



DIPLOMARBEIT

Mehrgeschossiger Wohnbau in 3D-Druckbauweise

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
einer Diplom-Ingenieurin  
unter der Leitung

Alireza Fadaei; Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.  
E259 Institut für Architekturwissenschaften  
Forschungsbereich Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von  
Jennifer Zweibrot, BSc  
51812543

Wien, am 23.09.2023

---

Jennifer Zweibrot



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## KURZFASSUNG

Die Oberfläche der Erde ist endlich und Boden somit begrenzt. Der verschwenderische und kapitalorientierte Umgang mit dieser Ressource und die damit einhergehende Flächenversiegelung trägt zur globalen Klimakatastrophe bei. Auch der Bausektor leistet durch intensive Ressourcennutzung in bedeutendem Umfang seinen Beitrag dazu. Neben innovativen Wohnansätzen sind überdies in der Bauindustrie selbst Veränderungen notwendig. Die vorliegende Arbeit zeigt einen Lösungsansatz für die beschriebene Problematik auf. Ziel ist es herauszufinden, wie ein Entwurf für den Bau von ressourceneffizientem Wohnraum mit Hilfe des 3D-Druckverfahrens realisiert werden kann. Grundlage für die Ausformulierung bildet eine eingehende Literaturrecherche. Dabei wird zu Beginn auf die vorherrschenden Motivationsfaktoren zur Entstehung und Verbreitung von freistehenden Einfamilienhäusern eingegangen und analysiert, welche Auswirkungen diese Entwicklung auf die Raumstrukturen und die Flächennutzung hat. Als mögliche Alternative dazu wird das Wohnmodell des gemeinschaftlichen Wohnens beschrieben. Weiters wird die digitale Fertigungsmethode, der 3D-Druck im Bauwesen, behandelt. Es wird ein genereller Überblick geschaffen, der Stand der Technik aufgezeigt und ausgeführte Referenzprojekte analysiert. Resultierende Erkenntnisse bilden dabei die Grundlage für die darauffolgende Entwurfsaufgabe. Dabei werden die ermittelten Vorteile und Systemgrenzen des 3D-Druckverfahrens zur Gänze genutzt und in den Planungsprozess einbezogen. Der geplante Wohnbau bildet einen Gegenpol zur direkt angrenzenden kleinstrukturierten Bebauung. Das Potenzial der additiven Bauweise kann für Wohnbauprojekte und auch allgemein auf Basis des aktuellen Forschungsstandes (September 2023) noch nicht vollständig ausgeschöpft werden. Derzeit gibt es bereits Einsparmöglichkeiten auf mehreren Ebenen. Mit heutigem Forschungsstand kann bei Verwendung der 3D-Drucktechnologie, im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen, keine Materialersparnis erzielt werden. Bislang gibt es keine baureife Lösung, die eine Integration der Bewehrung oder die Einbindung von Fasern ermöglicht. Somit erfüllen die 3D-Druckbahnen derzeit lediglich die Funktion der verlorenen Schalung.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## ABSTRACT

The surface of the earth is finite, and soil is therefore limited. The wasteful and capital-oriented use of this resource and the associated sealing of land are contributing to the global climate crisis. The construction sector is making a significant contribution to this through intensive use of resources. Thus, in addition to innovative approaches to housing, changes are needed in the construction industry.

This master thesis shows a potential approach for the described problem. The goal is to find out how a design for the construction of resource-efficient housing can be realized using a 3D printing process. The basis for the thesis is an in-depth literature review. At the beginning, motivating factors for the emergence and spread of detached single-family houses and the impact this development has on spatial structures and land use are discussed. As a possible alternative to this, the residential model of communal living is described. In addition, the innovative manufacturing method of buildings using 3D printing is addressed. A general overview is provided, the state of the art is shown and reference projects are analyzed. The resulting findings form the basis for the subsequent design task. The advantages and system limitations of the 3D printing process were fully exploited and incorporated into the planning process. The resulting residential building forms a counterpoint to the directly adjacent small-scale development.

The potential of additive construction for housing projects, but also in general, cannot yet be fully exploited at the current state of research. At present, however, there are already high savings potentials on multiple levels. With today's state of research, no material savings can be achieved when using 3D printing technology compared to conventional construction methods. So far, there is no construction-ready solution that allows the integration of reinforced or the incorporation of fibers; thus, the 3D printing paths currently serve only the function of temporary formwork.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

#### DIPLOMARBEIT

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.  
Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Wien, am 23.09.2023

---

Jennifer Zweibrot



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



# INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	WOHNEN IM WANDEL	5
	2.1 BODEN - EIN ENDLICHES GUT	8
	2.2 BAUKULTUR	10
	2.3 WOHNEN IN GEMEINSCHAFT	12
3	3D-DRUCKTECHNOLOGIE	15
	3.1 GRUNDLAGEN DES 3D-DRUCKS	16
	3.2 ADDITIVE FERTIGUNGSTECHNIK	
	3.2.1 POTENTIAL DER ADDITIVEN FERTIGUNG	17
	3.3 ADDITIVE FERTIGUNG IM BAUWESEN	18
	3.3.1 HERSTELLUNGSMETHODEN	
	3.3.2 DRUCKMATERIAL	19
	3.3.3 DRUCKTECHNOLOGIE	21
	3.3.4 WIRTSCHAFTLICHKEIT	24
	3.3.5 REFERENZPROJEKTE	29
	3.4 ZUSAMMENFASSUNG	37
4	ENTWURF	39
	4.1 ENTWURFSKONZEPT	41
	4.2 STÄDTEBAU	43
	4.3 ADDITIVE FERTIGUNGSMETHODE	44
	4.4 RASTERKONZEPT	45
	4.5 ERSCHLIESSUNGSKONZEPT	
	4.6 VERKEHRSKONZEPT	46
	4.7 FREIRAUMKONZEPT	47
	4.8 WOHNUNGSTYPEN	50
	4.9 GEMEINSCHAFTSRÄUME	57
	4.10 CO-WORKING-SPACE	59
	4.11 PLANDARSTELLUNGEN	60
	4.12 BRANDSCHUTZ	82
	4.13 GEBÄUDETECHNIK	
	4.14 KONSTRUKTION	83
	4.15 DETAILS	88
	4.16 ERGEBNISSE	93
5	CONCLUSIO	95
6	VERZEICHNISSE	99
	6.1 LITERATURVERZEICHNIS	100
	6.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	104
	6.3 TABELLENVERZEICHNIS	105
7	ANHANG	107



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# 1 EINLEITUNG



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Boden ist begrenzt. Die Bedeutung dieser wertvollen Ressource ist unermesslich. In den letzten Jahrzehnten hat sich eine Veränderung des Erscheinungsbildes in städtischen und ländlichen Regionen vollzogen, maßgebend hierfür ist ein sorgloser und kapitalistisch orientierter Umgang damit (vgl. Mayer 2020). Die steigenden Grundstückspreise wirken sich direkt auf die Kosten des Grundbedürfnisses Wohnen aus (vgl. Statistik Austria 2022c). Erhebliche Unterschiede in den Bodenpreisen zwischen städtischen und peripheren Gebieten haben zur Zersiedelung und Suburbanisierung geführt (vgl. Seiß 2006:40). Die Anzahl der Einfamilienhäuser nimmt stetig zu (vgl. Statistik Austria 2022b). Mit dieser Entwicklung geht eine Zunahme der Flächenversiegelung einher (vgl. Umweltbundesamt 2022). Die hohe Flächeninanspruchnahme verringert den natürlichen Lebensraum von Flora und Fauna und somit auch land- und forstwirtschaftlich nutzbare Flächen. Natürliche Regulierungsmechanismen werden beeinträchtigt und gleichzeitig das Vorschreiten der Klimakatastrophe gefördert (vgl. Mayer 2020). In zahlreichen Bereichen des menschlichen Zusammenlebens hat in den letzten Jahren ein Wandel stattgefunden. Wohnformen haben sich dieser Veränderung bisher kaum angepasst (vgl. Kasper 2015:16ff). Die über lange Zeit hinweg relevante Kernfamilie wird immer öfter aufgelöst. Das Zusammenleben geht über in familiäre Verbände (vgl. Schmid 2019:28). Durch neue Wohnkonzepte soll dieser Problematik Abhilfe geschaffen werden. Lösungsmodelle dafür gibt es unterschiedliche, eines ist das Wohnen in Gemeinschaft (vgl. Kasper 2015:16ff). Auch in der Bauindustrie sind Veränderungen nötig. Der Bausektor ist weltweit einer der größten Verbraucher natürlicher Ressourcen (vgl. bmuv 2022). Neben neuen Wohnkonzepten bedarf es auch einer Transformation in der Bauindustrie. Eine mögliche Lösung liegt in der digitalisierten Fertigungsmethode des 3D-Drucks. Die Anwendung des digitalen Fertigungsprozesses

kann eine Antwort auf die geforderte Beschleunigung der Bauprozesse, Steigerung der Produktivität sowie eine nachhaltige Ressourcennutzung sein (vgl. De Schutter 2018:25ff). In dieser Arbeit wird der viel diskutierte Begriff „Nachhaltigkeit“ im Kontext sozialer, ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte beleuchtet (vgl. Altmeppen 2017). Dabei werden speziell die anfänglichen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes von der Planung und Konstruktion bis hin zur Nutzung betrachtet. Weitere Schwerpunkte werden bei der verwendeten Konstruktionsmethode und den planerischen Instrumenten gesetzt. Eine voranschreitende Suburbanisierung, der von Menschen verursachte Klimawandel, Veränderung familiärer Strukturen, sowie ressourcenintensive Bauweisen erfordern innovative Ansätze in der Architektur. Die einführende Betrachtung unterstreicht die Dringlichkeit für Neuerungen. Um eine Steigerung der Nachhaltigkeit in der Bauindustrie zu erreichen, ist ein Paradigmenwechsel erforderlich. Hohes Potenzial auf verschiedenen Ebenen wird dabei auch in der innovativen Technologie des 3D-Drucks gesehen. Daraus ergibt sich folgende Fragestellung für diese Arbeit:

Wie kann ein Entwurf für den Bau von ressourceneffizientem Wohnraum mit Hilfe des 3D-Druckverfahrens realisiert werden?

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, auf die zunehmende Bodenversiegelung und die hohe Flächeninanspruchnahme durch die heutige Konsumgesellschaft aufmerksam zu machen. Neue Wohnformen sollen dieser Problematik Abhilfe schaffen, in diesem konkreten Fall das Wohnmodell „Wohnen in Gemeinschaft“. Durch die Verschiebung der Öffentlichkeitsgrade soll ein Mehrwert für alle Bewohner:innen erzeugt werden. Mit der voranschreitenden Digitalisierung werden auch die

Entwicklungen in der Baubranche vorangetrieben. Die Potenziale, sowie die Systemgrenzen der additiven Fertigungsmethode sollen ermittelt und in weiterer Folge auf die Entwurfsaufgabe übertragen werden.

Die Bearbeitung der Thematik erfolgt in Form einer Literaturrecherche, Analysen von Referenzprojekten und einer Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in einem eigenen Entwurf. Anfangs wird auf die in Österreich herrschende Bodenpolitik und die daraus resultierenden Nachwirkungen eingegangen. Es wird auf die Problematik der vorherrschenden Zersiedelung und der damit einhergehenden hohen Flächenversiegelung Bezug genommen. Diese Arbeit zeigt, dass Wohnen in Gemeinschaft ein Lösungsansatz für die gegebenen Herausforderungen ist. In der weiteren Abhandlung wird die Thematik des 3D-Druckes behandelt. Nach einem allgemeinen Überblick liegt der Schwerpunkt insbesondere auf der Anwendung der Technologie im Bauwesen. Anschließend erfolgt ein Wirtschaftlichkeitsvergleich. Hierbei werden die Kosten für die Produktion einer 3D-Druckbetonwand den Kosten einer herkömmlichen Stahlbetonwand gegenübergestellt. Im nächsten Schritt erfolgt eine detaillierte Analyse ausgewählter Referenzprojekte. Daraus gewonnene Erkenntnisse und Systemgrenzen der additiven Fertigung schaffen die Grundlage für die darauffolgende Planung. Der Entwurf zeigt eine Lösungsmöglichkeit auf ressourcenschonende Architektur im suburbanen Raum zu schaffen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 2 WOHNEN IM WANDEL





„Wer verschwenderisch mit seinen Ressourcen umgeht, hat entweder im Überfluss davon oder handelt leichtsinnig, um nicht zu sagen verantwortungslos“ (Seiß 2006:37).

Die Fläche unseres Planeten ist begrenzt, die unermessliche Bedeutung der wertvollen Ressource Boden steht außer Frage. Eine Veränderung des Erscheinungsbildes von städtischen und ländlichen Regionen hat sich in den letzten Jahrzehnten abgezeichnet. Ein sorgloser Umgang und kapitalistische Interessen sind maßgebend dafür (vgl. Mayer 2020). In diesem Kapitel wird auf die Entwicklung der österreichischen Baukultur eingegangen. Tabellarisch soll die Entwicklung der Grundstückspreise und in weiterer Folge auch des Bodenverbrauchs visualisiert werden.

Dieses Kapitel analysiert die Faktoren und Motivation, die zur Entstehung und Verbreitung von freistehenden Einfamilienhäusern (Abb. 01) beigetragen haben und wie sich diese auf die Raumstruktur, Bodennutzung und die damit einhergehende Zersiedelung und Suburbanisierung auswirken. Dabei wird beleuchtet, wie kommunale Handlungen, individuelle Bedürfnisse und nationale Raumplanungsstrategien miteinander in Verbindung stehen und welche Konsequenzen dies für die Zukunft der Wohnbauentwicklung in Österreich haben könnte. Exemplarisch liegt hierbei der Fokus auf dem Bundesland Kärnten. Um eine Grundlage für die darauffolgende Entwurfsausarbeitung zu schaffen, wird das Wohnmodell „Wohnen in Gemeinschaft“ in seiner Funktionsweise beschrieben.

Dieses Kapitel zielt darauf ab, die essenzielle Bedeutung der Schonung von Ressourcen in sämtlichen Phasen – angefangen bei der Planung bis hin zur Errichtung und der anschließenden Nutzung von Gebäude – zu verdeutlichen.

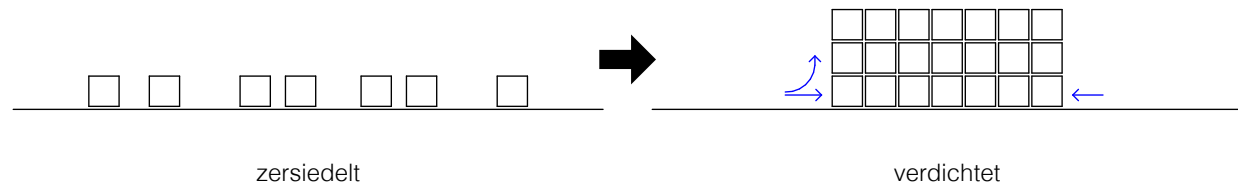


Abb. 01: Zersiedelung

## 2.1 BODEN - EIN ENDLICHES GUT

Österreichische Gemeinden handeln in ihrem eigenen Wirkungsbereich, der ihnen von Bund oder Land übertragen wird (vgl. Bundesverfassungsgesetz Art. 118 Abs. 3, 2023). Dazu zählt auch die Raumordnung. Mögliche übergeordnete Entscheidungsträger auf Bundes- und Landesebene können ihre Empfehlungen nur als solche kundmachen, sie müssen jedoch nicht umgesetzt werden. In Österreich liegt die Siedlungsentwicklung von über 2.000 Gemeinden Großteils in den Händen der Bürgermeister:innen und des Gemeindevorstands. Die räumliche Nähe zu den Bürger:innen kann Entscheidungen zu Bodenpolitik und Umwidmung von Flächen erleichtern. Viele Kommunen verfolgen mit ihrer Flächenwidmungsplanung das Ziel der Budgetaufwertung. Vorteilhaft ist dabei die gezielte Ansiedelung von Unternehmen, die ihre Kommunalsteuer an die Gemeinden abgeben und zum Teil auch die steigende Einwohner:innenzahl, die durch den Finanzausgleich des Bundes als Geldeinnahmequellen für die Gemeinden dienen. Diese Umstände führen zu einem Wettkampf zwischen den einzelnen Gemeinden (vgl. Seiß 2006:37ff). Boden ist und bleibt begrenzt. Die Preise für das endliche Gut steigen Jahr für Jahr (Abb. 02). Gründe dafür gibt es viele, zum einen die hohe Nachfrage und zum anderen die begrenzte Verfügbarkeit durch topografische Gegebenheiten. Durch eine Umwidmung von Grünland zu Bauland wird eine Wertsteigerung erzielt, die je nach Standort stark variiert (vgl. Mayer 2020:63ff). Beispielsweise kann in Kitzbühel durch eine Widmungsänderung von Grün- zu Bauland eine Wertsteigerung von bis zu 13.400 % erreicht werden (vgl. Mayer 2020:63ff). Wohingegen in der Gemeinde Gmünd in Kärnten, Standort der Entwurfsplanung, eine Steigerung des Grundstückswerts von 1067 % verzeichnet werden kann (vgl. Statistik Austria 2020).

Auch in Kärnten zeichnet sich ein Aufwärtstrend der Grundstückspreise ab. Wie in Abbildung 02 ersichtlich, steigen auch hier die Baugrundstückspreise stetig an. Der Quadratmeterpreis von Bauland in der ländlich geprägten Gemeinde Gmünd liegt unter dem kärntner Durchschnitt. Durch Förderungen wird daher zusätzlich versucht, attraktive Baugründe zu schaffen.

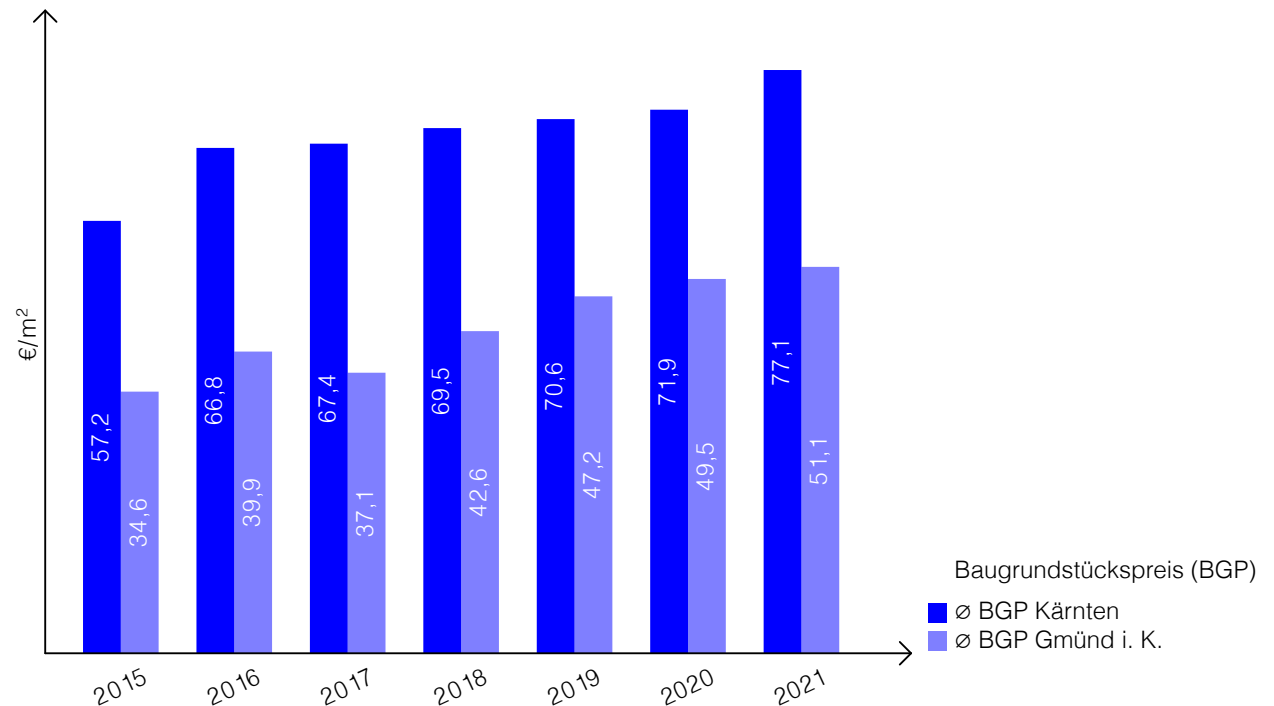


Abb. 02: Baugrundstückspreise im Vergleich

Über Jahre hinweg wurde in Kärnten die Errichtung von freistehenden Einfamilienhäusern auf grünen Wiesen mit denselben Konditionen unterstützt, wie die von Mehrfamilienhäusern mit Anbindung an den öffentlichen Verkehr. Die erheblichen Unterschiede in den Bodenpreisen zwischen städtischen und peripheren Gebieten haben mithilfe der Wohnbauförderung zur Zersiedelung und Suburbanisierung geführt (vgl. Seiß 2006:40). Trotz eingehender Recherche konnte nicht herausgefunden werden, ob die Förderungen für Bauten mit unterschiedliche Verdichtungsgraden noch immer gleich hoch sind.

Der Flächenverbrauch der Ressource Boden nimmt zu. Je nach Art der Bebauung variiert der benötigte Bedarf. Dem Mangel an Bauland könnte durch flächensparende Maßnahmen entgegengewirkt werden. Darüber hinaus sollte vermieden werden, dass Baulandreserven lediglich als lukrative Investition genutzt werden, um eine vorzeitige Erschöpfung des Marktes zu verhindern (vgl. Plattform Baukultur 2011:8ff). In den Jahren von 1950 bis 2010 hat sich bei einem Bevölkerungswachstum von 20 % die Siedlungsdichte von 232 m<sup>2</sup> auf 533 m<sup>2</sup> erhöht (vgl. Krajasits 2012:8).

Die topografischen Gegebenheiten in Österreich begrenzen die nutzbare Fläche für landwirtschaftliche Nutzung, Siedlungen und Verkehrsanlagen auf 37 % der Landesfläche. Die tägliche Flächeninanspruchnahme allein von Bauland (exklusive Betriebsflächen) liegt in Österreich im Jahr 2021 bei etwa 5,8 ha/Tag. Verglichen mit den Jahren davor hat sich ein leichter Rückgang abgezeichnet. Das Ziel der österreichischen Regierung den jährlichen Zuwachs bis 2030 auf 2,5 ha/Tag zu reduzieren, liegt derzeit noch in Reichweite (vgl. Umweltbundesamt 2022).

Mit der jährlich zunehmenden Flächeninanspruchnahme geht auch eine steigende Flächenversiegelung einher (vgl. ebd.). Aus Abbildung 03 ist zu erkennen, dass der Zuwachs an Baufläche in Kärnten konstant steigt. Die Begrifflichkeit „Baufläche gesamt“ fast hierbei versiegelte und begrünte Bauflächen zusammen (vgl. Umweltbundesamt 2022).

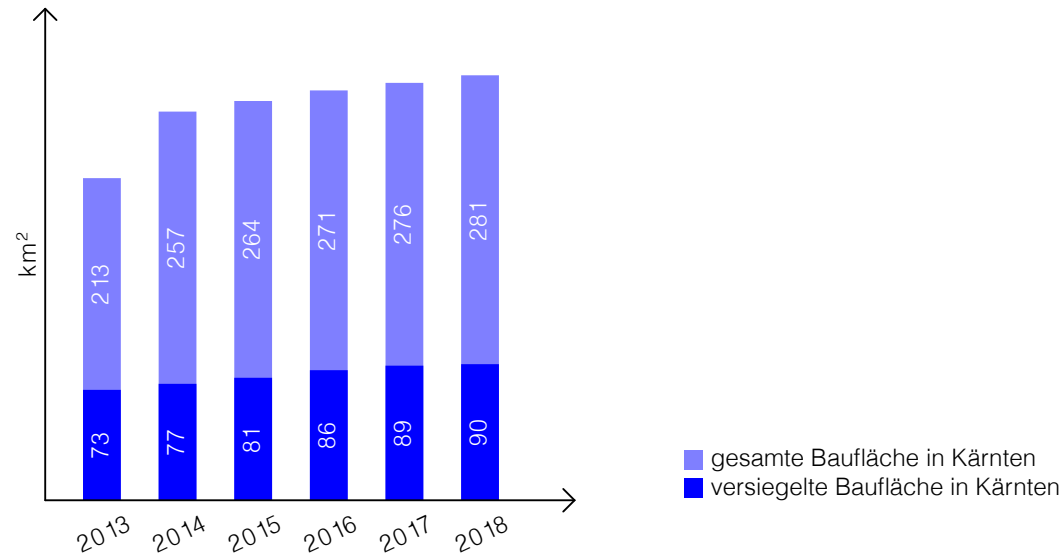


Abb. 03: Bauflächenvergleich Kärnten

## 2.2 BAUKULTUR

„Baukultur betrifft uns alle: Sie gelingt überall dort, wo Menschen ihren Lebensraum mit hohem Qualitätsanspruch gestalten. Sie schließt Gebäude und Siedlungen, Städte und Dörfer, Landschaft und Versorgungsbauten ein. Sie hat mit Flächenwidmung und Architektur zu tun, mit Raumordnung und Regionalpolitik, Wirtschaft und Infrastruktur“ (Bundeskanzleramt 2017:5).

Durch die Gestaltung unserer Umwelt entsteht Baukultur. An diesem Prozess sind nicht nur planende Berufssparten, wie Architektur, Städtebau, Landschaftsplanung, Bauingenieurwesen und Raumplanung beteiligt, sondern auch auftraggebende Parteien. Eine wichtige, meist unterschätzte, zusätzliche Rolle nehmen Nutzer:innen ein (vgl. Bundeskanzleramt 2017:12).

Mit den im Jahr 2017 erschienenen „baukulturellen Leitlinien“ des Bundes wird versucht, das allgemeine Verständnis von Baukultur zu stärken. Durch die Einbindung der Öffentlichkeit wird die Bewusstseinsbildung aller Beteiligten gefördert (vgl. Bundeskanzleramt 2017:5). Denn durch die Berücksichtigung baukultureller Qualitäten können durch Verdichtung hochwertige Orte entstehen (vgl. Plattform Baukultur 2017:115).

Dieser Qualitätsanspruch an die gebaute Umgebung impliziert nicht gleichzeitig eine großzügige Wohneinheit. Trotzdem nimmt Wohnflächenverbrauch (Abb. 04) pro Person österreichweit jährlich zu. Allein in Kärnten stieg die durchschnittliche Wohnfläche pro Person in den Jahren von 2005 – 2020 um 15 % (vgl. Statistik Austria 2023). Eine Reduktion des Flächenkonsums kann unter anderem durch optimierte Siedlungsstrukturen erreicht werden. Eine Möglichkeit ist der gemeinschaftliche Wohnbau.

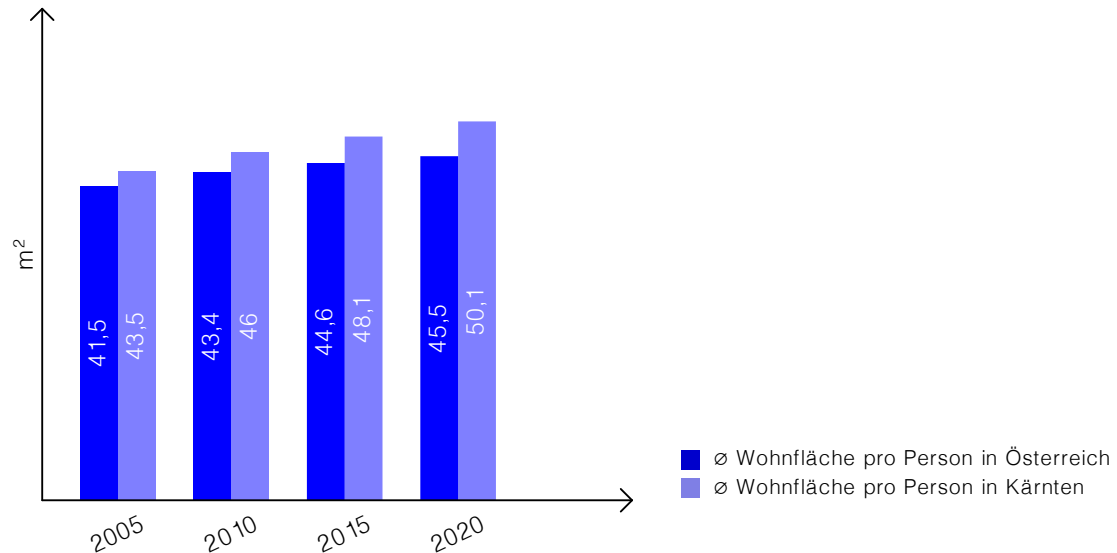
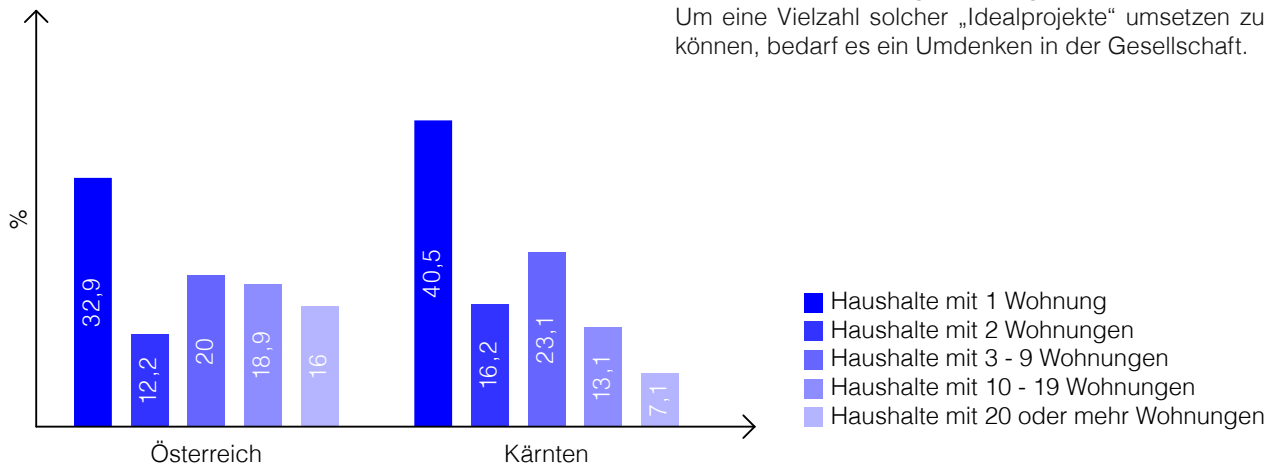


Abb. 04: durchschnittliche Wohnfläche

Laut einer Umfrage weisen österreichische Hauseigentümer:innen die höchste Zufriedenheit in Bezug ihre Wohnsituation auf (vgl. Statistik Austria, 2022b). Zudem ist für 62 % der zur Befragung gezogenen Personen das eigene Haus die gewünschte Wohnform (vgl. ORF 2020). Österreichweit sind fast ein Drittel aller Wohngebäude Einfamilienhäuser (Abb. 05) (vgl. Statistik Austria 2022b).

Mit der Ausnahme von landwirtschaftlichen Betrieben wohnte man bis ins 20. Jahrhundert überwiegend entweder in dörflichen Strukturen oder in der Stadt. Die urban gelegenen Häuser, mit Ausnahme der Bauernhäuser, waren bei genauer Definition ebenso Einfamilienhäuser, weil sie meistens von einer einzigen Familie bewohnt wurden. Zum heute populären Verständnis des Typus Einfamilienhaus zeichnen sich jedoch zwei substantielle Unterschiede ab. In der Vergangenheit wurden durch die dichte, bodensparende Bauweise attraktiver, öffentliche Begegnungsräume erzeugt. Zudem waren diese Bauten nicht ausschließlich der Wohnnutzung zugeschrieben, sondern waren gleichzeitig auch oft Arbeitsstätte (vgl. Temel 2020:195ff).

In Kärnten verfügen 40 % der Haushalte über eine Wohneinheit und lediglich 7 % der Gebäude bieten Platz für 20 oder mehr getrennte Wohnungen (Abb. 05). Im österreichweiten Vergleich liegt Kärnten in den ersten drei Gebäudekategorien mit niedriger Wohnungsanzahl pro Haushalt über dem Durchschnitt und in den restlichen Kategorien dementsprechend darunter (vgl. Statistik Austria 2022b:32).



Zusammengefasst kann der heute bekannte Wohntypus „freistehendes Einfamilienhaus“ nur durch zwei Entwicklungen fortbestehen. Zum einen durch die Industrialisierung und der damit einhergehenden Funktionstrennung von Arbeit und Wohnen. Und zum anderen ist diese Form der Zersiedelung nur möglich durch den motorisierten Individualverkehr. Laut Temel kann man die entscheidenden Faktoren für ein Leben im Einfamilienhaus mit fünf Vorteilen zusammenfassen: viel Platz, Abstand, Selbstbestimmung, eigenes Grün, Nachbarschaft. In der Annahme, dass in Zukunft kein freistehendes Einfamilienhaus mehr entstehen darf, wäre der Optimalfall ein verdichteter Wohnbau in Kombination mit den genannten Vorteilen der Wohnraum der Zukunft. Die gewünschte Lebensqualität könnte durch Adaptierungen an bekannten Bebauungsformen gelingen. Durch gezielte Entwurfsentscheidungen können großzügige Freiflächen und Gemeinschaftsräume geschaffen werden, die zur Stärkung der Nachbarschaftsverhältnisse beitragen und gleichzeitig einen Flächenluxus bieten, der im Einfamilienhaus nur in Einzelfällen möglich ist (vgl. Temel 2020:195ff). Um eine Vielzahl solcher „Idealprojekte“ umsetzen zu können, bedarf es ein Umdenken in der Gesellschaft.

Abb. 05: Haushaltsgrößen im Vergleich

## 2.3 WOHNEN IN GEMEINSCHAFT

In vielen Sparten des Lebens hat sich in den letzten Jahren etwas verändert. Die vorherrschenden Wohnformen haben sich kaum an die neuen Bedürfnisse angepasst (vgl. Kasper 2015:16ff). Das klassische Zusammenleben der Kernfamilie wird immer öfter aufgelöst und geht über zum Leben im familiären Verbund. Soziale Organisationseinheiten in der nahen Umgebung gewinnen dadurch immer mehr an Bedeutung (vgl. Schmid 2019:28). Nach und nach entstehen neue Wohnformen, ein Wohnwandel zeichnet sich ab. Gemeinschaftliche Wohnprojekte (Abb. 06) werden entwickelt, die alle unterschiedlichsten Ansätze verfolgen. Je nach Bedarf werden die Öffentlichkeitsgrade verschoben und Nutzungen überlagert (vgl. Kasper 2015:16ff).

Der momentane Immobilienmarkt ist nicht in der Lage die Bedürfnisse der Nutzer:innen zu bedienen. Veränderte Lebensformen fordern neue Wohnformen, gemeinschaftliches Wohnen bietet in seiner Vielfalt unterschiedliche Lösungen. Wohnmodelle können in Form von unterschiedlichsten Bautypen realisiert werden, von der Wohnanlage bis hin zur Doppelhaushälfte. In den zwei Punkten einen sich jedoch alle diese Projekte, den Mitbestimmungsprozessen der Bewohner:innen und den Gemeinschaftseinrichtungen (vgl. Becker 2015:9). Das Potential der gemeinschaftlichen Wohnbauten kann nicht nur im urbanen Gebiet, sondern auch im ländlich geprägten Raum ausgeschöpft werden (vgl. Becker 2015:8f.).

Nach Schmid (2021:171) können diese kollektiv nutzbaren Bereiche wie folgt beschrieben werden:

*Unter gemeinschaftlichen Wohnräumen sind Wohnflächen zu verstehen, die nicht ausschließlich und langfristig der individuellen Nutzung einer spezifischen Bewohner:innenschaft zugeordnet sind, sondern einer definierten Gemeinschaft zur Verfügung gestellt und von dieser getragen werden.*

Die Grundlage des Wohnens in Gemeinschaft liegt in der Verschiebung der Flächen vom Privaten ins Öffentliche. Durch diese Verlagerung entstehen neue Öffentlichkeitscharaktere (vgl. Schmid 2021:167). Nach Hannah Arendt (1981:57) wird der Öffentlichkeitsgrad eines gemeinschaftlichen Raums erst durch seine Nutzung definiert. Die neu geschaffenen Räumlichkeiten können gemeinsam, aber auch individuell genutzt werden; dies wird meist durch die Nutzungsart festgelegt. Ein öffentlicher Raum der Siedlungsgemeinschaft impliziert nicht von vornherein die Zugänglichkeit für alle Bewohner:innen zu jeder Zeit. Wird aber zum Beispiel eine Gästewohnung im Projekt vorgesehen, kann diese zwar von allen verwendet werden, das geht jedoch nicht zeitgleich. Diese Art der Nutzung wird als Mehrfachnutzung bezeichnet, dabei wird einem Raum durch seine Einrichtung ein bestimmter Verwendungszweck zugeschrieben. Eine kollektive Nutzung ist dabei nicht angedacht (vgl. Schmid 2019:28f.). Ein ähnliches Prinzip entsteht bei Räumen, deren Nutzungsoption nicht durch räumliche Parameter wie die Ausstattung vorgegeben ist. Es kann sich dabei um Bereiche handeln, die kollektiv und somit von mehreren Personen gleichzeitig genutzt werden können, oder in bestimmten Zeiträumen nur für bestimmte Nutzer:innengruppen zugänglich sind. Es ist dabei von Nutzungsüberlagerung die Rede (vgl. Schmid 2021:167f.)

Bei gemeinschaftlichen Wohnprojekten sollen durch planerische Entscheidungen Begegnungsräume geschaffen werden. Kommunikation ist in solchen Projekten essenziell. Neben den gemeinschaftlich nutzbaren Räumen fördert attraktiv ausgestaltete Erschließungsmaßnahmen den Austausch untereinander. Großzügige Laubengänge, Eingangsbereiche und Innenhöfe fungieren oft als Erweiterung der gemeinschaftlichen Räume und gleichzeitig als Übergangszone zwischen dem Öffentlichem und Privatem (vgl. ebd.).

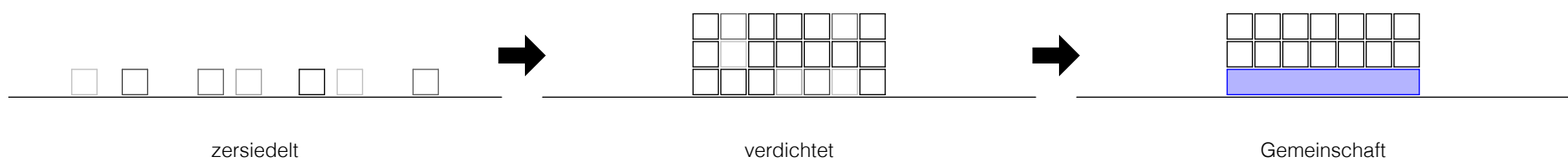


Abb. 06: Konzept Wohnen in Gemeinschaft



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



## 3 3D-DRUCKTECHNOLOGIE

Die Entwicklung der Digitalisierung von Bauwerkskonstruktionen mittels CAD und der immer häufiger werdenden digitalen Planung von Bauprozessen durch BIM schreiten kontinuierlich voran. Der Übergang hin zur digitalen Fertigung markiert den nächsten Meilenstein in dieser Entwicklung. Dieses Kapitel widmet sich einer grundlegenden Untersuchung des 3D-Drucks im Bauwesen. Zu Beginn wird eine eingehende Betrachtung der unterschiedlichen Fertigungsmethoden vorgenommen. In weiterer Folge wird ein Überblick über die additive Fertigung im Bauwesen gegeben. Es werden branchenspezifische Herstellungsmethoden und die hierfür verwendeten Materialien erläutert. Dabei wird der Fokus auf die Verwendung von Beton bzw. Mörtel im 3D-Druckverfahren gelegt. Im Anschluss erfolgt die Betrachtung der Integration von Bewehrung. Danach erfolgt eine Darlegung der Drucktechnologie unter Verwendung von Beton, wobei zwei spezifische Verfahren näher betrachtet werden. Um die Marktfähigkeit zu untersuchen, wird im nächsten Schritt eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt. Hierfür wird eine konventionelle Stahlbetonwand einer mittels 3D-Druck hergestellten gegenübergestellt. Um eine Grundlage für die folgende Entwurfsplanung zu schaffen, werden drei realisierte 3D-Druck-Gebäude analysiert. Das Voranschreiten der Technologie eröffnet neue Möglichkeiten und Perspektiven im Bauwesen. Im folgenden Kapitel wird die Bandbreite und das Potential der 3D-Druckmethode im Bauwesen aufgezeigt.

