



Diplomarbeit

DIE SCHLIESSUNG EINER WIENER BAULÜCKE DURCH EIN GEBÄUDE MIT NACHHALTIGEN ROHSTOFFEN

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 **Daniel Suppan, B.sc.**
11701848

Wien, am 24. Oktober 2023

EIDESSTAATLICHE ERKLÄRUNG

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

DIPLOMARBEIT

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

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

Wien, am 25. Oktober 2023

EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG ZUR PLAGIATSPRÜFUNG

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch-technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der ausgegebenen der an der TU Wien geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis – „Code of Conduct“ (Mitteilungsblatt 2007, 26. Stück, Nr. 257 idgF.) an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Wien, am 24. Oktober 2023

Etwas nachhaltig zu gestalten, zu betreiben oder nachhaltig zu sein ist gleichbedeutend mit bewusstem, verantwortungsvollem sowie respektvollem und achtsamem Handeln, sowohl für eine einzelne Person als auch für deren Mitmenschen sowie die Umwelt.

Es gibt Menschen, die dies aktiv und vehement betreiben, ohne Rücksicht auf Verluste, können jedoch dadurch sich selbst sowie ihr Umfeld gefährden. Andere wiederum praktizieren genau das Gegenteil, sind Klimasünder und scheinen nicht den Anschein zu machen, als würden sie dies ändern wollen.

Im Bauwesen sind, wie in allen anderen Branchen, beide Lager vertreten. Berichte zeigen jedoch, dass rasches Handeln unbedingt erforderlich ist, und da der Bau-sektor einer der größten Umweltsünder ist, sind alle, die in diesem beschäftigt sind, aufgefordert, etwas zu unternehmen. [57]

Der rasante Anstieg der Bevölkerung weltweit - bis zum Jahr 2040 sollen es 8,5 Milliarden Menschen sein - führt dazu, dass immer mehr Wohnraumbedarf besteht. [58] Diesen weiterhin in umweltbelastenden Bauweisen zu errichten, würde dem Klima schaden und den Planeten zunehmend zerstören.

Diese Diplomarbeit setzt an den genannten Problempunkten an und befasst sich mit der Umsetzung eines Wohngebäudes mit nachhaltigen Rohstoffen. Dazu wird zuerst der Begriff der Nachhaltigkeit analysiert, um zu verstehen, was dieser bedeutet, sowie welche Bedeutung dieser für die Baubranche hat. Anschließend werden zwei wesentliche Materialien, Holz und Lehm, auf ihre Eigenschaften, ihre An-

wendungsmöglichkeiten sowie ihre technischen Gegebenheiten untersucht. Die darauffolgende Analyse ausgewählter, bereits gebauter Projekte geht auf zuvor festgelegte Schwerpunkte ein. Die Referenzbeispiele werden anhand dieser verglichen und bilden so eine Grundlage für den Entwurf. Zuvor wird allerdings noch das Wissen von Expert:innen zu diesen Themen befragt und herausgefunden, ob Ihrer Meinung nach die Umsetzung eines solchen Gebäudes möglich wäre.

Daraus resultiert der Entwurf, der mit dem innerstädtischen Bauplatz einer Baulücke darauf abzielt, ein Pilotprojekt für ein nachhaltiges Wohngebäude im urbanen Raum zu entwickeln. Das Wohngebäude weist außerdem qualitativ hochwertige Grundrisse auf und bietet private und öffentliche, gern genutzte Freiflächen. Zudem sind die modernen Ziele der Gebäudeflexibilität sowie der Recyclingfähigkeit von Materialien und Bauteilen erfüllt. Dies schafft das Gebäude einerseits durch die Wahl eines statischen Systems, welches die leichte und vollständige Nutzung einer Ebene ermöglicht. Andererseits werden leicht lösbare Knotenpunkte der Tragstruktur geschaffen, und Bauteilaufbauten lediglich miteinander verschraubt, anstatt verklebt.

Die Anwendung mehrerer nachhaltiger Baustoffe im prozentuell hohen Anteil zur gesamten Gebäudestruktur gesehen, wird als Ergebnis der Arbeit präsentiert und dient als Anregung für zukünftige Bauwerke sowie akademische Recherchen.

Designing, operating, or being sustainable in something is synonymous with acting consciously, responsibly, respectfully, and mindfully, both for an individual as well as for their fellow human beings and the environment.

There are people who do this actively and vehemently, regardless of losses, but they can endanger themselves and their environment. Others practice exactly the opposite, they are main agents of climate change and do not seem to want to change this.

In construction sector, as in all other industries, both camps are represented. However, reports show that an action is absolutely necessary, and since the construction sector is one of the biggest polluters, all those employed in it are called upon to do something. [57]

The rapid increase in the world's population, expected to reach 8.5 billion by 2040, means that there is an ever-increasing need for housing. [58] To continue to build this in environmentally harmful construction methods would harm the climate and destroy the planet even more.

This diploma thesis treats the mentioned problems and deals with the implementation of a residential building with sustainable materials. To achieve this, the concept of sustainability is first analyzed in order to understand what it means and what significance it has for the construction industry. Subsequently, two essential materials, wood and clay, are examined for their properties, their application possibilities as well as their technical conditions. The subsequent analysis of selected projects that have already been built addresses previously identified areas of focus. The reference examples are compared against these

to form a basis for the design. Before that, however, the knowledge of experts on these topics is consulted and it is investigated whether, in their opinion, the realization of such a building would be possible.

This resulted in the design, which aims to develop a pilot project for a sustainable residential building in a construction gap in the urban area. The building also features high-quality floor plans and offers private and public open spaces that are readily used. In addition, the modern goals of building flexibility and recyclability of materials and components are met. On the one hand, the building accomplishes this by choosing a structural system that allows for easy and complete use of one level. On the other hand, easily detachable nodes of the load-bearing structure are created and component assemblies are merely screwed together instead of glued.

The application of several sustainable building materials seen in percentage to the overall building structure is presented as a result of the work, serves as a stimulus for future buildings as well as academic research.

INHALTSVERZEICHNIS

01 Einleitung	01
Ausgangslage	05
Methodik und Ziele	06
02 Nachhaltigkeit	07
Teufelskreis	12
Ausblick	13
Kreislaufwirtschaft - Recycling - Rückbau	14
Analyseschwerpunkte	16
03 Materialien	23
Holz	27
Lehm	36
04 Analyse	47
Blache	51
C13	57
Eisberg	63
Lange Rötterstraße	69
05 Interviews	77
Hans Wegescheider	81
MA 37	86
06 Entwurf	93
Bauplatz	97
Konzept	102
Entwurf	108
Konstruktion	121
Detailplanung	148
07 Fazit	165
08 Verzeichnisse	173

EINLEITUNG

01

Das erste Kapitel der Arbeit beschreibt die Ausgangslage und erklärt entscheidende Fakten, die den Anlass sowie die Motivation zum Thema waren. Außerdem werden die zu erreichenden Ziele klar definiert und die Vorgehensweise, um diese zu erreichen, beschrieben.

01 EINLEITUNG

AUSGANGSLAGE

2021 wurden allein in Wien 16.528 neue Wohneinheiten geschaffen. [9] Der Großteil davon wurde in mineralischen Gebäuden untergebracht. Die Notwendigkeit unser Klima zu schützen und die Treibhausgase zu reduzieren geht seit geraumer Zeit immer öfter und mit immer lauter werdenden Geräuschen durch die Medien. 2020 betrug das Abfallaufkommen der Baubranche in Deutschland in etwa 56% und zeigt somit die Dringlichkeit einer Änderung der Art zu Bauen und der Recyclingfähigkeit der Materialien. [10] Dies sollte all jene, die in der Baubranche tätig sind, zu einem raschen Handeln motivieren. Hierzu müssen allerdings keine neuen Rohstoffe bzw. Baumaterialien erfunden werden. Es gibt bekannte und schon vor vielen Jahren verwendete Materialien, die sowohl den enormen Ausstoß der Treibhausgase reduzieren können als auch das Klima und den Planeten schonen: Holz und Lehm. Holz ist einer der ältesten uns bekannten Baustoffe und wird seit jeher als solcher eingesetzt. Holz gilt als klimaneutral und hat in Österreich ein sehr häufiges Vorkommen. Knapp 48% der Republik sind mit Wald bedeckt. [14] 2021 betrug die Entnahme der Wälder rund 18,5 Millionen Erntefestmeter (Kubikmeter Holz ohne Rinde und abzüglich der Abfälle im Wald), dennoch beträgt der jährliche Zuwachs der Wälder in etwa 3.400 ha. [14] Außerdem bindet Holz ungefähr 1 Tonne an CO₂ pro Kubikmeter, weshalb Holz nicht nur als klimaneutral, sondern sogar als klimapositiv gilt. [60] Lehm ist ebenso wie Holz einer der ältesten Baustoffe der Menschheitsgeschichte. Lehm ist weltweit bekannt und kommt auch überall vor. Wien zählt zu einer Region, in welcher Lehm unter der Hu-

musschicht vorkommt und in etwa 40 cm dick ist. [61]

Mit diesem Wissen und diesen Tatsachen kann einiges gemacht werden. Nun liegt es an den Expert:innen der Baubranche, diese Materialien einzusetzen und noch intensiver zu verwenden.

METHODIK UND ZIELE

Aufbauend auf der zuvor beschriebenen Ausgangslage ist die übergeordnete Frage der Arbeit, ob es möglich ist, mit nachhaltigen Rohstoffen ein Gebäude zu errichten und damit eine Wiener Baulücke zu schließen. Dies wird zuerst in einer ausführlichen Recherche untersucht und anschließend in einem Entwurf versucht umzusetzen. Untergeordnete Ziele der Arbeit sind die Schaffung eines flexiblen Gebäudes, um eine spätere Umnutzung zu ermöglichen sowie die Recyclingfähigkeit der Materialien bzw. die Kreislaufwirtschaft von Bauteilen zu forcieren.

Hierfür wird zuerst der Begriff der Nachhaltigkeit analysiert. Dies ist wichtig, da dieser in heutiger Zeit viel zu einfach und voreilig eingesetzt wird. Um ein Verständnis für innovative Gebäude zu erlangen, um damit den Entwurf zu entwickeln und die Ziele zu erfüllen, werden umfassende Analyseschwerpunkte formuliert. Mit diesen werden in weiterer Folge ausgewählte, bereits gebaute Projekte untersucht und nach den Schwerpunkten bewertet. Zuvor werden jedoch die beiden Materialien Holz und Lehm unter die Lupe genommen. Dies ist essenziell, da durch die Analyse der Baustoffe aus ihren Eigenschaften, den Anwendungsbereichen sowie ihren Möglichkeiten der Vorfertigung sowie des Kreislaufverhaltens, die Beleuchtung der gebauten Beispiele detaillierter möglich ist.

Bevor die Erkenntnisse im Entwurf umgesetzt werden können, werden Interviews mit Expert:innen geführt. Dies gibt Einblick und Aufschluss über das Fachwissen von Leuten mit viel Erfahrung in der Ausführung. Außerdem wird mit einer unumgänglichen Behörde gesprochen um die

Ansichten auf das Thema von Expert:innen dieses Fachbereiches kennen zu lernen. Aufbauend darauf werden mittels eines Entwurfs die Ziele der Diplomarbeit umgesetzt. Hierbei liegt der Innovationswert der Arbeit, da es bislang im wissenschaftlichen Bereich noch keinen Ansatz gab, ein Gebäude mit mehr als sechs oberirdischen Geschossen in einer Wiener Baulücke rein aus Holz und Lehm umzusetzen.

NACHHALTIGKEIT

02

Dieser Abschnitt soll einen Überblick über Nachhaltigkeit geben, zeigt die Schwierigkeit dieses wichtigen Themas auf und beschreibt und schildert Schwerpunkte, welche für die spätere Analyse essenziell sind.

„Die Erde bietet genug für jedermanns Bedürfnisse, aber nicht für jedermanns Gier.“ - Mahatma Gandhi

„Wir sind die ersten Generationen, die die Auswirkungen des Klimawandels spüren und die letzten Generationen, die etwas dagegen unternehmen können.“ – Barack Obama

02 NACHHALTIGKEIT

Vor knapp 900 Jahren wurde im Kloster Mauerminster festgehalten, dass Holz nicht mutwillig entnommen werden darf und somit das erste Mal von „Nachhaltigkeit“ gesprochen. Dies wurde 1713 im Zuge der Rohstoffknappheit von Carl von Carlowitz verschärft und wissenschaftlich verfasst und festgehalten. Aufgrund des erneuten exzessiven Baumschlags definierte er, dass, in diesem Fall, gleich viel Bäume nachgepflanzt werden müssen, wie entnommen werden dürfen. [1] [2] Demnach bedeutet „Nachhaltigkeit“, dass von etwas nur gleich viel verwendet/verbraucht/entnommen werden darf, wie die Natur nach produzieren kann oder wie die Menschheit der Natur durch aktives Handeln zurückgeben kann.

Dem zustimmend, geht aus dem Bericht 1987 der „Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen“ hervor, dass die zukünftige Generation, nicht durch die gegenwärtige negativ beeinträchtigt werden darf. Eine gleich große Befriedigung der Bedürfnisse beider Generationen ist hierbei Voraussetzung. Dies gilt laut dem Bericht als „nachhaltig“. [1] [3]

Den Begriff „Nachhaltigkeit“ auf die Architektur bzw. das Bauwesen zu übertragen ist für die Umwelt, den Planeten und das Klima enorm wichtig, denn allein diese Branche verbraucht jährlich in etwa 450 Millionen Tonnen an mineralischen Rohstoffen und ist zudem für mehr als 50% des Abfallaufkommens verantwortlich. Diese Zahlen beziehen sich allerdings lediglich auf Deutschland. [4] [5] Weltweit betrachtet sind alle Gebäude für ein Drittel des Energieverbrauchs und in etwa 20% für das Treibhausgas verantwortlich. [6] Bauen bedeutet stets Ressourcen zu verbrauchen und damit wird in jedem Fall die Umwelt belastet. [3] Es betrifft allerdings nicht nur das Umsetzen von Projekten im physischen

Sinne. Ressourcen verbrauchen, dem Planeten schaden hinzufügen oder der Umwelt schädigen ist ein Teufelskreis und dies existiert in jeder Branche und jeder Lebenslage der Menschheit. Digitalisierung, Ernährung, Industrie, Mobilität, Versorgung sind nur einige Bereiche in welchem genau diese Aspekte gleichermaßen zu tragen kommen wie in der Architektur bzw. der Baubranche.

Darüber hinaus ist die „Nachhaltigkeit“ nicht nur auf die unterschiedlichen Lebenssituation, privater oder beruflicher Natur, zu zuordnen, sondern es sind vor allem drei große Säulen: die Ökologie, die Ökonomie und die Soziokultur. (siehe hierzu Abbildung 1) [3] Ersteres zielt vor allem auf die Schonung von Ressourcen ab sowie die Belastung der Umwelt auf ein Minimum zu reduzieren. Dies wird erreicht, indem der Einsatz von Baumaterialien optimiert wird, Flächen im kleinstmöglichen Ausmaß verwendet werden, die Biodiversität aufrecht bleibt und der Verbrauch an Energie und Wasser so gering wie möglich ist. Dies gilt für die Erzeugung und Herstellung, die Anlieferung, die Errichtung sowie die Nutzungsdauer und späterem Recycling. Die ökonomische Säule zielt in weiterer Linie darauf ab, die Kosten während der Planungsphase, der Bauphase sowie der Erhaltungsdauer eines Gebäudes zu optimieren. Hierbei ist ein sehr wichtiger Punkt der Lebenszyklus eines Bauwerks. Dafür gilt es dieses in seiner Gesamtheit zu betrachten und die Abläufe sowie die aufeinanderfolgenden Prozesse, unabhängig ihrer Dauer, zu präzisieren. Der dritte wesentliche Aspekt der Nachhaltigkeit und demnach auch für nachhaltiges Bauen ist der soziale und kulturelle Teil. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist der Mensch selbst. Dabei ist sowohl das Individuum als auch die gesamte Gesellschaft zu betrachten. Die Wahrnehmung und Beurteilung sowie das daraus

		Ökologie	Ökonomie	Soziokulturelles
		Schutzgüter	Nachhaltigkeit allgemein	<ul style="list-style-type: none"> • natürliche Ressourcen • natürliche Umwelt
Nachhaltiges Bauen	<ul style="list-style-type: none"> • natürliche Ressourcen • globale und lokale Umwelt 		<ul style="list-style-type: none"> • Kapital/Werte 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheit • Nutzerzufriedenheit • Funktionalität • kultureller Wert
Schutzziele	Nachhaltigkeit allgemein	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der natürlichen Ressourcen/sparsamer Umgang mit natürlichen Ressourcen • Effizienzsteigerung • Reduktion von Schadstoffbelastungen/Umwelteinwirkungen • Schutz der Erdatmosphäre, des Bodens, des Grundwassers und der Gewässer • Förderung einer umweltverträglichen Produktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Lebenszykluskosten senken • Verringerung des Subventionsaufwandes • Schulden verringern • Förderung einer verantwortungsbewussten Unternehmerschaft • Schaffung nachhaltiger Konsumgewohnheiten • Schaffung dynamischer und kooperativer internationaler wirtschaftlicher Rahmenbedingungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz und Förderung der menschlichen Gesundheit • sozialen Zusammenhalt und Solidarität stärken • kulturelle Werte erhalten • Chancengleichheit • Sicherung von Erwerbsfähigkeit und Arbeitsplätzen • Armutsbekämpfung • Bildung/Ausbildung • Gleichberechtigung • Integration • Sicherheit/lebenswertes Umfeld
	Nachhaltiges Bauen	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der natürlichen Ressourcen • Schutz des Ökosystems 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung der Lebenszykluskosten • Verbesserung der Wirtschaftlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewahrung von Sicherheit, Gesundheit und Behaglichkeit • Gewährleistung von Funktionalität

Abbildung 01: Schutzgüter und -ziele, Allgemein und auf den Baubereich bezogen

resultierende Wohlbefinden aller steht hierbei im Mittelpunkt. Ästhetik, Bedürfnisse und Funktionalität sowohl sozial als auch kulturell sind bedeutend für das Gebäude. [7]

TEUFELSKREIS

Der bereits zuvor erwähnte „Teufelskreis“ ist vor allem ein in sich verstricktes Gebilde aus umweltschädlichen Einflüssen verursacht von der Menschheit. Die Auswirkung einer Handlung ist Ursache für weitere daraus resultierenden Schädigungen. Die erste Aktion allerdings einfach zu stoppen wäre zu einfach: diese ist ebenso Ergebnis

zahlreicher Geschehnisse vor ihrer selbst, weshalb über Jahre, Generationen und Epochen ein Teufelskreis entstand. Energie kann und wird durch fossile sowie erneuerbare Quellen gewonnen werden. Momentan sind die vorweltlichen Erzeuger vorherrschend. Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre steigt immer mehr an und besonders verantwortlich sind hier einerseits die Energiequellen aus fossilen Rohstoffen sowie die exzessive Rodung der Wälder, welche als natürliche CO₂-Speicher dienen. Darüber hinaus ist es auch die Industrie die Graue Emissionen in die Luft schleudert. Nicht nur das CO₂ ist ein Problem, sondern auch das CH₄, besser bekannt als Methangas, welches den Treibhauseffekt verstärkt. Durch dieses bekannte Phänomen erwärmt sich der Planet rasanter als ohne diese Einflüsse, die Pole

und das ewige Eis schmelzen, wodurch der Meeresspiegel steigt und weitere Folgen mit sich bringt. Neben dem ansteigenden Wasserspiegel und der Süßwasserzufuhr wird das Wasser sauer, womit sich negative Auswirkungen auf Flüsse, Seen und Ozeane sowie deren Lebensräume folgen. Außerdem werden dadurch die gesamten Meeresströmungen beeinflusst. Dies führt wiederum zu einem Einbruch des Ökosystems allgemein und zieht die Landwirtschaft und Nahrungsgewinnung sowie den Verlust der Biodiversität mit sich. Die Gase, welche in die Atmosphäre geschleudert werden, betreffen aber nicht nur die Umwelt und den Planeten, sondern auch die Menschheit: eine steigende Luftverschmutzung hat vermehrte und verstärkte Krankheiten zur Folge. Außerdem sind die Menschen wiederum gezwungen, sich von ihren eigens verursachten Auswirkungen, wie dem ansteigenden Meeresspiegel, zu schützen und bauen deshalb Großprojekte, welche ganze Städte vor Überflutungen bewahren sollen. Anderenorts müssen durch anhaltende Dürre sowie enormer Hitze, Menschen fliehen und sind gezwungen in Großstädte mit besserer Infrastruktur und Versorgungsmöglichkeiten zu ziehen. Durch einen solchen Wandel und derartigen Schutzmaßnahmen muss mehr gebaut und sich besser geschützt werden, womit sich hier der „Teufelskreis“ allerdings wieder schließt, da für diese Vorhaben Energie gebraucht wird, Ressourcen benötigt werden und es hier von vorne beginnt. [4]

AUSBLICK

Sowohl Holz als auch Lehm, die beiden später genauer beschriebenen Materialien,

sind natürliche, nachwachsende Rohstoffe. Sie gelten als nachhaltig, sind beinahe auf der ganzen Welt zu finden und werden unzureichend eingesetzt. In vielen Ländern wird weniger als die Hälfte des Bedarfes an Holz verwendet. Bedeutet, dass die Wälder ein Potential für einen theoretischen doppelt so hohen Verbrauch produzieren, wie momentan entnommen wird. [8] Gleiches gilt für Lehm: beinahe jedes Aushubmaterial könnte aufbereitet und weiterverarbeitet werden. Daraus ergibt sich auch bei Lehm ein Potential, welches in Kombination mit Holz in Zukunft bedeuten könnte, dass konventionelle Baustoffe um ein Vielfaches reduziert und lediglich bei unumgänglichen Einsatzpunkten verwendet werden müssten. In Zukunft wird es aber nicht nur auf den Einsatz von nachhaltigen Baumaterialien ankommen, sondern auch auf die Ressourcenschonung im Allgemeinen.

Die Architektur- und Baubranche ist eine der wesentlichsten für die Erfüllung der Klimaschutzziele. [1] Aufbauend auf die 1972 stattfindenden Konferenzen „United Nations Conference on the Human Environment“ und dem „Club of Rome“ und den daraus resultierenden Berichten, sowie auf den 1987 veröffentlichten „Brutland-Report“ von der 1983 gegründeten „World Commission on Environment and Development“, bildeten diese die Grundlage für die Umweltkonferenz 1992 in Rio de Janeiro, bei welcher der Begriff der Nachhaltigkeit zum ersten Mal zukunfts-fähig definiert wurde. Eine weitere Institution „Intergovernmental Panel on Climate Change“, eine weitere Klimakonferenz in Kyoto 1997 mit ihren Berichten und erstmaligen Zielen sowie die von EU-Ländern entwickelte Charta 2007 führten schließlich zu dem wichtigen Pariser Klimaabkommen von 2015, welches von allen Staaten unterschrieben wurde wobei sich diese verpflichteten Klimaschutzziele einzuhalten, umzusetzen bzw. zu erreichen.

Neben dem Abkommen wurde auch eine Agenda, in New York 2015, unterzeichnet welche die „Sustainable Development Goals“ beinhaltet. Diese Vereinbarungen geben vor, die jeweiligen Ziele bis 2030 zu erreichen. Für die Architektur- und Baubranche ist speziell das elfte „Nachhaltigkeitsziel“ relevant, weil dieses besagt, dass Städte und Siedlungen in Zukunft nachhaltig errichtet werden müssen. Wichtig dabei ist wiederum auf die drei wesentlichen Dinge der Nachhaltigkeit zu achten: Wirtschaft, Umwelt und Gerechtigkeit. Um sich diesen anzunähern und in Zukunft möglicherweise zu erreichen, bedarf es noch eine Erläuterung der bereits 1979 von Hans Jonas getätigten Aussage. Bei Anwendung seines Imperativs auf das Bauwesen, wird die Wichtigkeit der Betrachtung der Gesamtheit auf die vollständige Lebensdauer eines Gebäudes verdeutlicht. Dies bedeutet vor allem, dass vom ersten Gedanken an ein Bauwerk bis hin zu seiner Ausführung, Nutzung und der späteren Umnutzung oder des Abrisses, Ressourcen gespart werden, die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen im Vordergrund steht und das Gebäude zum größtmöglichen Teil recycelt werden muss. Hierbei sind speziell Ökobilanzen hilfreich, da diese die verwendeten Materialien in der Gesamtheit betrachten und bewerten. Weiters existieren Kriterienkataloge, um Gebäude einzuordnen, zu analysieren und mit anderen vergleichen zu können, wie zum Beispiel der „Klimaaktiv Basiskriterienkatalog von 2020“ vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. [4] [67] Da der nachfolgende Entwurf einerseits durch Recherche und Auseinandersetzung mit den Materialien andererseits auch mit bereits gebauten Beispielen entwickelt wurde, werden Analyseschwerpunkte, für die Analyseprojekte und später auch für den Entwurf, erstellt.

KREISLAUFWIRTSCHAFT-RECYCLING-RÜCKBAU

Kreislaufwirtschaft – bedeutet Ressourcen geschickt einzusetzen, diese ihren Eigenschaften entsprechend bestmöglich zu verwenden und nach Ablauf des Lebenszyklus diese nicht als Abfallprodukt zu behandeln, sondern dem Materialkreislauf zurückzuführen.

Recycling - beschreibt den Prozess Abfall zu sammeln und zu neuen Produkten zu verarbeiten. Recycling steht vor allem für Abfallvermeidung, Ressourcenschonung sowie die Minimierung von Umweltauswirkungen. Materialien sollen am Ende eines Gebäudezyklus möglichst sortenrein getrennt werden, um sie für einen weiteren Einsatz vorzubereiten.

Rückbau – ist der Prozess des Auseinandernehmens eines Bauwerks am Ende seines Lebenszyklus. Dies ist ein wichtiger Faktor, da ein hoher Grad an lösbaren Verbindungen nicht nur eine höhere Ressourcenschonung und eine gute Kreislaufwirtschaft bedeutet, sondern auch die Flexibilität eines Gebäudes steigert.

Außerdem ist es wichtig die Wieder- von der Weiterverwendung zu unterscheiden. Bei erster wird ein Bauteil in der selben Form in der dieser ausgebaut wird wiederverwendet. Die Weiterverwendung meint ein Stück nicht in gleiche Weise zu verwenden, allerdings in der Grundform zu belassen.

Laut Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz von 1996 sollen Gebäude recycelt werden, vielmehr allerdings muss Abfall vermieden werden. Um zukünftige Generation, den Planeten und die Umwelt zu schützen und

nachhaltig zu beeinflussen, gilt es heute ein Gebäude recyclinggerecht zu planen. [3] Bauwerke zu planen, ungeachtet der Größe der Aufgabe, ist immer eine Herausforderung, Bedarf je nach Umfang mehr oder weniger Personaleinsatz, erfordert allerdings, besonders in diesen Tagen, eine exzellente Lebenszyklusplanung. Je intensiver die Arbeit in den ersten Phasen des Gebäudes war – also in der Entwurfs-, Einreichungs- und Ausführungsplanung – umso besser kann ein Bauwerk am Ende seiner Nutzungsdauer weiterverarbeitet werden. Eine gutdurchdachte „End-of-Life“-Strategie erleichtert nicht nur den Abriss und die Trennung der einzelnen Bauteile, sondern trägt vor allem zu einem großen Beitrag für den Klimaschutz bei, spart Ressourcen und gibt den Materialien einen zweiten Frühling.

Dass eine solche Denkweise notwendig wäre, zeigen einerseits die Zahlen aus dem Jahr 2021 der neugeschaffenen Wohneinheiten in Wien, 16.528, und andererseits das Abfallaufkommen der Baubranche in Deutschland, welches in etwa bei 56% liegt. [9] [10] Um die zukünftigen neuen Wohnungen, aber auch andere Bauwerke, dahingehend zu beeinflussen sowie das Abfallaufkommen zu minimieren gibt es einige wesentliche Aspekte. Die nachfolgenden Begriffe haben alle zum Ziel, CO₂ einzusparen, Ressourcen zu schonen und Abfall zu vermeiden.

Zunächst gilt es die Suffizienz sowie den Rebound Effekt zu beschreiben. Suffizienz sagt im Wesentlichen, dass mit dem Vorhandenen und dem Ausreichenden ausgekommen werden soll, da so Ressourcen geschont werden und Abfall vermieden wird. Der Rebound-Effekt beschreibt eine Verbesserung eines Problems, wodurch eine neue gleichschwere Aufgabe entsteht. So bleibt ein ressourcenschonendes Gebäude und die damit verbundene Effizienzsteige-

rung nutzlos, wenn Verbrauch an Wohnung und Fläche pro Kopf weiter steigt. [5]

Neben diesen beiden Begriffen ist vor allem auch die Flexibilität eines Gebäudes für eine lange Nutzung notwendig. Besonders um das Abfallaufkommen zu vermeiden ist es wichtig, Grundrisse so zu gestalten, dass mehr als die dafür vorgesehene Nutzung möglich ist. Räume, die frei von großen, unflexiblen Tragstrukturen sind, können nach Ablauf des Nutzungszyklus umgestaltet werden. Ein Wohngebäude wird ein Bürobau, oder umgekehrt. Dafür bedarf es allerdings auch eine Flexibilität in der Fassade. Bürogebäude benötigen große Belichtungsflächen, wohingegen Wohngebäude private, nicht einsehbare Rückzugsorte erfordern. [5]

Außerdem sind der materielle und der energetische Substitutionseffekt wichtige Faktoren in Bezug auf das Recycling. Ersterer zielt darauf ab, bereits verwendetes Material gegenüber neu herzustellenden Rohstoffen bzw. auch nachhaltigen Baustoffen den nicht-erneuerbaren vorzuziehen. Ähnliches gilt für den energetischen Effekt, wobei sich dieser auf die Erzeugung von Energie bezieht. Hierbei geht es darum, dass ein ausgedientes Material, wie beispielsweise Holz oder Papier, nicht entsorgt, sondern zur Erzeugung von Strom und Wärme herangezogen werden soll. [2] Die Kaskadennutzung ist ebenfalls ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf das Recycling, da man unter diesem Begriff eine Mehrfachnutzung von Ressourcen versteht. Materialien, die im Zuge einer Vollendung eines Gebäudelebenszyklus auf einer Deponie landen würden, können durch gut durchdachte Rückbaukonzepte weiterverwendet werden. Allerdings wird dies noch sehr selten betrieben. In Deutschland wird beispielsweise nur ca. 20% des Holzes, welches im Zuge eines Abrisses entsteht, stofflich verwertet. Der Rest wird zur Erzeugung

von Energie verwendet. [11]

Diese Faktoren bzw. Begriffe sind wesentliche Bestandteile des Recyclings. Wenn all diese Punkte berücksichtigt und angewendet werden, würde sich dies enorm auf den Planeten und die Umwelt auswirken. Darüber hinaus gibt es allerdings noch viele weitere entscheidende Themen die in Bezug auf Recycling, Kreislaufwirtschaft und Zerlegbarkeit wichtig sind. Da eine weitere Vertiefung den Rahmen dieser Arbeit jedoch übersteigen würde, wird noch auf ein, später auch für den Entwurf relevantes Kriterium, eingegangen.

Einleitend erwähnt, trägt das Rückbauen von Bauteilen wesentlich zur Verbesserung von Recyclingfähigkeit und Kreislaufwirtschaft bei. Dies kann durch lösbare Verbindungen der Konstruktion geschaffen werden. Da das Verbinden von zwei Teilen, ungeachtet dessen, um welche Teile es sich handelt bzw. in welcher Branche man sich befindet, ist ein komplexes und umfangreiches Thema. Dies würde ebenfalls den Rahmen dieser Arbeit übersteigen, weshalb nur in gewisser Tiefe, für späteren Entwurf ausreichend, darauf eingegangen wird.

Für eine hochwertige Rezyklierbarkeit der Materialien ist eine sortenreine Trennung der Einzelteile notwendig. Die funktioniert mit lösbaren Verbindungen ohne großen Aufwand. Außerdem bringen leichttrennbare Zusammenschlüsse in den unterschiedlichen Phasen des Gebäudelebenszyklus weitere Vorteile mit sich. So kann in der Errichtungsphase auf Trocknungszeiten verzichtet und Montagezeiten besser gesteuert werden. In der Nutzungsphase ist man aufgrund der leichten Anpassbarkeit flexibel und in der Rückbauphase können Teile dem Materialkreislauf der Ressourcen zurückgeführt werden. Verbindungen zwischen einzelnen Baustoffen herzustellen kann durch drei Arten, dem Formschluss,

dem Kraft- bzw. Reibschluss und dem Stoffschluss erfolgen, wobei letzteres keine Variante ist, um lösbare Zusammenschlüsse herzustellen. Zu der erst genannten Art gehört beispielsweise das Stopfen, Schütten oder die Stehfalzverbindungen, zu Zweiter die Schraub- und Nagelverbindungen sowie das Klemmen und das Verbinden mittels Stiften. [5]

Durch die Herstellung solcher Knoten kann das Recyceln von Bauteilen und Materialien leicht erfolgen, die Einzelteile können dem Kreislauf zurückgeführt werden und die Einsparung von CO₂, die Ressourcenschonung und die Abfallvermeidung maximiert werden.

Ein wichtiger Aspekt im Thema Nachhaltigkeit und vor allem in der Kreislaufwirtschaft ist, der von Dr. Anja Rosen erstellte „Urban Mining Index“. Städte sollen als urbane Minen gesehen werden und ihre Materialien und Baustoffe wiederverwendet werden. Unter „Urban Mining Design“ bezeichnet das Bauen mit erneuerbaren und nachhaltigen Rohstoffen. Diese sollen so konstruiert werden, dass sie später leicht lösbar sind und wiederverwendet werden können. Dies soll schon in der Planung mithilfe des „Urban Mining Index“ erzielt werden – die systematische Erfassung der Materialien, Bauteile und Details ermöglicht eine Berechnung und Bewertung der Wahrscheinlichkeit der Wiederverwendung dieser. Die Summe alldieser wird „Urban Mining Indicator“ genannt. [68] Aufgrund der Überschreitung des Umfangs dieser Diplomarbeit wurde der „Urban Mining Index“ allerdings bei späterem Entwurf nicht durchgeführt.

