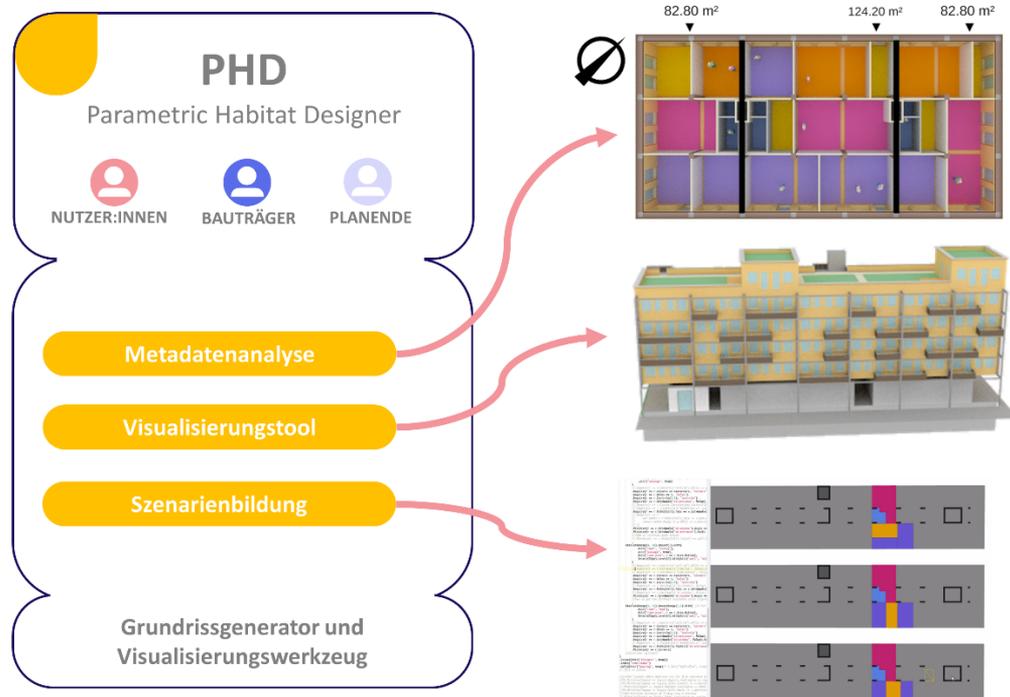


Abbildung 21: Konzept des Parametric Habitat Designers der digitalen Plattform Wohnen 4.0

Highlights:

- Forschungsgeleitete Lehre im Wintersemester 2019/20 durch interdisziplinäre Lehrveranstaltung „Integrated BIM Design Lab“
- Forschungsgeleitete Lehre Sommersemester 2020 „Planungsprozesse mit BIM“, zwecks Generierung BIM-Module und BIM-Objektbibliotheken
- Forschungsgeleitete Lehre „Planungsprozesse mit BIM“ im Sommersemester 2021 zur Generierung der BIM-Objektbibliotheken sowie Datenstrukturen + Interpretationsregeln
- Studierendenwettbewerb „Wohnen 4.0 – Modulare Bauweisen für Leistbares Wohnen“
- Interviews mit den Architekten und Bauträgern offenbarten die starke Formalisierung des Bauträgerwettbewerbes in Wien, jedoch auch das Potenzial, einen solchen bereits anerkannten Prozess zu nutzen, um den stärkeren Einsatz digitaler Tools durchzusetzen.
- Die Nutzerstudien mit 3 verschiedenen Nutzergruppen brachten vielfältige Einsichten in mögliche Entwicklungswege und Anwendungsfälle für den PHD, die teilweise bereits implementiert werden konnten. Daraus ergaben sich Erkenntnisse hinsichtlich der Anwendbarkeit für Laien und der Einsatzmöglichkeiten für Architekten.
- Echtzeitkollaboration im Parametric Habitat Designer sowie neuer Algorithmus zur optimalen Generierung von Grundrissen, einer der ersten mit Unterstützung von allgemeinen Polygonen, mit eigener Skriptsprache für die Eingabe der angestrebten Eigenschaften der generierten Grundrisse.

5.5. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“

Wohnen 4.0 ist in den Ausschreibungsschwerpunkt 1: „Digitales Planen, Bauen, Betreiben“, Subthema 1.1: „Digitales Planungs-, Bauprozess- und Betriebsmanagement“ eingebettet. BIM-basierte Planungstools und -verfahren werden in „Wohnen 4.0“ für modulare Off-Site Produktion im Geschößwohnbau mit dem Ziel eingesetzt, Material-, Kosten- und Zeiteffizienz zu erzielen und die Produktion von leistbarem, innovativem und nachhaltigen Wohnbau zu ermöglichen. Im geplanten Projekt werden erstmalig auch Nutzer:innen beteiligt und dadurch sowohl der zunehmend wichtige Aspekt der Partizipation als auch das Potenzial für mass customization berücksichtigt. Die Digitalisierung entlang des Lebenszyklus wird durch eine ganzheitliche, systemische Betrachtung des Lebenszyklus von Bauprojekten und Aufbau einer durchgängigen digitalen Datenkette erforscht. Hinsichtlich der Stärkung heimischer KMU und Start-ups ermöglicht „Wohnen 4.0“ offene und leistbare Zugänge (Open BIM) sowie einen übergreifenden Informationsaustausch für kleine und mittlere Betriebe, insbesondere Start-ups, der österreichischen Bauwirtschaft. „Wohnen 4.0“ leistet einen Beitrag zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und zur Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und erforderlicher Ressourcen- und Energieeffizienz.