### 3.1 GRUNDLAGEN DES 3D-DRUCKS

3D-Druck ist ein wirtschaftliches Fertigungsverfahren zur Herstellung von Modellen, Prototypen und Endprodukten. Als Basis hierfür wird ein 3D-CAD-Modell benötigt (vgl. Fastermann 2016:11). Eine Differenzierung der unterschiedlichen Fertigungsmethoden kann durch verschiedene Parameter erfolgen. Bei dieser Arbeit wird zwischen subtraktivem, formativem und additivem Fertigungsverfahren unterschieden. Bei subtraktiven Verfahren wird Material, beispielsweise in Form von Fräsen, abgetragen. Formative Verfahren formen ein gegebenes Volumen um; unter anderem durch schmieden oder gießen. Bei der additiven Fertigung wird die geforderte Geometrie durch schichtweises Auftragen von Material generiert (vgl. Gebhardt 2016:1). Vielfach wird diese Art der Vorgehensweise auch als generative Fertigungsmethode, Rapid Prototyping oder Additive Manufacturing bezeichnet, wobei unter all diesen Begrifflichkeiten der 3D-Druck zu verstehen ist (vgl. Fastermann 2016:11). Die Fertigungsmaschine hierfür wird allgemein als 3D-Drucker bezeichnet (vgl. Gebhardt 2016:1).

### 3.2 ADDITIVE FERTIGUNGSTECHNIK

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche 3D-Druckverfahren entwickelt und zum Teil auch am Markt etabliert. Mittlerweile findet der 3D-Druck nicht nur Anwendung in der Herstellung von Prototypen, sondern auch für marktfähige Endprodukte von Industriebereichen wie der Medizin, Energie oder Luftfahrt (vgl. Otto/Krause 2017:2).

„Als additive Fertigungsverfahren werden alle Fertigungsverfahren bezeichnet, die Bauteile durch Auf- oder Aneinanderfügen von Volumenelementen (Voxeln), vorzugsweise schichtweise, automatisiert herstellen“ (Gebhardt 2016:3).

Insbesondere aufgrund der schichtweisen Herstellung ergeben sich besondere Eigenschaften. Die Geometrie kann direkt aus der 3D-CAD-Datei entnommen werden. Zudem werden keine speziellen Instrumente zur Herstellung benötigt. Diese Vorzüge erleichtern die Optimierung bestehender Prozesse, die Produktion, sowie Entwicklung neuer Produkte (vgl. Gebhardt 2016:3ff). Bei der additiven Fertigungsmethode wird durch ein Aneinanderfügen von Schichten das gewünschte Bauteil generiert. Die Form jeder Schicht wird durch die x-y-Ebene definiert. Diese sogenannte Bauebene ist flächig und somit zweidimensional. Durch das schichtweise Auftragen entsteht die dritte Dimension, folglich sind additive Fertigungstechniken bei strenger Betrachtung lediglich 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Verfahren. Daraus ergibt sich ein abgestuftes Objekt in z-Ebene, das sich mit geringer werdender Schichtdicke immer mehr dem Original annähert und eine hohe Präzision in der Bauebene aufweist. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der additiven Fertigung wird auch an der Problematik des stufigen Aufbaus und der damit einhergehenden Ungenauigkeiten gearbeitet (vgl. Gebhardt 2016:21ff). Für die additive Fertigung von physischen Objekten werden direkt aus dem Computer generierter Datensätze entnommen, diese müssen ein komplettes 3D-Volumen ohne Fehler beinhalten. Dabei wird durch die Art der Fertigungsmethode

keine Veränderung der Konstruktion vorgenommen, lediglich automatisch generierte Stützen, die für den Druckprozess nötig sind, werden addiert. Sie können nach Fertigstellung wieder entnommen werden. Somit ergibt sich, dass das 3D-CAD-Modell zugleich als Produktmodell und als Grundlage der Fertigung dient. Wie in Abbildung 09 dargestellt, wird dieser digitale Datensatz durch mathematische Methoden in Schichten, in der Regel mit gleichbleibender Stärke, geschnitten. Zumeist wird der sogenannte STL-Datensatz („Standard Transformation Language“) genutzt, um die geometrischen Schichteninformationen zu erzeugen. Danach müssen noch zusätzliche Produktionsinformationen festgelegt werden, etwa die ideale Orientierung des Objekts im Bauraum. Basierend auf diesen Grundlagen kann ein Bauteil mittels additiver Fertigungstechnik hergestellt werden und ist nach prozessspezifischen Nacharbeiten einsatzfähig (vgl. Gebhardt 2016:25ff).

Eine Möglichkeit der Klassifizierung unterschiedlicher additiver Fertigungstechniken basiert auf dem Aggregatzustand des verwendeten Ausgangsmaterials bei Zuführung zur Fertigungsmaschine. Hierbei erfolgt eine Unterscheidung zwischen der flüssigen, festen und gasförmigen Phase. In der flüssigen Phase werden pastenartige und flüssige Materialien verfestigt, die feste Phase nutzt feste Materialien, wie Pulver oder Granulat, die durch Laser- oder Infrarotstrahler geschmolzen beziehungsweise verfestigt werden. In der gasförmigen Phase werden Bauschichten durch das chemische oder physikalische Abscheiden von Partikeln erzeugt (vgl. Gebhardt 2016:47ff).

### 3.2.1 POTENTIAL DER ADDITIVEN FERTIGUNG

Die additive Fertigung bietet besonderes Potential in Bereichen, die bisher in geometrischer und fertigungstechnischer Hinsicht limitiert waren, da eine Produktion nicht oder nur unter hohem Aufwand möglich war. Es ergibt sich eine hohe Gestaltungsfreiheit. Komplexe Geometrien können unter vereinfachten Umständen gefertigt werden. Einzelne Teile und somit fehleranfällige Schnittstellen entfallen. Die Fertigungsmethode eröffnet die Möglichkeit, Variationen von Massenproduktionen flexibel und individuell anzupassen. Mikrobauteile, deren Herstellung konventionell nicht möglich war, können gefertigt werden. Werkstoffeigenschaften können gezielt über ein Werkstück verändert werden, um anisotropisches Verhalten hervorgerufen. Die genannten Vorteile sind nicht auf industrielle Produzent:innen reduziert, sondern allgemein zugänglich (vgl. Gebhardt 2016:462ff).

### 3.3 ADDITIVE FERTIGUNG IM BAUWESEN

Das Interesse am digitalen Bauen ist in den letzten Jahren rapide angestiegen. Damit einhergehende Potentiale und die zu bewältigenden Herausforderungen sind immens. Trotz vieler Hürden konnten weltweit bereits mehrere Pilotprojekte vom Bürobau bis zur Brücke realisiert werden (vgl. Mechtcherine 2021:881).

Gegebene Herausforderungen in der Bauindustrie, wie vermehrter Fachkräftemangel und die Forderung nach einer Produktivitätssteigerung regen zum Umdenken an. Ein möglicher Lösungsweg könnte in der Digitalisierung und Automatisierung von Planungs- und Bauprozessen liegen (vgl. De Schutter 2018:25ff). Zudem kann damit eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen durch neu eröffnete geometrische Planungsfreiheiten und andere Optimierungsmaßnahmen einhergehen (vgl. Lim 2021:262ff). Um die generative Fertigungsmethode künftig vermehrt einsetzen zu können, braucht es auch hier qualifizierte Fachleute und einschlägige Regelwerke (vgl. Mechtcherine 2021:881). Im Folgenden wird allgemein auf die 3D-Druckthematik im Bauwesen eingegangen, weiters erfolgt eine materialspezifische Spezialisierung in Hinblick auf die Fertigung mit zementgebundenen Baustoffen.

#### 3.3.1 HERSTELLUNGSMETHODEN

In DIN EN ISO 17296-2:2017 wird zwischen sieben additiven Verfahrensklassen unterschieden. Die additive Fertigung im Bauwesen kann grundsätzlich mittels drei Methoden erfolgen: dem Spritzen, der selektiven Bindung oder der Extrusion. Die Aufbringung durch Spritzen ist der Anwendung von Spritzbeton sehr ähnlich. Hierbei wird jedoch der Ort und die Menge der Anbringung CNC, also computergestützt, numerisch gesteuert (vgl. Mechtcherine 2021:883). Basis für die selektive Bindung ist ein Pulverbett aus trockenem Grundmaterial, das mittels chemischer Binder oder Wasser an definierten Stellen aktiviert und verfestigt wird. Der Aktivator wird meist durch einen Portalroboter aufgebracht. Nach dem Aushärten der Schichten beginnt der Vorgang von vorne. Das Endprodukt besteht aus dem erhärteten Teil und den losen Bestandteilen, die zugleich als temporäre Schalung fungieren. Ist der Bauteil getrocknet kann das lose, trockengebliebene Grundmaterial entfernt werden. Das Fertigungsverfahren weist gleichzeitig eine geringe Produktionsgeschwindigkeit und eine hohe Präzision auf (vgl. Otto/Krause 2017:3).

Beim extrusionsbasierten Druckverfahren wird das Material vor dem Aufbringen gemischt und mittels steuerbarer Druckdüse schichtweise aufgebracht. Das Druckmaterial muss dabei eine Vielzahl an Anforderungen erfüllen. Aus wirtschaftlicher Sicht scheint das Fertigungsverfahren mittels Extrusion, das sogenannte „Contour Crafting“ (CC), am erfolversprechendsten (vgl. Otto/Krause 2017:3ff).

### 3.3.2 DRUCKMATERIAL

Verschiedenste Materialien wurden bereits für die Herstellung von großflächigen Bauteilen mit additiver Fertigung erforscht, unter anderem Kunststoff, Keramik und Acryl. Lasten können diese Gebilde meist nur in geringem Ausmaß aufnehmen. Die Forschung setzt daher oft noch auf die Verwendung von zementgebundenen Baustoffen, meist feinkörnige Betone (vgl. Otto/Krause 2017:3). Im Folgenden wird speziell auf die Materialität bei Verfahren mit selektiver Betonablage eingegangen. Bei der additiven Betonablage wird in einer bestimmten Druckgeschwindigkeit das gemischte Material an durch digitale Planung vorgegebenen Stellen mittels eines Druckkopfes aufgetragen (vgl. Näther 2017:36ff). Im Gegensatz zum klassischen 3D-Druckverfahren, bei dem der Druckkopf die endgültige Filament-Geometrie vorgibt, verformt sich oder „zerfließt“ das Druckmaterial Beton auch nach Austreten aus der Düse. Je nach Art der selektiven Materialablage variiert der Grad der Formänderung. Abbildung 07 zeigt ein Beispiel für deutliche Formänderung und Abbildung 08 eine geringere Verformung (vgl. Mechtcherine 2019:25ff). Die Unterscheidung der selektiven Ablage in Bezug auf die Betontechnologie kann auch anhand der Dimension des abgelegten Filaments erfolgen. Je nach Querschnittfläche und Verhältnis von Breite zu Höhe des Drucks und umso feiner das Filament, desto höher die Druckauflösung. Dadurch wird der Druck von komplexen Geometrien erleichtert und ein hoher Grad an Präzision kann erreicht werden. Dies hat jedoch eine Zunahme der Fertigungsdauer zur Folge. Um eine hohe Druckqualität zu erreichen, muss die Betonzusammensetzung sehr feinkörnig sein, das zieht materialspezifische Nachteile wie Kriechen, Schwinden und eine hohe Wahrscheinlichkeit zur Rissbildung mit sich. Bei feinkörniger Betonzusammensetzung muss der Bindemittelanteil erhöht werden, somit ergeben sich wirtschaftliche und ökologische Nachteile. Mit zunehmendem Durchmesser der Gesteinskörnung

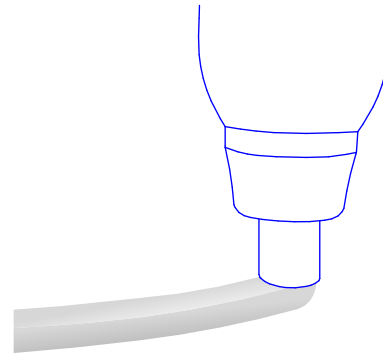


Abb. 07: Druckkopf mit hoher Formänderung

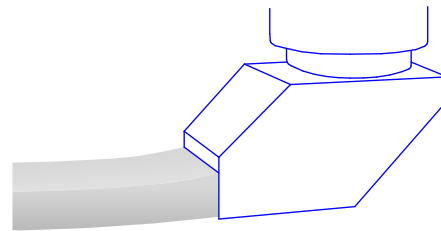


Abb.08: Druckkopf mit geringer Formänderung

erhöhen sich entsprechend auch die Anforderungen an den Druckkopf und den Druckvorgang. Durch den schichtweisen Aufbau sind ein gleichmäßiger Materialfluss, die Bewegungsgeschwindigkeit des Druckkopfes und die Maßgenauigkeit und Formstabilität des Druckmaterials maßgebend für eine exakte Ausführung der digitalen Planung. Zusammenfassend kann man sagen, dass die rheologischen Eigenschaften des Druckbetons einen hohen Stellenwert haben. Ungenauigkeiten können zu Unterschieden in der Druckgeometrie führen und weiterführend zu Stabilitätsproblemen im Druckobjekt. Durch mögliche Abweichungen der rheologischen Eigenschaften von Frischbeton wird eine kontinuierliche Überprüfung der gedruckten Geometrie durch optische Messsysteme während der Ausführung empfohlen. Somit kann auch noch rechtzeitig reagiert und wenn nötig nachgebessert werden (vgl. Mechtcherine 2019:25ff). Die rheologischen Eigenschaften für druckbaren Beton zu definieren, ist eine komplexe Herausforderung. Man kann diese in drei Kernanforderungen zusammenfassen: Pumpbarkeit, Extrudierbarkeit und Verbaubarkeit. Ersteres beschreibt die mühelose Beförderung des Frischbetons durch den Druckkopf, dies erfolgt meist durch Pumpen. Unter Extrudierbarkeit ist die störungsfreie Materialablage mittels Druckkopf zu verstehen, hierbei ist besonders der Materialaustrag, Volumen pro Zeiteinheit, entscheidend. Die Verbaubarkeit bezeichnet die nötige Formstabilität unter Zunahme der vertikalen Lasten durch die schichtweise Bauart. Maßgebend hierfür ist die frühe Belastbarkeit des Frischbetons, um den raschen Bauablauf zu gewährleisten. Bereits platzierte Schichten dürfen sich durch das Aufbringen eines neuen Filaments nicht wesentlich verformen, das Mindestzeitintervall wird durch den Druckplan definiert (vgl. ebd.). Die erläuterten Anforderungen können mit dem heutigem Forschungsstand zur Betontechnologie

bewältigt werden. Alle beschriebenen Kerneigenschaften auf eine Betoncharge anzuwenden, stellt derzeit noch eine Herausforderung dar (vgl. ebd.). Um eine gute Pumpbarkeit zu erreichen, muss der Beton sehr weich sein (Mechtcherine 2014:312ff). Bei Veränderungen der Konsistenz zu einem zu weichen Material würde dies zum Verlust der Formstabilität führen und dadurch schwieriger zu verbauen sein. Der optimale Beton in Bezug auf die Verbaubarkeit weist eine hohe Grünstandfestigkeit auf, eine Konsistenz, die weder gut gepumpt noch extrudiert werden kann. Die Entwicklung optimierter Betonzusammensetzungen stellt die Branche vor große Herausforderungen. Ein Ansatz ist, dem Beton direkt im Druckkopf einen Erstarrungsbeschleuniger beizumengen. Durch diesen Zuschlagstoff wird gut pumpbarer und extrudierbarer Beton gleichzeitig auch gut verbaubar (vgl. Mechtcherine 2019:25ff). Ein anderer Lösungsweg ist, gut verbaubarem Beton Zusatzmittel beizumengen, die nach Austreten aus dem Druckkopf durch äußere physikalische Einwirkungen den Beton rheologisch verändern (vgl. De Schutter 2018).

Die vorherrschenden 3D-Druckmethoden haben den Schwerpunkt auf den Beton als solchen gelegt. Angesichts der unverzichtbaren Verwendung von (Stahl-)Bewehrung in den meisten Bauprojekten ergibt sich ein dringender Bedarf die Integration von Bewehrungsstrukturen in 3D-gedruckte Bauteile weiterzuentwickeln (vgl. Mechtcherine 2018:496ff). In den letzten Jahren hat sich ein deutlicher Forschungsfortschritt bei der Bewehrungsintegration in der additiven Betontechnologie abgezeichnet (vgl. Mechtcherine 2022). Hierfür ist es essenziell die Formfreiheit und Effizienz des additiven Verfahrens zu erhalten und gleichzeitig die effektive Nutzung der Bewehrung sicherzustellen (vgl. Mechtcherine 2021).

Im Folgenden werden einige Forschungsansätze zur Bewehrungsintegration beim additiven Druckverfahren aufgezeigt. Grundlegend kann

man zwischen metallischen Bewehrungen (konventionelle Stahlbewehrung, Spannstahl oder Bewehrung mit Draht, Litzen oder Drahtseil) und nichtmetallischen Bewehrungen aus Carbon-, Glas-, Basalt oder Kunststoffasern unterscheiden. Weitere werden meist in Form von Kurzfasern, Garnen, textilen Bewehrungsgelegen oder als stabförmige Bewehrungen eingesetzt. Die Einbringung der Bewehrung kann entweder während des Druckprozesses erfolgen oder vor oder nach der Betonfertigung (vgl. Mechtcherine 2021:889). Ersteres kann nach Mechtcherine (vgl. 2021:890) in vier Kategorien gliedert werden: Entweder wird die Bewehrung vor der Materialablage in den Druckkopf eingezogen und während dem Druckprozess eingebracht (1.) oder zwischen den einzelnen Betonschichten angeordnet (2.). Bei der Methode der schichtübergreifenden Ummantelung werden vertikale oder geneigte Bewehrungselemente in die horizontale Druckbahn vor Aufbringung der nächsten Bahn integriert (3.). Bei der schichtübergreifenden Bewehrungseinbringung erfolgt die Einbringung nach der Ablage in den frischen Beton (4.) (vgl. ebd.).

Die Einbringung der Bewehrung vor oder nach dem Betoniervorgang kann in zwei Kategorien unterteilt werden. Die Vorabrinbringung kann, bei einer nötigen Stützfunktion der 3D-Druckstruktur, formdefinierend sein oder keine stützende Aufgabe haben und somit nicht formgebend sein. Zudem kann man zwischen zwei Kategorien der Bewehrungseinbringung nach der Betonformung differenzieren – zum einen in oder auf den erhärteten Beton, zum anderen nach dem Zusammensetzen einzelner Bauteile zu einem Konstrukt (vgl. ebd.).

### 3.3.3 DRUCKTECHNOLOGIE

Wie die Wahl des Druckmaterials soll auch das Druckverfahren nach den individuellen Anforderungen des Druckobjekts gewählt werden. Basis für den Druckprozess (Abb. 09) ist eine BIM-basierte Planung. Aus dem vorhandenen dreidimensionalen Gebäudemodell können die nötigen Steuerungsdaten entnommen und anschließend in eine STL-Datei umgewandelt werden. Dabei wird die Oberfläche von einzelnen Dreiecksfacetten beschrieben. Im nächsten Schritt, dem Slicing, wird das 3D-Objekt horizontal in 2D-Schichten mit definierter Schichthöhe geschnitten (Abb. 10). Hierbei wird ein G-Code ausgegeben, der relevante Parameter für die Steuerung der Maschine beinhaltet (vgl. Otto/Krause 2017:11-12). Obwohl es viele verschiedene Möglichkeiten gibt 3D-Drucktechnologie im Bauwesen einzusetzen, dominieren derzeit zwei Drucktechnologien die Branche; zum einen der Roboterarm und zum anderen der Portalroboter. Beide Druckverfahren basieren auf dem Prinzip der Extrusion (vgl. COBOD 2020:2ff). Viele Forschungsprojekte fokussieren sich auf die Produktion von Fertigteilen. Durch zusätzliche Faktoren wie die einer benötigten Produktionshalle, dem Transportweg und der Montage vor Ort fallen Mehrkosten an, die bei einer Produktion vor Ort teilweise wegfallen (vgl. Otto/Krause 2017:7). In der Folge wird daher auf Drucktechnologien eingegangen, die direkt am Bauplatz zum Einsatz kommen. Dabei werden zwei Druckroboter analysiert, der Portaldrucker BOD2, mit dem bereits Projekte in der Praxis realisiert wurden und der Roboterarm CONPrint3D®, der Teil eines Forschungsprojektes der TU Dresden ist.

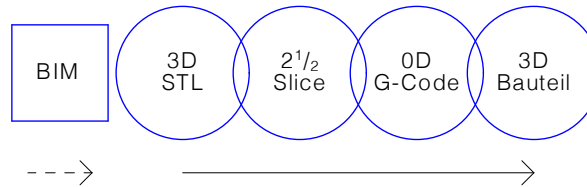


Abb. 09: Prozesskette der Datenverarbeitung

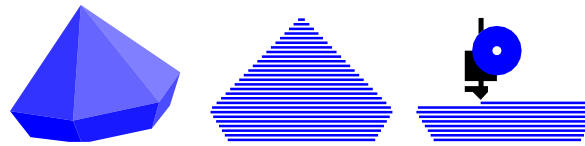


Abb. 10: Slicing

## CONPrint3D

Ein Forschungsteam der TU Dresden hat es sich zur Aufgabe gemacht, tragende Betonstrukturen nach den Prinzipien der Extrusion mittels 3D-Druck herzustellen. Dabei soll ein automatisiertes Bauverfahren entwickelt werden, das schalungsfreie Bauwerksstrukturen vor Ort druckt (vgl. Otto/Krause 2017:6). Gedruckt soll dabei mit einer Autobetonpumpe (ABP) werden. Ausgangsposition ist die Nutzung von herkömmlichen und zugelassenen Beton- und Mörtelrezepturen unter der Beimengung von Beschleunigern zum Druckmaterial, direkt vor dem Materialaustritt aus dem Druckkopf. Die Verwendung einer Autobetonpumpe (Abb. 11) birgt mehrere Qualitäten, unter anderem eine hohe Reichweite und örtlich flexiblen Einsatz. Die komplexe Steuerung der Pumpe, aber auch die geringe Steifigkeit des Mastes könnte eine Herausforderung darstellen. Vorteilhaft ist jedoch, dass die ABP eine handelsübliche Baumaschine ist (vgl. Näther 2018:18ff).

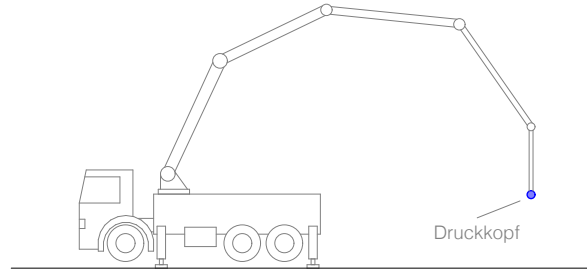


Abb. 11: CONPrint3D Konzept

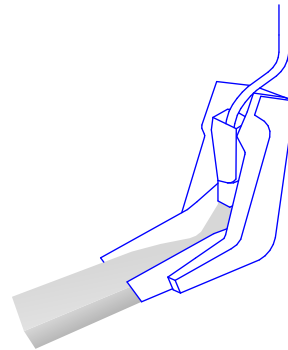


Abb. 12: CONPrint3D Druckkopf

Das Drucksystem sieht vor, den eigentlichen Betonaustrag von der primären Betonförderung zu trennen. Dies soll durch einen Vorratsbehälter möglichst nahe am Druckkopf (Abb. 12) geschehen, der ein Volumen von ca. 100 Liter fasst. Dadurch ist der Druckvorgang für einen bestimmten Zeitraum, je nach Druckmenge und Geschwindigkeit von der Betonzufuhr, bei z.B. Fahrmischwechler oder Störungen unabhängig. Bei der CONPrint3D®-Technologie werden, im Gegensatz zu bekannten Systemen, Betonschichten in voller Wandlänge gedruckt. Der sogenannte Profildruck kann eine Breite von 10-40 cm haben. Mit jetzigem Forschungsstand ist jedoch nicht nachgewiesen, dass die vorgegebene Düsengeometrie auch bei größeren Wandquerschnitten für die Formgebung ausreicht (vgl. Näther 2018:37ff).



## BOD2

Der BOD2 ist ein von der dänischen Firma COBOD entwickelter Portaldrucker (Abb. 13). Dieses Verfahren sieht die Bewegung eines Druckkopfes (Abb. 14) über einen fest installierten Metallrahmen vor. Das Portalsystem ist in alle drei Achsen modular um 2,50 m erweiterbar, wobei der Druckbereich in der Höhe auf 10 m und in der Breite mit 15 m begrenzt und in Längsrichtung individuell erweiterbar ist. Im Gegensatz zum Drucksystem mit Roboterarm, wird bei diesem 3D-Druckverfahren ein mehrschaliger Wandaufbau gedruckt. Außerdem ist von Vorteil, dass das System lediglich einmal kalibriert werden muss, womit große Zeit- und Kostenersparnisse einhergehen. Die einzelnen Portalkranstützen können entweder in einem Fundament oder auf beweglichen Betonblöcken montiert werden. Je nach Projektgröße variiert dementsprechend auch die Dauer der Montage und Demontage (vgl. PERI 2021:11).

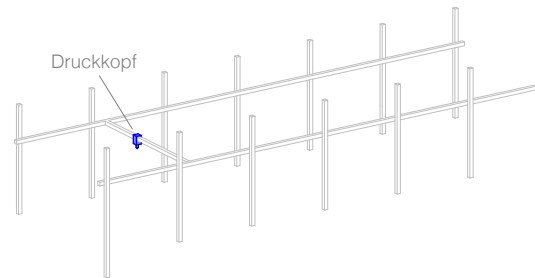


Abb. 13: BOD2 Portaldrucker

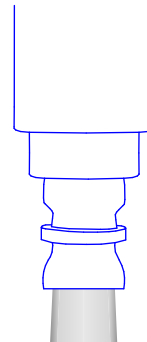


Abb. 14: BOD2 Druckkopf

Der Portaldrucker ist für die Ausführung von Ort beton-Projekten, aber auch für die Produktion von Fertigteilen geeignet (vgl. PERI 2022). Die einzelnen Layer können zwischen einer Höhe von 5-30 mm und einer Breite von 30-100 mm variieren (vgl. COBOD 2020b:8). Laut Peri „kann jeder lokal verfügbare, 3D-druckbare Mörtel oder Beton verwendet werden, der eine Körnung von bis zu 8 mm aufweist“ (o.D.2). Das Drucksystem verfügt über eine Tangentialkontrolle, die das Drucken von glatten Oberflächen, aber auch von rauen Strukturen, ermöglicht. Zusätzlich sind direkt am Druckkopf eine Kamera und ein Höhenkontrollsystem angebracht. So wird kontinuierlich der Höhenabstand bis zum Fundament gemessen. Die Höhenkoordinaten werden aufgenommen und mögliche Unebenheiten automatisch ausgeglichen. Um manuelle Arbeiten wie das Einbringen von Leerverrohrungen zu ermöglichen, wird die maximal mögliche Druckgeschwindigkeit von 1 m/s nicht ausgeschöpft, sondern auf 25 cm/s reduziert. Mit Stand heute (Juli 2023) wurden bereits mehrere Projekte mittels 3D-Druckverfahren in Europa realisiert, wobei zurzeit maximal drei Geschosse und eine Grundfläche von rund 200 m<sup>2</sup> gedruckt wurden (vgl. PERI o.D.2).

### 3.3.4 WIRTSCHAFTLICHKEIT

Das Hauptziel der vorliegenden Untersuchung zielt auf die Frage ab, welche Vorteile die Herstellung von Wandsystemen mit dem Beton-3D-Druckverfahren CONPrint3D® gegenüber einem herkömmlichen Wandsystem in Stahlbeton-Bauweise bietet. Dabei wird auf die erforschte 3D-Drucktechnologie der TU Dresden zurückgegriffen, auch wenn im folgenden Entwurf auf der Grundlage einer anderen Druckmethode geplant wurde. Dies liegt an der gegebenen Zugänglichkeit von Forschungsberichten und -ergebnissen, die bei anderen Technologien, wie z.B. COBOD kaum gegeben sind. In diesem Fall wurden vorrangig zwei Quellen herangezogen: Eine Machbarkeitsuntersuchung der TU Dresden (Näther 2017), sowie ein Aufsatz zur Wirtschaftlichkeit des Beton-3D-Drucks (Otto 2020). Im Zuge der Untersuchung ist festzuhalten, dass bisher kaum wissenschaftliche Informationen zu baubetrieblichen Analysen von Beton-3D-Druckverfahren existieren. In der Folge sind die anfallenden Kosten nach Material-, Lohn- und Gerätekosten, die bei der Herstellung von einem Quadratmeter Wand (Abb. 15) anfallen, aufgegliedert. Die einzelnen Positionen basieren auf den Bauleistungen nach DIN 18331 - Betonarbeiten und auf DIN 18299 - allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art. Die Mengenangaben und der nötige Zeitaufwand wurden aus Plümecke (2017) entnommen. Die Kostenangaben stammen aus der aktuellen Ausgabe des Baukostenindex (BKI) für den Neubau (2022:24ff). Alle angeführten Kosten sind Nettowerte. Gibt es keinen zusätzlichen Vermerk, werden immer die durchschnittlichen Kosten lt. BKI angenommen. Alle Daten und Angaben beziehen sich auf Deutschland, um einen einheitlichen Vergleich aufstellen zu können.

### RANDBEDINGUNGEN

Es wird angenommen, dass der in dieser Arbeit entworfene Wohnbau konventionell in Stahlbetonbauweise ausgeführt werden würde; aufgrund dessen wurde diese Konstruktionsmethode als Vergleichsgrundlage herangezogen. Um eine möglichst realistische Gegenüberstellung zu bekommen, wurde die Bewehrung und die dazu nötigen Arbeitsschritte zur Stahlbetonwand hinzugerechnet. An der Einbindung von Bewehrungsstrukturen in die CON-Print3D®-Technologie wird derzeit noch geforscht (vgl. Otto 2020). Der gewählte 3D-Druckaufbau ist somit unbewehrt. Die beiden Bauweisen sind statisch nicht vergleichbar. Zu einem späteren Zeitpunkt könnte ein Bewehrungssystem bei der 3D-Drucktechnologie ergänzt werden, wobei nach jetzigem Forschungsstand eine vollautomatische Integration während des Druckprozesses möglich ist und sich in diesem Fall die Lohn- und Gerätekosten nur gering bis kaum verändern würden. Für diesen Vergleich werden lediglich die tragenden Teile der Referenzwände (1x0,2x1 m) herangezogen, die Wärmedämmebene wird dabei nicht berücksichtigt.

### MATERIALKOSTENANSATZ

Die Materialkosten (Tab. 01) für Beton C25/30 liegen bei 175 €/m<sup>3</sup> (vgl. BKI 2022). Für den 3D-Druckbeton wurde ein Aufschlag auf den Normalbeton von 30% (Tab. 02) nach Nerella (2019) angesetzt. Darin sind die Mehrkosten durch die nötigen Zuschlagstoffe und Wartezeiten, sowie die zeitaufwendigere Entladung des Mischfahrzeuges enthalten (vgl. Nerella 2019). Für die Herstellung der Betonwand müssen noch zusätzliche Teilleistungen einkalkuliert werden, die zum Schalen benötigt werden. Diese belaufen sich in Summe auf 13,53 €/m<sup>2</sup>. Vergleicht man die beiden Wandkonstruktionen ohne Berücksichtigung der nötigen Bewehrung, ergibt sich ein zusätzlicher Kostenaufwand der Betonwand von rund 3 €/m<sup>2</sup> bei einem Bewehrungsgrad von 100 kg/m<sup>3</sup> (vgl. Dix 2010:215f.).

## LOHNKOSTENANSATZ

Für den Lohn aller Facharbeiten zur Herstellung der Betonwand wurde ein Stundensatz von 64 € angenommen. Dadurch ergeben sich Lohnkosten von insgesamt 174 €/m<sup>2</sup>. Aufgrund des höheren manuellen Arbeitsaufwands sind diese um ein Vielfaches höhere als jene für die Herstellung der 3D-Druckwand. Für den Druckprozess benötigten Geräteführer (Annahme Stundensatz 77 €/Std.) und einen Betonarbeiter (Mittellohn Facharbeiter 64 €/Std.) wird ein Arbeitsaufwand von 0,08 Std/m<sup>2</sup> angenommen, somit ergeben sich Gesamtlohnkosten von 11,28 €/m<sup>2</sup>. Bei beiden Verfahren wurde die Rüstzeit nicht berücksichtigt, dazu zählen sämtliche einmalige Tätigkeiten, die vor und nach einem Betonierprozess anfallen (vgl. Plümecke 2017). Auch die beim 3D-Druckverfahren nötige Positionierung, Kalibrierung und Justierung (vgl. Näther 2017:68) bleibt außer Betracht.

## GERÄTEKOSTENANSATZ

Für die Herstellung von 1 m<sup>2</sup> Betonwand werden 2 m<sup>2</sup> der verwendeten Systemschalung benötigt. Die Vorhaltekosten wurden auf Grundlage von Plümecke (2017:304) angenommen und durch die steigenden Baukosten um 50 % erhöht (vgl. WKO 2023). Zusätzlich wird für die Betonierarbeiten mit 250-l-Kübel ein Kran benötigt. Die Kosten dafür werden basierend auf der Annahme von Otto (vgl. 2020:591) angenommen und an die Kostenerhöhung angepasst und liegen somit bei 7,5 €/m<sup>2</sup>. Die Gerätekosten für die modifizierte Autobetonpumpe mit adaptiertem Druckkopf und Steuerung wurden lt. Näther (2017:69) angenommen und auch hier wurde ein Kostenaufschlag von 50 % angenommen, um die Baukostensteigerung an 2023 anzugleichen (vgl. WKO 2023). Somit ergeben sich Kosten von insgesamt 16,80 €/m<sup>2</sup>. Die Anfahrtspauschale wurde für beide Verfahren vernachlässigt.

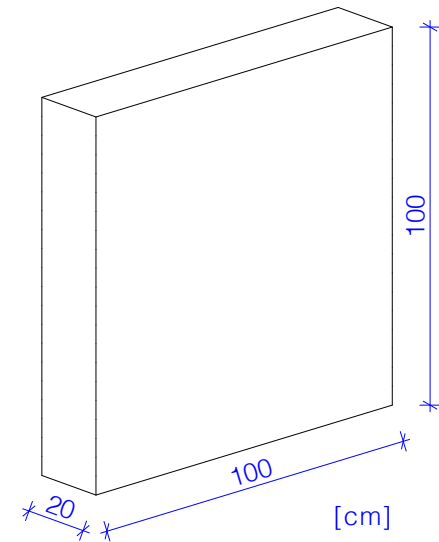


Abb. 15: Referenzwand

Die Kostengegenüberstellung ergibt ein mögliches Einsparpotential von rund 80 % bei einer Ausführung mit additiver Bauweise. Hier muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Stahlbeton-Referenzwand bewehrt und die 3D-Druckwand nicht bewehrt ist. Bei einer Gegenüberstellung ohne Berücksichtigung der benötigten Bewehrung wird eine Kostenreduktion von knapp über 65 % erreicht.

Die Materialkosten der STB-Wand liegen bei insgesamt 123,92 €/m<sup>2</sup> und unbewehrt bei 48,53 €/m<sup>2</sup>. Im Vergleich dazu betragen die Kosten für Material beim 3D-Druckverfahren 45,5 €/m<sup>2</sup>, daraus ergibt sich eine Ersparnis von ca. 6 % zur unbewehrten Wand.

Bei Betrachtung der Lohnkosten liegen die Gesamtkosten der STB-Wand bei 174,72 €/m<sup>2</sup> und bei einer Ausführung mit 3D-Drucktechnologie um knapp 94 % geringer, wenn zukünftige Bewehrungssysteme für den 3D-Druck, wie sie derzeit in der Forschung entwickelt werden vollautomatisch eingeführt werden (vgl. Mechtcherine 2021). So werden die ermittelten Unterschiede in den Lohnkosten auch in Zukunft von erheblicher Bedeutung sein.

### Herstellkosten Stahlbeton-Wand

#### Annahmen:

Dicke:	0,2 m
Volumen:	0,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Schalung:	2 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Bewehrungsgrad:	100 kg/m <sup>3</sup>
Betongüte:	C 25/30
Herstellungsverfahren:	Ortbeton
Baukosten Quelle:	BKI Baupreise kompakt 2023 Neubau - netto
Kalkulationsvorlage:	Plümecke 2017

Betonwand		1 m <sup>2</sup>
Beschreibung	Betonwand, Systemschalung beidseitig, bewehrt, einschalen, ausschalen, reinigen, Wandstärke 20 cm, betonieren mit Transportbeton, mit Kran und 250-l-Kübel	
		(€)
	<b>Materialkosten</b>	123,92
	<b>Lohnkosten</b>	174,72
	<b>Gerätekosten</b>	12,00
	<b>Σ Gesamtkosten</b>	<b>310,64</b>

Materialkosten		pro m <sup>2</sup>		Menge/Teilleistung	Kosten/T-Einheit (€)	T-Kosten/Einheit (€)
Position	Leistungsbereich nach BKI	Teilleistung (T)				
1		Schalungstrennmittel, Verbrauch 0,025 kg/m <sup>2</sup>		0,025	kg	0,03
2		Systemschalung vorhalten, je Einsatzfläche		2	m <sup>2</sup>	13,50
3	013.106	Betonstahl BSt 500 S		20	kg	38,96
4	013.106	BSt, Dimensionszuschlag, D = 8 mm, 0,222 kg/m		0,222	kg	0,43
5	013.107	Bewehrungszubehör, Abstandhalter		10	St.	36,00
6	013.24	Transportbeton, Ortbeton, C25/30		0,2	m <sup>3</sup>	35,00
<b>Σ Materialkosten</b>						<b>123,92</b>

Lohnkosten		pro m <sup>2</sup>		Menge/Teilleistung	Kosten/T-Einheit (€)	T-Kosten/Einheit (€)
Position	Leistungsbereich nach BKI	Teilleistung (T)				
1	013.125	Trennmittel sprühen		0,01	Std.	0,64
2	013.125	Betonwand mit Systemschalung einschalen		0,95	Std.	60,80
3	013.125	Ausschalen und Schalung reinigen		0,35	Std.	22,40
4	013.125	Betonstabstahl, senkrecht flächig verlegen		46	Std./t	58,88
5	013.125	Betonieren mit Transportbeton und Kran, 250-l-Kübel, verdichten		0,5	Std.	32,00
<b>Σ Lohnkosten</b>						<b>174,72</b>

Gerätekosten		pro m <sup>2</sup>		Menge/Teilleistung	Kosten/T-Einheit (€)	T-Kosten/Einheit (€)
Position	Leistungsbereich nach BKI	Teilleistung (T)				
1	013.125/013.126	Kosten der Schalungsvorhaltung		2	m <sup>2</sup>	4,50
2		Kran mit 250-l-Kübel, Rüttler		0,5	Std.	7,50
<b>Σ Gerätekosten</b>						<b>12,00</b>

Die Gerätekosten beider Konstruktionsmethoden können durch den unsicheren Faktor der Vorhaltekosten stark variieren. Nach vorliegender Aufstellung sind die Gerätekosten für den 3D-Drucker um 30 % höher als jene der STB-Wand.

Die Kostenübersicht ergibt ein hohes Einsparpotential bei der Konstruktion von Wänden mittels 3D-Druck im Vergleich zu STB-Konstruktionen. Die größte Kostenminderung konnte bei den Lohnkosten erzielt werden.

Die wesentliche Reduktion der Bauzeit durch die Automatisierung führt ebenfalls zu einer Reduzierung der Kosten für die Baustelleneinrichtung und deren Vorhaltung. Zusätzlich kann der Rohbau prinzipiell ohne den Einsatz von Gerüsten und Turmdrehkran errichtet werden, abgesehen vom möglichen Einsatz eines Mobilkrans, beispielsweise zum Versetzen einer Halbfertigteildecke (vgl. Näther 2017:69f.). Diese Kosteneinsparungen wurden in der vorliegenden Aufstellung nicht berücksichtigt.

Die Möglichkeiten zur Kosteneinsparung ergeben sich hauptsächlich aus einer deutlichen Verkürzung der Bauzeit und geringeren Zahl an benötigten Arbeitskräften.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass digitale Betonbau die Beschleunigung des gesamten Bauprozesses ermöglicht, die Produktivität steigert, Fehler in der Ausführung reduziert, gestalterische Freiheit bietet und flexible Bauprozesse ermöglicht (vgl. Lim 2012:262f.)