ANALYSESCHWERPUNKTE

Die Analyseschwerpunkte sollen einer Gliederung von zu analysierenden Objekten sowie von zwei Materialien dienen. Da sich die vorliegende Arbeit um eine Untersuchung im Bereich der Nachhaltigkeit handelt, werden mit diesen Schwerpunkten vor allem Aspekte wie die Ressourcenschonung, die Frage ob die gewählten Materialien nachwachsend sind sowie die Rezyklierbarkeit von Gebäuden und einzelnen Materialien beleuchtet. Es geht hierbei vor allem darum eine Grundlage zu schaffen, mit welcher ähnliche, bereits mögliche nachhaltige Bauwerke miteinander verglichen werden können und diese in fünf Kernthemen zu unterscheiden sowie in Bezug zueinander zu stellen. Die Analyseschwerpunkte sind speziell für dieses Thema konzipiert und sind daher eine subjektive Einschätzung im Bereich der Nachhaltigkeit und nicht im Kontext zu anderen konventionell gebauten Objekten bzw. mineralischen Rohstoffen zu stellen. Diese sollen im Besonderen auch der Entwurfsfindung sowie dem Entwurfsprozess dienen und daraus gezogene Erkenntnisse, sowie Erkenntnisse aus den Analysen gebauter Projekte, sollen sich im nachfolgenden Entwurf wiederfinden.

Konstruktion

Grad des Ressourceneinsatzes

Die Konstruktion bildet das Tragwerk eines Gebäudes und ist somit das Herzstück jedes Bauwerks. Die Wahl der Konstruktionsart, ob Massiv- oder Skelettbau oder eine Mischung aus beiden, ist ein entscheidender Grund für die Wahl der Materialien und gibt vor, wie diese eingesetzt werden. Demnach sind manche Konstruktionsarten ressourcenschonender und andere weniger. Dafür

haben ressourcenaufwendigere Tragwerkelemente andere Vorteile. Im ersten der fünf Schwerpunkte geht es darum, die Art der Konstruktion zu bestimmen und damit auch den Grad des Ressourcenverbrauches festzustellen. Hierbei spielt allerdings nicht nur die Unterscheidung von Massiv- und Skelettbau eine Rolle, sondern auch der Grund weshalb die jeweilige Art gewählt wurde und welche Auswirkungen mögliche Entscheidungen auf nachfolgende Kriterien mit sich bringen. Bei der Konstruktion sind vor allem brandschutztechnische Anforderung ausschlaggebend, welche wiederum von den jeweiligen Normen abhängen bzw. von der Höhe und Größe des Gebäudes und der daraus resultierenden Bauklasse und Gebäudeklasse. Dazu wird in fünf Kategorien unterschieden.

Kategorie 1 – „die Ressourceneffizienz schlecht hin“

Gebäude mit einem absoluten Minimum an Verbrauch von Ressourcen. Die Konstruktion ist auf das Wesentliche beschränkt. Dimensionierungen vom Tragwerk sind lediglich auf die statischen Anforderungen konzipiert. Die Skelettbauweise ist hierbei der Massivbauweise gegenüber im Vorteil. Auf Wandscheiben wird allgemein zu einem großen Teil verzichtet, Erschließungskerne ausgenommen.

Kategorie 2 – „nearly the top“

In dieser Gruppe sind jene Gebäude einzuordnen, bei welchen zwar großteils auf die Ressourcenschonung geachtet wurde, allerdings im geringen Maße auf die Massivbauweise anstatt der Skelettbauweise zurückgegriffen wurde. Wie in der Erklärung des ersten Analyseschwerpunktes geschildert, kann dies unterschiedliche Gründe haben. Diese sind für die Einteilung bei „Konstruktion“ allerdings nicht relevant. Darüber hinaus sind es möglicherweise

aus brandschutztechnischen Gründen die überdimensionierten Holzstützen oder -unterzüge, die das Bauwerk in „Kategorie 2“ einordnen.

Kategorie 3 – „von beiden etwas“

Eine massive Tragstruktur im gleichen Ausmaß wie die leichte Skelettbauweise. Sowohl Wandscheiben als auch Stützenraster kommen bei Gebäuden dieser Kategorie zum Einsatz. Die ressourcenschonenden Stützen werden ausgeglichen durch vermeidbare flächige Elemente zur Lastabtragung. Möglicherweise sind es auch die großen Spannweiten, die zwar die vertikale Struktur reduzieren, jedoch Decken und Unterzüge in übertriebener Stärke gestalten.

Kategorie 4 – „ein Hauch von Ressourcenschonung“

Hierbei überwiegen flächige Tragwerkselemente. Die Konstruktion besteht beinahe ausschließlich aus Wänden. Stützen kommen nur sehr dezimiert zum Einsatz. Der Ressourcenaufwand ist weitaus höher als notwendig. Die Dimensionen der vertikalen Elemente können zwar gering ausfallen, allerdings wäre ein Skelettbau möglicherweise effizienter gewesen. Trotzdem sind einzelne punktuelle Lastabtragungen vorhanden, welche dem Gebäude in geringer Form noch Ressourcen einsparen lässt und somit zu „Kategorie 4“ zählt.

Kategorie 5 – „die Konservativen“

Der Massivbau ist in dieser Gruppe vorherrschend. Die leichte und aufgelöste Tragstruktur kommt hier nur noch vereinzelt bis gar nicht mehr zum Einsatz. Möglicherweise wurde hier auf die Ressourcenschonung aus bestimmten Gründen verzichtet. Dies bedeutet allerdings nicht, dass diese Gebäude nicht trotzdem nachhaltig sind und aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen

können. Der Stampflehm ist zwar eine Massivbauweise und erfordert im Vergleich zu einem Skelettbau einen hohen Grad an Ressourcen, allerdings ist Lehm ein natürlicher Baustoff und somit könnte das Bauwerk in den anderen vier Analyseschwerpunkten aufzeigen.

Materialien

nachwachsende Rohstoffe

Materialien sind ein sehr wesentlicher Teil eines Bauwerks, die richtige Wahl hingegen, ist ein äußerst schwieriger. Jedes Material kann unterschiedliche Dinge. In diesem Analyseschwerpunkt ist aber vor allem die Tatsache, ob es sich um einen nachwachsenden Rohstoff handelt die entscheidende Frage. Einerseits hat dies Auswirkungen auf andere Kernthemen, andererseits ist es für die soziokulturelle Dimension essenziell, besonders wenn die Materialien sichtbar und spürbar bleiben. Demnach wird speziell auf die Konstruktion sowie auf fertige Oberflächen ein wesentliches Augenmerk gelegt. Auch hier ist allerdings der Brandschutz jener Punkt, der bei zunehmender Höhe bzw. Größe des Bauwerks, ein Strich durch die Rechnung macht und die Sichtbarkeit der Materialien beeinflussen kann. Dies muss aber nicht gleichbedeutend mit dem tatsächlichen Einsatz des jeweiligen Rohstoffs sein, da eine Holzstütze, sofern sie im Brandfall geschützt ist, dennoch zur Anwendung kommen kann. Ebenso wird bei diesem Analyseschwerpunkt in fünf Kategorien unterschieden.

Kategorie 1 – „vollständig nachwachsend“

Die wesentlichen Materialien des Gebäudes sind nachwachsend – Wände, Decken, Stützen, alle Formen von Be- und Verkleidung. Selbst die Knotenpunkte zweier Bauteile wurden gut durchdacht. Dies hat

zudem noch den Vorteil, dass durch leicht lösbare Verbindungsmethoden, dass Gebäude zu einem späteren Zeitpunkt mit wenig Aufwand zerlegt und recycelt werden kann. Selbst die notwendigen Erschließungssysteme bestehen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Kategorie 2 – „beinahe perfekt“

Ein Großteil des Bauwerks besteht aus nachhaltigen Baustoffen. Viele Tragwerkelemente, plattenförmige Erzeugnisse, selbst Verbindungen der Konstruktion sind zukunftsorientiert. Lediglich der Erschließungskern ist aus mineralischen Rohstoffen gebaut. Ebenso sind einzelne Teile, vielleicht geringe Bestandteile von Bauteilaufbauten nicht nachwachsend. In Summe stellt der vorliegende Ansatz einen vielversprechenden Schritt in eine nachhaltige Richtung dar.

Kategorie 3 – „eine gute Mischung“

Zum gleichen Teil nachwachsende Ressourcen wie mineralische Baustoffe. Tragstrukturelemente in einer Variante, Konstruktionsteile in anderer Ausführung. Der Ansatz mit nachwachsenden Rohstoffen zu bauen ist da, wurde aber durch wesentliche Elemente mit konventionellen Baumaterialien vervollständigt. Vorteile des einen, wurden mit Vorzügen der andern ergänzt und so ein Gebäude geschaffen, welches von beiden Ufern eine gute Mischung aufweist. Es wurde beispielweise eine Holz-Beton-Verbunddecke gewählt, anstatt einer reinen Holzdecke mit Lehmschüttung, oder einer reinen Stahlbetondecke mit konventionellem Fußbodenaufbau.

Kategorie 4 – „ausbaufähig“

Bei Gebäuden dieser Kategorie besteht die Konstruktion sowie wesentlichen Bauteilaufbauten aus mineralischen Materialien. Der Großteil des Bauwerks ist in einer

konventionellen Bauweise errichtet und lediglich kleine Teil des Gebäudes sind aus nachwachsenden Rohstoffen. Einzelne Holzstützen, Stampflehmwände oder Massivholzdecke ergänzen einen klassischen Betonbau. Aus bestimmten Gründen wurde auf nachhaltige Teile zurückgegriffen, allerdings in einem so geringen Ausmaß, sodass das Gebäude in diese „Kategorie“ einzuordnen ist.

Kategorie 5 – „zurückgeblieben“

Ein klassisch konventioneller Bau: ein beinahe rein mit mineralischen Materialien entwickeltes Gebäude. Vereinzelt sind möglicherweise nachwachsende Rohstoffe zu finden. Dies gilt allerdings als Ausnahme und ist nicht die Regel. Gebäude in dieser Kategorie entsprechen nicht den nachhaltigen Kriterien. Gebäude dieser Kategorie sind oft Standard, sollten allerdings nicht mehr umgesetzt werden, da sie im Vergleich zu der „Kategorie 1“ sehr umweltschädlich sind. Die mineralischen Baustoffe der Bauwerke aus dieser „Kategorie“ belasten den Planeten nicht nur in der Bauphase, sondern auch später in der Recycling- bzw. Abriss-Phase

Flexibilität

Gebäudeumnutzung

Eine flexible Nutzung eines Gebäudes ist gleichbedeutend mit einer längeren Lebensdauer. Sollte ein Bauwerk dem ersten Zweck ausgedient haben, kann dieses durch intelligente Planung in der ersten Phase, zu einem anderen Zweck umgenutzt werden. Aus einem Wohnbau wird ein Bürobau, eine Parkgarage verwandelt sich in ein Gebäude für Wohnzwecke oder ehemalige Arbeitsbüros zu neuen Schulklassen. Diese Umgestaltung von Gebäuden verlängert nicht nur die Attraktivität eines Bauwerks, sondern spart zudem Ressour-

cen und schützt so die Umwelt. Derartige Pläne müssen jedoch zu Beginn angestellt werden, da man mit der falschen Bauweise, spätere Nutzungsmöglichkeiten ausschließt bzw. nur durch aufwendige Eingriffe möglich machen kann. Um die zu analysierenden Projekte auch dahingehend einschätzen zu können und miteinander vergleichbar zu machen, wird auch dieser Analyseschwerpunkt in Kategorien eingeteilt.

Kategorie 1 – „flexibel“

Gebäude in dieser Kategorie sind darauf ausgelegt in einem späteren Stadium umgenutzt zu werden. Das Tragwerk wurde dahingehend in der Planung angepasst. Anstelle überflüssiger Wandscheiben, die sich für eine zukünftige, andere Verwendung als problematisch erweisen könnten, wurde ein Stützenraster entworfen. Nichttragende Wände können einfach entfernt und so ein gesamtes Stockwerk neu genutzt werden. Selbst der mögliche Zusammenschluss von mehreren Stockwerken ist, durch vorab sinnvolle und wichtige Überlegung, möglich. Das Gebäude kann durch einfach Maßnahmen zu einem anderen Zweck umgenutzt werden.

Kategorie 2 – „Umnutzung möglich“

Bei dieser Kategorie ist die Umnutzung gegeben, allerdings nur durch aufwendigere Maßnahmen. Wandscheiben, welche in der Planungs- und Bauphase, durch ein Stützenraster ersetzt hätten werden können, muss in späterer Phase aufwendig ausgetauscht werden. Um dies durchführen zu können, muss allerdings vorab mit hohem Personalaufwand das Gebäude neu durchdacht und entworfen werden, im Gegenteil zu Bauwerken aus „Kategorie 1“, bei welchem bereits derartige Prozesse und Vorhaben zu Beginn geplant und berücksichtigt wurden.

Kategorie 3 – „das Ende“

Grundrisse, welche nicht anderwärtig nutzbar sind, sich nicht umplanen lassen und daher keine Flexibilität in ihrer Struktur besitzen. Bei dieser Kategorie handelt es sich um Bauwerke, welche ausschließlich für diesen einen Zweck gebaut wurden. Durch starre Grundrisse nahm man sich die Möglichkeit diesem Gebäude eine längere Lebenszeit zu schenken. Sollte der Nutzen eines Bauwerks ausgedient haben, bleibt durch fehlende Ideen zu Beginn, nur noch die Möglichkeit dieses abzureißen und ein neues zu errichten.

Energieeffizienz

Versorgung eines Gebäudes

Ein weitere wichtiger Analyseschwerpunkt ist die Energieeffizienz. Gebäude zählen zu den größten Verbrauchern von Energie, welche aus fossilen Quellen kommt. [4] Um sich von diesem Status zu lösen, gibt es nachhaltige Versorgungssysteme. Aus diesem Grund werden die zu analysierenden Projekte auch dahingehend beleuchtet. Hierbei kommt es in erster Linie darauf an, ob das Bauwerk mit nachhaltiger Energie und in zweiter Linie zu wie viel Teilen es mit dieser versorgt wird. Allerdings gibt es mehrere Wege, um ein Gebäude mit Energie zu versorgen, sowohl im Hinblick auf die grüne Variante als auch auf die der fossilen. Bei der Aufteilung der nachfolgenden vier Kategorien wird jedoch nicht zwischen den verschiedenen Möglichkeiten innerhalb einer Quelle unterschieden, sondern lediglich, ob beide vorhanden sind oder nur eine davon.

Kategorie 1 – „von der Natur betrieben“

Gebäude, welche dieser „Kategorie“ zugeordnet werden, sind ausschließlich durch nachhaltige Energieträger versorgt, unab-

hängig davon auf welche Art. Wichtig ist lediglich, dass sich das Gebäude selbst mit grüner Energie betreibt. Dies gilt sowohl für den erforderlichen Strom- als auch für den Wärmebedarf.

Kategorie 2 – „ein großer Anteil nachhaltig“

In dieser „Kategorie“ werden Gebäude zu großem Teil von nachhaltigen Quellen versorgt. Hierbei ist wichtig, dass mindestens ein Bestandteil der Versorgung, Strom oder Wärme, durch natürliche Energieträger erbracht wird. Darüber hinaus ist beim jeweils anderen Teil, ebenso ein Anteil von grüner Kraft erforderlich. Demnach sind alle Bauwerke in diese „Kategorie“ einzuordnen, welche sich zwar fast ausschließlich selbst versorgen können, allerdings einen gewissen Anteil an fossiler Energie benötigen.

Kategorie 3 – „ein großer Anteil fossil“

Hier ist die Sachlage konträr zu jener in „Kategorie 2“. Das Gebäude wird fast ausschließlich durch fossile Brennstoffe versorgt, sowohl der notwendige Strombedarf als auch die erforderliche Wärme, stammt davon. Ein kleiner Teil wird allerdings durch grüne Energie gewonnen, wobei auch hier irrelevant ist, ob es sich hier um eigenständige Stromproduktion handelt oder um die Erzeugung von Wärme.

Kategorie 4 – „von der Vergangenheit betrieben“

Bauwerke, die nicht autark und völlig abhängig von fossilen Energieträgern sind, gehören in die vierte und letzte „Kategorie“. Da die eigenständige Erzeugung mittels dieser Quelle hierbei nicht möglich bzw. nicht mehr Stand der Technik ist, beziehen diese Häuser ihre Energie über das öffentliche Netz. Eine selbstständige Produktion von grüner Energie gibt es bei diesen Bauwerken nicht, dies bedeutet al-

lerdings nicht, dass das restliche Gebäude nicht dennoch in den anderen „Kategorien“ als Nachhaltig zu beurteilen ist.

Rückbau und Recycling

Potenziale der Gebäude

Das Recycling eines Materials ist mittlerweile gleich wichtig geworden, wie die Tatsache, dass der Rohstoff nachhaltig ist. Schon bei der Entstehung eines Gebäudes zu wissen, womit man es am Ende zu tun hat, wird in Zukunft ein enormer Vorteil sein. Die Brettsperholzdecke wird zum Schluss der Lebensdauer eines Bauwerks als selbe in einem anderen Gebäude wiederverwendet, die Stampflehmwand wird abgetragen, aufbereitet und zu einem neuen Lehmprodukt weiterverarbeitet. Die Tatsache, dass dies erreichbar wäre, bietet unvorstellbare Möglichkeiten und könnte die Zukunft mit ihren Problemen wie den schädlichen Emissionen und dem stetig steigenden Müllaufkommen entscheidend weiterbringen. Um das größtmögliche Recyclingpotential eines Baustoffes, möglicherweise sogar eines ganzen Bauteils, zu erzielen, muss dies in der Planungsphase bereits berücksichtigt werden, man spricht hier auch vom „Cradle-to-Cradle“ Prinzip. Hierfür ist allerdings auch die Zerlegbarkeit eines Bauwerks entscheidend. Recyceln kann man nur jene Teile, welche aber nicht am Sondermüll landen und damit zerlegbar sind. Primär wird hierbei auf die Tragstruktur geachtet. Sekundär jedoch auch auf die Bauteilaufbauten, die Zusammensetzung und Fügung der einzelnen Bauteilschichten. Dies hängt allerdings auch von der Bauweise und den Materialien ab. Einige Rohstoffe und manchen Bauweisen eignen sich hier von Grund auf jedoch besser als andere. Um die zu analysierenden Projekte zu bewerten, wurde auch bei dem letzten Schwerpunkt eine Einteilung in fünf Kate-

gorien vorgenommen.

Kategorie 1 – „sehr gut rückbau- und recyclebar“

Bei Gebäuden aus dieser „Kategorie“ handelt es sich um all jene, die in ihrer gesamten Konstruktion am Ende der Lebensdauer wieder zerlegbar sind. Hierfür wurde zu Beginn der Planung drauf geachtet, dass alle Verbindungen des Tragwerks so gestaltet werden, dass diese möglichst einfach wieder entkoppelt werden können. Dabei ist es allerdings nicht wichtig, ob die Knoten durch ein Material, beispielsweise zimmermannsmäßige Verbindungen, geschaffen werden oder ob hierbei anderwärtige Fügungsmethoden mit weiteren Materialien geschaffen werden. Dasselbe gilt für die Bauteilaufbauten. Einher mit der Zerlegung geht auch das Recycling, denn je besser die Bauteile entzweit werden können, desto mehr kann wiederverwendet werden. Demnach ist für die Einteilung von Gebäuden in diese „Kategorie“ ein hoher Grad an, ebenfalls zu Beginn der Planungsphase, recyclefähigen Materialien und Verbindungen notwendig.

Kategorie 2 – „gut rückbau- und recyclebar“

In dieser „Kategorie“ gibt es zum Großteil Konstruktionen und Bauteilaufbauten, welche leicht trennbar sind. Der Anteil an nicht zerlegbaren Tragwerksstrukturen bzw. Aufbauten ist sehr gering. Durch zahlreiche Stunden an Überlegungen zu Beginn des Projektes, kann nun am Ende viel Energie gespart werden. Möglichst viele Teile können zerlegt und wiederverwendet oder gewinnbringenden verwertet werden. Der kleine Anteil der intensiv zu entsorgenden Materialien ist vertretbar im Vergleich zu den zahlreichen nachhaltigen Ressourcen.

Kategorie 3 – „befriedigend rückbau- und recyclebar“

Wie bei den anderen Analyseschwerpunkten zuvor, gibt es auch hier eine ausgewogene „Kategorie“. In gleicher Menge zerlegbare Bauteile und Konstruktionen wie nicht trennbare. Daher ist die eine Hälfte für einen weiteren Lebenszyklus zu verwenden, die andere müsste entsorgt werden. Ein guter Beginn, um in eine nachhaltige Richtung zu gehen, allerdings noch ausbaufähig.

Kategorie 4 – „genügend rückbau- und recyclebar“

Überwiegende Teile eines Bauwerks sind nicht reversibel und dauerhaft miteinander verbunden. Diese können nur durch einen energiereichen hohen Aufwand getrennt werden oder fallen als Abfall an. Abschnittsweise wurden Konstruktionen und Bauteilaufbauten so konzipiert, dass diese am Ende der Lebensdauer eines Bauwerks zerlegbar und recyclebar sind. Der Prozentsatz dieser Teile im Vergleich zum Gesamtvolumen eines Gebäudes ist allerdings verschwindend gering.

Kategorie 5 – „nicht genügend rückbau- und recyclebar“

Starre Verbindungen, verklebte Bauteilaufbauten und dauerhafte Knoten sind der Grund, weshalb diese Gebäude in der „Kategorie“ eingeteilt sind. Durch die beständigen Fügungen kann einerseits nichts von dem Bauwerk zerlegt und dadurch andererseits nichts recycelt werden. Dies führt dazu, dass das Gebäude einen Abriss unterliegt und die zerkleinerten Teile abtransportiert werden. Staub, viel Energie, vor allem, aber Sondermüll sind die Folge und wären durch vorab intelligent und geschickte Planung vermeidbar.

MATERIALIEN

03

Dieses Kapitel behandelt die später im Entwurf zu verwendeten Baustoffen. Es zeigt Einblicke in die Grundzüge der Materialien, beschreibt die Anwendung, den Brandschutz, die Vorfertigung sowie das Kreislaufverhalten der jeweiligen Rohstoffe. Außerdem bildet es Grundlage für die nachfolgenden Themen, zeigt aber auch die Unterschiede zwischen diesen beiden auf.

03 MATERIALIEN

HOLZ

Der Baustoff Holz ist seit Jahrtausenden in der menschlichen Kultur verankert. Seitdem der Mensch begonnen hat, sesshaft zu werden und sich seine eigene „Hütte“ zu bauen, ist der Rohstoff Holz nicht mehr wegzudenken. Als Baustoff im Hausbau, bei der Wagenerzeugung, beim Schiffsbau, selbst als Brennstoff wurde Holz eingesetzt, in allen Regionen, welche Wälder vorweisen konnten. Der Wald, nicht nur als natürlicher Speicher von CO₂, Lieferant von Beeren, Wild und Pilzen, ist vor allem auch die Quelle für das so vielfältig einsetzbare Material Holz. Die unterschiedlichen Regionen und Kulturen brachten aber auch die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von Holz mit sich. Zudem ist nicht jede Baumart und das daraus resultierende Endprodukt auch für jede Art der Nutzung optimal geeignet. Im Hausbau werden andere Hölzer gebraucht wie im Schiffs- oder Möbelbau. Vor allem waren es aber die Handwerker:innen und Spezialist:innen, die damals gelernt haben mit den heimischen Vorkommen zu arbeiten und diese zu optimieren und bestmöglich einzusetzen. [2] [11]

Dass Holz in seiner Urform als Baum jedoch beinahe unerschöpflich vorhanden ist, war einerseits nicht immer so und ist vor allem einer Person zu verdanken: Carl von Carlowitz. Durch die Verwendung des Baustoffes in allen erdenklichen Bereichen gab es schlussendlich im 17. und 18. Jahrhundert, vor allem in Europa, eine Holzknappheit. Dem von Carlowitz 1713 verfassten Leitsatz ist es heute zu verdanken, dass stets gleich viel Bäume gepflanzt werden müssen, wie entnommen werden dürfen. [5] [11]

Die jahrtausend andauernde Dominanz

von Holz, welches bis dahin sowohl den Menschen in der Steinzeit, den Kelten sowie den Wikingern als Behausung diente, welches im Kirchenbau und in enormen Bahnhofshallen zum Einsatz kam, wurde vor allem in der Zeit der Industrialisierung durch neuauftkommende Materialien wie Beton und Stahl abgelöst und fand durch den Einsatz fossiler Brennstoffe nicht einmal mehr Anwendung als Brennmaterial. [2] In dieser Zeit wurde es durch moderne und billigere Materialien ersetzt. Diese konnten zudem durch die wachsenden Städte bzw. dem Zuwachs der Bevölkerung in den Städten und dem Fortschritt der Technologie rasant weiterentwickelt werden und waren somit die Zugpferde des 20. Jahrhunderts, abgesehen von dem Beginn dieses Zeitabschnittes während der beiden Weltkriege als Holz durch seine Regionalität und der schnellmöglichen Verfügbarkeit sehr gefragt war. [8]

Heute gewinnt der Einsatz von Holz zunehmend wieder an Bedeutung. Die Nachfrage nach dem Baustoff zeigen die Zahlen: 4 Milliarden m³ Holz liefern die Wälder weltweit pro Jahr, wovon in etwa 60 % Laubholz und 40% Nadelholz entsprechen und kommen beinahe zu gleichen Teilen als Nutzholz und zur energetischen Verwertung zum Einsatz. Diese enorme Summe an Einsatz des Materials zeigt die steigende Wichtigkeit. Im Vergleich: beim Baustoff Beton werden jährlich in etwa 7 Milliarden m³ verwertet (siehe Abbildung 2). [11]

Dass der nachwachsende Rohstoff in solcher Form pro Jahr verwendet wird, ist im Hinblick auf unsere Umwelt und die Nachhaltigkeit zwar einerseits erschreckend, andererseits aber sehr positiv, da er von der Bauindustrie als zunehmend konkurrenzfähig gegenüber Beton und Stahl angesehen und eingesetzt wird. Die erschreckende Komponente mag bei der ersten

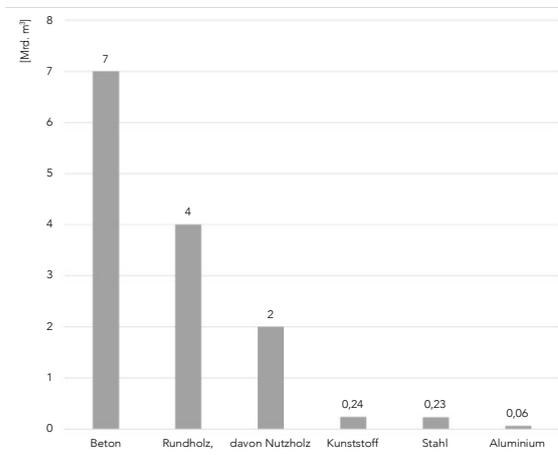


Abbildung 02: weltweiter Jahresverbrauch wichtiger Materialien

Betrachtung die große Zahl des verwendeten Holzes sein, vor allem wenn diese mit dem Wort Nachhaltigkeit im gleichen Satz vorkommt. Anhand der Waldwirtschaft von Deutschland ist jedoch die Bedeutung von und der Zusammenhang zwischen Nachhaltigkeit und Holz aufgezeigt: in Deutschland gibt es im Durchschnitt einen jährlich nutzbaren Holzzuwachs von 80 Millionen m^3 , woraus in etwa die Hälfte zu Holzwerkstoffen verarbeitet wird. Die neugeschaffenen Wohn- und Nicht-Wohngebäude ergeben in Summe ca. 340 Millionen m^3 jährlich. 0,05 bis 0,08 m^3 wird in etwa an Holzwerkstoffen pro m^3 neu geschaffenen Raum benötigt. Somit ergibt sich, dass weniger als die Hälfte der jährlichen Ernte des Holzes ausreichen würde, um das Neubauvolumen in Holz zu errichten. [11] Dies zeigt die Effizienz und Nachhaltigkeit des Baustoffes auf. Die Möglichkeit ein Gebäude zu errichten mit einem Material, welches in dieser Häufigkeit vorkommt und bei richtiger Bewirtschaftung immer wieder in höherer Zahl nachwächst als es entnommen wird, könnte eine mögliche Wende für die Bauindustrie bringen.

Holz ist dem vorherigen Absatz nach zu urteilen ein altes, beständiges und bewehrtes Material, ein vielseitig einsetzbarer Rohstoff, ein durchaus reichlich vorkommender Baustoff sowie nachhaltig und wiederverwendbar. Holz ist biologisch, natürlich gewachsen, inhomogen und weist demnach Eigenschaften auf, die als komplex gelten. Das grundlegendste Merkmal des Werkstoffes ist die Unterscheidung der Baumarten sowie die Wichtigkeit der Einflüsse im Wachstum wie die Geschwindigkeit, das Klima und der Boden. Diese Kombination ist verantwortlich, wie das Holz nach seinem Abbau eingesetzt werden kann. [2] Für die Anwendung in der Baubranche sind vor allem die Anisotropie und die Hygroskopie wichtig. Unter ersterer versteht man die anatomischen Hauptrichtungen im Holz. Hierbei unterscheidet man quer, also radial und tangential, sowie längs zur Faser (siehe Abbildung 3). Diese sind besonders für die Tragfähigkeit und die Beanspruchbarkeit des Holzes von Bedeutung. [12]

Zudem kommt hinzu, dass der Baustoff in die beiden Richtungen unterschiedlich beanspruchbar ist: quer zur Faser ist das Holz in etwa zehnmal schwächer als

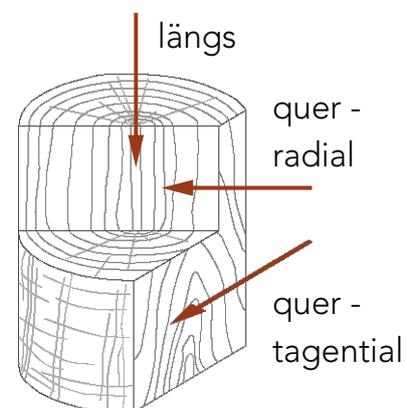


Abbildung 03: Holzquerschnitt mit Bezeichnungen

längs bzw. parallel dazu. Da es sich aber um einen Naturrohstoff handelt, welcher durch unterschiedliche Bedingungen immer ein wenig differenziert in Erscheinung treten kann, hat dies in Vergangenheit die statische Vorhersage erschwert, weshalb man versucht hat standardisierte Produkte zu erzeugen. [13] Die zweite wesentliche Eigenschaft ist Hygroskopie. Darunter versteht man die Fähigkeit Feuchtigkeit aus der Umgebung kontrolliert aufzunehmen und wieder abzugeben. Dies betreibt Holz, indem es das Wasser über das Hirnholz in seinen Zellstrukturen speichert. Die Aufnahme bzw. Abgabe bezeichnet man auch als Quell- bzw. Schwindverhalten, wobei es sich bei im Bau verwendetem Holz um einen Feuchtgehalt von etwa 30-35% handelt. Allerdings reguliert sich die Feuchte nach dem Einbau und pendelt sich, je nach Gegebenheiten, in der Regel bei 12% ein. Der Einbau bzw. die Lage des Materials ist allerdings nicht zu vernachlässigen, weil das Schwindverhalten beispielsweise bei einem tangentialen Baustoff größer ist als bei radialem. [12]

Anisotropie und Hygroskopie sind zwar wesentliche Merkmale des Holzes, jedoch wären da noch weitere nennenswerte Eigenschaften wie die Dichte, die Behaglichkeit für den Menschen sowie seine natürliche Herkunft. Im Vergleich zu anderen Baumaterialien erzielt Holz eine hohe Festigkeit trotz geringer Dichte. Im Allgemeinen ist zu sagen, dass Nadel- bzw. Laubholz unterschiedliche Eigenschaften mit sich bringen wie die verschiedenartige Zellstruktur. Dies gilt auch für die Dichte und die daraus resultierende Festigkeit. Nadelholz weist im Regelfall eine Rohdichte von etwa 400-600 kg/m³ auf, wohingegen Laubholz bei 700 kg/m³ liegt. [2] Daher wird beispielsweise die Fichte, ein leichtes, aber festes Holz, als tragendes Element benutzt und die Bu-

che, etwas schwerer und härter, als Material für den Einsatz bei Stufen verwendet. [8] Die Baumarten splitten sich eben in zwei Kategorien auf: Nadel- und Laubhölzer. In Österreich sind vor allem die Fichte, Tanne, Kiefer und Lärche sowie die Buche und Eiche heimisch und sind die meistgenutzten Holzarten in der Baubranche. Die drei erst genannten Nadelhölzer sind sehr universell einsetzbar, werden aber im Bauwesen vorrangig für tragende Elemente, für den Innenausbau, als Holzwerkstoffe und für Möbel verwendet. Die Lärche findet aufgrund ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber der Witterung vor allem im Außenbereich Anwendung und wird dort als Fassadenelement verwendet. Die beiden Laubbäume kommen vor allem als Fußböden und beim Möbelbau zum Einsatz. Allerdings wird die Buche auch für tragende Strukturen verwendet und aus der Eiche werden Verbindungsmittel, wie Dübel erzeugt. Darüber hinaus gilt diese Baumart, gleich der Lärche, als witterungsbeständig und wird daher auch für Außenbauteile herangezogen. [2] Neben all den für den Bau notwendigen Merkmalen ist auch die Behaglichkeit für die Bewohner:innen von Gebäuden eine gute Eigenschaft des Holzes. Das Material besitzt eine warme Oberfläche, es gilt durch seine Farbe und Struktur als ästhetisch und wird von den Menschen, beim sichtbaren Einbau im Gebäude, allgemein als angenehm empfunden. [12] Neben diesen psychologischen Faktoren des Holzes ist es vor allem auch die biologische Zusammensetzung des Materials, welche eine positive Eigenschaft ist. Durch die natürliche Abbaubarkeit des Baustoffes wird in ferner Zukunft eines Gebäudes kein Problem gebildet. Abgesehen davon ist Österreich zu 48% mit Wald bedeckt. [14] Das häufige Vorkommen und der Grundsatz von Carl von Carlowitz würden demnach eine gesteigerte Nutzung problemlos

zulassen. Allerdings bedeutet seine naturbedingte Eigenschaft wiederum, dass der Rohstoff während seiner Lebensdauer bzw. während dieser im Einsatz ist von Feinden geschützt werden muss. Zu diesen zählen Insekten als auch Bakterien und Pilze. [12]

Anwendung

Holz ist vielfältig einsetzbar: ob im Hoch- oder im Tiefbau, ob als Möbel oder Alltagsgegenstand, im Schiffs- und Flugzeugbau. Beinahe in jeder Lebenslage begegnet man dieser Ressource in irgendeiner Form. Da es sich bei der Arbeit aber um ein bestimmtes Einsatzgebiet dieses Materials handelt, wird im Punkt der Anwendung auch nur speziell auf dieses eingegangen. Hierfür kommt Holz vor allem im Mehrgeschossigen Holzbau zum Einsatz. Sortiert wird es hierfür allgemein betrachtet in zwei Gruppen: Holz mit tragender Funktion und Holz mit nichttragender, aussteifender oder bekleidender Funktion. Unter ersterem versteht man vor allem als Überbegriff das Konstruktionsvollholz. Hierzu zählen die Unterkategorien Vollholz mit dessen Sparte Kantholz und keilgezinktes Konstruktionsvollholz, das Leimholz, zu welchem die verschiedenen Verleimungsarten zählen, wie zweifach, dreifach und kreuzverleimt, und die Unterkategorie Brettschichtholz, welches mehrfach verleimt ist. Zu der Gruppe „nichttragende Funktion“ gehören jegliche Plattenerzeugnisse wie Holzfaserplatten, Spannplatten, OSB-Platten, Sperrholz, Mehrschichtplatten, das Massivholz breitenverleimt sowie die Hobelware. [2] [8]

Für den späteren Entwurf werden allerdings nur das Konstruktionsvollholz in Form von punktförmigen Lastabtragungen, das Brettsperrholz (BSP) oder das Brettstapelholz in Form von Decken sowie plattenförmige Erzeugnisse in Form von Holzfaser-

dämmplatten zum Einsatz kommen. Daher wird in nachfolgenden Absätzen nur auf diese Holzprodukte eingegangen.