6 Schlussfolgerungen

6.1. Erkenntnisse für das Projektteam und die Öffentlichkeit

Die erreichten Ergebnisse sind sowohl für die Projektpartner als auch für Planende und die Bauindustrie von großem Interesse und können eine wirtschaftliche Verwertung hervorrufen. Die entwickelte BIM-Objektbibliothek ist von großem Interesse für die Planenden sowie Hersteller. Das Projekt spricht einen breiten Anwender- bzw. Stakeholderkreis an - die digitale Plattform „Wohnen 4.0“ selbst dient für alle Planungsprozess-Stakeholder, die Policy-Maker, Investor:innen und Bauträger als Wissens- und Informationsplattform zu breiten Themen des leistbaren Wohnbaus. Die Endanwender Planende sowie Bau- und Industrieunternehmen erhalten durch das integrale digitale Planungswerkzeug BIM4D2P einen digitalen Referenzprozess für Design to Production, sowie eine Planungsunterstützung mit der sie ihre „Produkte“ reaktionsschnell, effizient und dadurch in viel kürzeren Zyklen an neue Marktanforderungen anpassen können. Damit erwerben sie einen Wettbewerbsvorteil, der insbesondere für die heimischen KUMs in Zeiten der immer größer werdenden Digitalisierung und Globalisierung relevant sein wird. Durch eine Reduktion der Planungs- und Errichtungszeit wird ein früherer Markteintritt ermöglicht, was ebenso wirtschaftliche Vorteile bringt. Das Projektergebnis bietet neue Möglichkeiten des interdisziplinären Zusammenarbeitens, das in Summe einen erheblichen Effizienzgewinn und interdisziplinären Wissenszuwachs verspricht. BIM Modelle und Digitaler Zwillinge, die durch „Wohnen 4.0“ entstehen können, sind von Interesse nicht nur für Planende und Bauunternehmen, sondern auch für das Gebäudemanagement. Derart ganzheitliche digitale Planungswerkzeuge, welche die gezielte Abstimmung von allen Beteiligten über die gesamte Wertschöpfungskette der Immobilie begleiten, wurden bislang nicht realisiert. Ohne diesen entgeht den Unternehmen jedoch ein möglicher Wettbewerbsvorteil, da die Planungs- und Errichtungsphasen nicht optimal aufeinander abgestimmt werden können. Durch den Einsatz einer solchen Plattform mit einem durchgängigen Datenmodell können außerdem die Folgekosten für spätere Anpassungen wesentlich gesenkt werden. In Bezug auf Ziele der Kreislaufwirtschaft ist die Verknüpfung der Forschungsergebnisse von „Wohnen 4.0“ an die automatisierte Erstellung von Materiellen Gebäudepässen und Kopplung der Forschungsergebnisse des Projekts BIMaterial als erstrebenswerte Weiterentwicklung des Projekts im Zuge des Folgeprojekts „Circular Twin“ (FFG-Proj. Nummer 893501) zu sehen.

6.2. Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten

Die bisherigen wissenschaftlichen Verwertungs-/Weiterverbreitungsaktivitäten umfassten zahlreiche Vorträge bei nationalen und internationalen Veranstaltungen, Vorträge für die Industrie und bei Weiterbildungsseminaren, sowie Publikationen in Fach- und wissenschaftlichen Journals. Die Liste der Beiträge, welche durch „Wohnen 4.0“ entstanden sind, sind im Folgenden aufgelistet.

- Teilnahme bei der Konferenz eg-ice 2020 Berlin mit dem Paper „Digital Design Workflow for an Algorithm Aided BIM Approach in Research Led Teaching“
S. Pibal, I. Kovacic: "Digital Design Workflow for an Algorithm Aided BIM Approach in Research Led Teaching"; Talk: EG-ICE 2020 (27th International Workshop on Intelligent Computing in

Engineering), Berlin, Deutschland (online) (invited); 07-01-2020 - 07-04-2020; in: "EG-ICE 2020 Proceedings: Workshop on Intelligent Computing in Engineering", Universitätsverlag der TU Berlin, (2020), ISBN: 978-3-7983-3156-3; 204 - 214.

