

# Circular Macro Micro



Diplomarbeit von **ALEXANDER JÄGERS**

zum Zwecke der Erlangung des akademischen  
Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza Fadai  
am Forschungsbereich Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau  
an der Technischen Universität Wien



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 des Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

---

Datum

---

Unterschrift



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.



Diplomarbeit

**Circular Macro Micro**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza Fadai

E259-02

Forschungsbereich Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Alexander Jägers

12034930

Wien, am 30.05.2023



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.

## Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. In besonderer Form bei meiner Mutter Diana und meinem Vater Axel, die mir es überhaupt erst ermöglicht haben, dieses Studium zu verfolgen. Bei meinem Bruder Peter, auf den ich mich immer verlassen kann, egal in welcher Lage. Und meinen Freund\*innen, die immer für mich da sind, mir helfen und mich unterstützen. Danke für Alles.

Dank gilt auch meinem Betreuer Prof. Alireza Fadai, der mich während des Studiums und speziell während dieser Arbeit begleitet und betreut hat.



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 Klimaerwärmung und die daraus resultierenden Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt stellen eine der größten Herausforderungen unserer Zeit dar.

Die Notwendigkeit, eine Klimaneutralität zu erreichen, um der Problematik gerecht zu werden, benötigt ein Umdenken in vielen Bereichen der Gesellschaft. Besonders gilt dies für das Bauwesen, da hier ein Großteil der umweltschädlichen Emissionen verursacht wird. Ausgehend von diesem Problem beschäftigt sich die Diplomarbeit mit der Fragestellung, wie eine zukunftsfähige und nachhaltige Architektur umgesetzt werden kann. Das Thema des zirkulären Bauens birgt das Potential, von der vorherrschenden Form der linearen Wirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft zu gelangen. Zu Beginn dieser Arbeit wird das zirkuläre Bauen betrachtet und Faktoren herausgearbeitet, die eine zirkuläre Architektur ermöglichen. Anschließend werden gebaute Beispiele analysiert, die auf unterschiedliche Weisen das Thema der Zirkularität beinhalten, um ausgehend davon Anhaltspunkte für eine technische Umsetzung zu erlangen. Das Bauen mit dem nachhaltigen und nachwachsenden Rohstoff Holz, eine Rückbaubarkeit der Konstruktion und das Bauen mit Raummodulen sind Aspekte, die eine nachhaltigere Architektur ermöglichen.

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Entwicklung eines eigenen Entwurfs. Die inhaltlichen Schwerpunkte, die im ersten Teil herausgearbeitet werden, werden in der Planung des eigenen Projektes berücksichtigt und sind die Grundlage für die anschließende Bearbeitung. Eine beispielhafte Umsetzung dieses Projekts an verschiedenen Standorten in Wien mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen soll die Funktionsweise des Bausystems verdeutlichen und die Möglichkeiten der Realisierung aufzeigen.

Im letzten Teil der Arbeit werden konstruktive Lösungsansätze entwickelt, die maßgeblich zur technischen Umsetzung des Entwurfs beitragen. Anschließend werden Faktoren wie das Raumklima und Umweltwirkungen der Bauweise betrachtet.

Der entwickelte Entwurf liefert eine mögliche Antwort in Bezug auf die Fragestellung, wie eine zukunftsfähige und nachhaltige Architektur realisiert werden kann. Die entwickelte Struktur ermöglicht eine flexible Nutzung des Gebäudes, die gewählte Konstruktion entspricht durch ihre Rückbaubarkeit den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft. Wie nachgewiesen wird, führt dies zu einer Reduzierung von Umweltwirkungen, was positive Auswirkungen im Kampf gegen die Klimaerwärmung hat.



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

Global warming and the resulting effects on people and the environment represent some of the greatest challenges of our time.

To achieve climate neutrality, rethinking in most areas of society is required. The architecture and building industries cause a large amount of the harmful emissions. Based on this problem, this thesis deals with the question of how a future-oriented and sustainable architecture can be realised. In architecture, circular construction offers the potential to change from the currently used linear to the more sustainable circular economy. At the beginning of this thesis, circular construction in architecture is considered and factors that enable circular architecture are elaborated. In the following, examples of buildings that incorporate circularity are analysed. Here, I focused on the possibilities for a technical implementation. To build with a renewable material such as wood, the ability to deconstruct, and room modules allow for a more sustainable architecture

The central part of this work is the development of a self-developed project. The essential findings worked out in the first part are taken into account in the planning of this project. An exemplary design at different locations in Vienna with different surrounding conditions in size and urban contexts clarifies how the building system works and shows the possibilities of realisation. In the last part, I developed constructive solutions that contribute to the technical implementation of the design. Subsequently, important factors of the construction such as the indoor climate and effects on the environment are analysed.

The developed design provides a possible answer to the question of how a sustainable architecture can be realised. The design allows a flexible use of the building. The construction follows the principles of the circular economy due to its deconstructability. It is demonstrated that this leads to a reduction of environmental impacts, which has positive effects in the fight against global warming.



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	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
2. Zirkuläres Bauen	3
2.1 Bauen mit Holz	6
3. Referenzobjekte	7
3.1 Kiubo Bausystem	9
3.2 NEST / UMAR	12
3.3 Lukas Lang Bausystem	15
3.4 Fazit Referenzobjekte	18
4. Entwurf	19
4.1 Wohnen in Wien	20
4.2 Bauen mit Raummodulen	21
4.3 Raummodule im Entwurf	21
4.4 Modulübersicht	23
4.4 Entwurfsbeispiel 1: Westbahnhof	32
4.5 Entwurfsbeispiel 2: Währinger Gürtel	53
5. Konstruktion und Nachhaltigkeit	59
5.1 Tragwerk	69
5.2 Brandschutz	72
5.3 Bauphysik	73
5.4 Rückbau	76
5.5 Nachhaltigkeitskonzept	80
6. Diskussion & Ausblick	85
7. Literaturverzeichnis	89
9. Abbildungsverzeichnis	93
10. Tabellenverzeichnis	97
11. Anhang	98

# 1. Einleitung

Um die von der Europäischen Union an die Mitgliedsstaaten gestellte Forderung zu erreichen, bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu sein, besteht akuter Handlungsbedarf, vor allem im Sektor des Bauwesens.<sup>1</sup> Aktuell machen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Baubranche knapp 40% der globalen Emissionen aus.<sup>2</sup> Diesen enormen Anteil gilt es möglichst schnell zu reduzieren, wenn Klimaneutralität erreicht werden soll. Neben dem beachtlichen Teil an Treibhausgasen stammen auch 40% des jährlich weltweit anfallenden Mülls und damit der größte Anteil am anfallenden Müllvolumen aus der Bauindustrie.<sup>3</sup> Diese beiden Fakten allein zeigen, dass sich die bisherige Praxis des Bauens und das Verständnis für Gebäude ändern müssen, um das darin liegende Potential zur Bewältigung der Klimakrise zu nutzen. Unter Betrachtung aktueller Nachhaltigkeitsströmungen, die für alle Arten der Produktion gelten, muss auch die Produktion von Gebäuden von einer linearen Art der Herstellung zu einem zirkulären System geändert werden. Innerhalb dieses zirkulären Systems werden Rohstoffe langfristig genutzt und wiederverwendet. Nachdem Produkte hergestellt und verwendet wurden, werden diese nicht wie im System der linearen Wirtschaft entsorgt, sondern in einen neuen Lebenszyklus geführt.<sup>4</sup> Diese Masterarbeit soll einen Beitrag zu der Frage leisten, wie das Bauen

von Gebäuden um ein Vielfaches nachhaltiger und energieeffizienter gestaltet werden kann. Mit dem zirkulären Bauen wird ein baulicher Ansatz entwickelt, der einen Beitrag zu der Bewältigung der Klimakrise leisten kann.

## 1.1 Motivation

Für mich stellt diese Masterarbeit die Möglichkeit dar, einen Beitrag in der Bekämpfung der Klimakrise zu leisten. Die zu gewinnenden Erkenntnisse sind für mich eine Grundlage, um in meiner anschließenden praktischen Laufbahn darauf aufzubauen und pro-aktiv den Herausforderungen unserer Zeit entgegen zu treten.

Inhaltlich kumuliert in dieser Arbeit eine Vielzahl an Kursen in Form von Modulen und Entwürfen meines bisherigen Masterstudiums. Die Arbeit bietet mir die Möglichkeit, das Wissen aus den einzelnen Lehrveranstaltungen zusammenzuführen, gegenseitig zu ergänzen und eine ganzheitlich bessere Antwort auf relevante Fragen zu finden. Ich bin der Überzeugung, dass sich die Praxis der Bautätigkeit ändern muss, und sehe die Chance und Notwendigkeit, gerade als junger Architekt hierzu einen Beitrag zu leisten.

1 vgl. Europäisches Parlament, 2021  
2 vgl. United Nations, 2020, S.3  
3 vgl. European Commission  
4 vgl. Liebsch. 2023.

## 1.2 Zielsetzung

Wie zu Beginn erwähnt, muss die Art des Bauens von der bisher hauptsächlich vertretenen linearen Produktion zu einem zirkulären System verändert werden, um eine bessere und weitreichendere Nachhaltigkeit zu erreichen. Im Rahmen dieser Masterarbeit soll ein Modulkatalog verschiedener Bauteile entwickelt werden, die wiederverwertet werden können, um verschiedene Typologien und Nutzungen von Gebäuden zu realisieren. Mit der Verwendung eines solchen Systems kann die Energie, die zur Errichtung von Gebäuden und vor allem zur Herstellung von Baumaterialien benötigt wird, reduziert werden. Durch die Möglichkeit der Wiederverwendbarkeit von Bau-Elementen kann der Lebenszyklus der Primärmaterialien verlängert werden, was der Reduzierung von genutzter Energie zugutekommt. Mit diesem Modulkatalog wird eine Vielfalt von praktischen Umsetzungen dieses Ansatzes in Form von verschiedenen Gebäudeentwürfen in unterschiedlichen räumlichen Situationen aufgezeigt. In der Bearbeitung wird bis auf die Ebene des konstruktiven Details gegangen, um Lösungen aufzuzeigen, die technisch funktionieren und eine möglichst einfache Demontage ermöglichen. So können sie ohne großen Aufwand wieder in den Kreislauf der Nutzung zurückgeführt werden, um den Gedanken der Zirkularität widerzuspiegeln. Die Grundidee ist, dass ein Gebäude aus einer Vielzahl von einzelnen Elementen besteht, aus denen ein anderes Gebäude geplant und voll-

ständig gebaut werden kann, falls die ursprüngliche Planung nicht mehr benötigt wird oder anderen Anforderungen entsprechen muss.

In seiner Materialität soll dieser Modulkatalog in allen Teilen, die es erlauben, aus Holz bestehen, da dieses lang bewährte Material erhebliche Potentiale bietet, um Energie einzusparen.<sup>5</sup> Im Zuge dessen wird auch ermittelt, wo die Grenzen des Möglichen liegen in Form des baulichen Ausmaßes, der Transportierbarkeit vorgefertigter Module, der Kombination verschiedener Modultypen für unterschiedliche räumliche Anforderungen und der Gestaltung, die ein monotones Erscheinungsbild verhindern soll. In der Bearbeitung werden eine materialgerechte Planung und damit verbunden ein materialgerechtes Entwerfen angewendet. Um eine evidenzbasierte Grundlage zu schaffen, wird anhand der Berechnung von Lebenszyklusanalysen nachgewiesen, ob und wie viel Energie mit einem derartigen System tatsächlich eingespart werden kann im Vergleich zu konventionellen Methoden des Bauens.

Die Kernthemen und Fokussierung innerhalb der Bearbeitung liegen im materialgerechten Bauen und Planen, dem zirkulären Entwerfen und Planen, dem zirkulären Verständnis eines Gebäudes und seiner Bau-Elemente, der Modularität, dem energieeffizienten Planen und der Möglichkeit der Adaption entsprechend der Anforderungen. Innerhalb der Arbeit soll unter gleichzeitiger Berücksichtigung all dieser Aspekte eine ganzheitliche Lösung erarbeitet werden.

<sup>5</sup> vgl. Isopp, 2017, S. 8

## 2. Zirkuläres Bauen

Die Baubranche ist in ihrer bisherigen Praxis nicht mehr zukunftsfähig. Gebäude, die für einen Nutzungszyklus geplant sind und keine Möglichkeit der Rückbaubarkeit aufweisen, aufgrund der Konstruktionsart nicht materialrein zerlegt werden können oder an deren Lebensende nicht der erneute Wertstoffgewinnung von Material sondern das Entsorgen steht, haben einen enormen Ressourcenverbrauch zur Folge und damit einen erheblichen Einfluss auf die Umwelt.<sup>6</sup>

Das zirkuläre Bauen hat im Kern das Bestreben, aktuelle negative Umweltwirkungen zu minimieren und den Ressourcenverbrauch zu verringern. Durch die langfristige Nutzung von Material und Gebäuden werden Vorteile für die Zukunft geschaffen. Der verringerte Verbrauch von Ressourcen durch Recycling und das Verständnis, Gebäude als Materiallager zu sehen, führen zu einer intensiveren Nutzung von Wertstoffen und vermindern so die Entstehung von Müll. In der Betrachtung über einen langen Zeitraum geht es darum, die Möglichkeit einer langfristigen Nutzung zu ermöglichen und es umsetzbar zu gestalten, dass Stoffe, Materialien oder Elemente im Sinne der Kreislaufwirtschaft genutzt werden können. Dadurch wird ein Wertehalt geschaffen.<sup>7</sup>

Die lang vorherrschende und noch weit verbreitete Art der linearen Produktion hat sehr schlechte ökologische Eigen-

schaften und ist darüber hinaus kein ökonomisch sinnvoller Weg, Produkte zu nutzen. Ein Umwandeln dieses linearen Systems zu einem zirkulären Prinzip der Wertschöpfung ist notwendig, um Produktionen jeglicher Art langfristig nachhaltig zu gestalten. Entscheidend für die Übertragung des zirkulären Gedankens auf das Bauwesen, ist die Möglichkeit, Baumaterial und Wertstoffe aus der gebauten Umgebung zurückzugewinnen zu können. Dies wird durch eine sortenreine Materialtrennung möglich gemacht, da so Wertstoffe weiter genutzt werden können. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Dauer der Rohstoffnutzung zu verlängern, Produkte innerhalb von mehreren statt nur einem Nutzungszyklus zu verwenden und Materialien einfacher zu recyceln. Außerdem wird vermieden, dass immer wieder neue Rohstoffe in den Produktionskreislauf gelangen, was schlussendlich zu einem effizienteren Ressourcenverbrauch führt. Elementar für optimierte Wertschöpfungsketten von Rohstoffen ist vor allem, die Rückgewinnung von Baumaterial und Wertstoffen aus den Gebäuden insbesondere in urbanen Räumen zu ermöglichen.<sup>8</sup>

Ein Umdenken in Bezug auf Material, Produkte und was mit ihnen geschieht, wenn das Ende eines Nutzungszyklus erreicht wird, stellt eine der Grundlagen dar, um eine Kreislaufwirtschaft umzusetzen. Bei Bauprodukten wird meist davon ausgegangen, dass sie am Ende der Nutzung als Abfall auf die Mülldeponie kommen. Wenn man hingegen darüber nachdenkt,

<sup>6</sup> vgl. Fischer, 2019

<sup>7</sup> vgl. DGNB, 2022, S. 3

<sup>8</sup> vgl. Bachmann, 2021, S6f



wie man von der Einordnung als Abfall dahin gelangt, dass man vermehrt über Werkstoffkategorien nachdenkt, kann man diese Produkte weiterverwenden und so Ressourcen sparen. Dieses Umdenken in Bezug auf Produktionslinien zu Produktionskreisläufen verändert auch das Verständnis, welches wir von Gebäuden haben sollten. Es geht nun nicht mehr allein darum, ein Gebäude an einer bestimmten Stelle für eine bestimmte Nutzung zu planen, sondern das Gebäude als temporäres Zwischenlager von Material zu verstehen. Das verbaute und benötigte Material wird im Idealfall nach der Nutzung in einem anderen Gebäude wiederverwendet und weiter genutzt. Wenn man Gebäude so begreift, und Material in mehr als einem Nutzungszyklus nutzt, werden ein effizienter Ressourcenverbrauch gefördert und die Umweltwirkungen verringert. Neben dem Verständnis von Gebäuden selber ist es nötig, dass auch die Art, wie Gebäude gebaut sind, verändert wird, um nicht nur das reine Material, welches im Gebäude verbaut ist, wieder zu verwenden, sondern auch das Gebäude an sich in einen neuen Nutzungszyklus zu führen. Es gilt, Lösungen zu entwickeln, bei denen innerhalb einer Tragstruktur verschiedenste Nutzungen umsetzbar sind. In einer Konstruktion mit massiven tragenden Wänden ist es nur eingeschränkt möglich, den Grundriss umzuplanen und neu zu gestalten. Die Skelettbauweise, die ohne tragende Wände auskommt, stellt hier im Vergleich einen Vorteil dar, da es einfacher möglich ist, Grundrisse frei zu gestalten. Neben

der größeren Flexibilität in der Gestaltung und Nutzung des Gebäudes ist die Skelettbauweise materialsparender als eine Bauweise mit massiven tragenden Wänden. Je länger das Gebäude genutzt wird, desto größer ist der Vorteil einer Skelettbauweise in Bezug auf die Energiebilanz eines Gebäudes. Jedes Potenzial, welches die langfristige Nutzbarkeit von Gebäuden erhöht, sollte genutzt werden. Darüber hinaus hilft der modulare Gedanke in der Gebäudekonzeption und -konstruktion dabei, Elemente und Material einfacher wiederverwenden und besser recyceln zu können. Betrachtet man den Innenausbau von Büros, wird hier lediglich eine Nutzungsdauer von zehn Jahren angenommen, in denen der Ausbau den gestellten Anforderungen entspricht. Dies stellt nicht zwangsläufig eine nachhaltige Nutzung dar, doch die Möglichkeit der Rückbaubarkeit und das Zurückgreifen auf wiederverwendbare Materialien und Elemente kann dieser ineffizienten Nutzung von Material über einen kurzen Zeitraum entgegenwirken.<sup>9</sup> Um im Bauwesen zu einer Kreislaufwirtschaft zu gelangen, wurden schon ein paar Faktoren genannt, die dies ermöglichen und vereinfachen. Des Weiteren kann man in der Betrachtung unterschiedlicher Planungsphasen eines Gebäudes Faktoren herausstellen, die es ermöglichen, Gebäude zirkulär zu realisieren. Ganz grundlegend in Bezug auf Gebäude ist die Möglichkeit der Rückbaubarkeit und Trennung von Materialien, um sie wieder und weiter verwenden zu können. Je länger ein Gebäude genutzt wird, umso

9 vgl. Hillebrandt, 2021, S.10ff

besser sind seine Umweltwirkungen. Daher ist es notwendig, das Gebäude eine Langlebigkeit aufweisen und langfristig nutzbar sind. Der Einsatz von umweltverträglichen Materialien ist in Bezug auf die Wiederverwendbarkeit maßgeblich. Mit Beginn der Planung eines Gebäudes, die die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft verfolgt und den Anspruch aufweist, zirkuläre Rohstoffnutzung zu ermöglichen, muss dies mitbedacht werden, da es einen Einfluss auf viele folgende Entscheidungen hat. Der Gedanke, ein Gebäude umnutzen zu können und durch den Austausch einzelner Elemente in Form einer Sanierung neuen Forderungen anzupassen, stellt einen wesentlichen Aspekt dar, um einen Abriss und anschließenden Neubau eines Gebäudes zu verhindern und die Lebensdauer eines Gebäudes in Form von mehreren Nutzungszyklen zu verlängern. Nutzungskonzepte, die über eine Nutzung hinausgehen, stärken die Langlebigkeit eines Gebäudes. Die Art der Konstruktion stellt eine Möglichkeit dar, Material von vornherein einzusparen, indem man auf Leichtbauweisen zurückgreift statt massive Konstruktionsarten zu wählen. In Bezug auf die Wahl der einzusetzenden Rohstoffe und Bauteile sollte von vornherein darauf geachtet werden, dass umweltverträgliche Materialien benutzt werden. Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen mit einer nachhaltigen Grundbeschaffenheit, wie beispielsweise Holz, sollte bevorzugt stattfinden. Wie schon mehrfach genannt, ist gerade die Möglichkeit der Rückbaubarkeit eine Notwendigkeit, um Gedanken der Kreis-

laufwirtschaft zu ermöglichen. Dies sollte, wie auch grundlegende Gedanken in der Gebäudekonzeption oder die Wahl von Konstruktionsarten und Material, von vornherein bedacht werden. Allem voran ist es notwendig, Verbindungen zu konstruieren und zu planen, die trennbar sind. Dies bezieht sich auch auf Tragwerke. Tragwerke, die in Holz- oder Stahlbauweise entwickelt sind, bieten die Möglichkeit, diese aus Einzelelementen zusammenzufügen und wieder zu trennen. Recyclingfähige und rückbaubare Konstruktionen sollten bei allen Aufbauten für Wände, Innenwände und Böden bedacht werden. Bauarten und Fügetechniken, die auf Steckverbindungen aufbauen, und das Vermeiden von geklebten Verbindungen zwischen Bauteilschichten sind stark begünstigende Faktoren, um eine zerlegbare Konstruktion zu erreichen.<sup>10</sup>

Die vorgehend genannten Aspekte als Grundlage einer realisierbaren Kreislaufwirtschaft im Bauwesen haben die Entwicklung des praktischen Projektes im Laufe dieser Arbeit stark beeinflusst und stellen eine theoretische Grundlage für die praktisch vorgenommene Planung dar. Es wurde versucht, weitestgehend auf alle genannten Aspekte einzugehen und diese zu berücksichtigen, um einen Lösungsansatz zu entwickeln, der zukunftsfähig ist und in seiner Gesamtheit den Gedanken der Zirkularität aufweist.

<sup>10</sup> vgl. Achatz, 2021, S. 23ff

## 2.1 Bauen mit Holz

Es ist im Entwurf vorgesehen, in allen Bereichen, die es ermöglichen, auf Holz als Baumaterial zurückzugreifen. Dies ist auf mehrere Gründe zurückzuführen.

Ein Umdenken in allen Feldern der Produktion ist nötig um eine gesteigerte Nachhaltigkeit zu erreichen. Gerade die Baubranche ist für einen Großteil des Energieverbrauchs und der Produktion von Treibhausgasen verantwortlich. Das Nutzen von Holz als Baumaterial wirkt diesen Effekten entgegen. Durch die Beschaffenheit von Bäumen nehmen diese während des Wachstums Kohlenstoffdioxid auf und der Kohlenstoff wird im Holz gespeichert und der Atmosphäre entnommen. Da das Kohlenstoffdioxid am Ende des Lebenszykluses vom Holz wieder freigegeben wird, ist Holz klimaneutral. Dadurch wird das Klima geschont. Durch die Benutzung von Holz wird zudem die Verwendung nicht nachwachsender Rohstoffe vermieden. Holz hat nicht den Nachteil, wie andere Materialien von Rohstoffen abhängig zu sein, die nicht überall vorhanden sind, da es sich um ein regionales und fast überall vorkommendes und stetig nachwachsendes Material handelt. Neben den quantifizierbaren Vorteilen in Bezug auf Umweltwirkungen gegenüber anderen Materialien hat Holz auch gute bauphysikalische Eigenschaften und verbessert das Raumklima.<sup>5</sup>

Innerhalb dieser Bioökonomie sollten alle Rohstoffe und Produkte kaskadenartig in geschlossenen Produktkreisläufen ge-

nutzt werden, um die Effizienz der Rohstoffe zu erhöhen und im Beispiel der Nutzung von Holz die Kohlenstoffspeicherung so lang wie möglich aufrechtzuerhalten. Mithilfe der Kaskadennutzung wird ein Rohstoff innerhalb mehrerer stofflicher Zyklen immer weiter verwertet. Im Vergleich zu einer einfachen Nutzung, kann die Nutzung in Kaskaden von Holz zu einer positiven Umweltbilanz führen.<sup>11</sup> Eine Vielzahl von Beispielen zeigt, wie der Baustoff Holz in der Architektur zum Einsatz kommen kann.

5 vgl. Isopp, 2017, S. 8

11 vgl. Richter, 2017, S. 23f

### 3. Referenzprojekte

Zu Beginn der Bearbeitung wurde eine Analyse von Referenzprojekten durchgeführt. Ausgehend vom Ansatz des modularen Bauens, ob mit Raummodulen oder 2D-Modulen und dem zirkulären Gedanken im Bauen wurden Projekte ausgewählt, um Stärken und Schwächen dieser Bauansätze zu analysieren, und auf Basis davon eine Grundlage für die Bearbeitung des eigenen Entwurfs zu schaffen.

Nach einer ersten Analyse einer Auswahl an Projekten (Tabelle 1) wurden im Folgenden drei Projekte ausgewählt, die tiefer analysiert wurden, da sie durch ihre Funktionsweise oder Konstruktion besonders zu dem Thema der Zirkularität gepasst haben.

Die gewählten Projekte, die explizit untersucht wurden, sind:

**1. Kiubo Bausystem** - Hofrichter Ritter Architekten

**2. NEST / UMAR** - Gramazzo Kohler & Werner Sobek

**3. LUKAS LANG Bausystem** - Lukas Lang

Es wird analysiert, wie die Referenzbeispiele funktionieren, inwiefern der Gedanke der Zirkularität in Bezug auf die Nutzung und Konstruktion vorhanden ist und wie dieser umgesetzt wird. Basierend darauf sollen Stärken, Schwächen und Potentiale herausgearbeitet werden.

Tabelle 1: Übersicht und Vergleich von Referenzprojekten

Projekt	Architekten	Standort	Modultyp	Funktion / Nutzung	Erschließung	Tragwerk	Besonderheiten	Raumhöhen	Achismaße
GSE Schule	NKBAK	Berlin, Deutschland	Raummodule	Schule	Innengang	Raummodule	3 Module ergeben ein Klassenzimmer, Prototyp für standardisierte Schule	Geschosshöhe: 3,00 m	2,86 m
Holz 8	Schankula-Architekten	Bad Aibling, Deutschland	2D Module	Wohnen + Büro	Laubengang	Schottenbauweise	Betonkern in Fertigbauteilen, keine Unterkellerung, Zugstangen vom Fundament bis in das oberste Geschoss	Geschosshöhe: 3,00 m	4,5 m
Informal Studio TU Braunschweig	Gustav Düsing & Max Hacke	Braunschweig, Deutschland	Skelettbau	Ateliers	Freie Erschließung	Skelettbau	Stahlkonstruktion komplett rückbaubar	Geschosshöhe: 3,35 m Lichte Höhe: 3,10 m	3,35 m
Juf Nienke	SeARCH & RAU	Amsterdam, Niederlande	Raummodule	Wohnen + Büro + Läden	Laubengang	Raummodule	Erdgeschoss Beton als „Tischkonstruktion“ für Raummodule, Maisonettewohnungen + verschieden Tiefe Module bis zu 15m	Geschosshöhe: 3,00 m Lichte Höhe: 2,65 m	4,00 m
Kiubo	Hofreiter Ritter	Graz, Österreich	Raummodul	Wohnen & Büro	Laubengang	Skelettbau	Plug and Play Prinzip mit Regalstruktur befüllt durch Raummodule	Geschosshöhe: 3,60 m Lichte Höhe: 2,60 m	7,70 m
NEST / UMAR	Gramazzo Kohler & Werner Sobek	Dübendorf, Schweiz	Raummodul	Forschung / Wohnen	innenliegender Kern	Ausragende Deckenplatten	Plug and Play Prinzip, komplett recyclebar geplant, Regalstruktur	Geschosshöhe: 4,50 m Lichte Höhe: 3,50 m	5,60 m – m
Parlament Wien	Lukas Lang	Wien, Österreich	Skelettbau	Büro		Skelettbau	Zu 90% direkt wiederverwertbar, modular für Büro und Wohnen, kombinierbar mit Sonderelementen	Geschosshöhe: 3,04 / 3,50 m Lichte Höhe: 2,60 m / 3,00 m	1,40 m
Puukuokka Housing Block	OPEEAA	Jyväskylä, Finnland	Raummodule	Wohnen	Innengang	Raummodule	Quer zueinander gestellte Module, Installation in Module integriert, abgesehen vom UG aus Holz	Geschosshöhe: 2,60 m Lichte Höhe: 2,15 m	3,30 m /2,30 m
Residence Sociale Toulouse	PPA architectures	Toulouse, Frankreich	Raummodule	Wohnen	Innengang	Raummodule	keine Unterkellerung, angeschrägte Deckenelemente der obersten Module – keine Gefälledämmung, nur Treppenkern aus beton	Geschosshöhe: 2,80 m Lichte Höhe: 2,50 m	3,65 m
Robin Wood	Marc Koehler Architects	Amsterdam, Niederlande	Raummodule	Wohnen + Büro / Café / Atelier	Laubengang	Raummodule	Tiny Forrest, Flexible Wohngrundrisse - Adaptabilität	Geschosshöhe: 3,00m Lichte Höhe:	4,50m
Strandparkern B	Winghards Arkitektkontor	Sundyberg, Schweden	2D Module	Wohnen	Spännertyp	Schottenbauweise	Auch Aufzugschacht aus Holz gefertigt, nur Keller in Beton ausgeführt, Zugstangen bis ins obere Geschoss	Geschosshöhe: 3,30 m Lichte Höhe: 2,70 m	5,80 m / 3,80 m
Weggishof	HHF Architekten	Weggis, Schweiz	2D - Module + Skelettbau	Wohnen + Supermarkt	Spännertyp	Skelettbau	Hoher Betonanteil, Erdgeschoss Beton, Treppenhäuser Beton	Geschosshöhe: 3,00 m Lichte Höhe: 2,55 m	2,00m
WOODCUBE	IfuH	Hamburg, Deutschland	2D Module	Wohnen	Spännertyp, innenliegendes Treppenhaus	Aussenwand, Treppenkern	Massivholzbau für Außenwände, keine Folien oder Klebstoffe, komplett rückbaubar	Geschosshöhe: 3,00 m Lichte Höhe: 2,55 m	5,00 m
Woodie	Sauerbruch & Hutton	Hamburg, Deutschland	Raummodule	Wohnen	Innengang	Raummodule	Komplett fertige Module inklusive Möbel und Installation, Vorfertigung von 80%	Geschosshöhe: 2,90 m Lichte Höhe: 2,45 m	3,40 m

## 3.1 Kiubo Bausystem - Hofrichter - Ritter Architekten



Abb. 1: Kiubo Wohngebäude Graz

Das Kiubo Bausystem verfolgt das Prinzip einer Plug-and-Play-Architektur. Die Raummodule, die Wohnungen ausbilden oder Büroeinheiten beinhalten, werden in eine Tragstruktur eingestellt und lassen sich im Verlauf der Nutzung des Gebäudes tauschen, um veränderten Anforderungen gerecht zu werden.

Aufbauend auf der Idee, dass die Raummodule aus der Tragstruktur entfernt werden können, sieht das Kiubo Bausystem vor, die Tragstruktur an verschiedenen Standorten und in unterschiedlichen Dimensionen zu platzieren, und zwischen diesen die Raummodule zu tauschen.<sup>12</sup>

Grundlage für die Wohneinheiten stellt ein 25 m<sup>2</sup> großes Basismodul dar, das für sich als Kleinstwohnung funktioniert und mit einem Badezimmer und einer Küche ausgestattet ist. Ergänzt werden Wohnungen durch ein Erweiterungsmodul, das auch 25 m<sup>2</sup> groß ist und Wohnungen bis zu 75 m<sup>2</sup> ermöglicht.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> vgl. kiubo.eu - Wohnen anders denken

<sup>13</sup> vgl. kiubo.eu - Bausteine für das Wohnen von morgen

## Konstruktion

Die primäre Tragstruktur des Kiubo Bausystems ist als Stahlbetonkonstruktion mit Ortbeton gebaut.<sup>14</sup> Das Achsmaß des Tragwerks misst 7,80 Meter. In den Raum zwischen den Stützen können jeweils zwei Raummodule eingeschoben werden, die eine Breite von 3,80 Metern haben. Die Raummodule sind im Bereich der Außenwände in Holzrahmenbauweise ausgeführt. Im Innenbereich werden Trockenbauwände verwendet.<sup>15</sup> In den vier Obergeschossen werden die Raummodule im Tragwerk platziert (Abb. 2), indem sie mit einem Kran eingehoben und eingeschoben werden.<sup>16</sup>

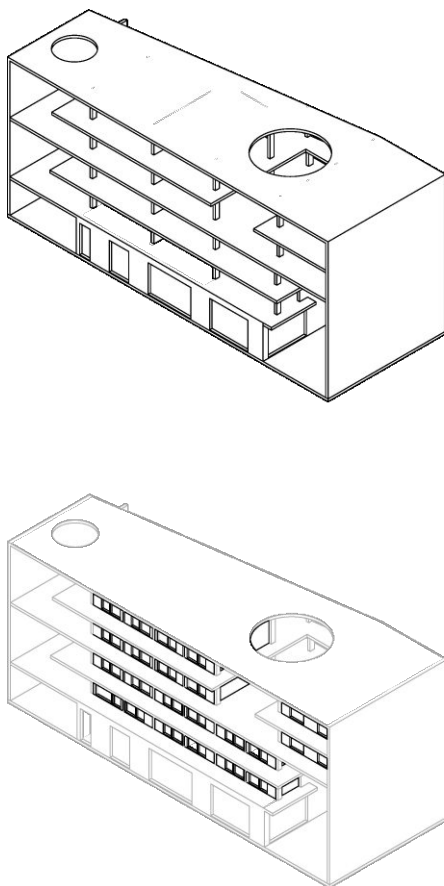
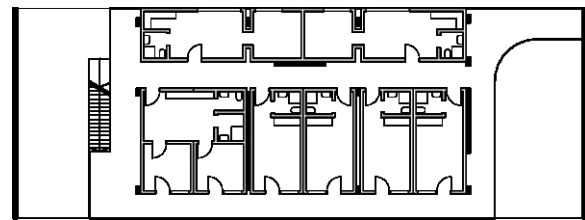


Abb. 2: Schema Primärstruktur - Sekundärstruktur

## Modularität

Das Kiubo Bausystem basiert auf Raummodulen. Die Adaptabilität zeichnet sich dadurch aus, dass es eine Basiseinheit gibt, die Badezimmer und eine Küche beinhaltet. Durch den Anschluss weiterer Raummodule können die Wohnungen erweitert werden. (Abb. 3) Das Basismodul stellt in diesem System eine geschlossene Nutzungseinheit dar. Der Einsatz von Raummodulen für Büronutzungen ermöglicht eine Nutzungsmischung innerhalb der Struktur.



■ Primärstruktur □ Raummodul

Abb. 3: Schematischer Grundriss

## Zirkularität

Nutzungsebene: Auf der Nutzungsebene ist eine zirkuläre Nutzung durch den Austausch von Wohn- und Büromodulen gegeben. Das Erdgeschoss ist ohne Raummodule gebaut, kann aber durch seine Grundrissgestaltung verschiedene Funktionen aufnehmen.

Konstruktionsebene: Die Raummodule können aufgrund ihrer Konstruktion in Holzrahmenbauweise nach dem Ende der Nutzung zurückgebaut werden. Die gewählten Materialien erlauben den Rückbau und das Einführen in neue Nut-

14 vgl. Gary, 2022. S.19

15 vgl. wettbewerb.cc. 2023

16 vgl. Gruber, 2022. S. 29

zungszyklen oder das Recycling. Die Tragstruktur hingegen ist aufgrund der Konstruktion mit Ortbeton nur durch Abbruch rückbaubar.

### **Bewertung**

Der Austausch von Raummodulen über einen langen Nutzungszeitraum innerhalb einer Tragstruktur ermöglicht in diesem Projekt eine hohe Nutzungsflexibilität. Die Planung von Nutzungseinheiten innerhalb eines Raummoduls, welches durch weitere Raummodule erweitert werden kann, ermöglicht eine gute Anpassungsfähigkeit des Systems. Die Positionierung von Wandscheiben innerhalb der Struktur zur Aussteifung hat zur Folge, dass die Gebäudenutzung sich nicht über die gesamte Tiefe der Struktur erstrecken kann. Des Weiteren sind die Module nicht vollständig gleich ausgerichtet, sondern werden teilweise in Längsrichtung zum Tragwerk positioniert. Dies resultiert in mehreren Grundrisstypen der einzelnen Raummodule. In Folge dessen ist eine größere Anzahl an unterschiedlichen Grundrissgestaltungen der Raummodule nötig. Der sortenreine Rückbau ist aufgrund der Betonkonstruktion des Tragwerks nur im Bereich der Raummodule gegeben.



## 3.2 NEST / UMAR - Gramazzo Kohler & Werner Sobek



Abb. 4: UMAR Forschungsgebäude & NEST

Das UMAR (Urban Mining and Recycling Unit) ist ein Forschungsgebäude, welches von Gramazzo Kohler Architekten in Dubendorf in der Schweiz geplant und gebaut wurde. Es funktioniert als eine Grundstruktur mit auskragenden Deckenplatten, auf denen unterschiedlichste Module platziert werden können. (Abb.5) Über einen innenliegenden Kern werden die Module erschlossen. Unterschiedliche Formen des Bauens sollen durch die Module erforscht werden. Das Erdgeschoss ist massiv gebaut und nimmt Funktionen wie Sanitärbereiche und Veranstaltungsräume auf.<sup>17</sup>

Das von Werner Sobek mit Dirk Hebel und Felix Heisel geplante Modul NEST soll im Zuge der Analyse neben der übergeordneten Struktur analysiert werden. Das NEST Modul ist mit Raummodulen in Holzbauweise gebaut und es wurde explizit darauf geachtet, die Konstruktion so zu realisieren, dass diese in Gänze kreislauffähig ist.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> vgl. [baunetzwissen.de](http://baunetzwissen.de)

<sup>18</sup> vgl. [wernersobek.com](http://wernersobek.com)

## Konstruktion

UMAR: Die Primärstruktur des Gebäudes ist in Stahlbeton realisiert. Die Deckenplatten kragen bis zu 12,5 m aus. Durch 60 cm starke, mit Kabeln vorgespannte Decken ist eine große Spannweite stützenfrei umsetzbar.<sup>19</sup>

NEST: Die Raummodule für das NEST sind in Holzrahmenbauweise gebaut. Es werden ausschließlich Materialien verwendet, die recycelt werden können oder bereits durch Recycling in einen neuen Nutzungszyklus eingeführt wurden. Die Verbindung unterschiedlicher Schichten durch Verschrauben oder Einklemmen ermöglicht eine klebefreie Konstruktion und dadurch eine sortenreine Trennung der Materialien. Unbehandeltes Holz und natürliche Dämmstoffe lassen sich gut weiter nutzen oder in den biologischen Kreislauf zurückführen.<sup>20</sup>

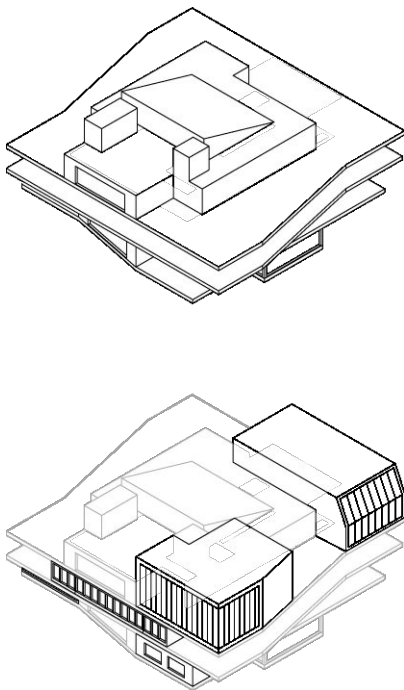


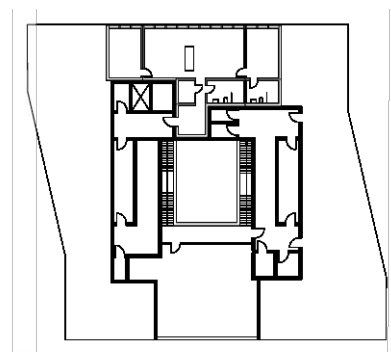
Abb. 5: Schema Primärstruktur - Sekundärstruktur

19 vgl. Felix, 2016. S. 893

20 vgl. Geuder, 2018.