### Herstellkosten Beton-3D-Druck-Wand

Annahmen:

Dicke:	0,2 m
Volumen:	0,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Druckfortschritt:	13 m <sup>2</sup> /Std. (Otto 2020:591)
Arbeitskräfte:	2 Personen
Betongüte:	genaue Zusammensetzung unbekannt
Herstellungsverfahren:	3D-Druck-Verfahren
Baukosten Quelle:	BKI Baupreise kompakt 2023 Neubau - netto
Kalkulationsvorlage:	Otto 2020

3D-Druck-Betonwand		1 m <sup>2</sup>
Beschreibung	3D-Druck-Betonwand, modifizierte Autobetonpumpe mit Durckkopf, unbewehrt	
		(€)
	<b>Materialkosten</b>	45,50
	<b>Lohnkosten</b>	11,28
	<b>Gerätekosten</b>	16,80
	<b>Σ Gesamtkosten</b>	<b>56,78</b>

Materialkosten		pro m <sup>2</sup>		Kosten/T-Einheit (€)	T-Kosten/Einheit (€)
Position	Leistungsbereich nach BKI	Teilleistung (T)			
		Menge	Einheit		
1	Basis: 013,24	0,2	m <sup>3</sup>	227,5	45,50
				<b>Σ Materialkosten 45,50</b>	

Lohnkosten		pro m <sup>2</sup>		Kosten/T-Einheit (€)	T-Kosten/Einheit (€)
Position	Leistungsbereich nach BKI	Teilleistung (T)			
		Menge	Einheit		
1	013.125	0,08	Std.	141	11,28
				<b>Σ Lohnkosten 11,28</b>	

Gerätekosten		pro m <sup>2</sup>		Kosten/T-Einheit (€)	T-Kosten/Einheit (€)
Position	Leistungsbereich nach BKI	Teilleistung (T)			
		Menge	Einheit		
1		0,08	Std.	210	16,80
				<b>Σ Gerätekosten 16,80</b>	

Tab. 02: Herstellkosten Beton-3D-Druck-Wand



### 3.3.5 REFERENZPROJEKTE

Die Anzahl der realisierten 3D-Druck-Gebäude in Europa steigt. Auf den folgenden Seiten werden drei dieser Bauten mit unterschiedlicher Nutzung analysiert und einander gegenübergestellt. All diese Projekte haben die Gemeinsamkeit, nicht nur als Pilotprojekt zu fungieren, sondern auch tatsächlich in die Nutzungsphase überzugehen. Um eine Wissensgrundlage für die Entwurfsplanung zu schaffen, wurden Projekte aus Deutschland und Österreich gewählt (Abb. 16), deren bautechnische Lösungen auch auf diese übertragen werden können. Die gewählten Projekte wurden alle mittels der Contour Crafting-Methode gedruckt, bei der Schicht um Schicht aufgetragen wird. Der Wandaufbau ist an den Mauerwerksbau angelehnt und kommt auch beim 3D-Druckverfahren ohne Bewehrung aus (vgl. Goldmann 2021). Die gegebenen Herausforderungen liegen im Wesentlichen bei zwei Elementen: dem Drucker und dem Druckmedium. Bei den gewählten Referenzprojekten wird der Portaldrucker von COBOD eingesetzt, dadurch ergeben sich dieselben Randbedingungen. Das verwendete Druckmaterial unterscheidet sich zwar in seiner genauen Zusammensetzung, Ausgangsbasis dafür ist jedoch immer Trockenmörtel. Die Herausforderung in der Baustoffentwicklung liegt darin, ein pumpfähiges und extrudierbares Material zu entwickeln, das rasch eine ausreichende Tragfähigkeit ausbildet und zudem eine feste Verbindung zwischen den einzelnen Schichten entstehen lässt (vgl. Scheydt 2021). Zusätzlich ist durch den Entfall der herkömmlichen Schalung eine hohe Formstabilität nötig (vgl. ebd.). Die gebauten Objekte werden gegenübergestellt und im Materialverbrauch verglichen. Ziel ist es, herauszufinden, inwieweit die Fertigung mit 3D-Druckverfahren ressourceneffizient ist – auch angesichts der Tatsache, dass die Druckstruktur bei den realisierten Projekten als „verlorene“ Schalung dient und keine eigenständige Konstruktion ist.

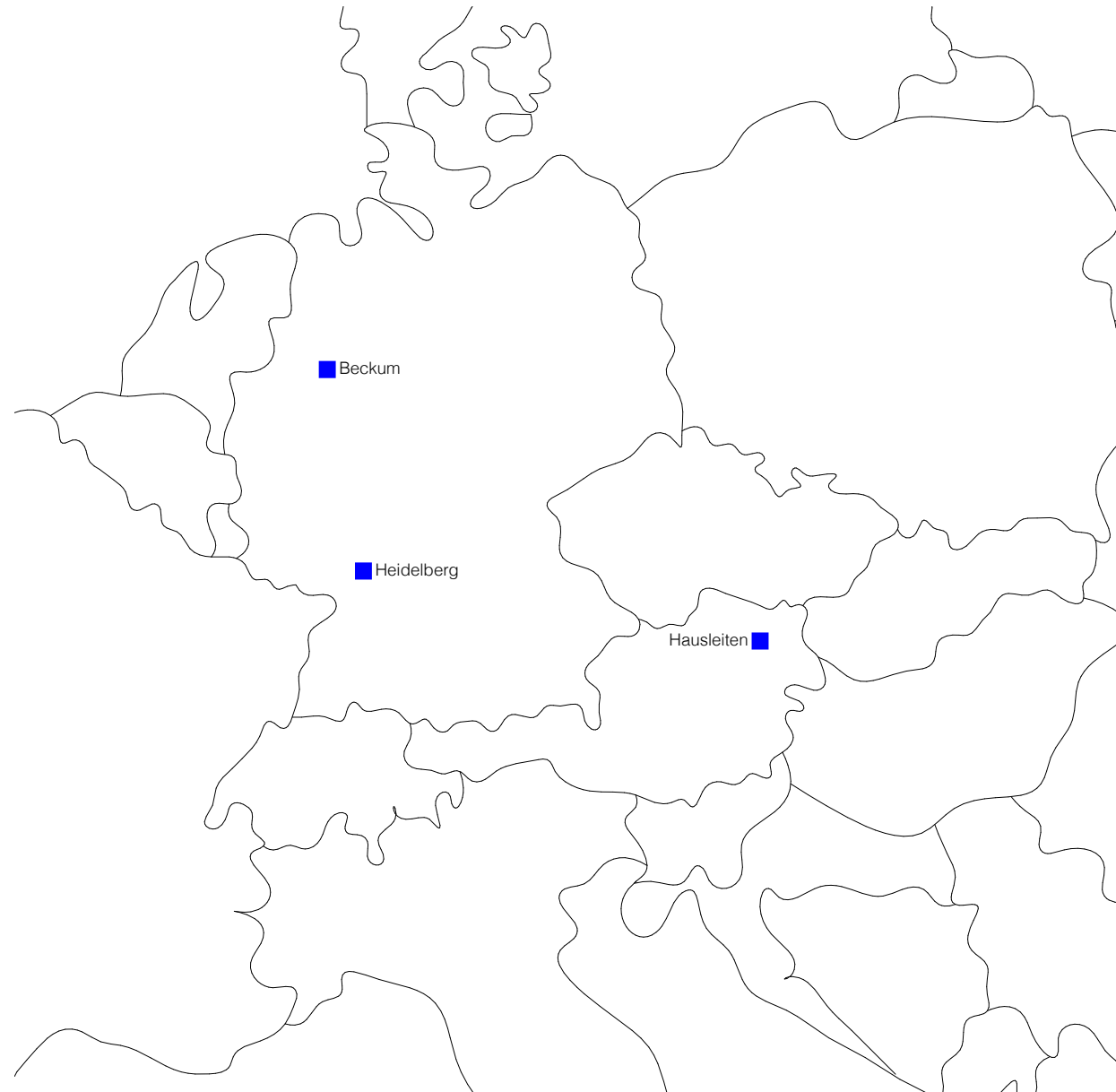
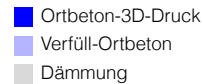
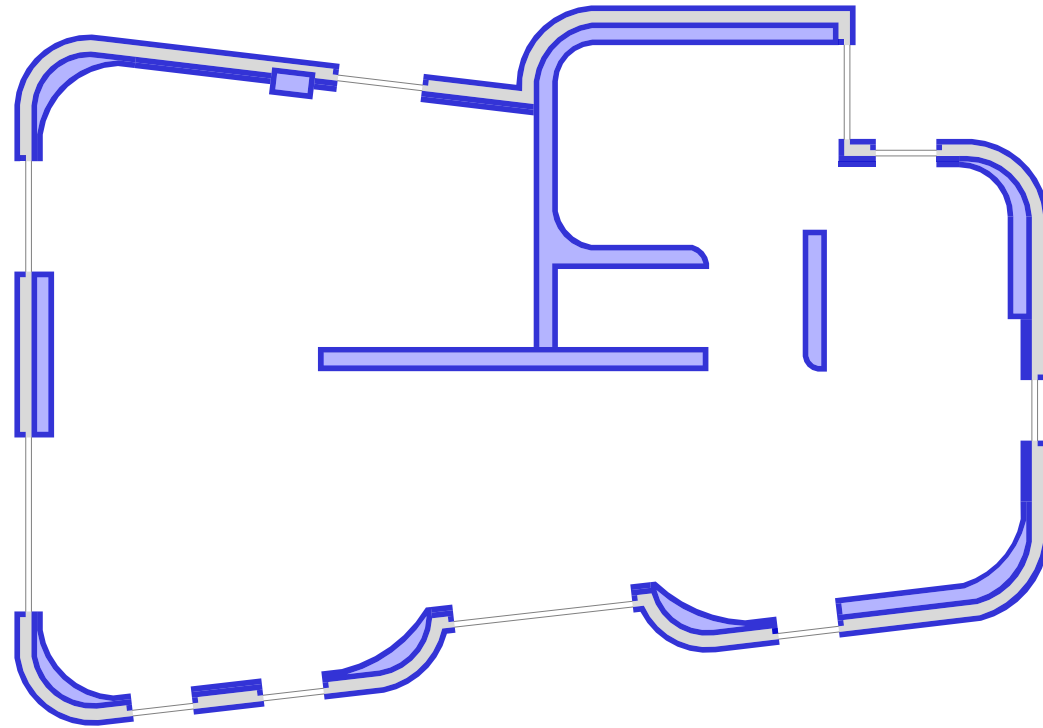


Abb. 16: Verortung Referenzprojekte

## EINFAMILIENHAUS

Standort	Beckum, DE
Baujahr	2021
Architektur	Mense-Korte
Gebäudetyp	Wohnbau
Geschoss(e)	2
Gebäudehöhe	~6 m
Nutzfläche	ca. 160 m <sup>2</sup>
Fertigungsort	Baustelle
Drucktechnologie	BOD2
max. Druckgeschwindigkeit	1 m/s
Druckstunden	100 h
Druckabschnitt vertikal	-
Druckmaterial	Trockenmörtel
Druckmaterial Hersteller	Heidelberg Cement*
Druckbahnstärke	2 cm
Druckbahnbreite	6 cm
Verfüllbeton	18 cm
Wandstärke exkl. Dämmung	30 cm
Wandstärke gesamt	52 cm*
Materialverbrauch o. Dämmeben	
Druckmaterial/m <sup>2</sup>	0,12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Verfüllbeton/m <sup>2</sup>	0,18 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Materialverbrauch gesamt/m <sup>2</sup>	0,30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

\* Schätzung \*\*Namensänderung zu Heidelberg Materials



Tab. 03: Eckdaten Einfamilienhaus

Abb. 17: symbolischer Grundriss Einfamilienhaus | M 1.100



Mit einer Planungs- und Bauzeit von knapp zwei Jahren wurde in Beckum das erste genehmigte 3D-Druck-Einfamilienhaus Deutschlands realisiert. Der Betonhersteller HeidelbergCement entwickelte das Druckmedium, einen Mörtel der die nötigen Druckeigenschaften erfüllt. Mit dem Portaldrucker BOD2 wurden alle Wandtypen, in beiden Geschossen gedruckt (vgl. Allplan 2023a). Die zweischalige Außenwandkonstruktion (Abb. 18) setzt sich aus einer gedruckten, nicht tragenden Außenschale und zwei weiteren Schalen zusammen. Die einzelnen Druckbahnen werden mit Luftschichtankern, wie im Mauerwerksbau üblich verbunden. Nach Aushärtung eines Druckabschnittes wird der innenliegende Hohlraum vor Ort mit Beton verfüllt. Die Einbringung des Dämmmaterials erfolgt in den äußeren Zwischenraum. Zudem werden alle Innenwände (Abb. 19) gedruckt, auch hier bilden zwei Druckschichten einen Hohlraum. Dieser Zwischenraum von 18 cm wird vor Ort mit Beton verfüllt. Folglich sind alle Wandaufbauten unbewehrt (vgl. Goldmann 2021). Die Aushärtungszeit der Layer beträgt 15 Minuten. Um die nötige Verbindung zwischen den einzelnen Schichten zu gewährleisten, wurde das Gebäude in drei Druckabschnitte unterteilt, wodurch die Schichtfrequenz auf sechs bis acht Minuten reduziert werden konnte (vgl. Allplan 2023a). Die Planung mittels BIM-Modellierung beinhaltete alle benötigten Durchbrüche (vgl. ebd.), später erforderliche Leerverrohrungen wurden während dem Druckprozess händisch eingelegt (vgl. PERI o.D.1). Die Decke wurde aus teilvorgefertigten Filigranplatten mit einer bewehrten Ortbetonlage gefertigt worden, technische Installationen waren bereits integriert (vgl. Goldmann 2021). In 100 Stunden reiner Druckzeit konnten alle Druckerarbeiten des Einfamilienhauses abgeschlossen werden. Die Zeitangabe beinhaltet auch zusätzlich gedruckte Raumelemente wie den Kamin oder die Wannenschürze (vgl. Baunetz 2022).

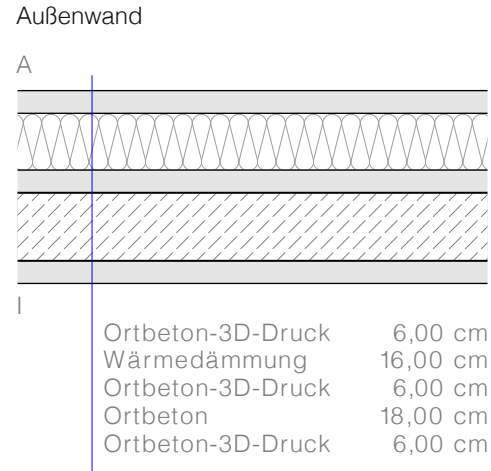


Abb. 18: EFH Wandaufbau Außenwand | M 1.20

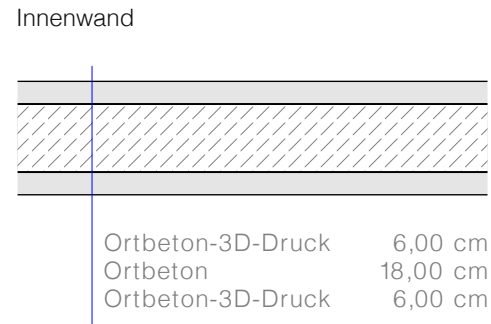


Abb. 19: EFH Wandaufbau Innenwand | M 1.20

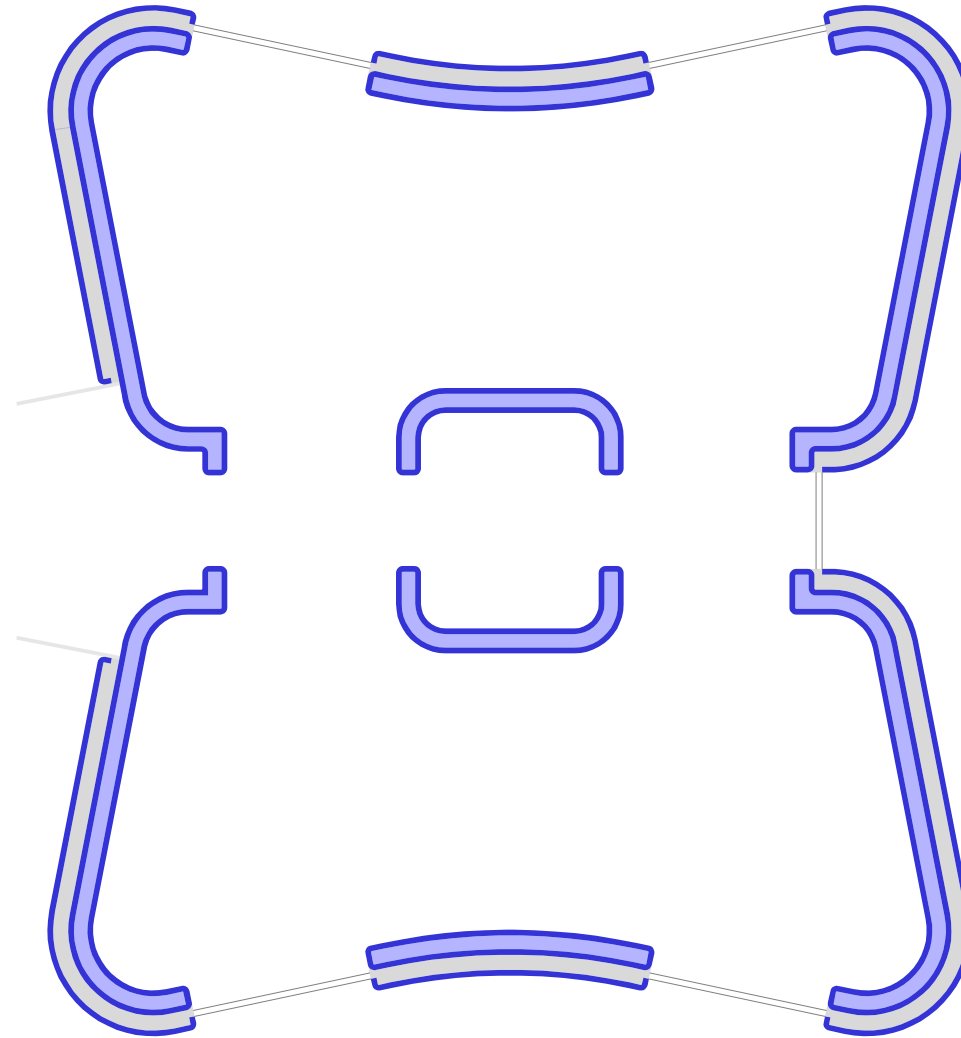
## BÜROBAU

Standort Hausleiten, AUT  
 Baujahr 2022  
 Architektur Strabag

Gebäudetyp Bürobau  
 Geschoss(e) 1  
 Gebäudehöhe 4,3 m  
 Nutzfläche ca. 125 m<sup>2</sup>

Fertigungsort Baustelle  
 Drucktechnologie BOD2  
 max. Druckgeschwindigkeit 1 m/s  
 Druckstunden 45 h  
 Druckabschnitt vertikal ca. 60 - 80 cm  
 Druckmaterial Trockenmörtel  
 Druckmaterial Hersteller Larfage Österreich  
 Druckbahnstärke -  
 Druckbahnbreite 7,5 cm  
 Verfüllbeton 18 cm  
 Wandstärke exkl. Dämmung 33 cm  
 Wandstärke gesamt 60,5 cm

Materialverbrauch o. Dämmeben  
 Druckmaterial/m<sup>2</sup> 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Verfüllbeton/m<sup>2</sup> 0,18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Material gesamt/m<sup>2</sup> 0,33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>



■ Ort beton-3D-Druck  
 ■ Verfüll-Ort beton  
 ■ Dämmung

Tab. 04: Eckdaten Bürogebäude

Abb. 20: symbolischer Grundriss Bürogebäude | M 1.100

Im niederösterreichischen Hausleiten entstand im Jahr 2021 das erste 3D-gedruckte Gebäude Österreichs (vgl. Strabag 2021). Der Bürozubau mit ca. 125 m<sup>2</sup> (vgl. ebd.) gleicht in seiner Grundrissform einem Kleeblatt (Abb. 20). In 45 Stunden reiner Druckzeit wurden alle vertikalen Elemente realisiert. Die Lagerung des Druckmaterials erfolgte direkt in Silos am Ausbringungsort. Der bereits im Werk hergestellte Trockenmörtel wurde nach Zugabe von Wasser direkt während des Druckvorgangs in den Druckkopf gepumpt (vgl. Strabag 2021). Das verwendete Druckmaterial wird fälschlicherweise oft als Beton bezeichnet, durch die Zusammensetzung wird es jedoch als Mörtel klassifiziert (vgl. Anhang 1). Die Druckbahnen haben eine Breite von 7,5 cm. Die zwei Bahnen der tragenden Innenwände (Abb. 22) wurden mit einem Abstand von 18 cm gedruckt (vgl. Strabag 2022). Der entstandene Hohlraum wurde mit Ortsbeton verfüllt. Die zweischalige Außenwand (Abb. 21) verfügt zusätzlich über einen zweiten. Zwischenraum (vgl. Strabag 2021), hier wurde nach Versetzen der Decke die Dämmung eingeblasen (vgl. Anhang 1). Während des Druckvorgangs wurden nebeneinander liegende Druckbahnen mit Luftschichtankern verbunden. Auch Leerrohre und Anschlüsse wurden manuell eingebracht (vgl. Strabag 2021).

#### Außenwand

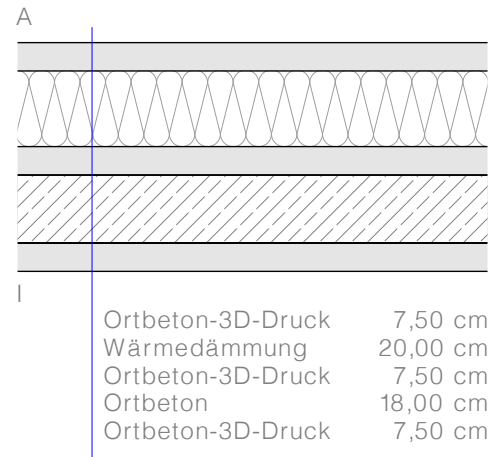


Abb. 21: Bürogebäude Wandaufbau Außenwand | M 1.20

#### Innenwand

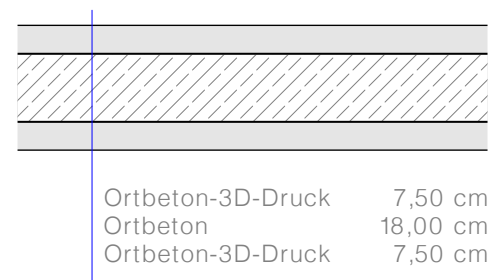


Abb. 22: Bürogebäude Wandaufbau Innenwand | M 1.20

## SERVERHOTEL

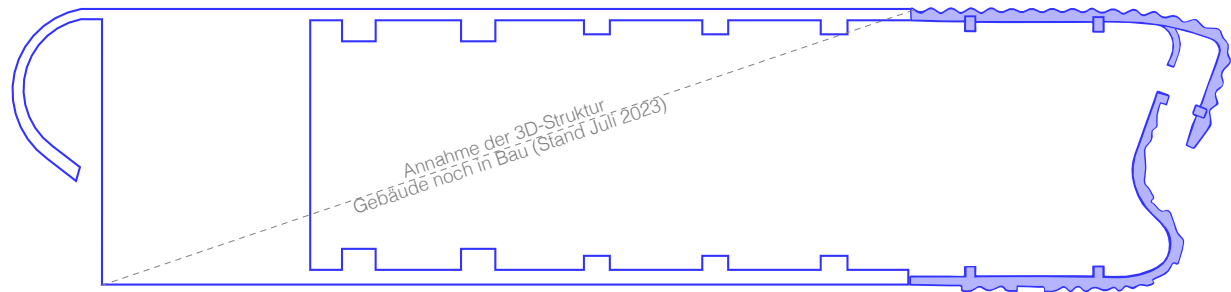
Standort Heidelberg, DE  
 Baujahr 2023  
 Architektur Mense-Korte,  
 SSV Architekten

Gebäudetyp Industriebau  
 Geschoss(e) 1  
 Gebäudehöhe 9 m  
 Nutzfläche ca. 590 m<sup>2</sup>

Fertigungsort Baustelle  
 Drucktechnologie BOD2  
 max. Druckgeschwindigkeit -  
 Druckstunden 170 h  
 Druckabschnitt vertikal ca. 40 - 80 cm\*  
 Druckmaterial recycelbarer Mörtel  
 Druckmaterial Hersteller Heidelberg Materials  
 Druckbahnstärke 2 cm  
 Druckbahnbreite 6 - 7,5 cm\*  
 Verfüllbeton 25 - 45 cm\*  
 Wandstärke exkl. Dämmung ungedämmt  
 Wandstärke gesamt -

Materialverbrauch o. Dämmeben  
 Druckmaterial/m<sup>2</sup> - m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Verfüllbeton/m<sup>2</sup> - m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Material gesamt/m<sup>2</sup> - m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

\* Schätzung



■ Ort beton-3D-Druck  
 ■ Verfüll-Ort beton

Tab. 05: Eckdaten Serverhotel

Abb. 23: symbolischer Grundriss Serverhotel | M 1.250

In Heidelberg, Deutschland (Tab. 05) entsteht aktuell ein Serverhotel mit knapp 580 m<sup>2</sup> (vgl. KrausGruppe 2023). Das Projekt unterscheidet sich von den vorherigen Projekten in seiner Größe und auch der Nutzungsart, die keine Dämmebene (Abb. 24) erfordert. Mit der Drucktechnologie von COBOD werden mit dem BOD2 Portaldrucker die einzelnen Schichten gedruckt. Es werden lediglich zwei Personen zur Bedienung während des Druckprozesses benötigt (vgl. Meyer-Brötz 2023b). Der hochmoderne 3D-Druckbeton von Heidelberg Materials soll zu 100 % recycelbar sein (vgl. Dietrich 2023a). Beim verwendeten Material kann laut Dietrich (2023b) die Körnung für z.B. Mörtel oder Beton und der feine Zementstein als Rohstoff für die Zementproduktion wiederverwendet werden. Das eingesetzte Bindemittel produziert somit ca. 55 % weniger CO<sub>2</sub> als herkömmlicher reiner Portlandzement. Der Hightech-Baustoff hat eine gute Pumpfähigkeit, ist zudem gut extrudierbar und formtreu (vgl. Dietrich 2023a). Die Wellenstruktur der Fassade (Abb. 24) konnte mit einem Überhang von bis zu 18° hergestellt werden (vgl. Kraus 2023).

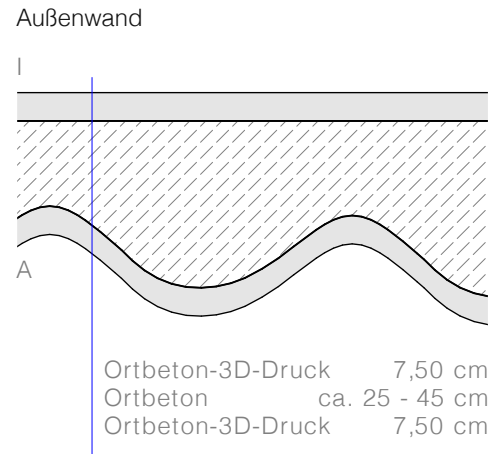


Abb. 24: Serverhotel Wandaufbau Außenwand | M 1.20

## VERGLEICH REFERENZPROJEKTE

Einfamilienhaus		Bürogebäude		Serverhotel	
Gebäudetyp	Wohnbau	Gebäudetyp	Bürobau	Gebäudetyp	Industriebau
Geschoss(e)	2	Geschoss(e)	1	Geschoss(e)	1
Gebäudehöhe	~6 m	Gebäudehöhe	4,3 m	Gebäudehöhe	9 m
Nutzfläche	ca. 160 m <sup>2</sup>	Nutzfläche	ca. 125 m <sup>2</sup>	Nutzfläche	ca. 590 m <sup>2</sup>
Fertigungsort	Baustelle	Fertigungsort	Baustelle	Fertigungsort	Baustelle
Drucktechnologie	BOD2	Drucktechnologie	BOD2	Drucktechnologie	BOD2
max. Druckgeschwindigkeit	1 m/s	max. Druckgeschwindigkeit	1 m/s	max. Druckgeschwindigkeit	-
Druckstunden	100 h	Druckstunden	45 h	Druckstunden	170 h
Druckabschnitt vertikal	-	Druckabschnitt vertikal	ca. 60 - 80 cm	Druckabschnitt vertikal	ca. 40 - 80 cm*
Druckmaterial	Trockenmörtel	Druckmaterial	Trockenmörtel	Druckmaterial	recyclbarer Mörtel
Druckmaterial Hersteller	Heidelberg Cement**	Druckmaterial Hersteller	Larfage Österreich	Druckmaterial Hersteller	Heidelberg Materials
Druckbahnstärke	2 cm	Druckbahnstärke	-	Druckbahnstärke	2 cm
Druckbahnbreite	6 cm	Druckbahnbreite	7,5 cm	Druckbahnbreite	6 - 7,5 cm*
Verfüllbeton	18 cm	Verfüllbeton	18 cm	Verfüllbeton	25 - 45 cm*
Wandstärke exkl. Dämmung	30 cm	Wandstärke exkl. Dämmung	33 cm	Wandstärke exkl. Dämmung	ungedämmt
Wandstärke gesamt	52 cm*	Wandstärke gesamt	60,5 cm	Wandstärke gesamt	-
Materialverbrauch o. Dämmeben		Materialverbrauch o. Dämmeben		Materialverbrauch o. Dämmeben	
Druckmaterial/m <sup>2</sup>	0,12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Druckmaterial/m <sup>2</sup>	0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Druckmaterial/m <sup>2</sup>	- m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Verfüllbeton/m <sup>2</sup>	0,18 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Verfüllbeton/m <sup>2</sup>	0,18 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Verfüllbeton/m <sup>2</sup>	- m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Materialverbrauch gesamt/m <sup>2</sup>	0,30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Material gesamt/m <sup>2</sup>	0,33 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Material gesamt/m <sup>2</sup>	- m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

\* Schätzung \*\*Namensänderung zu Heidelberg Materials

Tab. 06: Vergleich Referenzprojekte

Alle drei Projekte wurden mit demselben Portaldrucksystem BOD2 realisiert (Tab. 06), dadurch entstehen einheitliche Rahmenbedingungen. Aufgrund der unterschiedlichen Projektgrößen erstrecken sich die benötigten Druckstunden von 45 bis 170 Stunden. Die benötigten Aushärtezeiten dabei nicht berücksichtigt. Die Projekte müssen in vertikale Druckabschnitte unterteilt werden, um die Formstabilität zu gewährleisten. Diese variieren je nach Projekt, beim Bürogebäude wurde nach knapp 60 bis 80 cm pausiert (vgl. Anhang 1) und unter Schutz einer temporären Plane konnte der Beton ausgehärtet. Beim Bürobau (BG), wie auch beim Einfamilienhaus (EFH) ist das Druckmedium Trockenmörtel, auch beim Serverhotel (SH) wird ein Mörtel verwendet. Bei diesem wird jedoch auf ein alternatives Bindemittel zurückgegriffen, das etwa 55 % weniger CO<sub>2</sub> ausstoßen soll als reiner Portlandzement (vgl. Dietrich 2023b). Bei den Projekten EFH und BG werden jeweils unterschiedliche Druckkopfbreiten eingesetzt, 6 cm und 7,5 cm. Der Hohlraum zwischen den Bahnen beträgt 18 cm und wird nach dem Aushärten mit Beton verfüllt. Durch die Breite von 7,5 cm der Druckbahn beim Bürogebäude, wird hier mehr Material benötigt.

### 3.4 ZUSAMMENFASSUNG

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich des digitalen Betonbaus nehmen in hohem Maße zu. Laufende Fortschritte bringen ein beträchtliches technologisches und wirtschaftliches Potenzial mit sich. Die Designfreiheit ermöglicht es, anspruchsvolle geometrische Formen und Strukturen zu erzeugen, die mit traditionellen Bauverfahren schwer oder nur mit hohem Aufwand umsetzbar sind. Diese Flexibilität eröffnet neue Möglichkeiten in der architektonischen Gestaltungsfreiheit. Eine präzise Umsetzung von organischen Formen wird erleichtert. Der hohe Grad an Automatisierung verspricht hohes Einsparungspotential. Die Geschwindigkeit des 3D-Druckverfahrens im Vergleich zu herkömmlichen Bauverfahren kann die Bauzeit erheblich verkürzen, speziell bei komplexen Strukturen kann dies ein maßgebender Faktor sein. Neben schnelleren Bauzeiten und kürzeren Vorhaltezeiten für die benötigte Baustelleneinrichtung werden zusätzlich lediglich zwei Arbeitskräfte für die Errichtung der 3D-Druckwände benötigt. Somit kann dem gegebenen Fachkräftemangel entgegengewirkt werden. Durch die Effizienzsteigerung ergibt sich ein hohes Kosteneinsparpotential. Die realisierten Druckbahnen fungieren bei den analysierten Projekten als sogenannte „verlorene“ Schalung. Die 3D-Druckstruktur ersetzt somit die aufwendigen Arbeitsschritte zur Herstellung einer Schalung und ermöglicht hohe Effizienz mit wenigen Fachleuten. Gleichzeitig entsteht ein erhöhter Materialbedarf. Die Fortschritte in der Materialforschung im Bereich des Beton-3D-Drucks schreiten kontinuierlich voran. An der Weiterentwicklung von neuen Materialzusammensetzungen, die die nötige Pumpbarkeit, Extrudierbarkeit und Verbaubarkeit aufweisen, wird gearbeitet. Zudem soll das Material im Sinne der Nachhaltigkeit ökologisch, sozial und wirtschaftlich verträglich sein. Das bedeutet aus heutiger Sicht vor allem die Reduktion von Zementanteilen im Beton. Die 3D-Drucktechnologie

bietet mehrere Nachhaltigkeitsvorteile. Eine gesteigerte Ressourceneffizienz und nachhaltige Materialnutzung mit geringem Abfallaufkommen können in Verbindung mit einem in Zukunft potenziell reduzierten Bedarf an Baumaterial zu einer ökologisch verträglicheren Bauweise beitragen. Denn die derzeit realisierten Bauprojekte mittels BOD2-Technologie haben durch den Druck der verlorenen Schalung einen höheren Materialverbrauch als ein herkömmlicher Stahlbetonwandaufbau. Ein Beton-3D-Drucker ist derzeit noch mit signifikanten Anschaffungskosten verbunden. Angepasste Bauvorschriften müssen ausgearbeitet und geeignete Zertifizierungsverfahren entwickelt werden, um die 3D-Drucktechnologie marktfähig zu machen. Zusätzlich müssen genehmigungsfähige Lösungen für die Implementierung von Bewehrungsstrukturen entwickelt werden. Durch den 3D-Druck wird auf eine Antwort auf die anhaltende Produktivitätsstagnation in der Baubranche, das bestehende Wohnraumdefizit und den Fachkräftemangel gehofft.

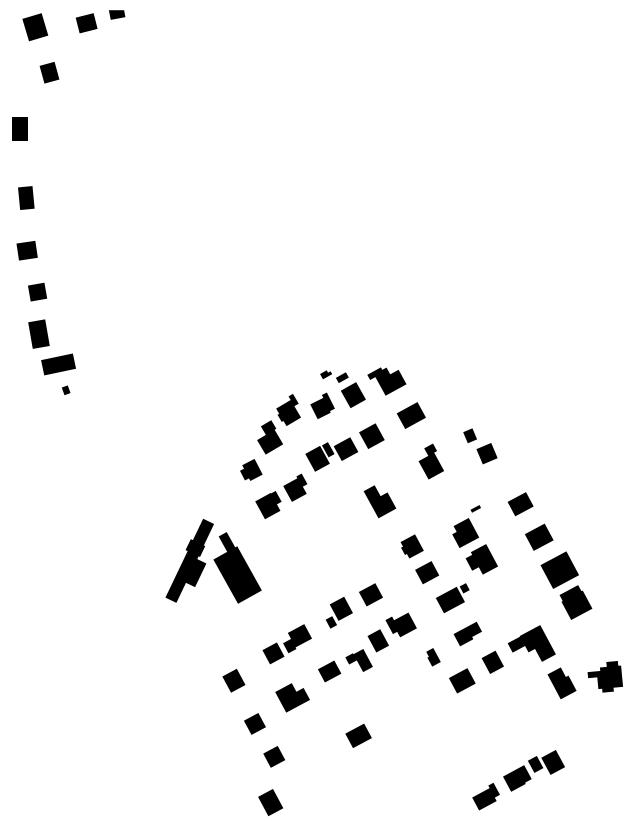
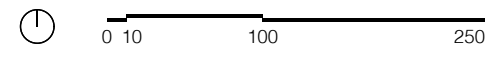


Abb. 25: Schwarzplan | M 1.5 000





## 4 ENTWURF

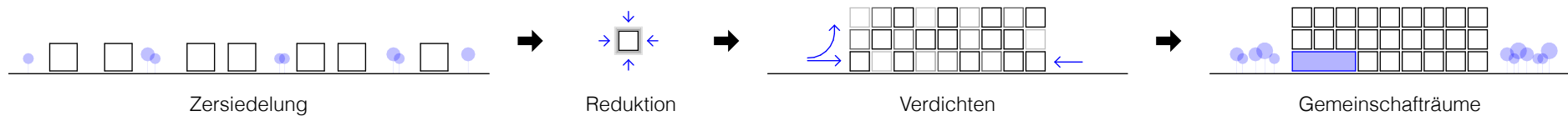


Abb. 26: Entwurfskonzept

## 4.1 ENTWURFSKONZEPT

Ziel dieser Arbeit ist es, die gewonnen Erkenntnisse der vorherigen Kapitel in den nachfolgenden Entwurf einfließen zu lassen. Oberste Priorität haben hierbei soziale, ökologische und ökonomische Nachhaltigkeitsaspekte. Mit der Planung eines Mehrfamilienhauses soll zusätzlich dem hohen Flächenverbrauch im ruralen Raum entgegengewirkt werden. Denn weiterhin ist in ländlich geprägten Bundesländern der Wunsch nach dem freistehenden Einfamilienhaus groß (vgl. Statistik Austria 2021).

Mit diesem Entwurf soll eine attraktive Alternative zum stereotypen Wunsch nach einem Einfamilienhaus geschaffen werden. Der Anspruch an die Planung ist es die klassischen Anforderungen an ein konventionelles Einfamilienhaus zu erfüllen und Qualitäten darüber hinaus zu entwickeln. Mit dem Konzept des gemeinschaftlichen Wohnens soll ein Wohnmodell realisiert werden, dessen Grundlage auf der Verschiebung von Öffentlichkeitsgraden basiert. Der persönliche, kompakte Wohnraum wird durch die flexible Nutzungsmöglichkeit von Gemeinschaftsräumen ergänzt. Der Wohnbau setzt sich aus vier verschiedenen Wohnungsgrößen zusammen, mit dem Ziel der sozialen Durchmischung. Der architektonische Entwurf wird durch die gewählte Konstruktionsmethode der additiven Fertigung geprägt. Untere den derzeitigen technischen Bedingungen ist der Einsatz der COBOD-Drucktechnologie aufgrund des Platzbedarfes des Portaldruckers nur im suburbanen Raum möglich. Darüber hinaus lässt sich durch diese Systemgrenze das Potenzial zur nahezu endlosen Erweiterung des Druckers in Längsrichtung nutzen.