- Paper für die Teilnahme an der Konferenz EPOC 2020 in University of Colorado, USA, mit dem Titel „Digital Platform for Affordable Housing - a Framework Proposal“
I. Kovacic, S. Pibal, J. Reisinger, M. Lorbek: "Digital Platform for Affordable Housing - a Framework Proposal"; Talk: Engineering Project Organization Conference (EPOC) 2020 - Disruptive Engineering, online (invited); 10-21-2020 - 10-23-2020; in: "Working Paper Proceedings (EPOC 2020)", (2020), 1 - 16.
- Teilnahme bei der Konferenz eCAADe 2021 Novi Sad mit dem Paper „Prototype of an Algorithm-Aided BIM Tool for semiautomated Generation of Modular Residential Buildings“
S. Pibal, K. Khoss, I. Kovacic: "Prototype of an Algorithm-Aided BIM Tool for Semi- Automated Generation of Modular Residential Buildings"; Talk: eCAADe 2021 Towards a New, Configurable Architecture, Novi Sad, Serbia (invited); 09-08-2021 - 09-10-2021; in: "Towards a New, Configurable Architecture - Proceedings of the 39th International Hybrid Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe", Publisher eCAADe (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe), Volume 2 / Novi Sad, Serbia (2021), ISBN: 978-94-91207-23-5; 67 - 76.
- Teilnahme bei der Konferenz CIB W78 2021 in Luxemburg mit dem Paper „Digital Twins to BIM Object Library – A Top-Down Modeling Approach“
S. Pibal, I. Kovacic, R. Jakoubek: "Digital Twins to BIM Object Library - A Top-Down Modeling Approach"; Talk: Proceedings of the 38th International Conference of CIB W78, Luxembourg (invited); 10-13-2021 - 10-15-2021.
- Internationaler interdisziplinärer Workshop zum Thema „Modular Buildings and Computing & Circular Economy“ von IBAU organisiert; gemeinsam mit University of Waterloo und Tecnológico de Monterrey
- Workshop zum Thema „Modulare Bauweisen und Digitalisierung“ mit Ari Griffner Homes und Habitats R & D GmbH
- Workshop zum Thema „Innovation & Digitalisierung im modularen Bauwesen“ mit dem Start Up Novodomos

Integrale Bauplanung Und Industriebau, TU Wien & ATP Planungs- und Beteiligungs AG:

- Interdisziplinärer Workshop mit Präsentation zu Modularen Bauweisen
- Interdisziplinärer Workshop mit Präsentation zu BIM Objekten und Metadaten
- Interdisziplinärer Workshop mit Präsentation zu praxisorientierten Potentialen des BIM4D2P
- Robert Temel & Integrale Bauplanung und Industriebau, TU Wien: Die qualitative Inhaltsanalyse auf Basis der Interviews mit den Architekten und Bauträgern wird vertieft und kontextualisiert mit dem Ziel, einen referierten Artikel in einer wissenschaftlichen Zeitschrift zu veröffentlichen (Housing Studies, Journal of Housing and the Built Environment usw.) Zuvor wird der Artikel im Rahmen der European Network for Housing Research (ENHR) im Rahmen der Konferenz in Barcelona 2022 präsentiert.

- Research Division of Computer Graphics, TU Wien: hat im Projekt viel Forschungsarbeit im Bereich von kombinatorischer Optimierung von Grundrissen geleistet und somit seine wissenschaftliche Expertise ausgebaut. Der resultierende Algorithmus für die Generierung von Grundrissen bringt den Stand der Technik auf neues Niveau. Eine wissenschaftliche Publikation darüber wird derzeit verfasst und wird 2022 bei einer Fachzeitschrift im Bereich Computergrafik eingereicht.
- Procedural Design S.R.O. & CO. KG: hat dank des Projekts den Fokus aus der Computerspieleindustrie auf Architektur und Planung verlegt. Aus den Use-Cases hat es viel Wissen über die marktspezifischen Bedürfnisse und offene Probleme gewonnen. Weitere Entwicklung der entstandenen Konzepte und Forschungsergebnisse innerhalb der eigenen Softwarelösung steht bevor, so dass Verwertung in Form eines Produkts in der Zukunft ermöglicht wird.

6.3. Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter

Integrale Bauplanung und Industriebau, TU Wien strebt die Entwicklung weiterführender Forschungsprojekte, basierend auf den Ergebnissen von „Wohnen 4.0“ an. Die Forschungsergebnisse von „Wohnen 4.0“ werden im Zuge der 9. Ausschreibung, Stadt der Zukunft im Forschungsprojekt „Circular Twin“ (FFG-Proj. Nummer: 893501) weiterentwickelt, siehe Abschnitt 7. Circular Twin baut auf dem Forschungsprojekt „Wohnen 4.0“ (873523) auf und nutzt die Wissensbasis und BIM-Objektbibliotheken bzw. werden diese durch die Indikatoren der Kreislaufwirtschaft und EU-Taxonomie erweitert. Die Methodik des BIM gestützten MGP wurde bereits im Projekt „BIMaterial“ (850049) ausgearbeitet und wird in diesem Forschungsprojekt angewandt und optimiert.

Integrale Bauplanung und Industriebau, TU Wien zielt darauf ab, die forschungsgeleitete Lehre, die während des Forschungsprojekts im Zuge der Lehrveranstaltungen „Integrated BIM Design Lab“ und „Planungsprozesse mit BIM“ stattgefunden hat, weiter zu betreiben und zu intensivieren. Das übergeordnete Ziel ist es, auf die Forschungsprojekte abgestimmte Lehrveranstaltungen anzubieten, um Studierende aktiv in die Forschung einzubinden und diesen die Möglichkeit forschungs- und praxisbezogenes Wissen während des Studiums zu erlangen zu bieten.