## Modularität

In der Betrachtung des NEST Moduls (Abb. 6), wird das Modul als Raummodul verstanden. Die geplante Wohnung setzt sich aus sieben einzelnen Modulen zusammen. Die Fassade wird anschließend über die Module hinweg ausgebaut und verbindet diese.



■ Primärstruktur □ Raummodul

Abb. 6: Schematischer Grundriss

## Zirkularität

Nutzungsebene: In der Nutzungsebene ist eine Zirkularität und Nutzungsflexibilität dadurch gegeben, dass es freie Deckenflächen gibt, die frei ausgebaut werden können. Der Einsatz von verschiedenen Raummodulen verbunden mit deren Austausch zeigt, dass eine variable Nutzung möglich ist.

Konstruktionsebene: Die gesamte Struktur aus Stahlbeton mit ihren auskragenden Deckenplatten ist in ihrer Konstruktion nicht rückbaubar. Zwar kann man Beton ins Recycling geben, dies ist aber mit einem enormen Aufwand durch die Materialtrennung von Beton und Stahl verbunden. Das NEST Raummodul hin-

gegen hat bessere Eigenschaften, wenn es um die Trennung der Bauteilschichten geht, was ein Rückführen in neue Nutzungsphasen oder das Recycling ermöglicht.

### **Bewertung**

Vor allem die Rückbaubarkeit der verbauten Raummodule ist ein sehr positiver Aspekt dieses Projekts. Die Stützenfreiheit der Konstruktion ermöglicht es, die Raummodule gut ein- und auszubauen und diese zu verbinden. Dies bedingt aber auch, dass die Nutzungseinheiten nur von einer Seite belichtet werden können. Die Kleinteiligkeit der Einheit aus sieben verschiedenen Einzelmodulen stellt eine Herausforderung dar, da so die Anzahl der Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Raummodulen erhöht wird. Die teilweise geringe Tiefe der Deckenplatten von 5 Metern stellt ein Hemmnis für eine Nutzungsflexibilität dar.

### 3.3 Lukas Lang Bausysteme - Lukas Lang



Abb. 7: Lukas Lang Bausystem

Das Lukas Lang Bausystem ist ein System für Gebäude, das wie ein Baukasten funktioniert und sich aus Einzelelementen zusammensetzt. Durch die Art der Konstruktion sind viele Formen von Gebäuden und Nutzungen denkbar und umsetzbar.<sup>21</sup>

Durch die kleinteilige Elementierung und Adaptabilität des Systems, sind Gebäude erweiter- und fast komplett rückbaubar. Der Einsatz von Holz in den meisten Elementen des Systems führt zu einer sehr nachhaltigen und umweltschonenden Nutzung von Ressourcen.<sup>22</sup>

Das prominenteste Projekt, welches in diesem System errichtet wurde, ist das temporäre Parlament in Wien. Dort wurden für die Zeit der Renovierung des

eigentlichen Parlaments drei Ausweichgebäude mit dem Lukas Lang Bausystem errichtet, die am Ende der Nutzung wieder rückgebaut werden und deren Bauelemente in anderen Gebäuden weitergenutzt werden können.<sup>23</sup>

21 vgl. [lukaslang.com](http://lukaslang.com) - Flexibel

22 vgl. [lukaslang.com](http://lukaslang.com) - Werterhaltend

23 vgl. [lukaslang.com](http://lukaslang.com) - Temporäres Bürogebäude

## Konstruktion

Das Lukas Lang Bausystem setzt in seiner Konstruktion vollständig auf Holz. Basierend auf einem Konstruktionsraster von 1,40 Meter wird das Tragwerk als Skelettkonstruktion gebaut. Die Stützen aus Brettschichtholz haben einen Durchmesser von 20 cm und gibt es in unterschiedlichen Höhen, um unterschiedliche Raumhöhen zu realisieren. Träger in Längen zwischen 1,20 Meter und 5,40 Meter ermöglichen unterschiedlich große Spannweiten. Brettsperrholzelemente in der Größe von 1,20 m x 1,20 m bilden die Decken aus, welche als schubsteife Scheibe funktionieren. Die Aussteifung der Struktur wird mit Aussteifungsdiagonalen aus Stahl umgesetzt. Bei größeren Projekten, wie dem Ersatzparlament in Wien, kommen Betonkerne und Aussteifungsdiagonalen aus Stahl in der Deckenebene zum Einsatz. Die Verbindung der Stützen und Träger funktioniert über Universalknoten aus Stahl, welche die Verbindung dazwischen herstellen.<sup>24</sup>

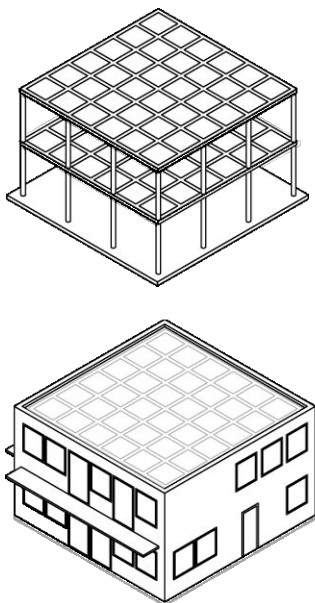
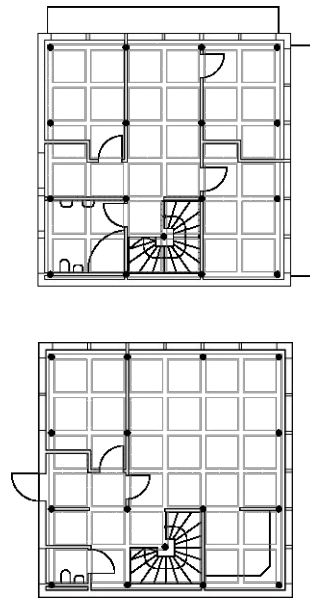


Abb. 8: Schema Tragstruktur - Sekundärstruktur mit Ausbau

24 vgl. Jacob-Freitag, 2017.

## Modularität

Im Bausystem von Lukas Lang kommen Module in Form von 1D-Elementen, als Stützen und Träger zum Einsatz, die das Tragwerk ausbilden. (Abb. 8) 2D-Elemente als Wandscheiben kommen als Außen- und Innenwände zum Einsatz. (Abb. 9) Durch den Einsatz von 1D-Elementen ist die Gestaltung komplett flexibel und erlaubt es, viele verschiedene Typologien umzusetzen.



■ Primärstruktur □ Ausbauelemente

Abb. 9: Schematischer Grundriss, Beispielprojekt Lukas Lang Bausystem

## Zirkularität

Nutzungsebene: Der Einsatz der kleinteiligen Elementierung des Bausystems ermöglicht viele Gebäudetypologien. Durch die Trennung der Tragstruktur und dem Ausbau wird eine flexible Grundrissplanung und dadurch auch eine hohe Nutzungsflexibilität gewährleistet.

Konstruktionsebene: Durch die Universalknoten, über die die Stützen und Trä-

ger lösbar verbunden werden, und die Trennung von Tragstruktur und Ausbau ist eine fast vollständige Rückbaubarkeit möglich. Die Elemente können nach dem Ende einer Nutzungsphase in einem anderen Gebäude wiederverwendet werden, was die Nutzungsdauer der Materialien verlängert.

### **Bewertung**

Die Zirkularität der Konstruktion stellt den wichtigsten Aspekt des Bausystems von Lukas Lang dar. Durch die Lösbarkeit der gesamten Konstruktion wird eine vollumfängliche Rückbaubarkeit gewährleistet, die für eine zirkuläre Nutzung von Materialien unbedingt nötig ist.

## 3.4 Fazit Referenzobjekte

Die drei betrachteten Projekte geben einen Aufschluss darüber, wie sich eine zirkuläre Architektur umsetzen lässt. Alle drei Projekte bieten Ansätze und Aspekte, die in Teilen für die eigene Ausarbeitung übernommen werden.

Eine Gemeinsamkeit der betrachteten Projekte ist die Trennung von Primär- und Sekundärstruktur. Dies ermöglicht eine zirkuläre Nutzung, da eine übergeordnete Struktur eine flexible Nutzung erlaubt. Die Beispiele des UMAR / NEST und das Kiubo Bausystem zeigen, dass eine Tragstruktur, die von Raummodulen gefüllt werden kann, gute Potentiale für eine zirkuläre Nutzung hat.

Die Rückbaubarkeit der Konstruktion ist bei den ersten beiden Projekten nur bedingt möglich. Die verbauten Raummodule lassen sich aufgrund der Holzrahmenkonstruktion und den verwendeten Materialien in beiden Beispielen zurückbauen. Die Tragstrukturen hingegen sind aus Stahlbeton. Dadurch, dass diese nicht aus zusammengefügten Elementen bestehen, können sie nur abgebrochen werden, um die Materialien ins Recycling zu geben. Das Lukas Lang Bausystem wiederum lässt sich aufgrund der gänzlichen Auflösung eines Gebäudes in seine Einzelelemente zurückbauen.

In der generellen Analyse von Gebäuden (Tabelle 1) hat sich herausgestellt, dass sich ein Achsmaß zwischen 3,20 m und 4,00 m gut für Raummodulbauweisen eignet. Des Weiteren hat eine Vielzahl der betrachteten Projekte, die mit Raum-

modulen geplant sind, einen massiven Sockel, der andere Funktionen aufnimmt, die sich nur schwer durch den Einsatz von Raummodulen umsetzen lassen.

Die Nutzung von Raummodulen, das Rastermaß, ein Sockel im Erdgeschoss, die Rückbaubarkeit und die Materialität der NEST-Raummodule, die Regalstruktur und die Einteilung einzelner Nutzungseinheiten pro Raummodul des Kiubo Bausystems und die gänzliche Rückbaubarkeit des Lukas Lang Bausystems sind Aspekte, die in der eigenen Projektentwicklung übernommen und spezifisch auf diese angewandt werden.

## 4. Entwurf

Wie in der Einleitung erwähnt, soll der Entwurf den Gedanken der Zirkularität auf mehreren Ebenen berücksichtigen und beinhalten.

Auf der Elementebene soll es möglich sein, einzelne Elemente, aus denen sich das Gebäude zusammensetzt, nach der Nutzungsphase entweder in den biologischen oder den technischen Kreislauf zurückzuführen. Einzelne Elemente sollen nach einer abgeschlossenen Nutzungsphase in eine neue Nutzungsphase gebracht werden, um die Nutzungsdauer von Rohstoffen zu verlängern und Ressourcenverbrauch zu minimieren. Um dies zu realisieren, muss auf der konstruktiven Ebene der Gedanke der Zirkularität durch die Möglichkeit der Reversibilität umgesetzt werden. Verbindungen sind reversibel, das heißt lös- und rückbaubar, auszuführen, um die Demontage ohne Beschädigungen des Materials zu gewährleisten. In der Baustoffwahl wird dort, wo es möglich ist, auf natürliche Baumaterialien zurückgegriffen, da so die Möglichkeit besteht, Materialien in den stofflichen Kreislauf zurück zu führen, wodurch diese bessere ökologische Eigenschaften aufweisen. Innerhalb des Entwurfs soll auf Nutzungsebene ebenfalls die Möglichkeit bestehen, dass diese sich über die Nutzungsphase des Gebäudes verändern kann, ausgehend von sich veränderten Nutzungsanforderungen und Bedürfnissen an das Gebäude. Die Ausgangssituation des Gebäudes sieht zum großen Teil die Nutzung als Wohnraum

vor, ergänzt durch Büro- und Gewerbeflächen, sowie öffentlich-gemeinschaftliche Nutzungen im Sinne einer Nutzungsmischung. Durch die Trennung von Tragstruktur und Ausbau des Gebäudes ist es möglich, die Nutzung aufgrund der Modularität zu verändern. So kann nach einer ersten Nutzungsphase das Verhältnis der Wohnungsmischung verändert werden, wenn beispielsweise der Bedarf an Single-Wohnungen extrem gestiegen und der Bedarf an größeren Wohnungen gesunken ist. Genauso könnte das Verhältnis von Wohnfläche zur Bürofläche verändert werden und ein Teil der Wohnungen kann einer gewerblichen Nutzung innerhalb der Struktur weichen.

Es ist sogar denkbar, dass das Gebäude selbst durch das Hinzufügen von Bauelementen oder das Zurückbauen einzelner Elemente in seiner Form und Größe verändert werden kann. Ein Kerngedanke des Entwurfs ist es, dass die Tragstruktur über mehrere Nutzungszyklen des Gebäudes bestehen bleibt. Nach einem Nutzungszyklus können durch veränderte Randbedingungen und Anforderungen die Nutzung oder die Grundrissgestaltung verändert und neuen Bedingungen durch das Austauschen der Raummodule angepasst werden. So werden weniger Ressourcen in Form von Energie und Material verbraucht und es können Kosten gespart werden, anstatt im Vergleich zu der konventionellen Praxis nach einem Nutzungszyklus ein Gebäude abzureißen und an gleicher Stelle ein neues Gebäude zu errichten. Sollte ein Gebäude, welches in diesem Bausystem errichtet wurde, zurückgebaut werden, können



Elemente direkt wiederverwendet und in anderen Gebäuden an anderen Orten verbaut werden.

Um die Varianz des Konzeptes aufzuzeigen, wurden verschiedene Entwürfe in unterschiedlichen räumlichen und baulichen Kontexten entwickelt. Während ein Entwurf als freistehendes Gebäude geplant wurde, zeigt der zweite Entwurf eine Variante auf, wie dieses Bausystem in einer Baulücke umgesetzt werden kann. Es ist durchaus denkbar, dass dieses Bausystems nicht nur im Sinne der Zirkularität verwendet wird, sondern auch um Baulücken in der Stadt nachzuverdichten.

## 4.1 Wohnen in Wien

Der Fokus in der Planung der Wohnungen liegt auf dem leistbaren Wohnen. Die Bevölkerung der Stadt Wien ist in den letzten zehn Jahren konstant größer geworden.<sup>25</sup> Dieser Trend wird sich Prognosen zufolge auch in der Zukunft fortsetzen, da bis zum Jahr 2100 die Bevölkerungszahl schätzungsweise auf 2,7 Millionen Menschen ansteigen wird.<sup>26</sup> Dieser Bevölkerungszuwachs hat zur Folge, dass neuer Wohnraum für mehr Menschen in der Stadt geschaffen werden muss. Eine weitere Entwicklung ist die Zunahme von Single-Haushalten über die letzten zehn Jahre. Diese Entwicklung wird zukünftig nicht weniger werden.<sup>27</sup> Das Entwurfskonzept sieht vor, genau solche Entwicklungen abfedern zu können. So ist es zum Beispiel möglich, die Wohnungsmischung

zu verändern, etwa einen erhöhten Bedarf an Single-Wohnungen innerhalb des Gebäudes umzusetzen und dafür weniger größere Wohnungen zu haben. In der Entwicklung der Grundrisse wurde auf das Modell der Wiener Smart-Wohnungen zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um flächenoptimierte und -effiziente Wohnungen, in denen unter anderem Bäder und WCs zusammengelegt werden, um Platz zu sparen. Es sind fünf verschiedene Typen in verschiedenen Größen für unterschiedliche Bedürfnisse vorgesehen: Typ-A-Wohnungen mit maximal 40 m<sup>2</sup>, Typ B bis zu 55 m<sup>2</sup>, Typ C bis zu 70 m<sup>2</sup>, Typ D mit maximal 85 m<sup>2</sup> und Typ E mit einer maximalen Größe von 100 m<sup>2</sup>.<sup>28</sup> Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit im Sinne der Flächeneffizienz ist es kritisch zu beobachten, dass die Pro-Kopf-Wohnfläche konstant steigt. Aktuell liegt sie bei circa 46 m<sup>2</sup> pro Kopf in Österreich.<sup>29</sup> Durch das Zurückgreifen auf die Größen der Smart-Wohnungen wird dieser Entwicklung entgegengewirkt. Die Wohnungen weisen geringere Pro-Kopf-Wohnflächen als der landesweite Durchschnitt auf.

25 vgl. Mohr. 2023.

26 vgl. Mohr. 2022.

27 vgl. Schöber. 2022. S. 31.

28 vgl. Wohnberatung Wien

29 vgl. statista.com

## 4.2 Bauen mit Raummodulen

Wesentlicher Bestandteil des Entwurfes in der Konzeption und der baulichen Umsetzung ist die Nutzung von Raummodulen.

Die Bereiche der Wohnungen und der Büros werden mit Raummodulen umgesetzt, um in diesen Fällen die Stärken dieser Konstruktionsart auszunutzen. Durch die Kombination und das Zusammenschalten der Raummodule können die geforderten Wohnungsgrößen umgesetzt werden. Die Vorteile, die die Raummodulbauweise mit sich bringt und gerade in diesem Projekt zum Tragen kommen, sind zu aller erst die umweltschonenden Eigenschaften der Holzbauweise. Durch den Einsatz des Baustoffs Holz wird Kohlenstoffdioxid der Atmosphäre entzogen und in den Fasern des Holzes gespeichert. Nicht nur in der Betrachtung der Umweltwirkung hat das Bauen mit Holz Vorteile im Vergleich zu massiven Konstruktionen. Durch den Einsatz von Holz hat man deutliche Vorteile, wenn es um Wiederverwendung und die vorhergehende Demontage geht. Darüber hinaus weist eine Holzkonstruktion auch geringere Eigenlasten als eine massive Konstruktion auf. Die Installationstechnik, Leitungen und Möblierung können schon im Werk verbaut und die Bauzeit auf der Baustelle verkürzt werden. So entstehen auf der Baustelle weniger Emissionen in Form von Lärm und Schmutz. Die Möglichkeit der seriellen Fertigung in einer Werkhalle

bringt den Vorteil mit sich, dass eine bessere Qualitätssicherung möglich und dadurch eine erhöhte Ausführungsqualität zu erwarten ist.<sup>30</sup> Das Bauen mit Raummodulen hat große Potentiale, wenn es darum geht, sich verändernde Gebäudestrukturen zu entwickeln.<sup>31</sup>

Vor allem die Aspekte der erhöhten Nachhaltigkeit und die Möglichkeit, eine veränderbare Struktur zu planen und zu bauen, kommen in dem Entwurfskonzept zum Tragen. Die Rückbaubarkeit ist im Bereich der Raummodule durch die gewählte Holzkonstruktion leichter zu realisieren.

## 4.3 Raummodule im Entwurf

Raummodule können in diesem Entwurf gut genutzt werden. Das Raumprogramm der Smart-Wohnungen spiegelt sich in vielen gleichen und sich wiederholenden Einheiten wieder. Gleiches gilt für die Typologien der Zellen- und Kombibüros. Auch hier gibt es sich wiederholende Einheiten, die zusammen geschaltet werden. Für die Wohnungen haben die eingesetzten Module eine Länge von 12 Metern und eine Breite von 3,80 Metern. So bleibt nach dem Einstellen des Moduls in die Tragstruktur Platz für die Erschließung über den Laubengang auf der einen Seite, und für den privaten Außenraum auf der anderen Seite. Die Module für die Büronutzung sind auch 3,80 Meter breit. Dieses Maß steht in starker Abhängigkeit der Tragstruktur. In der Länge sind die

30 vgl. Huß, 2018. S.62f

31 vgl. Huß, 2018. S.17ff.

geplanten Module auf 7,80 Meter ausgelegt. Durch das Zusammenschalten von zwei Modulen bildet sich der Innenraum über die gesamte Gebäudetiefe. Die Module haben eine Höhe von 3,40 Metern. So ergeben sich lichte Raumhöhen von 3 Metern.

Die angedachten Wohnungsgrößen lassen sich gut mit den Raummodulen umsetzen. Basierend auf drei Modulen, die Variationen aufweisen können, lassen sich alle fünf verschiedenen Wohnungen der Smart-Wohnungen umsetzen. Die Wohnungen funktionieren auch alle rollstuhlgerecht. Dafür müssen andere Nasszellen eingebaut werden und die Grundrisse verändern sich leicht in den Flurbereichen. Ergänzt werden die Wohnungen durch Gemeinschaftsräume, die sich ebenso mit den Raummodulen um-

setzen lassen.

Aufgrund der Außenmaße des Moduls ergeben sich spezielle Anforderungen an den Transport. (Abb. 10) Es ist ein Tieflader nötig, der die Raummodule transportiert. Dadurch werden zulässige Durchfahrtshöhen nicht überschritten. Aufgrund der Notwendigkeit einer Polizeibegleitung sollte der Transport im Voraus in Konvois geplant werden, um Kosten zu sparen. Die Breite des Moduls erlauben zu jeder Seite eine zusätzliche transportsichernde Verpackung von 10 cm. Die Breite von vier Metern wird so insgesamt nicht überschritten und es ist keine Transportstudie vor dem Transport der Module nötig.<sup>32</sup>

	B 2,55 m H 2,90 m L 13,60 m	B 3,00 m H 2,90 m L 30,00 m	B 3,50 m H 2,90 m L 12,50 m	B 4,00 m H 3,10 m L 12,50 m	B 4,20 m H 4,20 m L 12,50 m	B 4,50 m H 4,20 m L 12,50 m	B 5,50 m H 4,20 m L 12,50 m
Genehmigung	keine	Ausnahmegenehmigungen erforderlich					
Begleitfahrzeug		Meistens sind Dauergenehmigungen vorhanden.		Für die jeweiligen Transporte müssen separate Genehmigungen beschafft werden.			
Polizeibegleitung			Begleitfahrzeug auf Bundesstraßen erforderlich		Begleitfahrzeug auf Autobahnen erforderlich, in A doppelte Begleitung		
Sonstiges			Auf Autobahnen: in A immer, in D, CH teilweise		Polizeibegleitung in D, CH immer mit Polizeibegleitung		
					Tiefladerkombination		
							Streckenprüfung im Vorhinein

Abb. 10: Transport von Raummodulen

<sup>32</sup> vgl. Huß. 2018. S. 57.

## 4.4 Modulübersicht

### Typ A Wohnung

Die Wohnung hat eine Größe von 39,5 m<sup>2</sup>. Das Badezimmer ist im Grundriss zentral angeordnet, da so eine Belichtung der Wohnung von zwei Seiten möglich ist. Das Modul wird während der Vorfertigung mit einer Garderobe und Einbauschränken ausgestattet, um Stauraum in der kleinen Wohnung zu schaffen.

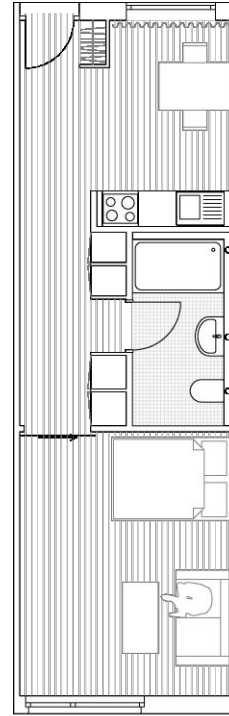


Abb. 11: Typ A Wohnung

### Typ A Wohnung rollstuhlgerecht

Der Aufbau der rollstuhlgerechten Variante der Typ A Wohnung unterscheidet sich nur in der Größe der Nasszelle. Die erforderlichen Bewegungsflächen von 1,50 Meter wird in allen Bereichen gewährleistet.<sup>33</sup>

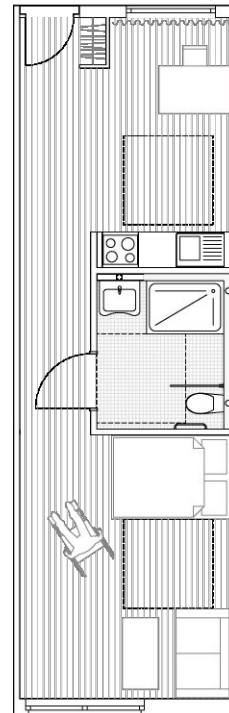


Abb. 12: Typ A Wohnung rollstuhlgerecht

33 vgl. oesterreich.gv.at

### Typ B Wohnung

Die Typ B Wohnung hat eine Größe von 55 m<sup>2</sup>. Ausgehend von dem gleichen Raummodul, wie es in der Typ A Wohnung genutzt wird, wird durch das Zusammenschalten mit einem benachbarten Raummodul die Wohnung um einen Raum erweitert. Wie bei der Typ A Wohnung kann die Nasszelle den Bedürfnissen einer rollstuhlgerechten Wohnung entsprechend angepasst werden.

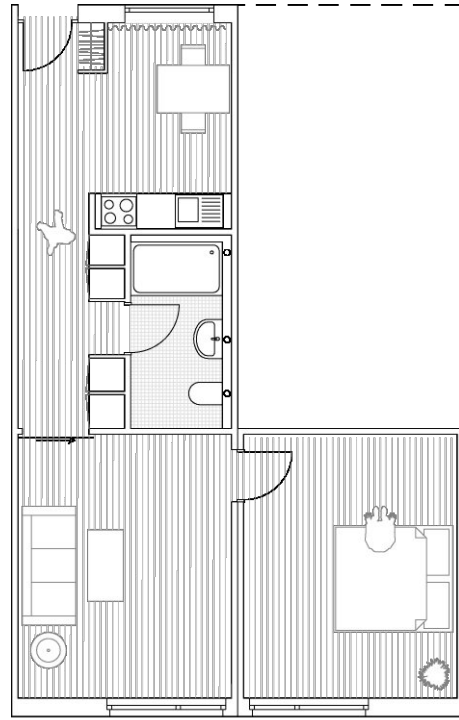


Abb. 13: Typ B Wohnung

### Typ C Wohnung

Die Typ C Wohnung ist 64 m<sup>2</sup> groß. Ein verändertes Grundmodul, in dem die Nasszelle gedreht positioniert ist und über die gesamte Breite des Moduls geht, wird durch das Zuschalten eines weiteren Moduls, in dem die Küche und ein weiteres Zimmer sind, ausgebildet. Die Wohnküche wird einseitig vom Laubengang aus belichtet. Die Wohnungen haben zusätzlich einen kleinen Abstellraum.

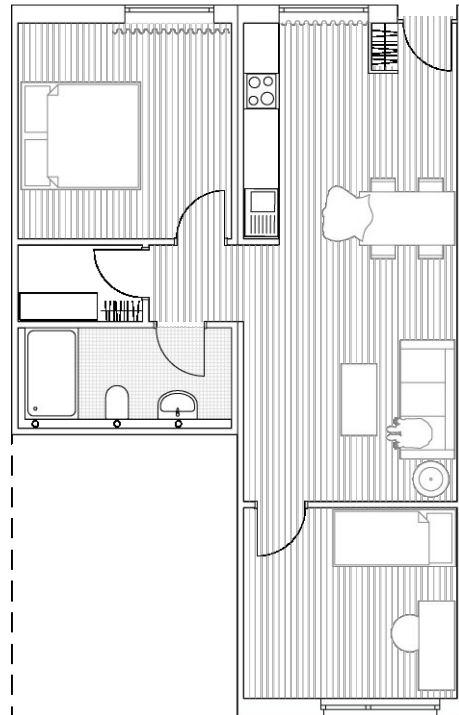


Abb. 14: Typ C Wohnung

### Typ C Wohnung rollstuhlgerecht

Um den Bewegungsradius von 1,50 m zu ermöglichen, muss die Nasszelle größer ausgeführt werden. Die Tür muss sich in dieser Variante zur Wohnküche statt in den kleinen Flur öffnen.

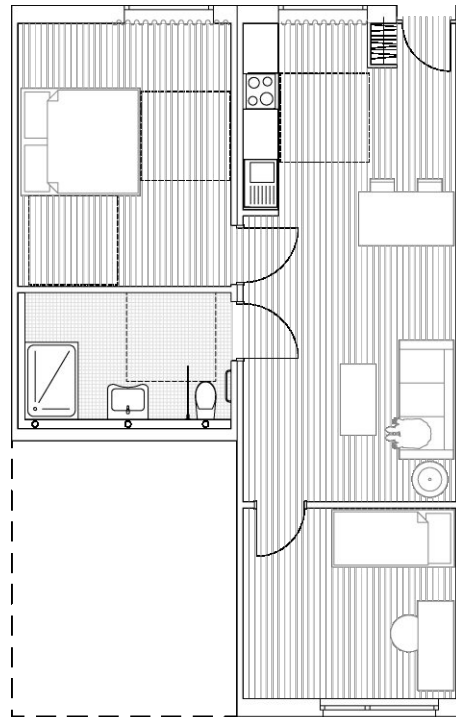


Abb. 15: Typ C Wohnung rollstuhlgerecht

### Typ D Wohnung

Die Typ D Wohnung hat eine Größe von 80,5 m<sup>2</sup>. Hier wird das gleiche Grundmodul wie bei der Typ C Wohnung genutzt. Bei diesen Wohnungstypen werden zwei Raummodule zu einer Wohnung kombiniert.

Wie in der Variante der Typ C Wohnung, ist hier eine rollstuhlgerechte Variante umsetzbar.

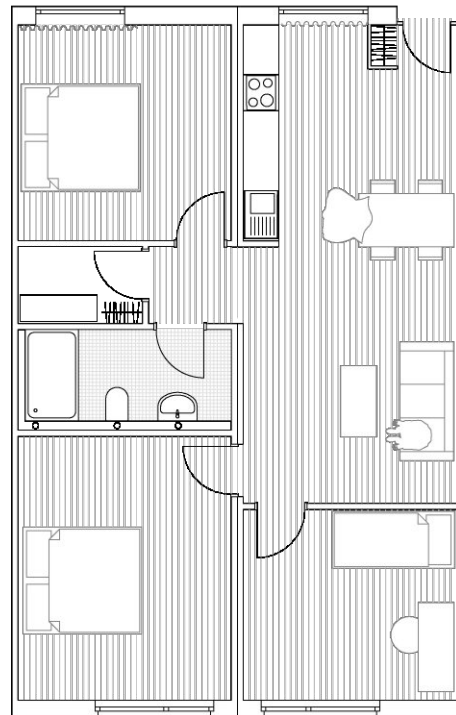


Abb. 16: Typ D Wohnung

### Typ D Variante

Eine Variante mit verändertem Grundriss der Typ D Wohnung weist zwei statt drei Zimmer auf, hat dafür aber eine beidseitig beleuchtete Wohnküche.

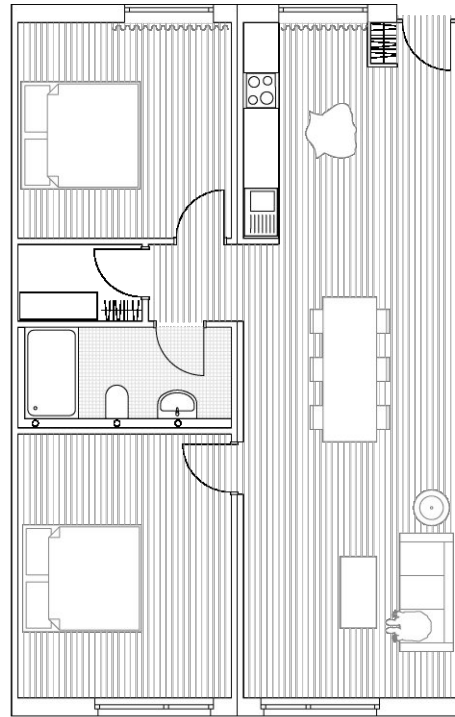


Abb. 17: Typ D Wohnung Variante

### Typ E Wohnung

Die Typ E Wohnung ist 96,6 m<sup>2</sup> groß. Zwei komplette Raummodule und ein Raum eines weiteren Raummoduls bilden die Wohnung.

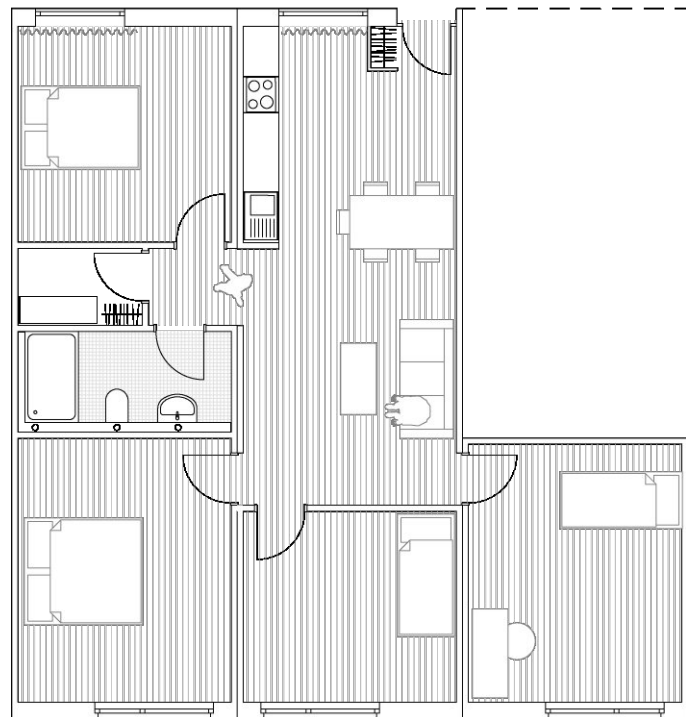


Abb. 18: Typ E Wohnung

### Typ E Variante

Die Typ E Wohnung ist in Varianten mit vier Zimmern um eine Wohnküche herum angeordnet oder mit einer durchgesteckten Wohnküche möglich, von der aus drei Zimmer erschlossen werden.

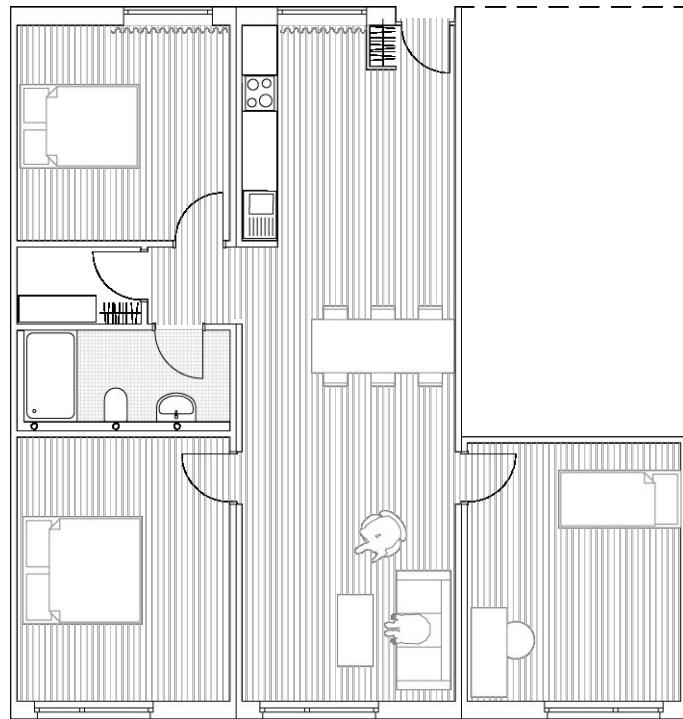


Abb. 19: Typ E Wohnung Variante

Mit drei unterschiedlichen Modulen, von denen zwei leichte Änderungen in Bezug auf die Anordnung der Türöffnung (Abb. 20) oder einen zusätzlichen Raum haben, lassen sich die fünf unterschiedlich großen Wohnungen umsetzen.

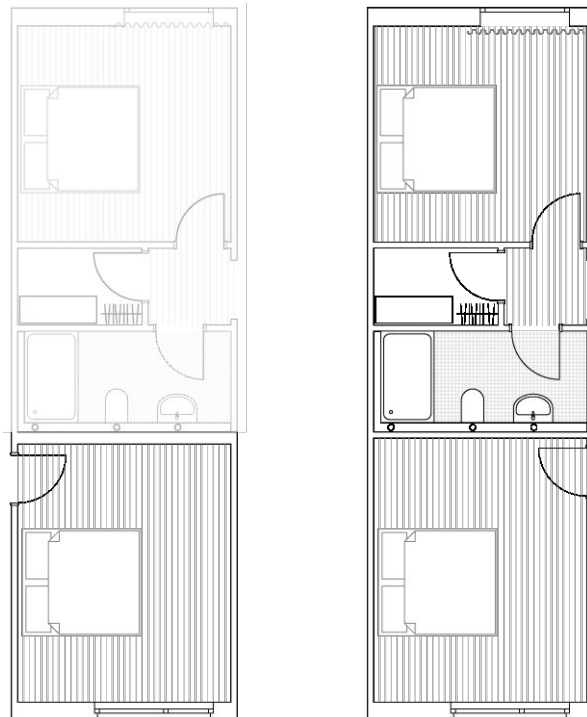


Abb. 20: Zuordnung Raum



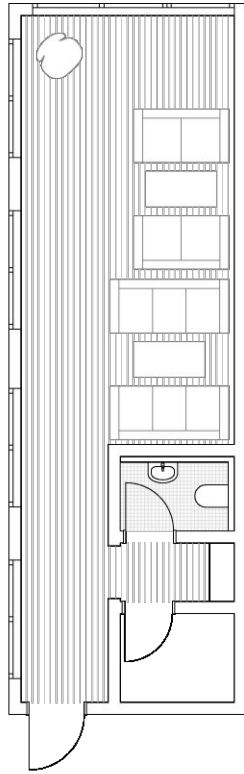


Abb. 21: Gemeinschaftswohnzimmer

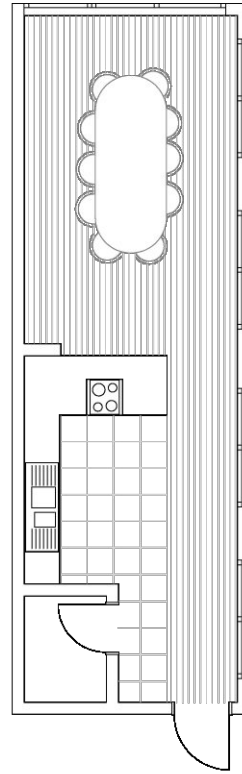


Abb. 22: Gemeinschaftsküche

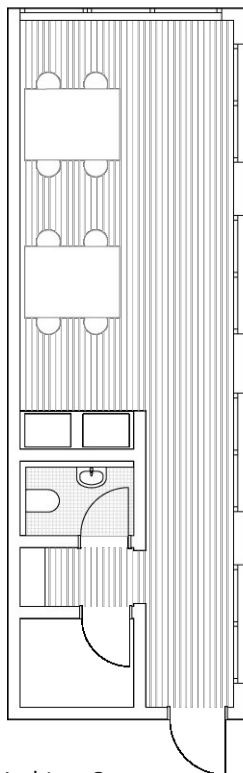


Abb. 23: Co-Working Space

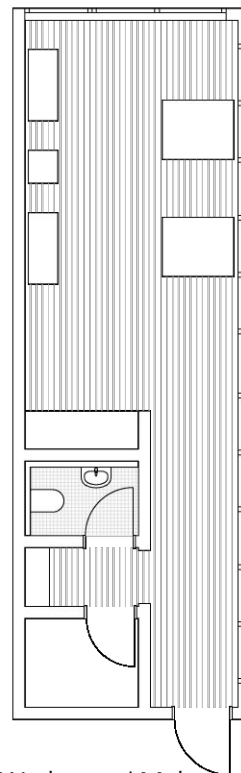


Abb. 24: Werkstatt / Maker - Space

Um das Wohnangebot zu erweitern und einen sozialen Austausch innerhalb des Gebäudes zu fördern, gibt es jeweils in einem Raummodul gemeinschaftliche Nutzungen wie ein Gemeinschaftswohnzimmer (Abb. 21) oder -küche (Abb. 22), ein Co-Working Space (Abb. 23) oder eine Maker Space (Abb. 24) für kleine handwerkliche Arbeiten.