Konstruktionsvollholz

(siehe Abbildung 4) - welches auch als Bauschnittholz oder nur Vollholz bezeichnet wird, ist Holz, dass in der Regel aus einem Stück aus einem Baumstamm herausgeschnitten wird. Dies weist einen rechteckigen Querschnitt auf und besteht aus Nadel- oder Laubholz. Das Konstruktionsvollholz unterscheidet sich hierbei allerdings insofern, dass die Qualität zumeist besser ist als bei Bauschnittholz oder Vollholz. Darüber hinaus gibt es auch die Unterscheidung, ob das Produkt in seinem Einbau sichtbar ist oder nicht. Das Material kann durch Keilzink-Verbindungen auch für größere Elemente verwendet werden. [12]

Brettsperrholz

(siehe Abbildung 5) - ist ebenfalls ein Massivholzprodukt und wird aus mehreren Schichten gefertigt. Diese werden abwechselnd, 90° horizontal verdreht zueinander, meist verleimt, aber auch verdübelt und die einzelnen Lagen werden in Längsrichtung keilverzinkt. Hinsichtlich der Zerlegbarkeit eines Gebäudes ist die verdübelte Variante eine ressourcenschonendere, allerdings kann eine solche Decke auch als gesamtes Element in einem späteren Zyklus wieder- bzw. weiterverwendet werden. Das gesamte Plattenprodukt ist ein statisch hochwertiges Produkt, hat eine bevorzugte Spannrichtung, welche im Planungsprozess berücksichtigt werden sollte und kann, je nach optischem Erfordernis, als sichtbares oder nicht-sichtbares Element hergestellt werden. Verwendet werden die BSP-Erzeugnisse als Wand- oder Deckenscheiben. [2]

Brettstapelbauweise

(siehe Abbildung 6) - ist ähnlich dem Brettsperrholzbau und besteht aus einzelnen, massiven Hölzern, welche stehend miteinander durch Verleimen oder durch Holzdübel oder Nägel kraftschlüssig verbunden werden. Um längere Erzeugnisse zu produzieren, werden die einzelnen Teile keilverzinkt. In die Breite werden die Platten ebenfalls mit Steckverbindern vereint. Die einzelnen Bretter sind meist zwischen 24-30 mm dick und das gesamte Brettstapelement ist, je nach horizontalem oder vertikalem Einsatz, 8-12 bzw. 12-20 cm stark. Gleich wie bei BSP-Erzeugnissen gibt es eine bevorzugte Spannrichtung, wobei beim Brettstapelbau die zu einer großen Platte zusammengeschlossenen Lamellen durch ihr Stabförmigkeit wie ein Balken oder Träger wirken. Für einen späteren Rückbau von diesen Bauteilen ist die Verbindung der einzelnen Lamellen, sowie der Platten, mittels Holzdübel zu bevorzugen. Diese können, ohne einer aufwendigen Trennung, gemeinsam mit den Holzbrettern verwertet werden. [2] [8] [11]

Holzfaserdämmplatte

- ist eine aus entrindeten Abfällen bestehenden Holzplatte. Diese werden vor der Herstellung solcher Platten zu feinen Fasern verarbeitet und mit Wasser zu einem Brei gemischt, geformt und anschließend gepresst und getrocknet. Zusätzlicher Klebstoff für die Fasern ist nicht notwendig, da die Verbindung durch das Lignin im Holz entsteht. Die Erzeugnisse können durch Nut und Feder zusammengeschlossen werden und sind somit leicht verlegbar. Die Holzfaserdämmplatten können sowohl als Wanddämmung als auch als Trittschall-, Sparen- oder Flachdachdämmung verwendet werden und sind mit einer Wärmeleitfähigkeit von etwa 0,04-0,05 W/mK anderen Dämmprodukten gegenüber sehr konkur-



Abbildung 04: Konstruktionsvollholz



Abbildung 05: Brettsperrholz



Abbildung 06: Brettstapelbauweise

renzfähig. [66]

Brandschutz

Holz ist ein biologisches Material und ist brennbar. Dies ist unter kontrollierten Bedingungen von Vorteil und wird zur Erzeugung von Licht und Wärme sowie Energie genutzt. Allerdings gibt es auch Fälle, in denen diese Eigenschaft des Baustoffes von Nachteil ist und Schaden verursacht. [8] Oft ist es auch die Angst, die geschichtlich bedingt in den Menschen steckt. Zu gut sind die Erinnerungen an vergangene Brandkatastrophen, bei welchen allerdings wesentliche Aspekte, wie offene Feuerstellen in den Häusern sowie die fehlenden Brandschutzvorkehrungen außer Acht gelassen wurden. Derartige Schutzmaßnahmen, welche die Grundlagen der heutigen Berufsfeuerwehr waren, wurden in Wien beispielsweise erst um 1650 geschaffen. [2] Als wohl tragischstes Ereignis innerhalb Europas ist wohl der Großbrand in London 1666 zu betrachten - 80% der Gebäude wurden hierbei zerstört. Außerhalb des Kontinents war es wohl die Katastrophe in Chicago 1871, bei welcher mehr als 17.500 Bauwerke zerstört wurden. Derartige Ereignisse ließen regierenden Machthaber Gesetze und Verordnungen verabschieden, welche darauf abzielten, Neubauten nur noch aus Mauerwerk, Naturstein, Terracotta und später Stahl und Beton zu errichten. Dies wurde unterstützt von Versicherungen, welche höhere Versicherungssummen für neu zu errichtenden Gebäude aus Holz und niedrigere für aus zuvor erwähnten Materialien veranlassten. [13] Bei dieser Betrachtung wird zudem noch ein weiterer wichtiger Faktor vernachlässigt: das Brandentstehungsrisiko. Die Konstruktion selbst stellt kein Risiko da. So ist es nicht das Holz, welches grundlos zu brennen beginnt. Vielmehr ist es das Fehlverhalten der Men-

schen sowie die technischen Installationen. [11]

Um Materialien richtig einzuordnen und diese auch einzusetzen gibt es verschiedene wesentliche Merkmale: die Gebäudeklasse, das Brandverhalten, der Feuerwiderstand sowie Brandschutzmaßnahmen. Die Gebäudeklassen teilen Bauwerke nach Größe, Höhe des obersten, zu rettendem Fußbodens sowie nach der Zugänglichkeit für die Feuerwehr, um die Lösch- und Rettungsarbeiten durchzuführen, ein. [11] Das Brandverhalten und der Feuerwiderstand sind wohl die essenziellsten Merkmale eines Baustoffes, haben aber nur bedingt miteinander zu tun und sind getrennt voneinander zu betrachten. Das Brandverhalten gibt an, ob ein Baustoff brennbar ist oder nicht, wie hoch seine Rauchentwicklung ist und ob Gefahr von herabfallenden oder -tropfenden Teilen besteht (siehe Abbildung 7). [2] [8] [11] [12]

Der Feuerwiderstand andererseits gibt an welche Fähigkeiten ein Bauteil aufweist. In der Regel gibt es hierbei drei Unterschiede, welche allerdings auch gleichzeitig auftreten können: die Tragfähigkeit eines Bauteils (R), ob dieses raumabschließend ist (E) und ob die Wärmedämmung (I) gegeben ist. Darüber hinaus gibt es noch die Klassifizierung Strahlung (W) welche allerdings wenig bekannt ist. Zusätzlich zu den verschiedenen Hauptkategorien R-E-I, ist die dahinterstehende Zahl sehr wesentlich, da diese die Minuten für ein Bauteil angibt. In dieser Zeit muss das zu betrachtende Element die jeweiligen Anforderungen erfüllen. Hinter einer Bezeichnung wie „REI90“ kann auch noch die Klassifizierung Widerstand gegen mechanische Beanspruchung (M), selbstschließende Eigenschaft (C) sowie die Rauchdichtheit (S) geschrieben stehen. [2] [8] [11] [12]

Brennbarkeit		Qualmbildung		Tropfverhalten	
A1	nicht brennbar				
B1	schwer brennbar	Q1	schwach qualmend	Tr1	nicht tropfend
B2	normal brennbar	Q2	normal qualmend	Tr2	tropfend
B3	leicht brennbar	Q3	stark qualmend	Tr3	zündend tropfen

A1, A2	nicht brennbar (kein Beitrag zum Brand)
B, C, D, E, F	brennbar

Rauchentwicklung	
s1	Rauchentwicklungsrate gering (SMOGRA < 30 m ² /s ²)
s2	Rauchentwicklungsrate normal (SMOGRA < 180 m ² /s ²)
s3	Rauchentwicklungsrate hoch (SMOGRA > 180 m ² /s ²)

brennendes Abtropfen/Abfallen	
d0	kein brennendes Abtropfen/Abfallen
d1	kein fortdauerndes brennendes Abtropfen/Abfallen
d2	brennendes Abtropfen/Abfallen

Abbildung 07: Einteilung der Brennbarkeit

Die Ziele der beiden Eigenschaften eines Bauteils, also Brandverhalten und Feuerwiderstand, dienen vor allem dazu ein Gebäude standsicher zu machen, um die Einsatzkräfte beim Betreten des Bauwerks für Lösch- und Rettungsversuche zu schützen. [13] Um den größten Schutzfaktor bei einem Gebäude zu erzielen, bedarf es möglicherweise auch gewissen Schutzmaßnahmen. Ein Gebäude zu schützen ist auf mehreren Arten möglich und muss immer pro Bauwerk betrachtet werden. Pauschal kann man sagen, dass es über konstruktive und chemische Brandschutzmaßnahmen sowie Kompensationsmaßnahmen möglich ist. Da es in der Literatur heißt, dass chemische Anstriche kaum bis gar nicht verwendet werden sollen und diese auf ein absolutes Minimum zu beschränken sind, begründet durch ein später aufwendige-

res und schwieriges Recycling des Holzes, wird nur der konstruktive Brandschutz thematisiert. Dieser kann auf zwei Arten erfolgen: einerseits kann der Holzquerschnitt erhöht werden und andererseits kann das vermeidlich brennbare Material mit nicht-brennbaren Baustoffen beplankt werden. Die Erhöhung der Holzschicht geht auf den großen Vorteil des Materials in Hinblick auf den Brandschutz zurück. Holz ist zwar ein brennbarer Rohstoff, aber, dies geschieht kontrolliert. Es lässt sich vorhersagen, welche Holzart wie schnell abbrennt. Dies kommt einerseits auf die Dichte an, andererseits darauf ob es sich um Laub- oder Nadelholz, aber auch ob es sich um ein Vollholzprodukt oder ein Holzzeugnis handelt. Im Durchschnitt weiß man allerdings, dass 0,7-0,8 mm/min abbrennen. Mit diesem Wissen lässt sich demnach ein statisch

notwendiger Querschnitt um das Produkt aus Abbrandrate und Anzahl der Minuten des geforderten Brandschutzes erhöhen, um somit den notwendigen Brandanforderungen zu entsprechen. Die andere Variante ist die der Beplankung. Hierbei wird die vermeidlich brennbare Tragstruktur mit nicht-brennbaren Platten verkleidet und es kommt zu einer sogenannten Kapselung. Dies hat vor allem den Vorteil, dass die innenliegenden Schichten nicht dem Brand ausgesetzt sind und demnach keine Feuerwiderstandsanforderung für diese gelten. Mit dieser Variante können Materialien wie Holz eingesetzt werden, da diese vollständig beplankt sind. Es gibt allerdings auch noch eine weitere Möglichkeit, mit der man die notwendigen Schutzmaßnahmen umgehen kann. Kompensationsmaßnahmen können helfen die Feuerwiderstandsanforderung zu minimieren. Damit wird es möglich Holz als sichtbares Tragelement einzusetzen. Diese Maßnahmen können Sprinkleranlagen sein, welche im Brandfall das Feuer bekämpfen oder kleinere Brandabschnitte und somit weniger Brandlast in einem kleinen Bereich. Dafür ist allerdings ein intelligent ausgearbeitetes Brandschutzkonzept erforderlich. Dies erfordert jedoch die enge Zusammenarbeit zwischen Fachleuten der Architektur, der Feuerwehr und des Brandschutzes. Sprinkleranlagen sind allerdings in Europa sehr unüblich und sind oft aus wirtschaftlichen Gründen ein Kriterium auf traditionelle Brandschutzmaßnahmen zurückzugreifen. [2] [8] [11] [13]

Unabhängig von den verwendeten Materialien sind auch die Flucht- und Rettungswege ein ausschlaggebendes Thema für den Entwurf und das Gebäude. Jedes Gebäude braucht einen sicheren Fluchtweg ins Freie. Je nach Anforderungen sowie Größe und Höhe des Gebäudes kann sich die Zahl der notwendigen Fluchttreppen-

häuser erhöhen. Außerdem bedarf es der Möglichkeit des zweiten Rettungsweges der Feuerwehr, über Balkone, Fenster oder anderen Öffnung in der Fassade. [8] [15]

Vorfertigung

Anders als im Lehm- oder Mauerbau ist die Vorfertigung im Holzbau nicht wegzudenken und durch Fortschritt der Technologie eigentlich nicht mehr anders praktiziert. Holz ist ein mit und durch Maschinen leicht bearbeitbares Material, welches sich im Werk präzise vorab fertigen lässt und welches man rasch und einfach auf der Baustelle montieren kann. Die Vorfertigung von Holzbauteilen ist allerdings erst über die Jahre entstanden und je nach Region unterschiedlich, sowohl in der Ausführung als auch im Fortschritt. Wohingegen in Europa das Vorfertigen von Teilen schon lange Zeit bewährt ist und mit Qualität verbunden ist, macht Nordamerika erst jetzt den Schritt in die Richtung der computerunterstützten Bearbeitung des Holzes und weg von ihrem traditionellen Ständerbau. [2] [13]

Die Vorfertigung im Holzbau ist allerdings ein sehr umfangreiches Thema. Da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wird nur zusammenfassend, allgemein der Fertigteilbau beschrieben und auf ausgewählte vorgefertigte Bauteile näher eingegangen.

Die Vorfertigung hängt vor allem von mehreren Faktoren ab: die Bauweise und der Vorfertigungsgrad, der Transport, die Möglichkeit der Lagerung auf der Baustelle sowie die Montagezeit und die geografische Situierung des Bauplatzes. Bei der Bauweise gibt es die Unterscheidung des Skelettbaus, des Holzrahmenbaus, des Massivholzbaus sowie der Holzblockbauweise. Die müssen allerdings nicht einzeln zur Anwendung kommen, sondern können auch kombiniert werden. Der Vorfertigungsgrad

hängt einerseits mit der Bauweise zusammen und andererseits, wie komplex das zu errichtende Gebäude ist, wie viel vorgefertigt werden soll und wie gut die Gewerke miteinander zusammenarbeiten. Das Ausmaß der Vorfertigung beginnt bei einfachen Massivholzwänden, welche den weiteren Ausbau erst auf der Baustelle erhalten, geht über vollständige vorgefertigte Außenwände, inklusive Innenverkleidung der gewählten Tragstruktur, den Fenstern und der fertigen Außenfassade, bis hin zu ganzen Raummodulen, welche sogar schon die Möblierung – oder bei Nasszellen die Sanitärversorgungen – enthalten können. Beim Transport kommt es vor allem auf Größe und Gewicht der Bauteile an. Diese zwei Faktoren gilt es bei der Vorfertigung einzuhalten, da sonst ein Transport nicht möglich ist. Die geografische Situierung des Bauplatzes hängt stark auch mit den Lagermöglichkeiten auf der Baustelle zusammen, da es innerstädtisch weniger bis gar keine Möglichkeit der Zwischenlagerung von Materialien gibt, auf der grünen Wiese hingegen umso mehr. Dies ist allerdings für die Vorfertigung nicht relevant, da vorgefertigte Bauteile ohnehin beim Antransport auf die Baustelle gleich versetzt und montiert werden. Zuletzt ist auch die Montagezeit entscheidend, da sich diese durch die nur noch zu versetzenden und miteinander kraftschlüssig zu verbindenden Elemente wesentlich verkürzt und somit auch die Baustellendauer verringert. Dies wirkt sich positiv auf Nachbarschaft und Umwelt aus. [2] [8] [11] [13]

Holzrahmbauwände stellen den höchsten Grad der Vorfertigung dar. Bei diesen wird die Tragstruktur, vereint mit der Dämmung, Fenster, Innen- und Außenbekleidung, selbst Sanitär, Elektro und Heizung im Werk vorgefertigt. Dies bedarf zwar längere Planungszeit und Vorarbeit im Werk, allerdings ist damit auch eine passgenaue und quali-

tativ, hochwertige Arbeit möglich. [2]

Kreislaufverhalten, Recycling, Rückbaubarkeit

Holz ist ein nachwachsendes Produkt, vom Pflanzen und der Sonne produziert und von den Menschen bewirtschaftet. Das Holz, respektive der Wald, betreibt nicht nur Fotosynthese, produziert Sauerstoff und ist Kohlenstoffspeicher, sondern liefert ein hervorragendes Baumaterial und ist zugleich selbst in der Abfallproduktion nützlich. Die Nutzung des nachhaltigen, klimapositiven Rohstoffes wird besonders auch durch das große Vorkommen und die heimische Erzeugung von Folgeprodukten des Holzes verstärkt und ausgebaut. [2] Wälder zählen also als CO₂-Speicher und sind enorm wichtig für den Klimaschutz. Allerdings muss hierbei auf den sogenannten Stammholzzuwachs geachtet werden. Unter diesem Begriff versteht man die jährliche Zunahme an Holzvolumen im Wald. Dieser ist entscheidend da Jungbäume viel CO₂ speichern, überständige Bäume keines und verrottende Kohlenstoff freigeben. Daher ist es wichtig darauf zu achten, dass Wälder nachhaltig bewirtschaftet werden. Dies bedeutet, dass die Holzentnahme nicht unter dem Stammholzzuwachs liegt, da sonst der Altholzbestand zu groß wäre, aber sich auch nicht darüber befinden darf, da es dadurch zu einer Rodung des Waldes kommen würde. [13] Entscheidend für das Kreislaufverhalten von Holz, dem Rückbau von Holzprodukten und das Wiederwenden bzw. Wiederverwerten sind vor allem folgende Aspekte: das Holzprodukt selbst, die Konstruktion eines Gebäudes, die Fügechnik der Konstruktion, der Holzschutz während des Gebäudezyklus sowie die Nachfrage nach recyceltem Holz. [5] [11] Ob eine Vollholzstütze, eine massive Brettstapelholzplatte oder eine Spannplatte

zum Einsatz kommt ist im Hinblick auf das Recycling jedenfalls zu unterscheiden. Im Kreislaufverhalten des Baustoffes gesehen macht es folgenden Unterschied: die Vollholzstütze kann ganz nach den Prinzipien der Substitutionseffekte als auch der Kaskadennutzung stofflich weiterverwendet werden. Hierbei ist allerdings vorher erwähnter Holzschutz entscheidend, da beispielsweise bei einem chemischen Brandschutz, im Vergleich zum Konstruktiven, die Vollholzstütze mit hoher Wahrscheinlichkeit nur noch energetisch verwertet werden könnte. Die Brettstapelholzplatte punktet mit ihrer klebefreien Verbindung und kann ebenso wie die Stütze stofflich weiterverwendet werden. Zwar in einem anderen Stadium, da es sich hier um kleinteiligere Stücke handelt, und abermals nur unter Berücksichtigung der Natürlichkeit dieser, aber dennoch entscheidender als eine Spannplatte. Diese kann aufgrund ihrer Kleinteiligkeit der einzelnen Holzbestandteile sowie ihrer Menge an enthaltendem Klebstoff lediglich energetisch verwertet werden. Nun ist hier allerdings dem Baustoff Holz der Vorteil zuzusprechen, dass dieser kein Abfall produziert und bis auf das kleinste Teil als Brennmaterial verwendet werden kann. Dies ist wie im Thema „Recycling“ beschrieben jedoch erst als letzte Möglichkeit heranzuziehen, da gespeichertes CO₂ somit wieder freigesetzt werden würde. [5] [11]

Bezogen auf die Konstruktion des Gebäudes und deren Fügetechnik ist speziell darauf zu achten, dass Schraub- und Steckverbindungen den Klebeverbindungen vorzuziehen sind. Werden hochwertige und noch am Beginn des Holzkreislauf stehende massive Produkte miteinander verklebt, anstatt diese zimmermannsmäßig zu verbinden, nimmt man sich die Möglichkeit, das Produkt lange zu erhalten. Einerseits können hier, vorgefertigte und in der Pla-

nungsphase gut überlegte Bauteile dagegen steuern, da diese vielseitig einsetzbar und materialsparend sind. Andererseits ist darauf zu achten, je aufwendiger ein Herstellungsprozess ist, desto weniger CO₂ einsparender ist ein Holzprodukt.

Auch die Nachfrage nach recyceltem Holz und die rechtliche Grundlage ist hierbei wichtig. Ist kein Markt für wieder- und weiterverwendbares Material vorhanden und gibt es keine Normen, die das grundsätzlich regeln, gibt es auch kein Potential ein Gebäude in seinem Kreislauf langlebig zu planen und das Holz später zu recyceln. [2] [5] [11]

LEHM

Lehm besteht vollständig aus nachwachsenden Produkten und ist somit ein nachhaltiger Baustoff. Die Zusammensetzung von Lehm variiert je nach Bauplatz bzw. Region stark und ist daher für jeden Gebrauch, sofern der eigens vorkommende Lehm verwendet wird, gesondert zu betrachten. Allgemein setzt sich Lehm aus drei Sedimenten unterschiedlicher Korngrößen zusammen: Sand, Schluff und Ton. Zudem unterscheidet man Lehm in drei verschiedene Stufen der Kohäsion: mager, fett und Ton. Je nachdem wie sehr die einzelnen Bestandteile ihren Zusammenhalt finden, stuft man Lehm in einer der drei Arten, oder in Abstufungen dieser, ein. [16] Lehm, präzisiert gesagt, im ersten Schritt noch Naturlehm, ist demnach ein Verwitterungsprodukt aus Flora und Fauna, ist Bestandteil der obersten Erdschicht des Planetens und ist daher nahezu überall zu finden. Die Abstufungen von Naturlehm, wie Löss, Geschiebelehm, Verwitterungslehm, Ge-

hängelehm und Tone, unterscheiden sich in ihren Sieblinien und Korngrößenverteilung sowie der über die Jahrtausende entstandene unterschiedliche Bodenzusammensetzung von Kleinstteilen. [3] Die hierfür erforderliche Tiefe der Materie ist allerdings der Bodenkunde zuzuschreiben und ist für diese Arbeit, Forschungsfrage und Entwurf nicht relevant. Baulehm ist jener Teil, welcher für Lehmbaustoffe geeignet ist. Dies kann Naturlehm sein, sobald dieser aus dem Boden entnommen wurde, oder aber Lehm, der dem Stoffkreislauf zurückgeführt wird. Der Baulehm lässt sich in Grubenlehm, Trockenlehm, Tonmehl und Recyclelehm unterteilen. Grubenlehm ist je nach Region, aufgrund seiner Zusammensetzung, unterschiedlich und kann in der Gewinnung und Verwertung verschiedene Stufen der Plastizität aufweisen und sich in seiner Endfarbe unterscheiden. Grubenlehm wird in der Branche als „Häuslbauer“-Lehm, für den Eigengebrauch, bezeichnet. Als Trockenlehm kann man das Produkt aus getrocknetem, gemahlenem Lehm verstehen, welcher für Putze verwendet wird oder als Anstrich für Hölzer zum Einsatz kommt. Tonmehl weist gleich wie der Trockenlehm keine Kies- und Steinteile in der Korngrößenverteilung auf, sondern besteht hauptsächlich aus Ton und Schluff. Verwendet wird dieser für die Veränderung der Plastizität von Baulehmen und kann mit der Zugabe von Sand auch zu Lehmplatten weiterverarbeitet werden. Recyclelehm ist abgebrochener und wieder aufbereiteter Lehm. Hierbei ist auf die Verunreinigung durch Schädlinge bzw. Salze, aber auch auf Geruchsverunreinigung zu achten. [3]

Um Anwendung im Bauwesen zu finden, muss Lehm zuvor allerdings geprüft werden. Da die Prüfung von Lehm aber sehr tief in die Materie der Materialkunde und Materialprüfung eintaucht, werden nach-

stehend nur die zwei wesentlichen Unterscheidungen genannt und kurz beschrieben. Die ausführliche Lehmprüfung ist gegebenenfalls nachzulesen. Das Wichtigste bei der Prüfung von Lehm ist, festzustellen, ob es sich um geeignetes Material für Lehmbaustoffe handelt. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen einfachen Versuchen, sogenannten Handprüfverfahren, und den Laborprüfungen. Die Laborprüfungen beinhalten grundsätzlich die gleichen, genormten Prüfverfahren, wie im Erd- und Grundbau. Da es sich bei Fertigteilelementen von Lehmbaustoffen, wobei die Aspekte der Vorfertigung in weiterer Folge behandelt werden, um bereits im Labor geprüfte Lehme handelt, werden nachfolgend lediglich die einfachen Versuche näher beschrieben. Die Handprüfverfahren erfordern Erfahrung und sind selbst bei Durchführung von Expert:innen beim Aufkommen von Zweifeln im Labor nach zu prüfen. Acht bekannte Versuche werden für die Feststellung durchgeführt. Die Kugelformprobe, die Kugelfallprobe und der Schneideversuche geben hierbei Aufschluss über die Bindekraft des Lehms. Fetter Lehm bleibt beim Formen mehrerer Kugeln an den Händen kleben, besteht die Fallprobe aus 80 cm Höhe und zerspringt nicht und glänzt beim Durchschneiden einer Probe auf der Schnittfläche. Mageres Material hingegen bricht nach dem trocknen oder lässt sich erst gar nicht zu einer Kugel formen, besteht die Fallprobe nicht und zerbröckelt zu kleinen Teilen und weist eine stumpfe Oberfläche beim Schneideversuch auf. Der Trockenheitsversuch, der Reibeversuch und die Bestimmung des Mineralgerüsts zeigen die Menge des Feinkornanteils im Lehm. Getrockneter fetter Lehm lässt sich durch hohen Fingerdruck nicht entzweien und bleibt beim Reiben in den Händen kleben und fühlt sich seifig an. Magerer Lehm hingegen zerfällt bei Druck auf die Probe und

bleibt nach dem Verreiben nicht auf den Fingern kleben. Für die Bestimmung des Mineralgerüsts ist viel Erfahrung gefragt, da diese lediglich durch ihre Haptik der beinhalteten Korngrößen in grobsandig, feinsandig und schluffig unterschieden und eingeteilt werden. Beim Riechversuch lässt sich der Geruch von Hummus feststellen, sofern dieser enthalten ist, und zeigt somit einen unbrauchbaren Baulehm auf. Die Bestimmung des Kalkgehaltes wird mit einem Salzsäure-Wasser-Gemisch festgestellt und zeigt sich durch unterschiedlich starkes Aufschäumen. [16]

Anwendung

Der Baustoff Lehm ist einer der ältesten Baustoffe der Menschheit. Dieser war neben Holz und Stein jenes Material, welches von den Nachfolger:innen der Jäger:innen und Sammler:innen für die ersten Bauwerke verwendet wurde und die Sesshaftigkeit einleitete. Damals wurde der Lehm je nach Region unterschiedlich eingesetzt: in klimatischen heißen Gebieten mit kaum einem Holzbestand wurde der Baustoff in der Massivbauweise eingesetzt, anders wiederum wurde Lehm in Gegenden mit viel Wäldern als Ausfachungen der Ständerkonstruktionen oder als Putz verwendet. [3]

Das älteste bei Ausgrabungen gefundene Lehmgebäude liegt im heutigen Anatolien, bei welchem Lehmsteine und ein mit Lehm-schlag bedecktes Dach verwendet wurden. Selbst im Osten Asiens kam das Material in früherer Zeit schon zum Einsatz: beim Bau der Chinesischen Mauer wurde abschnittsweise mit Lehm gearbeitet. Der Rohstoff wurde in Form von Stampflehm eingesetzt und fand somit bereits vor 2200 Jahren seinen Einsatz. [3]

Durch jährliche Überschwemmungen des Nils und ständige Bewässerung des Bodens, wurde dieser von den Einwohnern

Ägyptens zu Ziegeln verarbeitet. Teilweise wurden durch Beigabe von Zuschlagstoffen oder durch Brennen der Steine höhere Festigkeiten erzielt. Die Geschichte des Lehms zieht sich noch durch viele weitere Gebiete und Länder und reicht auch in diesen bis weit in die Vergangenheit zurück. Usbekistan, Afghanistan, Pakistan, selbst Peru aber auch die USA sind nur einige Regionen mit einer langen Verbundenheit zu diesem vielseitig einsetzbaren, traditionellen Baustoff. Einige von den Bauten gehören zum UNESCO Weltkulturerbe wie das „Pueblo de Taos“ in New Mexiko. [3]

Für die Anwendung des Materials von Bedeutung ist vor allem auch die Formgebung. Damals mehr als heute, gibt es die bildsame Formgestaltung sowie die Pressformgebung. Das manuelle Formen von unregelmäßigen streifen-, kugel- und steinförmigen Lehmbatzen, welche übereinandergeschichtet und abschließend mit zusätzlichem Lehm verstrichen werden, zählt genauso zu der bildsamen Formgebung wie die „Pätzen“-Methode.