Research Division of Computer Graphics, TU Wien bereitet derzeit eine wissenschaftliche Publikation zum entwickelten Grundrissgenerator vor. Der Algorithmus, das dazugehörige Regelwerk, sowie weitere Resultate der Forschung werden in weiteren Projekten von Nutzen sein. Ein Folgeprojekt, um den erprobten Constraint Programming Ansatz zu generalisieren und diesen ausführlicher in prozeduraler Modellierung zum Einsatz zu bringen wird angestrebt.

Procedural Design S.R.O. & CO. KG entwickelt seine experimentelle Plattform „Michelangelo“ weiter. Der Grundrissgenerator und weitere Resultate aus diesem Projekt sind wichtige Bausteine und Schlüssel zu neuen Anwendungsbereichen. Die Algorithmen, Methoden und Konzepte werden weiterentwickelt und schrittweise in die Plattform eingebunden, um in Zukunft die Möglichkeit einer kommerziellen Nutzung zu erreichen.

7 Ausblick und Empfehlungen

Forschungsergebnisse von „Wohnen 4.0“ werden im Zuge der 9. Ausschreibung, Stadt der Zukunft im Forschungsprojekt „Circular Twin“ (FFG-Proj. Nummer: 893501) weiterentwickelt. Das Ziel von "Circular Twin" ist es, Circular Construction zu realisieren: die Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit von Materialien, Komponenten und Bauelementen im Lebenszyklus bereits in der frühen Planungsphase eines Bauprojekts zu ermöglichen und zu bewerten. Um dies zu erreichen, schlägt dieses Projekt ein digitales Ökosystem für die Erstellung und Bewertung zirkulärer digitaler Zwillinge und die Visualisierung von End-of-Life-Szenarien mittels virtueller Realität in den frühen Planungsphasen vor. Das digitale „Circular Twin“ Ökosystem ermöglicht so die frühzeitige Implementierung der Ziele der Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit als auch der durchgängigen Digitalisierung im Bauwesen. So werden Stakeholder bereits in den frühen Planungsphasen unterstützt die Konzepte zur Wiederverwendbarkeit und -verwertbarkeit zu überprüfen bzw. als inhärenten Bestandteil im Entwurf zu integrieren, womit die signifikante Reduktion der Bauabfälle, Emissionen, des Rohstoffverbrauchs und eine Realisierung der "Circular Construction" ermöglicht wird.

Die im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelten Konzepte bieten das Potential in Form eines Demonstrationsprojekts pilothaft umgesetzt und weiterentwickelt zu werden. Hier sollte die Weiterentwicklung des Rahmenwerks zu einem Software Tool erfolgen. Idealerweise soll dies parallel als Begleitung zu einem realen Bau-Projekt erfolgen, um die Feedbackschleifen kurz zu halten. Dies bietet zum einen die Chance die Entwicklung einer Software synchron zur Pilot-Anwendung (simultaneous engineering) birgt jedoch Herausforderungen hinsichtlich Funktionsfähigkeit früher Softwareversionen/Bugs oder Interface-Problemen und somit Verzögerungen oder erhöhten Kosten. Zudem müssten Planungs- und Bau-Partner rekrutiert werden, die mit den Methoden des Building Information Modeling und Algorithmus-gestützter Planung zumindest grundlegend vertraut sind, da sonst ein erheblicher Zeitaufwand hinsichtlich der korrekten Umsetzung und Anwendung der Tools entstehen könnte. Jedoch, in Anlehnung an die aktive Einbindung der Nutzer:innen im Forschungsprojekt „Wohnen 4.0“, würde in einem potentiellen Demonstrationsprojekt eine aktive Einbindung der Praxispartner in die Entwicklung der Software erfolgen; Realtimefeedback, Benutzeranforderungen der Stakeholder und Disziplinen und benötigte Funktionen können so direkt auf das Projekt und die Software abgestimmt werden und folgend zu einem generischen Prozessansatz entwickelt werden. Weiters würde ein Aktives Testen der Software durch Anwender:innen während ihrer Entwicklung erfolgen und somit oft auftretende „people-bound-problems“ in der Anwendung digitaler Werkzeuge durch Realtimefeedback minimiert werden. Nach Entwicklung der Software und des Prozessansatzes, bietet dies, in Anlehnung an das Prinzip von Wohnen 4.0, die Möglichkeit des Open-BIM basierten und digitalen Entwickelns von nachhaltigen und leistbaren Gebäuden.