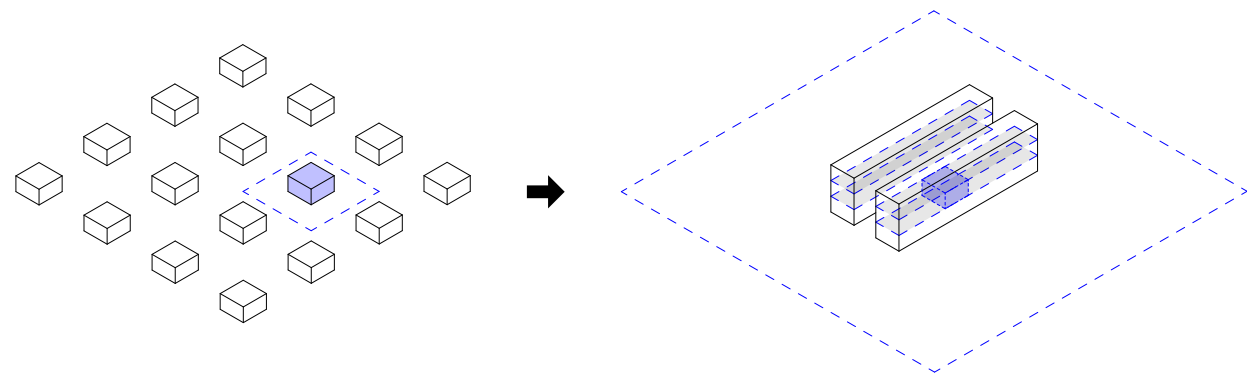


Abb. 27: Konzept Verdichtung

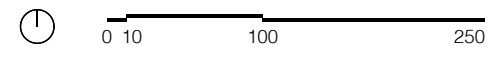
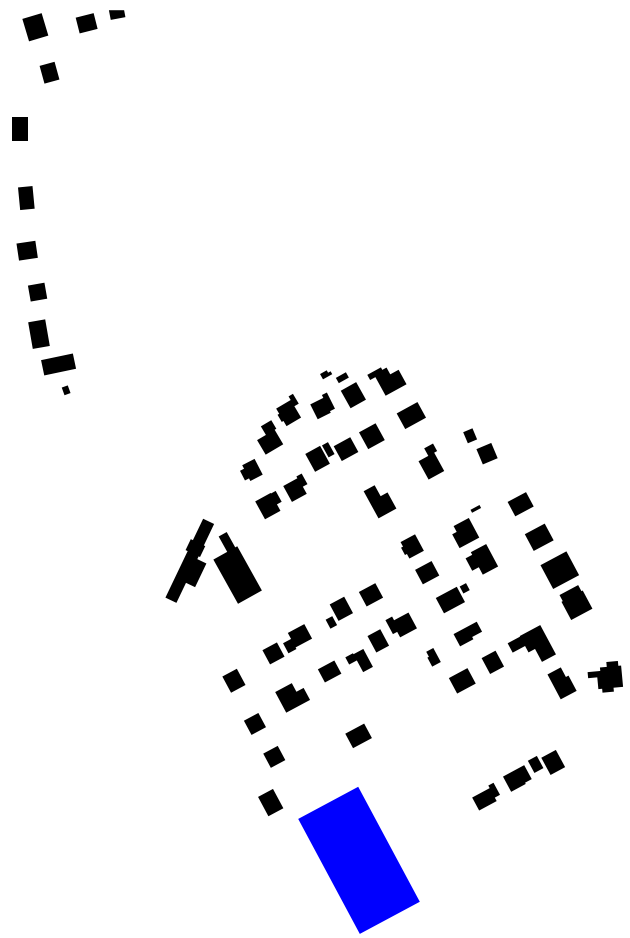


Abb. 28: Schwarzplan neu | M 1.5 000

## 4.2 STÄDTEBAU

Das für den Wohnbau gewählte Grundstück befindet sich am Rand der Stadtgemeinde Gmünd in Kärnten, im Maltatal. Die betreffenden Parzellen sind Teil des „Baulandmodelles Grünleiten“. Seit Beginn der 2000er wird hier leistbarer Baugrund durch das Land Kärnten zu Verfügung gestellt und gefördert. Ziel der Initiative ist es der Abwanderung entgegenzuwirken (vgl. Land Kärnten 2018). Die bauliche Struktur der Siedlung ist von kleinstrukturierten Häusern geprägt. Inzwischen befinden sich dort knapp 50 Einfamilienhäuser. Es besteht kein übergeordneter räumlich-gestalterischer Zusammenhang, dadurch entstand ein eher zusammenhangloses Gebäudekonglomerat. Die Positionierung am Grundstück wird maßgebend durch die in der Bauordnung vorgeschriebenen sechs Zehntel-Abstandsregelung zu Nachbar:innen geprägt. Das Konzept und die Situierung für den Entwurf leiten sich unmittelbar aus den Gegebenheiten der umliegenden Neubauten (Abb. 28) und den gegebenen Parametern und durch die gewählte additiven Bauweise ab. Maßgebend für die Entwicklung des Entwurfes ist es, einen Gebäudekomplex mit eigener Identität zu schaffen, der sich von der Nachbarschaftsbebauung abhebt. Oberste Priorität hat hierbei die Schaffung von qualitativ hochwertigem Wohnraum unter Berücksichtigung einer ressourceneffizienten Planung und der größtmögliche Erhalt von Grünflächen. Der Gebäudekomplex setzt sich aus zwei fast identen Baukörpern zusammen. Die beiden Bauteile werden so auf dem Grundstück arrangiert, dass ein in sich schlüssiger Wohnkomplex mit offener Erschließung entsteht. Die beiden Bauten werden durch ein großzügiges Erschließungskonzept miteinander verbunden. Diese Übergangszone wird als „grüne Ader“ ausgebildet. Sie dient gleichzeitig als Ort der Begegnung.

Der neu errichtete Gebäudekomplex ist geprägt durch seine klare, großvolumige Struktur. Der Neubau hebt sich mit seiner Höhe von knapp 10 Metern vom homogenen Umfeld mit durchgehend ein- bis zweigeschossigen Häusern ab. Die Positionierung orientiert sich an den bestehenden Strukturen.

Ziel des Konzeptes ist es, sich von der Bestandsbebauung abzuheben. Es soll ein Gegenpol zur bestehenden Einfamilienhausstruktur geschaffen werden, der die Weiterführung und den Nutzen dieser Bebauung in Frage stellt. Die effiziente Ausbildung der kompakten Neubaustruktur soll attraktiven, generationenübergreifenden Wohnraum im Grünen schaffen.

### 4.3 ADDITIVE FERTIGUNGSMETHODE

Neben der Schaffung von effizientem Wohnraum wird auch bei der Wahl der Konstruktionsverfahren der Faktor Effizienz berücksichtigt. Hierbei wird auf die digitale Fertigungsmethode mit 3D-Druck (Abb. 29) gesetzt. Mit einer eingehenden Analyse dieser Verfahrenstechnik (Kapitel 3) und der daraus resultierenden Schlussfolgerungen aus Vor- und Nachteilen sowie möglichen Chancen, wird in der folgenden Arbeit versucht, diese Erkenntnisse bestmöglich auf die Entwurfsaufgabe eines Wohngebäudes zu übertragen.

Im ersten Schritt wurde versucht die Designfreiheit in voller Gänze auszuschöpfen. Während anfänglicher Entwurfsstudien wurde deutlich, dass die Integration organischer Gestaltungsprinzipien in Verbindung der Wohnnutzung nicht der richtige Ansatz ist. Eine ressourceneffiziente Wohnungsanordnung scheint nur unter Einhaltung eines strikten Rasters möglich. Dabei sind die maximalen Druckbereiche maßgebend. Unter der Verwendung des Drucksystems COBOD ist der Entwurf in seiner Höhe und Breite begrenzt. Die individuell erweiterbare Option in Längsrichtung ermöglicht eine Anordnung der einzelnen Wohnungen auf dieser Achse. Unter den beschriebenen Festlegungen war es möglich effiziente Grundrisse zu entwickeln, die eine flexible Anordnung erlauben.

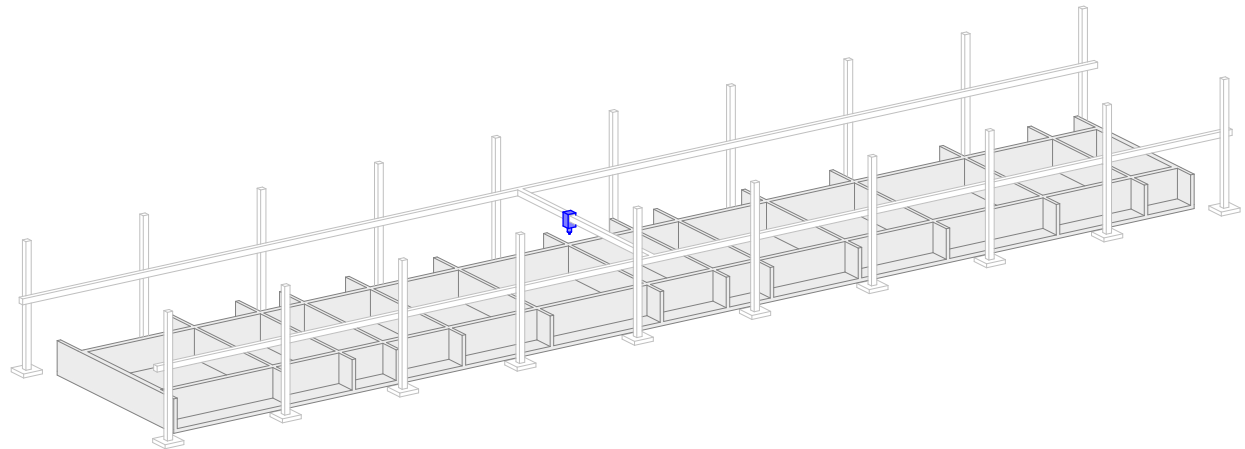


Abb.29: 3D-Druck-System

## 4.4 RASTERKONZEPT

Das entwickelte Raster (Abb. 30) liegt den Systemgrenzen des Portaldruckers BOD2 zugrunde. Der Druckbereich ist mit einer maximalen Höhe von 10 m und einer Breite von 15 m begrenzt, eine Erweiterung in Längsrichtung ist unbeschränkt möglich (vgl. PERI 2021:11). Die Längsachse wird genutzt, um den Gegenpol zur Bestandsbebauung zu stärken. Der Superblock ist entlang dieser Achse in 1,875 m breite Segmente gegliedert, bis zu einer Gesamtlänge von 86,25 m. Die Breite der beiden Baukörper sowie des Verbindungselements beträgt jeweils 15 m. Um einen klaren Gegenpol zur kleinteiligen Bestandsbebauung zu schaffen, wird die maximal mögliche Gebäudehöhe von 10 m konsequent ausgeschöpft und an zwei Stellen, den beiden Treppenaufgängen zum Dachgarten, auch überschritten. Diese Elemente werden in Betonfertigteilbauweise ergänzt.

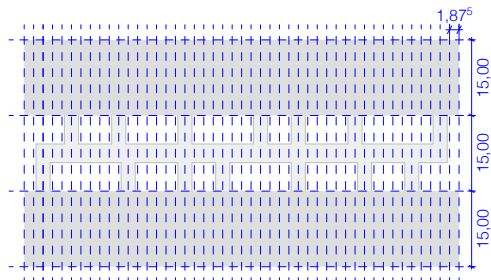


Abb. 30: Rastersystem

## 4.5 ERSCHLIESSUNGSKONZEPT

Das großzügige Erschließungssystem (Abb. 31) verbindet die beiden Baukörper miteinander. Durch die offene Gestaltung der breiten Gangbereiche entsteht eine Zone im Grünen, die Begegnungen und Kommunikation fördert. Die verschiedenen Erschließungsebenen sind mit jeweils zwei freistehenden Treppen pro Geschoss untereinander verbunden. Vom Hauptsteg gelangt man über einen schmäleren Verbindungsweg zu den Loggien, die ein jeder Wohnung vorgeschaltet sind. Pro Steg können jeweils zwei Wohnungen erschlossen werden. Durch ein Tor im Geländer gelangt man zur privaten Loggia. Hier wird die Grenze zwischen öffentlich und privat gezogen. Um die barrierefreie Erschließung zu ermöglichen, ist in beiden Baukörpern ein Erschließungskern mit Aufzug und Fluchttreppenhaus geplant.

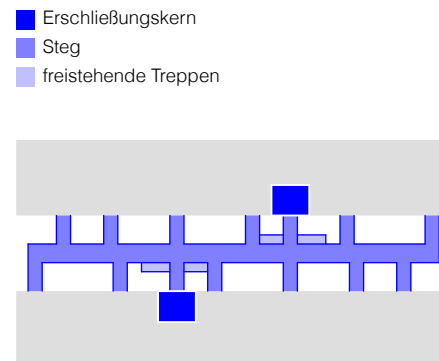
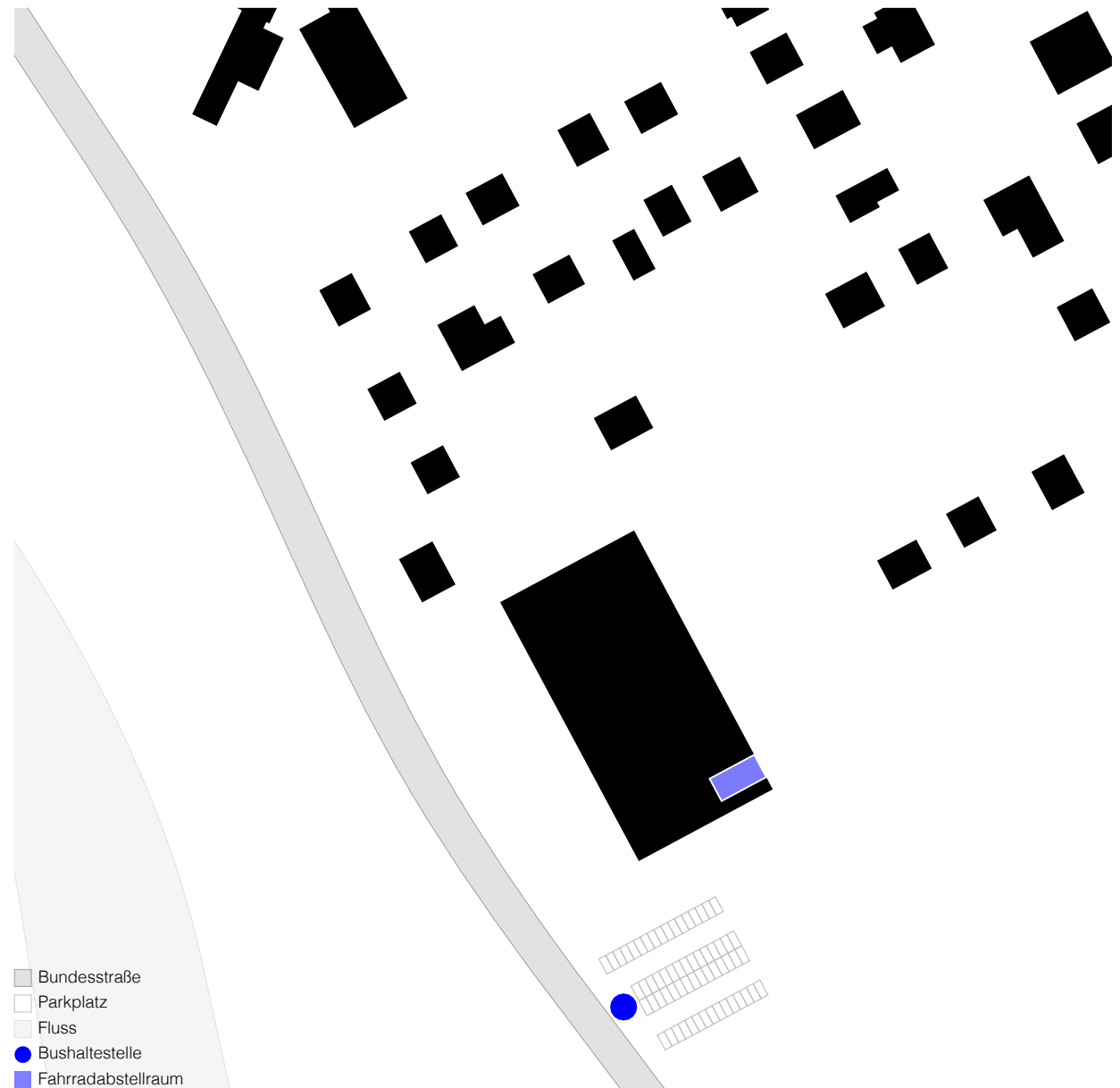


Abb. 31: Erschließungssystem

## 4.6 VERKEHRSKONZEPT

Für die Wohnanlage ist ein Parkplatz mit 62 Abstellflächen vorgesehen. Auf jede Wohneinheit kommt somit ein Abstellplatz (Abb. 32). Ein Carsharing-Konzept soll die Anzahl der Autos pro Kopf jedoch verringern. Um den motorisierten Individualverkehr zu reduzieren, wird direkt an der Bundesstraße eine Bushaltestelle geschaffen. Zusätzlich ist im Erdgeschoss die Errichtung eines Fahrradraums vorgesehen, dadurch kann der Radweg entlad des Flusses Malta talaus- und einwärts mühelos genutzt werden. Um einen sicheren Außenraum zu schaffen und gleichzeitig die Verkehrslärmimmissionen zu reduzieren, ist der Parkplatz räumlich vom Wohngebäude geplant. Zur Reduzierung der Lärmbelastung durch die bestehende Bundesstraße wurden die Baukörper auf der vorhandenen erhöhten Topografie angeordnet.





## 4.7 FREIRAUMKONZEPT

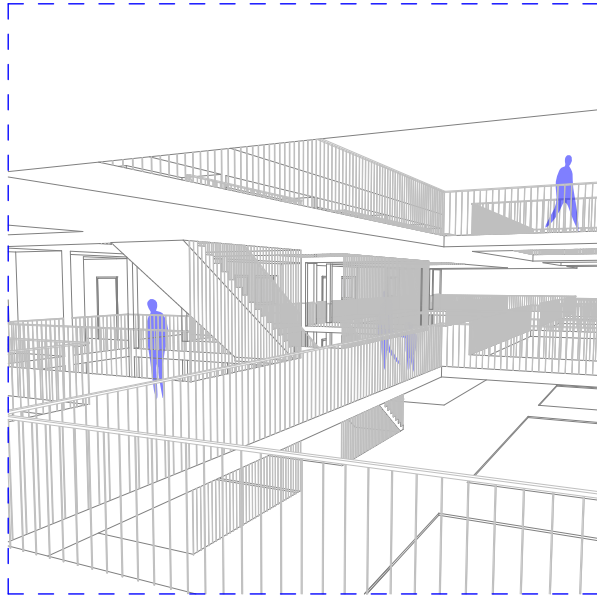
Im klassischen Einfamilienhäuser-Siedlungsgebiet ist die öffentliche Freifläche rar (Abb. 33). Inmitten des bestehenden Neubaugebietes befindet sich eine öffentlich zugängliche Parzelle mit Spielplatz für knapp 60 weitere Parzellen. Begegnungen ergeben sich meist nur auf der Straße: von Auto zu Auto, von Auto zu Fußgänger:in, von Fußgänger:in zu Fußgänger:in.

Die Gestaltung des öffentlichen Raums nimmt eine wichtige Rolle im vorliegenden Entwurf ein. Durch gezieltes Setzen von Bäumen wird, neben einer Barriere zur nahe gelegenen Bundesstraße, auch eine Parksituation um den Neubau herum geschaffen. Die Freiflächen dienen neben der Erholung auch dem langsamen Versickern und der Rückhaltung von Regenwasser.

Ziel des Entwurfes war der größtmögliche Erhalt von Grünfläche. Die Außenraumschließung des Neubaus erfolgt durch ein umliegendes Wegenetz, dadurch wird auch eine mühelose Rettung im Brandfall ermöglicht. Eine besonders wichtige Rolle nimmt hier die offen gestaltete Übergangszone ein. Neben dem funktionalen Zweck, der horizontalen und vertikalen Erschließung, wurde versucht einen qualitativ hochwertiger Raum im Freien geschaffen, der soziale Aktivitäten anregt.



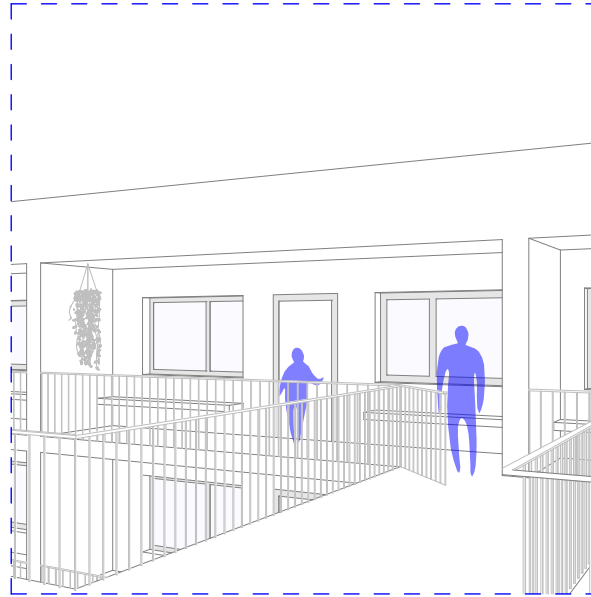
Abb. 33: Freiraumkonzept | M 1.2000



Erschließung

Abb. 34

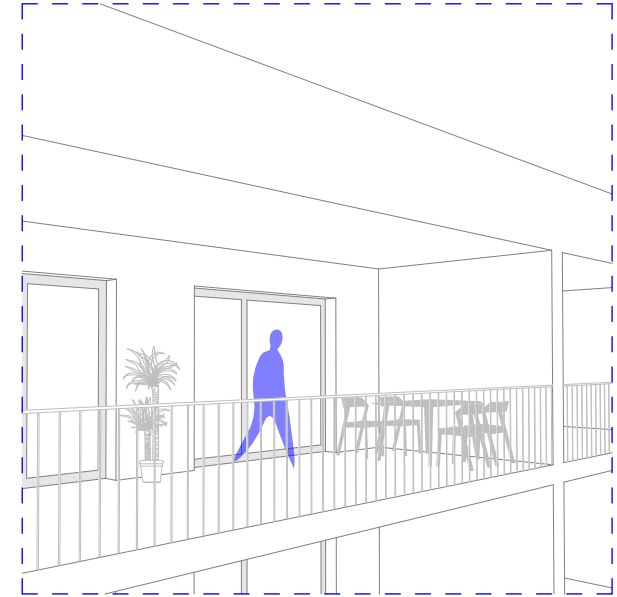
Mit einer Breite von 15 Metern gliedert sich die Erschließung in das Raster der beiden Baukörper. Die offene Struktur ermöglicht eine beidseitige Belichtung der Wohnungen. Die losgelöste Mittelgangssituation soll einen Ort der Begegnung und eine Kommunikationsmöglichkeit unter den Bewohner:innen schaffen. Vom Mittelgang führt jeweils ein Steg zu zwei Wohneinheiten. Die unterschiedlichen Gangbreiten lassen die Öffentlichkeitsgrade erkennen.



Loggia | Eingangsbereich

Abb. 35

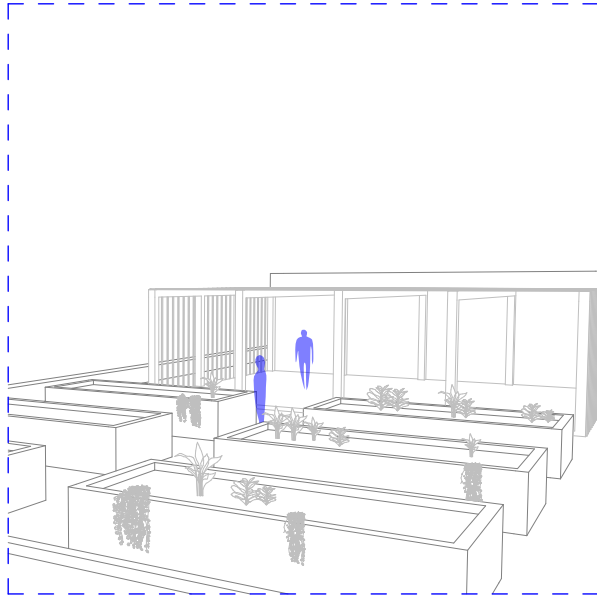
Die private Eingangssituation wird durch ein Gatter im Geländer begrenzt. Jede Loggia verfügt über mindestens eine Sitzgelegenheit in Form einer Bank. In Kombination mit einem etwas höheren Parapet wird die Sicht auf den Innenraum erschwert. Die Loggia dient als Witterungsschutz und bietet mit einer Breite von 1,7 m ausreichend Platz für eine mögliche Begrünung.



Loggia privat

Abb. 36

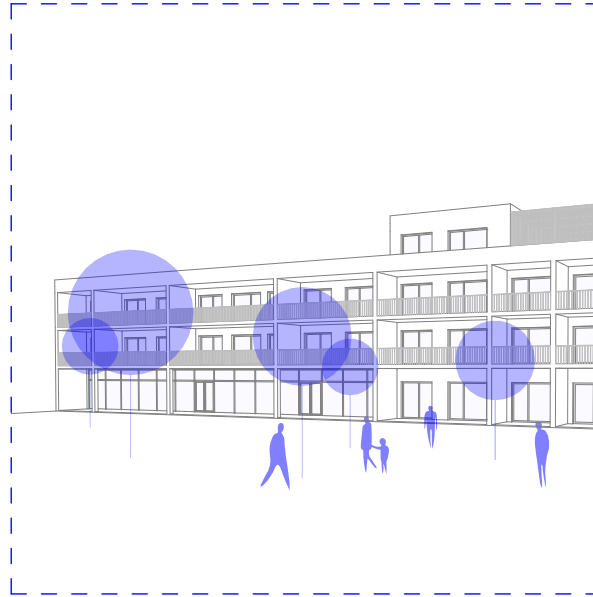
Entlang der gesamten außenliegenden Fassade erstrecken sich private Loggien, begrenzt durch die unterschiedlichen Wohnungsbreiten. Die Wohnraumerweiterung schafft einen geschützten Freibereich, der im Sommer vor Überhitzung des Innenraums schützt. Bei niedrigem Sonnenstand im Winter gelangt direkte Solareinstrahlung in die Wohnung.



Dachgarten

Abb. 37

Neben mehreren Gemeinschaftsräumen in den beiden Wohnriegeln bietet der Dachgarten einen rein privat nutzbaren Freibereich. Die Pergola dient als Schattenspender und Windschutz. Direkt nebenan gibt es, als Schlechtwetteralternative, einen Gemeinschaftsraum, der individuell genutzt werden kann. Die großzügige Dachfläche verfügt über eine Vielzahl an Hochbeeten für den privaten Gemüseanbau, sowie einen Bereich für Photovoltaikpaneele. Beide Dachflächen sind ident und werden erst durch ihre Nutzer:innen individualisiert.







Außenbereich

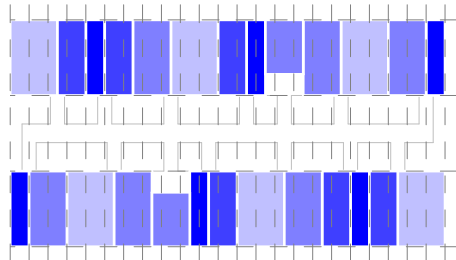
Abb. 38

Ziel der Entwurfsplanung ist der größtmögliche Erhalt der Grünfläche. Eine Vielzahl an gepflanzten Bäumen gliedern den Freiraum, spenden Schatten und mindern die Schallbelastung. Der weitläufige Grünraum wird als Rasen angelegt, um ein angenehmes Mikroklima zu schaffen. Die öffentliche Freifläche soll ein Begegnungsort für die ganze Nachbarschaft sein, ein Ort, der Mensch und Tier gleichermaßen Raum bietet. Ziel ist die Schaffung und Erhaltung eines artenreichen Ökosystems.

## 4.8 WOHNUNGSTYPEN

### GRUNDMODUL

-  Loggia halb-öffentlich, vorgeschalten
-  Wohnraum durchgesteckt
-  Nassraum
-  Loggia privat, vorgeschalten



-  TYP A
-  TYP B
-  TYP C
-  TYP D

Abb. 39: Wohnungstypen Verortung | M 1.1500

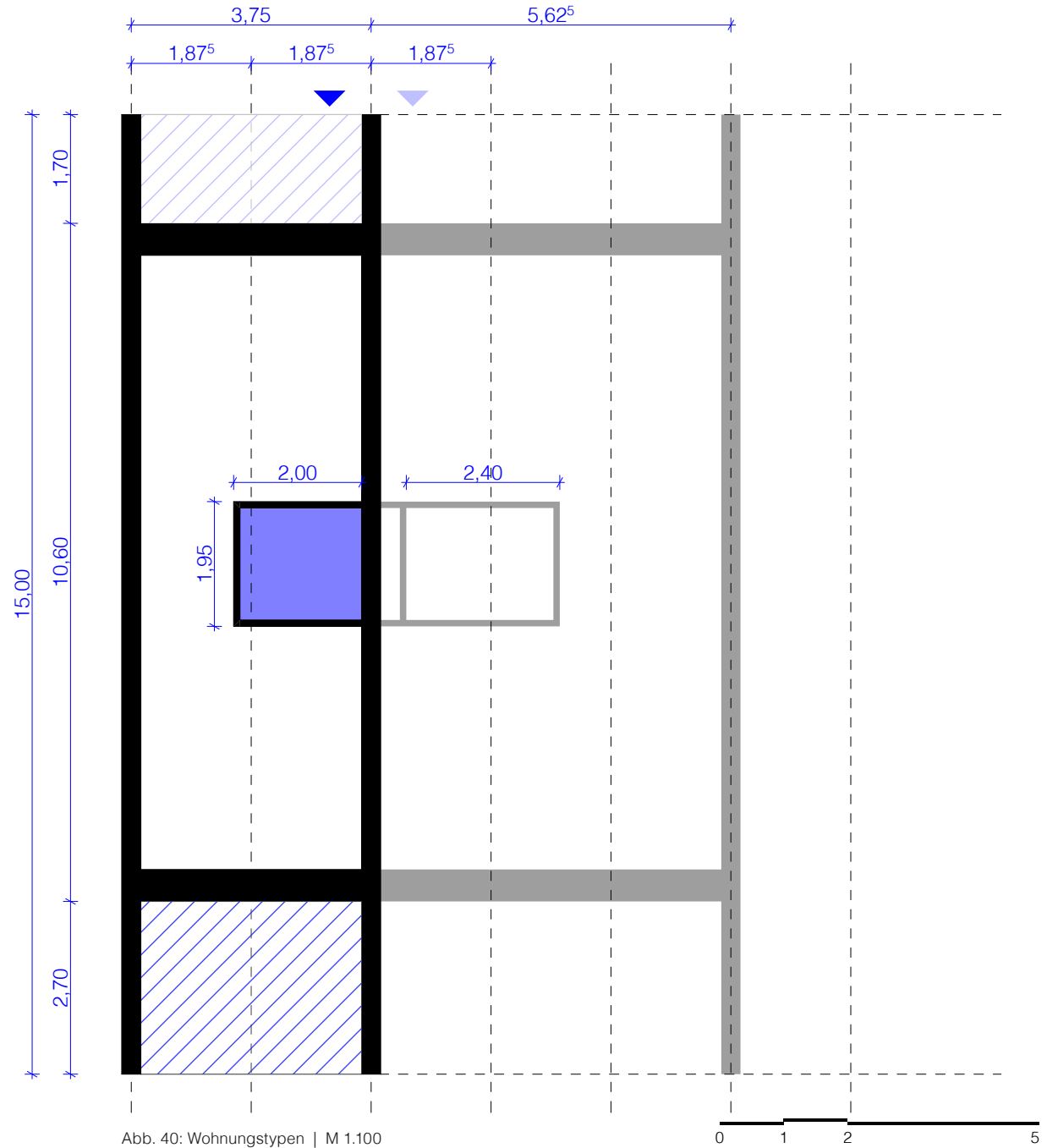


Abb. 40: Wohnungstypen | M 1.100

Der für den Entwurf vorgesehene Portaldrucker bietet die Möglichkeit einen 15 m tiefen Baukörper zu drucken. Die Systemgrenze wird voll ausgenutzt, daraus ergibt sich inklusive der Loggien eine Wohnungstiefe von 15 m. Die Wohnungsbreiten basieren auf einem Raster von 1,875 m, dieser Erweiterungsfaktor lässt gut nutzbare Wohnungsgrößen entstehen. Basierend auf den Prinzipien des Smart-Wohnbauprogramms (vgl. Wohnfond Wien 2022) wurde versucht, effiziente Wohnungsgrundrisse zu entwickeln, die leistbaren Wohnraum ermöglichen. Dabei stand die optimale und flexible Flächennutzung im Vordergrund. Die Wohnungstypen sind unterschiedlich kombinierbar (Abb. 39). Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, die Wohnsituation an wechselnde Lebensabschnitte anzupassen, ohne die gewohnte Umgebung zu verlassen. Es entsteht eine gesellschaftliche Durchmischung und somit soziale Nachhaltigkeit.

Alle Wohnungstypen sind Variationen dieses Grundmoduls (Abb. 40). Jede Nutzungseinheit wird über einen Steg und die halböffentliche Loggia erschlossen. Der witterungsgeschützte Eingangsbereich ermöglicht eine offene Garderobe ohne separaten Vorraum. Der großzügige Wohnraum variiert je nach Wohnungstyp in seiner Größe. Jede Nutzungseinheit verfügt über eine Wohnesküche und ein oder mehrere Zimmer. Der Nassraum, Bad inklusive WC, liegt immer an derselben Position (exkl. Sondertyp C\*). Je nach Wohnungsgröße variiert die Tiefe und Ausstattung des Sanitärraums. Aus Effizienzgründen teilen sich jeweils zwei Wohnungen einen vertikalen Sanitärschacht. Dabei werden die Grundrisse zum Teil nicht wie in den folgenden Darstellungen (Abb. 41-50), sondern entlang der Wohnungstrennwand gespiegelt angeordnet. Die bodentiefen Fenster zur privaten Loggia hin erweitern den Wohnraum. Zum Innenhof orientierte Fenster haben dagegen eine Parapethöhe von 90 cm, um eine höhere Privatsphäre zu gewährleisten. Die Wohnungstypen reichen von einer Einzimmerwohnung (Typ A), über eine Zweizimmer-Gästewohnung (Typ C\*) bis hin zu einer Vierzimmerwohnung (Typ D). Die großzügigen Loggien schaffen privaten Außenraum und bieten gleichzeitig Schutz vor Sonne.

### TYP A

Wohnküche	16,00 m <sup>2</sup>
Schlafbereich	13,00 m <sup>2</sup>
Bad	2,50 m <sup>2</sup>
Loggia	5,75 m <sup>2</sup>
Loggia	9,25 m <sup>2</sup>
-----	
Wohnraum	46,75 m <sup>2</sup>
davon Freifläche	15,00 m <sup>2</sup>

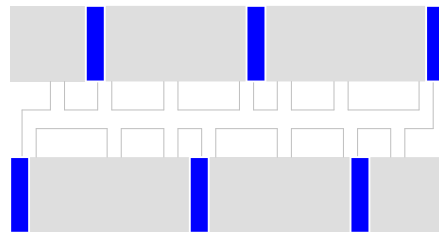


Abb. 41: Verortung Wohnungstyp A | M 1.1500

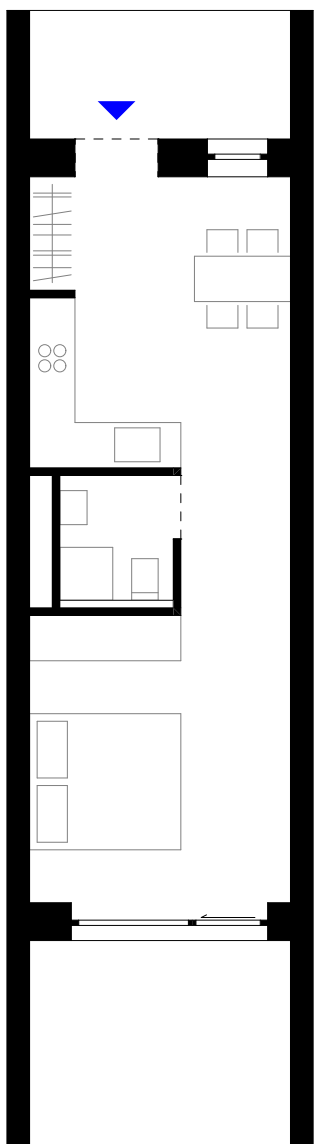
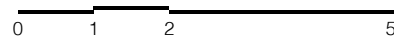


Abb. 42: Wohnungstyp A | M 1.100



### TYP B

Wohnküche	35,00 m <sup>2</sup>
Zimmer	10,25 m <sup>2</sup>
Bad	3,75 m <sup>2</sup>
Loggia	9,00 m <sup>2</sup>
Loggia	14,50 m <sup>2</sup>
-----	
Wohnnutzfläche	72,50 m <sup>2</sup>
davon Freifläche	23,50 m <sup>2</sup>

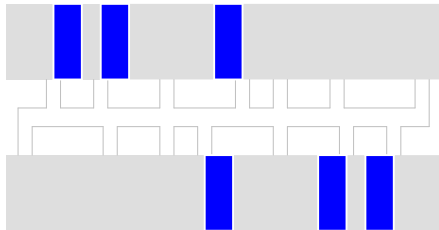


Abb. 43: Verortung Wohnungstyp B | M 1.1500

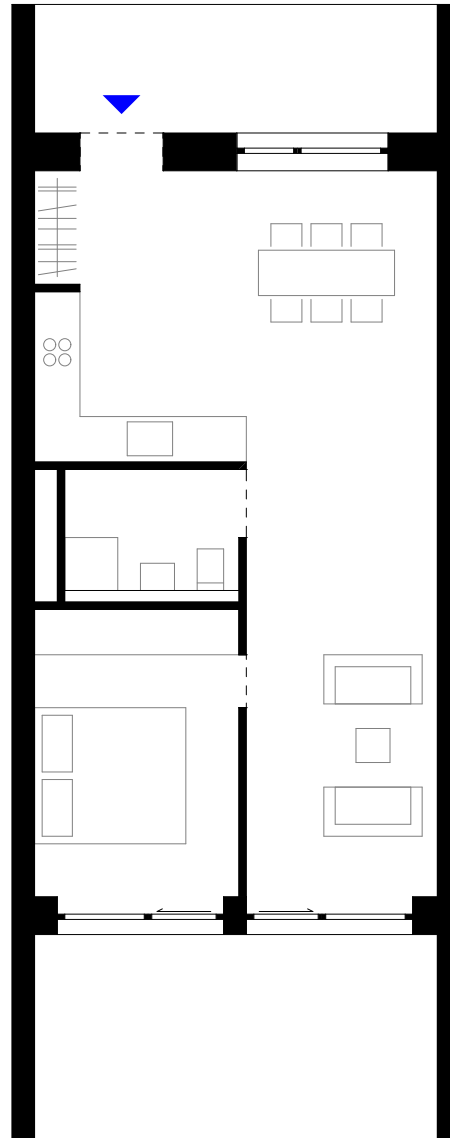
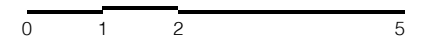


Abb. 44: Wohnungstyp B | M 1.1100



TYP C

Vorraum	3,75 m <sup>2</sup>
Wohnküche	31,50 m <sup>2</sup>
Zimmer	10,75 m <sup>2</sup>
Zimmer	10,75 m <sup>2</sup>
Bad	3,75 m <sup>2</sup>
Gang	5,25 m <sup>2</sup>
Loggia	12,25 m <sup>2</sup>
Loggia	19,50 m <sup>2</sup>
-----	
Wohnnutzfläche	97,50 m <sup>2</sup>
davon Freifläche	31,75 m <sup>2</sup>

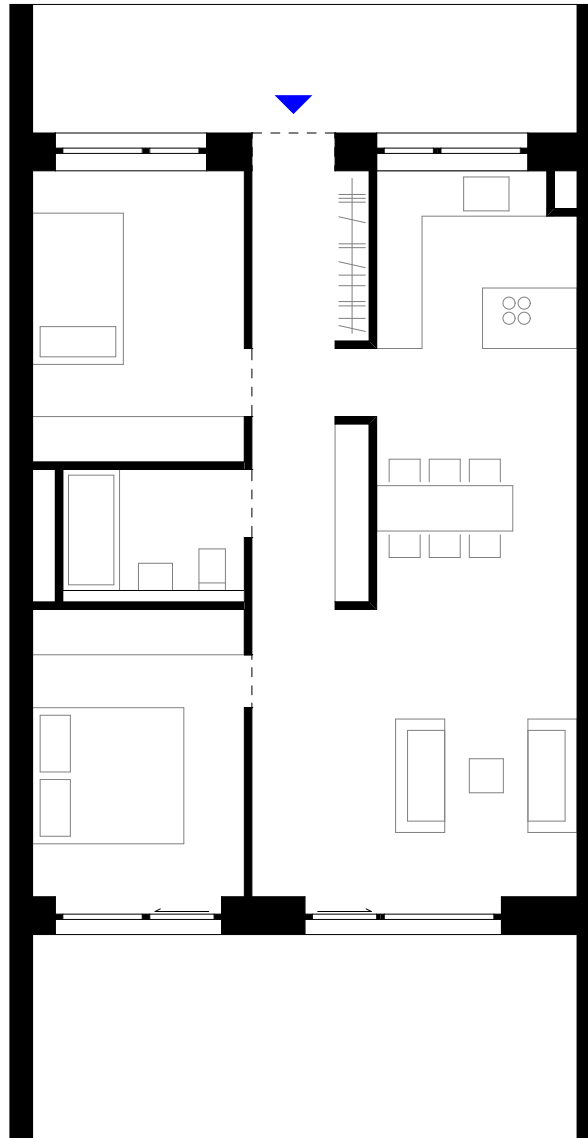
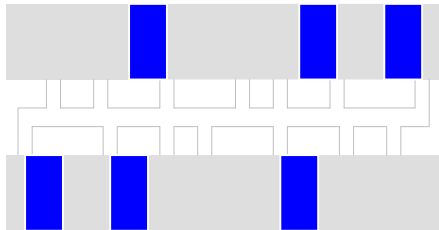
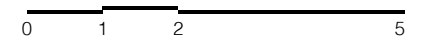