Bei dieser wird der Baustoff sehr feucht in eine Form gefüllt, ähnliche Formen wie bei Lehmsteinen, welche jedoch im Vergleich zu der manuellen Form bereits eine Regelmäßigkeit aufweisen. Das Strangformen zählt zwar zu der bildsamen Methode, gleicht aber der Pressformgebung und ist den heutigen Anwendungen von Lehm nicht fern. Bei dieser wird die Masse durch ein Gerät gedrückt, auf der einen Seite verdichtet und als Endlosstrang auf der anderen Seite wieder ausgegeben und nach belieben abgeschnitten. Diese Art der Herstellung von Steinen kennt man heute von der Ziegelindustrie. [3]

Bei der Pressformgebung werden zwei Arten der Herstellung unterschieden: der elementierten und der bauteilbildenden Formgestaltung. Bei der ersten Methode werden vorwiegend Lehmsteine und -plat-

ten hergestellt, bei der Zweiten wird das Material zu einem Bauteil verdichtet und bildet horizontale bzw. vertikale flächige Scheiben in Form von Fußböden bzw. Wänden. Bei der elementierten Erzeugungsförmung wird hoher Druck auf mit Lehm gefüllte Formen, ein- oder zweiseitig, angebracht, wodurch der Baustoff gepresst wird und somit das Endprodukt erzeugt wird. Hierfür kamen in der Vergangenheit und kommen heute noch verschiedenste Hilfsmittel zum Einsatz. Bei diesen kann es sich um klassische Stampfverdichter sowie Hand- bzw. Kniehebelpressen handeln, aber auch motorisierte bzw. hydraulisch betriebene, leichte und schwere Gerätschaften und Pressen kommen zum Einsatz. Die bauteilbildende Formgebung ist dem Betonbau sehr ähnlich: für die Errichtung solcher Bauteile werden Schalungen benötigt und das Material, der Lehm, wird in die zuvor angebrachte Form gefüllt. Hierbei ist einerseits zu unterscheiden, ob es sich um eine zu errichtende Wand oder Decke handelt, und andererseits ist die Art der Verdichtungsform zu differenzieren. Verschiedene Walzen, Hand- oder Elektrostamper, Rüttelplatten sowie die statische Verdichtung zählen zu den Möglichkeiten den Lehm in einer Schalung zu verdichten. [3]

Heute erlangt der altbewerte Baustoff immer mehr an Bedeutung und kommt immer häufiger zum Einsatz. So findet Lehm seine Anwendung in tragender Funktion als Stampflehm oder als Lehmbaustein. Darüber hinaus gibt es ihn als Lehmbauplatten, er kann als Ausfachung dienen, als Putz verwendet werden, in Decken als Lehmschüttung seine Anwendung finden und auch als Fußboden ist er geeignet. Der Baustoff unterscheidet sich in seinem Endprodukt vor allem durch die Aufbereitung, die Herstellung im Allgemeinen sowie die Beimengung von Zusatzstoffen, welche Eigenschaften wie die Empfindlichkeit auf

Wasser, die Abrieb-, Druck- und Zugfestigkeit sowie die Wärmedämmung beeinflussen. [16]

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird jedoch aufgrund der konkreten Anwendung im späteren Entwurf nur auf Stampflehm, Leichtlehm, Lehmschüttungen sowie Lehmplatten eingegangen.

Bevor allerdings die einzelnen Anwendungsgebiete thematisiert werden, wird ein wichtiger Aspekt des Baustoffes beleuchtet: die Trocknungszeit.

Lehm muss ausreichend trocknen, da er sonst während seiner Nutzung zu schimmeln beginnt und angrenzende Holzbauteile verfaulen lässt. Es kommt jedoch auf die spätere Verwendung des Materials an, wie dieser Baustoff ideal trocknet. [17] Allgemein ist allerdings zu sagen, dass die Trocknung von der Jahreszeit, der Einbaufeuchte, der Bauteildicke sowie der Lage, ob außen oder innen, und dem Witterschutz abhängt. [16] Speziell durch die Jahreszeit- und Wetterabhängigkeit erfordert die Trocknung, dass in den ersten warmen Monaten im Jahr mit dem Bau begonnen wird, um spätestens im September bis Oktober verputzen zu können. Es gibt allerdings auch die Möglichkeit der künstlichen Trocknung. Viel mehr kommt es jedoch auch auf die Verwendung an: so können Steine, an allen frostfreien Tagen und Platten immer verarbeitet werden. Plattenförmige Erzeugnisse müssen vor dem Trockeneinbau allerdings bei ihrer Herstellung selbst an Orten trocken, welche vor der Witterung geschützt sein und möglichst viel Licht erhalten müssen. Optimalerweise werden diese in platzsparenden Regalen gelagert. Die Trocknung von solchen Lehmplatten, aber auch von Putzen, muss rasch erfolgen und optimal durchlüftet werden. [3] [17] Es gibt bei der Trocknung drei Phasen. In der ersten Phase wandert das Porenwasser an

die Oberfläche. In der zweiten Phase arbeitet sich die trockene Oberfläche immer weiter in den Kern vor – hierbei setzt der Masseverlust ein und es besteht die Gefahr von Rissbildungen. Im dritten Abschnitt ist schließlich die vollständige Austrocknung erreicht (es bleibt ein gewisser Restfeuchtegehalt im Lehm vorhanden), um das Produkt optimal weiterverarbeiten zu können. [3] Anders als bei den Platten und dem Putz dauert die Trocknung von massiven Stampflehmwänden länger. Eine Kombination von Lehmbaustoffen, welche im nassen und trocknen Zustand verarbeitet werden, ist zielführend da man hierbei unabhängiger der Witterungs- und Wetterbedingungen wird. [17] Aus Gründen der Trocknungszeit sowie der Tatsache, dass Lehm nass verarbeitet wird, ist das Thema „Vorfertigung“ speziell auch bei diesem Baustoff wichtig, weshalb es in weiterer Folge konkreter thematisiert wird.

Stampflehm (Abbildung 08)

Stampflehm existiert bereits seit 10.000 v.Chr. Damals wurde er in der heute bekannten Technik errichtet: mittels einer Schalung. Somit ist der Stampflehm vom Prinzip der eigentlichen Erzeugung dem Betonbau nicht sehr fern.

Für Stampflehm wird erdfeuchter Lehm verwendet und in die Schalung eingebracht. [18] Die historischen Schalungen bestanden aus seitlichen Holztafeln, Jochen, welche die Schalplatten hielten und den Verdichtungsdruck aufnahmen, sowie querlaufende Spannanker, welche dafür zuständig waren, dass die Wandstärke gleich blieb und das System zusammenhielt. Heutige Schalungssysteme sind dem des Betonbaus sehr ähnlich. Diese können Kräfte von ca. 60 kN/m² aufnehmen und werden innenseitig mit Leinöl bestrichen, um eine leichte Trennbarkeit des fertig gestampften Materials und der Schalung zu

gewährleisten. [3] Der Lehm wird schichtenweise eingefüllt und muss alle zehn Zentimeter gestampft werden. Früher geschah dies mit Handstampfern, welche aus Holz oder Metall bestanden, heute entsteht eine solche Wand allerdings mit pneumatischen oder elektrisch betriebenen Stampfern. Je nach Art der Herstellung wird dieser Vorgang mehrmals wiederholt, es sei denn, es wird gleich zu Beginn eine Schalung für eine raumhohe Wand gefertigt. Fertig verdichtet ist der Lehm sobald sich bei maximalem Kraftaufwand mit dem Daumen der gestampfte Abschnitt nicht mehr eindrücken lässt. [18] Die Dichte des fertig verdichteten und trockenen Lehms beträgt in etwa 1700-2200 kg/m³. [3] Nach dem Ausschalen muss die Oberfläche einer Stampflehmwand nicht mehr verputzt werden, da sie widerstandsfähig und glatt genug ist und sogar durch unterschiedliche Farben des Materials eine gewisse Ästhetik mit sich bringen kann. [18]

Dies kann in horizontaler Ebene ähnlich praktiziert werden, um gestampfte Fußböden herzustellen. Derartige Böden wurden schon damals in der „guten Stube“, in Wirtschaftsbereichen aber auch in Kellerböden für eine gute Lagerung von Obst und Gemüse verwendet. Die historische Herstellung eines solchen Stampflehmfußbodens begann mit einer zehn Zentimeter dicken Schicht aus fettem Lehm. Diese wurde gemäß dem Wissen von vertikalen Elementen gestampft und anschließend wurden 20-25 cm Kies, der heutigen Rollierung gleichbedeutend, aufgeschüttet. Darauf wurden ähnlich wie bei der Herstellung einer Stampflehmwand, in drei Abschnitten, in sechs bis sieben Zentimeter dicken Schichten, Lehm aufgebracht und verdichtet. Die oberste Lage Lehm wurde durch eine gekonnte Technik von Porenwasser befreit, bis das Material speckig war. Somit wurde eine höhere Oberflächenfestigkeit erzielt

und teilweise, durch Beimengen von Rinderblut, Tiergalle oder -urin durch erneutes Anwenden der Schlagtechnik mittels flachen Bretts, ein weiteres Mal verfestigt bzw. wurde die Verschleißwiderstandsfähigkeit erhöht. [3]

Heute erlangen Stampflehböden immer mehr an Bekanntheit. Da aber die Anforderungen an einen Fußboden schon aus hygienischen Standards völlig konträr zu den damaligen sind, wird heute ein Fußboden aus Lehm mit Wachs oder ähnlichem veredelt, um einen feucht-nassen Mopp, einer Kehrmaschine sowie im Allgemeinen nassem Schuhwerk standzuhalten. Außerdem muss heute ein Stampflehboden ein Bewegungsfuge aufweisen. [3]

Leichtlehm

Leichtlehm dürfte sich schon im frühen 20. Jahrhundert aus Deutschland heraus entwickelt haben und leitete sich vom traditionellen Stroh-Lehm-Bau ab. Der Baustoff ist dem traditionellen Gemisch nicht unähnlich: Leichtlehm besteht hauptsächlich aus Stroh, oder vergleichbaren leichten Zusätzen, welches mit Lehm gebunden wird. Durch das geringe Gewicht des Strohes sowie der guten Dämmeigenschaften von diesem und den geringen Anteil an Lehm, eignete sich dieser Baustoff ideal für Ausfachung im Holzskelettbau. Damals war diese Bauweise noch als Strohlehmständerbauweise bekannt. Seit etwa 1945 wird dieses Gemisch Leichtlehm genannt und inkludiert jene Mischverhältnisse die ein Dichte von 1200 kg/m^3 unterschreiten, wobei eine mittlere Lehmmischung bei $600\text{-}800 \text{ kg/m}^3$ liegt und sehr fetter Lehm bei 300 kg/m^3 . Der Lehm wird bei dieser Art der Verwendung sehr flüssig mit dem Stroh gemischt und verarbeitet. Alternativ können aus der Mischung auch Steine geformt werden, welche getrocknet und anschließend im trockenen Verfahren in die Holzstruktur

gemauert werden können. Eine fertig ausgefachte Ständerwand kann schließlich verputzt werden oder, sollte die Mindestanforderung nicht erfüllt sein, mit zusätzlichem Dämmmaterial versehen werden. Die vorteilhaften Eigenschaften von Lehm kommen auch bei dieser Konstruktion zum Tragen: verputzt ist die Wand winddicht, durch die Kombination mit Stroh wärmedämmend, -speichernd sowie schalldämmend und bis zu einem gewissen Grad Feuerresistent. Außerdem behält Lehm auch in dieser Form seine feuchteregulierenden Eigenschaften. [17]

Lehmschüttungen (Abbildung 09)

Speziell im Holzbau gibt es ein Problem: durch die Leichtigkeit des Materials fehlt Masse im Gebäude. Somit würde sich eine Lehmschüttung gut dafür eignen. Lehmschüttungen, wobei hier ähnlich wie beim Leichtlehm, unterschieden wird in leichte ($300\text{-}1200 \text{ kg/m}^3$) und schwere (mehr als 1200 kg/m^3) Schüttungen, sind rieselfähige Lehme, welche vorrangig als Fußbodenschüttungen in Decken verwendet werden, aber auch als Auffüllmaterial zum Einsatz kommen. [3]

Werden Lehmschüttungen verwendet muss vorab eine tragende Schicht hergestellt werden, anschließend wird das Material mit der Hand oder per Pumpe eingebracht, in einer Schichtdicke von etwa sechs bis zehn Zentimeter. Sollte mehr als die angegebene Höhe erforderlich sein, muss der Lehm, gleich wie bei der Stampflehmabauweise, in Schichten verarbeitet werden. [19] Dieses Produkt kann allerdings auch mit Zusatzstoffen versehen werden und daher kommen auch Leichtlehmschüttungen zum Einsatz. Hierbei handelt sich um Rohdichten von 400 oder 800 kg/m^3 und Bauteilschichten von etwa 12 bzw. 24 cm . [20]

Lehmplatten (Abbildung 10)

Lehmplatten sind flächig erzeugte Produkte aus Lehm sowie bei Bedarf oder Anforderung auch aus Zusatzstoffen und werden in zwei Gruppen unterschieden. Zum einen gibt es Lehmplatten, welche für Balkendecken und Dachschrägen benutzt werden und keine Unterkonstruktion erfordern. Zum Anderen werden diese auch für den Trockenbau verwendet. Lehmplatten gelten als solche, wenn ihre Dichte weniger als 1200 kg/m^3 beträgt. Desweiteren wird bei der Verwendung der Platten auch zwischen Beplankung und Bekleidung unterschieden, wobei bei nachstehendem Entwurf beide dieser Varianten zur Anwendung kommen. Unter dem ersten Begriff ist das Mittragen sowie Aussteifen zu verstehen, wofür die Lehmplatten mit der Unterkonstruktion verschraubt werden oder durch ein Stecksystem lediglich auf diese geklemmt werden. Von Bekleidungen spricht man, wenn die Notwendigkeit an die Akustik, den Brandschutz oder die Optik gegeben ist. Diese Art hat keine aussteifende Funktion. Im Allgemeinen ist zu sagen, dass Lehmplatten einerseits eine Alternative zu Gipskartonplatten bilden und andererseits zu den OSB-Platten. Bei den möglichen Zusatzstoffen kann es sich um mineralische (hierzu zählen Gesteinskörnungen, Ziegelsplitt und Naturbims) und organische Pflanzenteile sowie zerkleinertes Holz handeln, wobei diese bei Beimengungen stets bekannt gegeben werden müssen. Darüber hinaus können Lehmplatten auch Schilfrohrmatten oder Naturfasergewebe enthalten, um die Biegefestigkeit zu erhöhen sowie kleine Rohre für flächige Wand- oder Deckenheizungen. [3]

Angewendet werden diese Plattenerzeugnisse vorwiegend im Innenbereich, bei witterungsgeschützten Bereichen können diese aber auch im Außenbereich angewendet werden. Allgemein wird in drei Gruppen



Abbildung 08: Stampflehm



Abbildung 09: Lehmschüttung



Abbildung 10: Lehmplatten

unterschieden: Platten, die eine Stärke von 50 mm nicht überschreiten, solche die eine Dicke von 51-125 mm aufweisen und jene die 250-300 mm stark sind, wobei letztere schon zum Stampflehm zählt. Die schlankste Gruppe findet seine Anwendung in Form von Beplankungen bzw. Bekleidungen bei Wänden, Decken sowie Dachschrägen und bei Sonderfunktionen, wie die zuvor genannten Flächenheizungen. Die 5-12,5 cm dicken Platten werden als nicht tragende Innenwände sowie Deckeneinschubplatten verwendet. [3]

Brandschutz

Lehm gilt als nicht brennbar. Das Material besteht aus drei natürlich vorkommenden Sedimenten und ist in seiner Grundform im Brandverhalten gleich wie Beton zu betrachten. Stampflehm hat ein sehr übereinstimmendes Raumgewicht, als auch die gleiche Feuerwiderstandsklasse mit Beton. Somit wird dem Stampflehm im Hinblick auf den Brandschutz der Einsatz im Bereich von Feuermauern ermöglicht. „REI90 + A2“ ist bei einer massiven Lehmwand, gemauert oder gestampft, mit einer Stärke von mindestens 24 cm kein Problem.

Schwieriger wird die Betrachtung bei der Beimengung von organischen Zusatzstoffen. Bis zu einem Gewicht von 1700 kg/m³ ist der Baustoff in die Feuerwiderstandsklasse „A“ (nicht brennbar) einzuordnen. [3] [17]

Bei leichteren Mischungen, speziell bei Leichtlehm mit einem großen Strohannteil, ist darauf zu achten, dass das Stroh vom Lehm ausreichend bedeckt ist. Dann gilt auch Leichtlehm als „schwer entflammbar“ (B1). Allerdings bedarf dieser möglicherweise einer Prüfung und ist nicht immer pauschal einzuordnen. Versuche von Leichtlehm-Probekörpern (Leichtlehm mit 500 kg/m² und Weizenstroh mit ca. 20-40

cm Länge) hinsichtlich des Brandverhaltens sowie der Feuerwiderstandsklasse zeigen: bei zehn-minütiger Befeuerung der Proben durch einen schräg angebrachten Flammenwerfer bleiben Abgastemperaturen und Flammhöhe gleich und entwickeln weder Rauch noch Geruch. Es fallen außerdem weniger als fünf Gramm an verkohltem Material von den Proben ab und diese glühen nach beenden der Versuche nur für etwa eine Minute nach. Diese Ergebnisse hinsichtlich des Brandverhaltens bedeuten, dass Leichtlehm nicht zur Ausbreitung des Brandes beiträgt und ähnlich wie Holz eine Kohleschicht bildet, welche die dahinterliegenden Materialien vor Wärme schützt. Hinsichtlich der Feuerwiderstandsklasse wurden zwei Proben geprüft, welche unterschiedliches Gewicht sowie differenzierte Putze aufwiesen. Beide wurden 45 Minuten mit einem Abstand von sieben bzw. fünfzehn Zentimeter mittels Flammenwerfer bestrahlt. Die Ergebnisse überzeugten durch eine minimale Temperaturerhöhung auf der Rückseite der Probekörper, keiner Rauchentwicklung sowie einer beinahe unbeschädigten Oberfläche nach Beenden des Versuches. Das Fazit dieses Tests war, dass Leichtlehm, im verputzten Zustand, feuerhemmende Eigenschaften aufweist, mögliche dahinterliegende Holzteile unverkohlt bleiben und eine 30–90-minütige Feuerwiderstandsklasse erreicht werden kann. [17]

Vorfertigung

Die Vorfertigung von Bauteilen, unabhängig davon ob es sich um Außenwände, Innenwände, Deckenelemente oder Stiegenläufe handelt, wird zunehmend wichtiger. Der größere Aufwand durch eine Fertigung der Bauteile im Werk ist der kürzeren Bauzeit auf der Baustelle, welche Lärm, Schmutz und Müll produziert, gegenüber-

zustellen. Die Vorfertigung hat zudem den Vorteil, dass witterungsunabhängig in großen Hallen die Bauteile unter angenehmen Bedingungen kontrolliert hergestellt werden können. Da Lehm im nassen Zustand verarbeitet wird, trocknen muss und – bei fast allen seinen Anwendungsarten – erst dann in seiner Endform weiterverarbeitet wird, lässt sich dieses Produkt gut vorfertigen. Bei dem Material ist allerdings vielmehr, als beispielsweise bei Holz, auf das Gewicht anstatt auf die größtmöglichen Transportmaße zu achten.

So werden Lehmsteine und Lehmplatten ohnehin vorab im Werk gefertigt und anschließend palettenweise auf die Baustelle transportiert. [3] [17] Hans Wegscheider, ein Holz-Lehmbau Experte, fertigt mit seiner Firma Lehmplatten vorab im Werk. Sein Wissen und seine Expertise sind in einem Interview festgehalten, in welchem er speziell auf dieses Produkt eingeht. Das „Ökomassiv-System“ ist eine Alternative zu konservativen Gipsplatten und zeigt, dass es auch nachhaltige, vorproduzierte Platten-erzeugnisse gibt, welche als Beplankungsmaterial eingesetzt werden können.

Leichtlehm wird ebenso in einer Holzständerkonstruktion in der Produktionsstätte produziert und als gesamter Bauteilaufbau geliefert. Schüttung, Mörtel und Putze werden meist in Säcke verpackt und so zu ihrem Einsatzort gebracht. Wohingegen Mörtel und Putze weniger als vorgefertigte Materialien gelten, da diese noch mit Wasser gemischt und erst dann verwendet werden können. So ist die Schüttung direkt in den Deckenaufbau einzufüllen und demnach nicht in herkömmlicher Weise eine Art der Vorfertigung. Eine massive Art der Lehmproduktion und der Grund, weshalb es bei diesem Material bei der Erzeugung im Werk speziell auf das Gewicht ankommt, ist der Stampflehmbau. [3] [17]

Der traditionelle Einsatz von Lehm im mas-

siven, tragenden Bau wird in Österreich vor allem durch einen Mann besonders vorangetrieben: Martin Rauch. Dieser fertigt mit seiner Firma bereits Stampflehmwände im Werk vor und liefert diese, anders als es die traditionelle Herstellung eigentlich mit sich bringt, in Abschnitten zur Baustelle. Vor Ort werden die Wandelemente versetzt und zu einem Wandabschnitt zusammengefügt.

Kreislaufverhalten, Recycling, Rückbaubarkeit

Das Kreislaufverhalten von Baustoffen, die Rückbaubarkeit von Bauteilen und das Recycling von Materialien wird zunehmend wichtiger und ist mit dem Begriff der Nachhaltigkeit eng verbunden. Damit sich ein Gebäude als ein nachhaltiges bezeichnen darf, gilt es nicht nur nachwachsende Rohstoffe zu verwenden, sondern es gilt auch, diese entsprechend einzusetzen. Sie sollten im Idealfall zu Beginn eines Lebenszyklus des Gebäudes zerlegbar geplant und konstruiert sein, damit diese wiederverwendet bzw. -verwertet werden können, um dadurch den Kreislauf jedes einzelnen Materials zu optimieren.

Lehm wird, nach Wunsch und Bedarf mechanisch recycelt. 2014 fielen in Deutschland in etwa 200 Mio. Tonnen Abfälle, welche durch den Bau verursacht wurden, an. Darunter fielen auch nicht verwendeter Lehmaushub. Ob Lehm allerdings recycelt und nicht als Abfallprodukt behandelt wird hängt von Faktoren wie örtlichen Gegebenheiten, Know-how von Fachpersonal, der Ressource Zeit sowie den Kosten ab. Ein weiterer wichtiger und wesentlicher Faktor ist die Tatsache, dass Lehm beim Abbruch viel Staub produziert und somit eine Belastung für die unmittelbare Umgebung ist. Zu den mechanischen Abbruchmethoden zählt das Schlagen und Hämmern, das Abbrechen, wobei hierbei nochmals unter-

schieden wird zwischen Einschlagen, Eindrücken, Einreißen sowie Abgreifen und der Säge- und Bohr-Methode. Bei ersterer werden vor allem kleinteilige oder dünn-schichtige Lehmerzeugnisse abgebrochen. Umgesetzt wird dies mit handgeführten Schlagwerkzeugen oder mithilfe von angetriebenen Abbruchgeräten. Bei dieser Methode ist vor allem die anschließende sortenreine Trennung und das Recycling leichter durchführbar, allerdings ist diese Variante aufgrund der Größe der Hilfsmittel bei massiven, tragenden Strukturen nicht ohne vorherige andere Methoden, empfehlenswert. Beim Abbrechen, unabhängig von der gewählten Art, wird die gesamte Tragstruktur abgetragen. Beim Einschlagen wird dies mittels Fallbirnen erzielt, beim Eindrücken bringt beispielsweise ein Bagger die Substanz zum Einsturz. Beim Einreißen wird das Gebäude von seinem Standort wegezogen und somit zu Fall gebracht und bei der Abgreifmethode wird schrittweise das Material mittels Greifarms eines schweren Gerätes entfernt. All diese Methoden erfordern allerdings Platz und recyceln den Lehm hierbei nicht, weshalb im Anschluss die Schlag- und Hammermethode von Vorteil wäre, um den Baustoff ausreichend zu zerkleinern, um diesen wiederverwerten zu können. Die letzte Methode, Sägen und Bohren, wird besonders bei Sanierungen eingesetzt. Bei diesen beiden Vorkehrungen werden gezielt Schnitte oder Löcher gesetzt und somit kann fehlerhafte Substanz ausgetauscht werden. [3]

Diese Methoden nehmen allerdings noch keine Rücksicht auf vorgefertigte Elemente. Diese werden im Werk vorab produziert, auf die Baustelle transportiert und dort versetzt. Jedes Bauteil, das allerdings nicht vor Ort gebaut, sondern wie ein Baukasten zusammengesetzt wird, kann auch später wieder auseinandergenommen werden. Hierbei steht die Entwicklung der Lehm-

baustoffe allerdings noch am Anfang, weshalb die Art diese „abzubrechen“ bzw. zu recyceln ebenso noch nicht praktiziert ist. Lehm, welcher besonders auch als Aushubmaterial beim Tiefbau anfällt, kann durch eine Aufbereitung weiterverwendet werden und muss nicht, wie momentan noch zum großen Teil üblich, auf Deponien gebracht werden. Dieser kann nach Aufbereitung dem Rohlehm zugemischt werden und zu Baulehm weiterverarbeitet werden. (siehe Abbildung 11) Dies würde zu Ressourcenschonung aber auch zur Abfallvermeidung führen. [3]

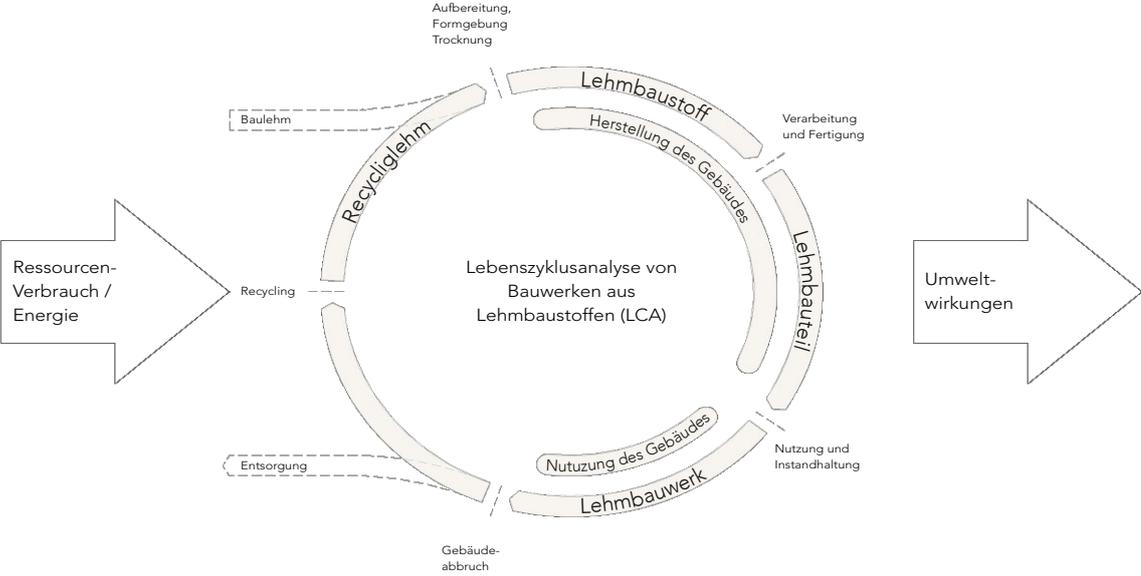


Abbildung 11: Stoffkreislauf des Baustoffes Lehm

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.

A N A L Y S E

04

Die nachfolgenden Projekte wurden alle aus einem bestimmten Grund gewählt: ihre Situierung am Bauplatz. Alle fünf Gebäude befinden sich in einer Baulücke im Stadtgebiet und sind daher sehr ähnlich zu dem nachkommenden Entwurf. Sie dienen dazu, die Schwierigkeit einer Baulückenschließung im städtischen Bereich bessern verstehen zu können. Darüber hinaus werden die Referenzprojekte einheitlich auf dieselben Schwerpunkte untersucht, welche nicht nur eine grundlegende Vergleichbarkeit dieser schaffen sollen, sondern auch eine Wichtigkeit für späteren Entwurf darstellen. Die Analyse der Projekte bezieht sich auf die Konstruktion, die Materialien, die Flexibilität, die Energieeffizienz und auf das Recyclen. Nach anfänglicher Beschreibung wird anhand der Analyseschwerpunkte eine Bewertung zu den jeweiligen Themen durchgeführt. Diese Einstufung wird für jedes Referenzprojekt vorgenommen.



Abbildung 12: BLACHE

04 ANALYSE

BLACHE

Eckdaten

Adresse: Rue du Terrage 6, Paris, Frankreich [21] [22] [23]

Bauleute: RIVP [21] [22]

Architekturbüro: MaO. architects [21] [22] [23]

Funktion: Wohnungen, Geschäft [21] [22] [23]

Baujahr: 2019-2022 [22]

Bauplatzgröße: 100 m² [21] [22]

Fläche (BGF): 318 m² [21] [22]

Geschosse: 6 [22] [23]

Materialien: Holz, Metall, Stahlbeton [21] [22] [23]

Das Wohn- und Geschäftsgebäude befindet sich in der Hauptstadt Frankreichs und gilt als Paradebeispiel für einen Baulückenschluss. Das Grundstück liegt städtebaulichen und im Kontext zu den umliegenden Baustilen gesehen in einer brisanten Lage, da auf diesem Eckgrundstück drei unterschiedliche Architekturstile aufeinandertreffen. Das Architekturbüro hat ihre Aufgabe allerdings hervorragend gelöst, da sich einerseits das Gebäude optimal in die Baulücke einfügt und es andererseits den Anschein macht, als wäre es schon immer an Ort und Stelle gewesen. Der Geschäftsraum im Erdgeschoss verbindet das Bauwerk mit dem Stadtraum. Die sechs Wohneinheiten in den fünf oberirdischen Geschossen sind als Duplex- bzw. Triplex-Wohnungen ausgebildet. [21] [22] [23]

Konstruktion

Das Bauwerk ist ausschließlich aus massiven Elementen gebaut. Sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Lage wurden Scheiben verwendet. Im Erdgeschoss ka-

men Stahlbetonwände zum Einsatz, in den oberen Geschossen Brettsperrholzwände und -decken. Der Erschließungskern wurde ebenfalls massiv und geschlossen konzipiert. Lift besitzt dieses Gebäude keinen. [22] [23]

„die Konservativen“

Da dieses Gebäude ausschließlich aus massiven Tragelementen gebaut wurde, ist es nach dem zuvor festgelegten Katalog der Analyseschwerpunkte in „Kategorie 5“ des Schwerpunkts Konstruktion einzuordnen. Aufgrund der Größe des Grundstückes von nur 100 m² sind die Grundrisse ohnehin sehr offengehalten und fast zu Gänze frei von tragenden Elementen. Trotzdem hat man auf eine massive Struktur zurückgegriffen und selbst die kaum vorhandene Statik aus Brettsperrholz konzipiert. Es gibt zwar im Vergleich zu den analysierten Projekten einen geringen Ressourcenverbrauch beim Tragwerk, allerdings ist dies nicht auf die materialarme Konstruktion zurückzuführen, sondern auf die Größe des Bauplatzes und des Bauwerks. Jedoch, wie auch schon die Beschreibung der „Kategorie 5“ besagt, bedeutet dies nicht, dass das Gebäude BLACHE nicht dennoch nachhaltig und aus nachwachsenden Rohstoffen konzipiert sein kann.

Materialien

Bei diesem Gebäude wurde sehr auf die nachhaltig geachtet, daher verwendete man, zumindest für die über dem Erdgeschoss liegenden Geschosse, Holzmassivelement. Das bodengleiche Stockwerk wurde aus Stahlbeton errichtet. Erschlossen wird das Gebäude durch ein gemauertes Stiegenhaus. Als Dämmmaterial kam Holzfaser zum Einsatz, die Innenhoffassaden sind ebenfalls aus Holz. Die straßenseitigen Fronten wurden mittels einer Metall-

haut verkleidet. Selbst im Innenraum wurde teilweise die Holzkonstruktion sichtbar belassen. Die Fenster sind Holzfenster, die Böden wurden in Linoleum oder Fliesen in den Nassräumen gehalten. Die interne Erschließung erfolgt über eine Holzstiege. [22] [23]

„beinahe perfekt“

Aufgrund des hohen Anteils an erneuerbaren Materialien wird BLACHE in „Kategorie 2“ eingeteilt. Anders als in den Analyseschwerpunkten beschrieben, ist hier nicht nur das Stiegenhaus aus mineralischen Materialien, sondern auch das Erdgeschoss. Dennoch wird das Gebäude in die zweithöchste Kategorie eingestuft, da sowohl die hofseitige Fassade als auch die wohnungsinterne Erschließung aus Holz konzipiert wurden. Darüber hinaus sind Decken und Wände sichtbar gehalten, viele Möblierungen sind aus Holz und von Tischlerhand und selbst die Fenster sind aus demselben Material. Somit sind lediglich die Erdgeschosstruktur, das Stiegenhaus sowie die Fußböden aus nicht nachwachsenden Ressourcen.

Flexibilität

Die vorgefundenen Informationen gaben keine Details zum Schwerpunkt „Flexibilität“ preis. Daher konnte das Gebäude nicht mit vorhandenem Literaturmaterial analysiert werden. Deshalb gibt es bei diesem Schwerpunkt lediglich die Bewertung durch die zuvor festgelegten Analyseschwerpunkte auf Basis von Plänen und Bildern.

„das Ende“

Dieses Bauwerk ist der Inbegriff einer nicht flexiblen Nutzung und daher in „Kategorie 3“ einzuordnen. Der kleine Bauplatz erforderte viel Geschick des Architekten-

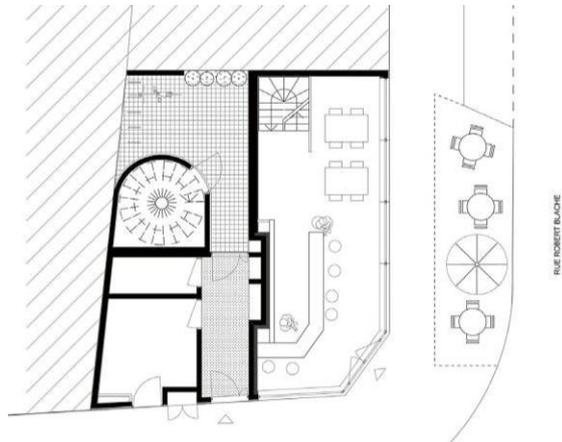


Abbildung 13: Erdgeschoss



Abbildung 14: 1.+2.Obergeschoss



Abbildung 15: 3.,4.+5.Obergeschoss

büros hier Wohnraum zu schaffen. Durch den Wunsch den Innenhof nicht zu verbauen, die Wohnung beidseitig belichten und belüften zu können und der Größe des Bauplatzes geschuldet haben MaO Architects lediglich zwei kleine Einheiten je Geschoss schaffen können. Durch die Wahl von Wandscheiben anstelle von Stützen, ist ein Stockwerk strikt eingeteilt. Das erste und zweite Obergeschoss ist in diesem Sinne konzipiert. Zusätzlich zu der strengen Aufteilung in die zwei Wohnungen wurden die obersten drei Geschosse zusammengeschlossen und zu Triplexeinheiten entworfen. Da nun auch noch das Stiegenhaus bei der dritten Etage endet, sind die dreigeschossigen Einheiten nicht anpassbar, da das vierte und fünfte Stockwerk zwingend mit dem dritten verbunden sein muss. Diese Faktoren führen dazu, dass BLACHE in die letzte der drei Kategorien eingeteilt wird.