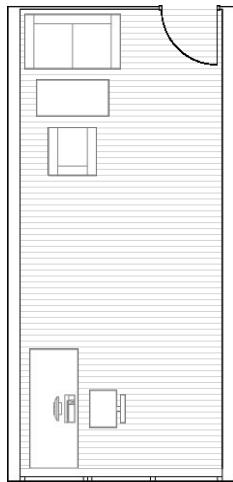


Abb. 25 Einzelbüro

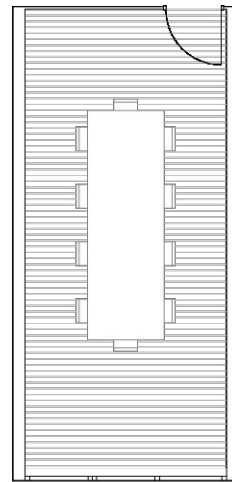


Abb. 26: Besprechungsraum

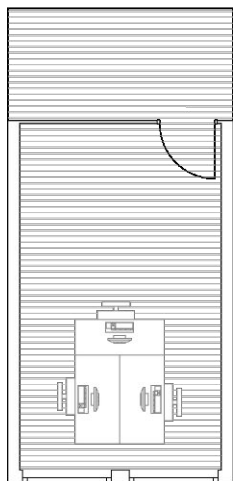


Abb. 27: Doppelbüro

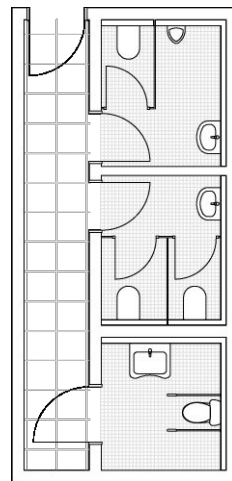


Abb. 28: Sanitäranlage

Im Bereich der Büros lassen sich klassische Formen der Büronutzung gut umsetzen. Durch eine Kombination von Modulen sind Zellenbüros mit einem Mittelgang möglich. (Abb. 25-27) Servicemodule mit Teeküchen oder Sanitäranlagen erweitern die Räumlichkeiten. (Abb. 28-29)

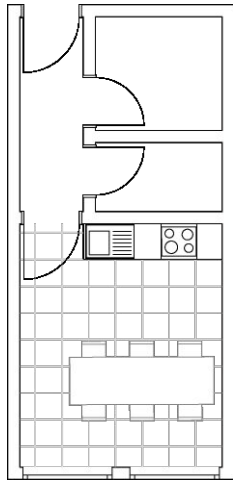


Abb. 29: Teeküche

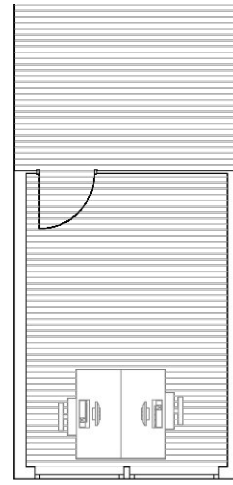


Abb. 30: Kombibüro

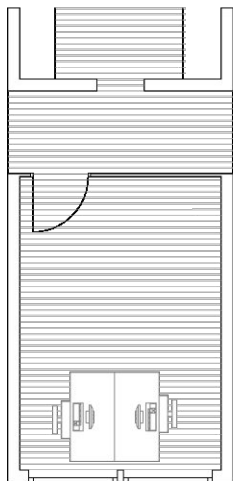


Abb. 31: Büro + Think Hub

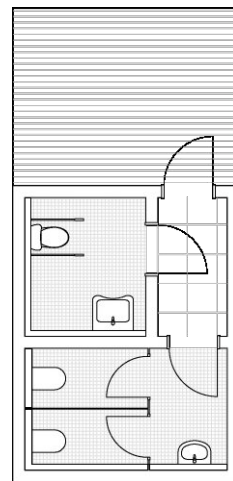


Abb. 32: Toilette groß

Kombibüros mit einer Mittelzone sind mit den Raummodulen umsetzbar. Die Büroeinheiten haben eine geringere Tiefe als bei der Variante der Zellenbüros. Die Trennwand zur Mittelzone hin ist in Glas ausgeführt, damit diese auch natürlich belichtet wird. (Abb. 30 -& 31) Servicebereiche als WC-Kern oder Teeküche ergänzen die Büroeinheiten. (Abb. 32 & 33)

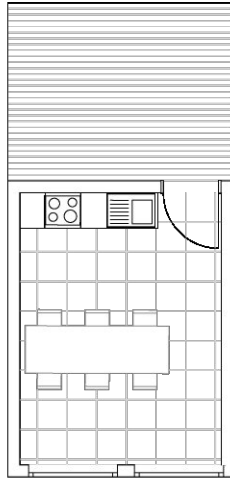


Abb. 33: Besprechungsraum Kombibüro



Abb. 34: Besprechungsraum Kombibüro

Durch seitlich offene Raummodule, die zusammenschaltet werden, lassen sich größere Räume wie zum Beispiel Besprechungszimmer umsetzen. (Abb. 34)

## 4.5 Entwurfsbeispiel 1: Westbahnhof

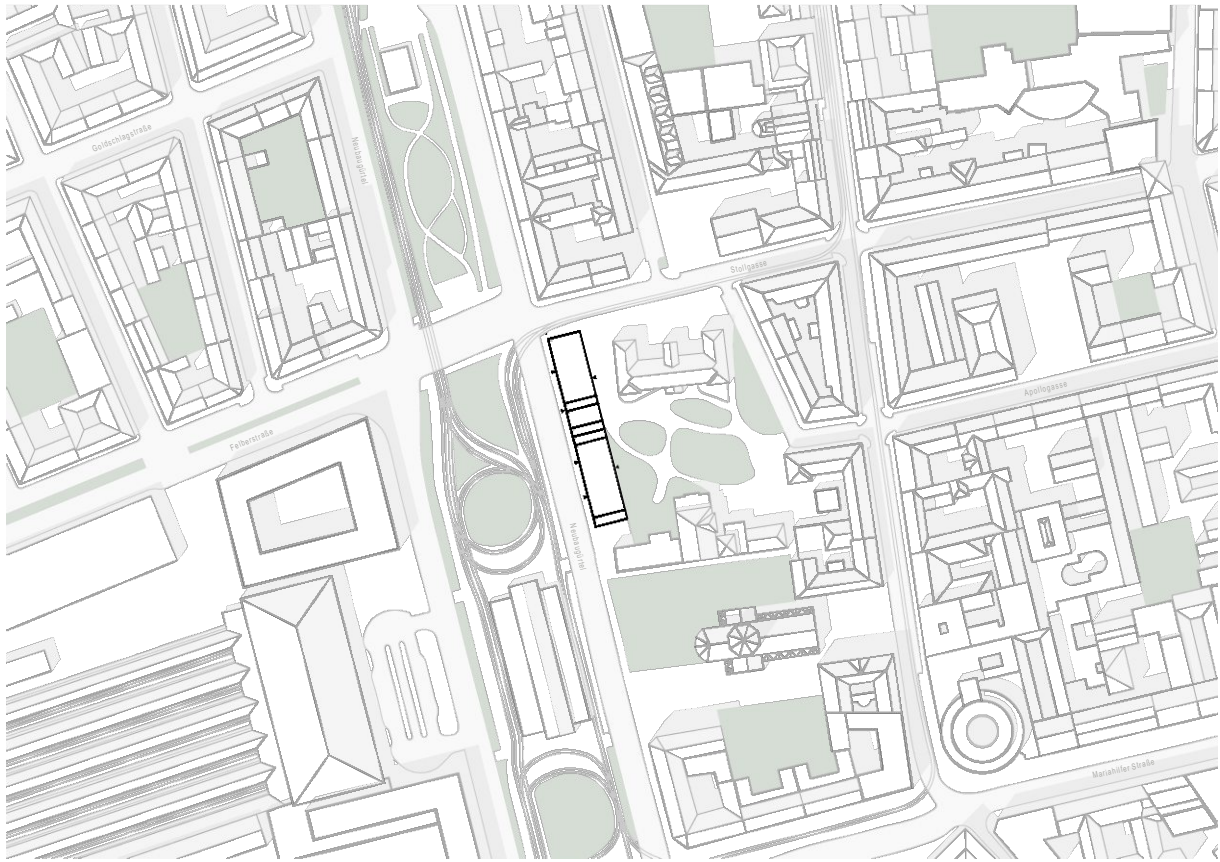


Abb. 35: Lageplan, genordet

Das erste gewählte Entwurfsszenario befindet sich in sehr zentraler Lage in Wien. Der Bauplatz neben dem ehemaligen Sophienspital befindet sich im siebten Gemeindebezirk an der Kreuzung Stollgasse und Neubaugürtel, einer stark befahrenen Straße. Es handelt sich um ein längsorientiertes Baufeld mit Ost-West-Ausrichtung. Direkt westlich des Bauplatzes gelegen befindet sich der Sophienpark. Auf gegenüberliegender Straßenseite liegt der Westbahnhof. Die U-Bahn-Linien U3 und U6 mit der Haltestelle „Westbahnhof“, von der auch eine Vielzahl von Straßenbahnlinien abfahren, befinden sich in unmittelbarer Nähe zum Grundstück. In direkter Umgebung des Bauplatzes gibt es eine Vielzahl von Wohnfolgeein-

richtungen wie Supermärkte, gastronomische Betriebe, Einkaufsmöglichkeiten und gewerbliche Nutzungen. Der Kontext des Bauplatzes gestaltet sich als sehr urbanes und vielfältiges Umfeld.

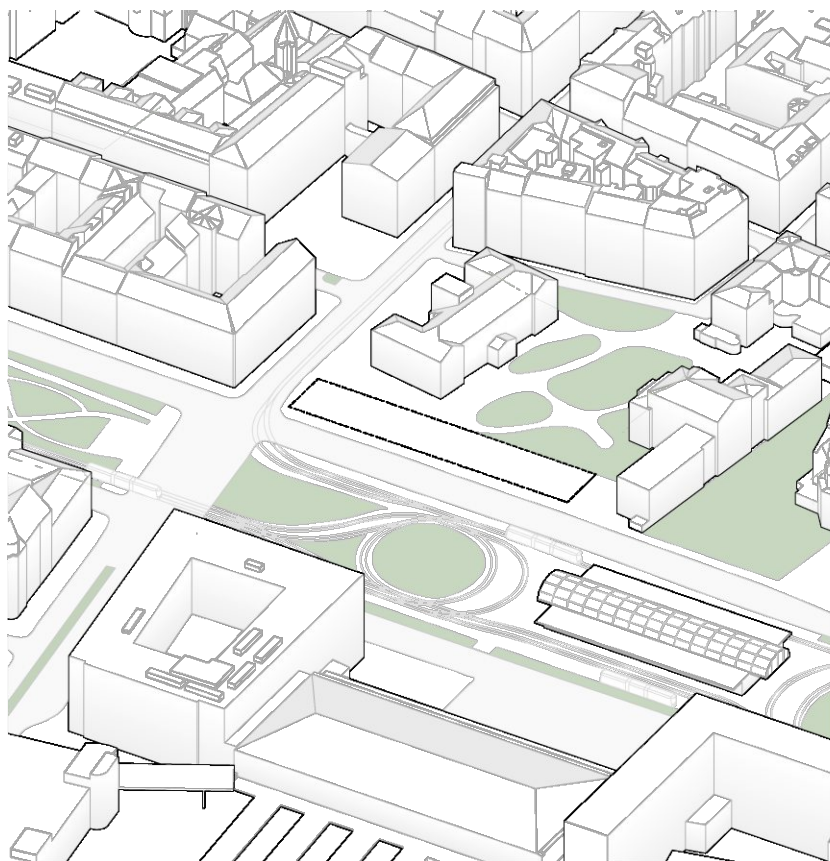


Abb. 36: Ausgangssituation auf dem Bauplatz.

Abb. 37: parallel zur Straße wird das Bauvolumen ausgebildet um die bestehende Freistelle entlang der Straße gemäß der Umgebung zu schließen.

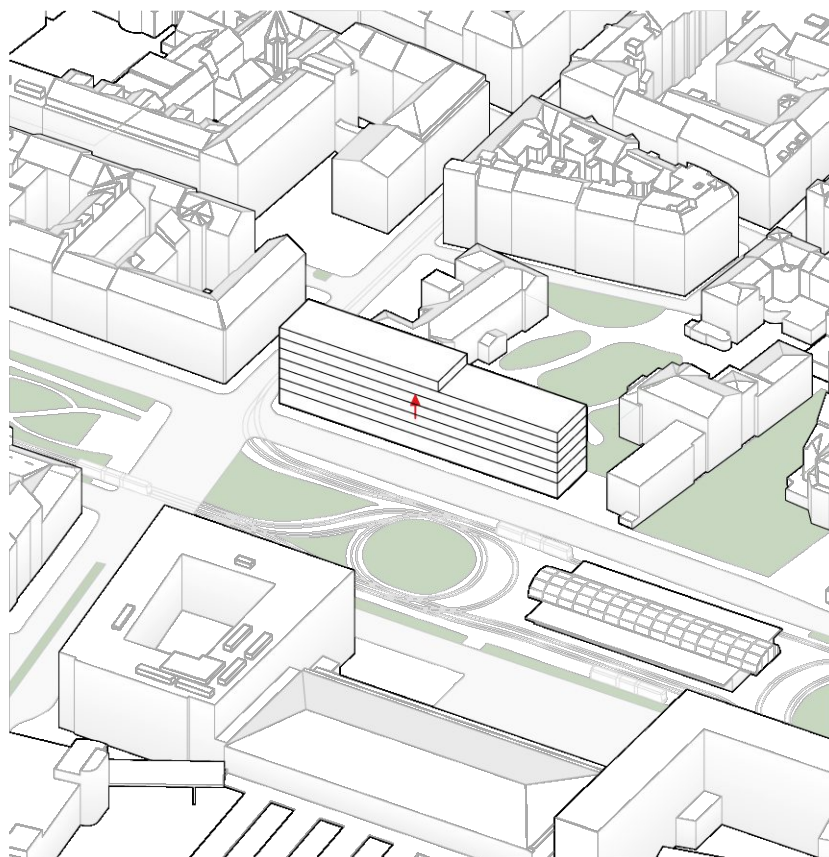


Abb. 38: Die Gebäudestruktur wird aufgebrochen, um einen spannungsvolleren Baukörper zu formen. Am nördlich liegenden Ende des Grundstückes wird ein Hochpunkt ausgebildet und es entsteht eine Terrassierung des Baukörpers.

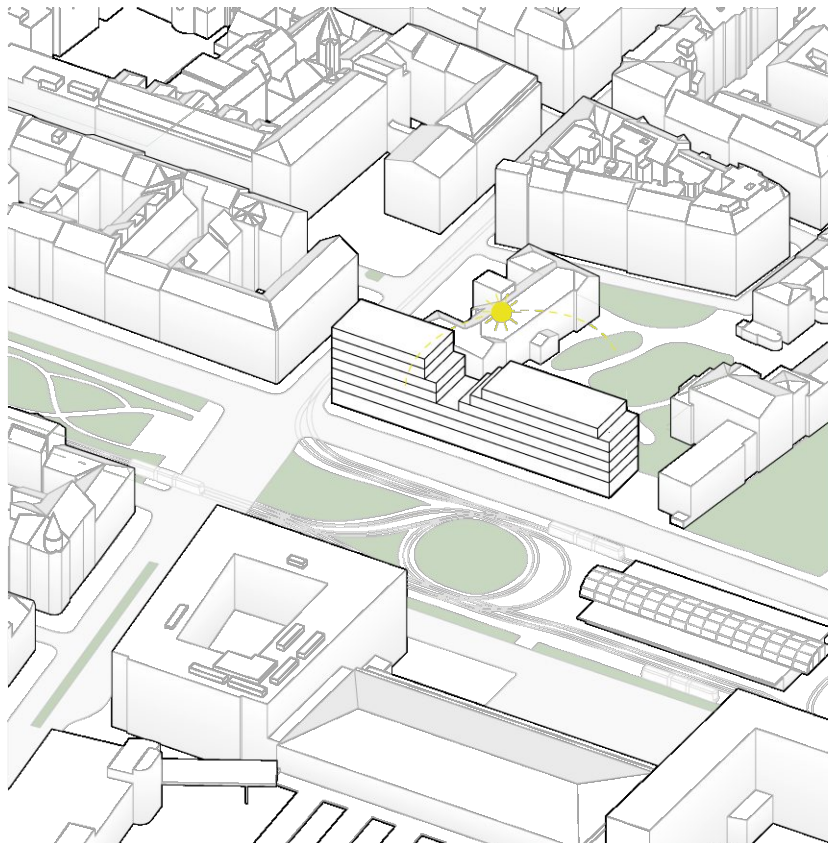
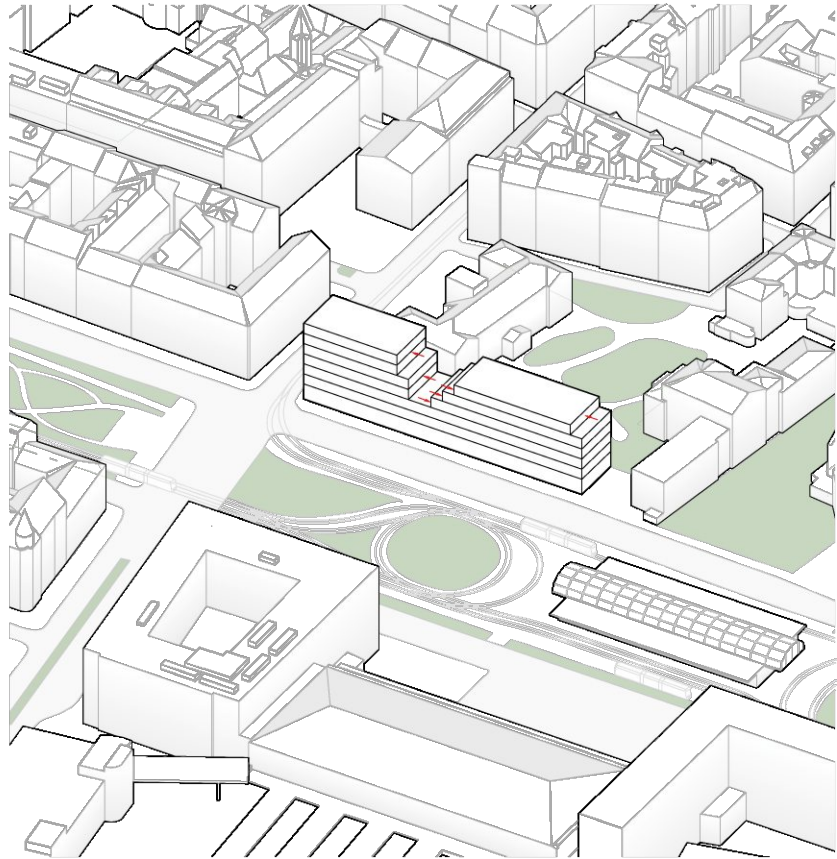


Abb. 39: Die Terrassierung an der Stelle wird auch gewählt, um die natürliche Belichtung des benachbarten, denkmalgeschützten Gebäudes zu verbessern.

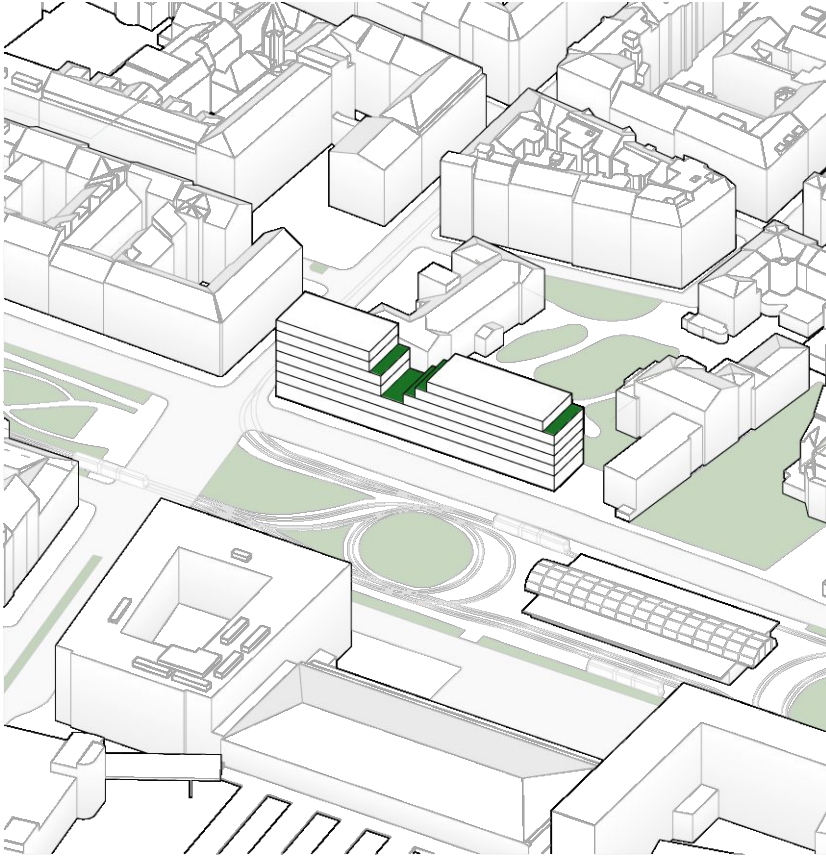


Abb. 40: Die ausgebildeten Terrassen werden als halböffentliche Gemeinschaftsflächen ausgebildet die das Wohnangebot als Begegnungszone ergänzen.

Abb. 41: Die vertikale Erschließung des Gebäudes funktioniert über zwei Treppenkern, von denen man in alle Geschosse gelangt.

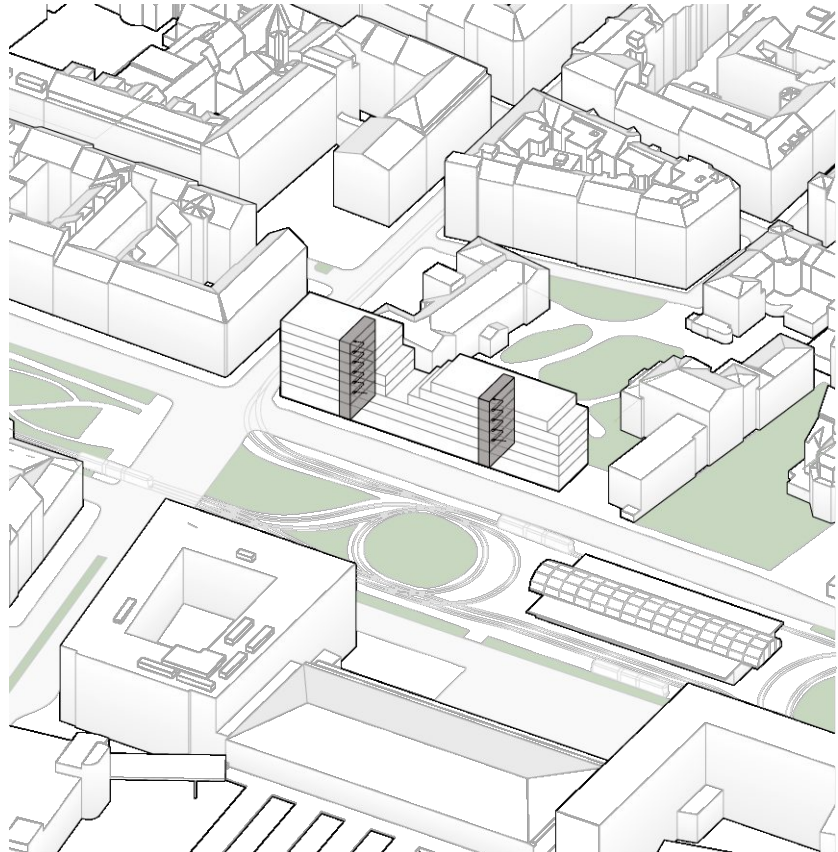




Abb. 42: Die horizontale Erschließung funktioniert im Bereich der Wohnungen über einen Laubengang. In den gewerblich genutzten Bereichen betritt man die Büros über den Treppenkerns.

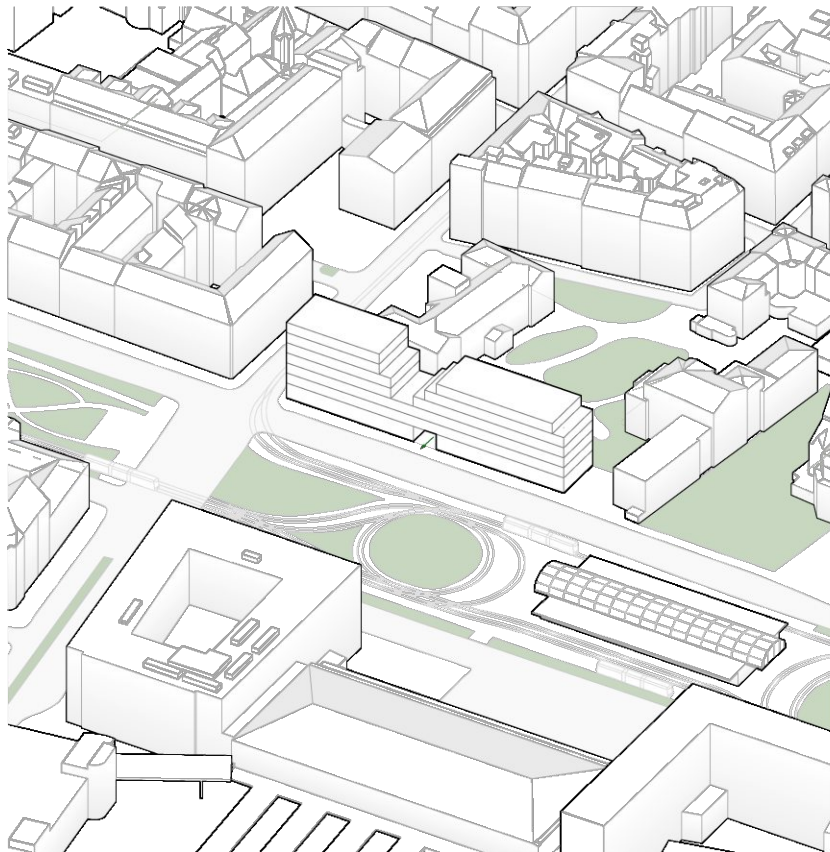
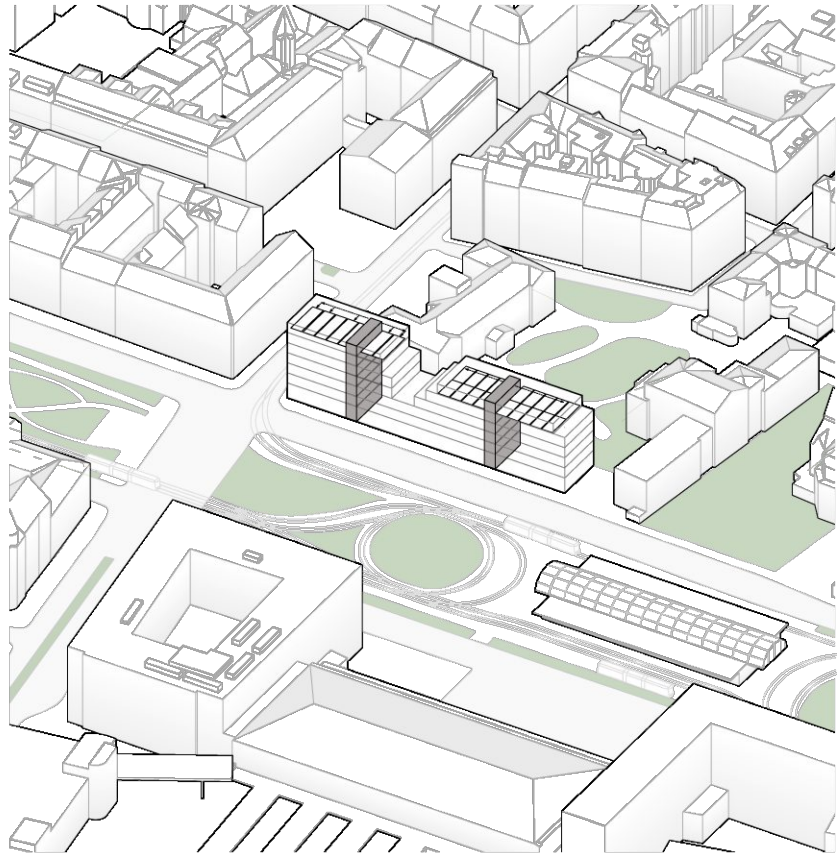


Abb. 43: Im Bereich des Erdgeschosses wird eine Verbindung zum Sophienpark mittels eines Durchgangs geschaffen, der die Erschließung des Parks verbessert.

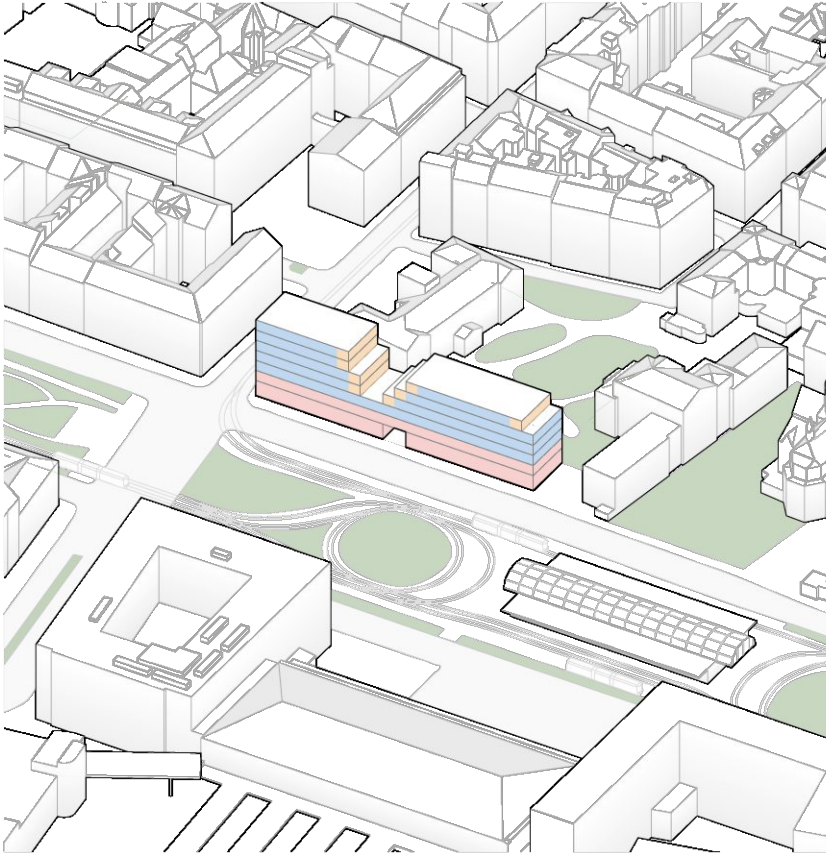


Abb. 44: In der Ausgangssituation der Gebäudenutzung sind das Erdgeschoss und das erste Obergeschoss als öffentliche Bereiche geplant. Die Obergeschosse sind als private Wohngeschosse ausgebildet die durch halbprivate Gemeinschaftsbereiche ergänzt werden.

Abb. 45: Die Tragstruktur in Skelettbauweise, wird mit unterschiedlichen Raummodulen gefüllt, um verschiedene Nutzungen zu ermöglichen. Im Sockelbereich des Erdgeschosses ist die Konstruktion massiv ausgeführt.

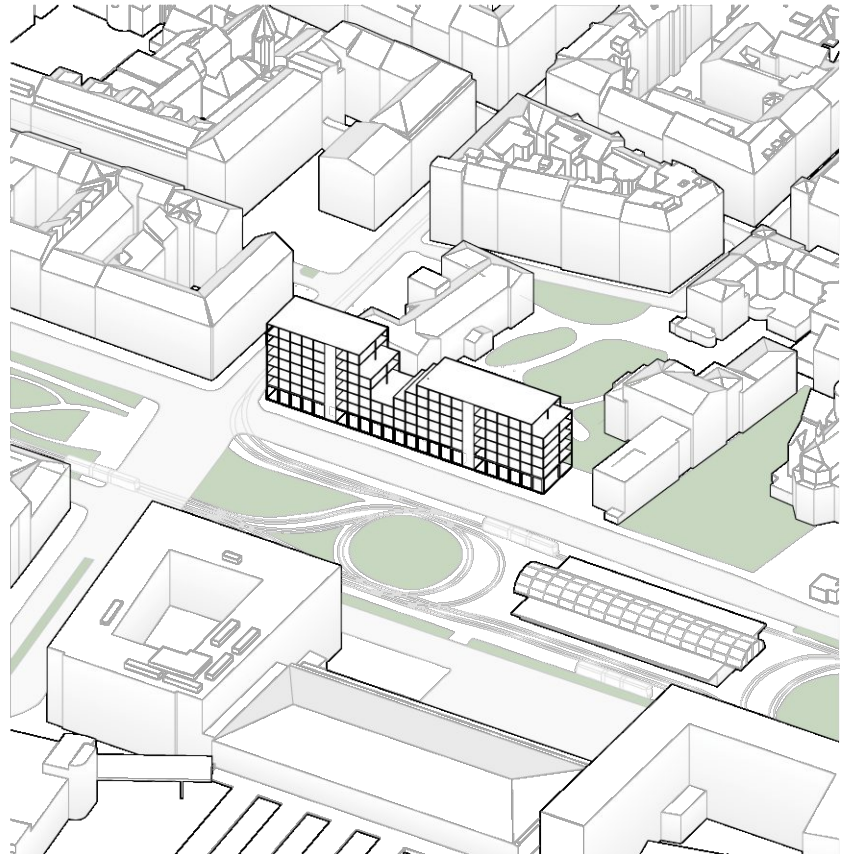


Abb. 46: Grundrissvariante A  
Untergeschoss:

In dieser Variante wird von einer kompletten Unterkellerung des Gebäudes ausgegangen. Im Untergeschoss befindet sich eine Tiefgarage mit Stellplätzen für Autos. Aufgrund der zentralen Lage und dem direkten Anschluss an den öffentlichen Personennahverkehr wird darauf verzichtet, einen Stellplatz für jeden Wohnung anzubieten.

Des Weiteren ist aufgrund der geplanten Wohnungsgrößen für jede Wohnung ein Lagerraum vorgesehen. Technikräume und Wachräume sind ebenfalls vorhanden.

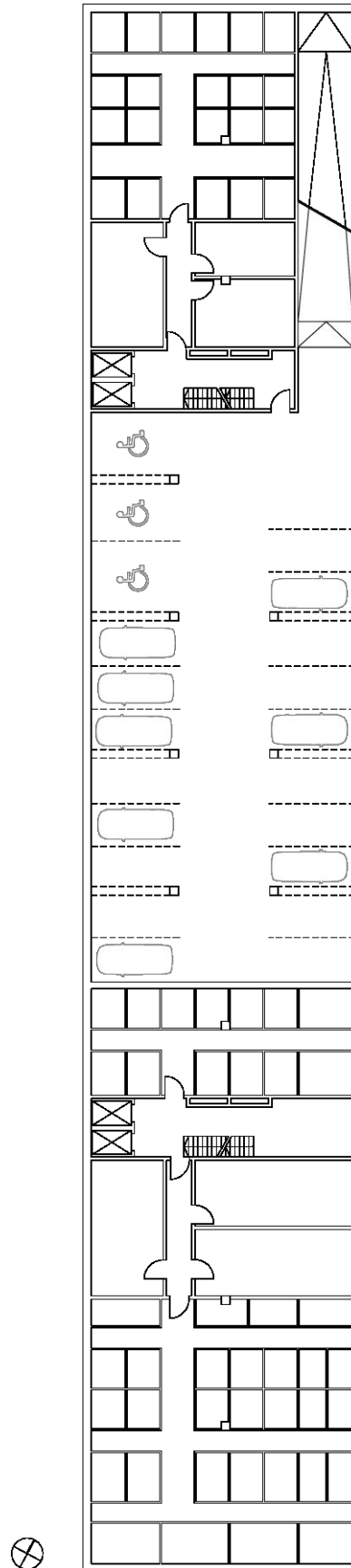


Abb. 47: Grundrissvariante B  
Untergeschoss:

Durch das Einbeziehen eines Mobilitätskonzeptes wird in dieser Variante auf die Tiefgarage im Bereich des Untergeschosses verzichtet, da im Erdgeschoss eine geringe Anzahl an Parkplätzen vorhanden ist. Analog zu Variante A findet man hier Lager-, Wasch- und Technikräume. Der zu Grunde liegende Gedanke beruht darauf so wenig Fläche wie möglich zu unterkellern um die dafür aufzuwendende Energie und den Einsatz von Beton zu minimieren.

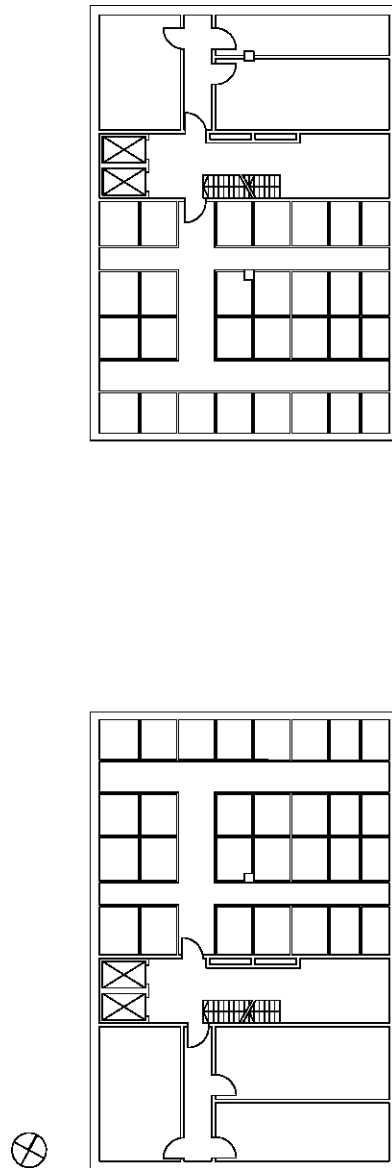


Abb. 48: Grundrissvariante Erdgeschoss:

Im Bereich des Erdgeschosses werden nicht wie im restlichen Gebäude Raummodule benutzt, sondern auf den Einsatz von 2D-Modulen zurück gegriffen um ein Raumprogramm mit Nutzungen umzusetzen bei dem Raummodule weniger gut geeignet sind.