Die Pilot-Anwendung, als Begleitung von einem realen Bauplanungs- und Ausführungsprozess im Rahmen eines Demonstrationsprojekts könnte im Rahmen vom Innovationslabor Digital findet Stadt (www.digitalfindetstadt.at) stattfinden, da TU Wien der wissenschaftliche Partner im Labor ist. Digital findet Stadt verfügt über ein breites Netzwerk von Industrie- Partner, Investoren und Bauträger, wodurch sie als ideale Plattform für die Umsetzung der innovativen, technologischen Lösungen in der Baupraxis zu sehen ist.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konzipierung des Rahmenwerks und Komponenten der digitalen Plattform	26
Abbildung 2: Wissensdatenbank und dessen erfasste/generierte Inhalte	27
Abbildung 3: Parameterdatenbank innerhalb der Wissensdatenbank: technische, rechtliche, wirtschaftliche und nutzerspezifische Parameter sowie deren Informationsquellen	29
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Modellbildung des BIM4D2P	31
Abbildung 5: Konzept des BIM2P Prozessansatz.....	33
Abbildung 6: BIM4D - BIM for Design Modellierungsansatz - Top Down und Bottom Up (Pibal et al, 2021).....	34
Abbildung 7: Methode der Generierung der BIM Objektbibliothek, Top Down Modellierung (Pibal et al, 2021).....	35
Abbildung 8: PHD besteht aus drei Schichten: 1. verwaltet eine dynamische Menge von parametrischen 3D Teilen und 2D layouts, 2. diese werden von einer prozeduralen Engine und einem Grundrissgenerator zu komplexen 3D Modellen optimal zusammengefügt, 3. bietet verschiedene Möglichkeiten zur Interaktion mit den generierten Resultaten	36
Abbildung 9: Evaluierung und Optimierung des Rahmenwerks anhand der Nutzerstudien	39
Abbildung 10: Impressionen der Nutzerstudien - Parametric Habitat Designer: Rechts oben Szenarien für den Umbau zweier Wohnungen. Links unten die Darstellung von farbkodierten Räumen integriert im 3D Modell des Gebäudes. Rechts unten die virtuelle Studie zur nutzergesteuerten Zerteilung eines Stockwerks in Wohneinheiten	40
Abbildung 11: Rahmenwerk der Digitalen Plattform „Wohnen 4.0“ - Wissensdatenbank - BIM4D2P Komponente - PHD Komponente.....	42
Abbildung 12: Wissensdatenbank der Digitalen Plattform samt Sub-Ergebnissen	43
Abbildung 13: Übersicht und Exzerpt des Modulbaukatalogs und dessen Parameter.....	48
Abbildung 14: BIM4D2P innerhalb der Digitalen Plattform Wohnen 4.0	55
Abbildung 15: Disziplinmodelle: Architektur, Statik, Algorithmus – forschungsgel leitete Lehre, Projekt „Box“	57
Abbildung 16: BIM Modell aus Grasshopper Algorithmus - Variante des Use Case - forschungsgel leitete Lehre, Projekt "BaumHome"	57
Abbildung 17: Rahmenwerk der Komponente BIM4D2P (Pibal et al, 2021).....	59
Abbildung 18: BIM-Disziplinmodell „Baumhome“ und BIM Module (Pibal et al, 2021).....	60
Abbildung 19: BIM Objektbibliothek als Merkmalbibliothek: BIM Objektkatalog, Bauteile samt Aufbauten, Kosten und Ökoindikatoren (Pibal et al, 2021)	61
Abbildung 20: Modellierleitfaden von Objekten in Phasen und Zwischenergebnissen mit Ergebnis Objektkatalog, Kosten und Ökoindikatoren (Pibal et al, 2021).....	62

Abbildung 21: Konzept des Parametric Habitat Designers der digitalen Plattform Wohnen 4.0 63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Exzerpt Modulbau-Katalog: Kategorien und spezifische Merkmale/Parameter 47

Tabelle 2: Exzerpt des Kriterienkatalog mit beispielhafter Bewertung..... 48

Literaturverzeichnis

Ågren R., Wing R.D.: Five moments in the history of industrialized building. *Construction Management and Economics*, 32(1-2), 7-15, doi: 10.1080/01446193.2013.825374. 2014

Aitchison M.: *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process*, Lund Humphries, 2018

Al-Hussein M., Chen Y., Liu H., Yin X.: Building Information modelling for off-site construction. Review and future directions. *Automation in Construction*. 2019
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.010>. Zugriff am 21.4.2022

Albus J., Drexler H.: Prefab MAX - Die Potentiale vorgefertigter Konstruktionssysteme im kostengünstigen Wohnungsbau. In: Schönig, B., Kadi, J., Schipper, S. (Hrsg.), *Wohnraum für alle?! Perspektiven auf Planung, Politik und Architektur*. Bielefeld: Transcript (Urban studies), 301-331. 2017

Albus J.: *Prefabrication and automated processes in residential construction*. DOM publishers Berlin 2018

Bao F., Yan D.M., Mitra N. J., Wonka P.: Generating and exploring good building layouts. *ACM Transactions on Graphics*, 32(4):122, 2013

Bekdik B., Bull S., Pörzgen J., Thuesen C.: Modularising design processes of facades in Denmark. Re-exploring the use of design structure matrix. *Architectural Engineering and Design Management*. 2017 <https://doi.org/10.1080/17452007.2017.1360760> Zugriff am 21.4.2022

Benze A., Gill J., Herbert S.: *Urbane Lebenswelten. Studie und Projektrecherche für die IBA Berlin*. im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2020

Brandao Silva P., Müller P., Bidarra R., Coelho A.: Node-based shape grammar representation and editing. *Proceedings of the Workshop on Procedural Content Generation in Games*, 2013

Chang A., Savva M., Manning C. D.: Learning Spatial Knowledge for Text to 3D Scene Generation. *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2028-2038, 2014

Chung-Klatte S., Hasselbach R., Knaack U.: *Systembau: Prinzipien der Konstruktion*. Birkhäuser Basel 2012 <https://doi.org/10.1515/9783034611350>

Corke, Greg (2014). BIM libraries. Online verfügbar unter <https://aecmag.com/features/bim-libraries-2/> (abgerufen am 31.03.2022).