Energieeffizienz

Durch die Holzmassivwände und der Holzfaserdämmung, sowie integriertem Son-

nenschutz ist die thermische Hülle gut gegen Wärmeverluste sowie solarer Einstrahlung geschützt. Die Wohneinheiten werden mittels Heizkessel, welche pro Einheit steuerbar sind, geheizt. Besonders hervorzuheben bei diesem Bauwerk ist das Regenwasserrückgewinnungssystem am Dach. Das Wasser wird dabei gesammelt und einerseits für Pflanzen und andererseits für die Spülung genutzt. [22] [23]

„ein großer Anteil fossil“

Da die Literaturrecherche keine Auskunft zu Herkunft von Strom gab, die Wärmeversorgung durch Heizkessel betrieben werden, ist bei beiden davon auszugehen, dass die Energie von der Stadt über das öffentliche Netz geliefert wird. Demnach müsste das Gebäude also in die letzte „Kategorie“ eingeteilt werden. Da es aber zumindest einen integrierten Sonnenschutz gibt, die Sonneneinstrahlung damit gering abgehalten werden kann, und das Wasser, welche am Dach anfällt, durch ein Rückgewinnungsanlage für Pflanzen und die Spülung verwendet wird, ist das BLACHE in „Kategorie 3“ eingeteilt worden. Besonders der nach-

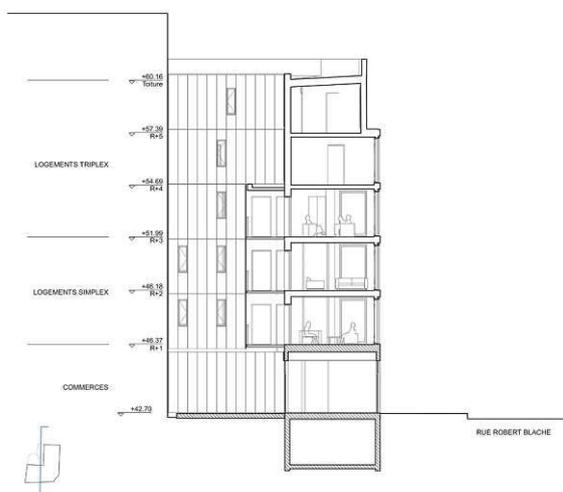


Abbildung 16: Schnitt 1

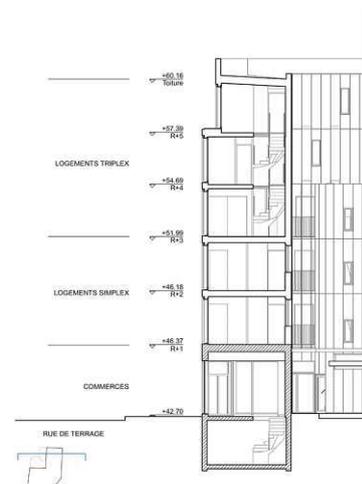


Abbildung 17: Schnitt 2

haltige Umgang mit dem Regenwasser, erlaubt es, das Gebäude eine Stufe höher einzuordnen.

Recyceln

Die vorgefundenen Informationen gaben keine Details zum Schwerpunkt „Recyceln“ preis. Daher konnte das Gebäude nicht mit vorhandenem Literaturmaterial analysiert werden. Deshalb gibt es bei diesem Schwerpunkt lediglich die Bewertung durch die zuvor festgelegten Analyseschwerpunkte auf Basis von Plänen und Bildern.

„gut rückbau- und recycelbar“

Hilfreiches Material gab es für diesen Schwerpunkt nicht, allerdings zeigt das Gebäude mit seinem hohen Anteil an Holz auf. Die Tatsache, dass ab dem ersten Obergeschoss die tragende Struktur, so-

wohl Wände als auch Decken, aus Holz sind und dieses Material auch bei der integrierten Möblierung, der internen Erschließung, den Fenstern und selbst der Dämmung verwendet wurde, lässt das Gebäude in „Kategorie 2“ einstufen. Wände und Decken aus diesem Material lassen sich durch lösbare Verbindung entzweien und machen das Recycling dieser Teile möglich. Lediglich das aus Stahlbeton bestehende Erdgeschoss und das gemauerte Stiegenhaus sind nicht rückbau- und recycelbar. Selbst die Innenhoffassade besteht aus vertikalen Holzlatten. Die straßenseitige Metallhaut könnte möglicherweise von der Holzfaserdämmung darunter getrennt werden und weiterverwendet werden oder zumindest eingeschmolzen werden.



Abbildung 18: Eine Wohnung im BLACHE

04 ANALYSE | BLACHE



Abbildung 19: BLACHE im Aufbau



Abbildung 20: BLACHE im fertigen Zustand



Abbildung 21: C13

C13

Eckdaten

Adresse: Christburgerstraße 13, Berlin, Deutschland [24] [25]

Bauleute: Stiftung für Bildung, Werte und Leben [24]

Architekturbüro: Kaden Klingbeil Architekten [24] [25]

Funktion: Mehrfachnutzung [24] [25]

Baujahr: 2013 [24] [25]

Bauplatzgröße: 900 m² [25]

Fläche (BGF): 4.673 m² [24] [25]

Geschosse: 5-7 [24] [25]

Materialien: Holz, Stahl, Stahlbeton [24] [25]

Auch das C13 ist eine sehr ansehnliche Lösung zur Baulückenschließung. Grenzt der siebengeschossige Teil des zweigeteilten Bauwerks straßenseitig zum rechten Nachbarbestandsgebäude an, so lockert der Erschließungskern den sonst geschlossenen Straßenraum auf. Gleich ist das Architekturbüro mit dem quer gestellten fünfgeschossigen Hinterhaus umgegangen: man rückte das Gebäude beidseitig von der Feuermauer ab und schuf so Innenhöfe und Zwischenräume am Grundstück. Neben Wohnungen befinden sich auch Arztpraxen, eine Beratungsstelle sowie ein Atelier, mehrere Büros, ein Kindergarten und ein Bistro mit einer Mensa für eine nahe gelegene Schule im Gebäudekomplex. [24] [25]

Konstruktion

Dieses Bauwerk zeigt nicht nur in seiner architektonischen Ausgestaltung, sondern auch in der Konstruktionsweise auf. In beiden Gebäudeteilen kommen zwar Scheiben als tragende Elemente zum Einsatz, allerdings sind diese im Straßentrakt massiv

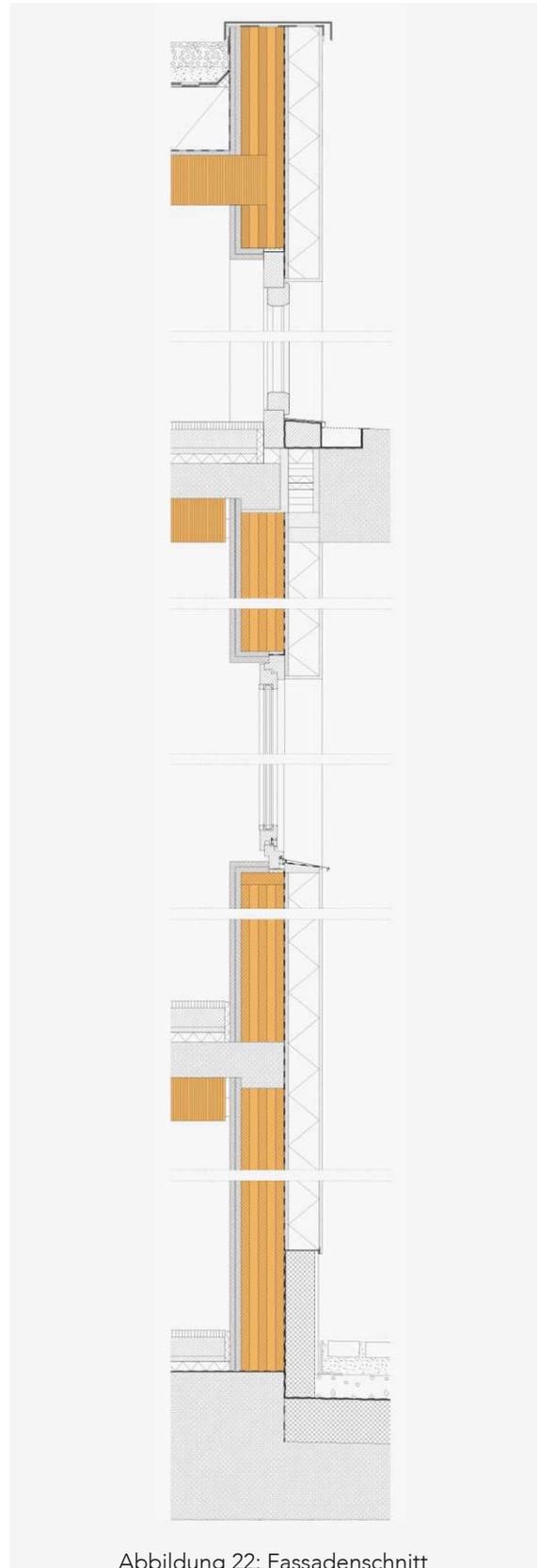


Abbildung 22: Fassadenschnitt

wohingegen die Wände im Hofgebäude in Rahmenbauweise errichtet wurden. Im Inneren des Gebäudes ist vor allem ein ressourcensparendes Stützenraster als Tragstruktur dominant. Überspannt werden diese punktförmigen Statikelemente mittels deckengleicher Stahlträger. Die Decken sind massiv konzipiert. [11] [25]

„nearly the top“

Das C13 zeigt eine sehr gute Mischung aus einer Skelettstruktur und der massiven Bauweise. Massiv bedeutet allerdings nicht gleich umweltschädlich, da auch bei diesem Projekt sehr viel Holz zum Einsatz kam. Die Ressourcenschonung im Hinblick aufs Tragwerk ist hier definitiv höher als beim Projekt BLACHE. Im Inneren des Gebäudes setzt man auf Holzstützen, die Außenhülle ist geprägt von Brettsper Holzwänden sowie von Holzrahmenelementen. Durch den Einsatz von Stützen und der Rahmenkonstruktion, welche ebenfalls aus einem Stabwerk konstruiert ist, ist der Anteil des minimalen Einsatzes der Ressource Holz höher als beim Projekt zuvor. Lediglich die massiven vertikalen als auch die hybriden horizontalen Elemente lassen den Material-

verbrauch etwas steigen.

Materialien

Sowohl Holz als auch Beton kam beim C13 zum Einsatz. Holz wurde sowohl in massiver Form bei den Brettsper Holzwänden verwendet als auch bei den Rahmenelementen. Die Stützen im Inneren des Gebäudes sind ebenso aus Holz. Einzig bei den Decken wurden zwei verschiedene Materialien verwendet: hier kam eine Holzbetonverbunddecke zum Einsatz. Die Leichtbauwände wurden aus Metall erstellt. Reiner Stahlbeton wurde speziell im Treppenhaus verwendet. [25]

„eine gute Mischung“

Das C13 liefert zwar den Anschein, als hätte man zum großen Teil nachwachsende Ressourcen eingesetzt, jedoch ist der Stahlbetonverbrauch bei diesem Bauwerk auf Augenhöhe zum Holzverbrauch. Holz kommt vor allem als tragendes Element zum Einsatz. Das offengehaltene Stiegenhaus, ein Teil der Decken als auch das Erdgeschoss sind geprägt vom Stahlbeton. Zusätzlich gibt es in der vertikalen Tragstruktur de-

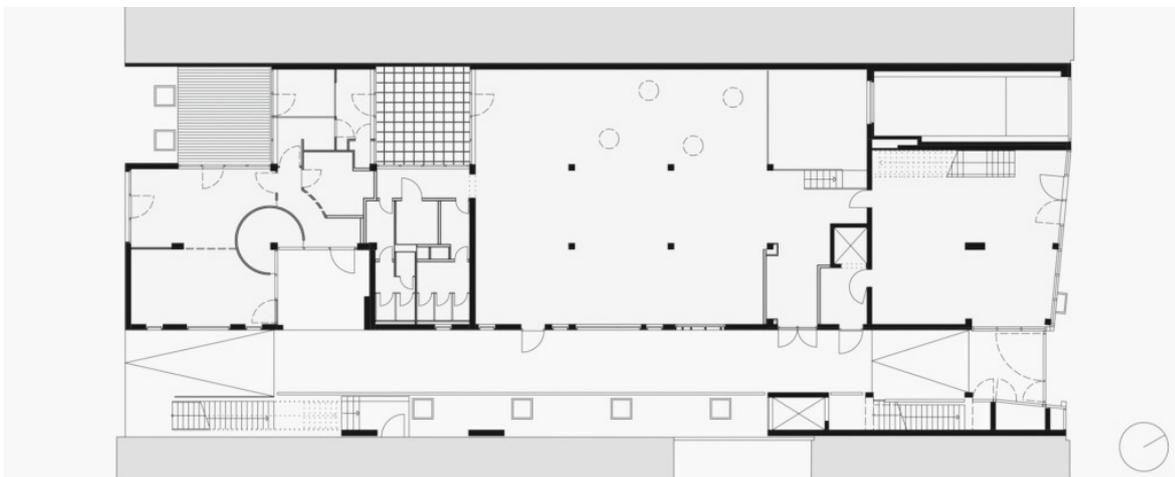


Abbildung 23: Erdgeschoss

ckengleiche Stahlträger. Mineralischer Putz an der Fassade sowie die Kapselung der Tragstruktur aus brandschutztechnischen Gründen rundet den Einsatz von fossilen Materialien ab. Aufgrund dieser bunten Mischung wurde das C13 in „Kategorie 3“ eingeteilt.

Flexibilität

Die vorgefundenen Informationen gaben keine Details zum Schwerpunkt „Flexibilität“ preis. Daher konnte das Gebäude nicht mit vorhandenem Literaturmaterial analysiert werden. Deshalb gibt es bei diesem Schwerpunkt lediglich die Bewertung durch die zuvor festgelegten Analyseschwerpunkte auf Basis von Plänen und Bildern.

„flexibel“

Ein dreidimensionaler Schnitt durch das C13 verdeutlicht die Mehrfachnutzung des Gebäudes. Diese Grafik zeigt jedoch nicht nur wie unterschiedlich sich das Bauwerk nutzen lässt, sondern verdeutlicht auch die Offenheit im Inneren. Durch den Stützenraster kann das Gebäude ohne großen Auf-

wand umgenutzt werden. Durch Entfernen oder Ergänzen von Leichtbauwände bietet das C13 viel Potential langfristig genutzt zu werden. Die Wohngeschosse sind naturgemäß etwas schwerer umzunutzen als der offene Bürogrundriss, allerdings ist selbst hier durch die Auflösung der Tragstruktur in punktförmige Elemente eine Flexibilität gegeben. Daher ist das C13 der „Kategorie 1“ zuzuordnen.

Energieeffizienz

Anders als beim Projekt BLACHE sind keine Verschattungen vorinstalliert. Allerdings gibt es eine kontrollierte Be- und Entlüftung. Auch hier erzielt das Bauwerk durch den hohen Einsatz des Baustoffes Holz in Kombination mit gut entwickelten Bauteilen, eine gute thermische Hülle. Beheizt wird das Gebäude durch eine Fußbodenheizung, welche durch eine Gas-Brennwertkessel angetrieben wird. [25]

„von der Vergangenheit betrieben“

Das C13 weist keine nachhaltigen Ansätze im Umgang mit der Energiegewinnung bzw. dem Wasserverbrauch auf. Der Strom



Abbildung 24: Obergeschoss



Abbildung 26: C13 im Aufbau



Abbildung 27: C13 vom Innenhof



Abbildung 28: Eisberg

EISBERG

Eckdaten

Adresse: Bugenhagenstraße 11, Berlin, Deutschland [26] [27] [28]

Bauleute: Privat

Architekturbüro: rundzwei Architekten [26] [27] [28]

Funktion: Wohnen [26] [27] [28]

Baujahr: 2019 [26]

Bauplatzgröße: 100 m² [26] [27]

Fläche (BGF): 895 m² [26]

Geschosse: 7 [26] [27] [28]

Materialien: Alu, Holz, Kalksandstein, Stahl, Stahlbeton [26] [27] [28]

Auch dieses Objekt gilt als ein besonderes im Bereich der Lückenschließung im innerstädtischen Bereich. Das siebengeschos- sige Gebäude fügt sich mit seiner weißen Metallfassade elegant in die Nachbarschaft ein und fällt vor allem mit seiner unkon- ventionellen Erkerform auf. Es dient aus- schließlich der Wohnnutzung, beherbergt elf Wohneinheiten und hat als weiteres besonderes Merkmal ein offen gestaltetes Stiegenhaus an der Hoffassade. Dies hat das Architekturbüro geschickt in den Grün- raum gesetzt, da so das kleine Grundstück maximal ausgenutzt werden konnte. Zu- sätzlich wurde zu diesem Projekt noch ein angrenzendes Bestandsgebäude um zwei Geschosse erweitert. [27] [28]

Konstruktion

Die Nachhaltigkeit steht bei diesem Pro- jekt auf gleicher Stufe wie die Ästhetik. Beide Themen waren von großer Bedeu- tung für die Planer:innen. Die Konstruktion des EISBERGS besteht aus einer Mischung aus Stützen und vertikalen Scheiben. Der Grundriss wurde vom Architekturbüro so konzipiert, dass pro Stockwerk zwei Woh-

nungen Platz finden. Diese sind mit einer tragenden Wandscheibe getrennt. Inner- halb der Wohneinheit befinden sich ledig- lich Stützen. Die Decken wurden ebenfalls als Scheiben entwickelt. [27] [28]

„ein Hauch von Ressourcenschonung“

Der EISBERG ist anders als die beiden Pro- jekte zuvor in „Kategorie 4“ einzuordnen. Das Tragwerk besteht überwiegend aus flä- chigen Elementen. Lediglich im Inneren des Gebäudes wurden zwei Achsen des Trag- werks durch Stützen aufgelöst. Der Rest der Statik wird von massiven Wänden über- nommen. Die Decken sind Vollholzdecken und somit auch Ressourcenverbrauchender als beispielsweise eine Balkendecke. Ein materialsparender Aspekt ist allerdings die aufgelöste Erschließung. Sowohl der Auf- zug, welcher aus Streckmetall besteht, als auch das offene Stiegenhaus, bei welchem kein Glas, sondern sparende Netzabsturz- sicherungen verwendet wurden, tragen zur Einsparung der Materialien bei.

Materialien

Da die Nachhaltigkeit bei diesem Gebäu- de im Vordergrund stand, hat man nicht nur auf Holz für Wände und Decken zurückge- griffen, sondern hat dieses zusätzlich aus der Region bezogen. Es kam außerdem Stahlbeton zum Einsatz und im speziellen Stahl. Dieser wurde verwendet um die Er- schließung, sowohl Stiegen als auch Auf- zug, zu errichten. Auf Glas wurde im Falle des Geländers verzichtet, hier wurde auf eine Netzkonstruktion gesetzt. Die Stra- ßenfassade wurde aus Aluminium gebaut, welches zu einem hohen Anteil aus recycel- ten Materialien besteht. Die Fenster sind ebenfalls Holzfenster und beim Fußboden hat man sich für Sichtestrich entschieden. Laut dem Architekturbüro besteht das Ge- bäude zu 80% aus Holz. [27] [28]

„beinahe perfekt“

Das Augenmerk lag bei diesem Bauwerk speziell auf der Nachhaltigkeit. Dies ist auch der Grund, weshalb das Gebäude in „Kategorie 2“ eingestuft wird. Nach eigenen Angaben des Architekturbüros besteht der EISBERG zum Großteil aus einem nachwachsenden Material, nämlich Holz. Zwar kam auch Stahlbeton zum Einsatz und ein hoher Teil an Stahl und Metall, allerdings gibt es zu den beiden letzten Ressourcen etwas anzumerken: die Fassade mag zwar aus Aluminium, einem nicht nachhaltigen Baustoff, bestehen, jedoch weist dieses Material einen hohen Recyclinganteil auf. Ebenso ist die leichte, offene, überwiegend aus Stahl bestehende Erschließung für einen späteren Zeitpunkt gegenüber einem konventionellen Stiegenhaus klar im Vorteil, allerdings wird dieser Punkt in späterer Analyse genauer beleuchtet.

Flexibilität

Die vorgefundenen Informationen gaben keine Details zum Schwerpunkt „Flexibilität“ preis. Daher konnte das Gebäude nicht mit vorhandenem Literaturmaterial analysiert werden. Deshalb gibt es bei diesem Schwerpunkt lediglich die Bewer-

tung durch die zuvor festgelegten Analyse-schwerpunkte auf Basis von Plänen und Bildern.

„Umnutzung möglich“

Die clevere Kombination von Stützen und Wandscheiben machen den Grundriss des EISBERGS besser als das erste Analyseprojekt umnutzbar. Daher wird dieser auch in „Kategorie 2“ eingestuft. Durch die Größe des Bauplatzes konnten hier nur zwei Wohnungen pro Stockwerk untergebracht werden. Diese sind allerdings im Inneren lediglich durch Leichtbauwände unterteilt und die tragende Struktur wurde in Stützen aufgelöst. So könnte eine Wohneinheit durch Entfernen der nichttragenden Elemente zu einem offenen Büro umgenutzt werden. Der Zusammenschluss zweier Parteien ist allerdings nur durch größeren Aufwand möglich, da die Wohnungstrennwand als tragende Scheibe ausgeführt wurde.

Energieeffizienz

Auch dieses Gebäude bildet mit seinen optimierten Bauteilaufbauten aus Holz, seinen modernen Holz-Alu-Fenstern mit Klappläden und einem extensiven Gründach eine thermisch gute Hülle. Dies



Abbildung 29: Erdgeschoss



Abbildung 30: Obergeschoss



Abbildung 31: Liftschacht



Abbildung 32: Maisonettewohnung

schaft den Niedrigenergiehausstandard für dieses Bauwerk. Gemeinsam mit einer kontrollierten Lüftung in den Nassräumen, einer Nachtlüftung bei den Fenstern sowie einer von der Fernwärme betriebenen Fußbodenheizung schafft ein angenehmes Raumklima in den Wohnungen. [27] [29]

„ein großer Anteil fossil“

Ebenso wie das BLACHE ist dieses Bauwerk in „Kategorie 3“ einzuordnen. Aufgrund der durch die Fernwärme betriebenen Fußbodenheizung und der Stromversorgung durch die Stadt hat der EISBERG keinen nachhaltigen Energieträger. Entgegen der Information über die Wärmegewinnung ist die Herkunft des Stromes eine Annahme bzw. Schlussfolgerung. Dennoch wurde das Projekt eine Stufe höher eingeteilt, da es sowohl durch den Niedrighausstandard und den Bauteilaufbauten in Kombination mit dem Sonnenschutz sowie dem extensiven Gründach Ansätze in die nachhaltige Richtung verfolgt. Der Sonnenschutz minimiert die solaren Gewinne und dadurch den Kühlbedarf, die optimierte Hülle schützt vor Wärmeverluste und das begrünte Dach speichert Wasser und trägt dazu bei, das Klima in er Stadt zu senken.

Recyclen

Ein für das Architekturbüro sehr wichtiges Thema war das Recyclen. Nicht nur bei den Materialien die verwendet wurden, sondern auch bei der Art und Weise diese zusammenzuschließen. Das Aluminiumblech, welches für die Straßenfassade verwendet wurde, besteht einerseits zu hohem Anteil aus recyceltem Material und andererseits kann dieses zur Gänze wieder verwendet werden. Um auch die anderen Baustoffe bestmöglich weiter verwenden zu können, wurden diese nur mechanisch befestigt, mit Ausnahme des Estrichs und der Putze.

[27] [29]

„gut rückbau- und recycelbar“

Der EISBERG zeigt durch die intensive Arbeit des Architekturbüros auf: Aluminium auf der Fassade, welches aus recyceltem Material besteht und selbst wieder- bzw. weiterverwendet werden kann sowie die Bevorzugung von mechanischer Verbindung. Dies ist auch aufgrund des hohen Anteils an Holz in diesem Gebäude möglich, da Holz leichtlösbare Verbindung zulässt. Stahlbetonteile werden hingegen dauerhaft miteinander verbunden. Selbst der Stahl für Aufzugsschacht und tragender Struktur des Stiegenhauses, welcher zwar ein nicht nachwachsendes Material ist, können allerdings diese Verbindungen in der Regel leicht gelöst werden, womit auch dieser Teil des Gebäudes zerlegt und recycelt werden kann. Lediglich der Estrich und die Putze wurden mit ihrem Untergrund dauerhaft verbunden. Diese Aspekte führen dazu, dass dieses Bauwerk in „Kategorie 2“ einzuteilen ist.

04 ANALYSE | EISBERG



Abbildung 33: Schnitt



Abbildung 34: Innehof des Eisberges



Abbildung 35: Straßenansicht des Eisberges



Die approbierte gedruckte Originalversion dieses Dokumentes ist abrufbar unter <http://www.bibliothek.wu.wi.ac.at>
The approved original version of this thesis is available at <http://www.bibliothek.wu.wi.ac.at>

Abbildung 36: Lange Rötterstraße

LANGE RÖTTERSTRASSE

Eckdaten

Adresse: Lange Rötterstraße 66, Mannheim, Deutschland [30] [31]

Bauleute: Edition Panorama [30] [31]

Architekturbüro: Motorlab [30] [31]

Funktion: Wohnen, Geschäft [30] [31]

Baujahr: 2011-2013 [30]

Bauplatzgröße: 420 m² [31]

Fläche (BGF): 2.088 m² [30] [31]

Geschosse: 2-7 [30] [31]

Materialien: Alu, Holz, Stahlbeton [31]

Dieses Bauwerk ist in mehreren Dingen eigen: das Konzept der Mehrfachnutzung in einem Gebäudekomplex ist ebenso spannend wie die unkonventionelle Baulückenfüllung. Straßenseitig wirkt der Baukörper durch die an die Bepflanzung im Straßenraum angelehnte Fassadenstruktur sowie die mehrfache Faltung der Dachhaut und der Verschmelzung mit der Fassade wie in die Baulücke gegossen. Hofseitig treppt sich der Siebengeschosser über einen querstehenden Bauteil sowie einem Hinterhaus bis auf zwei Stockwerke ab. Im Erdgeschoss findet man ein Café in der Langen Rötterstraße sowie eine Hebammenpraxis und ein Apartment für Gäste der Bewohner:innen aus den Wohnungen der obersten beiden Etagen im Hoftrakt. Im ersten Obergeschoss gibt es eine Kinderkrippe und vom zweiten bis zum vierten Stockwerk sind Büroräumlichkeiten beheimatet. [30] [31]

Konstruktion

Bei diesem Gebäude lag anders als beim BLACHE nicht die Nachhaltigkeit im Vordergrund, sondern die Ästhetik und die städtebauliche Einfügung. Die tragende

Struktur bilden hier Stahlbetonelemente. Sowohl Wandscheiben als auch ein Skelett sowie der massive und aussteifende Erschließungskern und die massiven Sichtbetondecken ergeben die Tragstruktur des Bauwerks. Die umschließende Gebäudehülle wird straßenseitig durch eine Rahmenbauweise sowie südlich durch großzügige Fensterflächen geschlossen. [30] [31]

„von beiden etwas“

Hier ist von jeder Tragvariante etwas vorhanden: die umschließende straßenseitige Hülle besteht aus materialsparender Rahmenstruktur, die Innere sind massive Wandschote und die aufgelöste hofseitige Glasfassade wird unterbrochen durch einen Stützenraster. Die Decken sind wieder als massives Tragelement entwickelt. Aus dieser vorhandenen Mischung ist die LANGE RÖTTERSTRASSE in „Kategorie 3“ einzuordnen. Die ressourcenschonende Bauteilvariante der Rahmenkonstruktionen sowie die der Stützen werden von den massiven Wänden und Decken ausgeglichen.

Materialien

Zu dem Stahlbeton für die Tragstruktur wurde Holz für die Rahmenbauweise, Aluminiumwinkel für die flirrende Straßenfassade und Holz-Alu-Fenster für die Belichtung verwendet. Im Bürotrakt kamen außerdem gespachtelter Estrich am Boden sowie Weißtanne-Akustikpaneele zum Einsatz. [30] [31]

„ausbaufähig“

Die wesentlichen Tragelemente dieses Gebäudes bestehen aus Stahlbeton. Zwar wurden Ressourcen gespart, da teilweise Stützen zum Einsatz kamen, jedoch bestehen sowohl die horizontalen Scheiben und die punktförmigen Lastabtragungen als auch die vertikalen Elemente des Gebäudes

aus dem grauen Baustoff. Entgegen der beispielhaften Nennung in den Analyse-schwerpunkten bei der Beschreibung dieser Kategorie kam Holz bei den großflächigen Fenstern und bei der straßenseitigen Fassade als Rahmenbauteile zum Einsatz jedoch ist dies ein verhältnismäßig geringer Teil. Die Aluminiumwinkel der Fassade des Erscheinungsbildes im Straßenraum runden den hohen Einsatz an nicht nachwachsenden Ressourcen ab.

Flexibilität

Der Schwerpunkt „Flexibilität“ wird bei diesem Projekt großgeschrieben. Da das Architekturbüro zu Beginn der Planungsphase die Nutzer:innen des Gebäudes nicht kannte, wollten sie eine Flexibilität sowohl für die Art der Nutzung als auch für die späteren Mieter:innen schaffen. Dies wurde einerseits durch einen aussteifenden Erschließungskern in Kombination mit einer stabförmigen Tragstruktur erzielt sowie

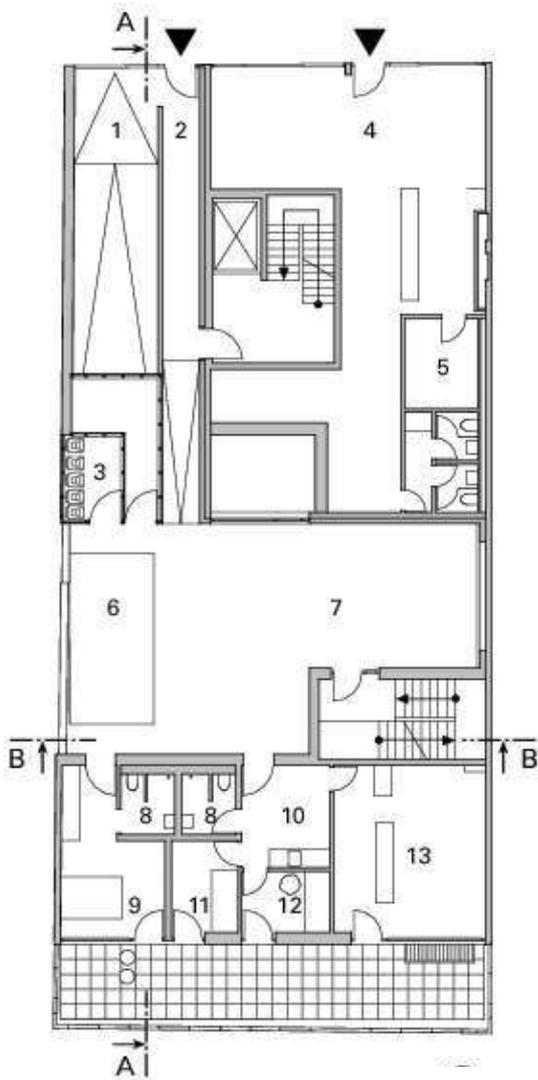


Abbildung 37: 1.Obergeschoss

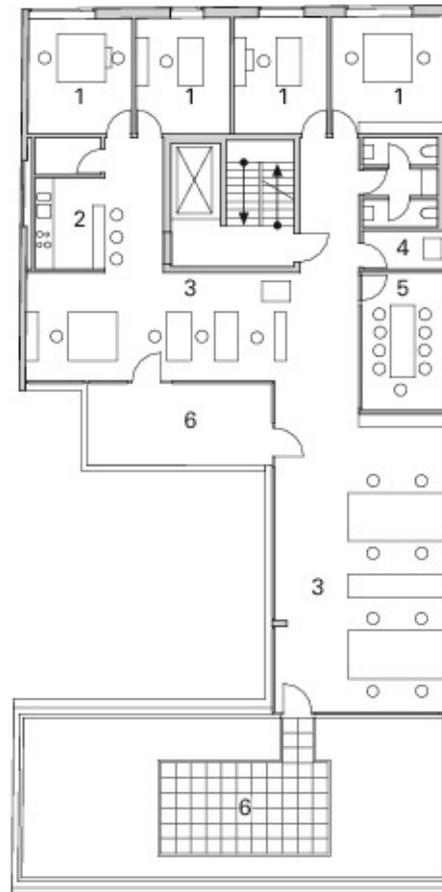


Abbildung 38: 2.Obergeschoss



variabel zonierbare Geschosse. So ist die Überlegung des Architekturbüros, dass die großen Büroetagen in kleinere Abschnitte zusammengefasst werden könnten. [30] [31]

„flexibel“

Bei der LANGEN RÖTTERSTRASSE lässt der große Anteil an Stahlbeton auf ein unflexibles Gebäude schließen. Allerdings wurde eine mögliche Umnutzung einzelner Bereiche vom Architekturbüro von Beginn weg mitbedacht. So zeichnet sich der Grundriss durch einen zentralen, tragenden Erschließungskern im Straßentrakt in Kombination mit einem Stützenraster im Querhaus aus. Durch die erzielte Offenheit des gesamten Grundrisses können hier nach Belieben Einteilungen getroffen werden. Selbst der vertikale Zusammenschluss ist teilweise möglich, da es im fünften Obergeschoss Maisonettwohnungen gibt, welche jedoch nach Wunsch anders nutzbar gemacht werden können. Aus diesen Gründen ist das Projekt in „Kategorie 1“ einzustufen.