Abb. 45: Verortung Wohnungstyp C | M 1.1500

Abb. 46: Wohnungstyp C | M 1.100





TYP C\* | Gästewohnung

Vorraum	3,75 m <sup>2</sup>
Wohnküche	29,00 m <sup>2</sup>
Zimmer	11,00 m <sup>2</sup>
Bad	2,75 m <sup>2</sup>
Loggia	19,50 m <sup>2</sup>
-----	
Wohnnutzfläche	66,00 m <sup>2</sup>
davon Freifläche	19,50 m <sup>2</sup>

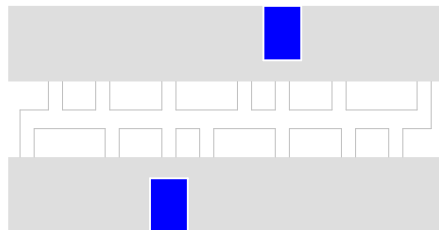
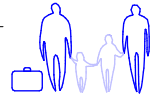


Abb. 47: Verortung Wohnungstyp C\* | M 1.1500

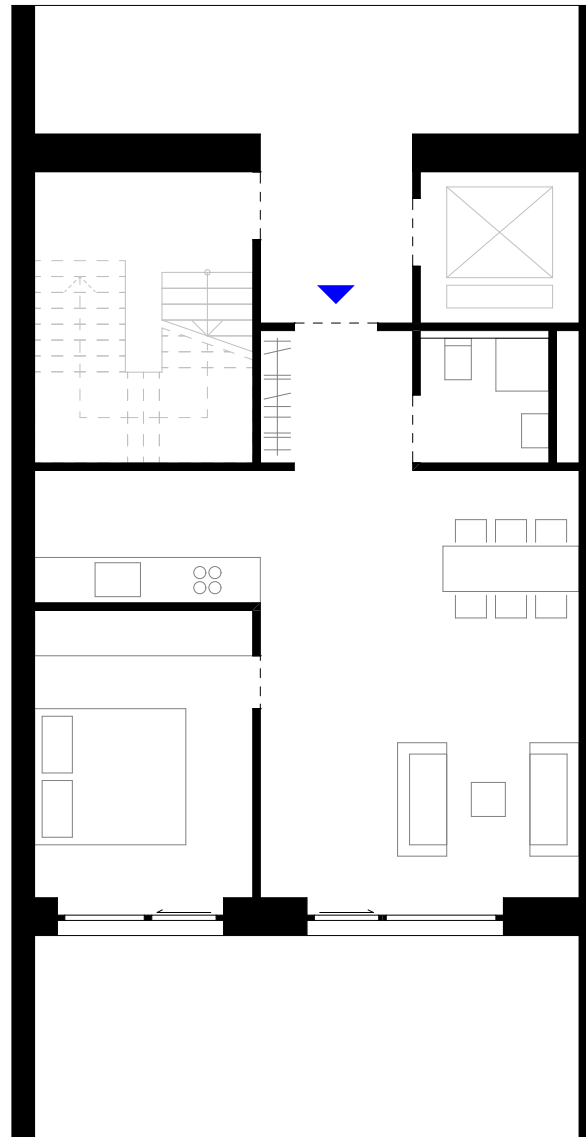
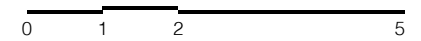


Abb. 48: Wohnungstyp C\* | M 1.100



TYP D

Vorraum	3,50 m <sup>2</sup>
Wohnküche	35,00 m <sup>2</sup>
Zimmer	10,75 m <sup>2</sup>
Zimmer	10,75 m <sup>2</sup>
Zimmer	10,75 m <sup>2</sup>
Bad	3,75 m <sup>2</sup>
WC	1,50 m <sup>2</sup>
Abstellraum	1,50 m <sup>2</sup>
Loggia	15,50 m <sup>2</sup>
Loggia	24,50 m <sup>2</sup>
-----	
Wohnnutzfläche	122,75 m <sup>2</sup>
davon Freifläche	40,00 m <sup>2</sup>

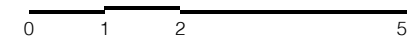
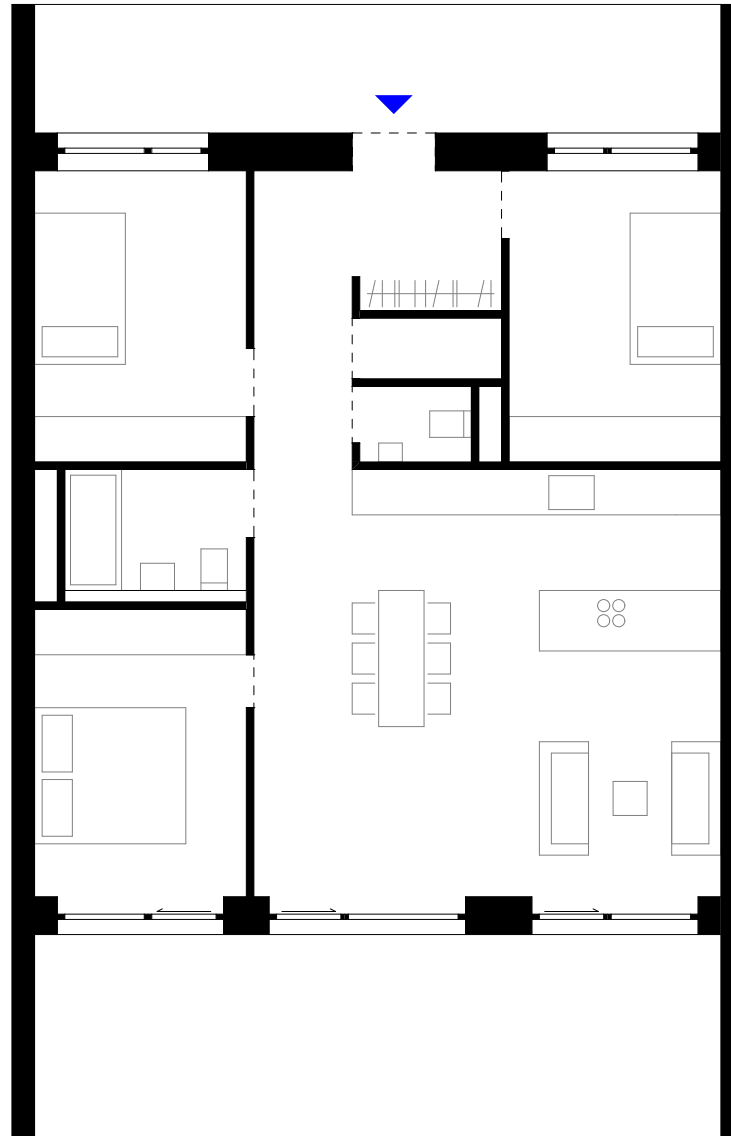
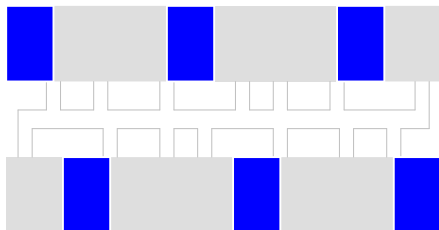


Abb. 49: Verortung Wohnungstyp C | M 1.1500

Abb. 50: Wohnungstyp C | M 1.100

## 4.9 GEMEINSCHAFTSRÄUME

Ziel des Projektes ist nicht nur hochwertiger Wohnraum, sondern auch Qualitäten durch unterschiedliche Gemeinschaftsräumlichkeiten zu schaffen. Private und gemeinschaftliche Nutzungen gehen dabei ineinander über, Grenzen verschwimmen. Ein Großteil der Gemeinschaftsräume ist in der Erdgeschosszone untergebracht. Die Fassade der Gemeinschaftsbereiche ist durchgehend verglast und hebt sich dadurch von der Fassadengestaltung der Wohnungen ab.

Der hier abgebildete Ausschnitt (Abb. 52) befindet sich im Erdgeschoss (Abb. 51). Neben einer Werkstatt liegt ein Gemeinschaftsraum mit offener Küche. Dieser Raum bietet Platz für die unterschiedlichsten Veranstaltungen. Zusätzlich verfügt der Wohnbau über einen großzügigen Fahrradabstellraum, sowie einen Müll- und einen Technikraum. Um möglichst viel Tageslicht zu bekommen und gleichzeitig die Einsichtigkeit zu reduzieren, werden hier satinierte Fassadenelemente verbaut.

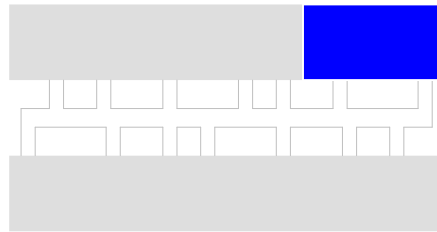


Abb. 51: Verortung Gemeinschaftsräume Erdgeschoss | M 1.1500

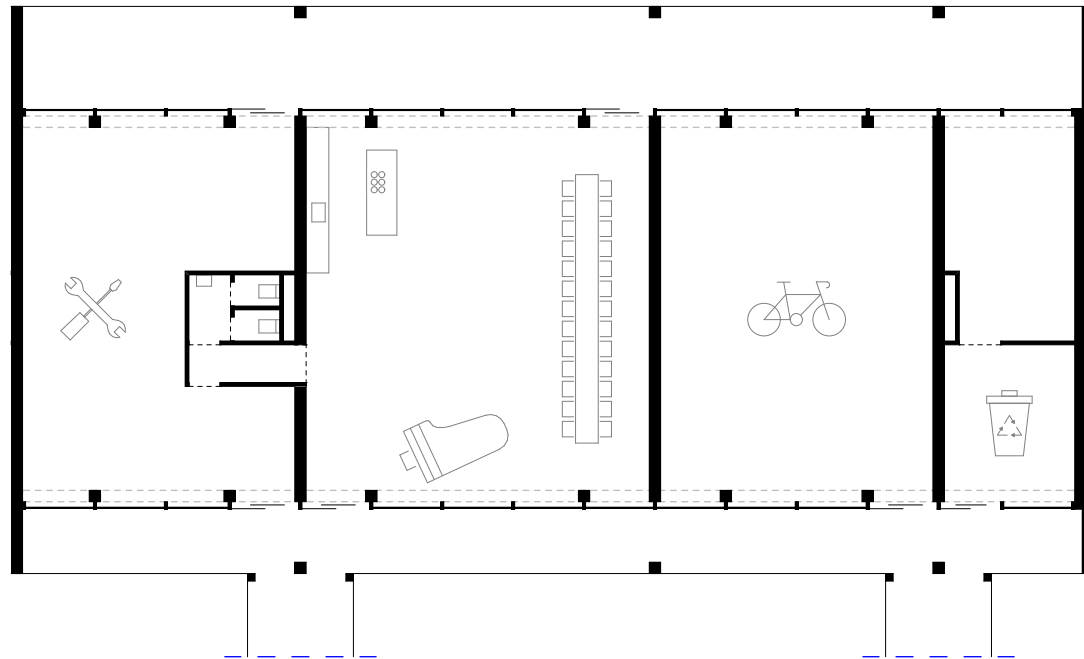


Abb. 52: Erdgeschoss Zoom | M 1.200

In der Größe von Modul C schließt direkt an Fluchttreppenhaus und Aufzug, ein Gemeinschaftsraum mit Sanitäreinheit (Abb. 54) an. In den beiden Regelgeschossen sind jeweils zwei dieser Räume vorgesehen; einer pro Riegel. Eine genaue Nutzungsvorgabe ist hierfür nicht vorgesehen. Die Räume sollen vielmehr je nach Bedarf vielseitig verwendet werden können. Das Ziel ist, eine breite Palette verschiedener Nutzungsmöglichkeiten und -arten zu ermöglichen.

Durch dieses Stiegenhaus werden auch die Dachflächen erschlossen. Wie schon in den unteren Geschossen, ist direkt daran angrenzend auch im Dachgeschoss ein Gemeinschaftsraum (Abb. 56) geplant. Der Raum kann als Schlechtwetteralternative für alle möglichen Freiluftveranstaltungen genutzt werden. Nebenan wird der Freiraum durch eine Pergola gegliedert.

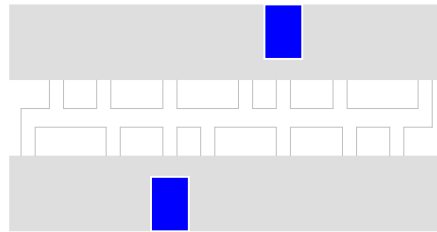


Abb. 53: Verortung Gemeinschaftsräume RG | M 1.1500

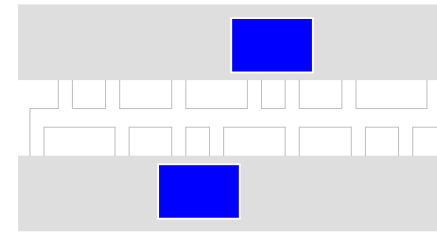


Abb. 55: Verortung Gemeinschaftsräume Dachgeschoss | M 1.1500

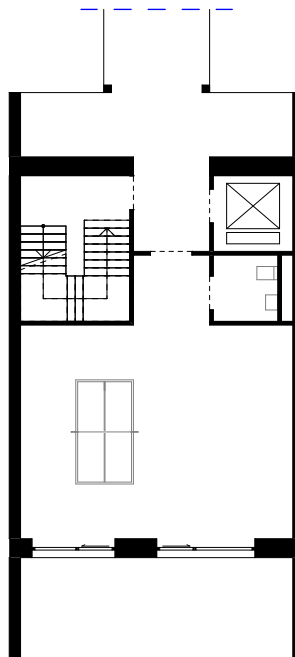


Abb. 54: Regelgeschoss Zoom | M 1.200

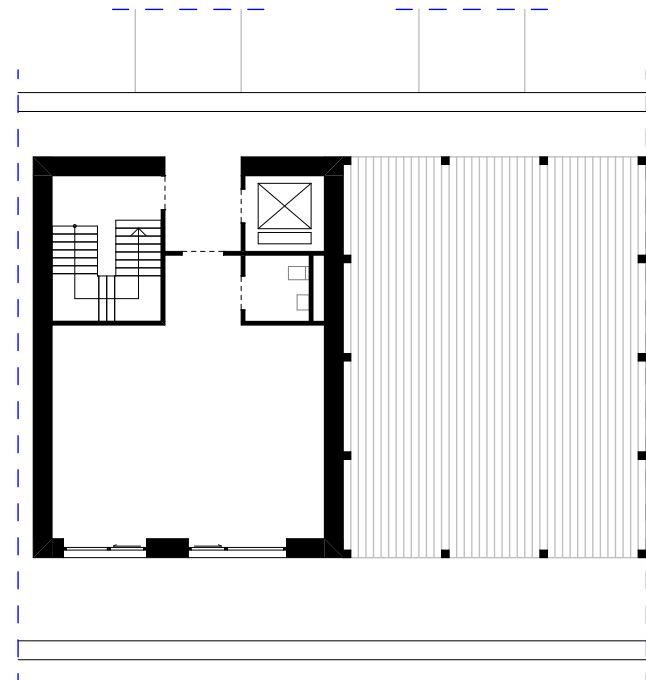


Abb. 56: Dachgeschoss Zoom | M 1.200

## 4.10 CO-WORKING-SPACE

Der Co-Working-Space liegt im südlichen Gebäudeteil (Abb. 57). Die einzelnen Büros (Abb. 58) können vom Innenhof aus erschlossen werden, so gelangt man direkt in den Empfangsbereich. Knapp 22 Arbeitsplätze stehen zur Verfügung. Die Schreibtische sind an den Außenfassaden angeordnet. Hinter jedem Arbeitsplatz befindet sich ein Regal, das den persönlichen Bereich vom allgemeinen Raum abtrennt. Die beiden Besprechungsräume sind durch Glaswände, akustisch und räumlich vom offenen Büro separiert. Mittig befinden sich alle Sanitäreinheiten und die Gemeinschaftsküche, sowie auch eine kleinere Teeküche. Die nichtdienenden Räume, Technikraum und Lager befinden sich jeweils außen an den Trennwänden. Durch die auskragenden Decken werden auch die vollverglasten Büroräumlichkeiten vor zu hoher Sonneneinstrahlung geschützt.

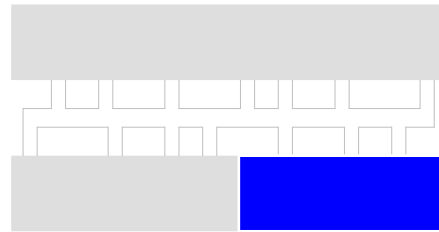


Abb. 57: Verortung Co-Working-Space Erdgeschoss | M 1.1500

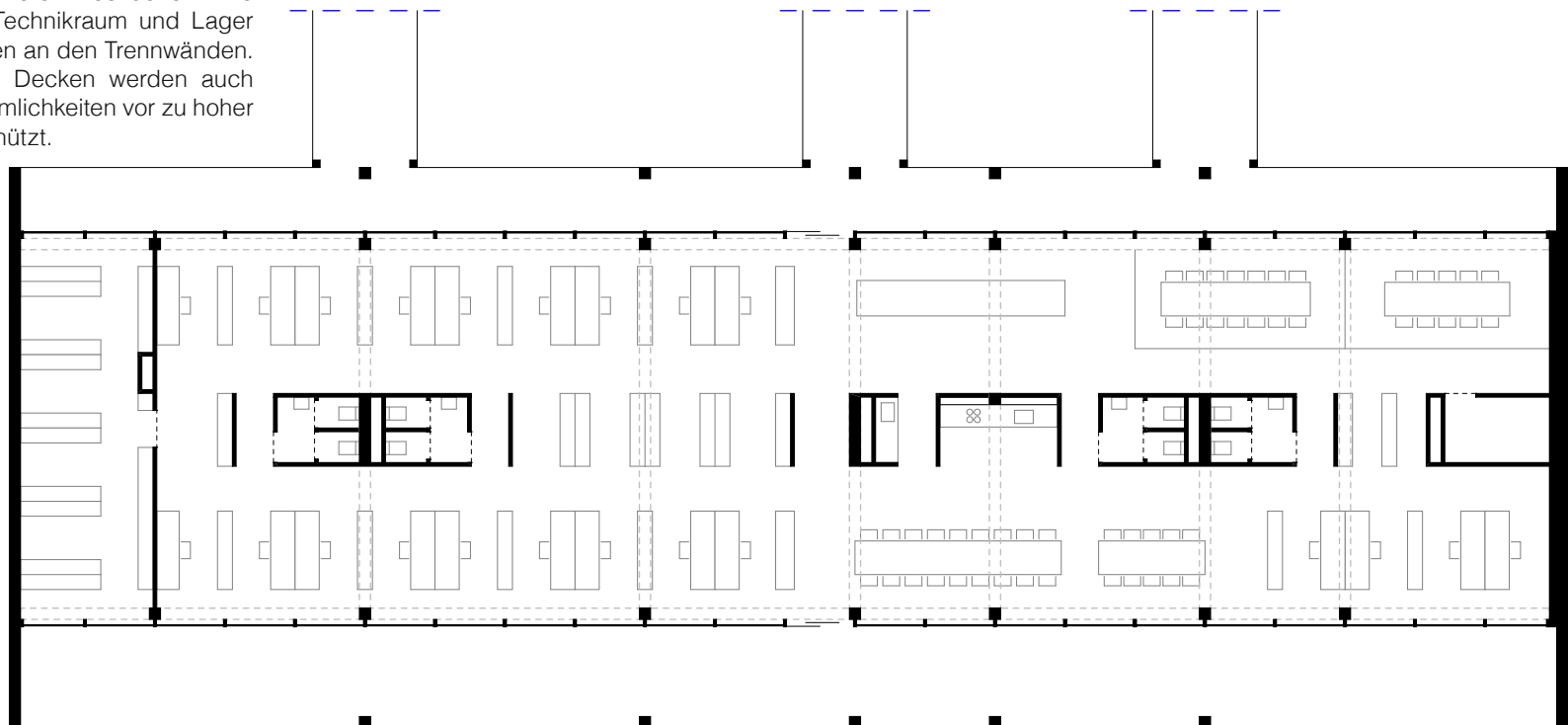


Abb. 58: Coworking Space Zoom | M 1.200

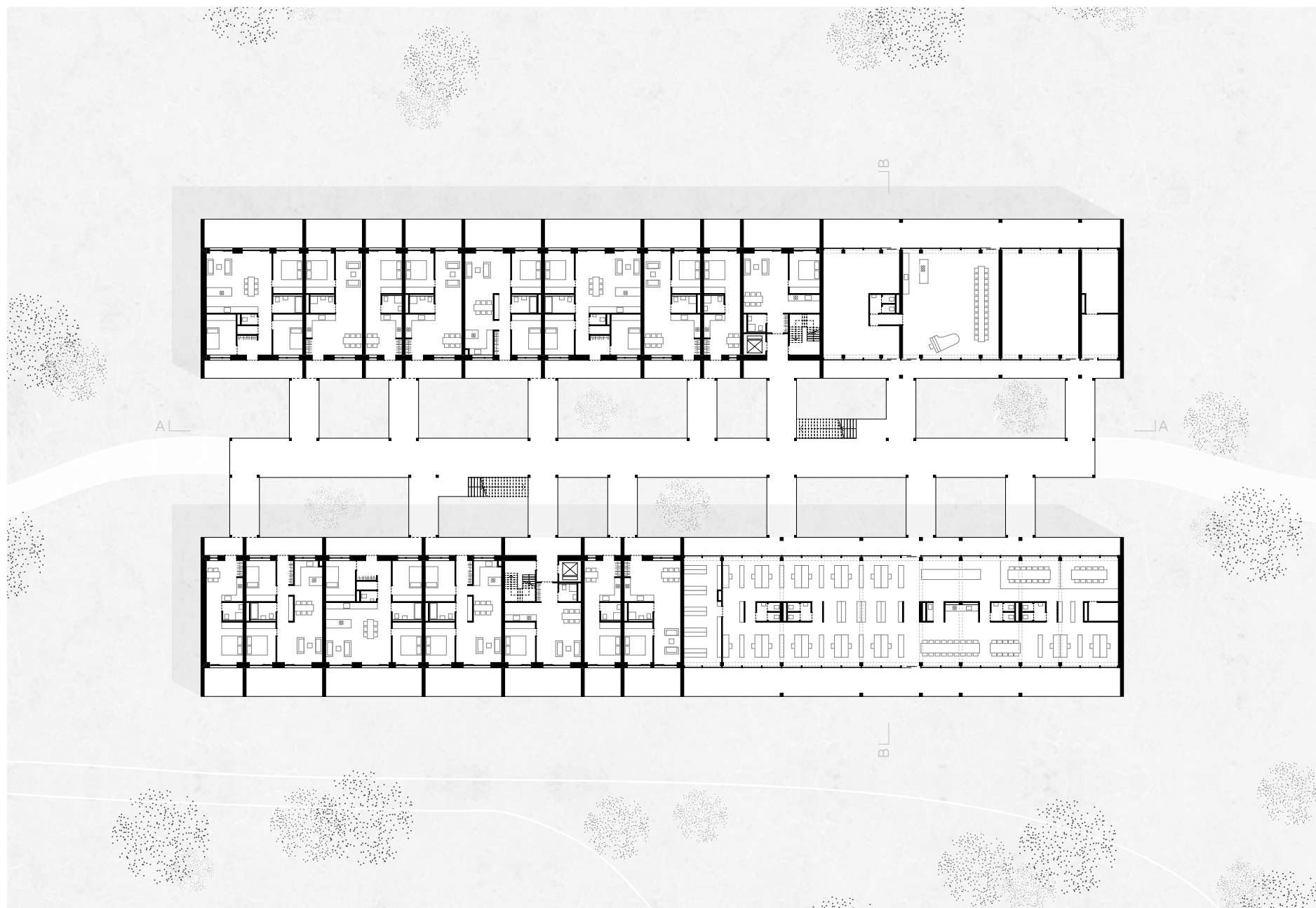


Abb. 59: Erdgeschoss | M 1.500

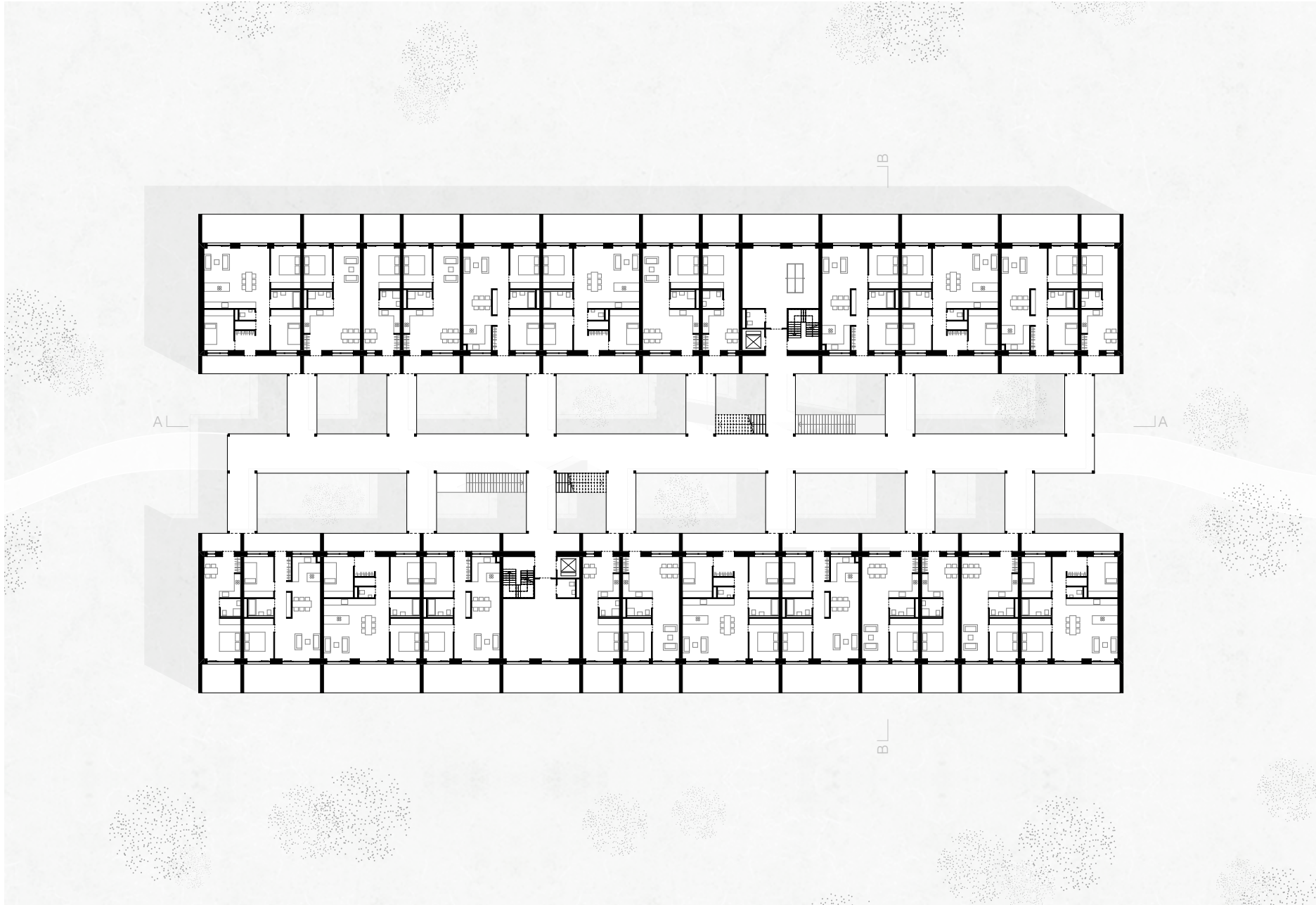


Abb. 60: Regelgeschoss | M 1.500

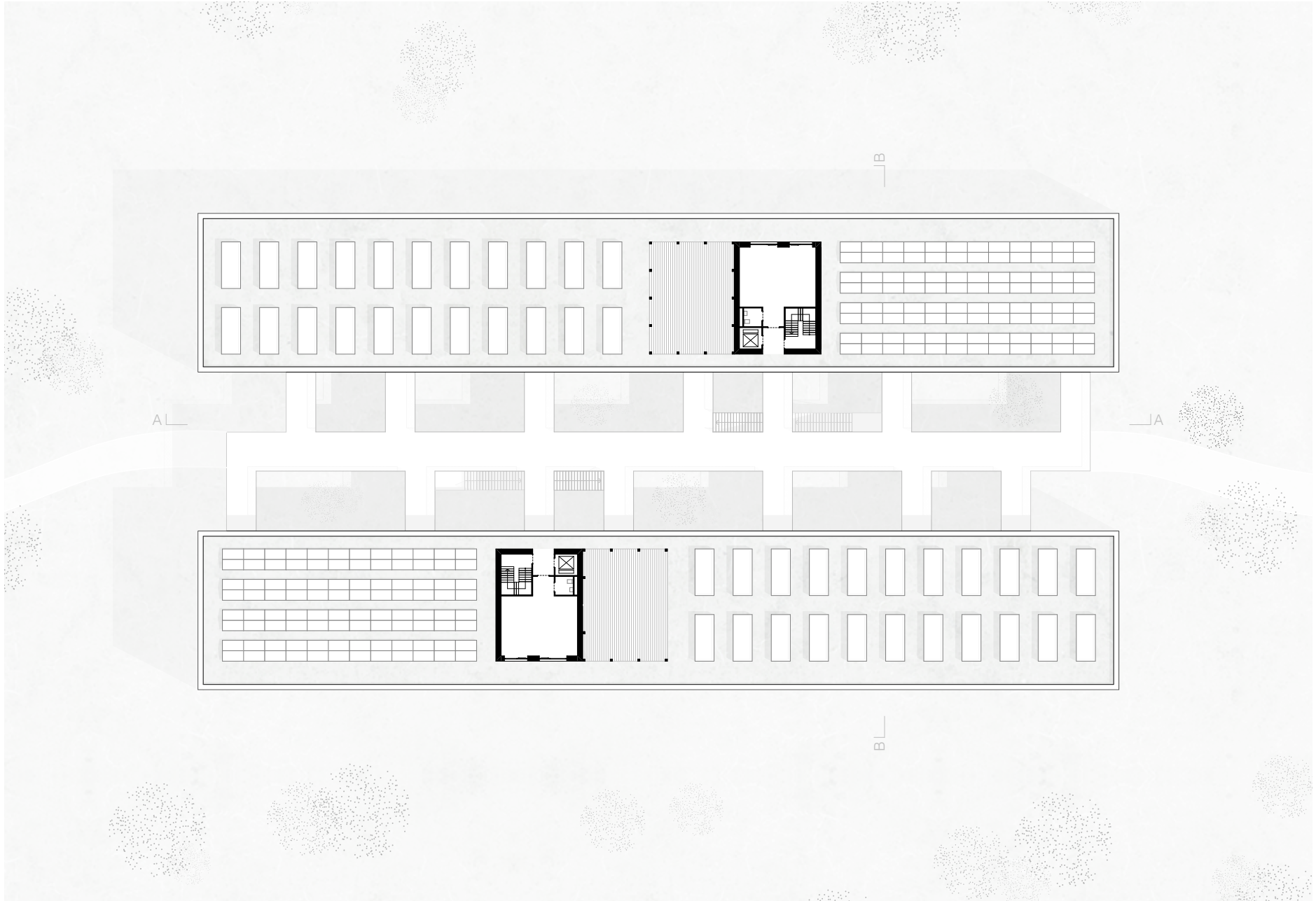


Abb. 61: Dachgeschoss | M 1.500



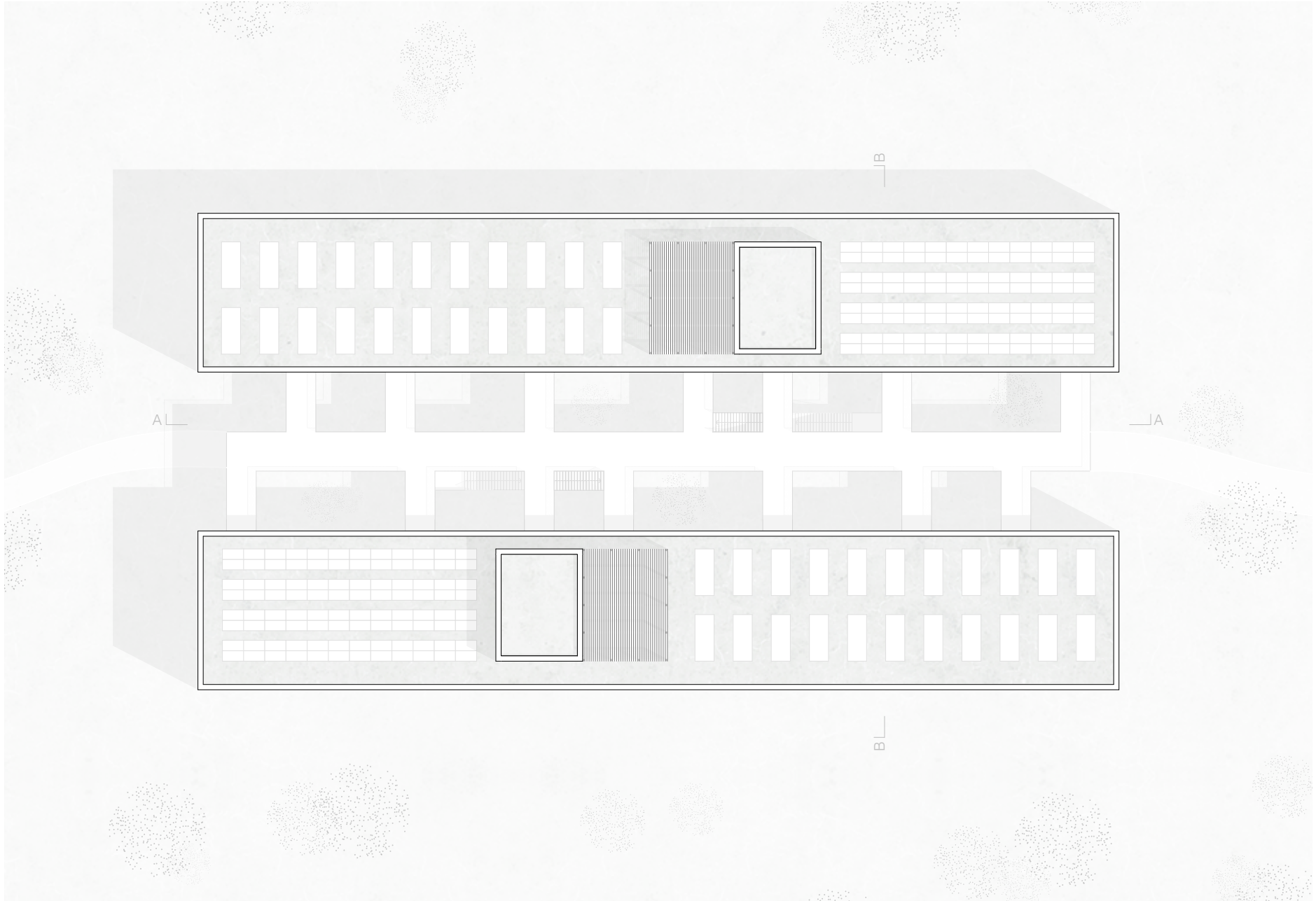


Abb. 62: Dachdraufsicht | M 1.500



0 1 5 10 20



Abb. 63: Schnitt A | M 1.500

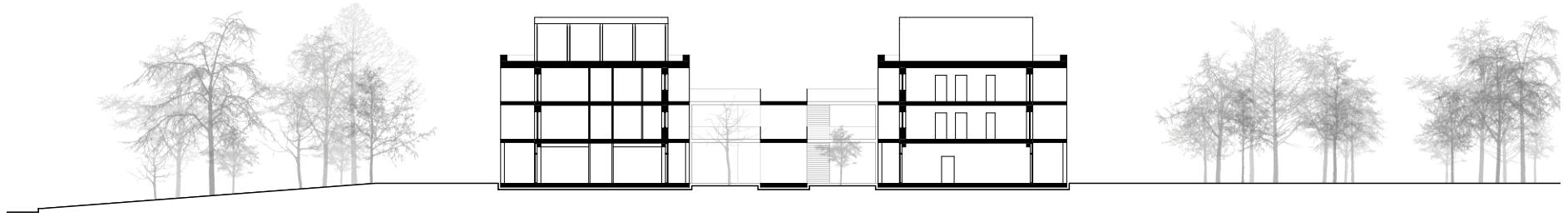


Abb. 64: Schnitt B | M 1.500

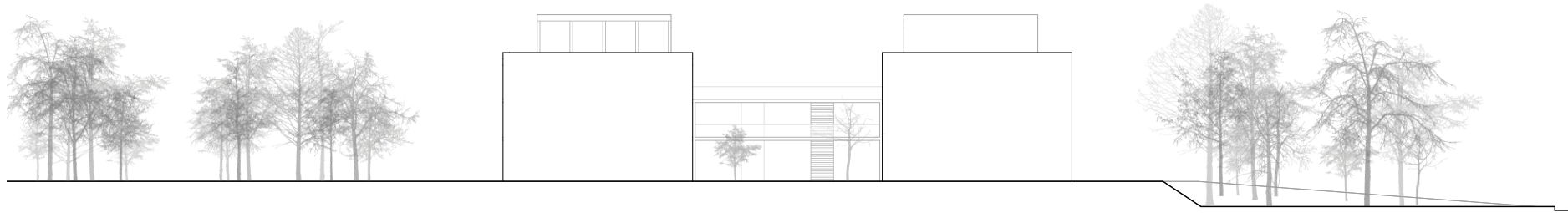


Abb. 65: Ansicht Nord | M 1.500



Abb. 66: Ansicht Ost | M 1.500

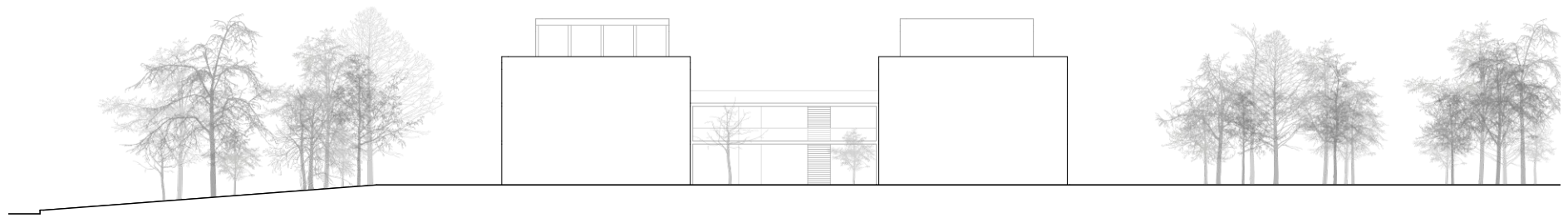


Abb. 67: Ansicht Süd | M 1.500

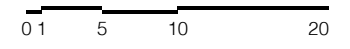




Abb. 68: Ansicht West | M 1.500

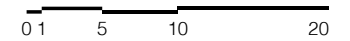




Abb. 69: Ansicht Zoom Loggia privat | M 1.100



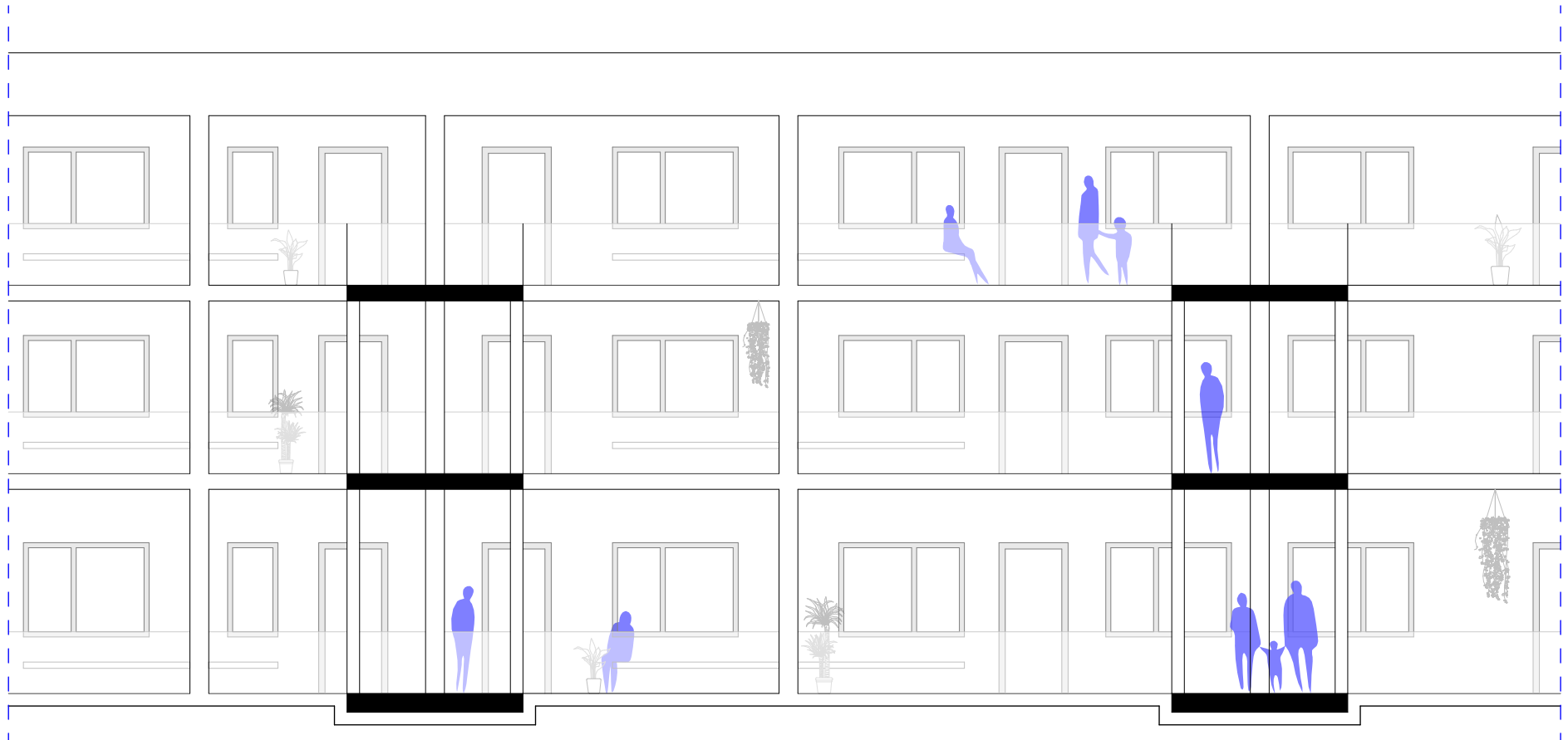
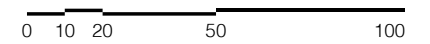


Abb. 70: Ansicht Zoom Innenhof | M 1.100



Abb.71: Geländeschnitt A | M 1.2000



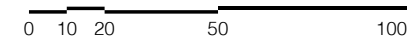
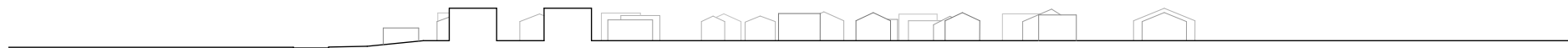


Abb. 72: Geländeschnitt B | M 1.2000



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abb. 73: Lageplan | M 1.2000



0 10 20 50 100



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abb. 74: Rendering I



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.