Dawood D., Kassem M., Kin M.: BIM for manufacturing: a case study demonstrating benefits and workflows and an approach for Enterprise Application Integration (EAI). 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, Hong Kong 2016

Dörrhöfer A., Rosenthal M., Staib G.: Elemente + Systeme: Modulares Bauen- Entwurf, Konstruktion, neue Technologien. Institut für internationale Architektur- Dokumentation GmbH & Co München 2008

Dörries C., Zahradnik S.: Construction and Design Manuel. Container and Modular Buildings. Dom publisher Berlin 2019

Dutczak M.: Entscheidend ist die Qualität! Modulbauweise als Alternative zu konventionellem Bauen. In: Deutsche BauZeitschrift Heft 6, S.5 Jg. 66/2018

Engelmeier T.; Grundke M.: Energieeffizienz durch modulares Bauen. In: Grundke, Manfred: Bezahlbarer Wohnraum durch modulares und serielles Bauen. TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG S.64ff. München 2017

Filzmoser M., Kovacic I., Vasilescu D.-C.: Development of BIM-supported integrated design processes for teaching and practice. The Engineering Project Organization Journal. 6, S.129–141 2016 <https://doi.org/10.1080/21573727.2016.1267005>

Filzmoser M., Kovacic I., Vasilescu D.-C.: Integrated design studios: Education to overcome silo-thinking and enable full BIM-exploitation in AEC. The Engineering Project Organization Journal. 7 2017 <https://doi.org/10.25219/epoj.2017.00104>

Fisher M., Ritchie D., Savva M., Funkhouser T., Hanrahan P.: Example-based synthesis of 3D object arrangements. ACM Transactions on Graphics, 31(6):135, 2012

GdW, 2018a. Ergebnisse Ausschreibungsverfahren GdW - Rahmenvereinbarung serielles und modulares Bauen. Pressemitteilung Nr. 29/18 vom 29.05.2018

GdW, 2018b. Pressemitteilung Nr. 29/18 vom 29.05.2018

Gill J.: Modulbau: Germany's next Topmodul. In: Bauwelt Jg. 28-29/2016

Girmscheid G., Hofmann E.: Industrielles Bauen – Fertigungstechnologie oder Managementkonzept? ETH Zürich o.J., S.21, S.14ff. Zürich 2000

Goodier C., Lawson M., Ogden R.: Design in Modular Construction. New York: CRC Press 2014

Grundke M., Wildemann H.: Problemstellung. In: Grundke, Manfred: Bezahlbarer Wohnraum durch modulares und serielles Bauen. TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG S.15ff. München 2017

Habraken J.: Housing for the Millions: John Habraken and the SAR, Hsg.: NAI ISBN: 9056621785 2000

Hairstans, R.: Building Offsite. An Introduction., Edinburgh: UK Commission for Employment and Skills (UKCES) S.2 2014

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Serieller Wohnungsbau. Der Schlüssel für mehr kostengünstigen Wohnraum in unseren Städten 2017

Honic M., Kovacic I., Sibenik G., Rechberger H.: Data- and stakeholder management framework for the implementation of BIM-based Material Passports; Journal of Building Engineering, 23 2019

Horner, Christine (2021). Less is more. derPlan 53.

Jakob, Thomas: Modulbau. Planen und Bauen mit Raummodulen und vorgefertigten Elementen. Ein Handbuch aus der Praxis für die Praxis. Detail Business Information GmbH München 2019

Kaufmann H., Lechner M., Fleischmann S., Brech J.: Serieller und industrieller Wohnungsbau. In: Winter S., Lechner M., Köhler C., Brech J., Segers M., Schühle C., Niemann A., Kaufmann H., Lauss L., Schöner J., Gramm R., Gantner J., Kirmayr T., Schöllner S., Fleischmann S., Hermann F., Berghofer E., Auer T., Frenkler F.: Bauen mit Weitblick. Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau. Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart 2019

Kovacic I., S. Pibal, J. Reisinger, M. Lorbek: "Digital Platform for Affordable Housing - a Framework Proposal"; Talk: Engineering Project Organization Conference (EPOC) 2020 - Disruptive Engineering, online (invited); 10-21-2020 - 10-23-2020; in: "Working Paper Proceedings (EPOC 2020)", (2020), 1 - 16.

Krecklauer L., Pavic D., Kobbelt L.: Generalized Use of Non-Terminal Symbols for Procedural Modeling. Computer Graphics Forum, 29(8):2291-2303, 2010.