Energieeffizienz

Das Gebäude ist mit einer modernen Fußbodenheizung ausgestattet. Außerdem

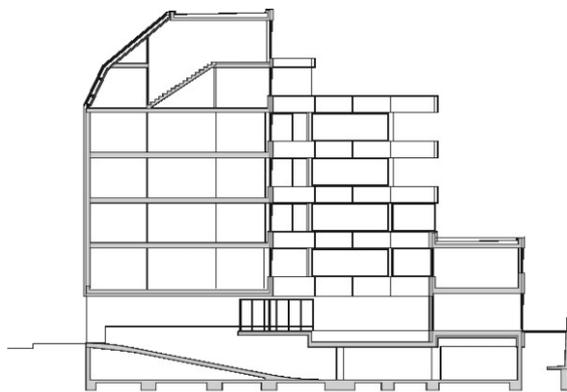


Abbildung 39: Schnitt

gibt es eine kontrollierte Be- und Entlüftung. Die großen Glasfassaden auf der hofseitigen Fassade sind zwar hervorragend für die Belichtung des Bauwerks, allerdings bringen sie durch die südseitige Ausrichtung viel Sonneneinstrahlung. Hierfür werden die Betondecken genutzt, um eine große Speichermasse zu bilden. [30] [31]

„von der Vergangenheit betrieben“

Durch die fehlende Literatur hinsichtlich der Energiegewinnung wird davon ausgegangen, dass sowohl Strom als auch Wärme von der Stadt über das öffentliche Netz bezogen wird. Es gibt zwar eine kontrollierte Be- und Entlüftung, die Wärmeverluste reduziert, allerdings wird dies durch den fehlenden Sonnenschutz ausgeglichen. Der einzige Vorteil des nicht vorhandenen Schutzes gegen solare Einstrahlung ist die, dass im Winter die Betonoberflächen die Wärme der tiefstehenden Sonne speichern und in der Nacht abgeben. Allerdings ist

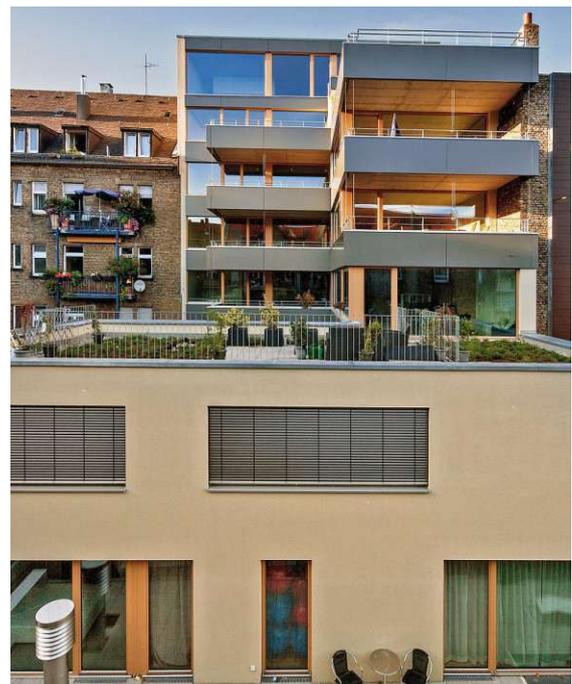


Abbildung 40: L.Rötterstraße vom Innenhof

dies zu wenig, um sich positiv im Ranking auszuwirken und somit ist die LANGE RÖTTERSTRASSE in die „Kategorie 4“ einzuordnen.

Recyceln

Die vorgefundenen Informationen gaben keine Details zum Schwerpunkt „Recyceln“ preis. Daher konnte das Gebäude nicht mit vorhandenem Literaturmaterial analysiert werden. Deshalb gibt es bei diesem Schwerpunkt lediglich die Bewertung durch die zuvor festgelegten Analyseschwerpunkte auf Basis von Plänen und Bildern.

„befriedigend rückbau- und recycelbar“

Aufgrund der fehlenden Information aus der Literaturrecherche hinsichtlich der Verbindungen der Bauteile ist eine Einstufung hier nur durch die verwendeten Materialien

und bekannter Zusammenschlüsse dieser möglich. So ist eindeutig, dass der massive Stahlbetonerschlusskern weder zerlegt noch recycelt werden kann. Gleiches gilt für die Decken. Bei der straßenseitigen Hülle sieht es hingegen anders aus. Durch den Einsatz von Holz in Form einer Rahmenbauweise gäbe es hier die Möglichkeit diese zu zerlegen. Die flirrende Metallhaut des Gebäudes könnte immerhin in gleicher Form weiterverwendet oder, allerdings wäre das ein aufwendiger Prozess, eingeschmolzen und in anderer Art wiederverwendet werden. Aufgrund dieser Ausgewogenheit ist die LANGE RÖTTERSTRASSE in „Kategorie 3“ einzuordnen.

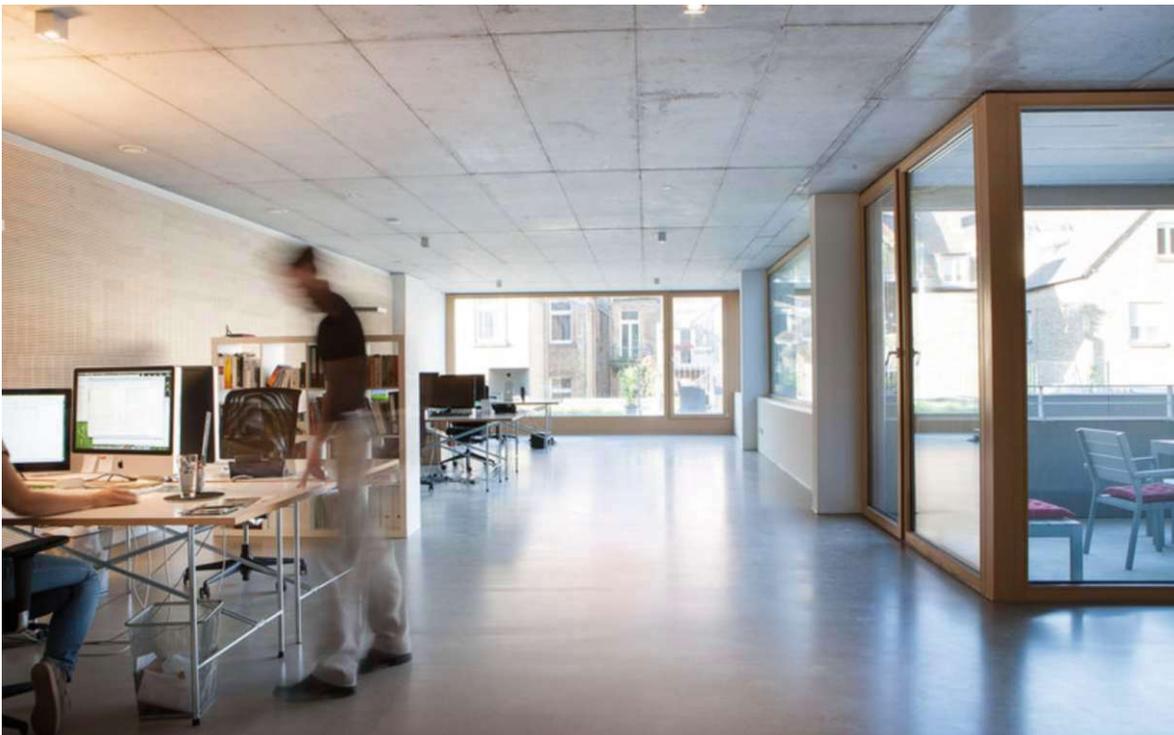


Abbildung 41: Büroebene



Abbildung 42: Flirrende Metallfassade

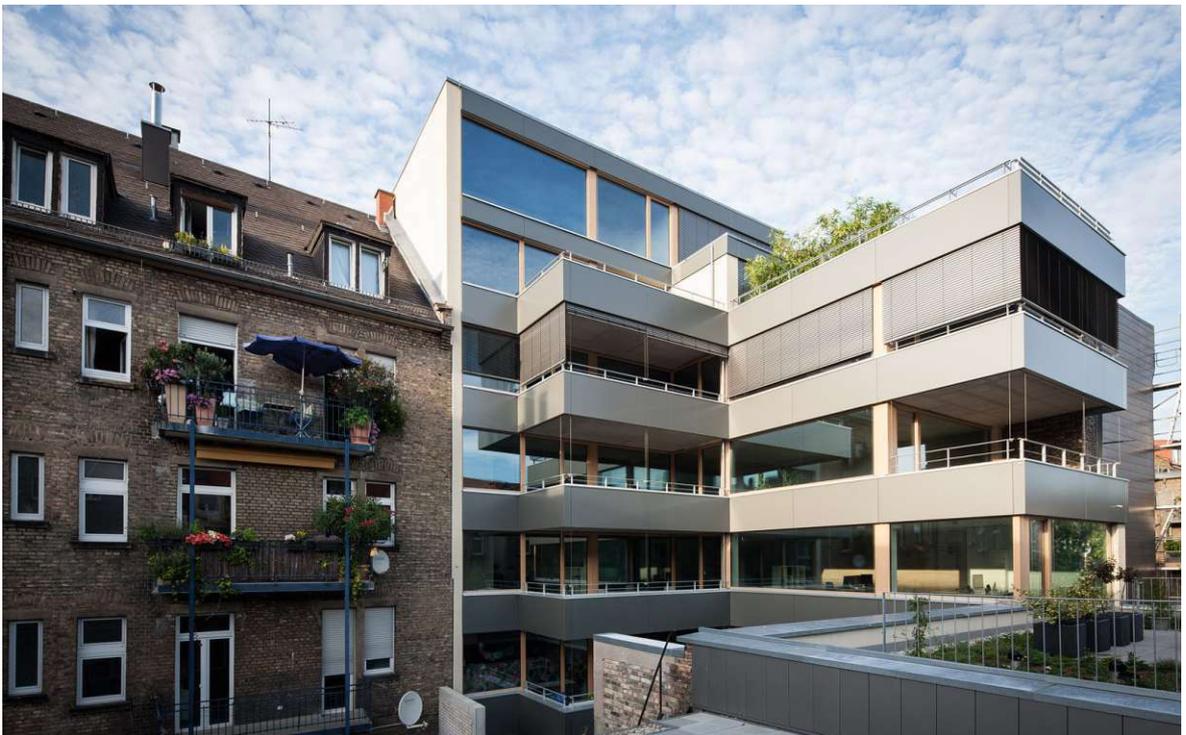


Abbildung 43: Lange Rötterstraße vom Innenhof auf das Vorder- und Querhaus

FAZIT

Die analysierten Projekte haben alle etwas gemeinsam: sie sind auf engstem Raum im innerstädtischen Bereich in eine Baulücke gebaut. Zudem erforderte es viel Geschick der Architekturbüros Wohn- oder Geschäftsraum auf Bauplätzen wie diesen zu schaffen.

Das Projekt in Paris, BLACHE, zeigt besonders mit dem hohen Einsatz der Ressource Holz auf. Außerdem überzeugt das Gebäude mit dem Innenhof, welcher es ermöglicht trotz des kleinen Grundstücks eine Belichtung von zwei Seiten zu gewährleisten. Dank der zurückhaltenden Optik der weißen Metallfassade scheint das Bauwerk genauso lange Bestand zu haben wie seine umliegende Nachbarbebauung. Die vielen sichtbaren Holzoberflächen im Inneren machen die Wohnungen zu einem gemütlichen Ort.

Das C13 sticht besonders mit dem losgelösten, offenen Erschließungskern heraus, welcher entgegen einem üblicherweise geschlossenen Stiegenhaus, Einblick in den Bauplatz liefert. Durch geschicktes Abrücken des Quertrakts ergeben sich weitere spannende Einblicke und Sichtbeziehungen im Innenhof. Der Mix an Nutzungen in diesem Gebäudekomplex sowie die Offenheit der Grundrisse und die dadurch verbundene Möglichkeit der Umnutzung machen das Projekt besonders attraktiv. Auch hier zeigt die spannende Fassade mit unterschiedlich großen Öffnungen der Stadt ein interessantes Bild.

Das zweite Projekt in Berlin kann besonders mit der Unterschiedlichkeit der Straßen- und Hoffassade punkten. Zur Straße hin zeigt das Gebäude ein kaltes Gesicht, wohingegen das offene Stiegenhaus im Innenhof freundlich, einladend und wie ein

Treffpunkt wirkt. Der EISBERG überzeugt vor allem aber mit dem hohen Einsatz des Materials Holz. Die strikten Grundrisse teilen das Gebäude nicht nur in zwei Hälften, sondern bieten auch durch clevere Anordnungen der Räume eine Querlüftung im Wohnbereich.

Das letzte Projekt, in der LANGEN RÖTTERSTRASSE, beeindruckt speziell durch die goldenen Fassaden, welche sich bis übers Dach faltet. Ähnlich wie die beiden Projekte in Berlin, zeigt auch dieses Gebäude eine ganz andere Erscheinung im Innenhof, da hier der fünfgeschossige Quertrakt sich durch offene Glasfassaden und einen durchlässigen Grundriss auszeichnet und eine Flexibilität für das Bauwerk bietet. Aber auch über die großen Öffnungen der Straßenseite dringt viel Licht ins Innere und verdeutlicht die unterschiedlichen Nutzungen im Projekt.

INTERVIEWS

05

Das nachfolgende Kapitel beschäftigt sich mit der Befragung von Expert:innen zu den wesentlichen Themen der Arbeit. Einerseits wird ein Experte für die Baustoffe Holz und Lehm befragt, um sein Wissen und seine Erfahrung in den Entwurf miteinfließen zu lassen sowie eine Sichtweise für diese Baustoffe aus der Praxis zu erlangen. Andererseits geben zwei Expert:innen ihr Wissen zu den einschlägigen Normen und Gesetzen Preis, verraten die Sichtweise der entscheidenden Behörde und geben Auskunft über den Einsatz der Möglichkeit der untersuchten Materialien.

05 INTERVIEWS

HANS WEGSCHEIDER

Das praktische Fachwissen wurde von einem Holzbaumeister und Lehmbauexperten eingeholt. Hans Wegscheider ist mit seinem 1992 gegründeten Unternehmen eine Korifée für die Kombination der beiden Baustoffe und daher der richtige Mann für die nachfolgenden Fragen.

Holz ist ein natürlich vorkommender Rohstoff. Durch seine biologische Zusammensetzung und der Tatsache, dass dieses ein Verwitterungsprodukt ist, muss Holz während seines Einsatzes im Bau geschützt werden. Ein wichtiger Faktor beim Holzschutz ist die Feuchte – bei zu hoher Feuchte im Holz bilden sich natürliche Feinde, die das Material zerstören. Durch diese Erkenntnis stellt sich für mich die Frage: kann eine Holzstütze, um den Brandschutzanforderungen zu erfüllen, mit Lehmverkleidet werden? Oder ist die Feuchte im Lehm auf lange Sicht schädlich und beeinträchtigend für das Holz?

Dies ist eine sehr wichtige Frage, bei der die Industrie eine große Rolle spielt. Die Industrie ist seit Jahren dabei Holzprodukte zu entwickeln, wie zum Beispiel Brettsperrholz, welche mit der Feuchte nicht sonderlich gut umgehen können. Bedeutet: gelangt Feuchtigkeit ins Brettsperrholz, kann diese nicht mehr entweichen und das Holz kann nicht mehr austrocknen. Konstruiert man allerdings in einer traditionellen Weise, mit „normalen“ Holz, kann es die Feuchte aufnehmen und wieder abgeben, weil dies offen ist und atmen kann. „Ein Brett ist ein Brett“. Wenn ein Brett, oder ein Kantholz für ein Monat, für zwei Monate oder sogar für ein halbes Jahr in den Brunnen oder in

einen Teich gelegt wird und dieses nach Ablauf der Zeit wieder herausgenommen und in die Sonne gelegt wird, trocknet dieses vollständig aus. Beim Brettsperrholz oder einer OSB-Platte funktioniert dies nicht – das Wasser, die Feuchtigkeit tritt ein und das Holz kann nicht mehr austrocknen. Dies ist ein echtes Dilemma, in welchem sich die Holzbranche gerade befindet. Speziell zur Frage: die Feuchtigkeit die, bei einer Verbindung von den Materialien Holz und Lehm, durch den Lehm eingebracht wird, kann, bei richtigem Konstruieren und richtiger Materialwahl ganz leicht wieder austrocknen. Leimbinder zum Beispiel, welche auch in vertikaler Lage als Leimholzstütze verwendet werden können, werden Brett für Brett verleimt und sind somit offen und können die Feuchtigkeit auch wieder abgeben und austrocknen. Wichtig ist allerdings, dass Holz immer an einer Seite offen ist, nicht durch Folien verklebt oder durch atmungsinactive OSB-Platten beplankt ist. Liegt Holz auf Holz auf, beispielsweise bei einem Anschluss von Wand-Decke oder Stütze-Balken, ist, sofern es sich nicht um ein verschlossenes Holz wie eine Brettsperrholzdecke handelt, die Offenporigkeit gegeben und das Material kann beim Eindringen von Feuchtigkeit wieder austrocknen. Bei einer Balkendecke oder Brettstapeldecke ist die Gefahr, dass das Material nicht wieder austrocknen kann, nicht gegeben. Verkleidet man eine Stütze oder Wand, beispielsweise aus brandschutztechnischen Gründen mit Lehm oder Lehmplatten, ist die Möglichkeit der Austrocknung auch gegeben, da dieses Material ebenfalls offen ist.

Wie gehen Sie mit dem Thema Brandschutz in Bezug auf Holz um? Treffen Sie konstruktive Maßnahmen diesbezüglich? Oder verkleiden Sie zu schützende Tragstrukturen mit Lehm bzw. anderwärtig?

Bei „Dataholz“ gibt es Aufbauten mit Gipskarton, Fermacell und derartige Produkte, welche geprüft sind und bei welchen man die genauen Brandschutzklassifikationen kennt. Wir verwenden Lehmplatten mit einer Stärke von vier Zentimeter, schrauben diese an die Konstruktion, verputzen diese und erreichen so unseren Brandschutz. Dies ist allerdings kein geprüfter und zertifizierter Aufbau. Es gibt für diese Konstruktion keinen Nachweis. Hier würde es großen Bedarf geben Prüfzeugnisse und Auswertung zu erstellen. Die Innung des Holzbaus ist momentan dabei, die Brandschutzklassifikation in einem vereinfachten Verfahren berechnen zu wollen, Schicht für Schicht zu betrachten und diese anschließend summieren. Dies würde den Zugang zu einer Einschätzung eines Baustoffes vereinfachen, allerdings ist die Frage, inwiefern die Behörden dies akzeptieren und anerkennen würden. Hierfür Bedarf es allerdings an viel Grundlagenarbeit. Da es jedoch mit einer Stärke von rund einem Zentimeter bei Gips und Fermacell funktioniert, wird es vermutlich bei Lehm mit vier bis fünf Zentimeter ebenfalls machbar sein. Speziell bei einer Kapselung der Tragstruktur, kann Lehm die Brandanforderungen, durch seine Eigenschaft des „A2“, durchaus erzielen, bei einer Gesamtbetrachtung des Bauteilaufbaus müsste es eben geprüft werden.

Aus einschlägiger Literatur geht hervor, dass Lehm mit einer Verstärkung von Holz, aber auch Stahl und Beton, erdbebengerecht errichtet werden kann. Nun stellen sich für mich hierbei zwei Fragen: ist es möglich eine Stampflehmwand mit Holz zu verstärken und somit eine noch bessere Tragstruktur zu erhalten? Und wäre so eine Ausführung in horizontaler Lage möglich? Speziell in Hinblick auf den Brandschutz? Sofern die Möglichkeit besteht eine Stampflehmwand mit

Holz zu verstärken, wäre es dann möglich, das Gebäude höher zu bauen als für einen reinen Lehmbau bzw. einen reinen Holzbau üblich?

Holzstützen in eine Stampflehmwand zu integrieren ist prinzipiell möglich, die Frage ist allerdings, ob dies wirtschaftlich ist. Bei einer klassischen Stampflehmabauweise, bei welcher der Lehm in einer Schalung eingestampft wird, wird die Holztragstruktur miteingestampft, anschließend würde ein Balken über den Stützen angebracht werden, um darauf die Decke legen zu können. Im nächsten Geschoss wird die Wand gleich dem Stockwerk darunter hergestellt. So könnte man ohne Probleme vier bis fünf Geschosse errichten. Allerdings ist die Wirtschaftlichkeit hierbei zu hinterfragen, da der Mehraufwand bei einer Stampflehmwand, gemessen an den Lohnkosten enorm hoch ist. Der Lehm ist ein billiges Material, jedoch ist bei der Erzeugung von Stampflehmwänden ein hoher Personalaufwand notwendig.

Momentan forschen und entwickeln wir gerade an einer Holzriegelbauwand, welche mit einem Gemisch aus Lehm und Leka-Kugeln oder Leichtlehm ausgefacht wird. Hierbei wäre das Ziel Lehm und Dämmung in einer Ebene zu bringen. Die Herausforderung ist auch, wie diese Variante wirtschaftlich gefertigt und transportiert werden könnte. Daher der Versuch einen klassischen Riegelbau zu konstruieren, jedoch mit dem Unterschied zum herkömmlichen, ohne diagonale Holzverstrebungen. Bei der Versuchswand wird die Konstruktion vollständig mit einem Lehmgemisch ausgefacht und durch eine im 45° bis 60° verschraubte Rauschalung versteift und somit auch auf eine OSB-Beplankung verzichtet. Die Herausforderung bei einer im Werk gefertigten Wand ist allerdings, diese vorzufertigen und in dieser Form auf die

Baustelle zu liefern.

In horizontaler Lage ist die ebenso möglich allerdings in einer eher historischen Form: der Balkendecke. Hierbei würden die Träme unterseitig durch eine Rauschalung, welche auf seitlich, an der Tragstruktur montierten Latten ruhen, verschlossen werden. Oberseitig wird der Lehm eingestampft und anschließend durch eine diagonale Holzbeplankung geschlossen und gleichzeitig somit die Aussteifung der Decke geschaffen. Darauf könnte nun wieder ein Stampflehm aufgebracht werden. Unterseitig kann die Rauschalung, je nach Brandschutzanforderung, die Sichtebeine bilden bzw. wenn erforderlich können Lehmplatten die brandhemmende Schicht bilden. Eine andere Möglichkeit wäre bei notwendiger Brandklassifikation eine Brettstapeldecke zu errichten, diese unterseitig mit Lehmplatten zu verkleiden und oberseitig einen Stampflehm anzubringen. Somit würde ich eine Kapselung der Konstruktion erzielen. Ich würde mich trauen, bei ausreichender statischer Dimensionierung, fünf bis sechs Geschoss zu errichten. Wichtig, bei der Wandkonstruktion mit den eingestampften Holzstützen, ist, eine ausreichende horizontale Aussteifung zu schaffen, die ohne Probleme mit einer Balkendecke mit diagonaler Schalung oder einer Brettstapeldecke erzielt werden kann.

Wie sieht es mit dem Recyclingpotential einer möglichen, mit Holz verstärkten Stampflehmwand aus? Sind beide Baustoffe wieder völlig zerlegbar und kann das Holz später noch weiterverwendet werden? Oder muss dieses aufgrund der Feuchtigkeit im Lehm thermisch weiterverarbeitet werden?

Sowohl Holz als auch Lehm kann immer wieder verwendet werden. Die Feuchtigkeit, die durch den Lehm ins Holz gebracht

wird, ist überhaupt kein Problem. Der Lehm konserviert vermutlich das Holz sogar. Früher war ich im Straßenbau tätig und da wurden des Öfteren Baggerschürfe gemacht bei welchen alten Holzpfähle von Zäunen zum Vorschein kamen. Durch den lehmigen Boden wurde das Holz konserviert und beim Durchschneiden des Pfahls war dieses schneeweis und völlig in Ordnung, obwohl es Jahrzehnte im Boden war. Die Feuchtigkeit, die durch den Lehm ins Holz gebracht wird, kann einfach wieder austrocknen.

Hierzu ein Beispiel von einem vier Jahre alten Projekt: bei diesem wollte ein Architekt in seiner Mietwohnung eine Zwischenwand aufstellen. Wir haben diese aus Holzständern konstruiert und mit einer Rauschalung versehen. Danach wurden vier Zentimeter dicke Lehmplatten angeschraubt und anschließend wurden diese noch zweilagig verputzt. Vor einem Monat meldete sich der Architekt erneut und teilte uns mit, dass aufgrund seines Auszuges die Wand wieder herausgerissen werden soll. Also haben wir begonnen den Lehmputz vorsichtig mit einem Hammer zu zerschlagen, fingen diesen dabei auf, um ihn später wiederverwerten zu können. Das Gewebe des Putzes wurde entfernt. Anschließend suchten wir nach den Schrauben der Lehmplatten, um diese im Ganzen wieder herunterzunehmen. Teilweise konnten wir diese nicht finden, also haben wir die Platten vorsichtig mit dem Hammer zerschlagen und den Lehm wieder aufgefangen. Der gesamte Lehm konnte wiederverwendet werden und lediglich das Gewebe des Putzes musste entsorgt werden.

Ein weiteres Beispiel, bezüglich einer Weiterverwertung von Holz: im Zuge einer Sanierung eines alten Heuschuppens wurden etwa 400 Jahre alte Träme ausgebaut, ins Sägewerk gebracht und zu Brettern geschnitten, um diese als Wandvertäfelung wiederzuverwenden. Dies funktioniert mit

Brettspertholz nicht.

Verbindungen im Holzbau zwischen zwei Bauteilen zu schaffen ist schon seit vielen Jahrhunderten ein Thema. Zimmermannsmäßige Verbindungen sind hier wohl von großer Bedeutung. Neben diesen gibt es aber auch Steck- und Schraubverbindungen, welche mittels Dübel oder Nagelbändern zwei Bauteile zusammenhalten. Im Sinne der Nachhaltigkeit, der Ressourcenschonung sowie der Kreislaufwirtschaft, wäre es allerdings wichtig, Verbindungen zu schaffen, die in einem späteren Status des Gebäudes, leicht reversibel sind. Auf welche Verbindungsmethoden greifen Sie zurück? Welche Verbindungen werden von Ihnen bei Holz-Lehm-Knoten gebildet? Bzw. haben Sie bereits Gebäude errichtet, bei dem beispielsweise ein Stampflehmwand auf eine Holzmassivdecke trifft?

Wir lösen die Knoten unserer Konstruktionen einerseits mit Schraubverbindungen und andererseits greifen wir auf eine moderne Technik zurück: die CNC-Fräse. Mit dieser werden sehr viele Schwalbenschwänze hergestellt, welche sowohl für den Holzrahmenbau als auch für den Holzmassivbau eingesetzt werden. Außerdem stellen wir auch eine Massivdecke her, bei welcher Bretter mit Aluminiumdübel vernagelt werden.

Zur Anwendung kommen allerdings auch „Thoma“-Produkte. Aus diesen Erzeugnissen werden drei bis vier Häuser pro Jahr hergestellt. Bei diesen ist die Konstruktion folgendermaßen aufgebaut: die Außenwände stammen von der Firma „Thoma“, die Innenwände sind in Holzrahmenbauweise mit Lehmplatten beplankt, als Decke kommt eine Balkendecke zur Anwendung, welche mit zuvor beschriebener Verbindungsweise eingehängt werden. Im Ein-

familienhausbau braucht es keine Metallverbinder. Beim Ingenieurholzbau oder bei Mehrfamilienhäusern kommen diese allerdings sehr wohl zum Einsatz, da bei großen Querschnitten klassische Zimmermannsverbindungen unwirtschaftlich wären.

Ein Beispiel eines Hauses, welches gemeinsam mit Martin Rauch umgesetzt wurde: bei diesem kamen ebenfalls „Thoma“-Außenwände in 36 Zentimeter Stärke, ohne zusätzlicher Dämmung zum Einsatz. Der Aufzugsschacht wurde von Martin mittels Stampflehmfertigteilelementen hergestellt. Dieser wurde je Geschoss mit einem Betonkranz umzogen, welcher einerseits aus statischen Gründen notwendig war und andererseits befestigte auf diesem die Aufzugsfirma den Lift. Die Holzdecken des Hauses konnten ebenfalls dort verankert werden. Darüber hinaus gibt es einen weiteren Holz-Lehm-Knoten: die Stiege wurde aus Holzbohlen erstellt, welche als Deckschicht eine Stampflehmoberfläche erhielt. Die Decke war wieder eine Balkendecke, welche mit einer Rauschalung bedeckt wurde, anschließend kam eine Kiesschüttung darauf, in welche eine Fußbodenheizung gelegt wurde. Diese wurde wiederum von einem Lehm-Quarzsand-Gemisch geschützt, bevor eine 15 Zentimeter dicke Lehmschüttung den Abschluss des Deckenaufbaus bildete.

Können Holzwerkstoffe, vor allem in der Form von Platten, anstelle von Gipskartplatten in Nassräumen verwendet werden? Bzw. ist es möglich auf Fliesen im Nassraum zu verzichten und möglicherweise eine OSB-Platte in Kombination mit einem Lehmputz, welcher oberflächlich veredelt wurde, um im Nassraum zur Anwendung zu kommen?

In Nassräumen ist die Anwendung von Lehm ideal. Der Baustoff kann die Feuch-

tigkeit kontrolliert aufnehmen und wieder abgeben. Bewohner:innen, bei denen wir Lehm in Nassräumen zur Anwendung brachten, haben rückgemeldet, dass seit dem Einbau der Spiegel während dem Duschen nicht mehr beschlägt. Allerdings sollte man Lehm nicht unbedingt im Spritzwasserbereich verwenden. Die Unterkonstruktion einer Wand in Nassräumen besteht bei uns immer aus Holz, am Besten eine Schalung, da diese offenporig ist, die Feuchtigkeit ebenfalls aufnehmen und diese auch wieder abgeben kann. Verwendet man hingegen eine OSB Platte unterhalb des Lehmputzes, kann es passieren, dass sich diese mit Wasser vollsaugt und dann nicht mehr austrocknen kann. Außerdem ist die Kombination einer Holzschalung mit einem Lehmputz um etwa 40-50% günstiger gegenüber der OSB-Variante. Auch als Dichtebene verwenden wir keine OSB-Platte. Ist der Nassraum im Gebäude an einer Außenwand situiert, so verwenden wir eine Dampfbremse. Befindet sich diese hingegen im Inneren, so nehmen wir gar keinen Schutz gegenüber der Feuchtigkeit vor. Dies hat den besonderen Vorteil, dass man ein Leck einer Wasserleitung oder eines Abflusses sofort sieht. Daraufhin kann das Problem behoben werden und die feuchten Stellen im Holz müssen nicht künstlich getrocknet werden, da natürliches Holz ohnehin von selbst trocknet. Diese Variante bringen wir allerdings nur in Verwendung einer Brettstapel- oder Balkendecke zur Anwendung. Dies funktioniert bei einer Brettsperrholzdecke nicht, da das Leck längere Zeit im Verborgenen bleibt und somit großen Schaden anrichtet. Hierzu auch wieder ein Beispiel: ein Haus in Innsbruck wurde mit einer Balkendecke konzipiert und ohne Abdichtung gebaut. Schon zwei Tage nach dem Einzug gab es einen Wasserschaden. Im nassen Bereich wurde die Decke von unten aufgemacht

und das defekte Rohr wurde repariert. Die Stelle wurde für eine Woche offengelassen, wodurch die gesamte Konstruktion austrocknen konnte und anschließend wurde diese wieder verschlossen. Es ist dabei nichts zerstört worden. Bei einer Brettsperrholzdecke wäre dies ohne großen Aufwand nicht möglich gewesen.

Auch wenn im Nassraum Lehm eingesetzt wird, so sollte allerdings Stein oder Fliesen im Spritzwasserbereich genutzt werden, da Lehm in diesem Bereich zerrinnen würde. Tadelakt, eine marokkanische Technik bei welchem kleinen Schichten aus Kalk auf den Lehm gebracht werden und somit als fugenlose Fliese fungieren, wäre eine Möglichkeit den Lehm auch im Spritzwasserbereich zur Anwendung zu bringen. Eine Veredelung mit Wachs wie es bei Fußböden praktiziert wird könnte möglich sein, müsste allerdings noch probiert werden.

Ihr „Ökomassiv“ System besteht aus einer 40 mm dicken Lehmplatte mit Zusatzstoffen, welche Sie als Wandverkleidungen anstelle von Gipsfaserplatten verbauen. Gibt es außer dem Entfall der Trocknungszeit noch einen weiteren Vorteil gegenüber dem herkömmlichen Lehmputz? Außerdem ist es meines Wissens nicht so einfach möglich auf Lehmputzen bzw. herkömmlichen Lehmplatten Möbel aufzuhängen. Ist dies auf Ihrem „Ökomassiv-System“ möglich?

Der wesentliche Vorteil der Ökomassivplatten ist die Kostensenkung, da diese speziellen 40 mm starken Lehmplatten in Europaletten verpackt werden und vor Ort ins jeweilige Geschoss bzw. Raum gehoben werden können und dort verbaut werden. Dies ist ein großer Vorteil im Vergleich zum herkömmlichen Lehmputz. Aufgrund der handlichen Größen kann eine Person die Platten allein verbauen. Als dieses System

noch nicht am Markt war, wurden Schilfrohrmatten auf die Konstruktion getackert, dann verputzt und anschließend musste diese Schicht trocknen bevor eine neue angebracht werden konnte. Dies brachte höhere Kosten mit sich, weil diese Variante höhere Arbeitszeit erfordert. Daher haben wir unser Ökomassivsystem entwickelt. Das Problem im Holzbau ist die fehlende Masse. Dies kann durch unsere Platten kompensiert werden. Sie bestehen aus 40 mm Lehm mit Holzweichfaser gemischt, einem Armierungsgewebe und werden vor Ort noch mit einem Feinputz veredelt. Sie weisen eine Dichte von 1300 kg/m³ auf.