Abb. 75: Rendering II



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abb. 76: Rendering III

## 4.12 BRANDSCHUTZ

Der Wohnbau hat ein maximales Fluchtniveau von 9,7 m und fällt somit in die Gebäudeklasse 4. Diese Unterteilung bestimmt die brandschutztechnischen Anforderungen an das Gebäude nach OIB 2 (2019). Das primär verwendete Material Beton ist nicht brennbar (A1), somit sind alle brandschutzrelevanten Vorgaben erfüllt. Die offene Laubengangschließung ist ein eigenständiges Tragsystem, das auch in Betonbauweise ausgeführt ist. Hier wird kein Bodenbelag verlegt, somit müssen keine zusätzlichen Anforderungen erfüllt werden. Durch Schotten sind die einzelnen Wohnungen brandschutztechnisch voneinander getrennt. Im ganzen Haus ist kein Punkt weiter als 40 m von einer Außentreppe entfernt. Das geschlossene Treppenhaus, direkt neben dem Aufzug bietet eine zusätzliche Fluchtmöglichkeit im Brandfall. Die Feuerwehr kann mit ihren Gerätschaften jeweils an der Außenfassade anleiten.

## 4.13 GEBÄUDETECHNIK

Die zwei wichtigsten Faktoren dieses Projekts sind die Verlustminimierung und die Gewinnmaximierung aus energetischer Sicht. Faktoren dieses Projekts sind die Verlustminimierung und die Gewinnmaximierung. Primäre Wärmeverluste sollen durch Dämmung reduziert werden. Die Sonnenenergie wird unter anderem durch eine Photovoltaikanlage zur Stromproduktion verwendet. Durch gezielte Maßnahmen im Entwurf werden die solaren Gewinne speziell in den Wintermonaten bei niedrigerem Sonnenstand genutzt. Die hohe Speichermasse ermöglicht gleichbleibende Innenraumtemperaturen bei schwankenden Wetterverhältnissen und somit variierenden Außentemperaturen über mehrere Tage. Durch die vorgelagerten Loggien wird vor sommerlicher Überwärmung geschützt. Installationen werden vorwiegend in den Trockenbauwänden und im Fußbodenaufbau geführt. Die Wohnungen sind so angeordnet, dass die Leitungen zweier Bäder aus unterschiedlichen Wohneinheiten zusammengeführt werden können und sich somit einen Installationsschacht teilen. Oft kann die Küche auch noch angeschlossen werden. Der ganze Neubau ist mit einer Fußbodenheizung ausgestattet. Die Flächenheizung soll durch eine Wärmepumpe betrieben werden, im Optimalfall durch eine Wasser-Wärmepumpe.

## 4.14 KONSTRUKTION

Mit dem 3D-Drucker wird die primäre Tragkonstruktion gefertigt. Alle drei Druckschichten (Abb. 6) können als eigenständiges System betrachtet werden. Um einer Verformung durch das Auftragen von neuen Druckschichten entgegenzuwirken, muss die Druckstruktur nach ca. 80-90 cm Höhe aushärten (vgl. Anhang1 2022). In Abbildung 77 werden die vertikalen Abschnitte mit einer weiß strichlierten Linie markiert. Direkt danach wird dieser Druckabschnitt mit Beton verfüllt (vgl. Anhang1 2022). Um eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den jeweiligen Druckschichten sicherstellen zu können, wird der Wohnbau auch in seiner horizontalen Ausdehnung in mehrere Druckabschnitte geteilt. Die Schichten werden mittels Luftschichtanker, die händisch eingesetzt werden müssen miteinander verbunden (vgl. Anhang1 2022). Auch die Fensterstürze sowie die Leerverrohrungen müssen manuell eingebracht werden. Nach Fertigstellung und Aushärtung eines Geschosses werden die Fertigteildecken versetzt. In dieser Reihenfolge wird dies über alle weiteren Geschosse fortgesetzt. Die beiden Baukörper können parallel mit jeweils einem 3D-Drucker gefertigt werden. Die Versetzung der Fertigteile der Erschließung erfolgt geschossweise in Abhängigkeit vom Druckfortschritt. Alle tragenden Wände der drei Geschosse werden in 3D-Betondruck gefertigt, lediglich die Weiterführung des Stiegenhauses auf dem Dachgarten wird mit Fertigteilen aufgeführt. Die derzeitige Systemgrenze des Druckers von einer maximalen Druckhöhe von 10 m wird überschritten.

Der 3D-Druck kann in drei unterschiedliche Schalen geteilt werden. Alle bilden ein eigenständiges System. Die Fassadenschale generiert zusätzlich zur außenliegenden vor Witterungseinflüssen schützende Schicht noch einen Hohlraum für die Wärmedämmebene. Wie in den gezoomten Darstellungen (Abb. 78) aufgezeigt, wird zuerst der Wandvorsprung gedruckt, danach setzt der Druckkopf

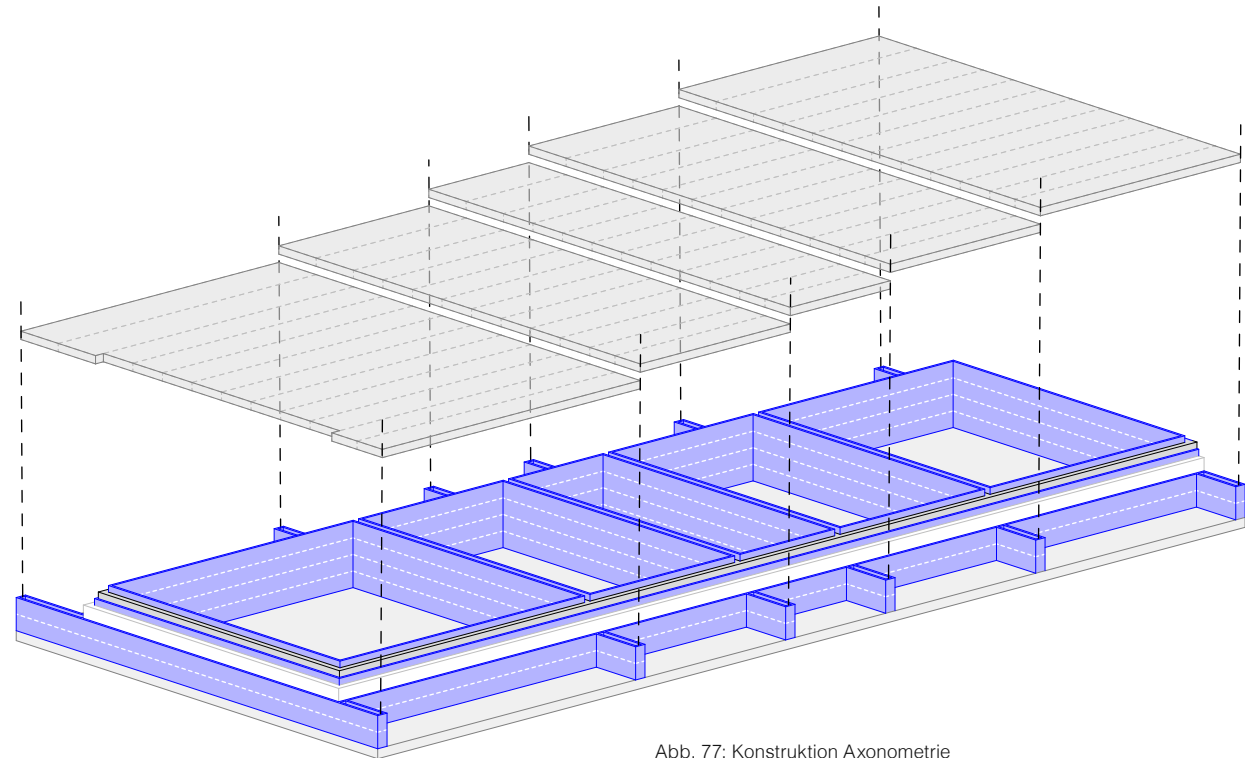


Abb. 77: Konstruktion Axonometrie

ab und kurz darauf leicht zurückversetzt wieder an, um die Ebenen Verfüllbeton, in Abbildung 78 grau dargestellt und Dämmung voneinander zu trennen. In der Abbildung wird das An- und Absetzen in Form eines Kreises markiert. Ziel beim Druckprozess war es eine durchgehende außenliegende Fassade zu generieren. Die Außenfassade wird aufgrund der gegebenen Rissbildung bei einem der ausgeführten Objekte (vgl. Anhang1 2022) vollständig verputzt, um den Feuchtigkeitseintritt und die Bildung von Algen auf der strukturierten Fassade zu verhindern. Die inneren Schalen bilden jeweils ein durchgehendes Rechteck. Horizontale Schichten können ohne Unterbrechung durchgängig gedruckt werden.

Auf den folgenden Seiten wird das Tragsystem dargestellt. In Abbildung 88 wird über den gesamten Gebäudekomplex ein Raster gelegt. Die beiden Baukörper sind bis auf minimale Abweichungen im Erdgeschossbereich ident und somit auch das Tragsystem. Die Gebäude sind nicht gespiegelt, sondern um 180° gedreht und 15 Meter versetzt angeordnet. Alle drei Bauteile, beide Gebäudeteile und die Stegkonstruktion sind eigenständige Tragsysteme. Die Außen- und Trennwände (Abb. 79-81) werden mittels 3D-Druckverfahren errichtet. Der vor Ort, zwischen den Druckbahnen eingebrachte Beton wirkt lastabtragend. Die Rasterachsen liegen mittig auf dieser tragenden Struktur. Alle Außen- und Trennwände sind tragend.

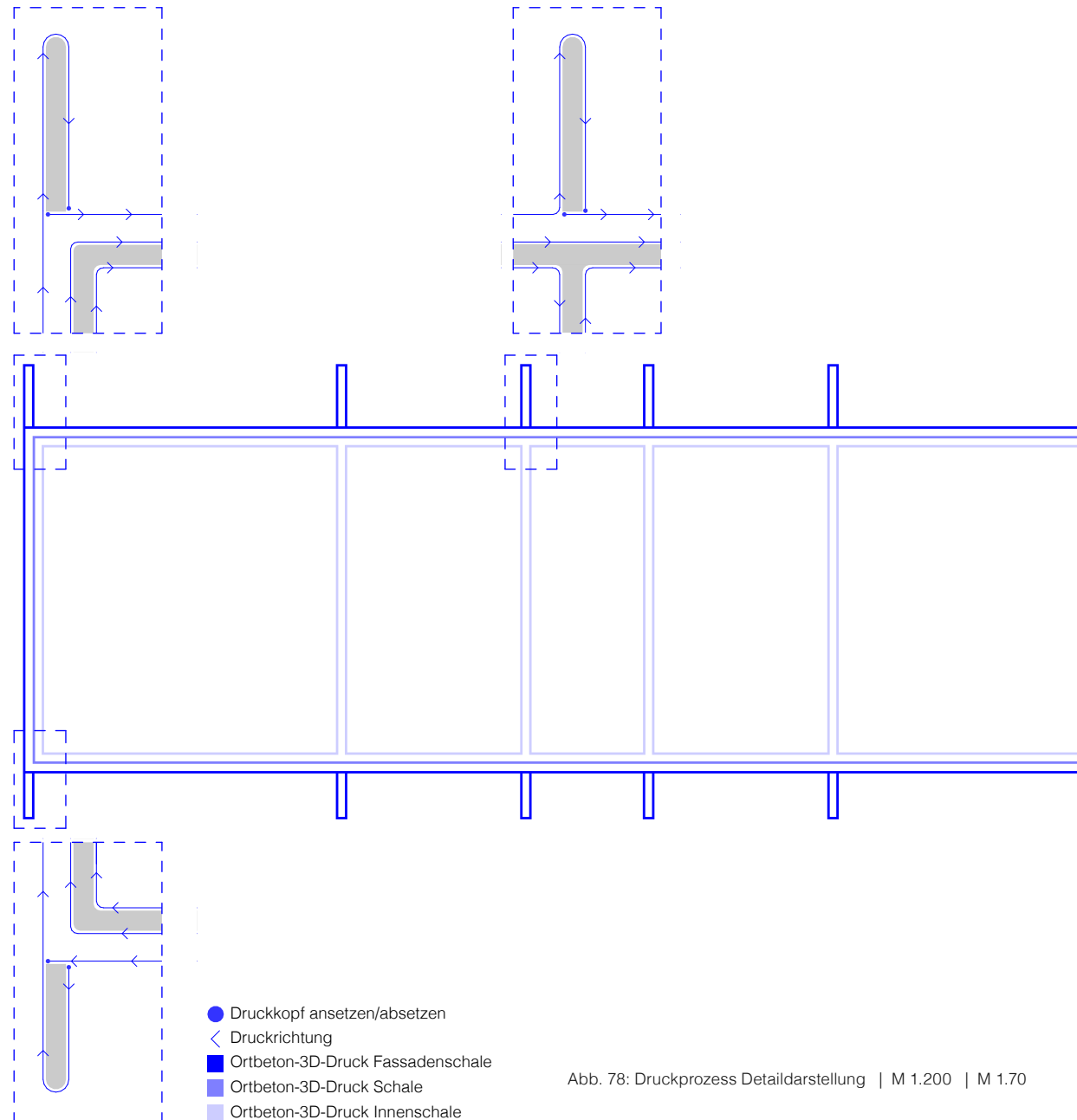


Abb. 78: Druckprozess Detaildarstellung | M 1.200 | M 1.70

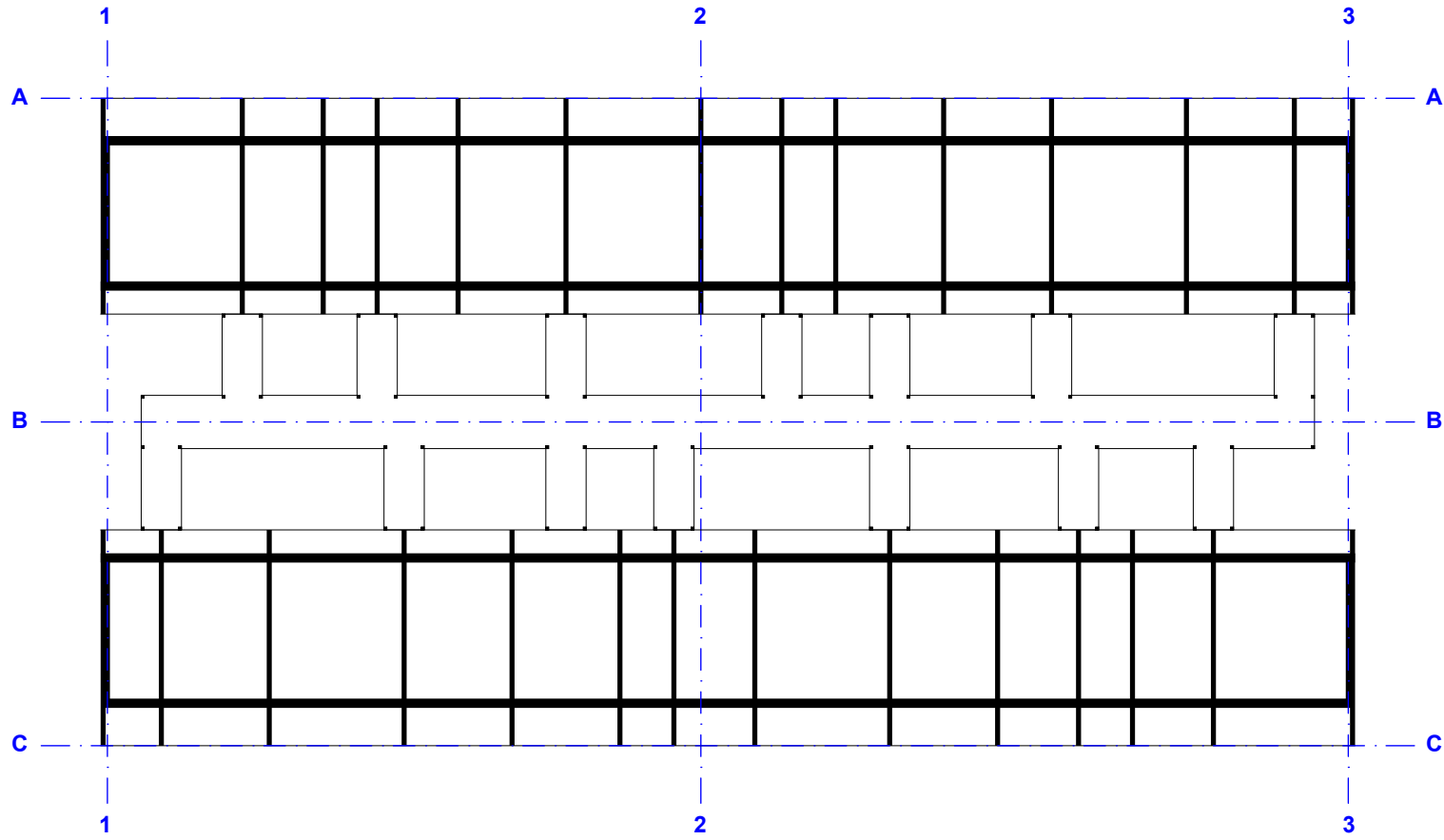


Abb. 79: Tragsystem Übersicht | M 1.500

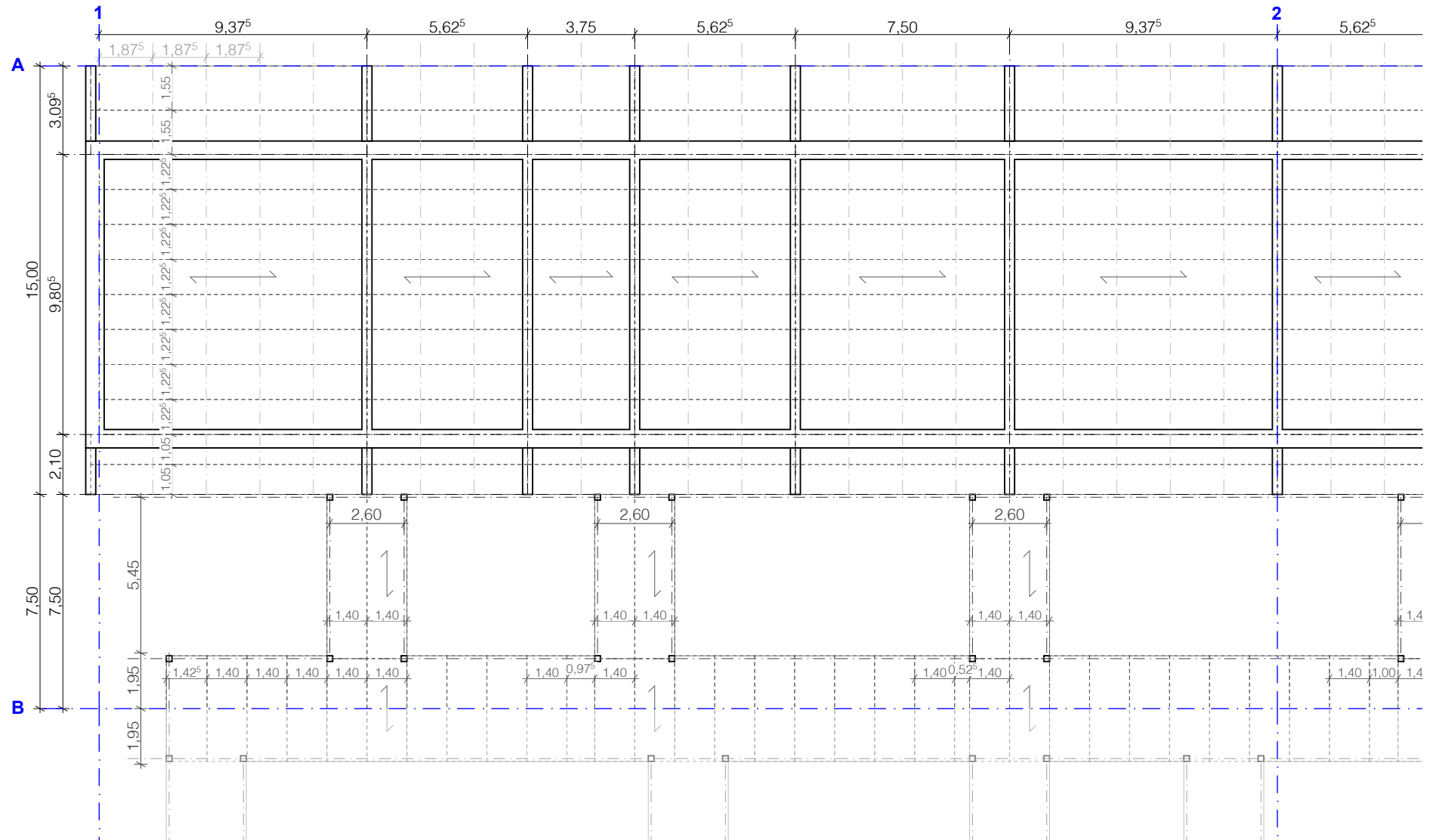


Abb. 80: Tragwerksplan Ausschnitt I | M 1.200



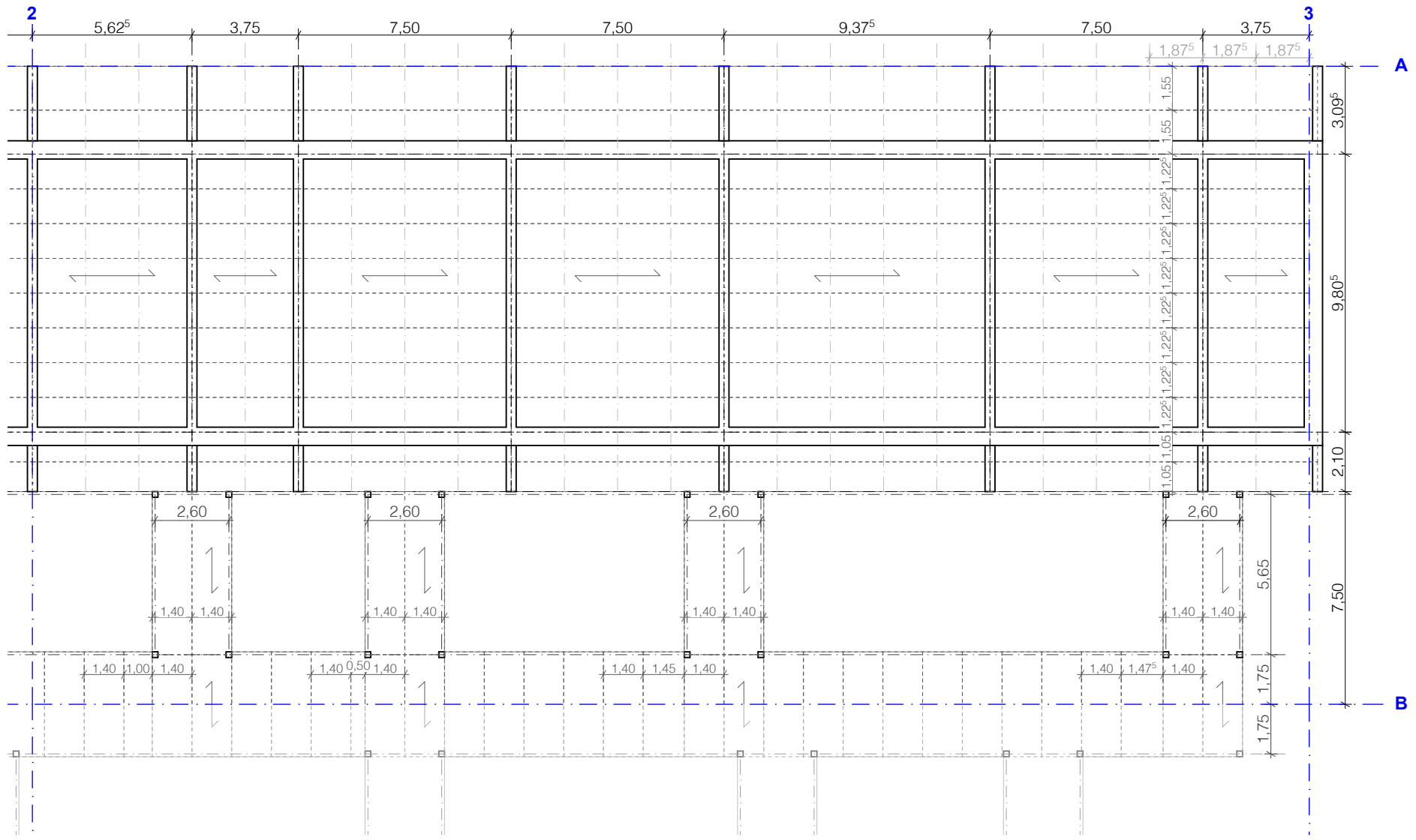


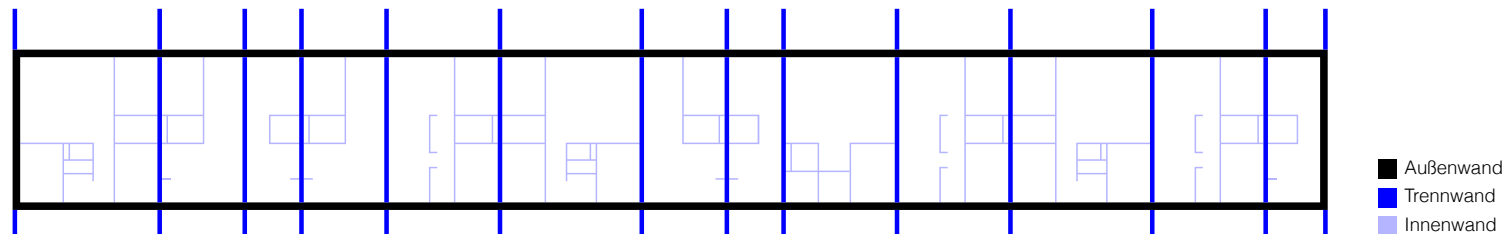
Abb. 81: Tragwerksplan Ausschnitt II | M 1.200

## 4.15 DETAILS

Die Decke wird als Hohldeckendecke ausgeführt. Die vorgespannten Fertigteillemente ermöglichen eine Material- und Zeitersparnis bei der Deckenkonstruktion. Bei einer maximalen Spannweite von 9,375 m wurde eine Deckenstärke von 26,5 cm, laut den Berechnungstabellen von Oberndorfer (2023), angenommen. Um einen möglichst unkomplizierten Transport zu ermöglichen und die Verlegung zu erleichtern, werden die Deckenelemente mit einer maximalen Breite von 1,55 m gefertigt. Somit werden pro Wohneinheit acht Elemente, die je nach Wohnungsgröße unterschiedlich lang sind, mit einer Stärke von 26,5 cm verbaut. Pro Wohnung werden für die beiden Loggien zusätzlich jeweils zwei Element mit unterschiedlichen Breiten verlegt. Die Stegkonstruktion ist ein eigenständiges Tragsystem mit einem Raster, das auf dem der Wohnungen basiert. Auch hier werden Hohldeckenelemente versetzt, die auf Unterzügen und Stützen lagern. Im Erdgeschoss wird pro Baukörper jeweils eine große Fläche vollständig verglast. Die anfallenden vertikalen Lasten der darüberliegenden Außenwände werden von Unterzügen und Stützen aus Beton aufgenommen. Ein Teil der Trennwände bleibt für die Lastabtragung erhalten. Alle Fundamentplatten werden konventionell vor Ort betoniert.

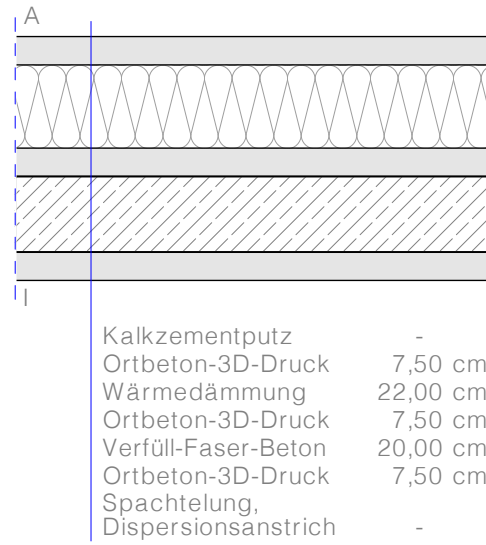
Der geplante Wohnbau verfügt über drei verschiedenen Wandaufbauten mit unterschiedlichen Anforderungen (Abb. 82). Die detaillierten Aufbauten werden in Abbildung 83-86 aufgezeigt. Die Wahl der Drucktechnologie COBOD, ausgeführt mit dem Drucker BOD2, hat in Verbindung mit dem heutigen Forschungsstand zur Folge, dass das gedruckte Wandsystem zweischalig aufgebaut ist. Zumindest in den Breitengraden, die eine Wärmedämmebene erfordern. Ziel der vorliegenden Detailplanung ist es, basierend auf den analysierten Referenzprojekten (siehe Kapitel 3.3.5), ausführbare Aufbauten und Detaillösungen zu entwickeln. Die Druckbahnen werden mit einer Breite von 7,5 cm angenommen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Druckbahn beim ersten Projekt, dem Einfamilienhaus, mit 6 cm zu gering war und somit beim darauffolgenden Projekt, dem Bürobau, auf 7,5 cm erhöht werden muss. Zusätzlich ausschlaggebend für diese Entscheidung war die Anzahl der drei oberirdischen Geschosse. Für den Verfüllbeton wurde nicht die in den realisierten Projekten verwendete unbewehrte Ortbetonvariante in Betracht gezogen, sondern stattdessen eine Ausführung mit faserbewehrtem Ortbeton. Ziel dieser Entscheidung ist es, eine höhere Tragfähigkeit und zugleich Materialersparnis zu erreichen. Das analysierte Einfamilienhaus (siehe Kapitel 3.3.5) ist zweigeschossig

und dient der Wohnnutzung. Hier wurden 18 cm Verfüllbeton verbaut. Darauf basierend wird beim geplanten Projekt eine tragende Schicht Faserbeton von 20 cm geplant. Der zweischalige Wandaufbau ermöglicht die Einbringung der Wärmedämmung durch Einblasen. Die Verarbeitungszeit wird auch hier geringgehalten. Direkt nach Fertigstellung der Tragstruktur wird die Dämmung eingebracht. Durch die hohe Durchfeuchtung der 3D-Druckbahnen sowie des Ortbetonkerns muss eine Dämmung gewählt werden, deren wärmedämmende Eigenschaften durch erhöhte Wasserdampfdiffusion nicht beeinträchtigt wird. In erster Linie wurde die Tauglichkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen überprüft. Eine Verwendung unter anderem von Flachs, Holzfasern, Stroh und Zellulose wurde aufgrund des niedrigen Dampfdiffusionswiderstandes ausgeschlossen (vgl. oberösterreichischer Energieverband 2022). Die Verwendung von hydrophiliertem Blähpelrit wurde angedacht. Die dauerhaft wasserabweisende Dämmschüttung weist eine Wärmeleitfähigkeit von 0,05 [W/(mK)] auf (vgl. Bachl 2017). Die Schüttung wäre lagenweise einzufüllen (vgl. ebd.), dies würde einen erhöhten Zeitaufwand in der Druckphase bedeuten. Bei einem möglichen Rückbau würde zusätzlich ein erhöhter Zeitaufwand entstehen. Bei ganzheitlicher Betrachtung des Gebäudelebenszykluses bis



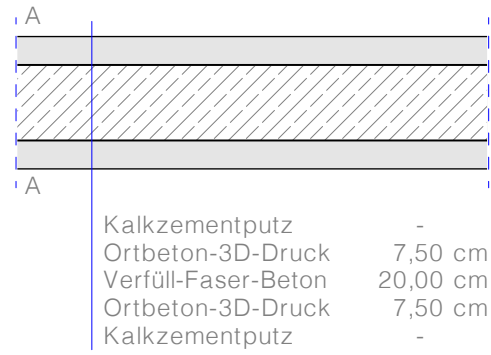
Außenwand | M 1.20

Abb. 83



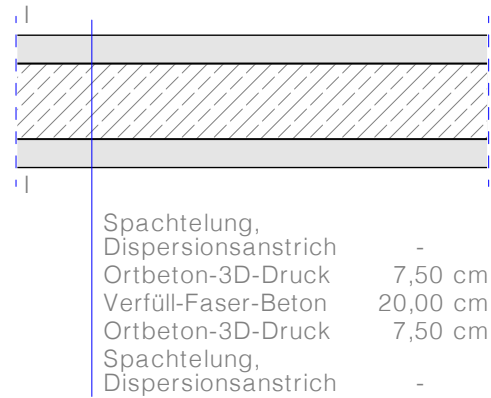
Trennwand | M 1.20

Abb.84



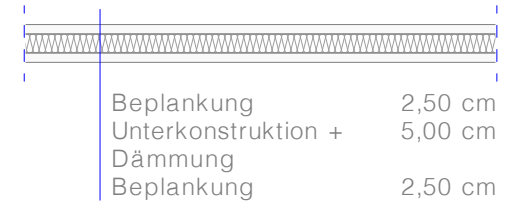
Trennwand | M 1.20

Abb. 85



Innenwand | M 1.20

Abb. 86

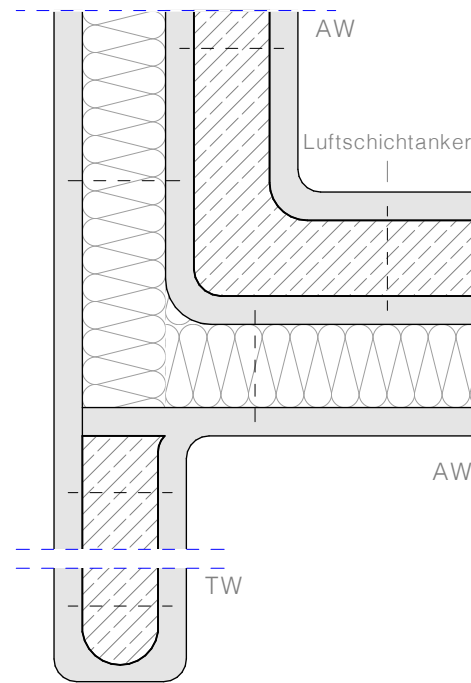


zum Rückbau und der darauffolgenden möglichen Wiederverwendung ergeben sich Vorteile durch den Einsatz von loser Dämmung. Die Art der Einbauweise ist ausschlaggebend für den Rückbauaufwand und den Reinheitsgrad des Dämmmaterials. Lose verlegte Dämmstoffe werden zum Teil händisch rückgebaut oder abgesaugt. Ein sortenreiner und mangelfreier Rückbau ist möglich (vgl. Reinhardt 2019). Unter Betrachtung dieser Vorteile wird in diesem Projekt eine lose Einblasdämmung aus Mineralwolle verarbeitet. Das verwendete Produkt ist hydrophobiert und nimmt somit keine Feuchtigkeit auf. Die Dämmung hat eine Wärmeleitfähigkeit von  $0,035 [W/(mK)]$  (vgl. Ursa 2019). Es ist davon auszugehen, dass die Dämmung während des Gebäudelebenszyklus unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus weder durch Feuchte noch durch Ungeziefer oder andere Einflussfaktoren verunreinigt wird. Ein sortenreiner und unversehrter Abbau ist somit möglich.

Das Dämmmaterial kann für weitere Bauvorhaben verwendet werden, dies hat eine positive Auswirkung auf die Ökobilanz. Die genaue Zusammensetzung des Druckmaterials konnte in den umfangreichen Recherchen nicht herausgefunden werden. Der verwendete Trockenmörtel wird zudem stetig, bis hin zur möglichen Recyclbarkeit durch Erfahrungswerte weiterentwickelt (siehe Kapitel 3.3.5). Wobei die Wiederverwendbarkeit kritisch betrachtet werden muss und eine genauere Untersuchung erfordert.

Detail 01 | M 1.20

Abb. 87



Detail 02 | M 1.20

Abb. 88

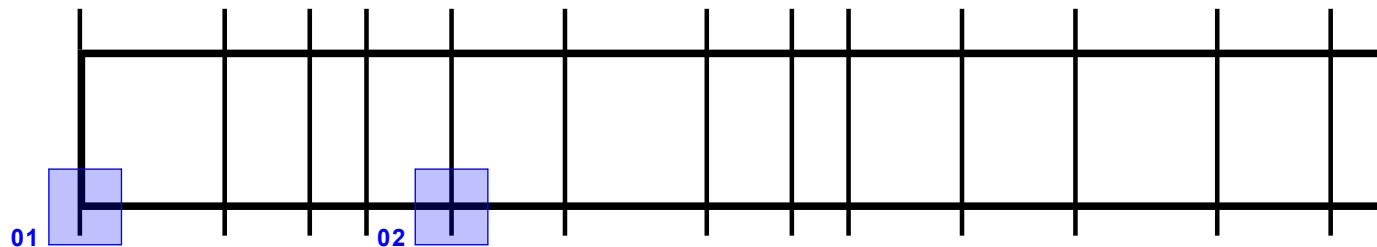
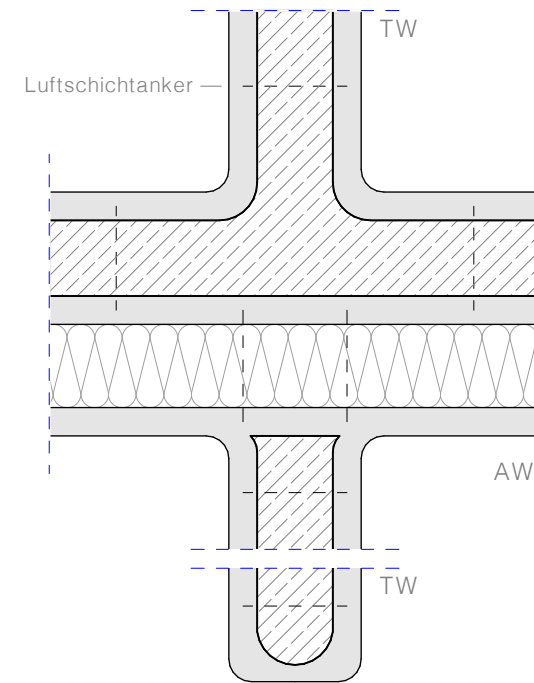


Abb. 89: Detail Verortung Grundriss | M 1.500

Die vorliegenden Details wurden auf Basis der gewonnen Erkenntnisse aus den Referenzprojekten entwickelt. Die Wärmedämmebene ist durchgehend und wird an keinem Punkt unterbrochen. Während des Druckprozesses werden Luftschichtanker manuell in die feuchte Druckbahn eingesetzt, um nebeneinanderliegende Druckschichten zu verbinden (Abb. 87, 88). Um den Feuchtigkeitseintritt durch mögliche Rissbildungen in der 3D-Struktur (Anhang 1) entgegenzuwirken, wird die außenliegende 3D-Struktur verputzt. Zusätzlich werden Ablagerungen auf der entstandenen Fassadestruktur und eine mögliche Algenbildung verhindert. Der in Abbildung 90 dargestellte Deckenanschluss zur Außenwand und das Sockeldetail (Abb. 92) veranschaulichen nach jetzigem Forschungsstand bei der Verwendung des COBOD Portaldruckers Detaillösungen.