Kumlehn F., Schütte J., Schwerdtner P.: Kostengünstiger Wohnungsbau. Identifikation bestehender Hemmnisse für den Einsatz von Raummodulen im Wohnungsbau. Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart 2018

Leblanc L., Houle J., Poulin P.: Component-based modeling of complete buildings. Proceedings of Graphics Interface, 87-94, 2011

Lidelöw H.: Offsite construction in Sweden from technology-driven to integrated processes. In: Smith, R.E., Quale, J.D. (Hrsg.), Offsite architecture: constructing the future. Routledge, Taylor & Francis Group, 214-223 London, New York 2017

Lipp M., Wonka P., Wimmer M.: Interactive Visual Editing of Grammars for Procedural Architecture. ACM Transactions on Graphics, 27(3):102:1-10, 2008

Lopes R., Tutenel T., Smelik R., Jan de Kraker K., Bidarra R.: A constrained growth method for procedural floor plan generation. Proceedings of GAME-ON 2010, 2010

Lu, Weisheng/Chen, Ke/Wang, Jing/Xue, Fan. Developing an Open Access BIM Objects Library: A Hong Kong Study. In: 407–414.

- Matcha H., Ljubas A.: Parametric Origami: Adaptable temporary buildings, FUTURE CITIES, 28th eCAADe Conference Proceedings, ISBN: 978 -0-9541183-9-6, ETH Zurich Switzerland 15-18, 243-251 2010
- Merrell P., Schkufza E., Li Z., Agrawala M., Koltun V.: Interactive furniture layout using interior design guidelines. ACM Transactions on Graphics, 30(4):87, 2011
- Merrell P., Schkufza E., Koltun V.: Computer-Generated Residential Building Layouts. ACM Transactions on Graphics 29(6):181, 2010
- Meuser P.: Industrieller Wohnungsbau: Handbuch und Planungshilfe. DOM publishers Berlin 2019
- Mostafa S., Kim K.P., Tam V.W.Y.: Exploring the status, benefits, barriers and opportunities of using BIM for advancing prefabrication practice. International Journal of Construction Management, 1-11, doi: 10.1080/15623599.2018.1484555. 2018
- Müller P., Wonka P., Haegler S., Ulmer A., Van Gool L.: Procedural Modeling of Buildings. ACM Transactions on Graphics, 25(3):614-623, 2006
- Mundt A., Wagner K.: Regionale Wohnungspreisindizes in Österreich – erste Erkenntnisse auf Basis hedonischer Modelle. ÖNB. 2017
- Pasetti Monizza G., Bendetti C., Matt D.T.: Parametric and Generative Design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry. Automation in Construction, 92, 270-285, doi: 10.1016/j.autcon.2018.02.027. 2018
- Pavan, A./Mirarchi, C./Amosso, G./Nesa, L. Meherun/Pasini, D./Daniotti, B./Spagnolo, S. Lupica (2019). BIMRel: a new BIM object library using Construction Product Regulation attributes (CPR 350/11; ZA annex). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 296 (1), 12052.
- Pawlitschko R.: Gestapelte Holzmodule, in Jakob T. (eds) 2019, Modulbau. Planen und Bauen mit Raummodulen und vorgefertigten Elementen. Erfahrungen aus der Praxis für die Praxis, DETAIL Business Information GmbH, S.22 2018
- Peng C. H., Yang Y. L., Wonka P.: Computing layouts with deformable templates. ACM Transactions on Graphics, 33(4):99, 2014
- Pibal S., Kovacic I., Jakoubek R.: Digital Twins to BIM Object Library – A Top-Down Modeling Approach, Proceedings of the 38th International Conference of CIB W78, Luxembourg 2021
- Pibal S., Kovacic I.: Digital Design Workflow for an Algorithm Aided BIM Approach in Research Led Teaching. Ungureanu, L. C., & Hartmann, T. (Eds.). EG-ICE 2020 Workshop on Intelligent Computing in Engineering, Universitätsverlag der TU Berlin 204-214 2020
- Scharp M.: Zukunft des Bauens. Zukunft des Wohnens? Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung Berlin S.11ff. 2005.
- Schützenhofer S., Honic M., Kovacic I.: Design Optimisation via BIM Supported Material Passports. 38th eCAADe Conference Proceedings 289-296 2020

Schwarz M., Müller P.: Advanced procedural modeling of architecture. ACM Transactions on Graphics, 24(4):107, 2015

Statistik Austria (Hrsg.): WOHNEN Zahlen, Daten und Indikatoren der Wohnstatistik. Eigenverlag. 2018

TU München, Winter S., Lechner M., Köhler C.: "Abschlussbericht Forschungsvorhaben: Bauen mit WEITBLICK. Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau" 2018 https://www.ar.tum.de/fileadmin/w00bfl/klima/Publikationen/Berichte/Endbericht_Bauen_mit_WEITBLICK.pdf. (abgerufen am 21. April 2022; 12:34)

Wang K., Savva M., Chang A. X., Ritchie D.: Deep Convolutional Priors for Indoor Scene Synthesis. ACM Transactions on Graphics, 37(4):70, 2018

Winter S., Lechner M., Köhler C.: Abschlussbericht Forschungsvorhaben: Bauen mit WEITBLICK - Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau. Unpublished. doi: 10.13140/rg.2.2.16292.73600. 2018

Wonka P., Wimmer M., Sillion F., Ribarsky W.: Instant Architecture. ACM Transaction on Graphics, 22(3):669-677, 2003.