Glauben Sie, dass Holz in Kombination mit Lehm Anwendung im Mehrgeschossbau findet? Speziell im Hinblick auf die Verwendung des Materials in der Stadt?

Dies kommt vor allem auf die zukünftige Weiterentwicklung an. Eine Holzriegelwand mit Lehm zu befüllen, hat nicht nur die Vorteile, dass dies dem gesamten Gebäude Masse zubringt und Lehm als Dämmung in der Konstruktionsebene verwendet werden kann, sondern könnte auch zukunftssträchtig sein. Zusätzlich muss allerdings speziell im Holzbau der Brandschutz voranschreiten. Dies kann nur über Nachweise, Prüfungen und Zertifikate funktionieren. Außerdem besitzt sowohl die Lehm- als auch die Holzbauweise, sowie die Mischform von beiden, einen hohen Grad der Vorfertigung. Die Überlegung, Holzstützen in Lehm einzustampfen könnte ebenfalls funktionieren und in Zukunft eingesetzt werden, wobei hierbei noch sehr viel Arbeit im Bereich der Forschung, Prüfung und Zertifizierung stecken wird.

DI BERNHARD GUTTERNIGH | DI^{IN} IRMGARD EDER

Um eine fachliche Expertise bezüglich der erlaubten Richtlinien sowie technischen Möglichkeiten zu erlangen, wurde mit zwei Mitarbeiter:innen der MA37 - Baupolizei ein schriftliches Interview geführt. Hierbei wurde auf das Fachwissen von Herrn DI. Bernhard Gutternigh, seit 2006 Leiter der Gebietsgruppe Ost und seit 2013 stellvertretender Abteilungsleiter der MA37, sowie von Frau DIⁱⁿ Irmgard Eder, seit 2001 Leiterin der Gruppe B (baulicher Brand-, Wärme- und Schallschutz) und seit 2013 Leiterin der daraus hervorgegangenen Kompetenzstelle Brandschutz, zurückgegriffen.

Das wichtigste bei einem Gebäude für Sie als Baupolizei ist wohl die Sicherheit des Bauwerks selbst, sowie die Sicherheit der zukünftigen Bewohner:innen und Nutzer:innen. Für mich als angehender Architekt ist dies jedoch nicht weniger wichtig als das Gebäude nachhaltig und ressourceneffizient zu planen und den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen zu maximieren. Daher meine erste Frage: wie oft kommen bei Ihnen Projekte zur Einreichung, welche aus Holz bzw. Lehm gebaut sind?

DI Gutternigh: Holz konnte sich in den vergangenen Jahren als Baustoff auch im großvolumigen Bausektor, siehe HOHO Projekt in der Seestadt Aspern, durchsetzen, es sind jedoch nach wie vor die Standardausführungen in Betonbauweise/Betonfertigteilen in markanter Überzahl (in etwa 90%). Dieses Verhältnis scheint sich in den letzten Monaten jedoch zugunsten einer zunehmenden Verwendung von zu-

mindest teilweise mit Holzelementen im Innen- und Fassadenbereich ausgestatteten Bauwerken im Wohnbausektor zu ändern. Im Vergleich zu den Bundesländern ist im städtischen Raum die Verwendung von Lehm als Baustoff nicht bemerkbar, hier werden nur einige wenige Einfamilienhäuser soweit mir bekannt, im einstelligen Bereich in Wien verwirklicht. Inwieweit bei Instandsetzungen von historischen Gebäuden dieser Baustoff Anwendung findet, kann aus Sicht der Baupolizei mangels aussagekräftiger Daten (die Renovierung von Gebäuden ist nicht baubewilligungspflichtig) nicht beantwortet werden.

Die Angst, Holz aufgrund seiner Brennbarkeit einzusetzen, ist leider durch vergangene Brandkatastrophen bedingt. Anschließend wurden damals Richtlinien und Verordnungen verabschiedet, welche das Bauen mit Holz enorm erschweren. Ich habe das Gefühl, dass dies heute noch immer so ist. Was ist Ihre Meinung dazu?

DI Gutternigh: Die Argumentation des schlechteren Brandverhaltens (90 min. Brandwiderstandsdauer nachzuweisen ist bei den gängigen Bauelementen kein unüberwindbares Problem) scheint mir angesichts der bis jetzt realisierten Projekte nicht ganz schlüssig. Jedoch zeigt die Kostenschiene bei Ausführungen – vor allem im Vergleich mit den Angeboten bei Betonfertigteilen – nach wie vor günstigere Ergebnisse als für alternative Bauausführungen, zusätzlich ist in der letzten Zeit eine eklatante Verteuerung speziell bei Holzmaterialien im Bauwesen beobachtbar gewesen.

DIⁱⁿ Eder: Mit der Veröffentlichung bzw. Implementierung in landesrechtliche Bestimmungen (in Wien: Bauordnung bzw. Wiener Bautechnikverordnung) der OIB-

Richtlinien (siehe www.oib.or.at) ist seit der Erstfassung 2007 das Bauen mit dem Baustoff Holz auch bei mehrgeschoßigen Gebäuden möglich; seit der Ausgabe 2015 kann Holz ohne weitere Nachweise sogar in der Gebäudeklasse 5 bis sechs oberirdische Geschosse verwendet werden. Liegt ein Brandschutzkonzept mit entsprechenden Begründungen vor, sind auch höhere Gebäude zulässig.

Speziell im Hinblick auf die heutigen Normen, vor allem auf die OIB-2-Richtlinie: diese schreibt uns vor, welche Baustoffe in welchem Bereich brandschutztechnisch zur Anwendung kommen dürfen. Wer legt fest, dass tragende Wände in oberirdischen Geschossen der Gebäudeklasse 5, mit mehr als sechs oberirdischen Geschossen, die Anforderung „REI90 + A2“ erfüllen müssen? Kann diese durch bestimmte Maßnahmen umgangen werden? Bzw. wie oft werden die Richtlinien und Normen erneuert und reformiert?

DIⁱⁿ Eder: Die Anforderungen in den OIB-Richtlinien werden im Sachverständigenbeirat bautechnische Richtlinien des OIB festgelegt; die Mitglieder setzen sich aus den stimmberechtigten brandschutztechnischen Sachverständigen der Bundesländer (in Wien: Frau DI Irmgard Eder, Leiterin der MA 37 – KSB und Ing. Andreas Rausch, MSc, Leiter des Büros vorbeugender Brandschutz bei der MA 68) sowie nicht-stimmberechtigten Vertretern der Brandverhütungsstellen und des österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes zusammen. Die OIB-Richtlinien selber werden dann durch die Generalversammlung des OIB beschlossen.

Die Herausgabe bzw. Überarbeitung der OIB-Richtlinien erfolgt im 4-Jahres-Rhythmus.

Abweichungen von den OIB-Richtlinien

sind zulässig, wenn mittels eines Brandschutzkonzeptes nachgewiesen wird, dass auf eine andere Art und Weise bzw. mit Ersatzmaßnahmen das gleiche Schutzniveau wie bei Einhaltung der OIB-Richtlinien erreicht wird (siehe §2 Wiener Bautechnikverordnung WBTV, Vorwort der OIB-Richtlinie 2).

Bezogen auf die Feuerwiderstandsklassen, speziell jedoch auf die höchste Klasse „REI90 + A2“, ist Holz hierbei klar im Nachteil. Dabei ergeben sich für mich allerdings zwei Fragen: einerseits wissen wir, dass Holz in etwa 0,7-0,8 mm pro Minute abbrennt. Demnach müsste ein Holzquerschnitt in etwa um 63-72 mm erhöht werden, um der Klassifizierung „REI90“ zu entsprechen. Lassen sie dies ohne weiteres zu? Bedeutet: kommt ein Projekt zur Einreichung, bei welchem Holz zum Einsatz kommt und die Anforderung „REI90“ gilt, wird dieses bewilligt oder nicht? Andererseits frage ich mich, wofür die Bezeichnung „A2“ notwendig ist, bzw. wieso man mit dieser Bezeichnung Baustoffe wie Holz bewusst ausschließt?

DIⁱⁿ Eder: Bei der Festlegung der Anforderungen wurde nicht nur der Feuerwiderstand der Bauteile sondern auch das Brandverhalten der dafür verwendeten Baustoffe betrachtet. Bei Gebäuden in der Gebäudeklasse 5 mit mehr als 6 oberirdischen Geschossen ist daher nicht nur der Feuerwiderstand maßgebend, sondern auch die Verwendung von Baustoffen der Klasse A2, d.h. diese Bauteile leisten keinen zusätzlichen Beitrag zum Brand. Sofern „nur“ die Anforderung REI 90 gestellt wird, kann diese selbstverständlich über den Abbrand nachgewiesen werden (siehe entsprechende Eurocodes).

Ein weiterer Punkt gegen die vollständige Anwendung von Holz im mehrgeschossigen Bau, sind die Anforderungen an das Stiegenhaus. Stiegenhäuser der Gebäudeklasse 5 müssen der Anforderung „REI90 + A2“ entsprechen. Man weiß jedoch, dass Holz kontrolliert abbrennt und, noch viel wichtiger, das Holz, speziell Massivholz, keinen wesentlichen Anteil zum Brand beiträgt. Weshalb ist es dennoch nicht möglich, Holz im Stiegenhaus zur Anwendung zu bringen?

DIⁱⁿ Eder: Ihrer Aussage, dass Massivholz keinen wesentlichen Anteil zum Brand beiträgt muss widersprochen werden; jeder brennbare Baustoff leistet per Definition einen Beitrag zum Brand.

Da Treppenhäuser nicht nur als Fluchtweg dienen, sondern auch der Feuerwehr als Lösch- und Rettungsangriff, werden an Treppenhäuser der GK 5 erhöhte Anforderungen gestellt.

Wären aus Ihrer Sicht Kompensationsmaßnahmen, welche das fehlende „A2“ ausgleichen, zulässig, damit Holz im Stiegenhaus zur Anwendung kommen kann?

DIⁱⁿ Eder: Bis jetzt haben die Feuerwehr der Stadt Wien (MA 68) und ich (MA 37 – KSB) ein derartiges Ansinnen, das bisher aber kaum an uns herangetragen wurde, immer abgelehnt. Gerade die Treppenhäuser müssen im Brandfall „funktionieren“, sodass eine Kompensation mit einer anlagentechnischen Brandschutzeinrichtung nicht vorstellbar erscheint.

Da meine Arbeit die Themen Holz und Lehm in den Fokus setzt, ergeben sich für mich auch Fragen zu Lehm: wie klassifizieren Sie den Baustoff Lehm im Hinblick auf den Brandschutz? Aus einschlägiger Literatur geht hervor, dass Lehm nicht brennbar ist, allerdings manchmal

als „A1“ und manchmal als „A2“ eingestuft wird.

DIⁱⁿ Eder: In den OIB-Richtlinien werden, soweit als möglich, baustoffneutrale Anforderungen gestellt, wobei im Fall von Lehm nicht nur die brandschutztechnischen Aspekte zu betrachten wären. Erfüllt daher Lehm die Anforderungen A2 (A1 wird in den OIB-Richtlinien an keiner Stelle gefordert), so kann es entsprechend eingesetzt werden.

Wäre es zulässig, die lastabtragende Struktur, also die vertikalen Holzelemente, mit Lehm zu verkleiden, sei es mit Lehmplatten, oder sogar eine Stampflehmwand in Kombination mit eingestampften Holzstützen, um so den Anforderungen „REI90 + A2“ zu erreichen?

DIⁱⁿ Eder: Da die tragende Struktur aus Holz besteht, also nicht A2 entspricht, kann die Anforderung REI 90 + A2 damit nicht erfüllt werden. „+A2“ bedeutet, dass die für den Brandschutz wesentlichen Bestandteile aus A2 bestehen müssen; siehe Vorwort sowie Punkt 2 der OIB-Richtlinie 2.

Könnte man, bezugnehmend auf die vorherige Frage, Holzmassivdecken in der Gebäudeklasse 5 mit mehr als sechs oberirdischen Geschossen als Sichtdecken ausführen? Oder müsste man diese verkleiden?

DIⁱⁿ Eder: Da bei Gebäuden der GK 5 mit mehr als sechs oberirdischen Geschossen die Decken REI 90 und A2 entsprechen müssen, ist Holz als Tragkonstruktion nicht zulässig; da nützt auch eine entsprechende Verkleidung nichts!!

Ein weiteres wichtiges Thema in Bezug auf meine Arbeit und den Einsatz von

Holz und Lehm ist die Erschließung. Einerseits geht es mir um die Stiegen selbst: ist es hier möglich eine Holzmassivstiege zu errichten und diese mit Lehm ober- und unterseitig zu verkleiden?

DI Gutternigh: Neben der brandschutztechnischen Beurteilung ist die Nutzungssicherheit zu beachten, hier erscheint mir die Verwendung von Lehm für stark belastete Verschleisschichten nicht geeignet.

DIⁱⁿ Eder: Aus brandschutztechnischer Sicht wird auf die Anforderungen der Tabellen 2a, 2b und 3 der OIB-Richtlinie 2 hingewiesen. Auch hier gilt wieder wie bereits mehrfach ausgeführt: wenn die Anforderung A2 gestellt wird, ist eine Holzstiege nicht zulässig.

Andererseits wäre mir eine alternative Aufzugskernlösung wichtig. Hier haben Rechercheprojekte gezeigt, dass die aus Massivholz errichtet wurden. Wäre das möglich? Oder müsste dieser wieder mit Lehm verkleidet werden?

DIⁱⁿ Eder: Hinsichtlich der Anforderungen an die Schachtwände von Aufzügen wird auf Punkt 3.6.2 der OIB-Richtlinie 2 hingewiesen (Bei Gebäuden der Gebäudeklasse 3 und 4 ist bei Aufzugschächten an der Schachttinnenseite eine Bekleidung in A2 erforderlich. Bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 müssen die Schachstumwehungen von Aufzügen in A2 ausgeführt werden.)

Gibt es aus Sicht der MA37 bzw. der Stadt Wien den Willen in Zukunft den Einsatz von Holz und Lehm zu forcieren? Speziell im Hinblick auf vielleicht notwendige Gesetzesänderungen? Oder sind aus heutiger Sicht momentan keine Änderungen geplant?

DI Gutternigh: Die Stadt bekennt sich

zum Energiewandel als auch für den Einsatz nachhaltiger Baustoffe. Ich denke, wir stehen hier am Anfang einer Entwicklung, die sich erst im großvolumigen Hochbau durchsetzen muss. Seitens der Stadt werden alternative Wege gesucht, dass dies nicht kurzfristig angesichts des erhöhten Sicherheitsbedürfnisses in mehrgeschossigen Bauwerken erfolgen kann, liegt auf der Hand. Neben der primären Nachweisführung der technischen Gleichwertigkeit sind wir auch mit der Berücksichtigung unterschiedlichster Interessenvertretungen konfrontiert, letztendlich benötigt es einen Konsens in den Fachgremien (OIB usw.), um entsprechende Vorgaben allgemein gültig umsetzen zu können.

DIⁿ Eder: Auf Grund der Anforderungen in den OIB-Richtlinien wurde dem Holzbau eine große Möglichkeit eingeräumt; jetzt ist es lediglich erforderlich, dass die Bau-träger:innen diese auch nutzen. Es könnten daher viele Gebäude seit Jahren (in Wien seit 2008 mit Inkrafttreten der OIB-Richtlinie 2007) in Holz oder zumindest Holzhybrid ausgeführt werden, ohne dass Abweichungen von den OIB-Richtlinien in Anspruch genommen werden müssten. Aus meiner Sicht sollte dorthin der Weg einmal gehen. Danach bzw. parallel dazu kann man sicher weiter denken.

Laut der „Smart Klima City Strategie Wien“ soll Wien bis 2040 klimaneutral werden. Was glauben Sie wird Ihre Aufgabe sein, um den Bausektor ebenso in diese Richtung zu lenken? Und glauben Sie, dass dieses Ziel in der Baubranche überhaupt erreicht werden kann?

DI Gutternigh: Die Hauptaufgabe zur Erreichung der Klimaziele liegt meiner Meinung nach in der Schaffung wirtschaftlich vertretbarer rechtlicher Rahmenbedingungen und

begleitender attraktiver staatlicher Förderungsmodelle, da letztendlich die Hauptlast der vorzunehmenden energietechnischen Transformation durch die Haus-/Grundbesitzenden zu tragen sein wird und nicht auf die Bewohner:innen abgewälzt werden kann. Eine ausgewogene Balance zwischen Partikularinteressen (Grünraumerweiterung an und auf Gebäuden – gesteigerte Energieeffizienz unter Einsatz von Photovoltaik und der berechnete Wunsch nach weiterhin hohen Sicherheitsstandards) kann nur durch intensive Kommunikation und Wissenstransfer sichergestellt werden, wobei wohl ab und zu bisherige Sichtweisen aufgegeben werden müssen.

Wir haben speziell in Wien einen sehr hohen Anspruch an die Qualität von Gebäuden, angesichts des Anteils an gefördertem Wohnbau bzw. staatlichen Einrichtungen (Schulen, Kindergärten usw.), die auf Grund der Rolle der Stadt/des Bundes als Auftraggeber:in angehalten sind, an der Erreichung der gesetzten Ziele im Bauwesen aktiv mitzuwirken, sehe ich mit Optimismus der zukünftigen Entwicklung entgegen. Da aus diesem vorgenannten Aspekt eine sehr hohe Gebäude- als auch Aufenthaltsqualität in einem Sektor geschaffen wird, kann sich der private Bereich diesen Ansprüchen nicht dauerhaft entziehen und wird entsprechend ähnliche Qualitäten bieten müssen.

Außerdem ist ein Ziel dieser Strategie, dass bei Gebäuden zukünftig der Material- und Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus so gering wie möglich gehalten werden soll. Glauben Sie, dass dies mit dem heutigen Verbrauch von Beton und Stahl möglich sein wird? Oder muss hier der Einsatz von beispielsweise Holz forciert werden?

DI Gutternigh: In Zusammenhang mit den

Fortschritten bei der solaren und thermischen Energiegewinnung bzw. Windenergie wird sich hier eine andere Herangehensweise ergeben. Die Überdämmung unserer Gebäude mit nicht nachhaltigen Baustoffen (leider unschlagbar billig im Vergleich) könnte eventuell zurückgefahren werden und statt dessen mehr Energie im Bedarfsfall dem Gebäude zugeführt werden (Kühlung/ Heizung). Da die zirkuläre Verwendung von Baumaterialien ein vorrangliches Ziel der zukünftigen baulichen Stadtentwicklung sein wird, sehe ich eine alternative Lösung zu sehr energieaufwendigen Werkstoffen wie Beton und Stahl durchaus realisierbar.

DIⁱⁿ Eder: Es darf auch auf das OIB-Grundlagendokument zur Ausarbeitung einer OIB-Richtlinie 7 „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ (siehe www.oib.or.at) hingewiesen werden.

Als abschließende Frage: welche Konflikte ergeben sich für Sie als Expert:innen beim Einsatz von Holz und Lehm mit den geltenden OIB Richtlinien, Normen und der Bauordnung?

DIⁱⁿ Eder: Aus meiner Sicht ergeben sich keine Konflikte, solange die Baustoffe dort eingesetzt werden, wo sie optimal verwendet werden können. Die Baustoffe Holz und Lehm sind für Gebäude bis einschl. Gebäudeklasse 4 sicher sehr gut geeignet; in der GK 5 mit höchstens 6 oberirdischen Geschoßen ist ihre Anwendung theoretisch möglich, aber aus praktischen Gründen bereits kritisch zu sehen.

Für eine Großstadt wie Wien bietet sich daher die Möglichkeit auf Grund der Vielfalt der Gebäude (es gibt alle Gebäudeklassen sowie Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m) die vorhandenen Baustoffe dort einzusetzen, wo sie auf Grund

des Sicherheitsniveaus am besten geeignet sind.

Fazit

Beide Interviews mit den Expert:innen bilden eine hervorragende Grundlage für den Entwurf. Durch das Gespräch mit Hans Wegscheider konnten wesentliche Fragen bezüglich des Lehms geklärt werden. Die Ergebnisse daraus sind richtungsweisend für den Entwurf: sowohl die Möglichkeit, Holzstützen in Lehm einzustampfen, als auch die Tatsache, dass Holz keinen Schaden bei dauerhaftem Kontakt mit Lehm mit sich zieht, sind sehr wichtig, um die Ziele der Arbeit umsetzen zu können. Ebenso entscheidend war die praktische Erfahrung: durch das Ökomassivsystem von Hans Wegscheider konnte in seinen Projekten damit der Brandschutz erfüllt werden. Die Recyclingfähigkeit und Kreislauffähigkeit von Lehm wurde bestätigt und an Beispielen erklärt und beschrieben. Durch sein Handwerk als Holzbaumeister wurde auch die Erfahrung mit Brettstapelkonstruktionen und die Vorteile gegenüber einer Kreuzlagenholzplatte erläutert. Durch dieses Fachwissen wurde sowohl für die Tragstruktur als auch für den Brandschutz und den Innenausbau eine Basis für den folgenden Entwurf geschaffen.

Durch das Interview mit den Expert:innen der MA37 wurde zusätzlich eine gute Ausgangslage für die Situation am Bauplatz geschaffen. Durch die jahrelange Erfahrung und tägliche Auseinandersetzung mit den wesentlichen Themen der Sicherheit von Gebäuden, war dieses Interview die ideale Ergänzung zum Vorherigen. Holz wird seitens der Behörde zunehmend toleriert, Richtlinien gehen bereits in die Richtung dieses noch besser einsetzen zu können und gebaute Objekte dienen als Vorzeigeprojekte und Anhaltspunkte. Allerdings gibt es klare Gesetze, welche streng einzuhalten

sind. Die Umgehung dieser ist nur durch detailreiche und perfekt herausgearbeitete Konzepte möglich und selbst dann, von der Behörde nicht standardmäßig durchführbar. Die Kenntnisse dieses Interviews sind vor allem für die sicherheitstechnischen Aspekte des Entwurfs entscheidend.

E N T W U R F

06

Im nachfolgenden Kapitel wird detailliert auf das Projekt eingegangen. Zuvor gewonnenes Wissen wird berücksichtigt und bestmöglich umgesetzt. Das Kapitel führt durch den Bauplatz und seine Umgebung, das Konzept des Projektes, die Darstellung des Gebäudes sowie durch die Konstruktion und Detailplanung. Die Ziele für den Entwurf sind unten angeführt und im letzten Teil des Kapitel, im Fazit, werden diese resümiert.

Diplomarbeitenziele im Entwurf:

- die Entwicklung eines Gebäudes in einer Baulücke mit nachhaltigen Rohstoffen
- die Schaffung flexibler Grundrisse, um ein langlebiges Gebäude zu entwerfen
- die Schonung von Ressourcen
- die Rückbaubarkeit

06 ENTWURF

BAUPLATZ

Die Eichenstraße 74 liegt im 12. Wiener Gemeindebezirk und befindet sich in unmittelbarer Nähe des Bahnhof Wien Meidling. Noch im Sommer 2019 befand sich hier ein dreigeschossiges Gebäude mit einer Geschäftszone im Erdgeschoss und zwei Wohngeschossen in den oberen Stockwerken. Wie die beiden „Google Street View“-Bilder (Abbildung 44 und 45) zeigen musste das Bauwerk allerdings ein Jahr später einem geplanten Neubauprojekt weichen. Dieses beinhaltet, gleich dem Altbestand und dem Flächenwidmungsplan entsprechend, im Erdgeschoss eine Geschäftszone, sowie eine maximale Ausnutzung der erlaubten Höhe in Form von Wohngeschossen. Das Bauvorhaben ist allerdings in konventioneller Bauweise in Stahlbeton bzw. mit Beton-Fertigteilen geplant. Daher die Motivation diese Baulücke als Bauplatz zu wählen und einen Entwurf zu generieren, welcher aus nachhaltigen Rohstoffen entwickelt wird. Die Wahl des Bauplatzes liegt außerdem einigen Vorkenntnissen

über diese zugrunde. Der nachfolgende Entwurf bezieht sich zwar auf diesen spezifischen Standort, dieser ist allerdings nur symbolisch. Der Entwurf soll als Sinnbild für eine nachhaltig bebaute Wiener Baulücke stehen, dieser könnte sich auch an einem anderen Standort befinden.

Das vorgefundene Grundstück liegt nördlich der Eichenstraße und weist in etwa eine Größe von 336 m² auf. Mit seiner trapezförmigen Form weist es straßenseitig eine Länge von 18,68 m auf, zum östlichen Bestandsgebäude 20,57 m, zum westlichen Nachbarsgebäude 15,41 m und zum nördlich angrenzenden Grundstück 19,39 m. Der Flächenwidmungsplan lässt eine Gebäudetiefe, bei der Bauklasse IV, von circa zehn Meter zu. Demnach darf eine Fläche von in etwa 186 m² bebaut werden. Die restliche Bauplatzfläche ist zu 50% gärtnerisch auszugestalten, der andere Teil darf nochmals in Bauklasse I, allerdings mit einer Gebäudehöhe von 5,50 m, bebaut werden. Durch das abgebrochene Gebäude ist dies kein neu aufzuschließendes Grundstück und somit sind alle notwendigen Leitungen vor Ort vorzufinden. [32]

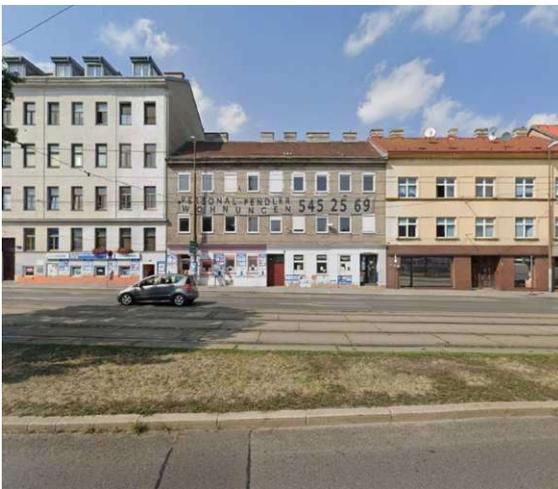


Abbildung 44: Bauplatz im Jahr 2019



Abbildung 45: Bauplatz im Jahr 2022

1:2500



Abbildung 46: Schwarzplan

Der Schwarzplan (Abbildung 46) stellt die dichte Bebauung des 12. Wiener Bezirkes dar. Er zeigt auch klar die markante Achse auf, die sich durch den gesamten Gemeindebezirk erstreckt: die Wiener-Stammstrecke der österreichischen Bundesbahnen. Diese ist für den Bauplatz sowohl ein Vorteil als auch ein Nachteil. Gewinnbringend wirkt sich definitiv die gute Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz aus. Der entstehende Lärm durch den Zugverkehr erschwert die Bebauung allerdings, jedoch wird hierauf später näher eingegangen. Das Grundstück ist für die inneren Bebauung in Wien ein typisches: die Baulücke. Städtebaulich gliedert sich der Entwurf entsprechend seiner Beschränkung durch die angrenzenden Gebäude ordnungsgemäß ein, wobei dieser durch die Ausnutzung der erlaubten Höhe marginal hervorsteht.

Der Umgebungsplan (Abbildung 47) hebt die analysierte Nachbarschaft hervor. Im Umkreis von 250 Metern, dies entspricht in etwa einem Fußweg von fünf Minuten, wurde die Umgebung untersucht. Da die Überquerung der Stammstrecke der ÖBB nur durch die Unterführung sowie der Philadelphiabrücke möglich ist, kann die Gehweglänge mehr als fünf Minuten betragen. Besonderes Augenmerk wurde auf Lebensmittelgeschäfte, aber auch auf andere alltägliche Infrastruktur gelegt. Außerdem hatte die Analyse ein weiteres Ziel: da der Flächenwidmungs- und Bebauungsplan ein „gemischtes Baugebiet-Geschäftsviertel“ vorschreibt, muss ein Gewerbe im Erdgeschoss des Entwurfes untergebracht werden. Um eine Art „Monopolstellung“ mit dem hausinternen Geschäft im Quartier zu erzielen und den mangelnden Möglichkeiten in unmittelbarer Umgebung, wurde eine kleine Fahrradwerkstatt mitsamt Café im Erdgeschoss untergebracht.

- | | |
|----|------------------------|
| 1 | Lebensmittel |
| 2 | Restaurant |
| 3 | Café |
| 4 | Drogerie, Mode, Blumen |
| 5 | Trafik |
| 6 | Kindergarten |
| 7 | Sport |
| 8 | Post, Bank |
| 9 | Gesundheit |
| 10 | Religiöse Einrichtung |

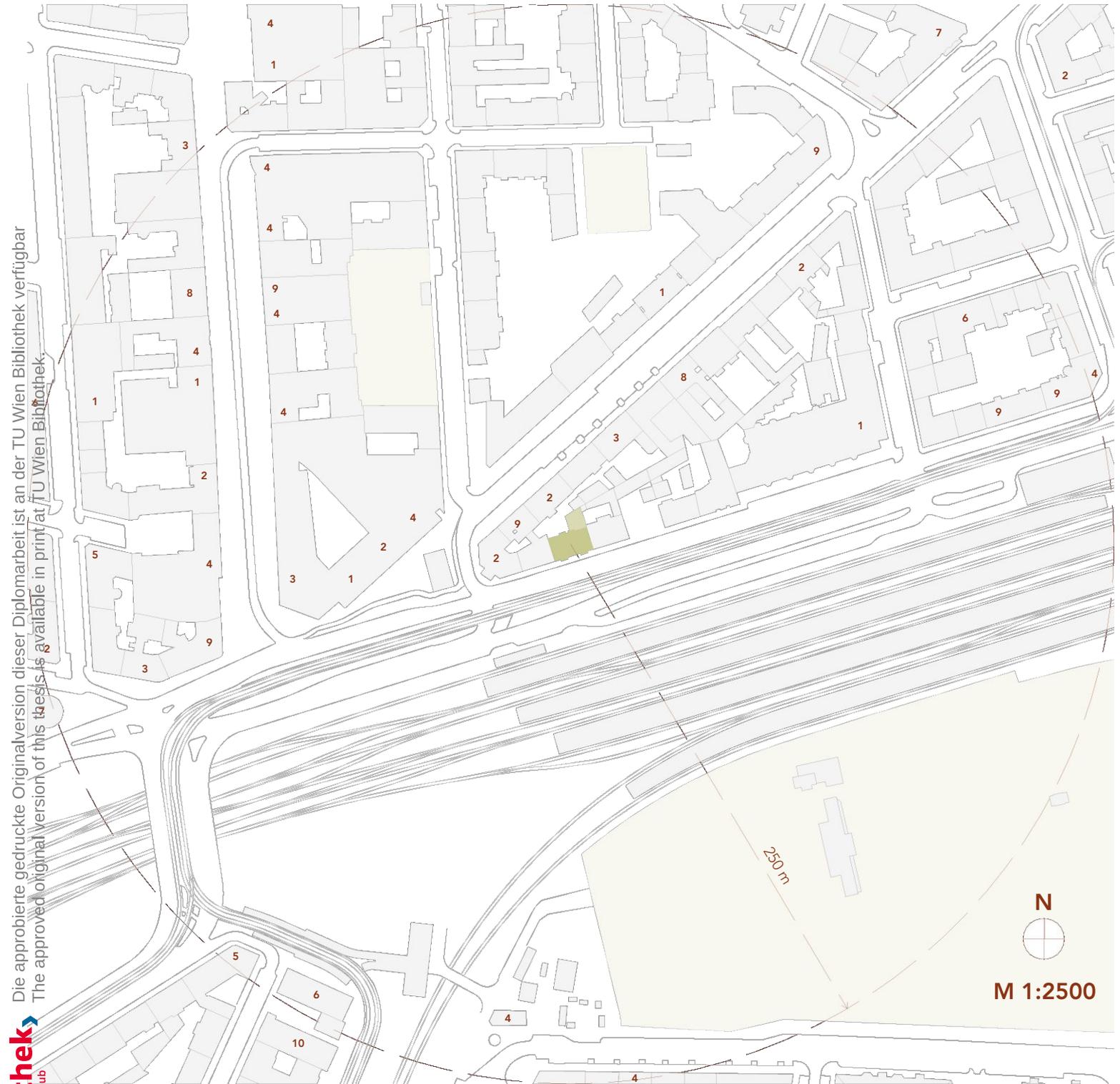


Abbildung 47: Umgebungsplan

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.

06 ENTWURF | BAUPLATZ

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.