Detail 03 | M 1.20

Abb. 90

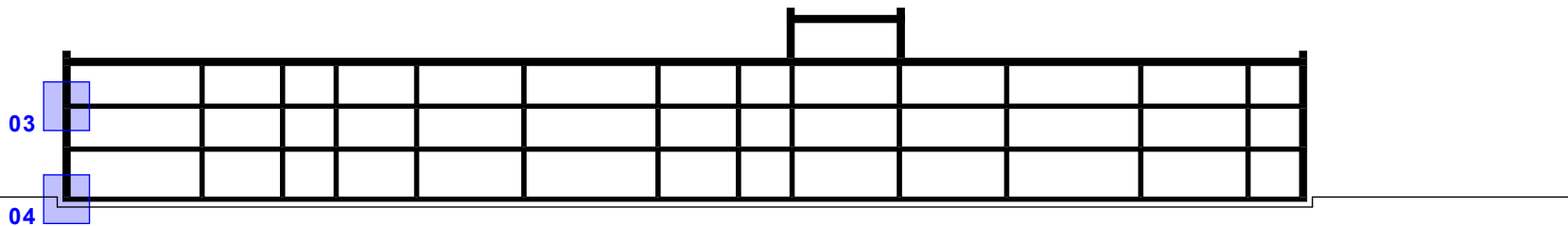
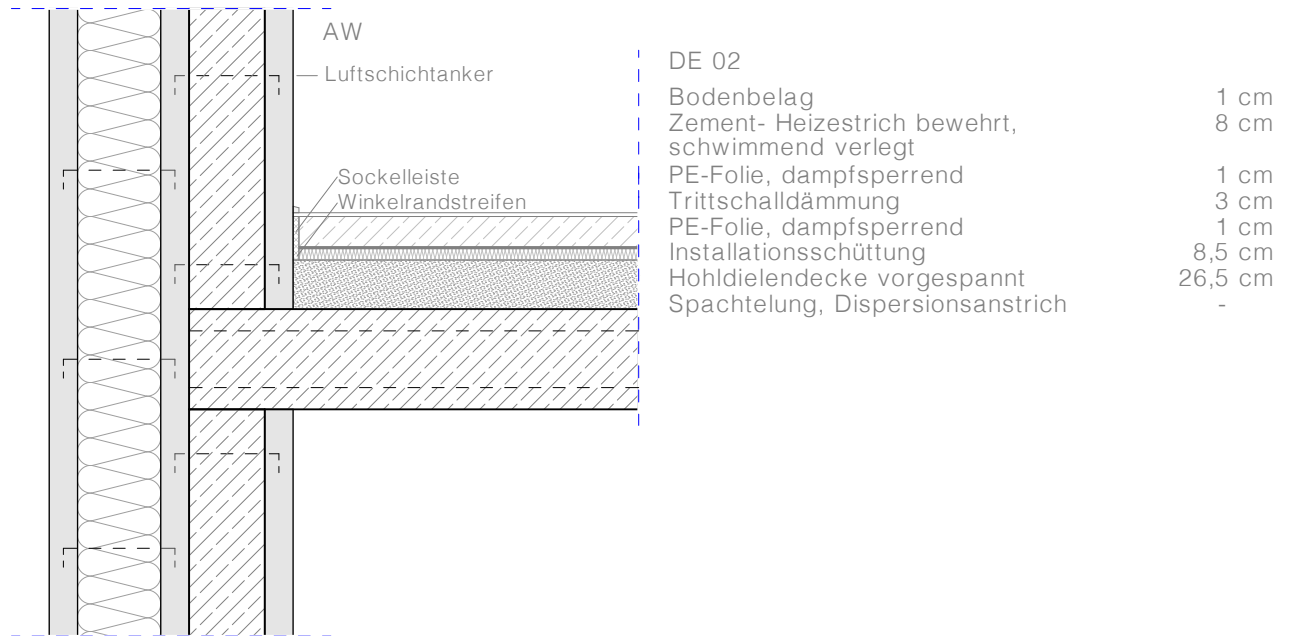
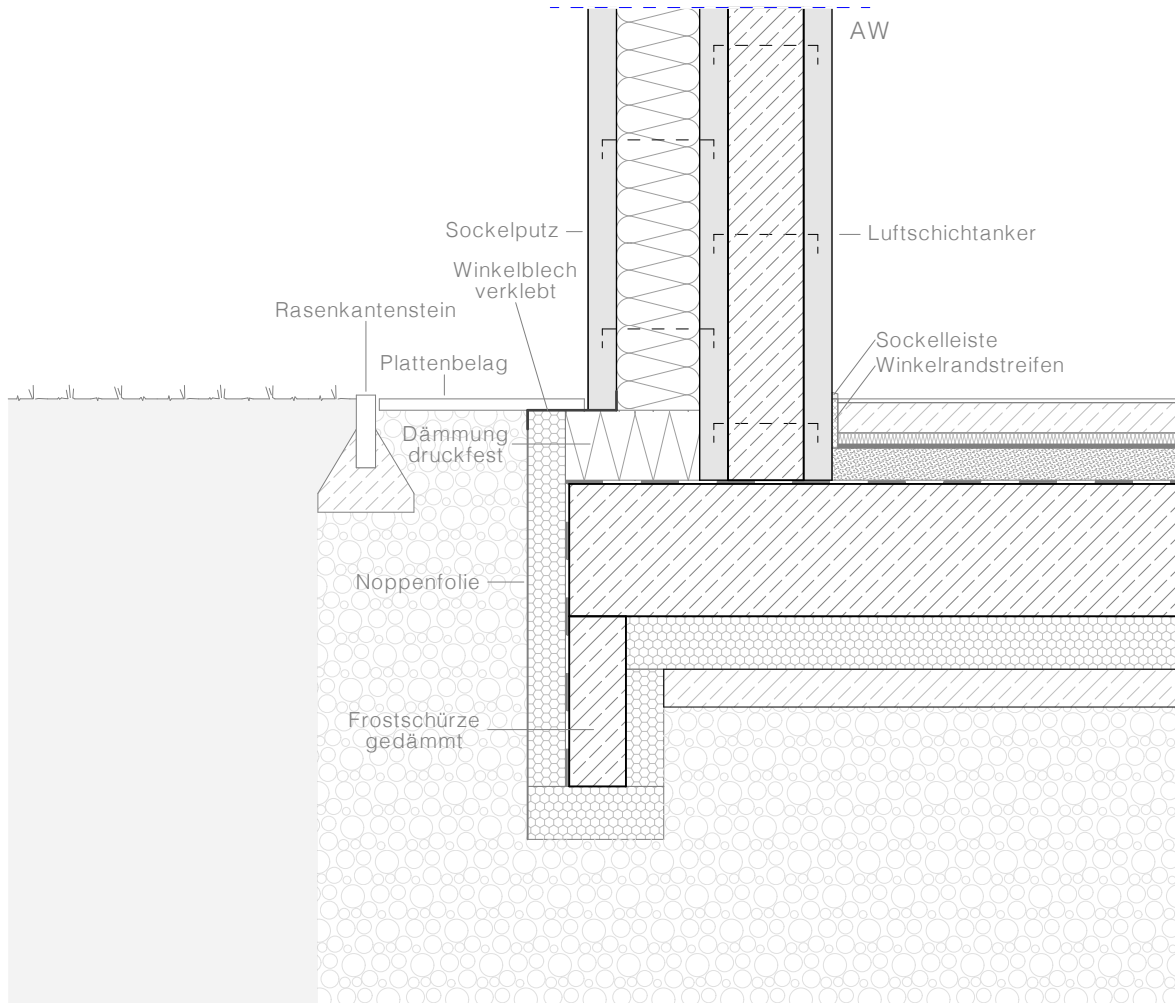


Abb. 91: Detail Verortung Schnitt | M 1.500

Detail 04 | M 1.20

Abb.92



DE 01	
Bodenbelag	1,00 cm
Zement- Heizestrich bewehrt, schwimmend verlegt	8,00 cm
PE-Folie, dampfsperrend	1,00 cm
Trittschalldämmung	3,00 cm
PE-Folie, dampfsperrend	1,00 cm
Installationsschüttung	8,50 cm
STB-Bodenplatte	35,00 cm
bituminöse Abdichtung 2-lagig	1,00 cm
XPS-Dämmplatten	14,00 cm
Sauberkeitsschicht	10,00 cm
Flies	-
Rollierung, Rundkies gewaschen, kapillarbrechende Schicht	-
Flies	-

## 4.16 ERGEBNISSE

Das zu Beginn angestrebte Ziel, Ressourcenschonung sowohl in der Planung als auch im darauffolgenden Bauprozess zu berücksichtigen, wurde in der vorliegenden Arbeit weitgehend erfüllt. Der nachfolgende Abschnitt beleuchtet, welche Aspekte umgesetzt werden konnten und wo die Systemgrenzen der additiven Fertigungsmethode dies nicht ermöglichten. Der ausgearbeitete Entwurf bietet eine Vielzahl an Gemeinschaftseinrichtungen. Die offen gestaltete Erdgeschosszone bietet Platz für eine Werkstatt und einen Partyraum mit Kochgelegenheit. Durch gezielte Entscheidungen wurde versucht, den Bedarf zusätzlicher unwirtschaftlicher Räumlichkeiten für z.B. temporär gegebene Situationen aus der privaten Wohnung auszulagern. Hierzu zählen zum einen die zwei Gästewohnungen, zum anderen aber auch der großzügige Co-Working-Space. Dem seit der Coronapandemie oft genutzten Homeoffice wird ein externer Platz im eigenen Wohngebäude geboten, der mit gemeinschaftlich genutzten Ressourcen ausgestattet ist. Eine Verschiebung der Öffentlichkeitsgrade ermöglicht die Auslagerung von temporär benötigten Räumlichkeiten. Durch gezielte Maßnahmen wurde bei diesem Projekt versucht, den Flächenverbrauch pro Kopf zu reduzieren. Bestimmte wohnungszugeordnete Flächen werden auf gemeinschaftliche Einrichtungen ausgelagert. Letztendlich wird pro Person eine private Wohnnutzfläche von 42,9 m<sup>2</sup> verbraucht.

Berücksichtigt man sämtliche gemeinschaftlich genutzten Räumlichkeiten, beträgt der Flächenverbrauch pro Person 44,7 m<sup>2</sup> – 5,7 m<sup>2</sup> weniger als der bundeslandweite Durchschnitt (Abb. 93). Der Co-Working-Bereich, dessen Arbeitsplätze auch extern vermietet werden können, ist dabei allerdings ausgenommen. Die durchschnittliche Wohnnutzfläche pro Person liegt in Kärnten bei 50,4 m<sup>2</sup> (vgl. Statistik Austria 2022b).

Neben der horizontalen Verdichtung wurde auch vertikal aufgestockt. Die durchschnittliche Bruttogrundfläche (vgl. ÖNORM B 1800) der angrenzenden Einfamilienhaussiedlung beträgt bei einer durchschnittlichen Haushaltsgröße von 2,21 Personen pro Privathaushalt in der Gemeinde Gmünd in Kärnten (vgl. Statistik Austria 2021) rund 80 m<sup>2</sup> pro Person. Beim Mehrfamilienhaus fallen dagegen bei einer durchschnittlich geplanten Haushaltsgröße von 2,5 Personen nur rund 17 m<sup>2</sup> pro Kopf an. Somit kann beim geplanten Wohnbau der Grad der Flächenversiegelung um ca. 75 % reduziert werden (Abb. 94). Die erschließenden Maßnahmen wie Straßen und Wege wurden in dieser Gegenüberstellung nicht berücksichtigt. Es wurde versucht, die Aspekte der Ressourceneffizienz auch in Bezug auf die Konstruktionsmethode auszuschöpfen. Durch die Annahme ein bewilligungsfähiges Gebäude zu planen, waren viele Randparameter bereits vorgegeben. Wie im vorherigen Kapitel (3.3.4) aufgezeigt, ist der Materialverbrauch zur Herstellung einer 3D-Druckwand mit der COBOD-Drucktechnologie derzeit noch um ein Vielfaches höher als bei einer herkömmlichen Betonwand. Die Möglichkeit der Designfreiheit wurde bei dieser Entwurfsaufgabe nicht ausgeschöpft. Um die Wohnfläche möglichst effizient nutzen zu können, wurde auf die Anwendung organischer Architektursprache verzichtet. Die Vorteile der Technologie können durch die horizontale Ausdehnung in eine Richtung genutzt werden. Gestalterische Entscheidungen wie die Planung zweier länglicher Riegel und die Ausnutzung der maximal möglichen Gebäudehöhe reduzieren die Vorhalte- und Anfahrtkosten. Der vorliegende Entwurf kann den Ansprüchen der Ressourcenschonung von der Planung bis hin zur Nutzung weitgehend erfüllen.

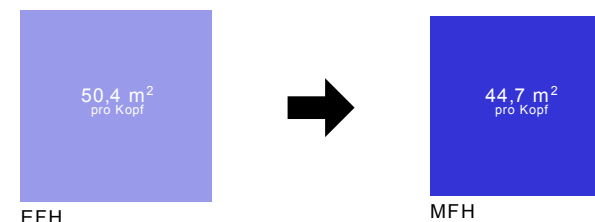


Abb. 93: Gegenüberstellung Wohnnutzfläche

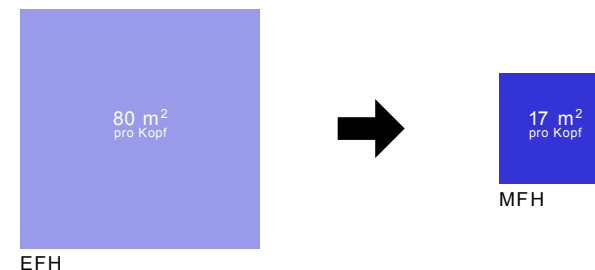


Abb. 94: Gegenüberstellung durchschnittliche Flächenversiegelung



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



## 5 CONCLUSIO



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

In dieser Arbeit wurde die Notwendigkeit für Veränderungen in der Architektur verdeutlicht, bedingt sowohl durch Ressourcenknappheit als auch sich wandelnde Ansprüche an Wohnräume. Sich verändernde Lebensformen verlangen neue Wohnformen. Dabei bieten gemeinschaftliche Wohnbauten eine Lösung für die aufkommenden Entwicklungen. Die Verlagerung von Öffentlichkeitsgrade lässt Räume für die Gemeinschaft entstehen. Maßgebend für die Funktion solcher Wohnbauten ist die Schaffung von Begegnungsräumen durch eine attraktive Ausgestaltung von erschließenden Maßnahmen und Gemeinschaftsräumen. Flexible und effiziente Grundrisse schaffen den nötigen Grad an Verdichtung. Auch in der Bauindustrie zeichnet sich ein Wandel ab. Die digitale Fertigung markiert einen Meilenstein in dieser Entwicklung. Neue Alternativen auf geforderte Veränderungen können geliefert werden.

Die vorliegende Arbeit ging der Frage nach:  
 „Wie kann ein Entwurf für den Bau von ressourceneffizientem Wohnbau mit Hilfe des 3D-Druckverfahrens realisiert werden?“

Zusätzlich zu einer Analyse der österreichischen Baukultur mit Fokus auf den ländlichen Raum werden auch die Einflussfaktoren untersucht, die zur Entstehung und Verbreitung von freistehenden Einfamilienhäusern beitragen. Als alternative Wohnform wird in dieser Arbeit das Wohnen in Gemeinschaft analysiert und in weiterer Folge in einem Entwurf umgesetzt.

Weiteres wird die innovative Fertigungsmethode, der 3D-Druck im Bauwesen, analysiert. Dabei wird der Stand der Technik ausführlich beschrieben. Die Analyse ausgeführter Referenzprojekte zeigt Potenziale und Systemgrenzen der additiven Fertigungsmethode auf. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurden grundlegende Entwurfsentscheidungen getroffen.

Das Ziel, einen ressourceneffizienten Wohnbau im 3D-Druckverfahren zu planen, konnte zum Teil erreicht werden. Gezielte Entwurfsentscheidungen konnten die durchschnittliche Wohnnutzfläche, wie auch den Versiegelungsgrad pro Kopf reduzieren. Vertikale Verdichtung konnte durch Mehrgeschossigkeit erreicht werden. Nach heutigem Forschungsstand können die Potenziale durch die gewählte Bauweise im Moment allerdings weder im Wohnbau noch allgemein vollständig ausgeschöpft werden.

Die Bauzeit kann mit der neuen Technologie, zumindest ohne hinzurechnen der notwendigen Aushärtezeiten, reduziert werden. Mit Stand heute kann bei der Konstruktionstechnologie COBOD keine Materialersparnis erzielt werden. Vielmehr wird der Bedarf an Material im Verhältnis zu herkömmlichen Bauweisen erhöht. Da es noch keine baureife Lösung für eine integrierte Bewehrung, oder die Einbindung von Fasern gibt, dienen die 3D-Druckbahnen derzeit lediglich als verlorene Schalung. Im Labor werden bereits alternative Drucktechnologien und -ansätze entwickelt. Grundsätzlich kann das Potenzial der Technologie in Breitengraden, deren klimatische Bedingungen keine Wärmedämmung erfordern, effektiver genutzt werden. Dadurch entsteht kein zusätzlicher manueller Mehraufwand für die Anbringung der Dämmung, bzw. ist keine zusätzliche Druckbahn erforderlich, um die Einblasdämmung zu integrieren.

Das derzeit bewilligungsfähige Druckmaterial Trockenmörtel hat einen hohen Anteil an Zement und Zuschlagstoffen. Somit fällt die Ökobilanz schlechter als bei herkömmlichem Beton aus. Die durchgeführte Wirtschaftlichkeitsuntersuchung hat ein hohes Kosteneinsparungspotential bei den Lohnkosten ergeben. Die Untersuchungen zeigen, dass von der Planung bis hin zum Bau eines Gebäudes mittels 3D-Druck Vorteile und auch Nachteile entstehen. Eine Ressourcenschonung ist nach heutigem

Forschungsstand (September 2023) teilweise möglich. Der hohe Materialverbrauch wird bereits durch andere technologische Ansätze versucht zu reduzieren. Hinsichtlich des Fachkräftemangels, der Designfreiheit und der seriellen Fertigung kann die 3D-Druckbauweise ein zielführender Lösungsansatz sein. Die Entwicklung geeigneter Zertifizierungsverfahren, angepasster Bauvorschriften und möglicher Implementierungen von Bewehrungsstrukturen kann zur Marktfähigkeit der additiven Fertigung beitragen. Die digitale Fertigungsmethode hat hohes Potential, zur Bewältigung aufkommender Herausforderungen in der Baubranche beizutragen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 6 VERZEICHNISSE

## 6.1 Literaturverzeichnis

Allplan: Mense-Korte: Disruptive Technologie 3D-Betondruck (2023a), online, URL: <https://blog.allplan.com/de/disruptive-technologie-3d-betondruck> [14.08.2023].

Allplan: Server-Hotel Heidelberg: 3D-Druck trifft erstmals Industriebau (2023b), online, URL: <https://blog.allplan.com/de/server-hotel-heidelberg> [15.08.2023].

Allplan: Deutschlands erste 3D-gedrucktes Haus ist fertig! (2021), online, URL: <https://blog.allplan.com/de/deutschlands-erstes-3d-gedrucktes-haus-ist-fertig> [14.08.2023].

Arendt, Hannah: Vita activa, München, 1981, S. 57.

Altmeyden, Klaus-Dieter u.a.: Nachhaltigkeit in Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Interdisziplinäre Perspektiven, Eichstätt, 2017.

Baunetz: Aus dem 3D-Drucker. Wohnhaus in Beckum von Mense-Korte ingenieure+architekten (2022), online, URL: [https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Wohnhaus\\_in\\_Beckum\\_von\\_Mense-Korte\\_ingenieure\\_architekten\\_7926836.html](https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Wohnhaus_in_Beckum_von_Mense-Korte_ingenieure_architekten_7926836.html) [14.08.2023].

Bachl: Bachl HY Perlit Dämmschüttung (2017), online, URL: [https://www.energiesparverband.at/fileadmin/esv/Broschueren/Oekologische\\_Daemstoffe.pdf](https://www.energiesparverband.at/fileadmin/esv/Broschueren/Oekologische_Daemstoffe.pdf) [28.10.2022].

Becker, Annette/Kienbaum, Laura/Ring,Kristien/Cachola Schmal, Peter: Bauen und Wohnen in Gemeinschaft, Basel, 2015, S. 8-15.

Brönnimann, Gabriel: Die Politik behandelt den Boden wie Joghurt, Interview mit Jacqueline Badran, in: Gerber, Brigitta/Kriese, Ulrich (Hrsg.): Boden behalten – Stadt gestalten, Zürich, 2019, S. 22-30.

Bundeskantleramt: Baukulturelle Richtlinien des Bundes (2017), online, URL: <https://www.bmkoes.gv.at/Kunst-und-Kultur/baukultur/Baukulturpolitik/Baukulturelle-Bewusstseinsbildung.html> [2023-04-20].

BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.): BKI Neubau Baupreise kompakt 2023. Statistische Baupreise für Positionen mit Kurztiteln, Stuttgart, 2022.

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (01.06.2022), online, URL: <https://www.bmu.de/jugend/wissen/details-nachhaltigkeit-in-der-baubranche-eine-grossbaustelle-1#:~:text=Die%20Bauindustrie%20verarbeitet%20laut%20Umweltbundesamt,wichtiger%20Baustoff%20für%20die%20Bauindustrie> [26.08.2023].

COBOD: BOD2. Specifications (2020a), online, URL: <https://cobod.com/wp-content/uploads/2020/09/BOD2-Specifications-1.pdf> [11.06.2023].

COBOD: BOD2. The fastest and most flexible 3DCP printer globally (2020b), online, URL: <https://cobod.com/wp-content/uploads/2020/05/BOD2-Brochure.pdf> [11.06.2023].

De Schutter, Geert u.a.: Vision of 3D printing with concrete. Technical economic and environmental potentials, in: Cement and Concrete Research, 112, 2018, S. 25-26.

Dietrich, Jörg: Das größte 3D-gedruckte Gebäude Europas entsteht in Heidelberg (2023a), online, URL: [https://www.peri3dconstruction.com/\\_files/ugd/de7a99\\_407ab307c85048fe95373f2bd1719b1b.pdf](https://www.peri3dconstruction.com/_files/ugd/de7a99_407ab307c85048fe95373f2bd1719b1b.pdf) [16.08.2023].

Dietrich, Jörg: im Interview: Nach nur 140 Stunden. Europas größtes gedrucktes Gebäude in Heidelberg fast fertig (2023b), in: Heidelberg24, online, URL: <https://www.heidelberg24.de/baden-wuerttemberg/bauen-kraus-peri->

europas-groesstes-gebaeude-3d-drucker-heidelberg-materials-spezial-beton-zr-92237651.html [16.08.2023].

DIN 18299: Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art (09.2019), 2019.

DIN 18331: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Betonarbeiten (09.2019), 2019.

Dix, Daniel: Kalkulation im Schlüsselfertigbau leicht gemacht. Stahlbedarfsfaktoren für den Hochbau, Hamburg, 2010, S. 215-218.

Fastermann, Petra: 3D-Drucken. Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert, 2. Auflage, Berlin, 2016.

Fritz, Alfred Herbert/Schmütz, Jörg (Hrsg.): Fertigungstechnik, 13. Auflage, Berlin, 2022.

Furite: A Glossary of 23 simple Terms associated with 3D Printing (14.08.2016), online, URL: <http://www.furite.in/blog/glossary-23-terms-of-3d-printing> [10.06.2023].

Gebhardt, Andreas: Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion, 5. Auflage, München, 2016.

Goldmann, Marion: Betondruck – Deutschlands erstes Wohnhaus aus dem 3D-Drucker (2021), in: Deutsches Architektenblatt, online, URL: <https://www.dabonline.de/2020/11/26/haus-3d-drucker-betondruck-deutschlands-erstes-wohnhaus-gedruckt-beckum-beton-peri/> [16.08.2023].

IAAC: World's first 3D Printed Bridge opens in Spain, in: archdaily, online, URL: <https://www.archdaily.com/804596/worlds-first-3d-printed-bridge-opens-in-spain> [04.06.2023].

Kasper, Birgit: Gemeinschaftliche Wohnprojekte – der soziale Aspekt, in: Becker, Annette/Kienbaum, Laura/Ring, Kristien/Cachola Schmal, Peter: Bauen und Wohnen in Gemeinschaft, Basel, 2015, S. 16-21.

Krajasits, Cornelia: 13. Raumordnungsbericht. Rahmenbedingungen und Trends der räumlichen Entwicklung Österreichs (2012), online, URL: [https://www.oerok.gv.at/fileadmin/user\\_upload/Bilder/2.Reiter-Raum\\_u.\\_Region/2.Daten\\_und\\_Grundlagen/ROB/13.\\_ROB\\_Rahmen\\_\\_\\_Trends\\_Zusammenfassung\\_fin\\_DB.pdf](https://www.oerok.gv.at/fileadmin/user_upload/Bilder/2.Reiter-Raum_u._Region/2.Daten_und_Grundlagen/ROB/13._ROB_Rahmen___Trends_Zusammenfassung_fin_DB.pdf) [20.04.2023].

KrausGruppe: Presseinformation. Die Krausgruppe errichtet gemeinsam mit PERI 3D Construction und Heidelberg Materials Europas größtes Gebäude im 3D-Druck-Verfahren (26.04.2023), online, URL: [https://www.kraus-heidelberg.de/wp-content/uploads/2023/04/Pressemitteilung\\_Statements-26\\_04\\_2023-Europas-groesstes-3D-gedrucktes-Gebaeude\\_v3.pdf](https://www.kraus-heidelberg.de/wp-content/uploads/2023/04/Pressemitteilung_Statements-26_04_2023-Europas-groesstes-3D-gedrucktes-Gebaeude_v3.pdf) [15.08.2023].

Kraus, Hans-Jörg: im Interview: Europas größtes 3D-gedrucktes Gebäude. Blitzbau ohne Personal (2023), online, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=c9SPYfyX6oM> [16.08.2023].

Kirchgeorg, Manfred: Gut (19.02.2018), online, URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/gut-36114/version-259579> [18.04.2023].

Land Kärnten: Baulandmodell Grünleiten wird erweitert (2018), online, URL: <https://www.ktn.gv.at/Service/News?nid=28098> [11.09.2022].

Lim, S. u.a.: Developments in construction. Scale additive manufacturing processes, in: Automation in Construction, 21, 2012, S. 262-268.

Mayer, Karoline: oder warum Boden kein Joghurt ist, in: Mayer, Karoline/Ritter, Katharina/Fitz, Angelika, Architekturzentrum Wien (Hrsg.): Boden für alle, Wien, 2020, S. 63-83.

Mechtcherine, Viktor u.a.: 3D-gedruckte monolithische Stahlbetonwände im CONPrint3D-reinforced Verfahren, in: Beton- und Stahlbetonbau, 117, 4/2022, S. 235-244.

Mechtcherine, Viktor u.a.: Digitaler Betonbau durch additive Verfahren – Sachstand und Forschungsbedarf, in: Beton- und Stahlbetonbau, 116, 11/2021, S. 881-900.

Mechtcherine, Viktor/Nerella, Venkatesh Naidu: Beton-3D-Druck durch selektive Ablage, in: Beton- und Stahlbetonbau, 114, 1/2019, S. 24-32.

Mechtcherine, Viktor/Nerella, Venkatesh Naidu: Integration der Bewehrung beim 3D-Druck mit Beton, in: Beton- und Stahlbetonbau, 113, 7/2018, S. 496-504.

Mechtcherine, Viktor/Nerella, Venkatesh Naidu/Knut, Kasten: Testing pumpability of concrete using Sliding Pipe Rheometer, in: Construction and Building Materials, 53, 2014, S. 312-323.

Mense-Korte ingenieure + architekten: Erstes 3D-Wohnhaus in Deutschland (2023a), online, URL: <https://mense-korte.de/3d-gebaeuedruck/#3dhaus> [14.08.2023].

Mense-Korte architekten: The Serverhotel in Heidelberg (2023b), online, URL: [https://www.instagram.com/mense\\_korte\\_architekten/](https://www.instagram.com/mense_korte_architekten/) [16.08.2023].

Mense-Korte ingenieure + architekten: Fotos. Begleiten Sie den Druckprozess (o.D.), online, URL: <https://mense-korte.de/3d-gebaeuedruck/fotos-videos/#3dfotos> [15.08.2023].

Meyer-Brötz, Fabian; im Interview: Nach nur 140 Stunden.

Europas größtes gedrucktes Gebäude in Heidelberg fast fertig (2023a), in: Heidelberg24, online, URL: <https://www.heidelberg24.de/baden-wuerttemberg/bauen-kraus-peri-europas-groesstes-gebaeude-3d-drucker-heidelberg-materials-spezial-beton-zr-92237651.html> [16.08.2023].

Meyer-Brötz, Fabian: Das größte 3D-gedruckte Gebäude Europas entsteht in Heidelberg (26.04.2023b), online, URL: [https://www.peri3dconstruction.com/\\_files/ugd/de7a99\\_407ab307c85048fe95373f2bd1719b1b.pdf](https://www.peri3dconstruction.com/_files/ugd/de7a99_407ab307c85048fe95373f2bd1719b1b.pdf) [16.08.2023].

Näther, Mathias u.a.: Beton-3D-Druck. Machbarkeitsuntersuchungen zu kontinuierlichen und schalungsfreien Bauverfahren durch 3D-Formung von Frischbeton (22.02.2017), online, URL: <https://www.baufachinformation.de/mobil/forschungsbericht/Beton-3D-Druck-Machbarkeitsuntersuchungen-zu-kontinuierlichen-und-schalungsfreien-Bauverfahren-durch-3D-Formung-von-Frischbeton/248293> [29.05.2023].

Nerella, V. N./Näther, M./Iqueal, A./Butler, M./Mechtcherine, V.: Inline quantification of extrudability of cementitious materials for digital construction (2019), online, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.015> [08.08.2023].

Nerella, Venkatesh Naidu/Hempel, Simon/Mechtcherine, Viktor: Micro- and Macroscopic investigations on the interface between layer of 3D-printed cementitious elements (06.09.2017), online, URL: <https://www.researchgate.net/publication/319504633> [10.06.2023].

Oberndorfer: Spannbeton-Hohlplatten Bemessung Oberndorfer (2023), online, URL: <http://www.vs-west.at/app/vsdOBW.html> [10.05.2023].

Oberösterreichischer Energieverband: Umweltfreundlich gedämmt, ökologische Dämmstoffe (2022), online, URL: [https://www.energiesparverband.at/fileadmin/esv/Broschueren/Oekologische\\_Daemmstoffe.pdf](https://www.energiesparverband.at/fileadmin/esv/Broschueren/Oekologische_Daemmstoffe.pdf) [28.10.2022].

Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB Richtlinie 2. Schallschutz (2019), online, URL: [https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie\\_2\\_12.04.19\\_0.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_2_12.04.19_0.pdf) [12.10.2022].

Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB Richtlinie 5. Schallschutz (2019), online, URL: [https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie\\_5\\_12.04.19\\_0.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_5_12.04.19_0.pdf) [12.10.2022].

Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz (2019), online, URL: [https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie\\_6\\_12.04.19\\_1.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_12.04.19_1.pdf) [12.10.2022].

ORF: Österreicher mit Wohnsituation zufrieden (10.03.2020), online, URL: <https://oesterreich.orf.at/stories/3038357/> [20.04.2023].

Österreichisches Normeninstitut: Additive Fertigung – Grundlagen. Teil 2: Überblick über Prozesskategorien und Ausgangswerkstoffe, Wien, 2017.

Österreichisches Normeninstitut: Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken und zugehörigen Außenanlagen, Wien, 2013.

Otto, Jens/Kortmann, Jan/Krause, Martin: Wirtschaftliche Perspektiven von Beton-3D-Druckverfahren, in: Beton- und Stahlbetonbau, online, doi: <https://doi.org/10.1002/best.201900087> [11.06.2023].

Otto, Jens/Krause, Martin: CONPrint3D: 3D-Druck als Innovation im Betonbau (01.2017), online, URL: [https://www.researchgate.net/publication/335652650\\_CONPrint3D\\_R\\_3D-Druck\\_als\\_Innovation\\_im\\_Betonbau](https://www.researchgate.net/publication/335652650_CONPrint3D_R_3D-Druck_als_Innovation_im_Betonbau) [04.06.2023].

PERI: Das größte 3D-gedruckte Gebäude Europas entsteht in Heidelberg (26.04.2023), online, URL: [https://www.peri3dconstruction.com/\\_files/ugd/de7a99\\_407ab307c85048fe95373f2bd1719b1b.pdf](https://www.peri3dconstruction.com/_files/ugd/de7a99_407ab307c85048fe95373f2bd1719b1b.pdf) [16.08.2023].

PERI: Die 3D-Druck Technologie. Die Revolution im Bau (13.04.2022), online, URL: <https://www.peri3dconstruction.com/post/die-3d-druck-technologie> [11.06.2023].

PERI: Bauen neu gedacht. 3D-Betondruck (01.2021), online, URL: [https://www.baulinks.de/bkd\\_file/peri/PERI\\_aktuell\\_Bauindustrie\\_2021\\_25052022.pdf](https://www.baulinks.de/bkd_file/peri/PERI_aktuell_Bauindustrie_2021_25052022.pdf) [11.06.2023].

PERI: 3D-Betondruck (o.D.1), online, URL: <https://www.peri.com/de/geschaeftsfelder/3d-betondruck1.html> [11.06.2023].

PERI: Betontechnologie 3D-Drucker. COBOD BOD2 3D-Drucker (o.D.2), online, URL: <https://www.peri3dconstruction.com/technology> [11.06.2023].

Perrot, Arnaud/Rangeard, Damien/Mélinge, Yannick: prediction of the ram extrusion force of cement-based materials, in: Applied Rheology, 24, 5/2014, S. 1-7.

Plattform Baukultur: Baukultur in Österreich – ein Rückblick, in: Österreichischer Baukulturreport, 2011, S. 8-17.

Plattform Baukultur: Teil II – Chancen, Risiken, Ziele und Strategien. Festlegung von Kriterien gelungener Baukultur, in: Dritter Österreichischer Baukulturreport. Szenarien und Strategien 2050, 2017, S. 115.

Plattform Baukultur: Teil 4 – Baukultur konkret. Der Weg zur Agentur für Baukultur, in: Vierter Baukulturreport, 2021.

Plümecke, Karl: Preisermittlung für Bauarbeiten, Köln, 2017, S. 288ff.

Reinhardt, J. u.a.: Ganzheitliche Bewertung von verschiedenen Dämmstoffalternativen (2019), online, URL: [https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Bericht-Daemmstoffe\\_23032020.pdf](https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Bericht-Daemmstoffe_23032020.pdf) [24.10.2022].

Rudenko, Andrey: construction 3D printed castle in Minnesota (28.08.2014), online, URL: <https://www.designboom.com/technology/3d-printed-concrete-castle-minnesota-andrey-rudenko-08-28-2014/> [04.06.2023].

Salzburger Nachrichten: Homeoffice-Wohnungen haben mehr Räume (09.12.2021), online, URL: <https://www.sn.at/wirtschaft/oesterreich/homeoffice-wohnungen-haben-mehr-raeume-113756068> (19.03.2023).

Schach, Rainer u.a.: CONPrint3D. Beton-3D-Druck als Ersatz für den Mauerwerksbau, in: Bauingenieur, 92, 9/2017, S. 353-363.

Scheydt, Jennifer: Betondruck – Deutschlands erstes Wohnhaus aus dem 3D-Drucker (2021), in: Deutsches Architektenblatt, online, URL: <https://www.dabonline.de/2020/11/26/haus-3d-drucker-betondruck-deutschlands-erstes-wohnhaus-gedruckt-beckum-beton-peri/> [16.08.2023].

Schmid, Susanne: Typologie des gemeinschaftlichen Wohnens. Oder wie gemeinschaftliches Wohnen als Reflektor der Gesellschaft dient, in: Holm, Andrej/Laimer, Christoph (Hrsg.): Gemeinschaftliches Wohnen und selbstorganisiertes Bauen, Wien, 2021, S. 167-178.

Schmid, Susanne/Eberle, Dietmar/Hugentobler, Margit: Wandel der Organisationsstrukturen des Wohnens, in: ebd. (Hrsg.): Eine Geschichte des gemeinschaftlichen Wohnens. Modelle des Zusammenlebens, Basel, 2019, S. 28-33.



Seiß, Reinhard: Raumordnung. Politische Aspekte der Siedlungsentwicklung, in: Baukulturreport 1, 2006, Heft 4, S. 37-50.

Statistik Austria: Wohnsituation. Ergebnisse im Überblick – Wohnsituation (2023), online, URL: <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/wohnen/wohnsituation> [12.04.2023].

Statistik Austria: Anteil der Rechtsverhältnisse nach Bundesland 2021 – in Prozent (2022a), online, URL: <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/wohnen/wohnsituation> [12.04.2023].

Statistik Austria: Wohnen. Zahlen, Daten und Indikatoren der Wohnsituation (2022b), online, URL: <https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Wohnen-2021.pdf> [12.04.2023].

Statistik Austria: Immobiliendurchschnittspreise (2022c), online, URL: <https://www.statistik.at/statistiken/volkswirtschaft-und-oeffentliche-finanzen/preise-und-preisindizes/immobilien-durchschnittspreise> [14.08.2023].

Statistik Austria: Privathaushalte (2021), online, URL: <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/familien-haushalte-lebensformen/privathaushalte> [27.08.2023].

Strabag AG: Strabag setzt mit Peri Österreichs erste Gebäude aus dem 3D-Drucker um (2021), online, URL: [https://www.strabag.com/databases/internet/\\_public/content.nsf/web/1CCF5D26192DCE1DC125877C002EBCC5](https://www.strabag.com/databases/internet/_public/content.nsf/web/1CCF5D26192DCE1DC125877C002EBCC5) [14.08.2023].

Strabag AG: Grundlage Ausführungspläne Bürogebäude Hausleiten (2022), per Mail.

Tancic, Matjaz: interesting - chinese company 3d prints house (20.04.2015), online, URL: <https://autproductdesign.wordpress.com/2015/04/20/interesting-chinese-company-3d-prints-house/> [04.06.2023].

Temel, Robert: Neue Wohnformen sind gefragt, in: Mayer, Karoline/Ritter, Katharina/Fitz, Angelika, Architekturzentrum Wien (Hrsg.): Boden für alle, Wien, 2020, S. 194-201.

TU Dresden – Institut für Baustoffe: CONPrint3D-Druckkopf (02.06.2021), online, URL: <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/ibb/forschung/beton-3d-druck> [04.06.2023].

Uhrig: Bauelemente und Häuser aus dem Drucker (2021), online, URL: <https://www.uhrig-bau.eu/lexikon/3d-druck-im-bauwesen/> [04.03.2023].

Umweltbundesamt: Flächeninanspruchnahme (2022), online, URL: <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/flaecheninanspruchnahme> [20.04.2023].

Umweltbundesamt: Kreislaufwirtschaft im Bausektor (12.05.2021), online, URL: <https://www.umweltbundesamt.at/news210512> [20.04.2023].

Ursa: Dämmung von Außenwänden (2019), online, URL: <https://www.ursa.de/de-de/produkte/Documents/BR-geo-aussenwand.pdf> [27.10.2022].

WKO: Baukostenveränderung 2017-2023, online, URL: <https://www.preisumrechnung.at> [08.08.2023].

Wohnfond Wien: SMART-Wohnbauprogramm (2022), online, URL: <http://www.wohnfonds.wien.at/media/Website%20PDF-INFO%20Downloads/Neubau/SMART-Wohnbauprogramm.pdf> [17.08.2023].