In der hier geplanten Variante der Nutzung befinden sich im Erdgeschoss ein kleiner Supermarkt und ein Einzelhandelsgeschäft. Im Bereich des Durchgangs zum Park sind ein Café und ein Multifunktionsraum angeordnet, der für Ausstellungen, Konzerte oder Vorträge genutzt werden kann. Die Positionierung dieser Nutzungen am Durchgang soll diesen beleben, weiter können die Fläche für Veranstaltung und der Cafébereich bei gutem Wetter in die Freiflächen des Parks erweitert werden.

In dieser Variante befindet sich am nördlichen Ende die Zufahrt zur Tiefgarage über die Stollgasse.

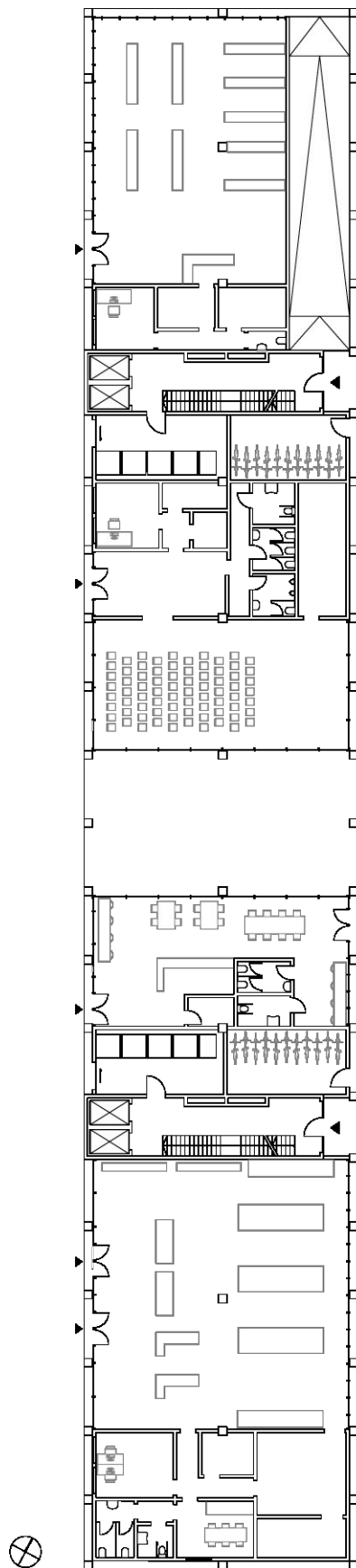


Abb. 49: Grundrissvariante B  
Erdgeschoss:

In dieser Variante wird im Sinne eines zukunftsfähigen Mobilitätskonzeptes auf eine Tiefgarage verzichtet, da in unmittelbarer Nähe diverse öffentliche Verkehrsmittel vorhanden sind. Eine Geringe Anzahl an Parkplätzen findet hier direkt im Erdgeschoss Platz und wird auch über die Stollgasse erschlossen. Es ist denkbar, dass nach einer Dauer von 20 Jahren auch der Parkplatz einer anderen Nutzung weicht, wenn es für diesen keinen Bedarf mehr gibt. Die Gestaltung der Grundrisse ist hier sehr viel freier und besteht aus eingestellten Kuben, die Flächen für Veranstaltungen oder Ausstellungen anbieten. Die Dimensionierung der Räume ist variabel sodass eine Vielzahl an Nutzungen umsetzbar ist.

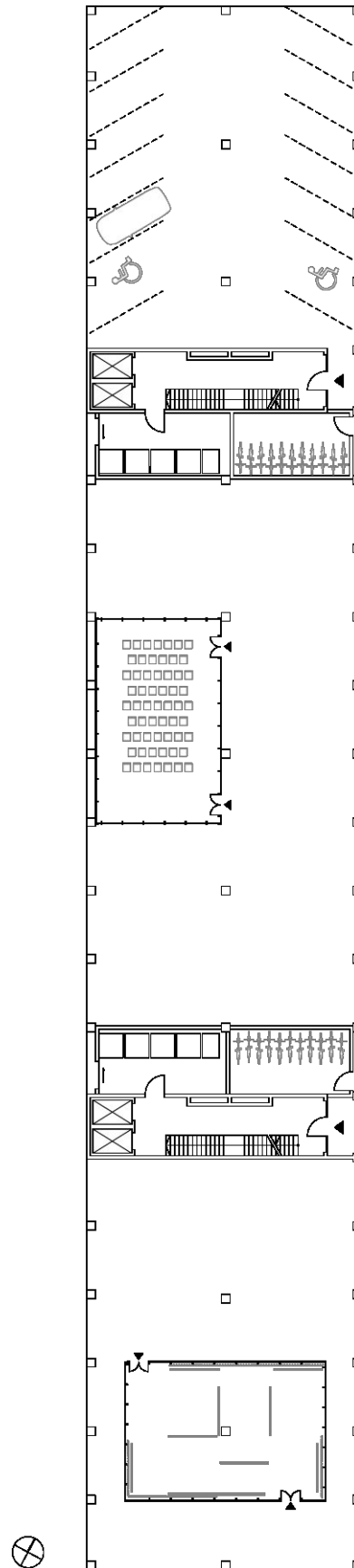


Abb. 50: Grundriss 1. Obergeschoss:

Das erste Obergeschoss beinhaltet ausschließlich gewerbliche Nutzungen. Die Erschließung der Büroeinheiten findet aufgrund der Brandschutzbestimmungen über einen Vorraum des Treppenkerns statt.

Durch die Grundrissgestaltung verschiedener Raummodule sind unterschiedliche Bürotypologien umsetzbar. Die hier gewählten Typen sind klassische Zellenbüros, Kombibüros und Open-Space-Büros. Die Typologie der Open-Space-Büros wird wie die Grundrissgestaltung des Erdgeschosses mit 2D-Wandmodulen realisiert, da sich diese so besser und einfach realisieren lassen.

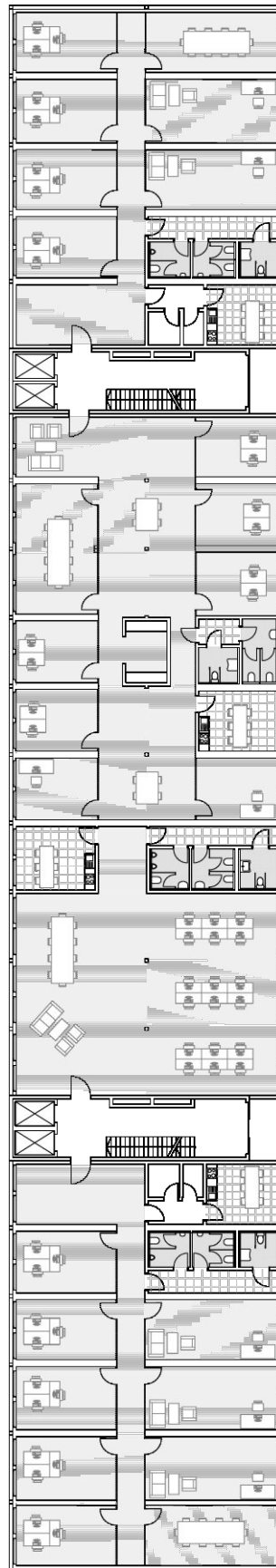


Abb. 51: Grundriss 2. Obergeschoss:

In der Ausbildung als reines Wohngeschoss funktioniert die Erschließung über einen Laubengang. Dieser ist nach Osten Richtung Park angeordnet. Die Geländer und Absturzsicherungen werden zusätzlich mit Rankpflanzen begrünt. Diese Verschatten den Laubengang im Sommer und sorgen für eine erhöhte Privatheit zum Park.

Innerhalb des Grundrisses können innerhalb der Struktur die Wohnungstypen angeordnet werden. Jede Wohnung verfügt über einen privaten Außenraum in Form einer Loggia. Bei Bedarf kann diese aufgrund des Lärms oder der Winterkälte mit Schiebeelementen geschlossen werden.

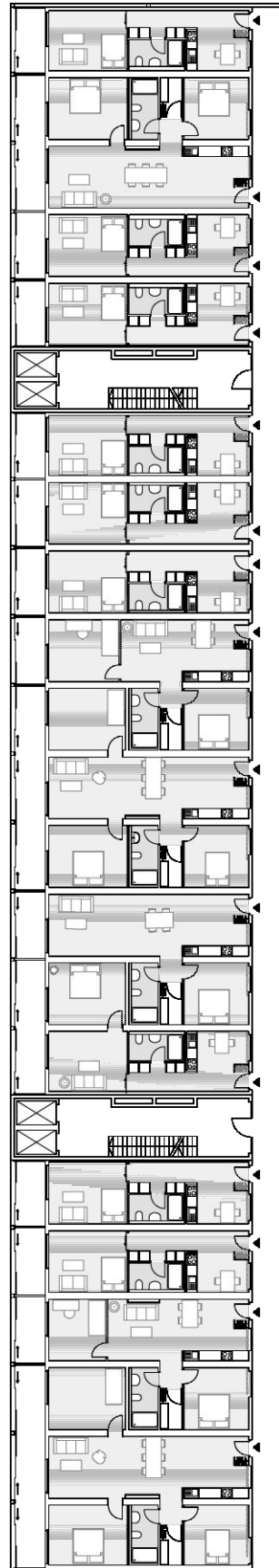




Abb. 52: Grundrissvariante  
2. Obergeschoss:

In dieser Variante wird aufgezeigt wie eine Nutzungsmischung innerhalb eines Geschosses ausgebildet werden kann. Durch den modularen Aspekt der Raummodule können Wohnmodule mit Büro-modulen getauscht werden. Dadurch entsteht eine horizontale Nutzungsmischung.

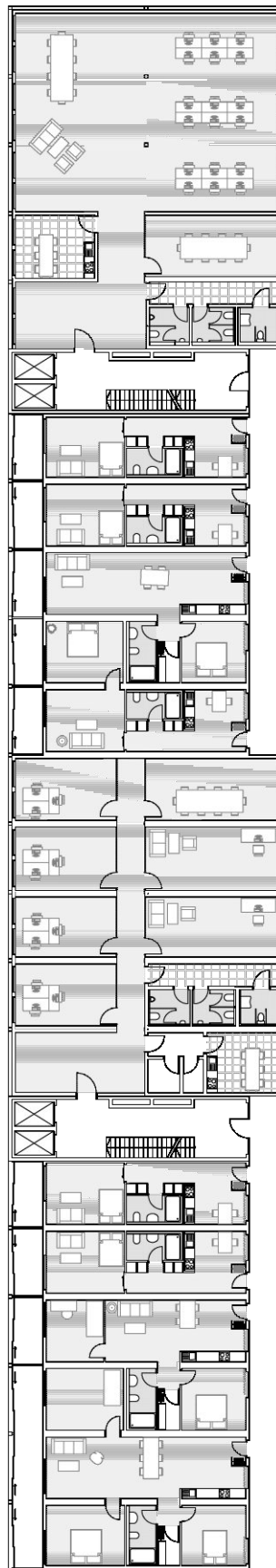
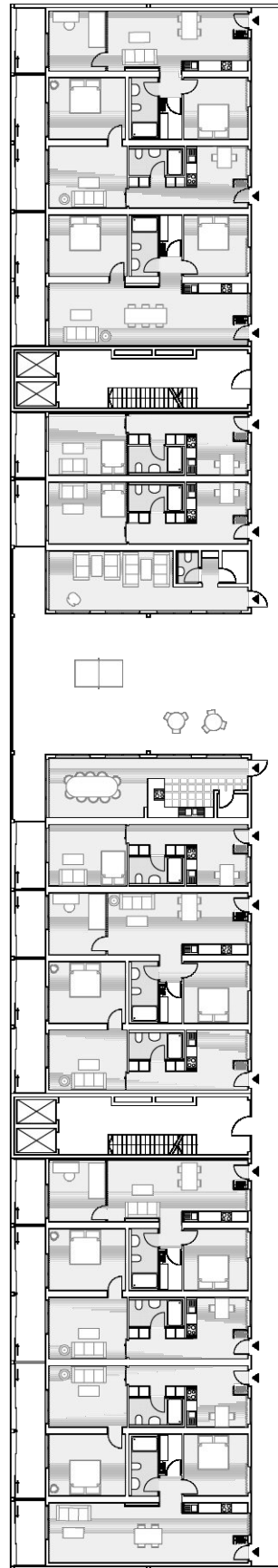


Abb. 53: Grundriss 3. Obergeschoss:

Aufgrund der gewählten Gebäudekubatur entstehen in den oberen Geschossen Terrassen, die als Außenflächen genutzt werden können. An den Terrassen angeordnet sind gemeinschaftlich nutzbare Räume, hier in Form eines Gemeinschaftswohnzimmers und einer Gemeinschaftsküche.



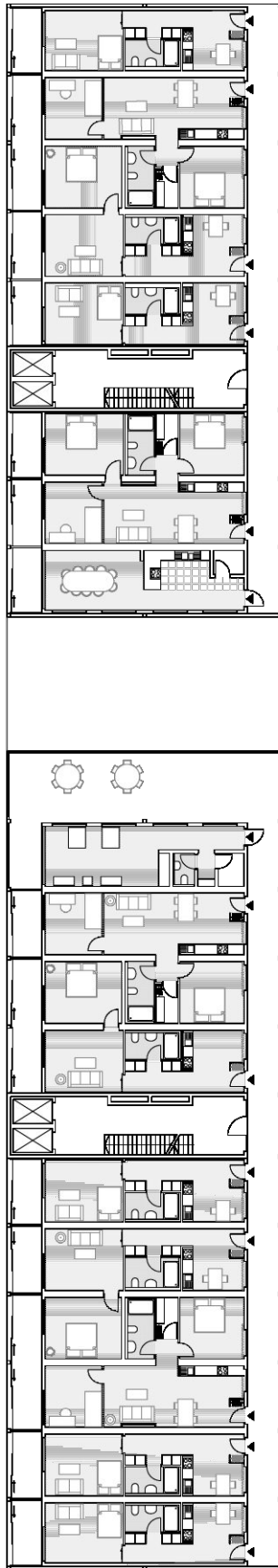


Abb. 54: 4. Obergeschoss

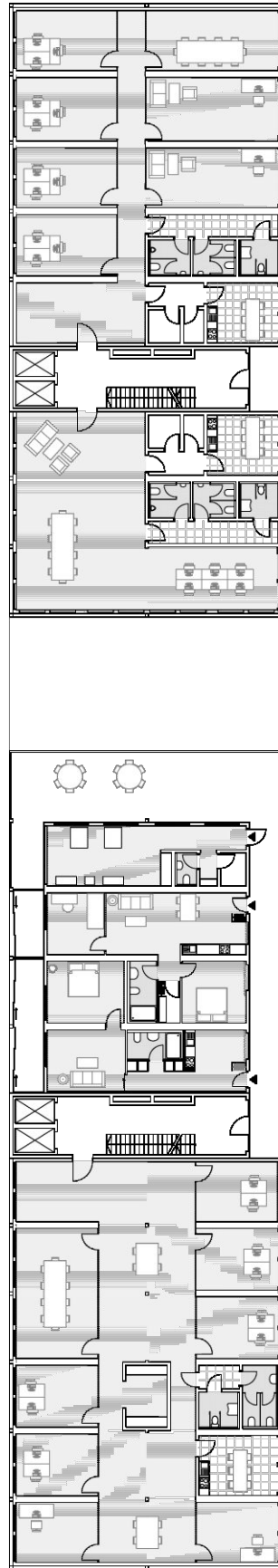


Abb. 55: Nutzungsvariante 4. OG

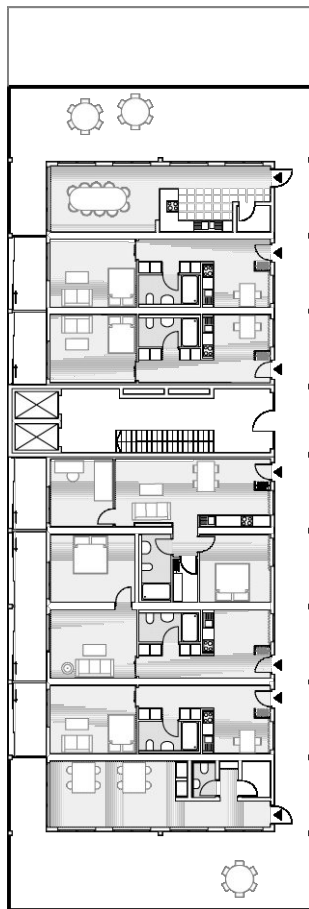


Abb. 56: 5. Obergeschoss

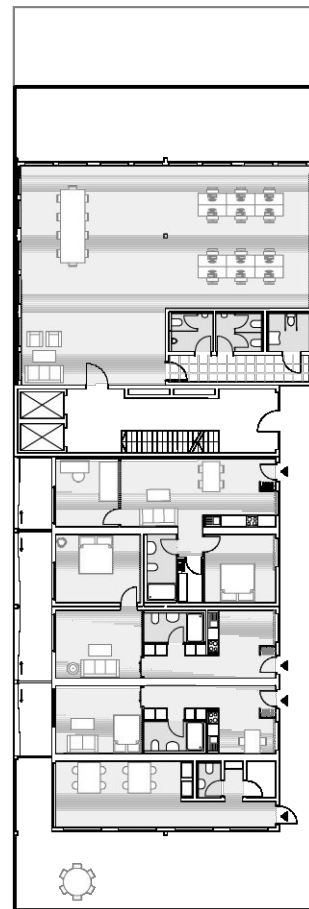
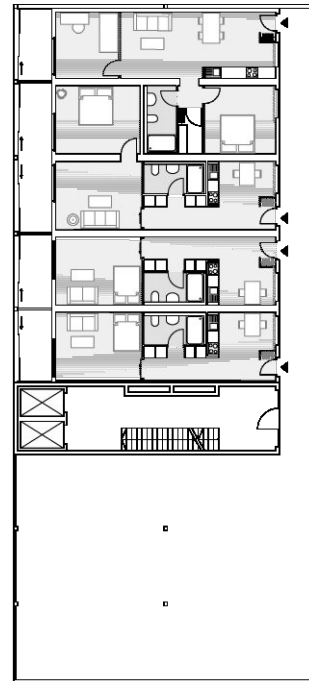
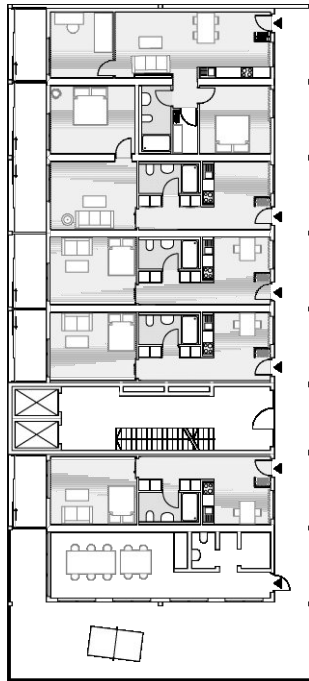


Abb. 57: Nutzungsvariante 5. OG



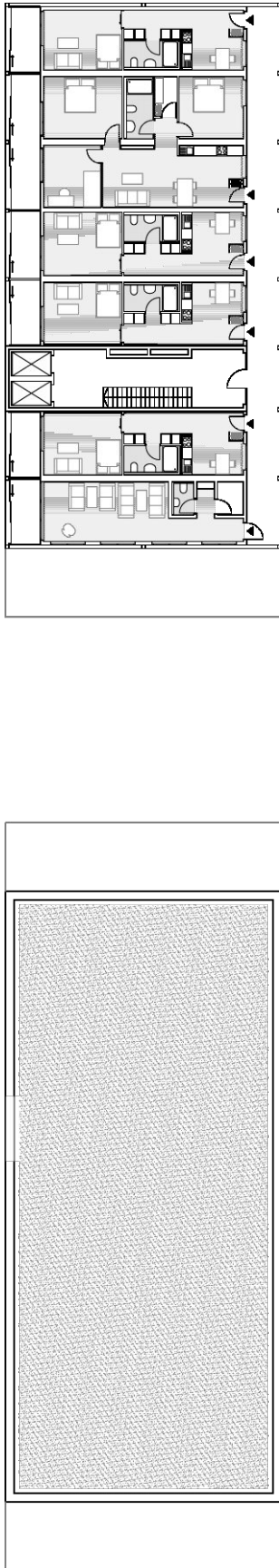


Abb. 58: 6. Obergeschoss

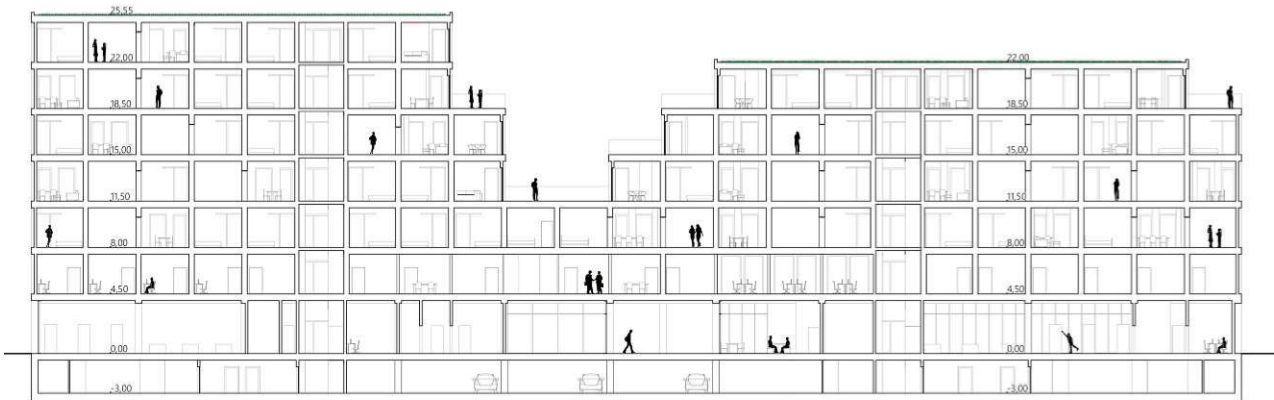


Abb 59: Längsschnitt

Das Gebäude hat sieben oberirdische Geschosse und ein Untergeschoss. Die Geschosshöhen in den Obergeschossen betragen 3,50 m, diese haben eine lichte Raumhöhe von 3,00 m. Das Erdgeschoss hat eine Geschosshöhe von 4,50 m und eine nutzbare Raumhöhe von 4,00 m. Das Gebäude hat eine Höhe von 25,55 m das oberste nutzbare Geschoss liegt auf einem Niveau von 22 m. Die Raummodule und die Tragstruktur sind linear übereinander angeordnet und ein einfacher Lastabtrag ist möglich.



Abb. 60: Querschnitt durch Treppen Kern



Abb. 61: Querschnitt durch Module

Über eine einläufige Treppe werden Geschosse vertikal erschlossen. Durch die größere Höhe des Erdgeschosses wird die Treppe hier mit einem Zwischenpodest ausgeführt.

Der Schnitt zeigt den Laubengang an der Parkseite, über den die Wohnungen erschlossen werden. Auf der anderen Seite liegen die privaten Freiräume in Form von Loggien.



Abb. 62: Ansicht Straße

Die Fassade zur Straße ist geprägt von der Tragstruktur und der Gestaltung der Loggien. Die Schiebelemente vermitteln über öffnen und schließen den belebten Eindruck des Gebäudes. Die Variabilität der Nutzung wird durch unterschiedliche Materialien für unterschiedliche Nutzungen nach außen transportiert.

Die Öffnung im Erdgeschoss ermöglicht eine Sichtbeziehung und den Zugang zum dahinter liegenden Park.



Abb. 63: Ansicht Park

Die Parkansicht ist hauptsächlich von Rankelementen geprägt, die teilweise über die gesamte Geschosshöhe gehen. Die Bepflanzungen dienen als möglicher Sonnenschutz, erhöhen die Privatheit zum Park und beleben die Ansicht.

# Visualisierungen



Abb. 64: Perspektive Straße Westbahnhof





Abb. 65: Perspektive Park Westbahnhof

## 4.6 Entwurfsbeispiel 2: Währinger Gürtel

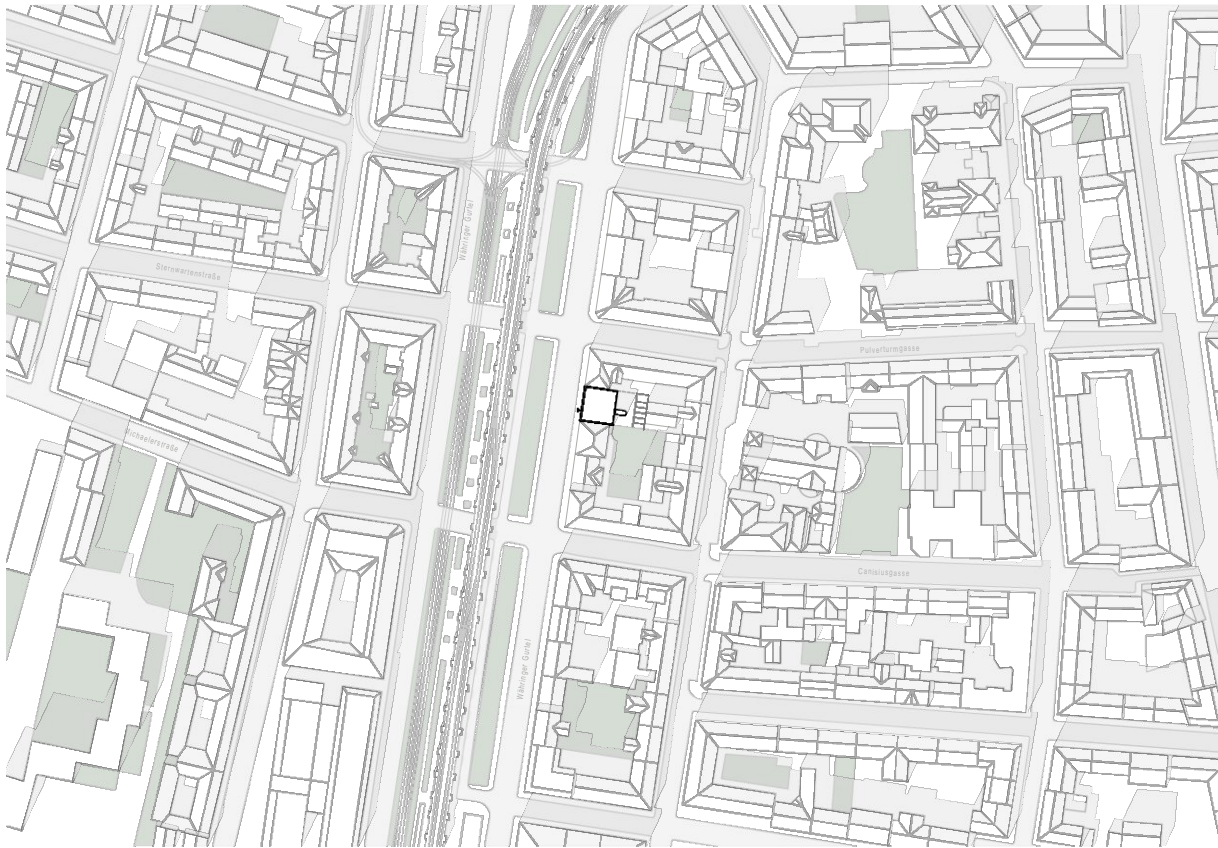


Abb. 66: Lageplan, genordet

Als zweites Entwurfsszenario ist eine Baulücke am Währinger Gürtel im neunten Gemeindebezirk von Wien gewählt. Die Umgebung ist geprägt von Wohnbauungen, die durch Wohnfolge ergänzt sind.

Die Funktionsweise des Gebäudes in dieser Entwurfsgröße ist in den meisten Teilen genauso aufgebaut wie das erste Entwurfsbeispiel. Die eingesetzten Raummodule und Bauelemente sind die gleichen, im statischen Prinzip und der Konstruktion funktioniert das Gebäude genau gleich und das Prinzip der zirkulären Nutzung funktioniert auch hier. Lediglich die Ausmaße sind geringer. Ein wesentlicher Unterschied, den diese Entwurfsvariante darstellt, ist die vertikale Erschließung

des Gebäudes. Um den begrenzten Platz in der Gebäudebreite nicht mit einem Treppenkern zu verbauen, funktioniert die Erschließung hier über eine außenliegende Treppe, über die man auf die Laubengänge gelangt, welche die Wohnungen erschließen. Aufgrund der Typologie der Baulücke ist aus brandschutztechnischen Gründen eine Brandwand zu den Nachbargebäuden auszubilden.

Abb. 67: Ausgangssituation auf dem Bauplatz

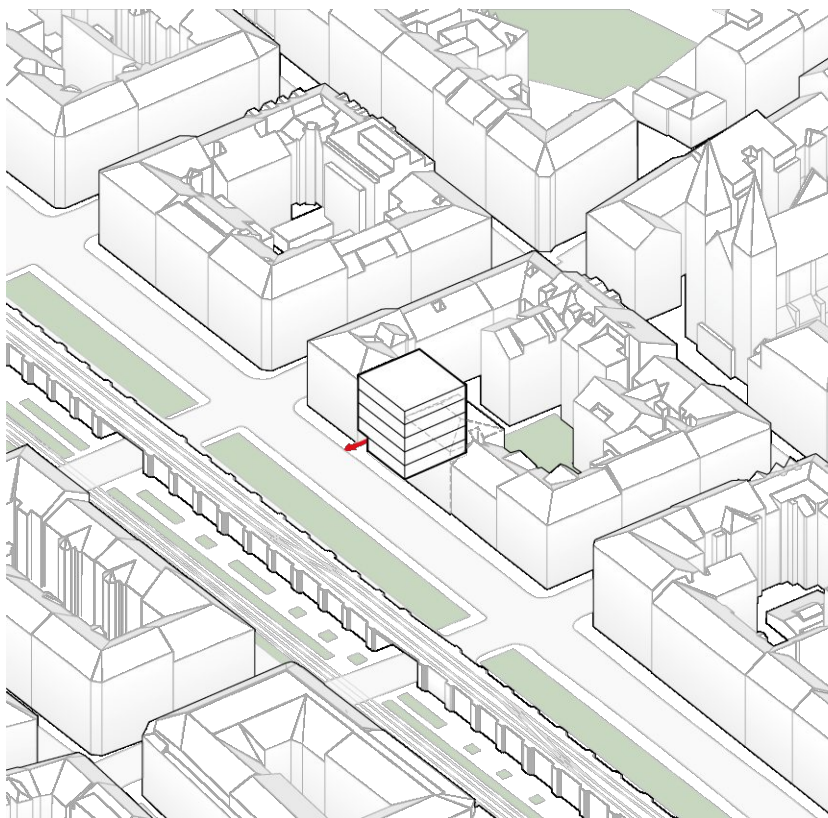
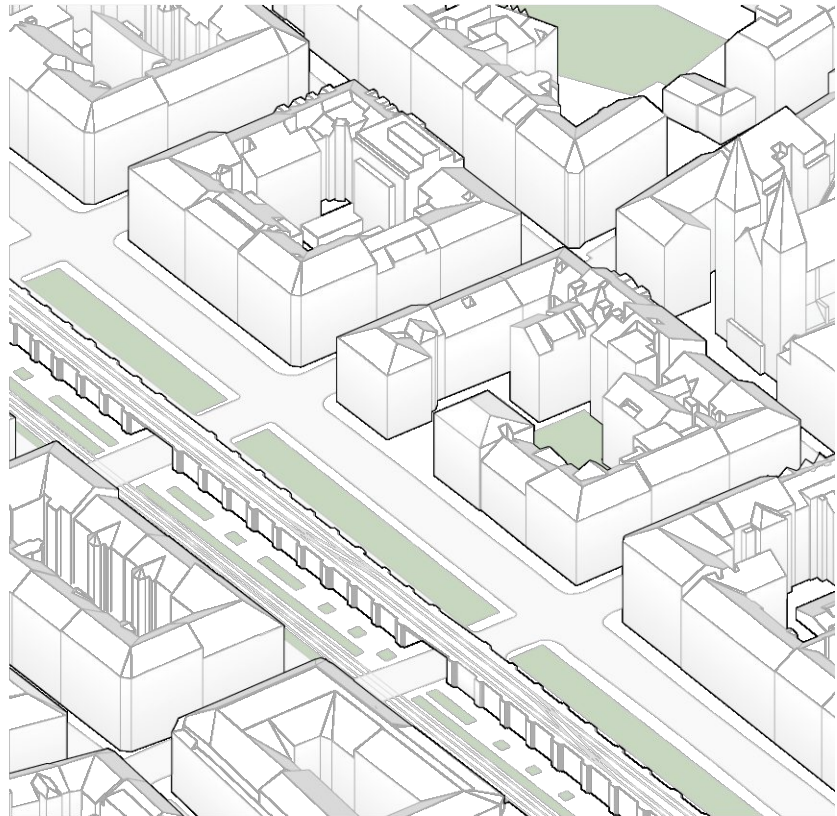


Abb. 68: In der Höhe fügt sich der Entwurf in die Umgebung ein und orientiert sich an den Höhen der Nachbarbebauung. Aufgrund der Geschosshöhe des Bausystem lassen sich fünf Geschosse umsetzen. Über einen Durchgang im Erdgeschoss gelangt man in den Hinterhof des Gebäudes, von dem aus die Geschosse erschlossen werden.

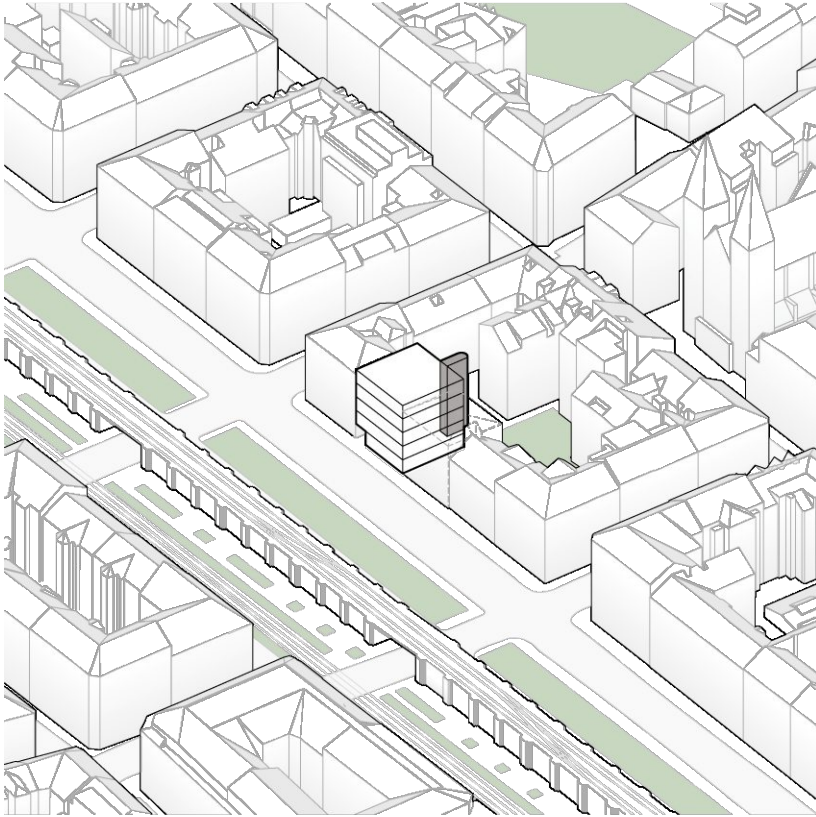
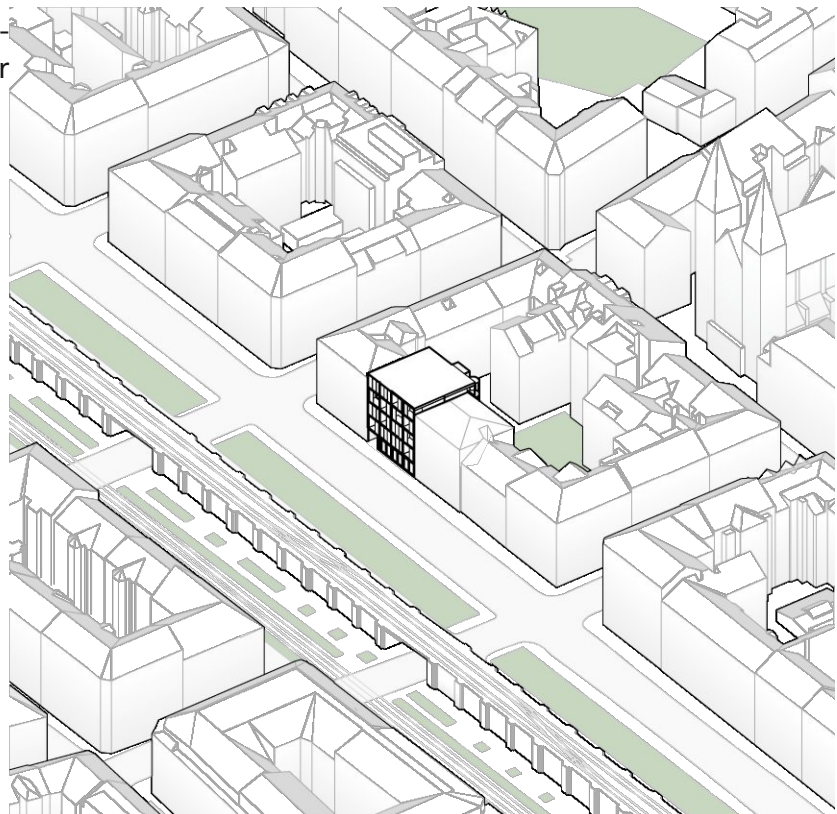


Abb. 69: Über eine außenliegende Treppe, die mit Ranknetzen verkleidet wird, funktioniert die Erschließung des Gebäudes.

Abb. 70: Fertig ausgebildeter Gebäudeentwurf für den Standort.



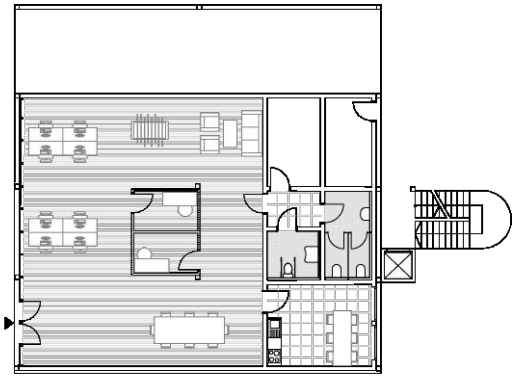


Abb. 71: Grundriss Erdgeschoss

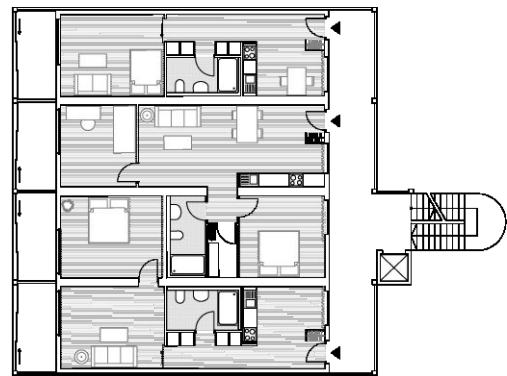


Abb. 72: Grundriss 1. Obergeschoss

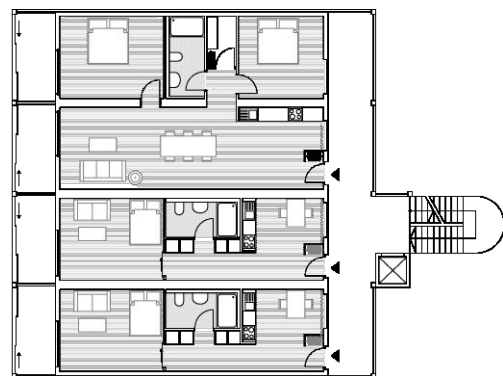


Abb. 73: Grundriss 2. Obergeschoss

In dem Entwurf für die Baulücke ist im Erdgeschoss eine Durchfahrt zum Hinterhof vorgesehen. Hier befinden sich Parkplätze und es gibt Flächen für Müllbehälter und ausreichend Platz für Fahrräder. Im Erdgeschoss findet eine Büronutzung Platz, deren Ausbau mit 2D-Wandmodulen umgesetzt wird. (Abb. 71) In den vier Obergeschossen des Gebäudes befinden sich Wohnungen der Typen A, B, C und D und ein Gemeinschaftsraum in Form eines freien Raumes. (Abb. 72 - 75) Aufgrund der nicht vorhandenen Unterkellerung wird zusätzlich ein Technikraum im Erdgeschoss geplant.