Wu W., Fan L., Liu L., Wonka P.: MIQP-based Layout Design for Building Interiors. Computer Graphics Forum, 37(2):511-521, 2018

Yu L. F., Yeung S. K., Tang C. K., Terzopoulos D., Chan T. F., Osher S. J.: Make it home: automatic optimization of furniture arrangement. ACM Transactions on Graphics, 30(4):86, 2011

Abkürzungsverzeichnis

AAB	Algorithm-Aided BIM
AAD	Algorithm Aided Design
AP	Versauerungspotenzial
BEM	Building Energy Modelling
BIM	Building Information Modelling
BIM2P	BIM to Production
BIM4D	BIM for Design
BIM4D2P	BIM for Design to Production
FEM	Finite Elemente Modelling

GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
-----	---

IFC	Industry Foundation Classes
-----	-----------------------------

MGP	Materieller Gebäudepass
-----	-------------------------

PEI	Primärenergieintensität
-----	-------------------------

PHD	Parametric Habitat Designer
-----	-----------------------------

9 Anhang

9.1. Data Management Plan (DMP)

1: Datenerstellung und Dokumentation

Die Daten wurden durch die in Kapitel 4 beschriebenen Methoden generiert. Hier zum einen durch BIM Modellierung (Native Archicad Dateien, Native Revit Dateien sowie IFC Building Models), visuell gescraptete Algorithmen in Grasshopper (Rhino Grasshopper Dateien), Tragwerks-Modelle (Dlubal RFEM Dateien); durch Erstellen von Text, Bild und Spreadsheet Dokumenten, der Analysen als digitale Datensammlungen (doc, xls, jpg, png, pdf); Algorithmen und Quellcode der Prozeduralen Modellierung sind auf internen TU Rechnern gespeichert. Audio und Videodateien, sowie Transkripte der Interviews und Nutzerstudien werden anonymisiert dokumentiert. Alle Daten, die für das Projekt ermittelt wurden, finden nur Anwendung in der Forschung. Eine direkte Weiterverarbeitung der Daten ist für das Folgeprojekt „Circular Twin“ geplant. Die Daten werden auf TU-internen Servern gespeichert und dokumentiert.

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Urheberrechte der beteiligten Forschenden sind zu respektieren (Referenzierung und Quellenangaben). Die publizierten Daten sind unter Berücksichtigung der Urheberrechte und IP verfügbar. Der Konsortialvertrag regelt das “First Right of Negotiation and Use“ für die potenzielle kommerzielle Weiterentwicklung. Die publizierten Daten stehen zu Forschungszwecken zur Verfügung, jedoch sind die Projektpartner zu kontaktieren. Die Forschungsdaten bleiben das geistige Eigentum der Forschungseinrichtungen, in denen das Projekt durchgeführt wird, insbesondere der TU Wien.

Sensible Daten werden durch Anonymisierung geschützt. Für Nutzerstudien und Interviews ist eine informierte Zustimmung erforderlich, welche zu jeder Nutzerstudie und jedem Interview eingeholt wurde. Alle Aktivitäten werden von den Forschungsethik-Ressourcen der TU Wien unterstützt, insbesondere von ihrem Forschungsethik-Koordinator.

3: Datenspeicherung und -erhalt

Die Daten werden auf TU-internen Servern gespeichert. Während der Forschung stützen wir uns auf die von den Forschungseinrichtungen zur Verfügung gestellten Datenverwaltungs- und Speichermöglichkeiten, wie z. B. die TU Procloud oder TU owncloud. Backups auf externen Speichermedien sind nicht vorgesehen. Die Partner:innen haben Zugriff auf die Daten, die Verwaltung der Daten erfolgt durch den Konsortialführer.

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Sensible Daten werden durch Anonymisierung geschützt. Daten die im Zuge der Expertinneninterviews, Analysen sowie Nutzerstudien generiert wurden, werden entsprechend ethischer, rechtlicher und Sicherheitsaspekte anonymisiert und separat gespeichert. Im Zuge des Forschungsprojekts gene-

rierte Daten stehen den Projektpartnern, unter Berücksichtigung der vertraglichen Regelung, zur Verfügung. Auf Anfrage, sofern die Partner:innen dies als möglich sehen, können die Daten für Forschungszwecke zugänglich gemacht werden, dies unter der Berücksichtigung der Urheberrechte der beteiligten Forschenden sind zu respektieren (Referenzierung und Quellenangaben). Daten werden im Zuge von wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht. Unsere wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden eine Beschreibung der Daten enthalten. Die Daten werden nach der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht. Forschungsarbeiten werden in den digitalen Bibliotheken der Zeitschriftenverlage gehostet und in der Regel mit einem digitalen Objektidentifikator (DOI) versehen. Für die Publikation und langfristige Speicherung der entsprechenden Daten nutzen wir das Datenrepository der TU Wien.

A large, light blue geometric shape, resembling a right-angled triangle or a trapezoid, is positioned on the right side of the page. It has a vertical right edge and a horizontal top edge, with a diagonal line connecting the top-left corner to the bottom-right corner.

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)