## 6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 01: Zersiedelung, eigene Darstellung.
- Abb. 02: Baugrundstückspreise im Vergleich, eigene Darstellung; Daten: Statistik Austria 2022c.
- Abb. 03: Bauflächenvergleich Kärnten, eigene Darstellung; Daten: Umweltbundesamt 2021b.
- Abb. 04: durchschnittliche Wohnfläche, eigene Darstellung; Daten: Statistik Austria 2022b.
- Abb. 05: Haushaltsgrößen im Vergleich, eigene Darstellung; Daten: Statistik Austria 2022b.
- Abb. 06: Konzept Wohnen in Gemeinschaft, eigene Darstellung.
- Abb. 07: Druckkopf mit hoher Formänderung, eigene Darstellung; basierend auf: Rudenko 2014.
- Abb. 08: Druckkopf mit geringer Formänderung, eigene Darstellung; basierend auf: TU Dresden 2021.
- Abb. 09: Prozesskette der Datenverarbeitung, eigene Darstellung; basierend auf: Schach 2017.
- Abb. 10: Slicing, eigene Darstellung; basierend auf: Futurite 2016.
- Abb. 11: CONPrint3D Konzept, eigene Darstellung; basierend auf: TU Dresden 2021.
- Abb. 12: CONPrint3D Druckkopf, eigene Darstellung; basierend auf: Nerella 2017.
- Abb. 13: BOD2 Portaldrucker, eigene Darstellung; basierend auf: PERI o.D.1.
- Abb. 14: BOD2 Druckkopf, eigene Darstellung; basierend auf: PERI o.D.3.
- Abb. 15: Referenzwand, eigene Darstellung.
- Abb. 16: Verortung Referenzprojekte, eigene Darstellung.
- Abb. 17: symbolischer Grundriss Einfamilienhaus | M 1.100, eigene Darstellung; basierend auf: Mense-Korte 2023a.
- Abb. 18: EFH Wandaufbau Außenwand | M 1.20, eigene Darstellung; basierend auf: Mense-Korte 2023a.
- Abb. 19: EFH Wandaufbau Innenwand | M 1.20, eigene Darstellung; basierend auf: Mense-Korte 2023a.
- Abb. 20: symbolischer Grundriss Bürogebäude | M 1.100, eigene Darstellung; basierend auf: Strabag 2022.
- Abb. 21: Bürogebäude Wandaufbau Außenwand | M 1.20, eigene Darstellung; basierend auf: Strabag 2022.
- Abb. 22: Bürogebäude Wandaufbau Innenwand | M 1.20, eigene Darstellung; basierend auf: Strabag 2022.
- Abb. 23: symbolischer Grundriss Serverhotel | M 1.250, eigene Darstellung; basierend auf: KrausGruppe 2023.
- Abb. 24: Serverhotel Wandaufbau Außenwand | M 1.20, eigene Darstellung; basierend auf: Mense-Korte 2023b.
- Abb. 25: Schwarzplan | M 1.5 000, eigene Darstellung.
- Abb. 26: Entwurfskonzept, eigene Darstellung.
- Abb. 27: Konzept Verdichtung, eigene Darstellung.
- Abb. 28: Schwarzplan neu | M 1.5 000, eigene Darstellung.
- Abb. 29: 3D-Druck-System, eigene Darstellung.
- Abb. 30: Rastersystem, eigene Darstellung.
- Abb. 31: Erschließungssystem, eigene Darstellung.
- Abb. 32: Erschließungssystem, eigene Darstellung.
- Abb. 33: Freiraumkonzept | M 1.2000, eigene Darstellung.
- Abb. 34: Erschließung, eigene Darstellung.
- Abb. 35: Loggia | Eingangsbereich, eigene Darstellung.
- Abb. 36: Loggia privat, eigene Darstellung.
- Abb. 37: Dachgarten, eigene Darstellung.
- Abb. 38: Außenbereich, eigene Darstellung.
- Abb. 39: Wohnungstypen Verortung | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 40: Wohnungstypen | M 1.100, eigene Darstellung.
- Abb. 41: Verortung Wohnungstyp A | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 42: Wohnungstyp A | M 1.100, eigene Darstellung.
- Abb. 43: Verortung Wohnungstyp B | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 44: Wohnungstyp B | M 1.100, eigene Darstellung.
- Abb. 45: Verortung Wohnungstyp C | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 46: Wohnungstyp C | M 1.100, eigene Darstellung.
- Abb. 47: Verortung Wohnungstyp C\* | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 48: Wohnungstyp C\* | M 1.100, eigene Darstellung.
- Abb. 49: Verortung Wohnungstyp C | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 50: Wohnungstyp C | M 1.100, eigene Darstellung.
- Abb. 51: Verortung Gemeinschaftsräume Erdgeschoss | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 52: Erdgeschoss Zoom | M 1.200, eigene Darstellung.
- Abb. 53: Verortung Gemeinschaftsräume RG | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 54: Regelgeschoss Zoom | M 1.200, eigene Darstellung.
- Abb. 55: Verortung Gemeinschaftsräume Dachgeschoss | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 56: Dachgeschoss Zoom | M 1.200, eigene Darstellung.
- Abb. 57: Verortung Co-Working-Space Erdgeschoss | M 1.1500, eigene Darstellung.
- Abb. 58: Coworking Space Zoom | M 1.200, eigene Darstellung.
- Abb. 59: Erdgeschoss | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 60: Regelgeschoss | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 61: Dachgeschoss | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 62: Dachdraufsicht | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 63: Schnitt A | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 64: Schnitt B | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 65: Ansicht Nord | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 66: Ansicht Ost | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 67: Ansicht Süd | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 68: Ansicht West | M 1.500, eigene Darstellung.
- Abb. 69: Ansicht Zoom Loggia privat | M 1.100, eigene Darstellung.
- Abb. 70: Ansicht Zoom Innenhof | M 1.100, eigene Darstellung.
- Abb. 71: Geländeschnitt A | M 1.2000, eigene Darstellung.
- Abb. 72: Geländeschnitt B | M 1.2000, eigene Darstellung.
- Abb. 73: Lageplan | M 1.2000, eigene Darstellung.
- Abb. 74: Rendering I, eigene Darstellung.
- Abb. 75: Rendering II, eigene Darstellung.
- Abb. 76: Rendering III, eigene Darstellung.
- Abb. 77: Konstruktion Axonometrie, eigene Darstellung.
- Abb. 78: Druckprozess Detaildarstellung | M 1.200 | M 1.70, eigene Darstellung.
- Abb. 79: Tragsystem Übersicht | M 1.500, eigene Darstellung.

Abb. 80: Tragwerksplan Ausschnitt I | M 1.200, eigene Darstellung.

Abb. 81: Tragwerksplan Ausschnitt II | M 1.200, eigene Darstellung.

Abb. 82: Wandtypen Verortung | M 1.500, eigene Darstellung.

Abb. 83: Detail Außenwand | M 1.20, eigene Darstellung.

Abb. 84: Detail Trennwand | M 1.20, eigene Darstellung.

Abb. 85: Detail Trennwand | M 1.20, eigene Darstellung.

Abb. 86: Detail Innenwand | M 1.20, eigene Darstellung.

Abb. 87: Detail 01 | M 1.20, eigene Darstellung.

Abb. 88: Detail 02 | M 1.20, eigene Darstellung.

Abb. 89: Detail Verortung Grundriss | M 1.500, eigene Darstellung.

Abb. 90: Detail 03 | M 1.20, eigene Darstellung.

Abb. 91: Detail Verortung Schnitt | M 1.500, eigene Darstellung.

Abb. 92: Detail 04 | M 1.20, eigene Darstellung.

Abb. 93: Gegenüberstellung Wohnnutzfläche, eigene Darstellung.

Abb. 94: Gegenüberstellung durchschnittliche Flächenversiegelung, eigene Darstellung.

## 6.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 01: Herstellkosten Stahlbeton-Wand, eigene Tabelle

Tab. 02: Herstellkosten Beton-3D-Druck-Wand

Tab. 03: Eckdaten Einfamilienhaus, eigene Darstellung;

Quellenangabe: siehe Anhang.

Tab. 04: Eckdaten Bürogebäude, eigene Darstellung;

Quellenangabe: siehe Anhang.

Tab. 05: Eckdaten Serverhotel, eigene Darstellung;

Quellenangabe: siehe Anhang.

Tab. 06: Vergleich Referenzprojekte, eigene Darstellung;

Quellenangabe: siehe Anhang.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 7 ANHANG

## Anhang 1 Interview Strabag | Peri

Experteninterview zur Thematik „3D-Druck im Bauwesen“ mit Bezug auf das 3D gedruckte Referenzprojekt das Bürogebäude in Hausleiten.

Interviewpartner: Herr Gottfried Luger (Strabag SE), Herr C. L. (Strabag SE), Herr Simon Kerschner (Peri GmbH)

Datum: 03.06.2022, 10 Uhr

Ort: online

X = Interviewerin, Jennifer Zweibrot

**X:** Ich möchte mich zuerst herzlich bedanken, dass Sie sich Zeit genommen haben, für ein Interview mit mir. Kurz zu meiner Person: Ich heiße Jennifer Zweibrot und studiere Architektur an der TU Wien. Meine Diplomarbeit behandelt einen Wohnbau und zwar möchte ich diesen nicht mit der einer herkömmlichen Bauweise planen, sondern mit der digitalen Fertigungsmethode dem 3D-Druck, für Forschungszwecke. Ganz allgemein: Wie kam es zur Entscheidung ein Gebäude im 3D-Druckverfahren zu drucken?

**LG:** Wenn ich jetzt für die Strabag sprechen darf: Geplant war ursprünglich, völlig konventionell bis hin zu den billigsten Lösungen einer Blechcontaineranlage. Irgendwann hat sich dann der Vorstand eingeschaltet und man ist gemeinsam auf die Idee gekommen, reden wir nicht immer nur von Innovation und von digitalisieren, sondern machen es mal. Und so ist es dann eigentlich zur Umsetzung gekommen, eine „Anlage“ für vier Büroeinheiten, 150 m<sup>2</sup> in 3D-Druck-Verfahren/Betondruckverfahren herzustellen. So war die Entscheidungsfindung, so ist es zur Realisierung gekommen. Ein Forschungsprojekt im Hause Strabag gemeinsam mit Peri und Lafarge damit man mal sieht,

was passiert da überhaupt in der Praxis.

**KS:** Dem ist nichts hinzuzufügen.

**X:** Natürlich bietet jede Bauweise Vor- und Nachteile. Es gibt dann den Vorteil, z.B. beim 3D-Druck, dass es sehr schnell gefertigt werden kann, das habe ich zumindest gehört. Wie ist das dann in der Praxis. Also welche Vor- und Nachteile zeichnen sich da ab?

**KS:** Also wenn ich mir dann die nächste Frage schnappen dürfte. Also ein ganz klarer Vorteil ist natürlich die Formfreiheit, die sich dadurch ergibt. Meiner Meinung nach der größte Vorteil. Man kann eben Prototypen bauen, eben formenfrei. Man braucht für diese freien Formen keine weiteren Sonderschalungen, das ist sicher der größte Vorteil. Zu den Nachteilen: Sie haben angesprochen, das Thema Produktionsgeschwindigkeit. Produktionsgeschwindigkeit gibt es einen weiten und einen engen Begriff. Der enge Begriff sind diese Zahlen, die da herumgeschwirrt sind, von den 48h oder 72h Druckzeit. Nur sind dann eben nicht 72h Stunden aneinander, sondern in Wirklichkeit wurden diese 72h über Wochen aufgeteilt. Ein weiterer Vorteil wäre dann perspektivisch natürlich, dass die Anforderungen an die Arbeiter andere sind. Also da wird nicht sehr schwer gehoben in der Herstellung, sondern ja es ist digitaler die Arbeit. Im Vergleich zu einer konventionellen Herstellung, würde ich einmal sagen.

**X:** Glauben Sie beim Fachkräftemangel hat das auch Vorteile, den gibt es gerade. Und der soll in Zukunft auch noch mehr kommen. Ist das relevant?

**LG:** Da muss man aufpassen meiner Meinung nach, von welchen Fachkräften man spricht. Wenn ich jetzt den Facharbeiter, den klassischen Facharbeiter anschau, so wie wir ihn kennen am Bau. Der tut schalen, der tut betonieren, der tut mauern; Ja, dieses Personal würde ich da weniger brauchen. Aber die Fachkräftekapazität verschiebt sich da in einen Personenkreis, der firm sein muss in der EDV, der firm sein muss im digitalen

Sektor und das ist eigentlich, sag ich einmal, ein Menschenschlag, den wir so auf der Baustelle noch gar nicht kennen. Die müssten wir alle erst ausbilden. Da muss einer mit dem Computer umgehen können und es muss einer; Das ist eigentlich ganz eine neue Schiene. Man wird auch für den 3D-Druck Fachkräfte brauchen, nicht die klassischen, andere. Ein ganz ein neues, aus meiner Sicht Berufsbild, wird da entstehen.

**KS:** Ich würde da, wenn ich da kurz anmerken darf. Ich glaub auch, dass die Zielgruppe, wie es der Herr Luger klassisch sagt, ganz eine andere ist. Also die, wie soll ich sagen; Das ist ein anderer Menschenschlag, im Vergleich zu den klassischen: Wie stelle ich mir einen Mitarbeiter, ob gewerblich oder im Büro in der Bauindustrie vor. Da gehen wir eher ins digitale.

**LG:** Zum einen und zum anderen: Der Klassiker war eben der Janik, das Mastermind von Peri. Der war firm in der EDV, der hat den Computer einstellen können, der hat den Drucker bedienen können, der hat aber auch die handwerkliche Gabe gehabt, dass er dem Material geholfen hat, wenn es einmal nicht so richtig aus dem Drucker herausgeflossen ist. Der war ein Universalmensch, nur diese Universalmenschen gibt es nur ganz selten. Zu meinen, also das möchte ich mitgeben; Zu meinen, mit dieser Bauweise, wenn sie sich durchsetzt, einen Fachkräftemangel zu umschiffen, das wird es nicht spielen. Es kommen andere Fachkräfte.

**X:** Und natürlich gibt es noch eine ganz andere Vorlaufzeit bei dem Projekt, also es muss natürlich genauer geplant werden.

**LG:** Auch im konventionellen Bauen hätte man schon gewissenhaft planen können, das ist immer ein Vorteil. Es ist immer ein Vorteil, wenn ich zu bauen beginne, weiß was ich baue und die Planung stimmt. Das ist immer ein Vorteil, nur ist er in Österreich noch ganz selten. Aber vielleicht ihre Generation, bewegt das schon in die richtige Richtung.

**KS:** Aber das ist so; Ich glaube, dass man da ein

anderes Thema noch hineinbringen kann. Das ist das größte Hindernis zu dem BIM-Thema. Wenn ich baubegleitende Planung gewohnt bin, dann hilft mir alle Technologie, die zur Verfügung steht, nichts.

**LG:** Ja, vielleicht kommt das auch mit dem Thema BIM automatisch „von selbst“; Es muss, wenn ich „bimmen“ will und das haben wir auch bei diesem Projekt gemacht, weil das war ja neben 3D-Druck auch ein BIM-Projekt. Das war eben planlich top vorbereitet und wir haben zum Beispiel, bevor wir gestartet haben, aus Kunststoff, im Maßstabe 1:100 dieses Modell am kleinen Drucker ausgedruckt. Und da haben wir gesehen, dass es eigentlich funktioniert. Und dann in der Natur, wenn du mit wirklichem Beton/Mörtel druckst, immer noch Aha-Erlebnisse passieren, ist so.

**X:** Und gibt's dann Aspekte, auf die man besonders achten muss in der Planung? Also, dass sich Schichten nicht überlappen.

**KS:** Also das ist, was die Druckplanung anbelangt, ist es so; Dass diese Software das Gebäudemodell in Schichten schneidet. Man dann eben diese Druckbereiche vorgeben kann, wobei die Aha-Erlebnisse bei diesem Forschungsprojekt sicher die Anschlüsse zu anderen Gewerken dargestellt haben. Das ist auch, dass was in den Modellen eben schwierig auch zu planen war. Weil wenn man das erste Mal vorhersieht, wie mache ich meine Fensteranschlüsse, was sind da die Voraussetzungen.

**LG:** Das war, wie es der Kollege Kerschner sagt eben auch eine ganz neue Erfahrung für uns, insbesondere für mich auch. Wir sind lange trainiert worden, wie baut man richtig ein Fenster ein, da gibt es Normen, da gibt es Richtlinien, etc. Im Betondruck sieht das ein bisschen anders aus. Man muss Details neu entwickeln und dass ist dann eben die Herausforderung für den Generalplaner. Wenn ich mich dazu bekenne, dass ich jetzt ein 3D-Druck-Haus baue, dann muss ich Detaillösungen anders denken, neue Ideen entwickeln. Da kann man dann, Fensterbau bietet sich an, dass

man da auch in eine Vorproduktion geht usw. Andere Herausforderungen sind: Haustechnik. Früher hat man eben in die Betonschalung ein Rohr einlegt, oder einen Schlitz in einen Ziegel gemacht, das ist jetzt alles nicht so leicht. Und in Wirklichkeit, ich habe es jetzt einmal gemacht, gibt es da auch noch nicht die ehrlich klassische sinnvolle praktische Lösung. Weil, wenn ich heute einen hoch ausgebildeten Facharbeiter aus der Haustechnik anschaffe: „Renn jetzt hinter der Computer nach, hinter dem 3D-Drucker hinten nach und gib deine Leitungen rein“ Naja, der wird das ein paar Stunden mitmachen. Also da müssen wir wirklich, wirklich völlig neu aufsetzen. Wir haben dann am Ende des Tages, es so gelöst, dass wir gesagt haben: Und in den 3D-Druck wir überhaupt keine Haustechnik eingelegt. Wir schauen, dass wir das über den Fußboden legen, über die Decke kriegen, war aber in unserem konkreten Fall eine überschaubare Angelegenheit. Wenn man heute denkt, was sich da alles abspielt am Haustechniksektor, eben auch bezüglich grüner Energie, Ressourcen nutzen; Es ist schon hoch komplex, also das ist ein Thema, dass wenn man es jetzt macht, völlig neu denken muss. Und bestimmt nicht, aus meiner Sicht, von heute auf morgen die Ideallösung.

**X:** Ja, es hat ja immer eine gewisse Vorlaufzeit.

**LG:** Vorlaufzeiten in der Planung, ja; aber wie mache ich es dann handwerklich draußen vor Ort, da muss uns noch was einfallen, ob das Vorsatzschalen sind, weiß ich nicht, ob es dann Funksteuerungen gibt, weiß ich nicht. Aber Haustechnik ist ein Thema, Fenster sind ein Thema oder nennen wir es nicht nur Fenster, nennen wir es die dichte Hülle der Fassade, inklusive das Dach. Es geht dann auch um Themen, wie Attikaabschluss etc. Man muss sich da wirklich lösen, vom konventionellen Bauen. Man muss das neu denken. Zu sagen, ich mache einen 3D-Betondruck, das ist schön, das ist herausfordernd, das ist eine Aufgabenstellung, aber am Ende des Tages, muss das

Haus ja auch irgendwelchen Normen, irgendwelchem Stand der Technik entsprechen.

**KS:** Wenn ich da kurz anmerken darf; Ich glaube, dass das genau das große Thema ist. Man stellt jetzt nicht nur die einfachste Herangehensweise und das ist ganz klar die falsche. Zu sagen: Ich stelle jetzt einfach die Wände, um die ist es geht, in einem anderen Bauverfahren her und sonst bleibt alles gleich. Und ich glaube, dass das was der Herr Luger gesagt hat genau das Richtige ist, es verändert sich nämlich der Bauprozess an sich so stark, dass man nicht die Wände; Nicht nur die Wand ändert sich, sondern es ändert sich dadurch alles. Der gesamte Bauprozess ändert sich. Mit allen Sachen, die da hineinspielen.

**LG:** Bis jetzt, also, aber bitte jetzt nicht falsch verstehen; Bis jetzt hat man vielleicht an Universitäten oder irgendwelchen Labors sich beschäftigt mit Druckermaterialien, mit Druckergrößen, wo sind Druckergrenzen, dann hat man die eine oder andere Wand in geschützten Hallen im Zuge einer Forschung aufgestellt und es hat alles top und toll funktioniert. Mir persönlich hat das gefallen, was dort draußen passiert ist. Nur, wenn ich dann ein Haus baue, das ein Mensch später nutzt, dann ist das Haus dann fertig, wenn der Mensch dort drinnen ist und „glücklich“ ist. Und glücklich ist er dann, wenn es dort drinnen nicht zieht, wenn es nicht feucht ist oder sonst irgendwas, das Raumklima passt etc. Und das muss man eben alles in der Gesamtheit mitdenken, wenn ich sage, ich mache jetzt ein Projekt „Wohnhaus“. Und ich muss sagen, es gibt ein ganz ein gutes Beispiel in der Ulmer Gegend, in Deutschland. Das Wohnklima dort drinnen ist toll, aber die sind natürlich auch vor den gleichen Herausforderungen gestanden, wo auch wir gestanden sind. Und nur, jeder denkt es halt ein Stück anders. Es geht nicht darum, dass man schnell ein Gebäude in 72 Stunden hinsetzt. Momentan haben wir nur versucht, die Schalung durch einen Betondruck zu ersetzen.

**KS:** Und der Eingriff hat große Auswirkungen.

**LG:** Genau; Aber ganz ehrlich, man kommt halt durch das Probieren drauf und, wenn du vor der Herausforderung stehst. Wir haben an viele Sachen gedacht, aber es ist dann doch wieder die eine oder andere Herausforderung da gewesen.

**X:** Kurz zu den zwei Druckabschnitten, wieso braucht man diese?

**LC:** Also es sind unterschiedliche Druckabschnitte in der Höhe nach, also zwei Abschnitte auf das Gebäude hin hatten wir nicht.

**X:** Das heißt, ab der Decke war dann der zweite Druckabschnitt?

**LG:** Soweit ich es in Erinnerung habe, war es so, dass man gesagt hat: verschiedene Druckabschnitte ja, aber in der Wandabwicklung, in der Höhenabwicklung der Wände. Du kannst nicht hergehen und 2m hoch die Wände drucken, weil da stürzt dir durchs Eigengewicht der Druckmasse die Wand wieder ein. Wir haben dann immer so, der Höhe nach ca. 80-90cm gedruckt, das aushärten lassen und danach ausbetoniert. Aber das sind jetzt nicht Druckabschnitte in dem Sinn, das sind Druckabschnitte, die dem Baufortschritt geschuldet sind, aus statischen Gründen oder sonst was, haben wir keine verschiedenen Druckabschnitte gehabt. Eines ist zum Mitgeben, man kann nicht dieses Haus, ohne Pause auf 2,6m drucken. Das fällt dir zusammen, das gibt die Masse nicht her.

**LC:** Was ist glaube, was zu den zwei Druckabschnitten, zu der Annahme führt war, dass wir auf einer Seite vom Haus dann teilweise schon, auf einem Bild, dass in den Medien war, um einiges höher war, als auf der anderen. Aber das hat jetzt da keinen Grund gehabt.

Und wir sind auf der einen Seite höher gegangen, damit es gut aussieht und auch was hergibt. Das hat jetzt keinen Grund gehabt, dass die linke Seite vom Haus, Kleeblatt ein eigener Druckabschnitt gewesen wäre.

**KS:** Wenn ich da beim Thema Abschnitte einhacken darf, dass ist, glaub ich auch eines der Learnings,

das Dehnfugenthema, auch im Zusammenhang mit Betonierabschnitten; Aufgrund von Material, des Materialschwundes, aufgrund des hohen Zementanteils in diesem Mörtel das immer ganz ein großes Thema ist und da sind sehr viele Abschnitte zu machen.

**LG:** Und da müssen wir jetzt auch mal, wenn es eine Studienarbeit wird, mit gewissen Begrifflichkeiten aufräumen. Man sagt „3D-Betondruck“, das könnte einen verleiten, dass man dahin denkt, ich arbeite mit Beton. In Wirklichkeit ist es Mörtel. Es ist ein Beton, das ist aufgrund der Korngröße und der Materialzusammensetzung, Mörtel. Und der Mörtel verhält sich halt anders als ein Beton. Und der Mörtel, und da haben wir noch ein Stück weit Arbeit vor uns; Ich glaube insbesondere die, im konkreten Fall Lafarge, die diese Mixtur gemacht hat, was machen wir, damit später die Rissbildung nicht da ist. Das ist ein ganz wesentlicher Punkt, der im Zuge des Forschungsprojektes, da noch Lehren gezogen werden müssen. Was kann man da noch verbessern, was kann man verändern, damit so Rissbildungen, wie sie sich jetzt abzeichnen, in Zukunft, gar nicht mehr auftreten.

**KS:** Deshalb werde ich mich in 20 Minuten nach Hausleiten begeben.

**LG:** Ja, da ist dann einer dort und der schaut einmal, oder?

**X:** Kurz zum Beton/Mörtel, es gibt ja welche mit Faserbewehrung, ist das angedacht worden beim Mörtel? Theoretisch wäre das möglich, weil du eine fixe Linie hast und man somit die Fasern an den nötigen Stellen hätte.

**KS:** Stand der Forschung, Stand der Technik. Als wir dieses Projekt gestartet haben, war es so, dass es diese Möglichkeit eben nicht gegeben hat. Uns ist aber in den letzten Monaten, bei der Vorbereitung zum Baukongress in Wien auch mitgeteilt worden, dass das eben angedacht ist und es die Möglichkeit, glaube ich, mittlerweile gibt.

**LG:** Sicherlich Ergebnis: man muss in die Denkrichtung

einer Bewehrung gehen und die Faserbewehrung, ist mit Sicherheit die naheliegende. Im konkreten Fall war das aber noch kein Thema, aber es wird sich dahin entwickeln. Irgendwas muss es geben.

**X:** Und beim jetzigen Gebäude wurden Winkel/Stahlelemente händisch eingesetzt, wofür?

**LC:** Ja, die einzelnen Layer untereinander, wir haben ja drei Schichten, die werden untereinander verbunden, händisch eingelegt. Das sind so „Klammerln“, die die Layer zusammenhalten.

**LG:** Aber es ist nicht bewusst, oder aus statischen Gründen, in den Hohlräumen, wo nachher Beton ausgegossen wurde, da nämlich wirklich Beton. Es ist keine Bewehrung drinnen. Zu meiner Zeit hat man gesagt, unbewehrter Beton oder Stampfbeton. Wir haben ja ein dreischaliges System und die Schalen sind mit diesen Bewehrungsklammern, nenn wir es halt einmal so, untereinander horizontal verbunden. Das hat aber mehr damit zu tun, dass die Wand hält, als dass es eine Last ableitet und vertikal aufnimmt das Eisen.

**X:** Bei dem Projekt handelt es sich über einen dreischaligen Wandaufbau, ist auch eine wabenähnliche Struktur angedacht worden?

**LG:** Ein wabenähnlicher Aufbau ist bei der Strabag eigentlich nie angekommen. Das wieder so ein Thema; Wir müssen uns an Normen halten. Ich habe mich mit einem unterhalten, der viel in Afrika baut. Dort, wo ich keine Wärmedämmung brauche, ist diese ganze Geschichte vielleicht wirklich noch um ein Stück sinnvoller. Es wird ja durch das erst komplex, dass man eben ein mehrschaliges Mauerwerk braucht, damit ich eben Dämmwerte erfülle. Und dieses ausblasen des Hohlraumes mit „Flocomobil“, das war auch eine Herausforderung. Da muss man schauen, dass er es nicht gleich wieder wo raus bläst.

**X:** Die Dämmung wurde erst am Ende eingeblasen, als die Decke schon oben war?

**LC:** Ja, war so.

**X:** Bei der Decke haben Sie eine Ortbetondecke



verwendet, wieso das und keine Fertigteildecke?

**LG:** Wenn man sich den Grundriss anschaut, vom Kleeblatt, ist es höchst kompliziert da ein Fertigteil zu verwenden, der Planung geschuldet. Wenn ich ein eckiges Haus habe, würde es leicht funktionieren. Es war am Ende des Tages nie eine Überlegung, weil eben die Grundrisskonfiguration für eine Fertigteil- oder Elementdecke oder Vollbetondecke, wie auch immer, da nicht geeignet war. Aber, wenn man es geschickt plant und mehrere Bauabschnitte hat, dann ist das durchaus eine Überlegung. Ja klar. Überall wo ich dann vorproduzieren kann, sei es bei Decken, sei es in der Haustechnik, sei es bei Spengler Elemente, aber das muss dann geschickt Hand in Hand gehen, Planungsprozess.

**X:** Ich habe an die Fertigteildecke gedacht, weil der 3D-Druck doch so präzise ist.

**LG:** Ja, das ist schon richtig. Präzise ist er, aber du musst im Fertigteilwerk doch auch eine „Schalung“ bauen und dass sind heute Magnettische, wo mit Stahlrahmen Abschalungen entstehen. Die Abschalung des Kleeblattes ist sehr teuer.

**X:** Bei mehreren „Kleeblättern“ hätte es sich ausgezahlt.

**LG:** Ja, beim 30. Kleeblatt hätte es sich vielleicht schon gerechnet.

**X:** Kurz zu Oberfläche von den Wänden, ist die irgendwie nachbearbeitet worden?

**LG:** Da haben wir aus meiner Sicht das Denkmodell 1 gehabt, dass man sagt, wir machen weder draußen etwas darauf noch drinnen etwas darauf, weil das kostet ja alles Geld. Und es ist nun mal so in der freien Wildbahn geht es oft auch um Geld. Wir sind dann mit den späteren Nutzern durch das Haus gegangen, und waren dann eigentlich relativ schnell in der Richtung unterwegs, dass wir es innen auf alle Fälle putzen. Weil die Oberfläche innen, das habe ich auch gesehen in Deutschland, das sieht schön aus, nur der Dreck und der Staub, der sich da ablegt, den bekommst du nie mehr weg. Und draußen hätten wir auch gesagt, dass

wir es unbehandelt lassen, das ist jetzt aber sozusagen, der Ist-Situation geschuldet, durch die Rissbildung, die wir jetzt demnächst sanieren werden, werden wir dann auch mit Malerfarbe die Oberfläche behandeln. Was vielleicht, ich sage jetzt einmal, auch prinzipiell Sinn macht. Weil ich kann dann den Betondruck, der Mörtelstruktur eine Farbe geben.

**X:** Ich würde schon ein bisschen abschließen. Welche Erkenntnisse würden Sie für ein mögliches nächstes 3D-Druck-Gebäude mitnehmen?

**LG:** Es geht darum, wo kann man den 3D-Druck in Zukunft vielleicht einsetzen?

**KS:** Was man für ein nächstes Gebäude mitnehmen muss, ist glaube ich wiederum; erstens: man ist noch im Forschungsstadium, dass ist da eine. Das Zweite ist, was wir jetzt wissen, ist natürlich eine gewisse Kostenerkenntnis, die sich daraus ergeben hat, die man fürs nächste Mal mitnehmen kann. Und dann, dass was Sie mit der Fertigteildecke angesprochen haben, es macht natürlich schon auch Sinn, in gewisser Weise mehrere wirkliche Bauabschnitte zu haben. Weil aufgrund dieser Konfiguration dieses Druckers und dieses Krans, den für ein Gebäude irgendwo hinzubringen; Am Ende des Tages gibt es hier natürlich auch einen Wiederholungsfaktor, der das Ganze begünstigt. Weil dieser Portalkran, den kann man ja z.B. Reihenhäuser wirklich fahren lassen, entlang einer Achse. Und natürlich, dass es auch keinen Sinn macht, wenn es nicht diese Freiformen gibt, aber ich glaube, dass ist klar. Weil gerade Wände habe ich auch in Beton- oder Ziegelbauweise auch sehr schnell errichtet.

**LG:** Man muss ja auch ehrlicherweise sagen, diese freien Formen, sind auch dem Drucker geschuldet, weil der Drucker kann ja keine Ecken bauen, dass muss uns auch klar sein. Und jeder Architekt oder künstlerische Bauherr, dem gefällt das natürlich. Auf der anderen Seite musst du es unterm Strich verkaufen können und meine Meinung dazu ist, wo kann man das einsetzen.

Irgendwo, wo man in einer Achse fahren kann und da fürs Erste untergeordnete Gebäude. Wenn jemand bereit ist, innovativ tätig zu sein, sich das auch etwas kosten lässt, dann kann ich mir vorstellen, dass ich z.B. Gartenhütten oder Lagerhütten, wie sie es zuhauf gibt, bei Wohnhausanlagen mir da etwas überlegt, mit so einem Drucker. Dass kann ich mir fürs Erste, wenn man es weiter entwickeln will, da einmal anfängt. Nebengebäude bei Wohnhausanlagen, wenn sie in einer Linie liegen, denn das Umstellen von diesem Drucker ist sinnlos. Am Hochbau gibt es im Regelfall ein geldintensives Gerät und das ist der Turmdrehkran oder ähnliches Hebezeug und leider muss ich sagen, dieses ganze Aufstellen und das Fahrenlassen des Druckers ist mindestens genauso teuer, wie der Hochbaukran. Wenn das nicht billiger wird, dann sehe ich keine Chance, aber eine Überlegung, aus meiner Sicht wäre, ebenso untergeordnete Räume, irgendwo geschickt aufzubauen. Oder ich könnte mir auch vorstellen, wenn man wirklich innovativ ist und bereit ist, sich etwas kosten zu lassen fürs erste, dass man so einen 3D-Drucker aufbaut, dass man das Ganze, auch wieder untergeordnete Landhütten, auf einer Platte aufbaut und das dann geschickt verführt. Aber ich habe noch keine abschließende Idee. Das wären Gedanken, wo man vielleicht etwas daraus machen kann.

**KS:** Also ich sehe fürs nächste Projekt auch das Potential darin, trotzdem unter ein wenig Laborbedingungen, auf fertige Bodenplatten diese kleinen Sachen zu drucken. Auf der anderen Seite, und das ist glaube ich, auch nett für die Diplomarbeit zu erwähnen. Jeff Bezos hat sich scheiden lassen und seine Ex-Frau, glaube ich, zur reichsten Amerikanerin gemacht. Und die taucht bei Hilfsorganisationen mit großen Schecks auf und gibt denen große Geldsummen. Und eine dieser non-profit Organisationen heißt, „habitat for humanity“, das ist eine amerikanische Organisation, die eben Wohnraum zur Verfügung stellen will. Und die haben jetzt so viel

Geld, dass sie sich entschieden haben, sich von Peri Häuser drucken zu lassen.

**LG:** Genau; Ich habe es in meinen Worten so formuliert, wenn es jemanden gibt, der bereit ist Geld auszugeben.

**X:** Glaube Sie, wird der 3D-Druck in Zukunft marktfähig sein und wenn wann?

**LG:** Ich sage einmal so, der Rudolf Diesel, der Dieselmotor, der hat das in etwa vor 120 Jahren, hat der den Dieselmotor erfunden, entwickelt, wie auch immer. Der hätte mit Sicherheit nicht geglaubt, dass so ein Hype um seine Erfindung entsteht und jetzt wo er top ist, drehen wir ihn mit Gewalt ab. Diese Frage zu beantworte, in welche Richtung es bis wann geht, das ist wirklich Kaffeesud lesen, aus meiner Sicht. Ich weiß schon, dass es Leute gibt, die das interessiert. Aber ich glaube, wenn man so macht, wie wir gesagt haben, dass es Menschen gibt, die bereit sind etwas zu investieren, dass es auf der anderen Seite Menschen gibt, zu überlegen, wo kann man es einsetzen, so entwickelt sich ad ein Automatismus. Wir haben vielleicht noch gar keine Vorstellung, wo es hin geht. Was ich mit Sicherheit schon glaube ist, dass der 3D-Druck jetzt einmal da ist, er ist da. Und es wird weiter eine Entwicklung geben, aber bis wann, wohin, könnte ich nicht sagen.

**KS:** Wenn man es mittelfristig, realistisch sieht, als ein Nischenprodukt, das sich zur Marktfähigkeit entwickeln wird, weil über das haben wir gesprochen. Und wenn man wirklich weit in die Zukunft denkt; Ich habe diesen 3D-Druck auch schon mit einer Marsbesiedelung gesehen. Die Frage ist einfach, wie weit gehen wir nach vorne. Aber ich wollte eben auch bestätigen, alleine wenn man jetzt zu viert eine Stunde darüber redet, fallen ein wieder neues Anwendungsbeispiel ein. Und ich glaube, dass das in Zukunft jetzt auch wieder mehr sein wird. Es wird in Zukunft viel Energie und viele Ressourcen reingesetzt, gibt auf der ganzen Welt viele Start-ups und die Anwendungsbeispiele, die

marktfähig sind, wird es in den nächsten Jahren geben.

**X:** Ich bedanke mich recht herzlich für Ihre Zeit und das Interview.



## Anhang 2 Referenzprojekte mit Quellenangaben

Einfamilienhaus		Quellen:	Bürogebäude		Quellen:
Standort	Beckum, DE	<i>Allplan 2023a</i>	Standort	Hausleiten, AUT	<i>Strabag AG 2021</i>
Baujahr	2021	<i>ebd.</i>	Baujahr	2022	<i>ebd.</i>
Architektur	Mense-Korte	<i>ebd.</i>	Architektur	Strabag	<i>ebd.</i>
Gebäudetyp	Wohnbau	<i>Mense-Korte 2023a</i>	Gebäudetyp	Bürobau	<i>Strabag AG 2021</i>
Geschoss(e)	2	<i>Baunetz 2022</i>	Geschoss(e)	1	<i>Strabag AG 2022</i>
Gebäudehöhe	~6 m		Gebäudehöhe	4,3 m	<i>ebd.</i>
Nutzfläche	ca. 160 m <sup>2</sup>	<i>Allplan 2021</i>	Nutzfläche	ca. 125 m <sup>2</sup>	<i>Strabag AG 2021</i>
Fertigungsort	Baustelle		Fertigungsort	Baustelle	<i>Strabag AG 2021</i>
Drucktechnologie	BOD2	<i>Allplan 2023a</i>	Drucktechnologie	BOD2	<i>ebd.</i>
max. Druckgeschwindigkeit	1 m/s	<i>Baunetz 2022</i>	max. Druckgeschwindigkeit	1 m/s	<i>ebd.</i>
Druckstunden	100 h	<i>Allplan 2021</i>	Druckstunden	45 h	<i>ebd.</i>
Druckabschnitt vertikal	-		Druckabschnitt vertikal	ca. 60 - 80 cm	<i>Anhang 1</i>
Druckmaterial	Trockenmörtel	<i>Allplan 2023a</i>	Druckmaterial	Trockenmörtel	<i>Strabag AG 2021</i>
Druckmaterial Hersteller	Heidelberg Cement**	<i>ebd.</i>	Druckmaterial Hersteller	Larfage Österreich	<i>ebd.</i>
Druckbahnstärke	2 cm	<i>ebd.</i>	Druckbahnstärke	-	
Druckbahnbreite	6 cm	<i>ebd.</i>	Druckbahnbreite	7,5 cm	<i>Strabag AG 2022</i>
Verfüllbeton	18 cm	<i>Schätzung</i>	Verfüllbeton	18 cm	<i>ebd.</i>
Wandstärke exkl. Dämmung	30 cm	<i>ebd.</i>	Wandstärke exkl. Dämmung	33 cm	<i>ebd.</i>
Wandstärke gesamt	52 cm*	<i>ebd.</i>	Wandstärke gesamt	60,5 cm	<i>ebd.</i>
Materialverbrauch o. Dämmeben			Materialverbrauch o. Dämmeben		
Druckmaterial/m <sup>2</sup>	0,12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		Druckmaterial/m <sup>2</sup>	0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Verfüllbeton/m <sup>2</sup>	0,18 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		Verfüllbeton/m <sup>2</sup>	0,18 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Materialverbrauch gesamt/m <sup>2</sup>	0,30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		Material gesamt/m <sup>2</sup>	0,33 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	

\* Schätzung \*\*Namensänderung zu Heidelberg Materials

Serverhotel		Quellen:
Standort	Heidelberg, DE	<i>Allplan 2023b</i>
Baujahr	2023	<i>ebd.</i>
Architektur	Mense-Korte, SSV Architekten	<i>ebd.</i>
Gebäudetyp	Industriebau	<i>Allplan 2023b</i>
Geschoss(e)	1	<i>KrausGruppe 2023</i>
Gebäudehöhe	9 m	<i>ebd.</i>
Nutzfläche	ca. 590 m <sup>2</sup>	<i>ebd.</i>
Fertigungsort	Baustelle	<i>KrausGruppe 2023</i>
Drucktechnologie	BOD2	<i>ebd.</i>
max. Druckgeschwindigkeit	-	
Druckstunden	170 h	<i>KrausGruppe 2023</i>
Druckabschnitt vertikal	ca. 40 - 80 cm*	<i>Schätzung</i>
Druckmaterial	recyclbarer Mörtel	<i>KrausGruppe 2023</i>
Druckmaterial Hersteller	Heidelberg Materials	<i>Allplan 2023b</i>
Druckbahnstärke	2 cm	<i>Meyer-Brötz 2023a</i>
Druckbahnbreite	6 - 7,5 cm*	<i>Schätzung</i>
Verfüllbeton	25 - 45 cm*	<i>Schätzung</i>
Wandstärke exkl. Dämmung	ungedämmt	
Wandstärke gesamt	-	
Materialverbrauch o. Dämmeben		
Druckmaterial/m <sup>2</sup>	- m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Verfüllbeton/m <sup>2</sup>	- m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Material gesamt/m <sup>2</sup>	- m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	

\* Schätzung