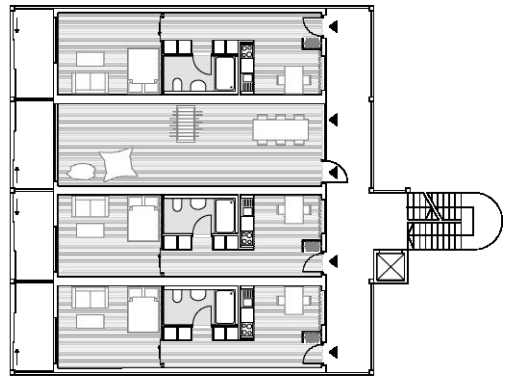


Abb. 74: Grundriss 3. Obergeschoss

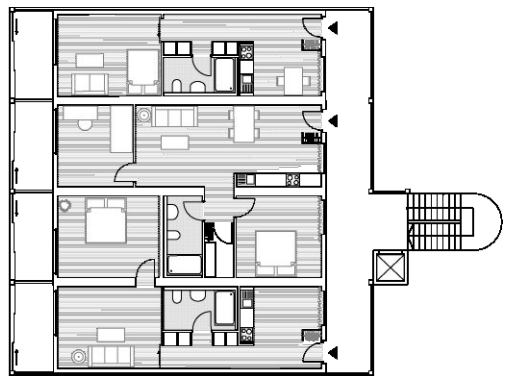


Abb. 75: Grundriss 4. Obergeschoss

In einem kleineren Maßstab wie in diesem Beispiel eignet sich das Bausystem vor allem für die Wohnnutzung. Eine Erschließung von Büros ist über die außenliegende Treppe möglich, aber nicht optimal.

Die Treppe wird mit einem Fahrstuhl ergänzt, der eine barrierefreie Erschließung sicher stellt.

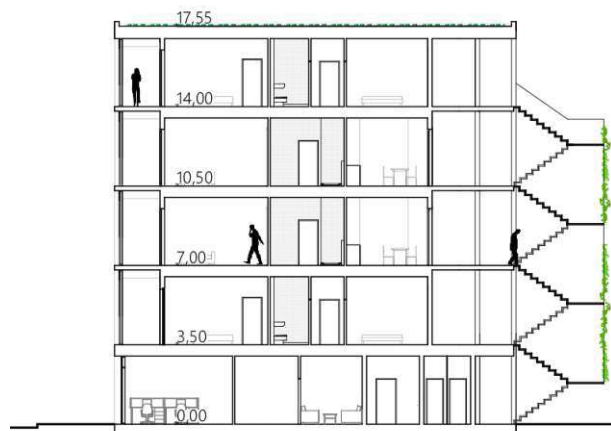


Abb. 76: Querschnitt



Abb. 77: Ansicht Straße



Abb. 78: Ansicht Hof

## 5. Konstruktion und Nachhaltigkeit

Das Kapitel „Zirkuläres Bauen“ hat bereits verdeutlicht, dass es maßgeblich für den Erfolg von zirkulär gedachten Konzepten ist, einerseits rückbaubare Konstruktionsarten zu wählen und dass andererseits die Wahl der Baustoffe entscheidend ist. Im folgenden Abschnitt werden die Konstruktion des Gebäudes und speziell der Aufbau der Raummodule näher betrachtet. (Abb. 79)

Die Raummodule sind als Holzrahmenbau-Konstruktion mit massiven Böden und Decken aus Brettsper Holz konzipiert. Aufgrund des Tragkonzepts des Gebäudes müssen die Raummodule nur die Eigenlast tragen und nicht die Last von darüber liegenden Geschossen aufnehmen, wodurch keine massive Konstruktion nötig ist. Durch den Holzrahmenbau und die damit einhergehende Einsparung von Material reduziert das Gesamtgewicht, was sich vorteilhaft auf die Tragstruktur auswirkt.

Im Bereich der Raummodule wird das Holz mit den Materialien Lehm und Stroh ergänzt. Die Kombination der Materialien funktioniert sehr gut, da jedes einzelne seine eigenen Stärken hat und diese gut kombinierbar sind. Lehm wird in Form von Lehmbauplatten mit einem darüber liegenden dünnlagigen Putz als innenseitiger Wandabschluss eingesetzt. Ein Vorteil von Lehm ist, neben den guten ökologischen Eigenschaften, die feuerhemmende Beschaffenheit. So übernimmt die

Schicht die Aufgabe des Brandschutzes. Neben dem brandschutztechnischen Aspekt sind auch die bauphysikalischen Eigenschaften ein zusätzlicher Grund, Lehm zu benutzen. Durch die Lehmbauplatten wird die leichte Konstruktion der Holzrahmenbauwand mit mehr Masse ergänzt, wodurch Schallschutzeigenschaften optimiert werden. Zuletzt hat der Lehm positive Auswirkungen auf die Raumluftqualität, da Lehm über feuchte-regulierende Eigenschaften verfügt und einen Überschuss an Feuchte aus der Luft aufnehmen und zwischenspeichern kann. Innerhalb des Holzrahmenbaus wird Bau stroh als Dämmmaterial benutzt, da dieser gleiche Dämmwerte wie andere handelsübliche Dämmstoffe bei besseren ökologischen Eigenschaften hat. Indem beim Pressen der Ballen Luft entweicht, werden diese normal brennbar. Wandkonstruktionen mit Putz auf beiden Seiten und einer Strohdämmung können die Brandwiderstandsklasse R90 erreichen.<sup>34</sup> Die massiven Brettsper Holzdecken der Raummodule, die eingesetzt werden, um eine sichtbare Holzoberfläche im Innenraum zu haben, werden über die Breite des Moduls gespannt und über die Wände in der Modullänge abgetragen. Die geringe Spannweite und die Tatsache, dass ein Modul nur sich selbst trägt, hat eine geringere Dicke der Decke zur Folge, was sich auch positiv auf das Gesamtgewicht eines Raummoduls auswirkt. Die eingesetzten Holzrahmenbauwände gegen Außenluft bieten den Vorteil, diese besser dämmen zu können. Durch die Mehrschichtigkeit der Aufbauten der

<sup>34</sup> vgl. proHolz. 2022. S. 5f.



Holzrahmenbauwände erzielt man bessere Eigenschaften in Bezug auf den Schallschutz.<sup>35</sup> Die Module selbst werden durch die massiven Brettsperrholzboden- und deckenplatten ausgesteift. Im Bereich der Wände übernimmt eine beidseitige Beplankung mit Plattenwerkstoffen der Rahmenkonstruktion nicht nur bauphysikalische und konstruktive Eigenschaften, sondern steift die Konstruktion auch aus. Die Fassaden der Module sollen während der Vorfertigung montiert wurden, so muss nach dem Verbauen der Module noch der Stoß zwischen den Modulen mit einem Zwischenstück ausgebaut werden. So wird einerseits der modulare Aspekt des Gebäudes nach außen transportiert und eine durchgehende Wärmedämmung und Winddichtheit sind so besser auszuführen.<sup>36</sup> Um die Rückbaubarkeit zu ermöglichen, werden alle Verbindungspunkte innerhalb der Modulkonstruktion so ausgeführt, dass diese wieder trennbar sind. Im Bereich der Holzrahmen werden die Verbindungen mit klassischen Zimmermannsknoten über einen Zapfen hergestellt und weiter mit Holzdübeln gesichert. (Abb. 80) So wird der Einsatz von Metall in diesem Knoten vermieden, das Holz wird dadurch nicht verunreinigt und kann besser recycelt werden. Die Fassade und die Unterkonstruktion ebener werden mit der darunterliegenden Holzständerkonstruktion verschraubt. Der Einsatz von Metall ist nicht optimal, aber die punktuellen Verbindungen lassen sich im Nachhinein einfach lösen und ermöglichen eine Materialtrennung.<sup>37</sup>

35 vgl. Huß. 2018. S. 26ff

36 vgl. Huß. 2018. S. 39ff

37 vgl. Klinge. 2019. S. 5

Wie die Holzelemente der Fassadenkonstruktion werden die Lehmbauplatten verschraubt, um sie mit den tragenden Elementen der Holzrahmenkonstruktion zu verbinden. Diese Verbindungen können genauso wieder gelöst werden, da es sich nur um punktuelle Verbindungen handelt.

Die Strohdämmung wird in die Holzrahmenelemente geklemmt und zusätzlich komprimiert. Durch das Verzichten auf Klebemittel und dem Gebrauch lösbarer mechanischer Befestigungen können die Baustoffe am Ende der Nutzungsphase einfach voneinander getrennt werden.

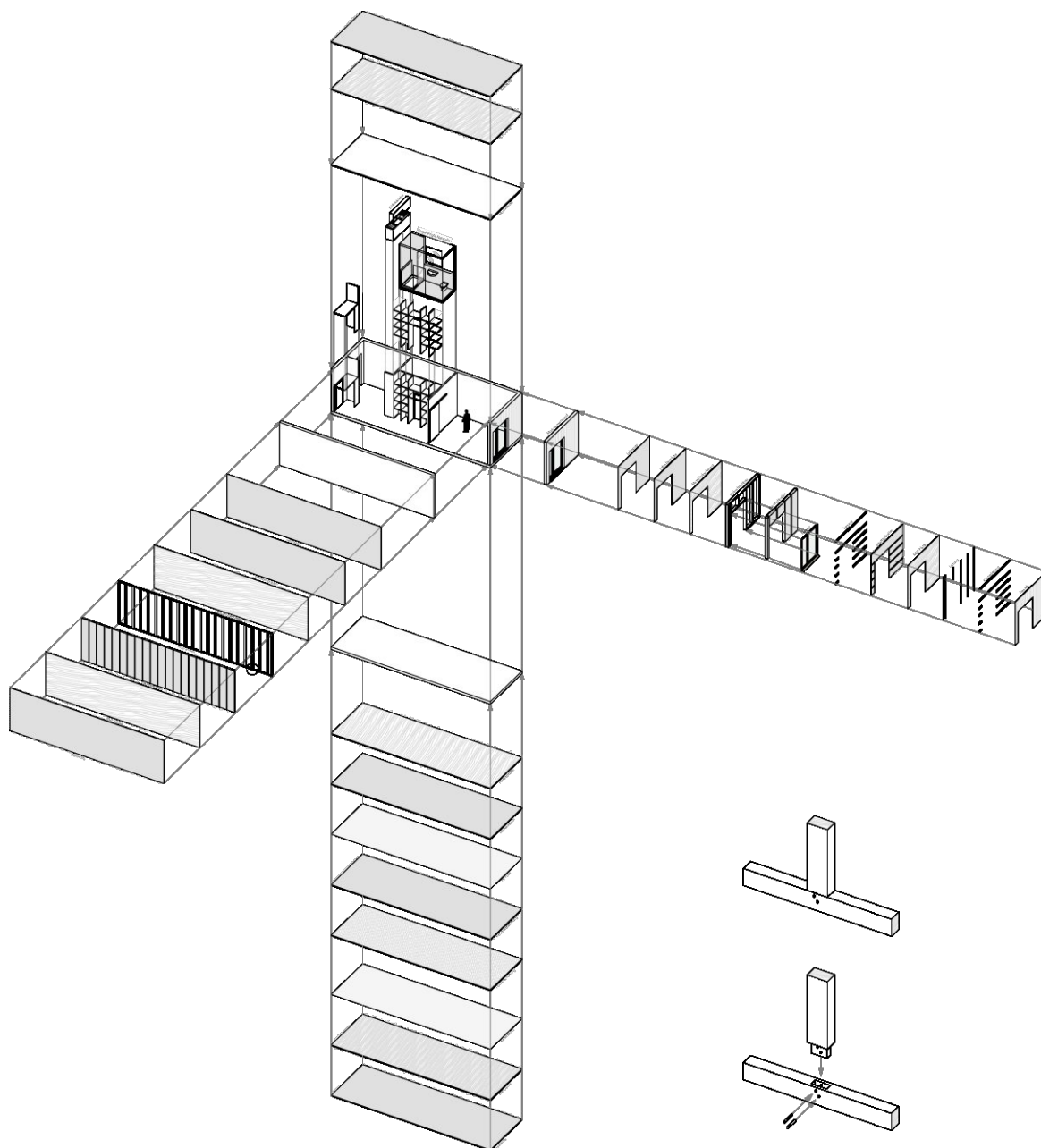


Abb. 79: Explosionszeichnung Schichten

Abb. 80: Knoten

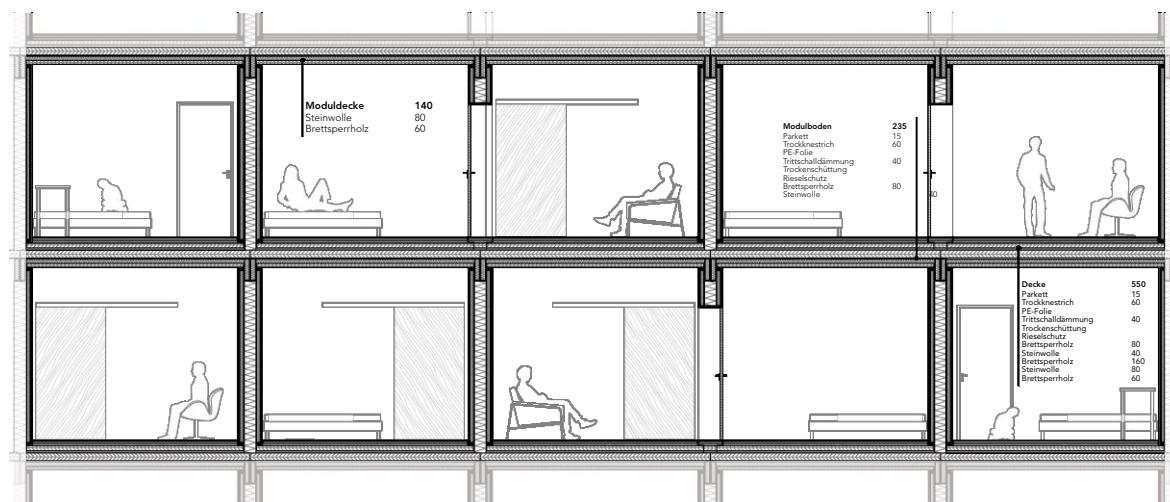


Abb. 81: Detail-Schnitt

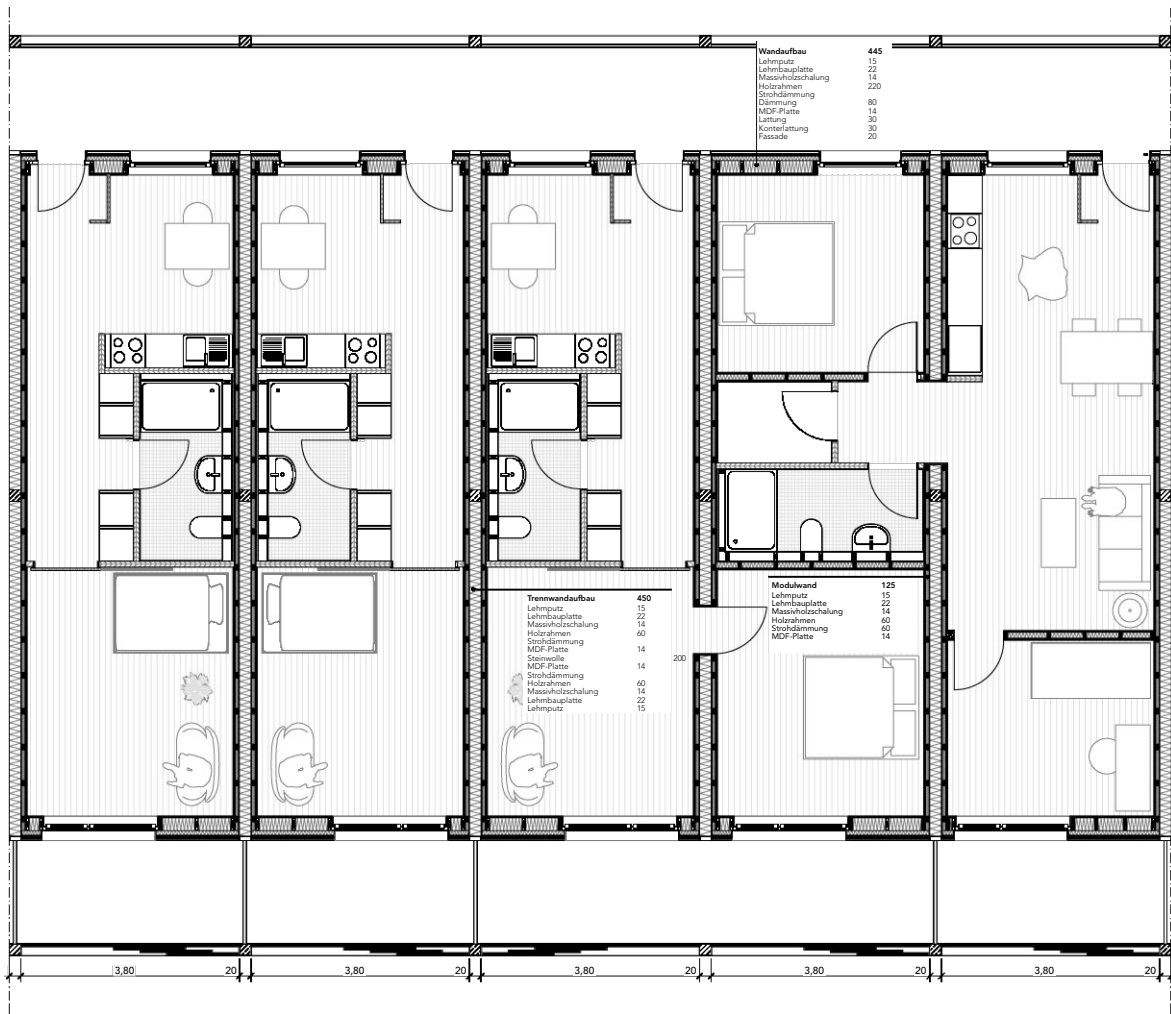


Abb. 82: Detail-Grundriss

Die Dachkonstruktion weist einen U-Wert von 0,12 W/m<sup>2</sup>K auf. (vgl. Anhang 1) Um einen Rückbau zu ermöglichen, ist die Dachabdichtung nicht mit der darunter liegenden Schicht verklebt, sondern wird durch die Auflast des Pflanzsubstrats gesichert. Lediglich der Bereich der Fugen muss verklebt werden. Die Attika ist über Stahlwinkel mit der Dachkonstruktion verbunden, was eine Trennbarkeit ermöglicht. Das Attikablech ist in Kombination mit dem darunter liegenden Haftblech verklebt, sodass auch hier die Trennung möglich ist.<sup>38</sup>

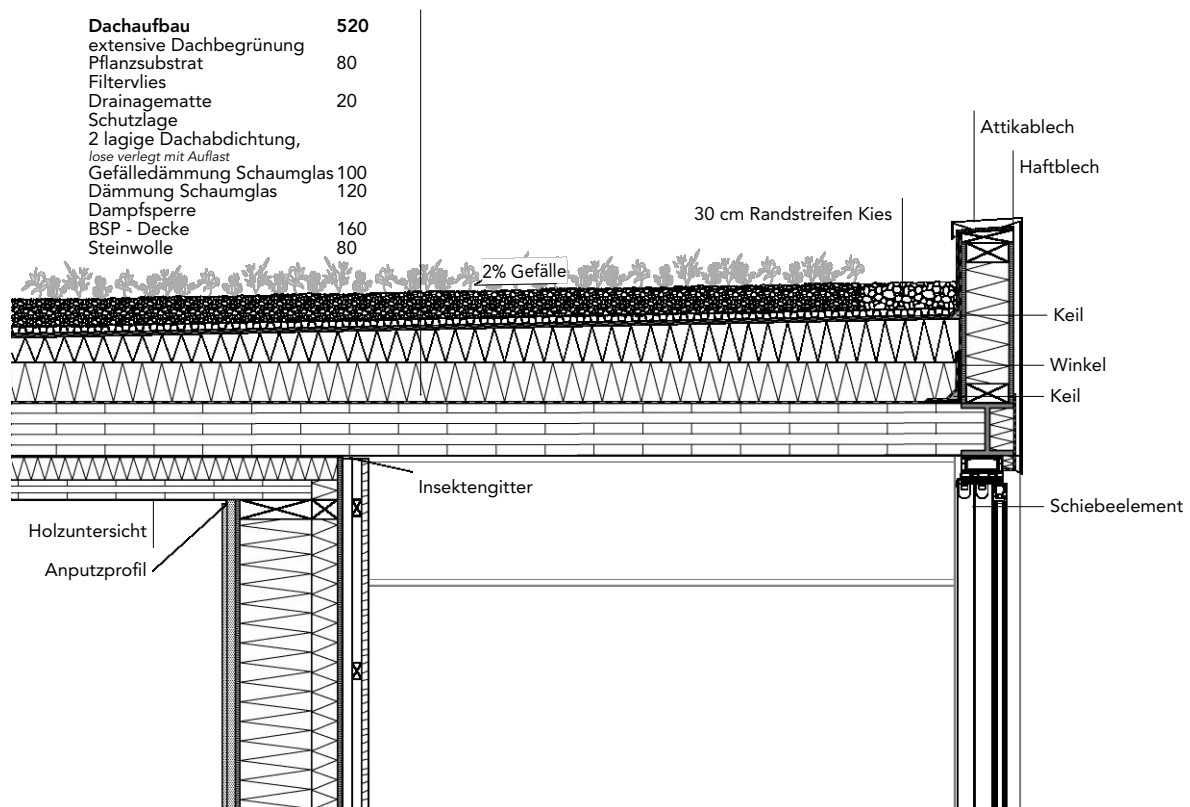


Abb. 83: Detail Dach

38 vgl. Riegler-Floors. 2021. S. 50f

Die Außenwand der geplanten Raummodule hat einen U-Wert von 0,15 W/m<sup>2</sup>K. (vgl. Anhang 2). Durch die vorher beschriebene Verbindung der Holzrahmen und das Einklemmen der Dämmung ist es möglich, diese Schichten gut zu trennen und zurückzubauen. Der Lehmputz auf der Lehmbauplatte muss über Abschlagen entfernt werden, der Schutt kann aber wiederverwendet werden. Dadurch ist zu erwarten, dass Beschädigungen an den darunterliegenden Lehmbauplatten auftreten. Im Bereich der Wand wird durch eine Massivholzschalung auf der Innenseite und eine Beplankung mit MDF-Platten die Luft- beziehungsweise Winddichtheit hergestellt.<sup>39</sup> So kann auf Folien verzichtet werden und die Plattenwerkstoffe können im Vergleich besser weiter genutzt werden.

Die Loggien sind nicht als direkter Außenraum geplant, da sich diese noch über Glasschiebeelemente schließen lassen. Dennoch ist die Konstruktion so ausgeführt, dass mit einem leichten Gefälle in der Dämmung Wasser, welches hier anfällt, zur Außenfassade geleitet wird und über einen punktuellen Wasserauslass in der Fassadenebene abfließen kann. Die Ausbauelemente der Loggia werden nach dem Einsetzen der Raummodule verbaut und im Zuge des Rückbaus müssen diese Elemente zuerst wieder entfernt werden, um ein Entnehmen der Raummodule zu ermöglichen. Elastomerlager dienen als Auflagerpunkt zwischen den Raummodulen und dem Tragwerk der Primärstruktur.<sup>40</sup>

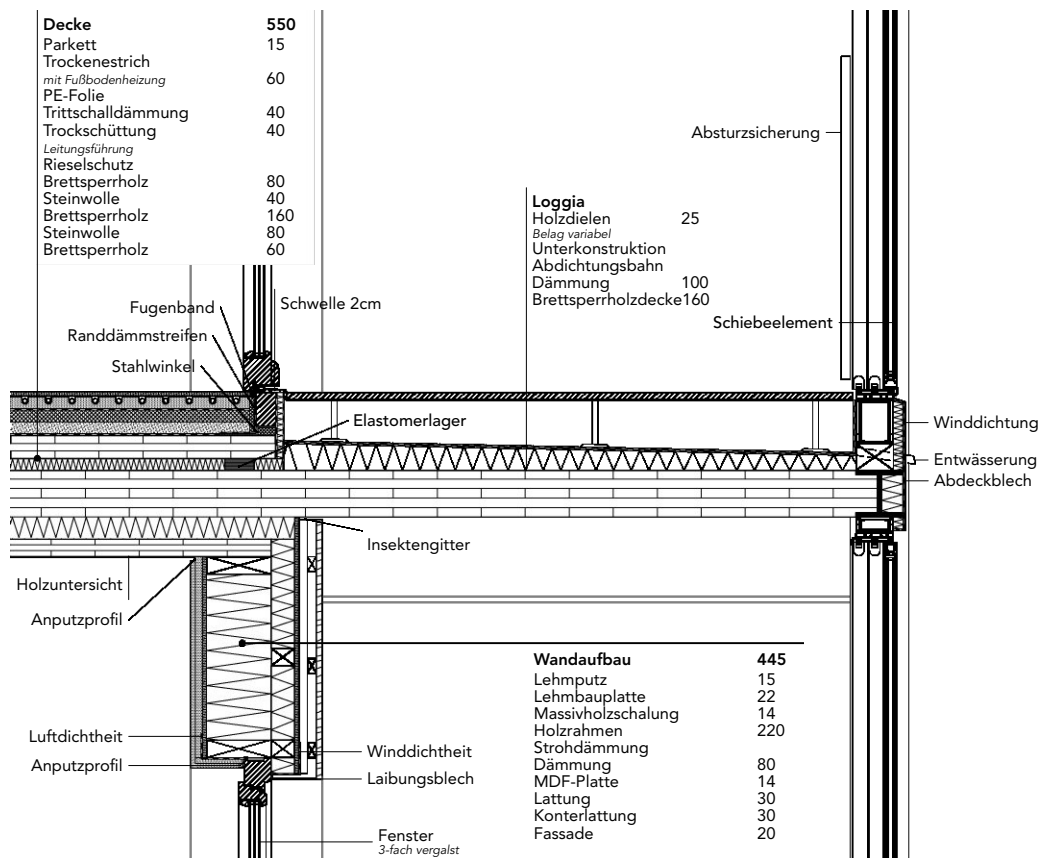


Abb. 84: Detail Loggia

39 vgl. Rigeler-Floors. 2021. S. 49

40 vgl. Huß. 2018. S. 35.

Im Bereich der Laubengänge wird der Bodenbelag mit Gitterrosten ausgeführt, so kann das anfallende Regenwasser dadurch ablaufen und über die darunter liegende Abdichtung zur Regenrinne geführt werden. Im Bereich der Eingangstüren gibt es Ablaufrinnen, die über einen punktuellen Auslass das Wasser auf die Abdichtungsebene führen. Auch hier kommt eine lose verlegte Abdichtung zum Einsatz, die durch die Auflast der Unterkonstruktion des Gitterrostes gesichert wird. Die Elemente der Rankgitter und Pflanztröge werden mit der Tragstruktur verschraubt und können dadurch wieder gelöst werden.

Fenster und Türen, die in den Raummodulen verbaut werden, werden über Stahlwinkel, die an der Brettsperrholzplatte befestigt sind, mit der Konstruktion verschraubt. So sind diese auch trennbar mit der Konstruktion verbunden.<sup>41</sup> Eine umlaufende Abklebung, um eine außenseitige Winddichtheit und eine innenseitige Luftdichtheit herzustellen, ist vorzusehen.

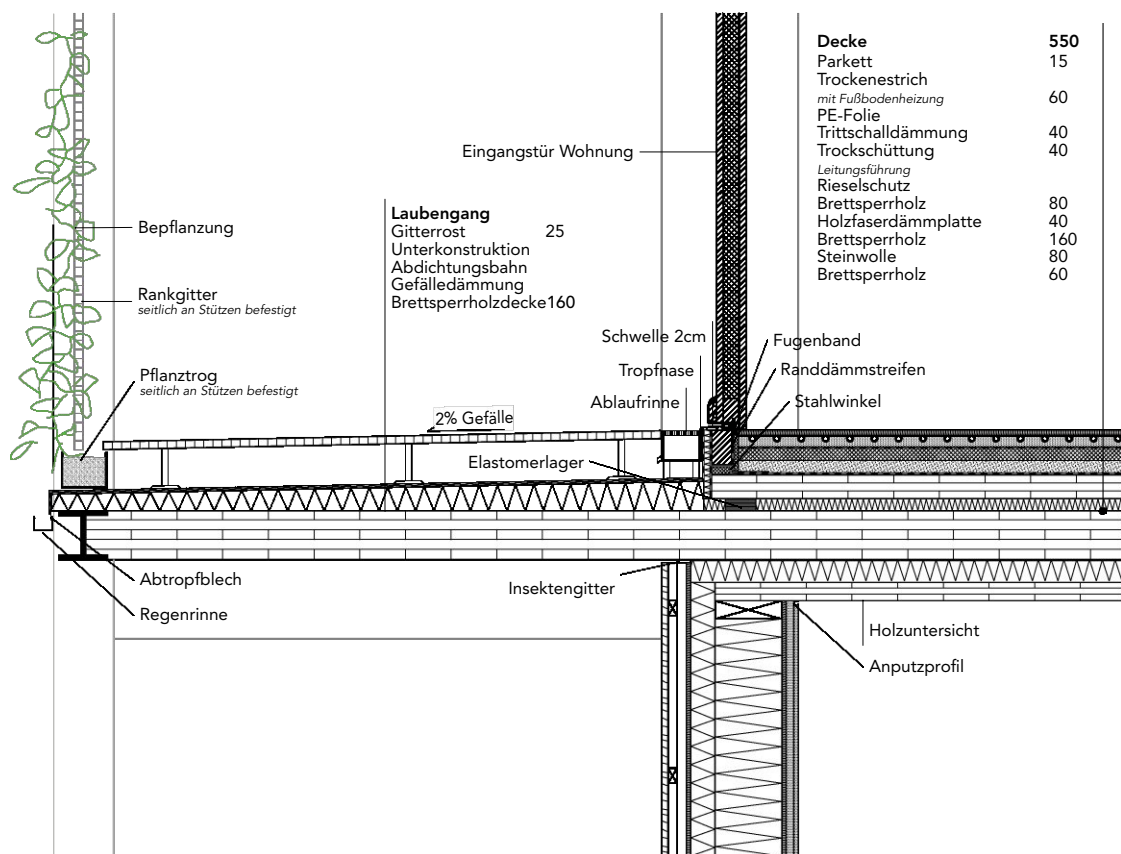


Abb. 85: Detail Eingang Wohnung

Im Bereich der Fassade am Laubengang wird gemessen von der wasserführenden Schicht eine Abdichtung 30 cm hochgeführt und mit einem Spritzblech versehen. Die Abdichtung und das Spritzblech können im Rahmen der Vorfertigung montiert werden, so muss nach dem Platzieren des Raummoduls die Verbindung der Abdichtung ausgeführt werden.

Im Innenbereich der Module können die Schichten des Bodenaufbaus problemlos zurück gebaut werden. Die Trockenschüttung kann in Wabenplatten aus Altpapier verfüllt werden, die es ermöglichen, Leitungen in dieser Schicht zu führen. Am Ende des Nutzungszyklus kann die Schüttung abgesaugt werden, um diese erneut zu verwenden. Das Papier der Wabenplatten geht in das Recycling.<sup>42</sup>

Der Fußboden ist so aufgebaut, dass Parkettboden direkt auf einen Trockenestrich aus Formplatten aufgelegt wird. Die Trockenestrich-Platten sind über ein Nut-Feder-System miteinander verbunden und können leicht wieder getrennt und ausgebaut werden. Zusätzlich kann in dieser Schicht eine Fußbodenheizung installiert werden.<sup>42</sup>

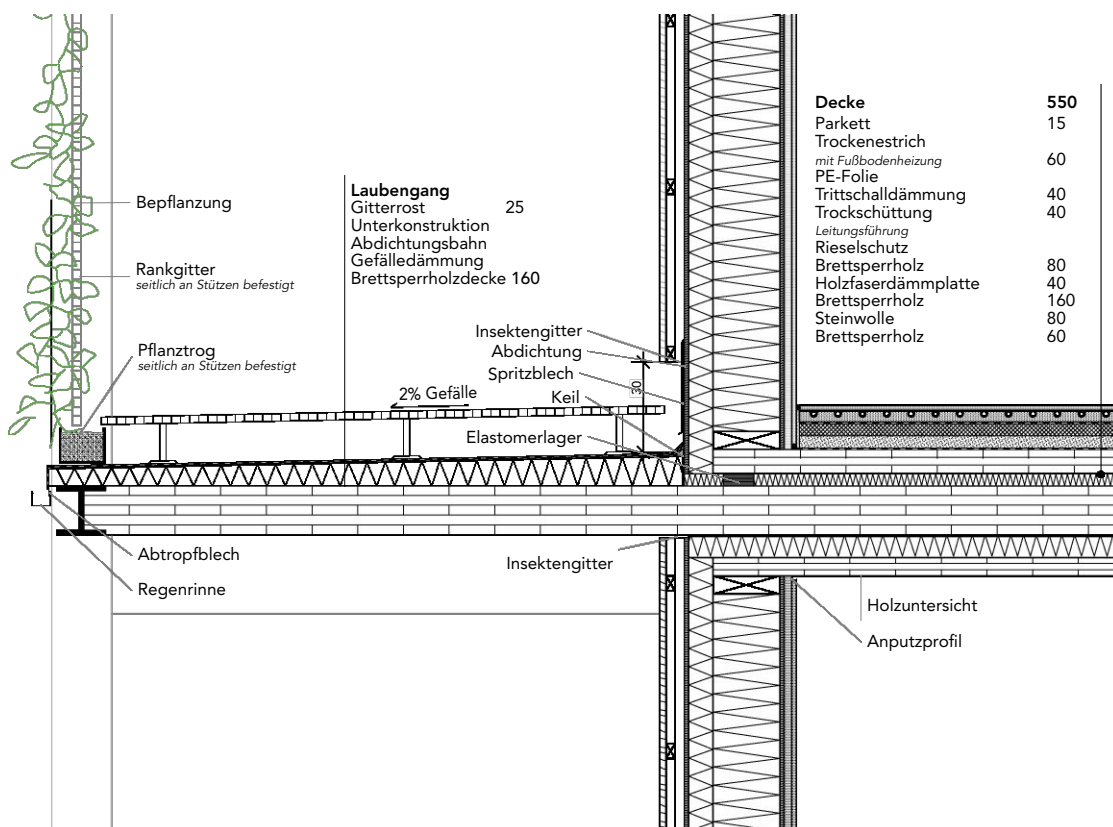


Abb. 86: Detail Laubengang

42 vgl. Rigeler-Floors. 2021. S. 54f



Bei den erdberührenden Teilen des Bauwerks wird WU-Beton eingesetzt, um ein aufwendiges Verkleben mit Abdichtungen zu vermeiden, die eine spätere Trennung der Schichten zusätzlich erschweren. Schaumglasschotter kommt unter der Bodenplatte und zur Dämmung der Kellerwand zum Einsatz. Die Schüttung unter der Bodenplatte ermöglicht einen Verzicht auf eine Sauberkeitsschicht und lässt sich nach dem Abbruch sortenrein wiederverwenden. Im Bereich der Kellerwände werden Gewebesäcke, die mit Schaumglasschotter befüllt sind, zur

Dämmung eingesetzt. Durch die Eigenschaften des Schaumglasschotters kann in einem unter der Bodenplatte weitergeführten Bereich ein Drainagerohr platziert werden, um aufstauendes Wasser abzuführen.<sup>43</sup>

Der U-Wert der Bodenplatte beträgt 0,12 W/m<sup>2</sup>K. (vgl. Anhang 3)

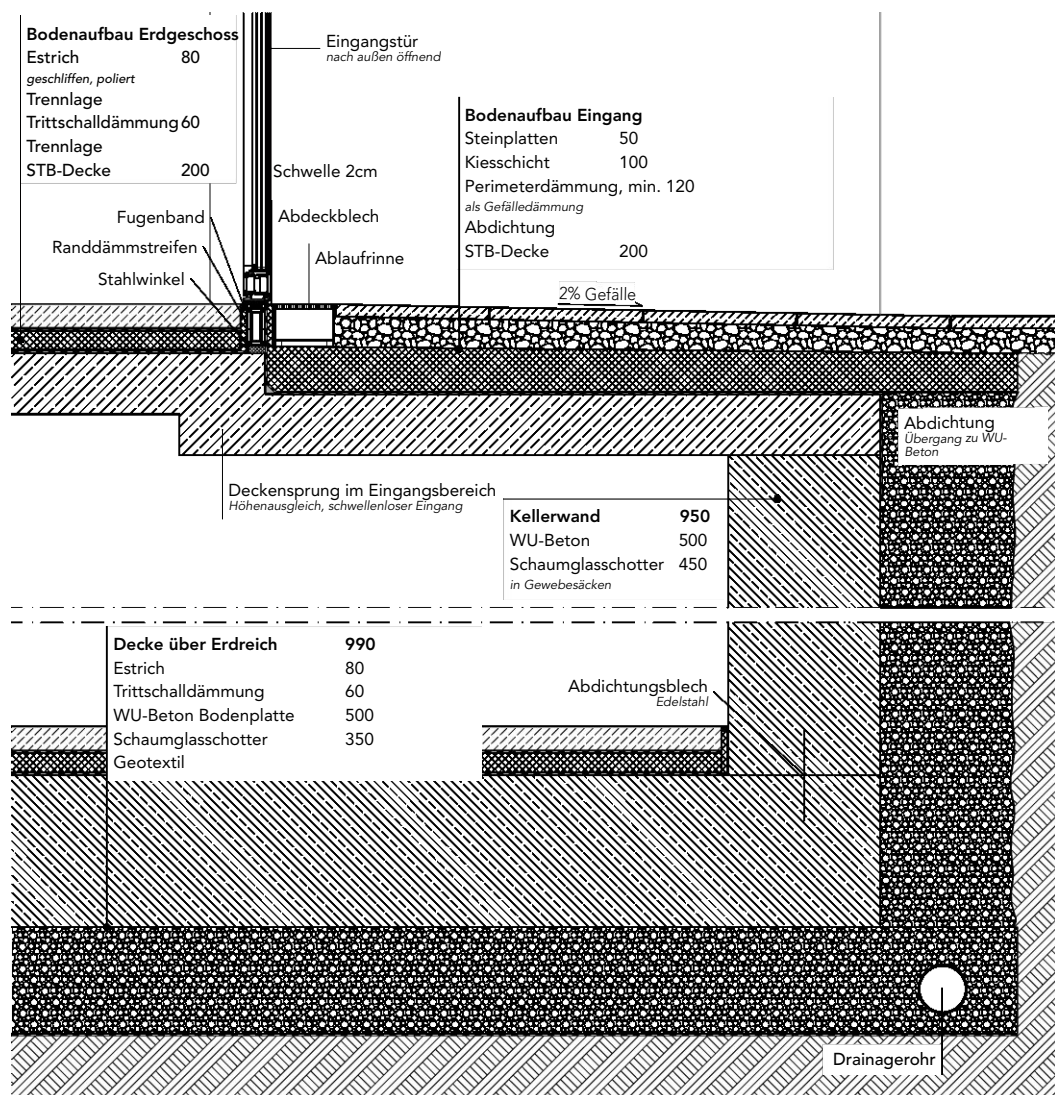


Abb. 87: Detail Laubengang

## 5.1 Tragwerk

Das Tragwerkkonzept des Gebäudes trennt die tragende Struktur von dem Ausbau. Als Skelettbau setzt sich das Tragwerk in seinen tragenden Hauptelementen aus Betonstützen und Stahlträgern zusammen. Die Deckenelemente über dem Erdgeschoss sind Betondecken, im Bereich der Obergeschosse und dem Dach kommen Brettsperrholzdecken zum Einsatz.

Um den zirkulären Gedanken, der dem Entwurf zugrunde liegt, umsetzen zu können, fungiert das Tragwerk als eine Art Regalkonstruktion, in die Raummodule eingestellt werden. (Abb. 88) Das Tragwerk stellt die Primärstruktur dar, während die Raummodule als Sekundärstruktur fungieren.<sup>44</sup> Durch die Trennung von Tragwerk und Ausbau wird ein Austausch von Modulen begünstigt. Die Tragstruktur leitet die auftretenden Horizontal- und Vertikalkräfte in den Boden ab. Das Tragwerk folgt einer rationalen Logik, in der alle Stützen gerade übereinander liegen und alle Lasten unmittelbar nach unten abgeleitet werden.<sup>45</sup>

Die Aussteifung der Tragstruktur in horizontaler Richtung funktioniert über die Deckenscheiben. Die einzelnen Deckenelemente werden zu einer schubfesten Scheibe verbunden. Die Deckenelemente aus Brettsperrholz sind für die Spannweite von 4 Metern mit 16 cm dimensioniert. (vgl. Anhang 4) Das Tragwerk selber ist in der Grundrissebene frei von Wänden, um

hier eine möglichst hohe Flexibilität zu ermöglichen. Um die Aussteifung in der Vertikalen umzusetzen, werden mithilfe der Stützen und Träger biegesteife Rahmen ausgebildet, die die Funktion einer Wand übernehmen. (Abb. 89)

Die Rahmen sind im Grundriss parallel zueinander angeordnet und erstrecken sich an jeder Stelle vom Boden geradlinig übereinander liegend bis zum Dach.<sup>46</sup> Um auch das Tragwerk zirkulär zu planen, sind die Fügungen zwischen Stützen und Trägern als geschraubte Verbindungen geplant. Über ein aus Metall gefertigtes Kombinationsstück werden Stützen und Träger so miteinander verbunden, dass die Möglichkeit besteht, diese auch wieder zurückzubauen. Aufgrund der Ausbildung der aussteifenden Rahmen, sind in Längsrichtung und Querrichtung des Gebäudes verschiedene Ausformungen dieses Knoten nötig. Eine Variante verbindet die Längsträger biegesteif miteinander (Abb. 90), eine andere Variante die Quertträger (Abb. 91). Eine letzte Variante verbindet die Elemente der Struktur gelenkig miteinander (Abb. 92) an den Stellen, an denen keine aussteifenden Elemente angeordnet sind.

44 vgl. Huß. 2018. S. 16

45 vgl. Huß. 2018. S. 53

46 vgl. Wirz. 2023. S. 60

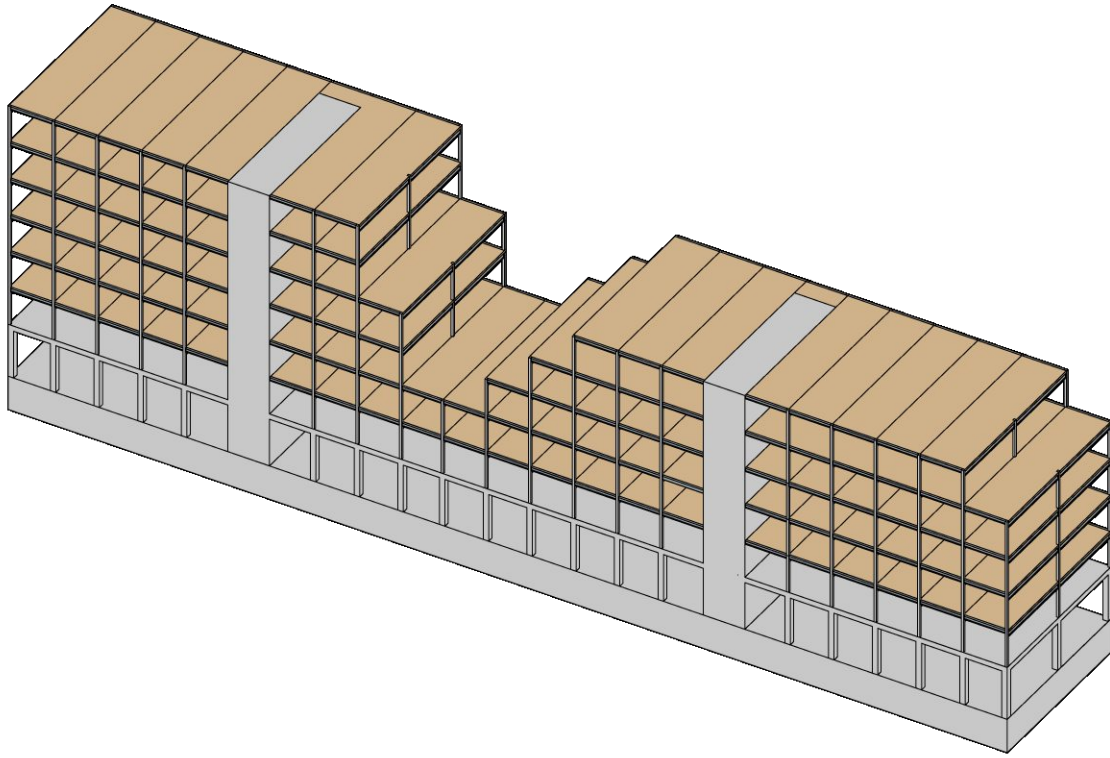


Abb. 88: Tragwerk

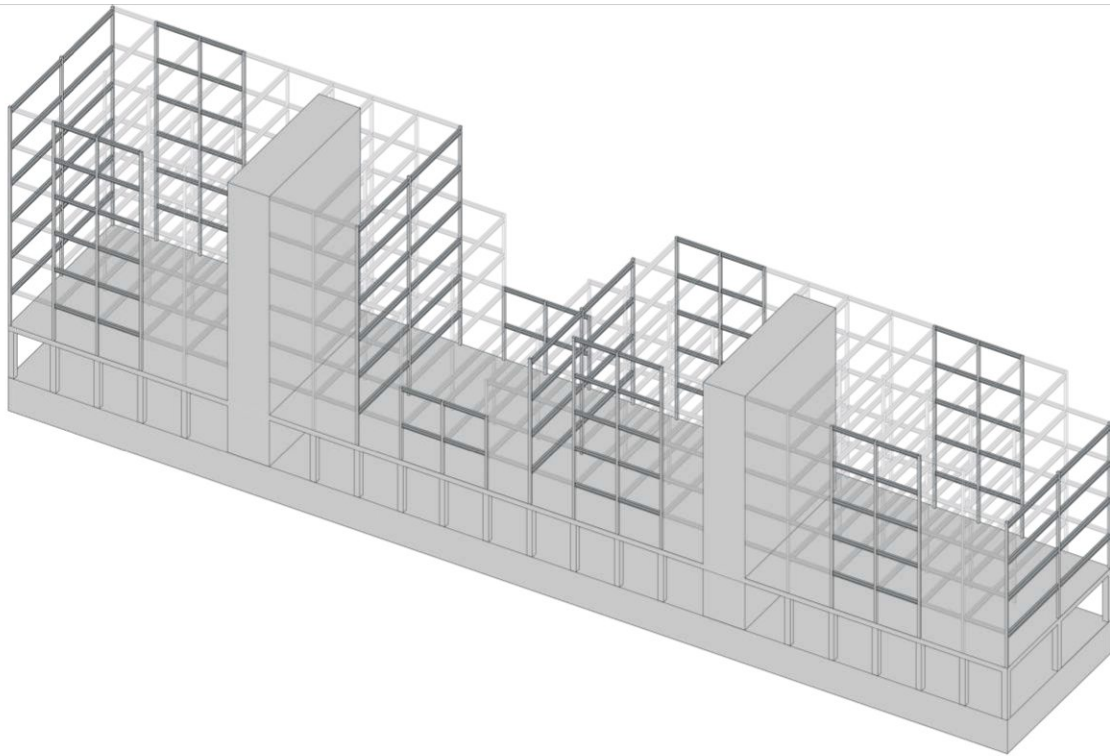


Abb. 89: aussteifende Rahmen

Abb. 90

**Knoten Längsträger biegesteif**

Über ein Verbindungsstück aus Metall werden die Stützen mit den Trägern in dem Punkt und der darüber liegenden Stütze verbunden. Über einen verschraubten Kopfplattenstoß wird der Längsträger biegesteif in dem Knotenpunkt befestigt.

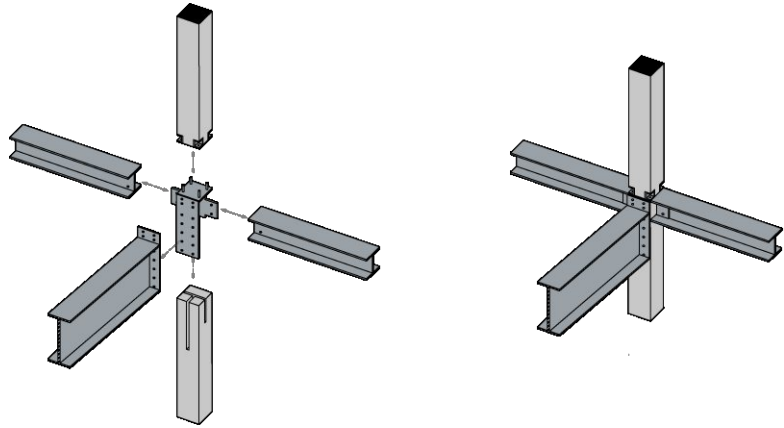


Abb. 91

**Knoten Querträger biegesteif**

Kopfplattenstöße, an denen der Querträger verschraubt wird, verbinden diesen biegesteif in dem Knoten. Über verschraubte Stützenfüße werden diese am Knoten angeschlossen.

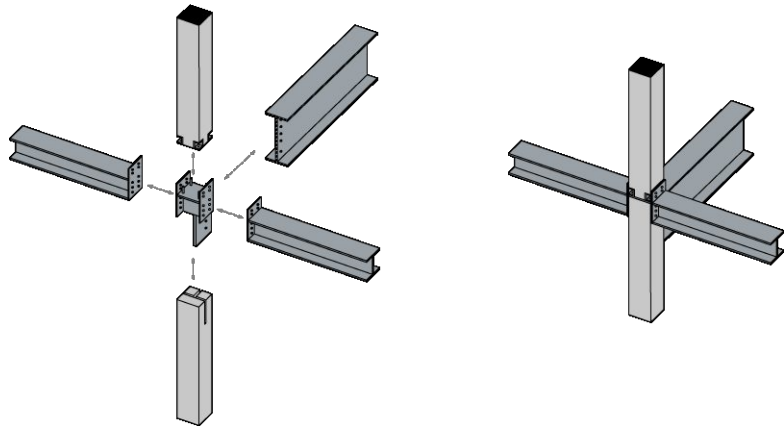
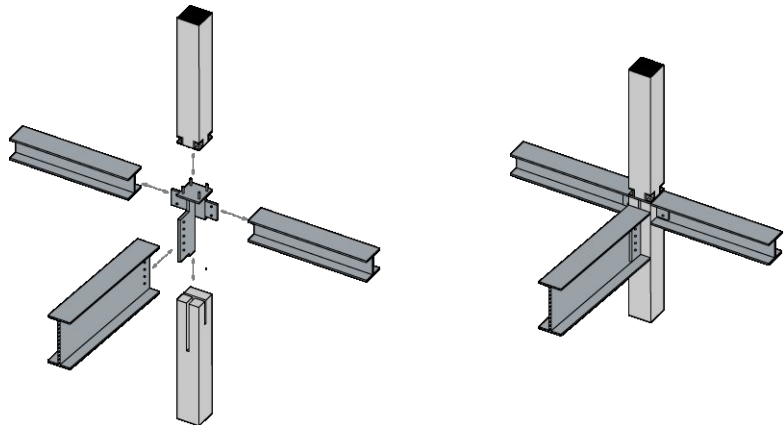


Abb. 92

**Knoten gelenkig:**

Steglaschen an allen Verbindungsstellen zwischen Trägern und Knotenpunkt ermöglichen die gelenkige Verbindung.



## 5.2 Brandschutz

Das höchste Geschoss des Gebäudes weist ein Fluchtniveau von 22 Metern auf. Damit fällt das Gebäude in Gebäudeklasse 5.<sup>47</sup>

Da das Gebäude über mehr als sechs oberirdische Geschosse verfügt, sind im Rahmen eines Brandschutzkonzeptes Maßnahmen zu ergreifen, um das Bauen mit Holz möglich zu machen. Wände und Decken müssen einen Brandwiderstand von 90 Minuten aufweisen. Im Bereich der Wände sind die Holzbauteile innerhalb der Konstruktion gekapselt.<sup>48</sup> Die feuerhemmenden Lehmbauplatten können zur Kapselung genutzt werden. Und durch die beidseitige Beplankung wird eine Feuerwiderstandsklasse von R90 erreicht. (vgl. Anhang 5) Im Bereich der Böden dienen die Schichten des Fußbodenaufbaus als Kapselung der Brettsperrholzscheibe. Die Decken der Module, die aus Brettsperrholz bestehen, dienen als Brandschutz für die im Tragwerk darüber liegende Brettsperrholzdecke. Die Dämmung zwischen den Raummodulen kann mineralisch ausgeführt werden, sodass eine Brandausweitung von einer Nutzungseinheit auf die andere ausgeschlossen wird.<sup>49</sup> Die Deckenplatten der Tragstruktur weisen ebenfalls eine Brandwiderstandsklasse von R90 auf. (vgl. Anhang 4)

Die tragenden Bauteile sind aus nicht-brennbaren Materialien geplant. Die

Stahlträger müssen aufgrund ihrer Eigenschaften bei Brandverhalten zusätzlich mit einem Brandschutzanstrich geschützt werden, um die Tragsicherheit im Brandfall zu gewährleisten. Aufgrund der Konstruktion wird dies einer Abkapselung bevorzugt.

Über alle Geschosse hinweg ist von jedem Punkt der Zugang zum Treppenhaus in unter 40 Metern zu erreichen. Ein zweiter Rettungsweg ist über das Anleitern der Feuerwehr mit einer Drehleiter gegeben.<sup>50</sup>

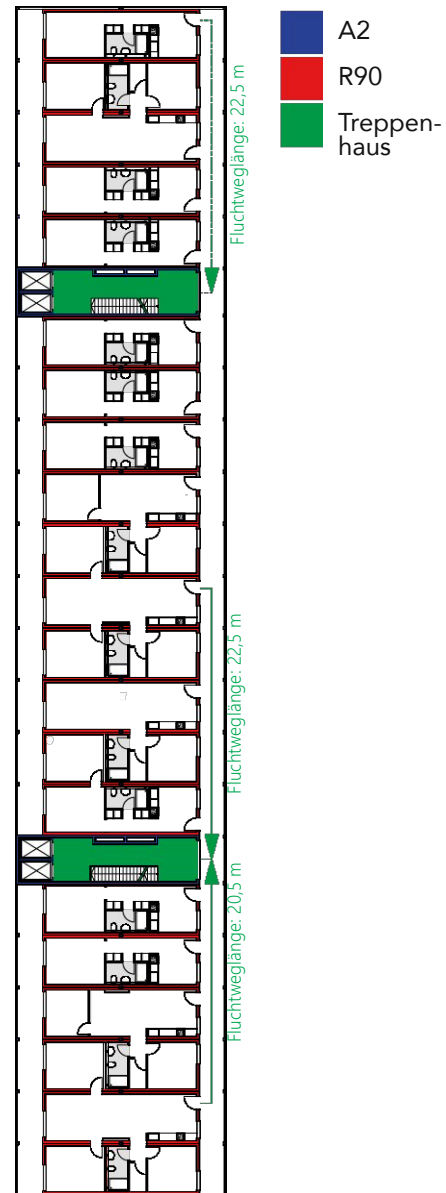


Abb. 93: Brandschutzplan

47 vgl. OIB Begriffsbestimmungen, 2019  
 48 vgl. Teibinger. 2015. S.20  
 49 vgl. Huß. 2018. S. 36f  
 50 vgl. OIB Richtlinie 2. 2019. S. 9

## 5.3 Bauphysik

Im folgenden Kapitel werden die bauphysikalischen Eigenschaften des Entwurfs untersucht. Mit Hilfe von Berechnungen wird überprüft, ob ein behagliches Raumklima vorherrscht und so ein gesundes Wohnen möglich ist. Die Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes und die natürliche Belichtung werden untersucht.

### Sommerlicher Wärmeschutz

Um zu überprüfen, ob eine sommerliche Überhitzung vorliegt, wird mithilfe des Programms Thesim 3D eine thermische Raumsimulation durchgeführt. Das Programm berücksichtigt die Ö-Norm B8110-3.<sup>51</sup>

In dem Szenario wird ein Wohnmodul der Typ-A-Wohnungen für eine Person betrachtet, inklusive Wärmeabgabeleistung dieser Person, der Beleuchtung und der elektronischen Geräte. Wie man am Verlauf des Graphen (Abb. 94) sieht, über-

schreitet die operative Raumtemperatur die vorgeschriebene Obergrenze von 27,0 °C nicht. Entscheidend dafür ist unter anderem die Anwendung von Nachtlüftung, bei der die Module zwischen 20:00 und 8:00 Uhr über die Fenster gelüftet werden. Durch die zurückgesetzte Fassade, bedingt durch den Laubengang und den Loggien, wird ein konstruktiver Sonnenschutz ausgebildet, ohne den die zulässige Obertemperatur überschritten würde. Die operative Temperatur kann durch die Installation von außenliegenden Jalousien zusätzlich auf eine maximale Temperatur von 24,6 °C optimiert werden. Da die maximal zulässige operative Raumtemperatur bereits ohne Jalousien eingehalten wird, kommen die außenliegenden Jalousien jedoch nicht zum Einsatz.

Trotz der geringen Speicherfähigkeit der Konstruktionsart wird durch den konstruktiven Sonnenschutz und Nachtlüftung eine sommerliche Überhitzung vermieden.

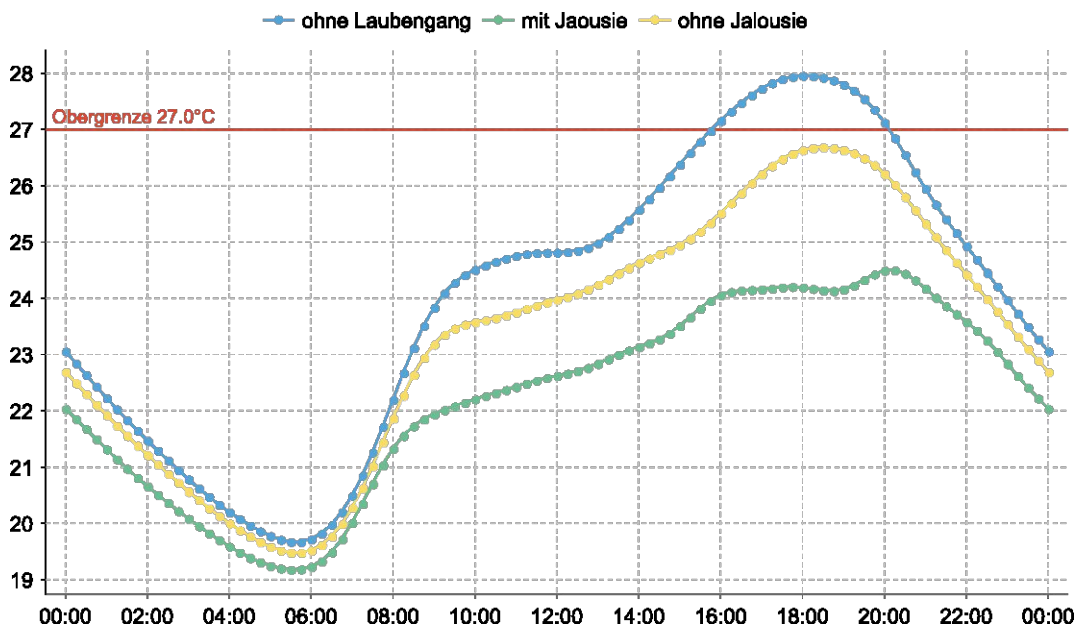


Abb. 94: Untersuchung operativer Raumtemperatur

51 vgl.thesim.at

## Tageslichtversorgung

Natürliches Tageslicht ist für die Belichtung von Innenräumen von großer Bedeutung. Ein ausreichend hoher Tageslichtquotient und die daraus resultierende Belichtung durch Sonnenlicht lassen eine angemessene Nutzbarkeit des Raumes zu und haben positive Auswirkungen auf das Raumklima.

Die DIN EN 17037 gibt Richtwerte für die Tageslichtversorgung in Innenräumen vor. Der in Österreich anzustrebende Tageslichtquotient beträgt 1,9 % und darf den Wert von 0,6 % nicht unterschreiten.<sup>52</sup>

Im Folgenden werden eine von zwei Seiten natürlich belichtete Typ-A-Wohnung, und eine einseitig belichtete Wohnküche einer Typ-D-Wohnung untersucht. Im Bereich der geplanten Büronutzungen werden ein Besprechungsraum, ein Zellenbüro und die Mittelzone im Kombibüro betrachtet. (Abb. 95)

Bei den Fensterscheiben handelt es sich um Glas mit einem Transmissionswert von 69 %. Um die Mittelzone des Kombibüros mit natürlichem Licht zu versorgen, werden die Trennwände der angrenzenden Büros mit Glas mit einem Transmissionswert von 90 % ausgeführt.

---

52 vgl. Velux Commercial

Mithilfe des Programms VELUX Daylight Visualizer wurden die Tageslichtquotienten für die jeweiligen Raumtypen berechnet. Aufgrund der Transmissionswerte des Glases, der Größe der Fensterflächen und der hellen Gestaltung der Innenwandflächen weist jeder der fünf untersuchten Räume einen Tageslichtquotienten von 1,9 % oder höher auf.

In der Typ-A-Wohnung wird ein Tageslichtquotient von 3,68 % gemessen. Die innenliegenden Sanitärbereiche werden künstlich belichtet.

Die einseitig belichtete Wohnküche der untersuchten Typ-D-Wohnung zeigt einen Tageslichtquotienten von 2,42 % an und wird trotz der hohen Raumtiefe mit ausreichend Tageslicht versorgt.

Bedingt durch die geringe Raumtiefe des untersuchten, einseitig belichteten Zellenbüros liegt dort ein Tageslichtquotient von 4,24 % vor.

Da der Besprechungsraum die größte verglaste Fläche im Verhältnis zu seiner Grundfläche aufweist, ist der Tageslichtquotient hier mit 5,24 % am höchsten. Mit 2,05 % ist der Tageslichtquotient in der Mittelzone des Büros zwar am niedrigsten, die geforderten Richtwerte werden dennoch erfüllt.

Trotz der erhöhten Gebäudetiefe von 16 m ist die Tageslichtversorgung der Räume sichergestellt. Dies gilt auch für die kritischen Bereiche, wie die Mittelzone des Kombibüros und die einseitig belichteten tiefen Räume im Bereich der Wohnungen.

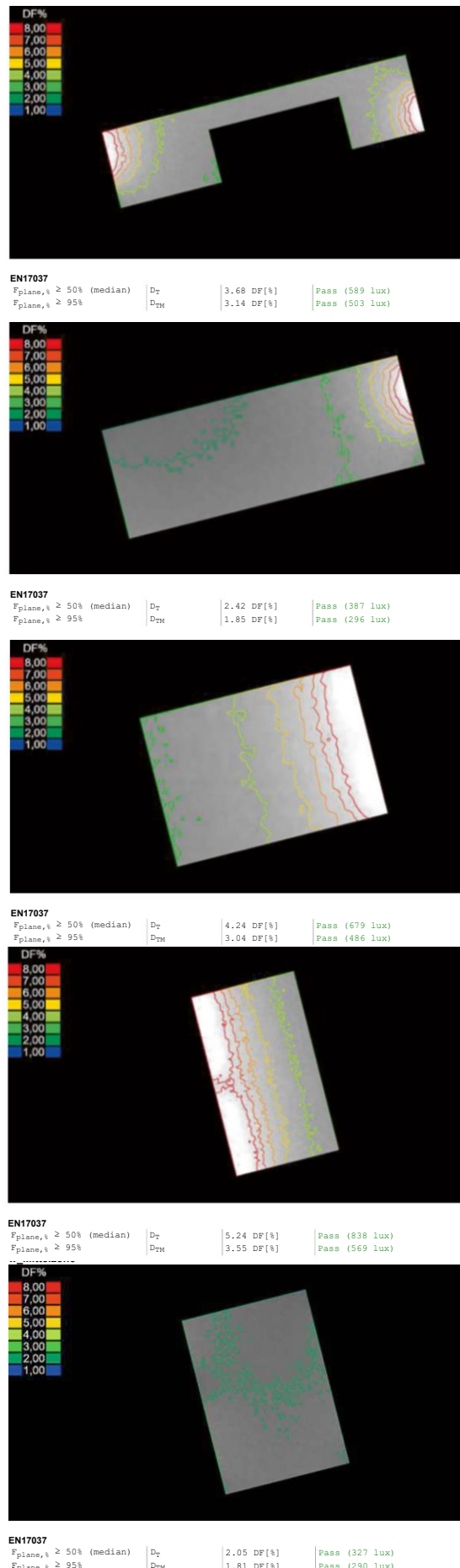


Abb. 95: Berechnung der Tageslichtfaktoren



## 5.4 Rückbau

Das Kapitel Zirkuläres Bauen hat bereits verdeutlicht, dass es essenziell für eine kreislauffähige Architektur ist, dass diese rückbaubar ist. Je höher die Möglichkeit des Rückbaus ist, desto mehr Materialien können ohne Verlust in einen neuen Nutzungszyklus oder in das Recycling geführt werden. Im Kapitel Konstruktion wurde bereits darauf eingegangen, wie die Aufbauten der Raummodule rückbaubar sind. Im Folgenden soll darauf eingegangen werden, wie das gesamte Gebäude zurückgebaut und der Anteil an Abbruchmaßnahmen so gering wie möglich gehalten werden kann.

Ein sortenreiner Rückbau ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Auf der Bauteilebene funktioniert dies gut über die Trennung der Funktionsschichten.<sup>53</sup> Auf der Gebäudeebene wird durch eine Trennung der Funktionen von Tragwerk, Gebäudehülle und Ausbau eine Rückbaubarkeit vereinfacht. Darüber hinaus ist die Wahl der verwendeten Baustoffe ein Faktor, der Einfluss auf die Rückbaubarkeit hat. Die modulare Bauweise des Gebäudes in Verbindung mit dem Baustoff Holz ermöglicht für die geplanten Raummodule eine gute Rückbaubarkeit und vermeidet das Anfallen von Müll auf der Baustelle. Durch den Einsatz von lösbaren Verbindungen wird der Rückbau im Bereich des Tragwerks ermöglicht.<sup>54</sup> Die im Kapitel Tragwerk gezeigten Knoten, die Stützen und Träger miteinander

verbinden, sind wesentlich, um die Rückbaubarkeit umzusetzen. Dies ermöglicht die Wiederverwertung der Bauteile, aus denen sich das Tragwerk zusammensetzt. Sowohl die Brettsperrholzdecken, als auch die Stahlträger können aufgrund ihrer materiellen Beschaffenheit wiederverwendet werden und weisen darüber hinaus eine hohes Maß an Recyclingfähigkeit auf. Die Stahlbetonstützen des Tragwerks können durch die Konstruktion innerhalb des entwickelten Bausystems getrennt werden und gut wiederverwendet werden.

Die einzigen Teile der Gebäudestruktur, die nicht sortenrein zurückgebaut werden können, sind der massive Sockel des Erdgeschosses und die Kerne, die aus brandschutztechnischen und statischen Gründen auch mit Stahlbeton gebaut werden müssen. Diese Bereiche des Gebäudes müssen über Abbruch zurückgebaut werden. Der daraus resultierende Bauschutt kann recycelt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die gewählten Konstruktionsarten im Bereich der Raummodule und des Tragwerks einen Rückbau ermöglichen und somit einer kreislauffähigen und dadurch nachhaltigeren Architektur gerecht werden. In Verbindung mit den Erkenntnissen aus der Analyse der Referenzobjekte und dem Entwurf wird durch die Trennung von Tragstruktur und den Ausbau über Raummodule nicht nur eine Variabilität in der Nutzung ermöglicht, sondern dadurch ergeben sich auch Vorteile in Bezug auf die Rückbaubarkeit.

53 vgl. Riegler-Floors. 2021. S. 42

54 vgl. Luger. 2021. S. 21ff

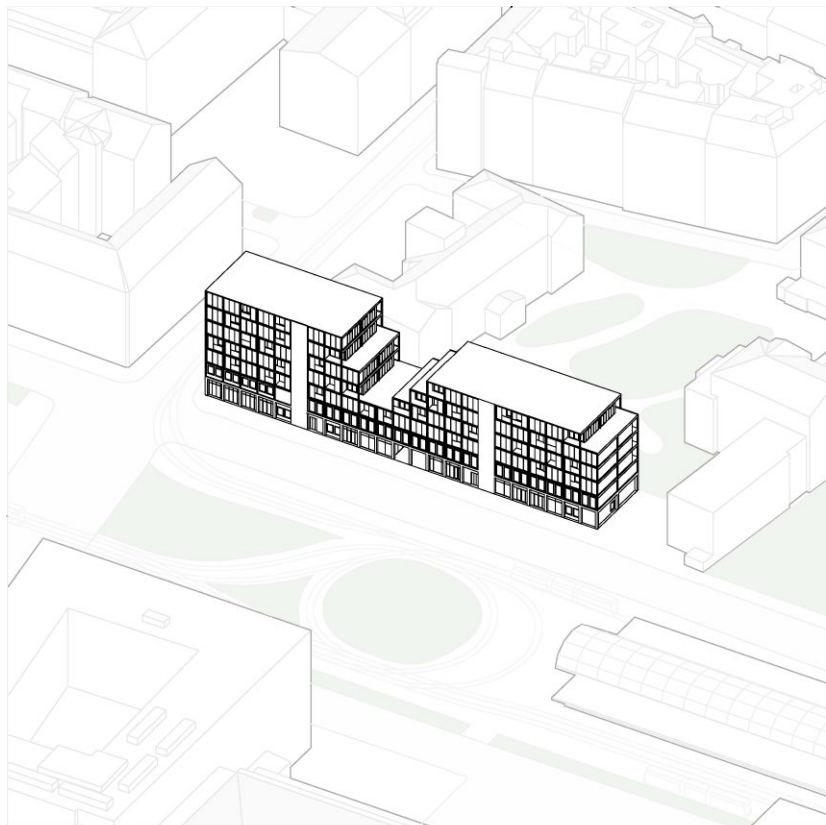


Abb. 96: Wesentlich zum Erreichen einer zirkulären Bauweise ist die Möglichkeit der Rückbaubarkeit und Trennung. In vorangegangenen Kapiteln wurde erklärt, wie eine Trennung der gesamten Konstruktion möglich ist.

Abb. 97: 1. Schritt: Ausbauelemente wie die Loggien und Bodenbeläge werden entfernt. Alle Raummodule sowie andere Ausbauelemente werden vom Tragwerk gelöst, entfernt und im Sinne der Zirkularität weiter verwendet.

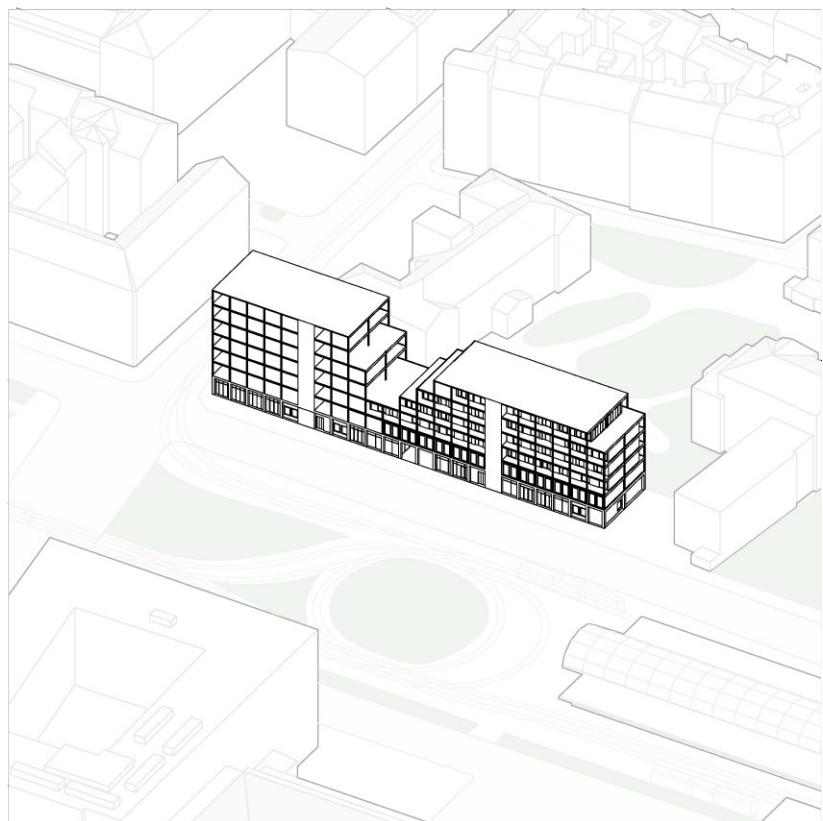


Abb. 98: 2. Schritt: Die Deckenscheiben des Tragwerks werden untereinander gelöst und mittels Kran abgehoben.

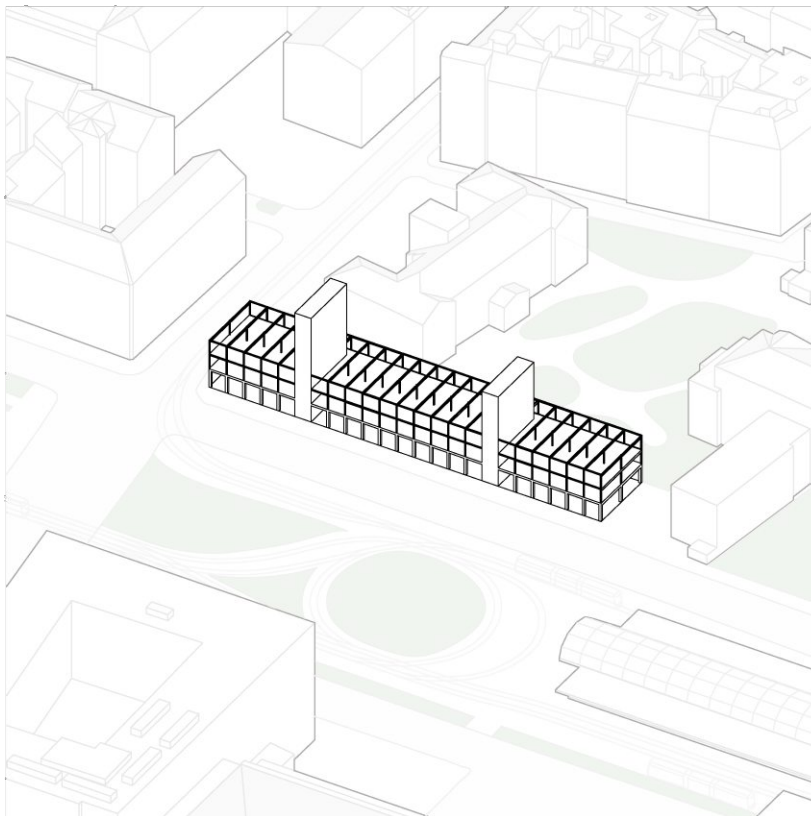
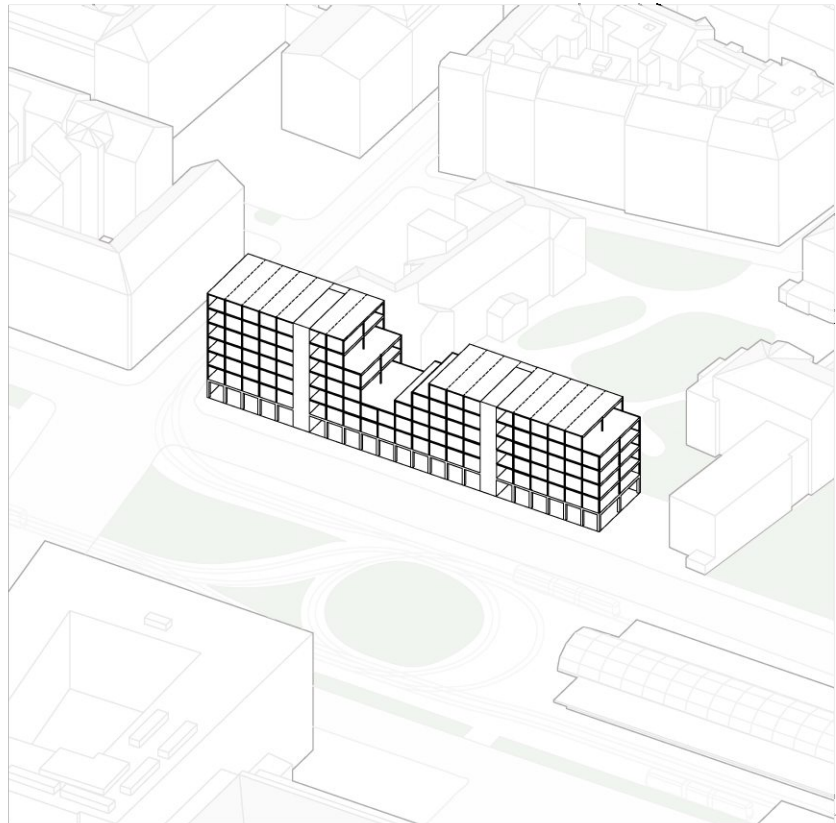


Abb. 99: 3. Schritt: Die Träger und Stützen werden untereinander gelöst und aus dem Tragwerk gehoben. Die Schritte zwei und drei erfolgen jeweils geschossweise.

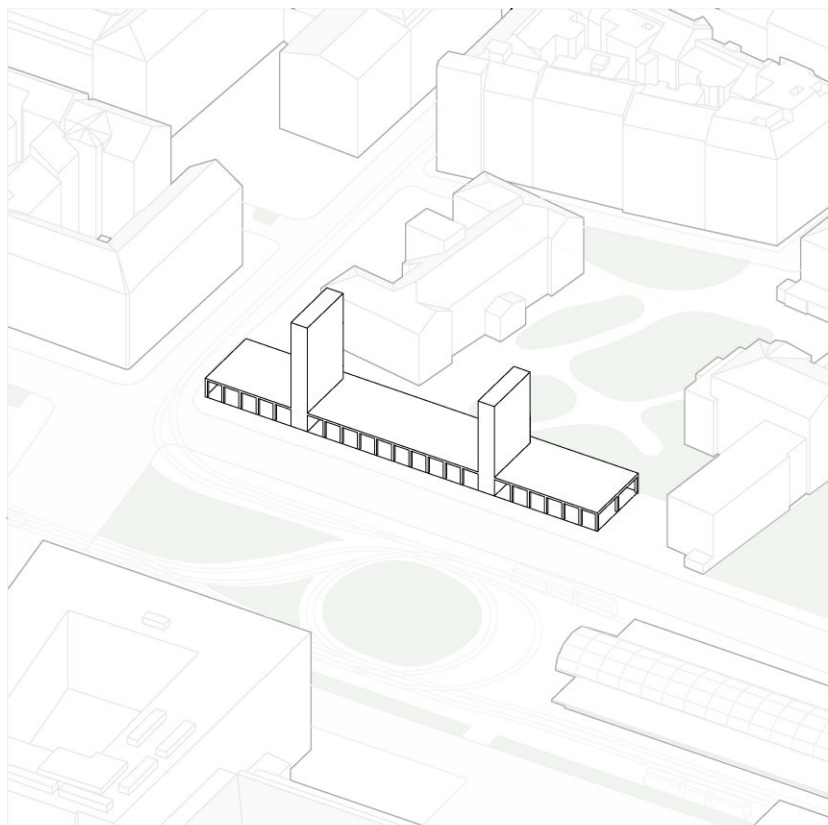
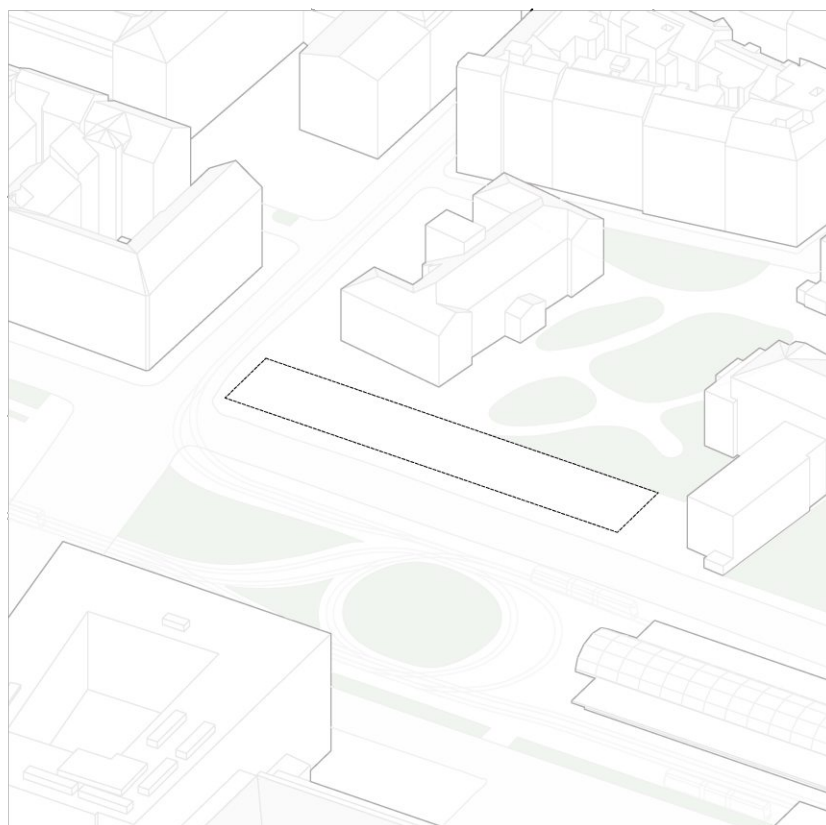


Abb. 100: 4. Schritt: Rückbau der Treppenkerne und des massiven Erdgeschosses. Die Bauteile aus Ortbeton werden durch Abbruch zurückgebaut und in das Recycling gegeben.

Abb. 101: 5. Schritt: Rückbau des Kellers und anschließendes Verfüllen der Baugrube stellt die Ausgangslage wieder her.



## 5.5 Nachhaltigkeitskonzept

Um eine vergleichbare Basis für die Bewertung unterschiedlicher Aufbauten zu schaffen, die rechnerisch gestützt ist und ein quantifizierbares Ergebnis aufzeigt, werden Ökobilanzen für diese berechnet. Aufgrund der vollständigen Rückbaubarkeit der Konstruktion, lassen sich die verwendeten Baustoffe recyceln, in einen weiteren Nutzungszyklus einsetzen oder stofflich verwerten im Sinne einer Kaskadennutzung von Rohstoffen. Innerhalb einer Ökobilanz werden Umweltwirkungen über den Lebenszyklus eines Produktes oder, wie in diesem Fall, von Bauteilaufbauten berechnet. Betrachtet werden diese Umweltwirkungen in allen Phasen des Nutzungszyklus: der Produktion, der Nutzung und der Entsorgung sowie dazugehörige Arbeitsschritte wie Transport oder Austausch innerhalb einer Nutzungsphase. Die Umweltbilanzierung bemisst die Stoffflüsse während des Lebenszyklus und die aufzuwendende Energie, die benötigt wird, um ein Produkt

herzustellen und zu verarbeiten. Zusätzlich dazu werden die Umweltwirkungen in Bezug auf Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzung betrachtet. Am Ende der Umweltbilanzierung stehen die Menge an Energie, die es benötigt, um ein Produkt herzustellen, und die Umweltwirkungen in Form des Beitrags zum Treibhauseffekt, der Bildung von Sommersmog und der Versauerung von Böden und Wasser. Mittels einer Umweltbilanzierung können Produkte oder Materialien miteinander verglichen und basierend auf den Ergebnissen der Berechnungen Umweltwirkungen abgeschätzt werden. Dies stellt ein gutes Werkzeug dar, um einen ökologischen Vergleich von Varianten der Konstruktion zu prüfen.<sup>55</sup>

Eine Lebenszyklusanalyse lässt sich in vier getrennte Module unterteilen. Modul A betrachtet unter den Punkten A1 bis A3 die Herstellung eines Produktes, A4 und A5 beziehen sich auf die Errichtungsphase aus Transport und Einbau. Im zweiten Modul B werden die Nutzungsphase und die daran gebundene Instandhaltung oder Reparaturarbeiten bemessen. Modul C beschreibt die Entsorgungsphase

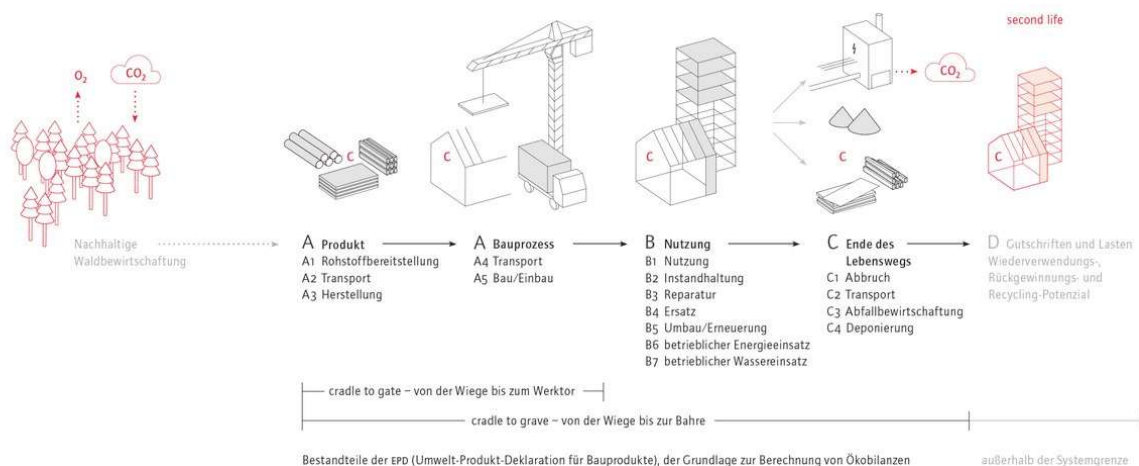


Abb. 102: Übersicht der Module der Lebenszyklen

vom Abbruch bis zur Deponierung. Modul D betrachtet die Potentiale, die ein Stoff hat, um wiederverwendet zu werden. (Abb. 102) Als Grundlage für die Berechnungen dienen Environmental Product Declarations (EPD). Innerhalb der EPDs werden alle benötigten Werte der jeweiligen Umweltwirkungen angegeben, um deren Auswirkungen zu berechnen.<sup>56</sup>

Im Folgenden sollen die Aufbauten für ein Raummodul einer Typ-A-Wohnung untersucht werden, da diese als für sich geschlossene Einheit funktioniert und einen sehr vereinfachten Betrachtungsrahmen liefert. Es werden für den Außenwandaufbau, die Moduldecke und den Modulboden Lebenszyklusberechnungen durchgeführt. Im Bereich der Trennwand werden beide Seitenwände und die dazwischen liegende Dämmung als ein Bauteil zusammengefasst.

Die Berechnung soll an dieser Stelle als Vergleich zwischen unterschiedlichen Systemgrenzen dienen. Eine lineare Wirtschaft hat die Systemgrenze Cradle to Grave. Die genutzten Rohstoffe werden produziert, verwendet und anschließend entsorgt. Die betrachteten Phasen sind hierbei die Module A-C. Mit dem Einführen einer Kreislaufwirtschaft, was durch den Gedanken des zirkulären Bauens ermöglicht wird, erweitert sich die Systemgrenzen. Die Systemgrenzen lassen sich nun als Cradle to Cradle beschreiben. Nachdem Produkte hergestellt und verwendet wurden, werden diese nicht wie im System von Cradle to Grave entsorgt,

sondern in einen neuen Lebenszyklus geführt.<sup>4</sup> In der Berechnung der Phasen wird die Wiederverwendung von Materialien im Modul D durch Gutschriften in Bezug auf die Umweltwirkungen wiedergespiegelt. Die betrachteten Module sind hier A-D. Trotz der Wiederverwendung der Materialien wird hier berücksichtigt, dass Anteile entsorgt werden müssen, bedingt durch beispielsweise Beschädigungen im Ausbau.

Die Bestrebungen dieser Arbeit, einen zirkulären Nutzung von Baumaterialien zu ermöglichen und die dadurch möglicherweise resultierenden Vorteile in Bezug auf Umweltwirkungen sollen im Folgenden betrachtet werden. Für die vorher genannten Bauteilschichten werden Berechnungen durchgeführt, die einmal die Umweltwirkung einer linearen Wirtschaft zeigen mit den Modulen A-C und einmal die Wirkung einer zirkulären Wirtschaft mit den Modulen A-D. (vgl. Anhang 6-9) Um einen weiteren Vergleich für die Bauweise mit dem Baustoff Holz zu schaffen, werden für die jeweiligen Bauteile Varianten gerechnet, die statt der Konstruktion mit Holzbau in einer massiven Bauweise gebaut sind. (vgl. Anhang 10-13) Die jeweils tragenden Schichten werden durch Stahlbeton ersetzt, die verbleibenden Schichten des Aufbaus bleiben gleich, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Die Berechnung wurden mit Datensätzen aus der ÖkobaDat durchgeführt. Die ÖkobaDat ist eine Datenbank in der Datensätze zur Lebenszyklusberech-

<sup>56</sup> vgl. Gebäudeforum Klimaneutral  
<sup>4</sup> vgl. Liebsch. 2023

nung gesammelt sind. Diese Datensätze berücksichtigen die geltende DIN Norm EN 15804+A2.<sup>57</sup> Hierbei ist zu berücksichtigen dass die Daten für die Energiebereitstellung auf dem deutschen Strommix basieren und dieser in Österreich ein anderes Verhältnis aufweist.

Der Betrachtungszeitraum in der Berechnung wurde auf 30 Jahre festgelegt, basierend auf der Grundannahme, dass nach den ersten 30 Jahren der Nutzung des Gebäudes ein Wechsel der Raummodule stattfindet, um an neue Anforderungen angepasst zu werden. Für den Transport wurde eine Strecke von 100 Kilometern angenommen und durch einen generischen Datensatz wiedergespiegelt. Aufgrund der Nutzungsdauer von 30 Jahren beschränkt sich der Austausch von Bauteilschichten lediglich auf die raumseitigen Putzschichten, da diese im Verlauf der Nutzung erneuert werden würden.

## Ergebnisse

In den Abbildungen 103 - 106 sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt. Das gilt jeweils für die berechneten Bauteile in einem Diagramm und in der Betrachtung der Ergebnisse, beschränkt auf die Werte des benötigten Anteils der erneuerbaren Primärenergie, der nicht erneuerbaren Primärenergie und dem Global Warming Potential in kg CO<sub>2</sub> Äquivalenten.

Generell lässt sich anhand der Ergebnisse feststellen, dass die Verwendung von Holz als tragendes Element in Bezug auf die Umweltwirkung bessere Eigenschaften

hat als Beton. Bei den verglichenen Bauteilen ist der Anteil an grauer Energie, die aus nicht erneuerbaren Energiequellen stammt, um ein Vielfaches höher. Neben dem höheren Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie ist auch die

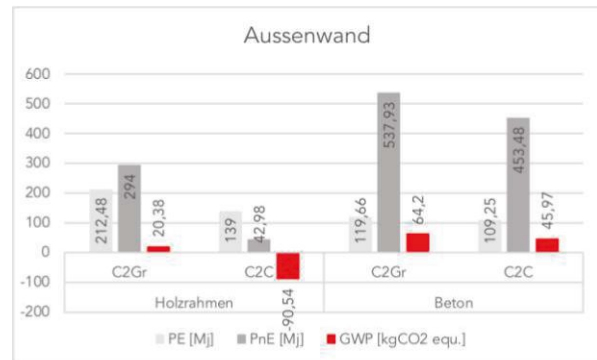


Abb. 103: Umweltwirkung Aussenwand

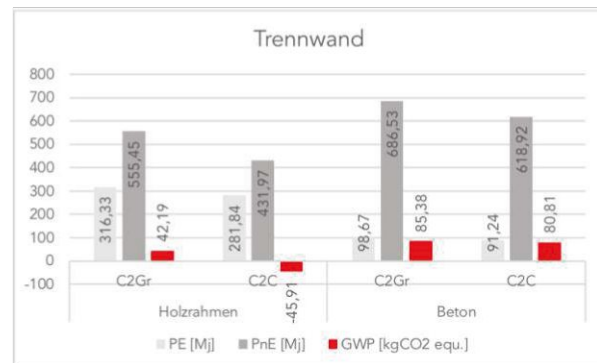


Abb. 104: Umweltwirkung Trennwand

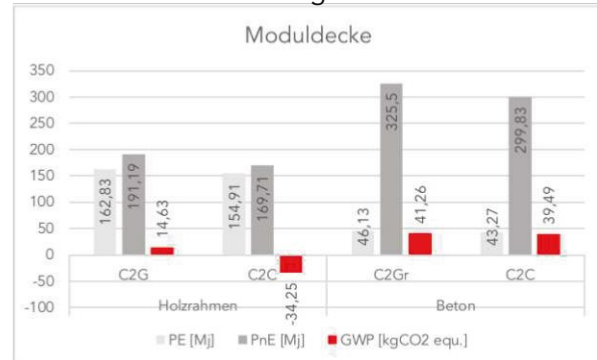


Abb. 105: Umweltwirkung Moduldecke

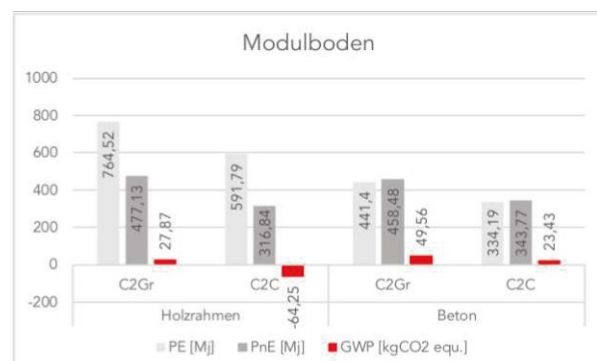


Abb. 106: Umweltwirkung Modulboden

57 vgl. oekobaudat.de

Umweltwirkung in Form des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes höher als bei der Verwendung des Baustoffs Holz. Bedingt durch die Eigenschaften des Holzes, die auch in Kapitel Bauen mit Holz beschrieben wurden, bindet dieser CO<sub>2</sub> aus der Luft, was zu der besseren Umweltwirkung führt. Eine Auffälligkeit stellt der Modulboden dar, der durch den Einsatz von Brettsperrholz und der Trockenschüttung einen sehr hohen Bedarf an erneuerbarer Primärenergie aufweist. In dem verwendeten Datensatz für die Trockenschüttung werden keine Recyclingpotentiale angegeben. Wie im Kapitel Konstruktion beschrieben kann diese aber durchaus erneut verwendet werden, dies wird in der Berechnung nicht dargestellt.

Im Vergleich der vorher beschriebenen unterschiedlichen Systemgrenzen zwischen Cradle to Grave und Cradle to Cradle zeigen sich deutliche Verbesserungen der Umweltwirkungen, wenn die Materialien erneut verwendet oder weiterverarbeitet werden. Die Varianten der Holzkonstruktion in der Betrachtung der Cradle to Cradle-Systemgrenze weisen hervorragende Eigenschaften bei den betrachteten Umweltwirkungen auf. Die rechnerischen Gutschriften, die sich aus dem Modul D ergeben, führen in allen betrachteten Bauteilen zu negativen Werten in Bezug auf das Global Warming Potential, da die verwendeten Materialien Holz und auch das Stroh welches zur Dämmung benutzt wird CO<sub>2</sub> binden. Da das Material weiterverwendet wird, bleibt die CO<sub>2</sub>-Speicherung erhalten.

## **Fazit**

Die Berechnungen zeigen, dass das Vermeiden von Beton in der Konstruktion von Gebäuden und die Benutzung von Holz, ein großes Potential bietet, den notwendigen Energieverbrauch bei der Bereitstellung eines Bauteils zu minimieren. Darüber hinaus ist auch deutlich zu sehen, wie groß die Potentiale der angestrebten zirkulären Wiederverwendung von Rohstoffen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft sind. Die Nutzung von Rohstoffen, die einmal hergestellt wurden und über mehrere Nutzungszyklen verwendet werden, ist ein wichtiger Schritt in Richtung der Klimaneutralität von Gebäuden. Die benötigte Energie in Form von nicht erneuerbarer Primärenergie zeigt, dass auf der Ebene der Energieversorgung für die Herstellung und den Transport eine Entwicklung nötig ist, die es ermöglicht, auf fossile Energiequellen wie Kohle und Öl zu verzichten und vermehrt regenerative Energieträger einzusetzen.





## 6. Diskussion und Ausblick

Das angestrebte Ziel dieser Diplomarbeit lag darin, aufgrund des Klimawandels und den daraus resultierenden gesellschaftlichen und ökologischen Folgen einen Ansatz für eine Architektur zu entwickeln, die dieser Problemstellung entgegen tritt. Bisher liefert die vorherrschende Praxis in großen Teilen der Architektur noch keine angemessenen Antworten auf diese Fragestellungen. Somit besteht die Notwendigkeit, die derzeitige Praxis zu optimieren und im Sinne der Nachhaltigkeit zu verändern.

Ausgehend von dieser Feststellung wurde untersucht, welche alternativen Wege der Produktion und Konstruktion von Architektur eine Lösung der durch Klimawandel verursachten Probleme, wie der Erwärmung der Erdatmosphäre und extreme Wetterereignisse, ermöglichen.

Ein Nachteil der gängigen Produktion von Architektur besteht darin, dass diese in Bezug auf Nutzung, Baumaterialien und die Konstruktion linear gedacht wird. Gebäude werden so gebaut, dass diese über einen Lebenszyklus hinweg einen Nutzungszyklus haben. Danach wird das Gebäude abgerissen, was Energie und Material verschwendet und keinen ressourcenschonenden Umgang darstellt. Die Anwendung eines zirkulären Systems auf die Architektur kann diese Problematik lösen. Das bedeutet, dass eine Architektur Eigenschaften aufweist, die es ermöglichen, ein Gebäude langfristig und

flexibel zu nutzen. Darüber hinaus muss gewährleistet sein, dass bedingt durch die Materialität und die Fügung der Bauteile die Möglichkeit besteht, Baumaterialien zu trennen, um diese wieder zu verwenden oder zu verwerten. So können die Materialien in einen neuen Lebenszyklus und zurück in den Nutzungskreislauf gebracht werden, wodurch Energie und Material erhalten bleibt.

Eine Analyse von bestehenden Gebäuden hat gezeigt, dass der Baustoff Holz aufgrund seiner Eigenschaften hohe Potentiale vorweist, um die Idee des zirkulären Bauens anzuwenden, da es sich um einen nachwachsenden, klimaneutralen Rohstoff handelt, der durch die kaskadenartige Nutzung in mehreren Nutzungszyklen positive Umweltwirkungen aufweisen kann. Eine Form des Bauens, für die sich der Baustoff Holz besonders gut eignet, ist die Modulbauweise. Module in Form von 1D-Elementen wie Stützen und Träger, 2D-Elementen, wie Decken oder Wände, oder 3D-Module als Raummodule lassen sich in einer Holzbauweise umsetzen. Eine Auswahl an genauer analysierten Gebäuden hat gezeigt, dass sich die Kombination von Raummodulen, die in eine für sich funktionierende Tragstruktur eingestellt werden, eignet, um zirkuläre Konzepte umzusetzen. Dies gilt sowohl für die Nutzung, die durch einen Austausch und die Kombination von Raummodulen auf sich verändernde Anforderungen reagieren kann, als auch für die Konstruktion, die bedingt durch die Eigenschaften und der Verbindung der Materialien.

Dies stellt die Grundlage dar, auf der ein Entwurf entwickelt wurde, der die vorher genannten Aspekte beinhaltet und umsetzt. Im Zuge dessen wurde ein Katalog an Modulen entwickelt, bestehend aus Raummodulen, die verschiedene Funktionen wie Wohnen und Büronutzungen aufnehmen können, Trägern und Stützen sowie Decken. Zusätzliche Ausbauelemente für das gedachte System ergänzen dies.

Mit diesem Modulbausystem wurden für zwei Standorte in Wien verschiedene Gebäude mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen geplant. Die hauptsächliche Nutzung besteht aus Wohnen. Diese wird durch Büronutzungen und in Abhängigkeit der Größe des Entwurfs zusätzlich durch Sonderfunktionen im Erdgeschoss ergänzt.

Auf konstruktiver Ebene wurden für das Tragwerk und die Konstruktion der Raummodule Details entwickelt, die eine Trennbarkeit und Rückbaubarkeit des Gebäudes im Sinne der Zirkularität ermöglichen. Durch Berechnungen wurde gezeigt, dass ein gesundes Raumklima herrscht und so eine gute Nutzbarkeit der Räume gewährleistet ist. Des Weiteren wurden mit Berechnungen von Lebenszyklusanalysen die Umweltwirkungen einer Auswahl an Bauteilen dargestellt. Hier hat sich gezeigt, dass der Einsatz von Holz und die Möglichkeit der erneuten Nutzung von Materialien ein deutlich besseres Ergebnis erzielt im Vergleich zu einer linearen Nutzung von Baustoffen.

Es wurde gezeigt, dass ein zirkuläres Bausystem, wie es hier entwickelt wurde, eine Antwort auf die Frage nach einer nachhaltigeren Architektur bietet.

Die entwickelte Tragstruktur ist in der Lage, eine langfristige Nutzbarkeit zu ermöglichen und es wurde gezeigt, dass diese variabel genutzt werden kann und somit eine Nutzungsflexibilität aufweist. Die Umsetzung von Wohnungen und klassischen Büros funktioniert gut mit Raummodulen, beschränkt sich jedoch auf diese Funktionen. Sondernutzungen, die freiere Grundrisse erfordern und keine kleinteilige Raumaufteilung benötigen, lassen sich nicht in diesem System umsetzen.

Die ausgeführten Varianten des Entwurfs zeigen, dass es möglich ist, auf unterschiedliche räumliche Situationen zu reagieren. Durch das Bausystem ist man jedoch an die Maße des Modulkatalogs gebunden. In der äußerlichen Gestalt ist durch die Wahl des Fassadenmaterials und der Ausführung von Fassadenöffnungen eine Variabilität gegeben. In der Bearbeitung wurde sich auf eine Auswahl von Fassadengestaltungen beschränkt, diese wäre durch weitere Elemente erweiterbar. Auf der konstruktiven Ebene zeigt sich, dass sich eine Rückbaubarkeit umsetzen lässt. Aufgrund der Umsetzung mit Raummodulen in Kombination mit einem Tragwerk mit Decken, das wie eine Skelettstruktur verschiedene Nutzungen aufnehmen kann, entstehen hohe konstruktive Aufbauhöhen. Dies bedingt einen erhöhten Materialverbrauch, was dem materialeffizienten Entwerfen widerspricht. Durch eine erhöhte Flexibilität

könnte es möglich sein, Deckenelemente aus der Tragstruktur zu entfernen, wenn Raummodule zum Einsatz kommen. Bedingt durch die Ausführung des Tragwerks entstehen zwischen den Raummodulen Bereiche, die eine konstruktive Herausforderung darstellen. Dies kann durch eine Weiterentwicklung des Tragwerks optimiert werden.

Durch die mögliche Reversibilität der Konstruktion und längeres Nutzen von Materialien werden Vorteile in Bezug auf die Umweltwirkungen nachgewiesen. Das angewandte Rechenmodell ist jedoch nur begrenzt in der Lage, eine zirkuläre Wirtschaft und Nutzung von Materialien gänzlich abzubilden. Die recycelten Baustoffe werden hier nur als Gutschriften dargestellt, aber es wird nicht mit einbezogen, dass diese am Ende mehrerer Nutzungsphasen auch deponiert werden und dadurch andere Ergebnisse entstehen. Im Bereich der Lebenszyklusberechnung müssen neue Modelle entwickelt werden, die einen stärkeren Fokus auf mehrere Nutzungszyklen mit anschließender Entsorgung haben.

Das Potential dieses Lösungsansatzes wurde nachgewiesen. Eine Weiterentwicklung des Entwurfs im Bereich des Tragwerks und der Konstruktion ist empfehlenswert, um das Gesamtergebnis im Hinblick auf Nachhaltigkeit zu optimieren.

Mit einer wie hier gedachten Architektur, wird gemäß der Ausgangsfrage ein Beitrag zur Bewältigung der Klimakrise geleistet.



## 7. Literaturverzeichnis

- [1] **EU-Klimaneutralität bis 2050: Europäisches Parlament erzielt Einigung mit Rat.** 2021. [online] Abgerufen unter: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20210419IPR02302/eu-klimaneutralitat-bis-2050-europaisches-parlament-erzielt-einigung-mit-rat> (zuletzt abgerufen: 23.10.2022)
- [2] **United Nations Environment Programme Global Alliance for Buildings and Construction.** 2020. *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector - Executive Summary.* S. 3.
- [3] **European Commission.** *Construction and demolition waste.* [online] Abgerufen unter: [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en) (zuletzt abgerufen: 18.05.2023)
- [4] **Liebsch, Toby.** 2023. *Ökobilanz (LCA) - Vollständiger Leitfaden für Einsteiger.* [online] Abgerufen unter: <https://ecochain.com/de/knowledge-base/oekobilanz-lca-kompletter-leitfaden-fur-anfanger/> (zuletzt abgerufen am: 19.05.2023)
- [5] **Isopp, Anne.** 2017. *Editorial.* Zuschnitt 65 Kreislauf Holz. proHolz Austria (Hg.). S. 3.
- [6] **Fischer, Danielle.** 2019. *Von linear zu zirkular.* [online] Abgerufen unter: <https://www.espa-um.ch/de/aktuelles/von-linear-zu-zirkulaer> (zuletzt abgerufen am: 20.05.2023)
- [7] **DGNB.** 2022. *Ausschuss Lebenszyklus und Zirkuläres Bauen.* IM FOKUS – ZIRKULÄRES BAU-EN. Stuttgart. S. 3.
- [8] **Bachmann, Günther.** 2021. *Urban Resource Exploration – Produzieren in geschlossenen Stoffkreisläufen.* Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite Auflage. München: DETAIL. S. 6f.
- [9] **Hillebrandt, Anette.** 2021. *Architekturkreisläufe – Urban-Mining-Design.* Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite Auflage. München: DETAIL. S. 10ff.
- [10] **Achatz, Astrid. Margelik, Eva. Romm, Thomas. Kasper, Thomas. Jäger, Dirk. Umweltbundesamt GmbH (Hg.).** 2021. *Kreislaufbauwirtschaft.* Projekt-Endbericht. Wien. S. 32ff.
- [11] **Richter, Klaus. Risse, Michael.** 2017. *Über die Kaskadennutzung von Holz.* Zuschnitt 65 Kreislauf Holz. proHolz Austria (Hg.) S. 23f.
- [12] **kiubo.eu.** *Wohnen anders denken.* [online] Abgerufen unter: <https://www.kiubo.eu/> (zuletzt abgerufen: 11.05.2023)
- [13] **kiubo.eu.** *Bausteine für das Wohnen von morgen.* [online] Abgerufen unter: <https://www.kiubo.eu/module/> (zuletzt abgerufen: 11.05.2023)
- [14] **Gary, Gisela.** 2022. *Wohnen neu denken.* Zement+Beton 5\_22 Architektur und Design. Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. (Hg.). S.19
- [15] **wettbewerbe.cc.** *Plug-and-Play.* [online] Abgerufen unter: <https://www.wettbewerbe.cc/singleview/article/plug-and-play> (zuletzt abgerufen: 18.05.2022)
- [16] **Gruber, Birgit.** 2022. *Holzmodule auf Wanderschaft. Ein System, das Wohnen und seine Rahmbedingungen neu denkt.* [online] Abgerufen unter: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2022/07/holzmodule-auf-wanderschaft.html> (zuletzt abgerufen: 18.05.2023)

- [17] **baunetzwissen.de.** *Forschungsgebäude NEST in Dübendorf.* [online] Abgerufen unter: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/objekte/sonderbauten/forschungsgebaeude-nest-in-duebendorf-4929786> (zuletzt abgerufen: 18.05.2023)
- [18] **wernersobek.com.** *NEST-Unit UMAR.* [online] Abgerufen unter: <https://www.wernersobek.com/de/projekte/nest-unit-umar/> (zuletzt angerufen: 16.05.2023)
- [19] **Felix, Alexander.** 2016. *Temporäre Raummodule: Forschungsgebäude in Dübendorf.* DETAIL 10/2016 Dächer - flach und geneigt. DETAIL Business Information GmbH (Hg.) S. 893.
- [20] **Geuder, Thomas.** 2018. *Vom Abfall zum Vorrat.* [online] Abgerufen unter: <https://www.german-architects.com/de/architecture-news/praxis/vom-abfall-zum-vorrat> (zuletzt abgerufen: 18.05.2023)
- [21] **lukaslang.com.** *FLEXIBEL für jede Lebenslage.* [online] Abgerufen unter: <https://www.lukaslang.com/de/technologie/flexibel-bauen/> (zuletzt abgerufen: 16.05.2023)
- [22] **lukaslang.com.** *WERTERHALTEND und nachhaltig.* [online] Abgerufen unter: <https://www.lukaslang.com/de/technologie/werterhaltend-und-nachhaltig/> (zuletzt abgerufen: 18.05.2023)
- [23] **lukaslang.com.** *Temporäre Bürogebäude.* [online] Abgerufen unter: <https://www.lukaslang.com/de/references/temporaere-parlamentsgebaeude/> (zuletzt abgerufen: 18.05.2023)
- [24] **Jacob-Freitag, Susanne.** 2017. *Ersatzparlament in Wien aus dem Baukasten.* [online] Abgerufen unter: <https://www.lukaslang.com/wp-content/uploads/2019/07/20171124-Artikel-Holz-Zentralblatt-Nr.47-Ersatzparlament-aus-dem-Baukasten.pdf> (zuletzt abgerufen: 17.05.2023)
- [25] **Mohr, Martin.** 2023. *Bevölkerung von Wien von 2013 bis 2023.* Statista. [online] Abgerufen unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/317867/umfrage/prognose-zur-bevoelkerungsentwicklung-in-wien/> (zuletzt abgerufen am: 25.04.2023)
- [26] **Mohr, Martin.** 2022. *Bevölkerung von Wien im Jahr 2021 und Prognose für 2030 bis 2100.* Statista. [online] Abgerufen unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/886898/umfrage/bevoelkerungsprognose-fuer-wien/> (zuletzt abgerufen am: 25.04.2023)
- [27] **Schöber, Katrin. Braun, Corinna, Glaser, Thomas. Hama, Honja. Heuberger, Richard. Hofbauer, Stefan. Kronstein-Mann, Christa. Vollmann, Kurt. STATISTIK AUSTRIA (Hg.).** 2022. *WOHNEN. Zahlen, Daten und Indikatoren der Wohnstatistik.* Wien: Verlag Österreich. S. 31.
- [28] **Wohnberatung Wien.** *SMART – Wohnen.* [online] Abgerufen unter: <https://wohnberatung-wien.at/wohnberatung/smart-wohnungen> (zuletzt abgerufen am: 25.04.2023)
- [29] **Statista Research Department.** 2023. *Durchschnittliche Wohnfläche pro Person in Hauptwohnsitzwohnungen in Österreich von 2011 bis 2021.* [online] Abgerufen unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/512938/umfrage/wohnflaeche-pro-person-in-hauptwohnsitzwohnungen-in-oesterreich/> (zuletzt abgerufen: 18.05.2023)
- [30] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Entscheidungshilfe pro/contra Raummodulbuweise.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 62f.
- [31] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Entwurf und Typologie.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 17ff.
- [32] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Prozess.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 57ff.
- [33] **oesterreich.gv.at.** 2023. *ÖNORMEN.* [online] Abgerufen unter: [https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen\\_wohnen\\_und\\_umwelt/bauen/1/Seite.1270100.html](https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/bauen/1/Seite.1270100.html) (zuletzt abgerufen am: 18.05.2023)

- [34] **proHolz.** 2022. *Lehm und Stroh als ideale Partner für Holz.* Eine Übersicht. Zuschnitt 87 Holz, Lehm, Stroh. proHolz Austria (Hg.). S. 5f.
- [35] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Holzbaukonstruktion.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 26ff.
- [36] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Schichten – Hülle - Technik.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 39f.
- [37] **Klinge, Andrea. Roswag-Klinge, Eike. Forum Holzbau (Hg.)** 2019. *Holz ein zirkulärer Baustoff.* S. 5.
- [38] **Riegler-Floors, Hillebrandt, Anette.** 2021. *Lösbare Verbindungen und Konstruktionen.* Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite Auflage. München: DETAIL. S. 50f
- [39] **Riegler-Floors, Hillebrandt, Anette.** 2021. *Lösbare Verbindungen und Konstruktionen.* Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite Auflage. München: DETAIL. S. 49
- [40] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Holzbaukonstruktion.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 35.
- [41] **Riegler-Floors, Hillebrandt, Anette.** 2021. *Lösbare Verbindungen und Konstruktionen.* Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite Auflage. München: DETAIL. S. 56
- [42] **Riegler-Floors, Hillebrandt, Anette.** 2021. *Lösbare Verbindungen und Konstruktionen.* Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite Auflage. München: DETAIL. S. 54f
- [43] **Riegler-Floors, Hillebrandt, Anette.** 2021. *Lösbare Verbindungen und Konstruktionen.* Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite Auflage. München: DETAIL. S. 46f
- [44] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Entwurf und Typologie.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 16.
- [45] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Prozess.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 53.
- [46] **Wirz, Niklaus.** 2013. *Aussteifung und Stabilisierung – Konzepte für den mehrgeschossigen Holzbau.* S. 60.
- [47] **Österreichisches Institut für Bautechnik.** 2019. *OIB-330-001/19.Begriffsbestimmungen.* S.6.
- [48] **Teibinger, Martin. proHolz Austria (Hg.)** 2015. *Kompensationsmaßnahmen Für Holzbauten in der GK 5. att.zuschnitt.* Brandschutzvorschriften in Österreich Anforderungen nach OIB Richtlinie 2. S. 20.
- [49] **Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad.** 2018. *Schichten – Hülle - Technik.* Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 36f.
- [50] **Österreichisches Institut für Bautechnik.** 2019. *OiB Richtlinie 2 Brandschutz.* S. 9.
- [51] **thesim.at.** [online] Abgerufen über: <http://www.thesim.at/> (zuletzt abgerufen am: 17.05.2023)
- [52] **VELUX Commercial.** *Leitfaden zur Tageslichtplanung mit der ÖNORM EN 17037.* S. 7.
- [53] **Riegler-Floors, Hillebrandt, Anette.** 2021. *Lösbare Verbindungen und Konstruktionen.* Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite Auflage. München: DETAIL. S. 42.



[54] **Luger, Barnadette. Dorau, Uschi.** 2021. *Circular Housing - Ansätze zur Verankerung der Prinzipien kreislauffähigen Bauens im Wohnungsneubau.* Wien: UIV Urbabn Innovation Vienna

[55] **Fraunhofer Institut.** *Ökobilanzierung.* [online] Abgerufen unter: <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/methoden-ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html> (zuletzt abgerufen am 28.04.2023)

[56] **Gebäudeforum Klimaneutral.** *Ökobilanzierung (LCA).* [online] Abgerufen unter: <https://www.gebaeudeforum.de/wissen/nachhaltiges-bauen-und-sanieren/lebenszyklusbetrachtung/oekobilanzierung-lca/> (zuletzt abgerufen: 28.04.2022)

[57] **oekobaudat.de** [online] Abgerufen unter: <https://www.oekobaudat.de/> (zuletzt abgerufen: 19.05.2023)

## 8. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** kiubo.eu. Ott, Paul. (online) Abgerufen unter: <https://www.kiubo.eu/pressemeldungen/wohnen-anders-denken-brainds-positio niert-kiubo/> (zuletzt abgerufen: 11.05.2023). S. 9
- Abb. 2:** Schema Primärstruktur - Sekundärstruktur - eigene Darstellung basierend auf Plänen von Hofrichter-Ritter Architekten. S. 10
- Abb. 3:** Schematischer Grundriss - eigene Darstellung basierend auf Plänen von Hofrichter-Ritter Architekten. S. 10
- Abb. 4:** wernersobek.com. Braun, Zooey. (online) Abgerufen unter: [https://www.wernersobek.com/wp-content/uploads/resized/2021/05/Nest\\_UMAR\\_Zooey\\_Braun\\_ZB591-01\\_Bm\\_300\\_STW18054\\_sRGB\\_kl50-1920x0-c-default.jpg](https://www.wernersobek.com/wp-content/uploads/resized/2021/05/Nest_UMAR_Zooey_Braun_ZB591-01_Bm_300_STW18054_sRGB_kl50-1920x0-c-default.jpg) (zuletzt abgerufen: 11.05.2023). S. 12
- Abb. 5:** Schema Primärstruktur - Sekundärstruktur - eigene Darstellung basierend auf Plänen von Gramazzo Kohler Architekten & Werner Sobek. S. 13
- Abb. 6:** Schematischer Grundriss - eigene Darstellung basierend auf Plänen von Gramazzo Kohler Architekten & Werner Sobek. S. 13
- Abb. 7:** lukaslang.com (online) Abgerufen unter: <https://www.lukaslang.com/wp-content/uploads/2016/08/Detailseiten-Lukas-Lang-System-Explosionszeichnung.jpg> (zuletzt abgerufen am: 11.05.2023). S. 15
- Abb. 8:** Schema Tragstruktur - Sekundärstruktur mit Ausbau - eigene Darstellung basierend auf Plänen von Lukas Lang Building Technologies. S. 16
- Abb. 9:** Schematischer Grundriss, Beispielprojekt Lukas Lang Bausystem - eigene Darstellung basierend auf Plänen von Lukas Lang Building Technologies. S. 16
- Abb. 10:** Huß, Wolfgang. Kaufmann, Mathias. Merz, Konrad. 2018. Prozess. Holzbau Raummodule. Erste Auflage. München: DETAIL. S. 58. | S. 22
- Abb. 11:** Typ A Wohnung Grundriss. Eigene Darstellung. S. 23
- Abb. 12:** Typ A Wohnung rollstuhlgerecht Grundriss. Eigene Darstellung. S. 23
- Abb. 13:** Typ B Wohnung Grundriss. Eigene Darstellung. S. 24
- Abb. 14:** Typ C Wohnung Grundriss. Eigene Darstellung. S. 24
- Abb. 15:** Typ C Wohnung rollstuhlgerecht Grundriss. Eigene Darstellung. S. 25
- Abb. 16:** Typ D Wohnung Grundriss. Eigene Darstellung. S. 25
- Abb. 17:** Typ D Wohnung Variante Grundriss. Eigene Darstellung. S. 26
- Abb. 18:** Typ E Wohnung Grundriss. Eigene Darstellung. S. 26
- Abb. 19:** Typ E Wohnung Variante Grundriss. Eigene Darstellung. S. 27
- Abb. 20:** Zuordnung Raum Grundriss. Eigene Darstellung. S. 27
- Abb. 21:** Gemeinschaftswohnzimmer Grundriss. Eigene Darstellung. S. 28

- Abb. 22:** Gemeinschaftsküche Grundriss. Eigene Darstellung. S. 28
- Abb. 23:** Co-Working Space Grundriss. Eigene Darstellung. S. 28
- Abb. 24:** Werkstatt / Maker - Space Grundriss. Eigene Darstellung. S. 28
- Abb. 25:** Einzelbüro Grundriss. Eigene Darstellung. S. 29
- Abb. 26:** Besprechungsraum Grundriss. Eigene Darstellung. S. 29
- Abb. 27:** Doppelbüro Grundriss. Eigene Darstellung. S. 29
- Abb. 28:** Sanitäreanlage Grundriss. Eigene Darstellung. S. 29
- Abb. 29:** Teeküche Grundriss. Eigene Darstellung. S. 30
- Abb. 30:** Kombibüro Grundriss. Eigene Darstellung. S. 30
- Abb. 31:** Büro + Think Hub Grundriss. Eigene Darstellung. S. 30
- Abb. 32:** Toilette groß Grundriss. Eigene Darstellung. S. 30
- Abb. 33:** Besprechungsraum Kombibüro Grundriss. Eigene Darstellung. S. 31
- Abb. 34:** Besprechungsraum Kombibüro Grundriss. Eigene Darstellung. S. 31
- Abb. 35:** Lageplan West-Bahnhof, genordet. Eigene Darstellung. S. 32
- Abb. 36:** Bauplatz Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 33
- Abb. 37:** Bauvolumen Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 33
- Abb. 38:** Terrassierung des Baukörpers Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 34
- Abb. 39:** Belichtung des Nachbargebäudes Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 34
- Abb. 40:** Gemeinschaftliche Außenflächen Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 35
- Abb. 41:** Vertikale Erschließung Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 35
- Abb. 42:** Horizontale Erschließung Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 36
- Abb. 43:** Durchgang zum Park Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 36
- Abb. 44:** Nutzungsverteilung Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 37
- Abb. 45:** Tragstruktur Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 37
- Abb. 46:** Grundrissvariante A Untergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 38
- Abb. 47:** Grundrissvariante B Untergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 39
- Abb. 48:** Grundrissvariante Erdgeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 40
- Abb. 49:** Grundrissvariante B Erdgeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 41
- Abb. 50:** Grundriss 1. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 42
- Abb. 51:** Grundriss 2. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 43

- Abb. 52:** Grundrissvariante 2. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 44
- Abb. 53:** Grundriss 3. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 45
- Abb. 54:** Grundriss 4. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 46
- Abb. 55:** Nutzungsvariante Grundriss 4. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 46
- Abb. 56:** Grundriss 5. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 47
- Abb. 57:** Nutzungsvariante Grundriss 5. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 47
- Abb. 58:** Grundriss 6. Obergeschoss Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 48
- Abb 59:** Längsschnitt Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 49
- Abb. 60:** Querschnitt durch Treppen Kern Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 49
- Abb. 61:** Querschnitt durch Module Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 49
- Abb. 62:** Ansicht Straße Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 50
- Abb. 63:** Ansicht Park Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 50
- Abb. 64:** Perspektive Straße Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 51
- Abb. 65:** Perspektive Park Westbahnhof. Eigene Darstellung. S. 52
- Abb. 66:** Lageplan Währinger Gürtel, genordet. Eigene Darstellung. S. 53
- Abb. 67:** Bauplatz Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 54
- Abb. 68:** Bauvolumen und Durchgang Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 54
- Abb. 69:** Erschließung Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 55
- Abb. 70:** Fertiger Bau Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 55
- Abb. 71:** Grundriss Erdgeschoss Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 56
- Abb. 72:** Grundriss 1. Obergeschoss Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 56
- Abb. 73:** Grundriss 2. Obergeschoss Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 56
- Abb. 74:** Grundriss 3. Obergeschoss Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 57
- Abb. 75:** Grundriss 4. Obergeschoss Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 57
- Abb. 76:** Querschnitt Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 57
- Abb. 77:** Ansicht Straße Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 58
- Abb. 78:** Ansicht Hof Währinger Gürtel. Eigene Darstellung. S. 58
- Abb. 79:** Explosionszeichnung Schichten. Eigene Darstellung. S. 61
- Abb. 80:** Knoten Holzrahmenbau. Eigene Darstellung. S. 61
- Abb. 81:** Detail-Schnitt. Eigene Darstellung. S. 62

- Abb. 82:** Detail-Grundriss. Eigene Darstellung. S. 63
- Abb. 83:** Detail Dach. Eigene Darstellung. S. 64
- Abb. 84:** Detail Loggia. Eigene Darstellung. S. 65
- Abb. 85:** Detail Eingang Wohnung. Eigene Darstellung. S. 66
- Abb. 86:** Detail Laubengang. Eigene Darstellung. S. 67
- Abb. 87:** Detail Laubengang. Eigene Darstellung. S. 68
- Abb. 88:** Tragwerk. Eigene Darstellung. S. 70
- Abb. 89:** aussteifende Rahmen. Eigene Darstellung. S. 70
- Abb. 90:** Knoten Längsträger biegesteif. Eigene Darstellung. S. 71
- Abb. 91:** Knoten Querträger biegesteif. Eigene Darstellung. S. 71
- Abb. 92:** Knoten gelenkig. Eigene Darstellung. S. 71
- Abb. 93:** Brandschutzplan. Eigene Darstellung. S. 72
- Abb. 94:** Untersuchung operativer Raumtemperatur. Erstellt mit TheSim3D. S. 73
- Abb. 95:** Berechnung der Tageslichtfaktoren. Erstellt mit VELUX Daylight Visualizer. S. 75
- Abb. 96:** Rückbau Ausgangssituation. Eigene Darstellung. S. 77
- Abb. 97:** Rückbau 1. Schritt. Eigene Darstellung. S. 77
- Abb. 98:** Rückbau 2. Schritt. Eigene Darstellung. S. 78
- Abb. 99:** Rückbau 3. Schritt. Eigene Darstellung. 78
- Abb. 100:** Rückbau 4. Schritt. Eigene Darstellung. S. 79
- Abb. 101:** Rückbau 5. Schritt. Eigene Darstellung. S. 79
- Abb. 102:** Hafner, Anette. 2017. Lebenszyklusanalyse zur Quantifizierung der Umweltwirkungen. Zuschnitt 65 Kreislauf Holz. proHolz Austria (Hg.). S. 5f. | S. 80
- Abb. 103:** Umweltwirkung Aussenwand. Eigene Darstellung. S. 82
- Abb. 104:** Umweltwirkung Trennwand. Eigene Darstellung. S. 82
- Abb. 105:** Umweltwirkung Moduldecke. Eigene Darstellung. S. 82
- Abb. 106:** Umweltwirkung Modulboden. Eigene Darstellung. S. 82

## 9. Tabellenverzeichnis

**Tabelle 1** Übersicht und Vergleich von Referenzprojekten. S. 8.

# 10. Anhang

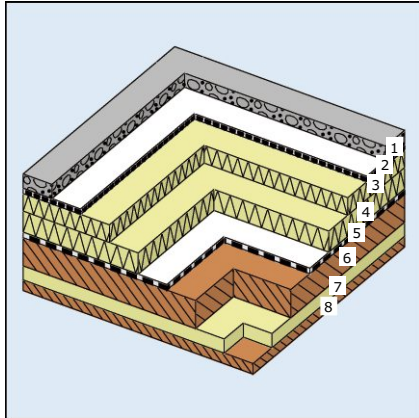
## Anhang 1: U-Wert Berechnung Dach. erstellt mit baubook Bauteilrechner.

24. 5. 2023  
Alexander Jägers (P24596)



### Dach

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG1) – IBO-Richtwerte 2020



Masse	282,8 kg/m³
PENRT	? MJ/m²
GWP total	? kg CO <sub>2</sub> /m²
AP	? kg SO <sub>2</sub> /m²

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOIB Pkt/m²
1		Sand, Kies lufttrocken, Pflanzensubstrat	8,00	2,000	0,04	3
2		Bitumierete Drainageplatte	2,00	1,000	0,02	2
3		GLAPOR Schaumglasplatte PG 1600	10,00	0,058	1,72	45
4		GLAPOR Schaumglasplatte PG 1600	12,00	0,058	2,07	54
5		Airstop 1500 Dampfsperre	0,02	0,500	0,00	1
6		Brettsper Holz (475 kg/m³)	16,00	0,120	1,33	27
7		Steinwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	8,00	0,039	2,05	?
8		Brettsper Holz (475 kg/m³)	6,00	0,120	0,50	10
			$R_{s,i} / R_{s,e} =$		0,100 / 0,040	
			$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =		7,878 / 7,878	
<b>Bauteil</b>			<b>62,02</b>	<b>7,878</b>	<b>?</b>	

<sup>1</sup> U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

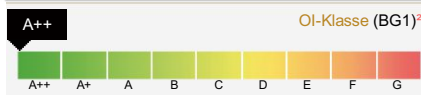
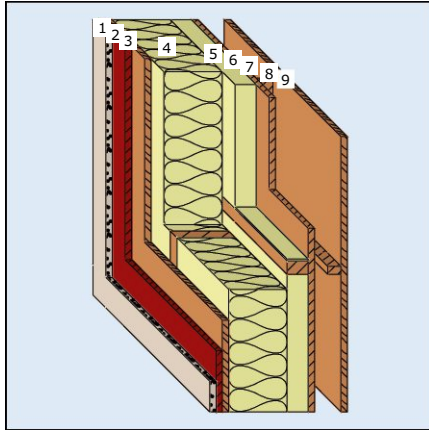
## Anhang 2: U-Wert Berechnung Aussenwand. erstellt mit baubook Bauteilrechner.

24. 5. 2023  
Alexander Jägers (P24596)



### Außenwand

Wand: gegen Außenluft - hinterlüftet (BG1) – IBO-Richtwerte 2012



<b>Masse</b>	<b>96,1 kg/m²</b>
<b>PENRT</b>	272 MJ/m²
<b>GWP total</b>	-87,6 kg CO <sub>2</sub> /m²
<b>AP</b>	0,0986 kg SO <sub>2</sub> /m²

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1 Lehmputz	1,00	0,810	0,01	0
2 Lehmbauplatte	2,20	0,140	0,16	2
3 Tilly 1-schicht Fichte Massivholzplatte	1,40	0,120	0,12	3
4 <b>Inhomogen (Elemente vertikal)</b>	22,00			
56,5 cm (90%) Baustrohballen (109 kg/m³)	22,00	0,051	4,31	-1
6 cm (10%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLA	22,00	0,120	1,83	0
5 <b>Inhomogen (Elemente horizontal)</b>	8,00			
57,5 cm (92%) Baustrohballen (109 kg/m³)	8,00	0,051	1,57	-1
5 cm (8%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLAC	8,00	0,120	0,67	0
6 MDF-Platten mitteldichte Faserplatte (400 kg/m³)	1,50	0,100	0,15	3
7 <b>Inhomogen (Elemente vertikal)</b>	5,00			
59,5 cm (95%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach unten 4l	5,00	0,227	0,22	0
3 cm (5%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLAC	5,00	0,120	0,42	0
8 <b>Inhomogen (Elemente horizontal)</b>	5,00			
59,5 cm (95%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach unten 4l	5,00	0,227	0,22	0
3 cm (5%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLAC	5,00	0,120	0,42	0
9 Nutzholz (525 kg/m³ - zB Lärche) - gehobelt, techn. getrocknet	2,00	0,130	0,15	1
		$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,130	
		$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 1,8%) =	6,774 / 6,534	
<b>Bauteil</b>	<b>48,10</b>		<b>6,654</b>	<b>8</b>

<sup>1</sup> U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. <sup>2</sup> Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt



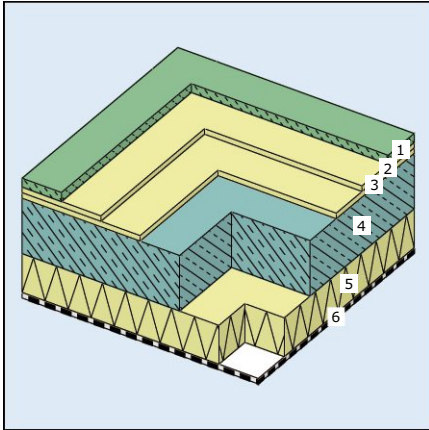
### Anhang 3: U-Wert Berechnung Bodenplatte. erstellt mit baubook Bauteilrechner.

24. 5. 2023  
Alexander Jägers (P24596)



#### Bodenplatte

Boden: erdberührt - Wärmestrom nach unten (BG1) – IBO-Richtwerte 2020



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1	Baumit	Estriche	8,00	1,400	0,06	18
2	BACHL neoStep® T650	Trittschall-Dämmplatten	3,00	0,033	0,91	2
3	BACHL neoStep® T650	Trittschall-Dämmplatten	3,00	0,033	0,91	2
4	Stahlbeton	160 kg/m³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	50,00	2,500	0,20	239
5	Schaumglas	(180 kg/m³)	35,00	0,059	5,93	184
6	Omega	Rieselschutz	0,05	0,220	0,00	1
				$R_{si} / R_{so} =$		0,170 / 0,000
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =		8,180 / 8,180
<b>Bauteil</b>			<b>99,05</b>	<b>8,180</b>	<b>445</b>	

0,122 W/m²K U-Wert <sup>1</sup>

Ol-Klasse (BG1)<sup>2</sup> G

**Masse** 1423,8 kg/m²  
**PENRT** 5751 MJ/m²  
**GWP total** 449 kg CO<sub>2</sub>/m²  
**AP** 1,34 kg SO<sub>2</sub>/m²

<sup>1</sup> U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. <sup>2</sup> Für die Ol-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

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.



## BINDERHOLZ BRETTSPERRHOLZ BBS | VORBEMESSUNG

### BEMESSUNG DECKEN IM MEHRGESCHOSSIGEN WOHNBAU (DKL 1)

- DKL 1 (Deckenklasse 1)
- Decken zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten (auch durchlaufend)
  - Nutzung als Wohnungstrenndecken in Mehrfamilienwohnhäusern
  - Decken in Büros mit PC-Nutzung oder Besprechungsräumen
  - Flure mit kurzen Spannweiten

**Einfeld**

**Zweifeld**

Belastung (kN/m)		Spannweite					
		3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
g1,k	nk	3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
1,0	2,0	120-5s	160	160	180	180	220
1,5	2,0	120-5s	160	160	180	200	220
2,0	2,0	120-5s	160	160	180	200	240
2,5	2,0	120-5s	160	160	200	220	240
2,0	3,0	120-5s	160	160	180	200	240
2,5	3,0	120-5s	160	160	200	220	240
2,0	4,0	140	160	160	180	200	240
3,0	2,0	120-5s	160	180	200	220	240
3,0	4,0	140	160	180	200	220	240

Belastung (kN/m)		Spannweite					
		3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
g1,k	nk	3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
1,0	2,0	120-5s	120-5s	160	160	180	180
1,5	2,0	120-5s	120-5s	160	180	180	200
2,0	2,0	120-5s	120-5s	160	180	180	200
2,5	2,0	120-5s	140	160	180	180	200
2,0	3,0	120-5s	120-5s	160	180	180	200
2,5	3,0	120-5s	140	160	180	180	200
2,0	4,0	120-5s	140	160	180	180	200
3,0	2,0	120-5s	160	160	180	180	200
3,0	4,0	120-5s	160	160	180	180	200

3s ... 3-schichtig | 5s ... 5-schichtig R30 R60 R90 R120

Die Länge des kürzeren Feldes beträgt zwischen 80% und 100% des längeren Feldes.

### BEMESSUNG DECKE IM EINFAMILIENHAUSBEREICH (DKL 2)

- DKL 2 (Deckenklasse 2)
- Decken innerhalb einer Nutzungseinheit
  - Decken in Einfamilienwohnhäusern mit üblicher Nutzung

**Einfeld**

**Zweifeld**

Belastung (kN/m)		Spannweite					
		3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
g1,k	nk	3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
1,0	2,0	100-5s	120-5s	140	140	140	160
1,5	2,0	100-5s	120-5s	140	140	160	180
2,0	2,0	120-5s	120-5s	140	160	180	200
2,5	2,0	120-5s	140	140	160	180	200
2,0	3,0	120-5s	140	140	160	180	200
2,5	3,0	120-5s	140	140	160	180	200
2,0	4,0	120-5s	140	140	160	180	200
3,0	2,0	120-5s	140	140	160	180	200
3,0	4,0	120-5s	140	160	180	200	200

Belastung (kN/m)		Spannweite					
		3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
g1,k	nk	3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m
1,0	2,0	100-5s	100-5s	120-5s	120-5s	140	160
1,5	2,0	100-5s	100-5s	120-5s	120-5s	160	180
2,0	2,0	100-5s	100-5s	120-5s	120-5s	160	180
2,5	2,0	100-5s	100-5s	140	140	160	180
2,0	3,0	100-5s	120-5s	120-5s	140	160	180
2,5	3,0	100-5s	120-5s	140	140	160	180
2,0	4,0	100-5s	120-5s	120-5s	140	160	180
3,0	2,0	120-5s	120-5s	140	140	160	180
3,0	4,0	120-5s	120-5s	140	160	160	180

3s ... 3-schichtig | 5s ... 5-schichtig R30 R60 R90 R120

Die Länge des kürzeren Feldes beträgt zwischen 80% und 100% des längeren Feldes.

#### Anforderungen:

Nutzungsgruppe NKL 1 (Innenräume  $k_{\text{eff}} = 0,8$ ), Ständige Last  $g_{ik}$ : ständige Auflast ohne Eigengewicht BBS (dieses wurde bei der Berechnung bereits berücksichtigt)  
 Nutzlast  $n_k$ : Kategorien A und B (Wohn- und Büroflächen:  $\psi_0 = 0,7$   $\psi_1 = 0,5$   $\psi_2 = 0,3$  Lastdauer mittel,  $k_{\text{mod}} = 0,8$ )  
 Brandbemessung nach EN 1995-1-2 und Gutachten IBS-319072401-1 (Abbrandrate für Decken  $\beta_n = 0,9$  mm/min)  
 Schwingungsanforderungen unterteilt nach DKL 1 und DKL 2.

#### Querschnittswerte:

Berechnung der BBS-Querschnitte entsprechend EN 1995-1 nach dem Gamma-Verfahren (nachgiebiger Verbund). Für Durchlaufträger  $l_{\text{eff}} = 4/5 * l$   
 Diese Tabellen dienen zur Vorbemessung von BBS und ersetzen keine statischen Berechnungen. Die charakteristischen Belastungen sind als Gleichlasten angesetzt.

**Tabelle 14: Verbesserungsmaße Vorsatzschalen mit Beplankungen (Prognose)**

Art.- Nr.	Trockenbauplatte	ΔRW 1 cm	ΔRW 2,5 cm	ΔRW 4 cm	ΔRW 6 cm	ΔRW 8 cm
09.004	CLAYTEC Lehmbauplatte D20	7	11	13	15	16
09.002	CLAYTEC Lehmbauplatte D25	8	12	14	16	17
09.015	Lehmbauplatte schwer (LEMIX) D16	9	13	15	17	18
09.014	Lehmbauplatte schwer (LEMIX) D22	11	15	17	18	20
09.221	CLAYTEC HFA N+F D20	3	7	9	11	12
09.223	CLAYTEC HFA N+F D25	4	8	10	12	13
09.226	CLAYTEC HFA N+F maxi	4	8	10	12	13

Orientierende überschlägige Schätzung (Ertüchtigung beidseitig verputzte Ziegelwand  $D_{ges.}$  14 cm)

## Brandschutz

CLAYTEC Lehmabbaustoffe haben bezüglich des Feuerwiderstands durch den Kristallwasseranteil bedingt mittlere Brandschutzeigenschaften. Anders als Gipsbaustoffe verspröden sie jedoch im Brandfall nicht sondern erhärten sogar. Mit einlagigen Beplankungen sind Wände bis zur Feuerwiderstandsklasse EI90 (F90) geprüft.

**Tabelle 15: Brandschutz Wände mit Beplankungen**

Art.- Nr.	Trockenbauplatte	Baustoffklasse	Konstruktionsübersicht	Wandaufbau	Wanddicke gesamt	Feuerwiderstandsklasse
09.002	CLAYTEC Lehmbauplatte D25	B1*		UK: Holz 6/4 cm Platte beidseitig einfach	ca. 120	F30*
09.015	Lehmbauplatte schwer (LEMIX) D16	A1		Platte doppelt	ca. 40	F30
09.014	Lehmbauplatte schwer (LEMIX) D22	A1		UK: Holz 6/6 cm Platte beidseitig einfach	ca. 120	EI45 (F30)**
09.014	Lehmbauplatte schwer (LEMIX) D22	A1		UK: Holz 8/6 cm Platte beidseitig einfach	ca. 140	EI90 (F90)**
09.015	Lehmbauplatte schwer (LEMIX) 2x D16	A1		UK: Holz 8/6 cm Platte beidseitig doppelt	ca. 160	EI120 (F120)**
09.014	Lehmbauplatte schwer (LEMIX) D22	A1		UK: Holz 2x 6/6 cm Platte beidseitig einfach	ca. 190	EI60 (F60)**
09.221	CLAYTEC HFA N+F D20	B2		-	-	nicht geprüft
09.223	CLAYTEC HFA N+F D25	B2		-	-	nicht geprüft
09.226	CLAYTEC HFA maxi	B2		-	-	nicht geprüft

\*kein abP, nur Prüfberichte

\*\* H 3.000 mm, starrer Deckenanschluss. Bei Abweichungen und Einbau von Steckdosen etc. bitten wir um gesonderte Rücksprache.

**Ökobilanz - Aussenwand**

SYNOPSIS	
Geometrie	1,1 x 1,1 m
Material	Alu
Produktion	Österreich
Transport	Österreich
Nutzung	Österreich
Entsorgung	Österreich
Recycling	Österreich

BIBLIOTHEK UNIVERSITÄT WIEN	
Österreich	1,1 x 1,1 m
Material	Alu
Produktion	Österreich
Transport	Österreich
Nutzung	Österreich
Entsorgung	Österreich
Recycling	Österreich

Kategorie	Einheit	Produktion		Transport		Nutzung		Entsorgung		Recycling		Anzahl (kg)	Anzahl (kg)
		CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e		
Produktion	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Transport	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nutzung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Entsorgung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Recycling	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Gesamt</b>	<b>kg</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>

Kategorie	Einheit	Produktion		Transport		Nutzung		Entsorgung		Recycling		Anzahl (kg)	Anzahl (kg)
		CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e		
Produktion	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Transport	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nutzung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Entsorgung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Recycling	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Gesamt</b>	<b>kg</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>

Kategorie	Einheit	Produktion		Transport		Nutzung		Entsorgung		Recycling		Anzahl (kg)	Anzahl (kg)
		CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e		
Produktion	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Transport	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nutzung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Entsorgung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Recycling	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Gesamt</b>	<b>kg</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>

Kategorie	Einheit	Produktion		Transport		Nutzung		Entsorgung		Recycling		Anzahl (kg)	Anzahl (kg)
		CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e		
Produktion	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Transport	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nutzung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Entsorgung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Recycling	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Gesamt</b>	<b>kg</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>

Kategorie	Einheit	Produktion		Transport		Nutzung		Entsorgung		Recycling		Anzahl (kg)	Anzahl (kg)
		CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> e		
Produktion	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Transport	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nutzung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Entsorgung	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Recycling	kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Gesamt</b>	<b>kg</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>

**Gesamtsumme ohne Recycling** 212,48 284,42 263,38 1.221,07 0,06 0,11 1,22

**Gesamtsumme mit Recycling** 183,90 42,28 90,54 2.288,00 0,05 0,06 0,14

**Ökobilanz - Trennwand**

Umweltindikator	Einheit	Wert
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	kg CO <sub>2</sub> e	1,10
Strom	kWh	1,10
Wärme	kWh	1,10
Wasser	l	1,10
Stickstoff	kg N	1,10
Phosphor	kg P	1,10
Fluor	kg F	1,10
Schwefel	kg S	1,10
Aluminium	kg Al	1,10
Zink	kg Zn	1,10
Kupfer	kg Cu	1,10
Blei	kg Pb	1,10
Kadmium	kg Cd	1,10
Chrom	kg Cr	1,10
Mangan	kg Mn	1,10
Nickel	kg Ni	1,10
Silber	kg Ag	1,10
Gold	kg Au	1,10
Platin	kg Pt	1,10
Quecksilber	kg Hg	1,10
Antimon	kg Sb	1,10
Bismut	kg Bi	1,10
Zinn	kg Sn	1,10
Indium	kg In	1,10
Selen	kg Se	1,10
Tellur	kg Te	1,10
Vanadium	kg V	1,10
Cobalt	kg Co	1,10
Niob	kg Nb	1,10
Molybdän	kg Mo	1,10
Ruthenium	kg Ru	1,10
Rhodium	kg Rh	1,10
Palladium	kg Pd	1,10
Plutonium	kg Pu	1,10
Uran	kg U	1,10
Thorium	kg Th	1,10
Uran-235	kg U-235	1,10
Uran-238	kg U-238	1,10
Thorium-232	kg Th-232	1,10
Plutonium-239	kg Pu-239	1,10
Plutonium-240	kg Pu-240	1,10
Plutonium-241	kg Pu-241	1,10
Plutonium-242	kg Pu-242	1,10
Plutonium-243	kg Pu-243	1,10
Plutonium-244	kg Pu-244	1,10
Plutonium-245	kg Pu-245	1,10
Plutonium-246	kg Pu-246	1,10
Plutonium-247	kg Pu-247	1,10
Plutonium-248	kg Pu-248	1,10
Plutonium-249	kg Pu-249	1,10
Plutonium-250	kg Pu-250	1,10
Plutonium-251	kg Pu-251	1,10
Plutonium-252	kg Pu-252	1,10
Plutonium-253	kg Pu-253	1,10
Plutonium-254	kg Pu-254	1,10
Plutonium-255	kg Pu-255	1,10
Plutonium-256	kg Pu-256	1,10
Plutonium-257	kg Pu-257	1,10
Plutonium-258	kg Pu-258	1,10
Plutonium-259	kg Pu-259	1,10
Plutonium-260	kg Pu-260	1,10
Plutonium-261	kg Pu-261	1,10
Plutonium-262	kg Pu-262	1,10
Plutonium-263	kg Pu-263	1,10
Plutonium-264	kg Pu-264	1,10
Plutonium-265	kg Pu-265	1,10
Plutonium-266	kg Pu-266	1,10
Plutonium-267	kg Pu-267	1,10
Plutonium-268	kg Pu-268	1,10
Plutonium-269	kg Pu-269	1,10
Plutonium-270	kg Pu-270	1,10
Plutonium-271	kg Pu-271	1,10
Plutonium-272	kg Pu-272	1,10
Plutonium-273	kg Pu-273	1,10
Plutonium-274	kg Pu-274	1,10
Plutonium-275	kg Pu-275	1,10
Plutonium-276	kg Pu-276	1,10
Plutonium-277	kg Pu-277	1,10
Plutonium-278	kg Pu-278	1,10
Plutonium-279	kg Pu-279	1,10
Plutonium-280	kg Pu-280	1,10
Plutonium-281	kg Pu-281	1,10
Plutonium-282	kg Pu-282	1,10
Plutonium-283	kg Pu-283	1,10
Plutonium-284	kg Pu-284	1,10
Plutonium-285	kg Pu-285	1,10
Plutonium-286	kg Pu-286	1,10
Plutonium-287	kg Pu-287	1,10
Plutonium-288	kg Pu-288	1,10
Plutonium-289	kg Pu-289	1,10
Plutonium-290	kg Pu-290	1,10
Plutonium-291	kg Pu-291	1,10
Plutonium-292	kg Pu-292	1,10
Plutonium-293	kg Pu-293	1,10
Plutonium-294	kg Pu-294	1,10
Plutonium-295	kg Pu-295	1,10
Plutonium-296	kg Pu-296	1,10
Plutonium-297	kg Pu-297	1,10
Plutonium-298	kg Pu-298	1,10
Plutonium-299	kg Pu-299	1,10
Plutonium-300	kg Pu-300	1,10

Umweltindikator	Einheit	Wert
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	kg CO <sub>2</sub> e	1,10
Strom	kWh	1,10
Wärme	kWh	1,10
Wasser	l	1,10
Stickstoff	kg N	1,10
Phosphor	kg P	1,10
Fluor	kg F	1,10
Schwefel	kg S	1,10
Aluminium	kg Al	1,10
Zink	kg Zn	1,10
Kupfer	kg Cu	1,10
Blei	kg Pb	1,10
Kadmium	kg Cd	1,10
Chrom	kg Cr	1,10
Mangan	kg Mn	1,10
Nickel	kg Ni	1,10
Silber	kg Ag	1,10
Gold	kg Au	1,10
Platin	kg Pt	1,10
Quecksilber	kg Hg	1,10
Antimon	kg Sb	1,10
Bismut	kg Bi	1,10
Zinn	kg Sn	1,10
Indium	kg In	1,10
Selen	kg Se	1,10
Tellur	kg Te	1,10
Vanadium	kg V	1,10
Cobalt	kg Co	1,10
Niob	kg Nb	1,10
Molybdän	kg Mo	1,10
Ruthenium	kg Ru	1,10
Rhodium	kg Rh	1,10
Palladium	kg Pd	1,10
Plutonium	kg Pu	1,10
Uran	kg U	1,10
Thorium	kg Th	1,10
Uran-235	kg U-235	1,10
Uran-238	kg U-238	1,10
Thorium-232	kg Th-232	1,10
Plutonium-239	kg Pu-239	1,10
Plutonium-240	kg Pu-240	1,10
Plutonium-241	kg Pu-241	1,10
Plutonium-242	kg Pu-242	1,10
Plutonium-243	kg Pu-243	1,10
Plutonium-244	kg Pu-244	1,10
Plutonium-245	kg Pu-245	1,10
Plutonium-246	kg Pu-246	1,10
Plutonium-247	kg Pu-247	1,10
Plutonium-248	kg Pu-248	1,10
Plutonium-249	kg Pu-249	1,10
Plutonium-250	kg Pu-250	1,10
Plutonium-251	kg Pu-251	1,10
Plutonium-252	kg Pu-252	1,10
Plutonium-253	kg Pu-253	1,10
Plutonium-254	kg Pu-254	1,10
Plutonium-255	kg Pu-255	1,10
Plutonium-256	kg Pu-256	1,10
Plutonium-257	kg Pu-257	1,10
Plutonium-258	kg Pu-258	1,10
Plutonium-259	kg Pu-259	1,10
Plutonium-260	kg Pu-260	1,10
Plutonium-261	kg Pu-261	1,10
Plutonium-262	kg Pu-262	1,10
Plutonium-263	kg Pu-263	1,10
Plutonium-264	kg Pu-264	1,10
Plutonium-265	kg Pu-265	1,10
Plutonium-266	kg Pu-266	1,10
Plutonium-267	kg Pu-267	1,10
Plutonium-268	kg Pu-268	1,10
Plutonium-269	kg Pu-269	1,10
Plutonium-270	kg Pu-270	1,10
Plutonium-271	kg Pu-271	1,10
Plutonium-272	kg Pu-272	1,10
Plutonium-273	kg Pu-273	1,10
Plutonium-274	kg Pu-274	1,10
Plutonium-275	kg Pu-275	1,10
Plutonium-276	kg Pu-276	1,10
Plutonium-277	kg Pu-277	1,10
Plutonium-278	kg Pu-278	1,10
Plutonium-279	kg Pu-279	1,10
Plutonium-280	kg Pu-280	1,10
Plutonium-281	kg Pu-281	1,10
Plutonium-282	kg Pu-282	1,10
Plutonium-283	kg Pu-283	1,10
Plutonium-284	kg Pu-284	1,10
Plutonium-285	kg Pu-285	1,10
Plutonium-286	kg Pu-286	1,10
Plutonium-287	kg Pu-287	1,10
Plutonium-288	kg Pu-288	1,10
Plutonium-289	kg Pu-289	1,10
Plutonium-290	kg Pu-290	1,10
Plutonium-291	kg Pu-291	1,10
Plutonium-292	kg Pu-292	1,10
Plutonium-293	kg Pu-293	1,10
Plutonium-294	kg Pu-294	1,10
Plutonium-295	kg Pu-295	1,10
Plutonium-296	kg Pu-296	1,10
Plutonium-297	kg Pu-297	1,10
Plutonium-298	kg Pu-298	1,10
Plutonium-299	kg Pu-299	1,10
Plutonium-300	kg Pu-300	1,10

Umweltindikator	Einheit	Wert
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	kg CO <sub>2</sub> e	1,10
Strom	kWh	1,10
Wärme	kWh	1,10
Wasser	l	1,10
Stickstoff	kg N	1,10
Phosphor	kg P	1,10
Fluor	kg F	1,10
Schwefel	kg S	1,10
Aluminium	kg Al	1,10
Zink	kg Zn	1,10
Kupfer	kg Cu	1,10
Blei	kg Pb	1,10
Kadmium	kg Cd	1,10
Chrom	kg Cr	1,10
Mangan	kg Mn	1,10
Nickel	kg Ni	1,10
Silber	kg Ag	1,10
Gold	kg Au	1,10
Platin	kg Pt	1,10
Quecksilber	kg Hg	1,10
Antimon	kg Sb	1,10
Bismut	kg Bi	1,10
Zinn	kg Sn	1,10
Indium	kg In	1,10
Selen	kg Se	1,10
Tellur	kg Te	1,10
Vanadium	kg V	1,10
Cobalt	kg Co	1,10
Niob	kg Nb	1,10
Molybdän	kg Mo	1,10
Ruthenium	kg Ru	1,10
Rhodium	kg Rh	1,10
Palladium	kg Pd	1,10
Plutonium	kg Pu	1,10
Uran	kg U	1,10
Thorium	kg Th	1,10
Uran-235	kg U-235	1,10
Uran-238	kg U-238	1,10
Thorium-232	kg Th-232	1,10
Plutonium-239	kg Pu-239	1,10
Plutonium-240	kg Pu-240	1,10
Plutonium-241	kg Pu-241	1,10
Plutonium-242	kg Pu-242	1,10
Plutonium-243	kg Pu-243	1,10
Plutonium-244	kg Pu-244	1,10
Plutonium-245	kg Pu-245	1,10
Plutonium-246	kg Pu-246	1,10
Plutonium-247	kg Pu-247	1,10
Plutonium-248	kg Pu-248	1,10
Plutonium-249	kg Pu-249	1,10
Plutonium-250	kg Pu-250	1,10
Plutonium-251	kg Pu-251	1,10
Plutonium-252	kg Pu-252	1,10
Plutonium-253	kg Pu-253	1,10
Plutonium-254	kg Pu-254	1,10
Plutonium-255	kg Pu-255	1,10
Plutonium-256	kg Pu-256	1,10
Plutonium-257	kg Pu-257	1,10
Plutonium-258	kg Pu-258	1,10
Plutonium-259	kg Pu-259	1,10
Plutonium-260	kg Pu-260	1,10
Plutonium-261	kg Pu-261	1,10
Plutonium-262	kg Pu-262	1,10
Plutonium-263	kg Pu-263	1,10
Plutonium-264	kg Pu-264	1,10
Plutonium-265	kg Pu-265	1,10
Plutonium-266	kg Pu-266	1,10
Plutonium-267	kg Pu-267	1,10
Plutonium-268	kg Pu-268	1,10
Plutonium-269	kg Pu-269	1,10
Plutonium-270	kg Pu-270	1,10
Plutonium-271	kg Pu-271	1,10
Plutonium-272	kg Pu-272	1,10
Plutonium-273	kg Pu-273	1,10
Plutonium-274	kg Pu-274	1,10
Plutonium-275	kg Pu-275	1,10
Plutonium-276	kg Pu-276	1,10
Plutonium-277	kg Pu-277	1,10
Plutonium-278	kg Pu-278	1,10
Plutonium-279	kg Pu-279	1,10
Plutonium-280	kg Pu-280	1,10
Plutonium-281	kg Pu-281	1,10
Plutonium-282	kg Pu-282	1,10
Plutonium-283	kg Pu-283	1,10
Plutonium-284	kg Pu-284	1,10
Plutonium-285	kg Pu-285	1,10
Plutonium-286	kg Pu-286	1,10
Plutonium-287	kg Pu-287	1,10
Plutonium-288	kg Pu-288	1,10
Plutonium-289	kg Pu-289	1,10
Plutonium-290	kg Pu-290	1,10
Plutonium-291	kg Pu-291	1,10
Plutonium-292	kg Pu-292	1,10
Plutonium-293	kg Pu-293	1,10
Plutonium-294	kg Pu-294	1,10
Plutonium-295	kg Pu-295	1,10
Plutonium-296	kg Pu-296	1,10
Plutonium-297	kg Pu-297	1,10
Plutonium-298	kg Pu-298	1,10
Plutonium-299	kg Pu-299	1,10
Plutonium-300	kg Pu-300	1,10

Umweltindikator	Einheit	Wert
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	kg CO <sub>2</sub> e	1,10
Strom	kWh	