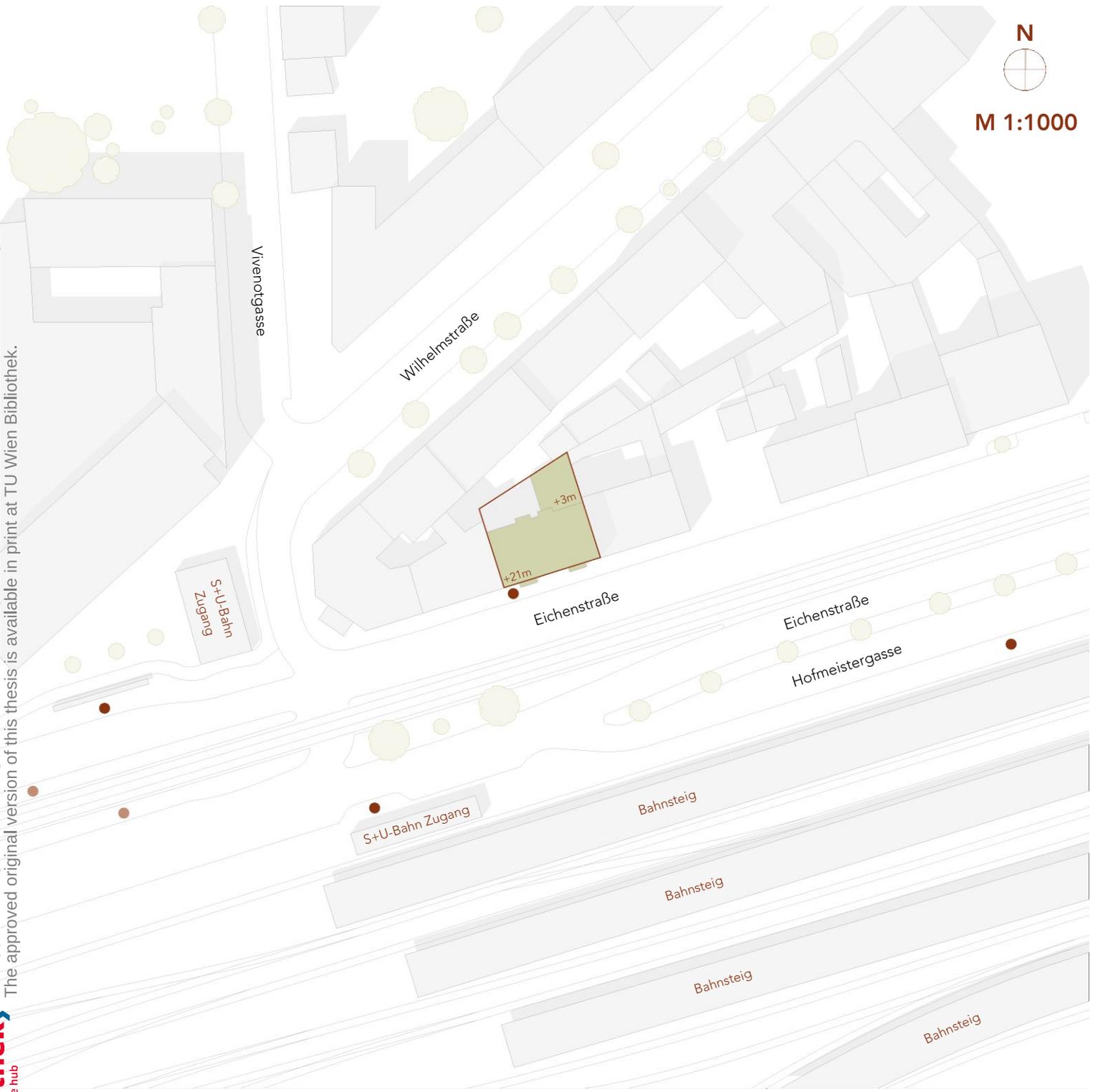


Abbildung 48: Lageplan

● Bus

8A | 9A | 59A | 62A

● Straßenbahn

62 | Badner Bahn

Der Lageplan (Abbildung 48) zeigt noch einmal einen größeren Ausschnitt des Bauplatzes und seiner unmittelbaren Umgebung. Hier ist die Größe des Grundstückes gut zu erkennen. Die laut Flächenwidmungs- und Bebauungsplan erlaubten 21m der Bauklasse IV wurden maximal ausgenutzt. Die Hälfte der Restfläche des Bauplatzes wurden wie erlaubt bebaut. Allerdings nur in einer Höhe von 3m anstatt 5,5m.

Die gute Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz wird durch den Lageplan nochmals hervor gehoben. Der 59A, eine Buslinie, bleibt direkt vor dem Gebäude stehen. In weniger als einer Minute Fußweg in Richtung Westen befinden sich die Straßenbahnlinien sowie eine mehrfach genutzte Bushaltestelle. Außerdem ist hier auch der Abgang situiert, welcher unter der Straße und unter den Gleisen der ÖBB durchführt und den einfachen und sicheren Zugang zur Schnellbahn, den Regionalzügen, Fernzügen sowie zur U6 gewährleistet. Somit ist jedes zur Verfügung stehende öffentliche Verkehrsmittel der Stadt Wien erreichbar. Mit dem Auto ist der Entwurf über die Eichenstraße selbst erreichbar, allerdings gibt es kaum Parkplatzmöglichkeiten in dieser Straße. Dies sieht in der Wilhelmstraße anders aus, darüber hinaus gibt es auch eine öffentliche Parkgarage, sowie eine halb-öffentliche die zum Einkaufszentrum dazugehört, jedoch rund um die Uhr geöffnet ist und Dauerparkplätze vermietet. Beide befinden sich in der Vivenotgasse und sind innerhalb weniger Fußminuten erreichbar.

Die umliegenden Nachbargebäude weisen den Anforderungen entsprechend im Erdgeschoss Geschäftslokale auf, in den Geschossen darüber befinden sich Wohneinheiten. Die Höhen der Gebäude variieren teilweise stark, wurden allerdings nicht

bis zur maximalen Höhe ausgereizt. Daher sticht der Entwurf durch seine Höhe etwas heraus. Das östlich angrenzende Bauwerk weist in etwa eine Höhe von 12m auf, wohingegen das westliche Gebäude in etwa 18m hoch ist. Das nördliche Nachbarhaus befindet sich in der Wilhelmstraße, weshalb es nicht an der hinteren Grundgrenze situiert ist, sondern einen Innhof bildet und ist in etwa 15m hoch.

Markant an der Umgebung, jedoch dem innerstädtischen Bauplatz geschuldet, ist die geringe Verfügbarkeit von Grünflächen. Dies ist besser am Umgebungsplan als am Lageplan zu erkennen. Die vermeintlich große Fläche im Süden weist zwar Bäume, Pflanzen und Wiesen auf, ist allerdings ein Friedhof und daher als Naherholungsfläche nicht sonderlich geeignet. So bleiben in unmittelbarer Umgebung nur die beiden sehr kleinen Parkflächen mit Kinderspielplätzen, der Gerte-Salzer-Park im Norden sowie der Vivenotpark im Nordwesten. Allerdings gibt es in weniger als 5 Minuten mit dem Bus oder dem Rad sowie in 15 Minuten Fußweg den Schlosspark Schönbrunn, mit der Gloriette und dem Tierpark.

KONZEPT

Die wesentlichen Merkmale des Konzeptes für den Entwurf sind die Ausnutzung der zulässigen Höhe, die Maximierung der Oberfläche sowie die Orientierung der Freifläche in den Innenhof. Da es sich jedoch sonst um eine Baulücke handelt und ein Ziel des Entwurfes die Schaffung von Wohnraum ist und die zu bebauende Fläche mit 18,68 x 10,80 m relativ klein ausfällt, waren nicht viele konzeptuelle Spielereien mit dem Volumen möglich.

Ausnutzung der Höhe

Gerade im innerstädtischen Bereich gilt es die vorhandenen, jedoch raren Flächen bestmöglich auszunutzen. Dass es Bedarf an Wohnraum gibt, steht fest. Auch, dass dieser nicht ausschließlich in Stadterweiterungsgebieten geschaffen werden kann, sondern wünschenswerter Weise auch viel mehr in der Stadt, in der bestehenden Struktur. Zu diesen Maßnahmen zählen allerdings nicht nur die Aufstockung von Gebäuden, also der klassische Dachgeschossausbau, sondern auch das Entfernen alter, unbrauchbarer Struktur, um neue effiziente

Lösungen zu entwickeln. Die neugeschaffenen Wohnräume sind weniger hoch und so gelingt es mehr Wohnraum auf gleichem Grundstück zu schaffen. Darüber hinaus sind Bestandsgebäude oftmals nicht auf die maximale, zulässige Höhe bebaut. Thomas Madreiter, Planungsdirektor der Stadt Wien, bestätigt dies in einem Gespräch vom Juni 2017 mit „ProHolz Austria“. Seiner Meinung nach ist es wichtig, dass Gebäude nicht nur einem Zweck dienen, da so die Lebensdauer eines Bauwerks verlängert werden kann. [34]

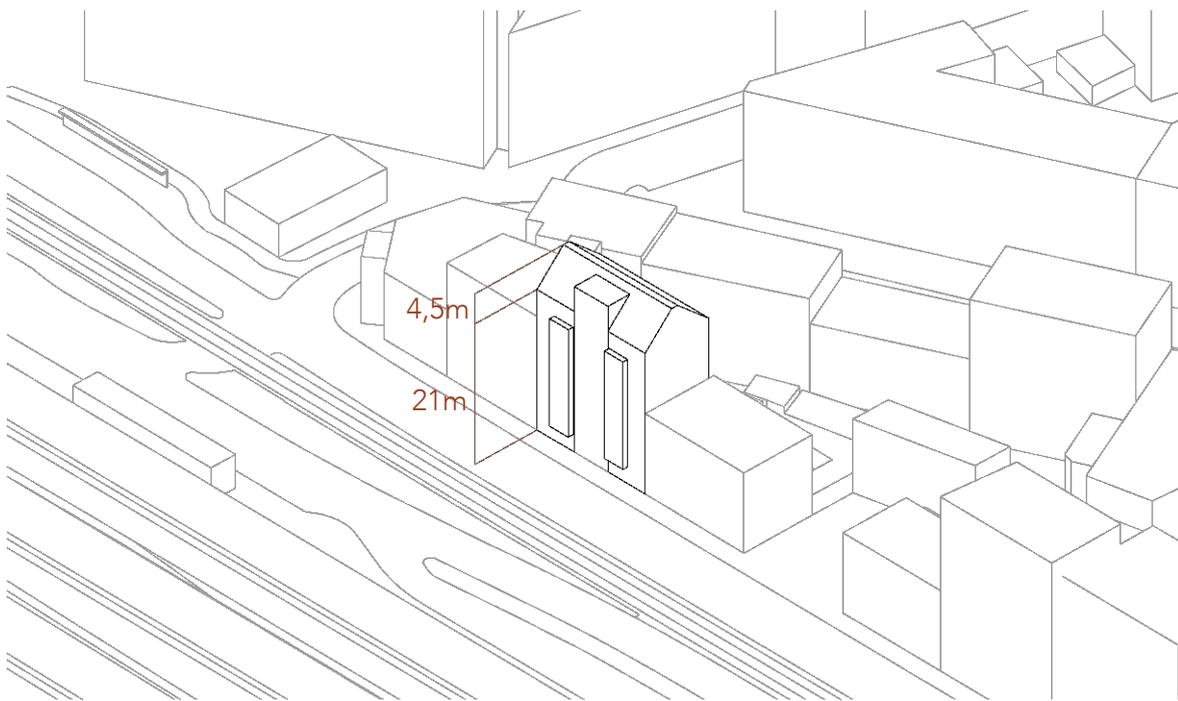


Abbildung 49: Ausnutzung der Höhe

Schaffung von Wohnraum

Wie zuvor beschrieben, musste das alte Gebäude auf dem Bauplatz einem Neubau weichen. Für den Entwurf wird die Annahme getroffen, dass es sich um eine klassische Baulücke handelt und dafür kein Bauwerk Platz schaffen musste. Nichtsdestotrotz ist ein Ziel des Entwurfes die möglichst maximale Fläche an Wohnraum zu schaffen. So wird vorschriftsgemäß im Erdgeschoss das Geschäftslokal untergebracht und in sechs Geschossen darüber Wohneinheiten. Das Dachgeschoss wird entgegen der Maximierung der Fläche nicht ausgebaut.

Das Ziel war den zukünftigen Bewohner:innen des Hauses eine großzügige Gemeinschaftsfläche zu widmen, welche als Dachterrasse und Dachgarten genutzt werden kann. Ein volles Wohngeschoss hätte ohnehin keinen Platz mehr gefunden und so wurden im sechsten Geschoss keine Maisonettwohnungen entwickelt, sondern ein Dachgarten im siebenten. Der eingeschossige Gebäudeteil im Innenhof gehört dem Geschäftslokal an und die Dachfläche dient als private Gartenfläche für die angrenzende Wohnung im ersten Stockwerk.

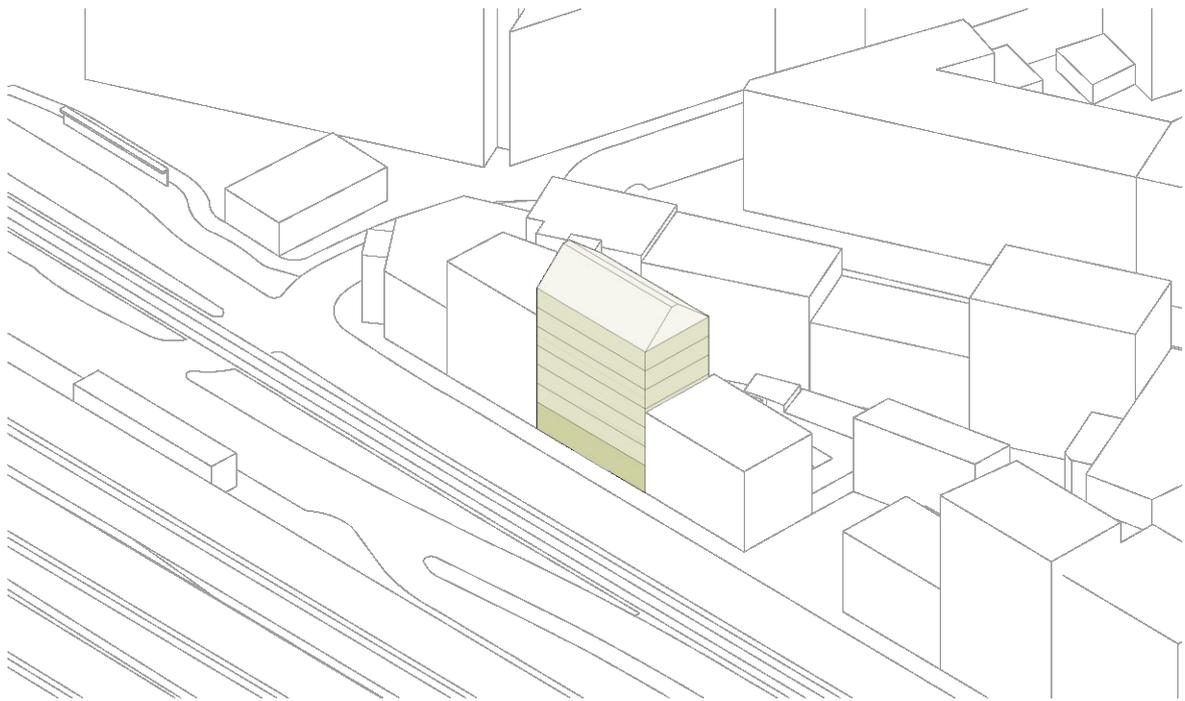


Abbildung 50: Schaffung von Wohnraum

Maximierung der Oberfläche

In Wien gehören Erker zum Stadtbild und lassen sich bei Bauten jeder Zeitepoche finden. Durch geschicktes Entwerfen und Miteinbeziehen von Erkerflächen können Wohnräume vergrößert werden und erhalten eine völlig andere Raumqualität. Grundsätzlich sind Erker über ein Drittel der Länge der Gebäudefront mit einer maximalen Ausladung von 1,50 m zulässig. Der Flächenwidmung- und Bebauungsplan erlaubt auf diesen Bauplatz allerdings nur eine maximale Tiefe von 0,8 m. Dies wurde maximal ausgenutzt, um so Wohnraum zu

vergrößern, aber auch um mehr Licht in die Wohneinheit zu bringen. Dies wurde auf beiden freistehenden Gebäudefronten angewandt um noch mehr Fläche generieren zu können.

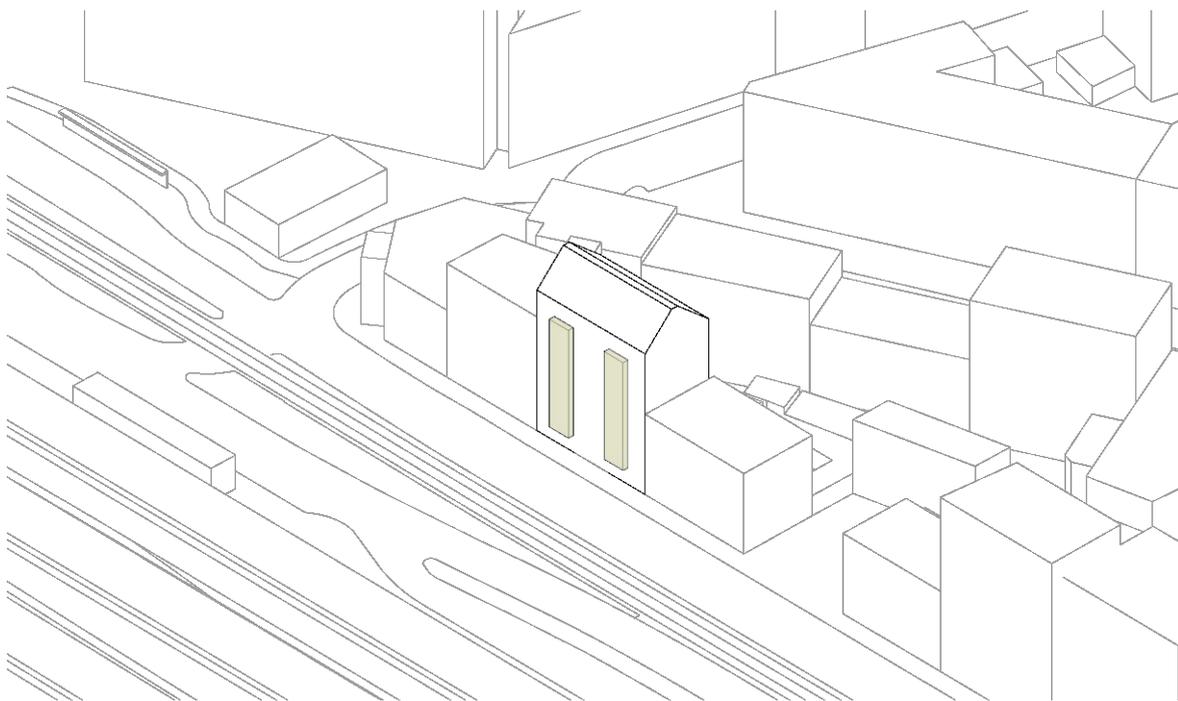


Abbildung 51: Maximierung der Oberfläche

Anordnung der Freiflächen

Eine eigene Freifläche im innerstädtischen Bereich vorweisen zu können ist ein besonderer Luxus. Speziell der Blick auf klassische Wiener Zinshäuser bzw. Bestandsgebäude des letzten Jahrhunderts zeigt, dass zum Großteil keine Balkone vorhanden sind. Gerade wenn wenig öffentliches Grün vorhanden ist, kann dies durch eine private Freifläche ausgeglichen werden. Allerdings ist die Anordnung relevant, da bei schlechter Planung Flächen leer stehen bzw. von Bewohner:innen nicht genutzt werden. Beim Entwurf wurde genau

dies berücksichtigt und durchdacht: entgegen der herkömmlichen Variante, einen Balkon südseitig zu generieren, wurde die Freifläche in den Norden gelegt. Dies mag zwar den Nachteil von weniger Sonnenlicht bringen, hat aber die ruhige Lage zum Vorteil. Die Balkone in Richtung einer stark befahrenen Straße zu situieren, schien als unsinnig, weshalb der Blick in den Innenhof die Oberhand in der Vorentwurfsphase behielt. Zusätzlich dient der zuvor erwähnte Dachgarten als allgemeine Freifläche.

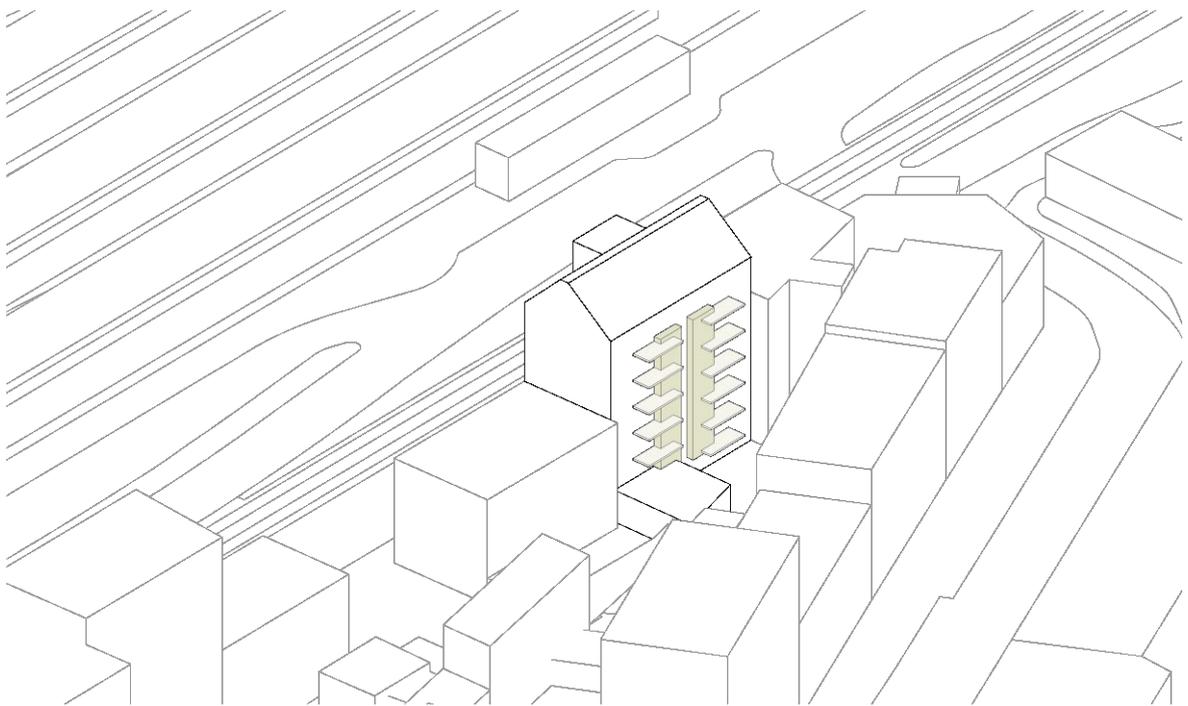


Abbildung 52: Anordnung der Freiflächen

Situierung des Stiegenhauses

Den Freiflächen und ihrer Situierung folgend wurde das Stiegenhaus in den Süden gelegt. Dies scheint bei einem Bauplatz auf der grünen Wiese atypisch, allerdings war dies hier aus zwei Gründen erstrebenswert. Da die Eichenstraße eine stark befahrene Autostraße ist, Straßenbahnen sowie mehrere Buslinien direkt am Haus vorbeiführen und die Stammstrecke der österreichischen Bundesbahnen vis a vis des Grundstückes verläuft, war es aus lärmtechnischen Gründen sinnvoll, die nutzbare Wohnfläche an der südlichen Außenfassade zu verringern.

Ein anderer Grund waren die zuvor erwähnten Freiflächen. Die Kompaktheit und beinahe quadratische Form des Stiegenhauses ergab sich im Zuge des Vorentwurfes und stellte sich als optimale Variante heraus. Eine längliche, möglicherweise sogar abgesetzte Form des Stiegenhauses, wie es bei dem Analysebeispiel „C13“ entworfen wurde, stellte sich für diese Bauplatzgröße und mit dem Ziel der durchgesteckten Wohneinheiten als nicht möglich heraus.

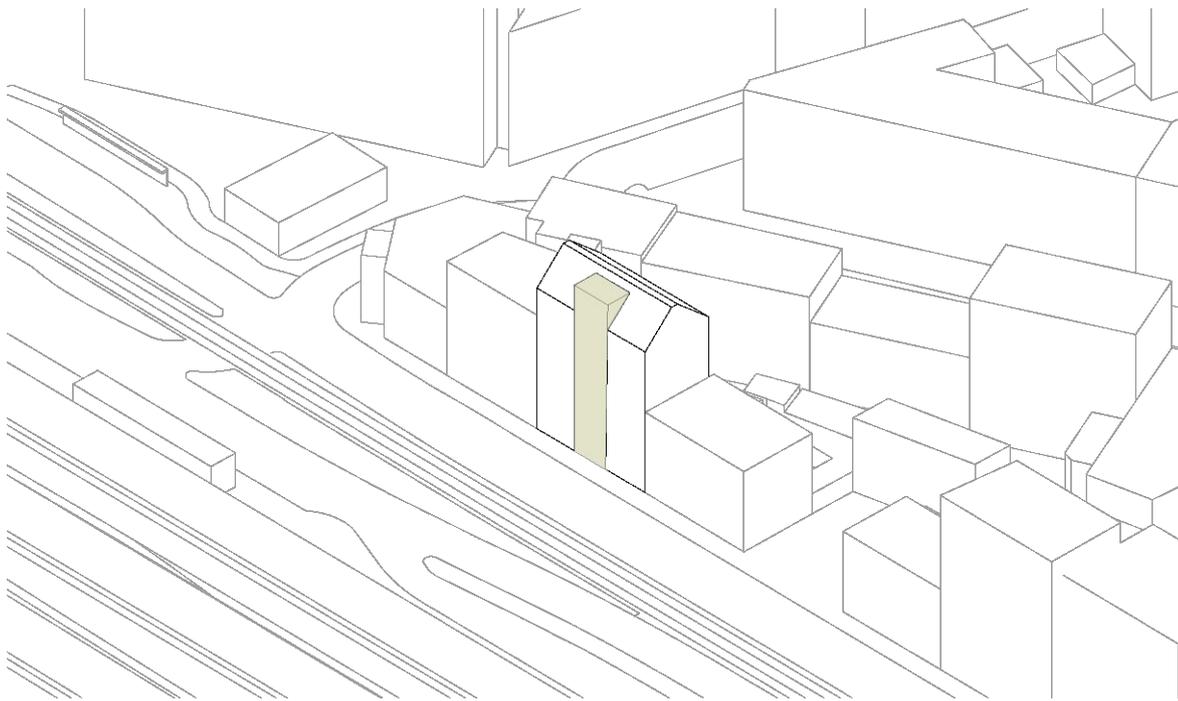


Abbildung 53: Situierung des Stiegenhauses

ENTWURF

Die nachfolgende Entwurfspläne sind allesamt im Maßstab 1:125 und geben einen ersten Eindruck vom Projekt. Die Grundrisse schildern einen Einblick ins Innere des Gebäudes, verraten die einzelnen Funktionen im Erdgeschoss, in den Wohnungen im Regelgeschoss und Dachgeschoss sowie auf der Dachterrasse. Diese ist, um die Idee dahinter besser zu verstehen, auch in einer axonometrischen Grafik dargestellt. In den Schnitten wird das Gebäude in seine dritte Dimension verständlich und es wird die Lebhaftigkeit des Bauwerks verdeutlicht. Die Ansichten runden den Blick auf das Gebäude ab. Sie zeigen das Gesicht des Hauses zur Straße hin und verraten den Blick vom Innenhof auf das Projekt.

Entwurfsziele

- Schaffung von qualitativem Wohnraum
- Wohnungsgrößen für möglichst viele Personengruppen
- durchgesteckte Wohnungen und damit verbunden die Möglichkeit der Querdurchlüftung
- Schaffung einer attraktiven und brauchbaren Geschäftszone
- private und öffentliche Freiflächen
- ein gern genutzter Gemeinschaftsbereich
- die Maximierung der Verwendung von nachhaltigen Rohstoffen
- freie Grundrisse für eine mögliche Umnutzung des Gebäudes

Erdgeschoss

Auf der nächsten Seite ist der erste Grundriss, das Erdgeschoss, zu sehen. Besonders auf dieses Stockwerk wird genauer eingegangen, da es die Schnittstelle zum Stadtraum bildet. Auf ein Kellergeschoss wurde bei diesem Entwurf verzichtet, um Ressourcen zu sparen, und den CO₂-Ausstoß nicht unnötig zu erhöhen. Da es sich um einen Entwurf für eine Baulücke handelt und sich das Grundstück im innerstädtischen Gefüge befindet gibt es hier keinen Vorgarten oder Zwischenzone. So wird das Gebäude direkt vom öffentlichen Gehsteig aus betreten. Es gibt zwei Hauptzugänge zum Gebäude: den ersten für Bewohner:innen des Hauses, welcher im Süd-Westen situiert ist und eine direkte Verbindung in den Innenhof schafft, und den zweiten für Besucher:innen des Fahrradcafés im Süd-Osten. Um den Anforderungen des Flächenwidmungs- und Bebauungsplanes zu entsprechen, wurde besagte Reparaturstätte mit integriertem Lokal geplant und erstreckt sich über die gesamte Ostseite des Grundstückes. Das Bistro öffnet sich zum Innenhof hin durch eine große Glasfassade, welche an warmen Tagen großzügig geöffnet werden kann, wodurch das Café sich in den Garten erweitert. Dieser ist für die Allgemeinheit geschaffen: so dient er den Bewohner:innen des Hauses als Treffpunkt im Grünen, bietet die Möglichkeit das eigene Gemüse anzubauen und ist für Kaffeeliebhaber:innen und Radbegeisterte ein gemütlicher Ort zum Verweilen. Im Westen des Gebäudes befinden sich ein Teil der Einlagerungsräume, ein Technik- sowie Fahrradraum. In der Mittelachse befindet sich nördlich der zweite Teil der Aufbewahrungsabteile und an der Südfassade gelegen der Erschließungskern. Außer den beiden Hauptzugängen gibt es noch den Zugang zum Müllraum als dritte Möglich-

Erdgeschoss

keit um ins Gebäude zu gelangen, wobei dieser hauptsächlich dem Personal der MA48 dient um den Müll zu entsorgen, da Bewohner:innen des Hauses einen gebäudeinternen Zugang nutzen können.

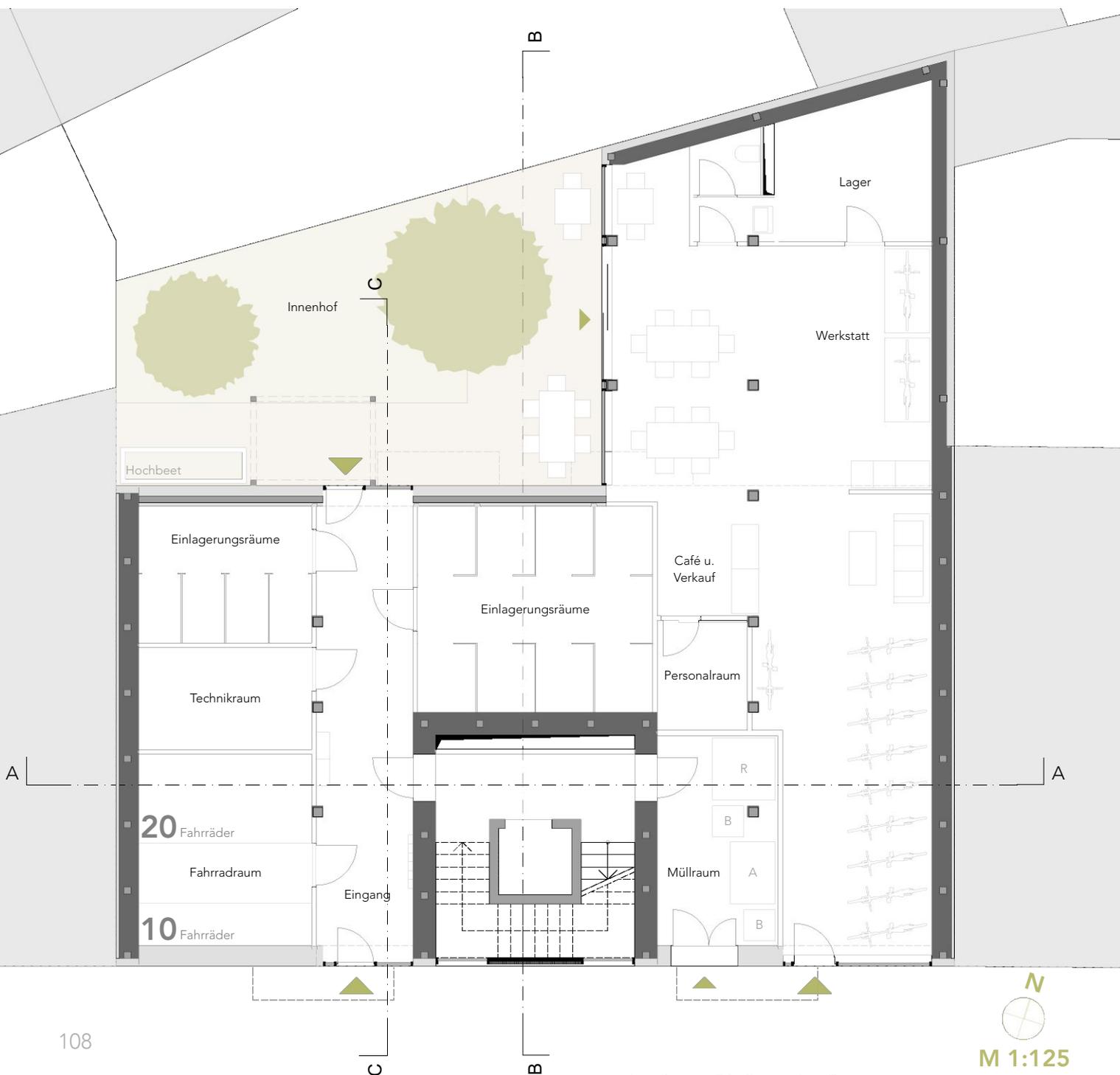


Abbildung 54: Grundriss, Erdgeschoss

Regelgeschoss

Das Regelgeschoss besteht aus zwei identen Wohneinheiten mit knapp 77 m² sowie einem privaten Balkon. Die drei Zimmer-Wohnungen sind sowohl für Singels, Student:innen, Paare sowie Jung- und

Kleinfamilien entworfen und es kann nach Belieben gewählt werden, welches als Hauptschlafzimmer genutzt werden will. Die durchgesteckten Wohnräume ermöglichen einerseits die Querlüftung dieser

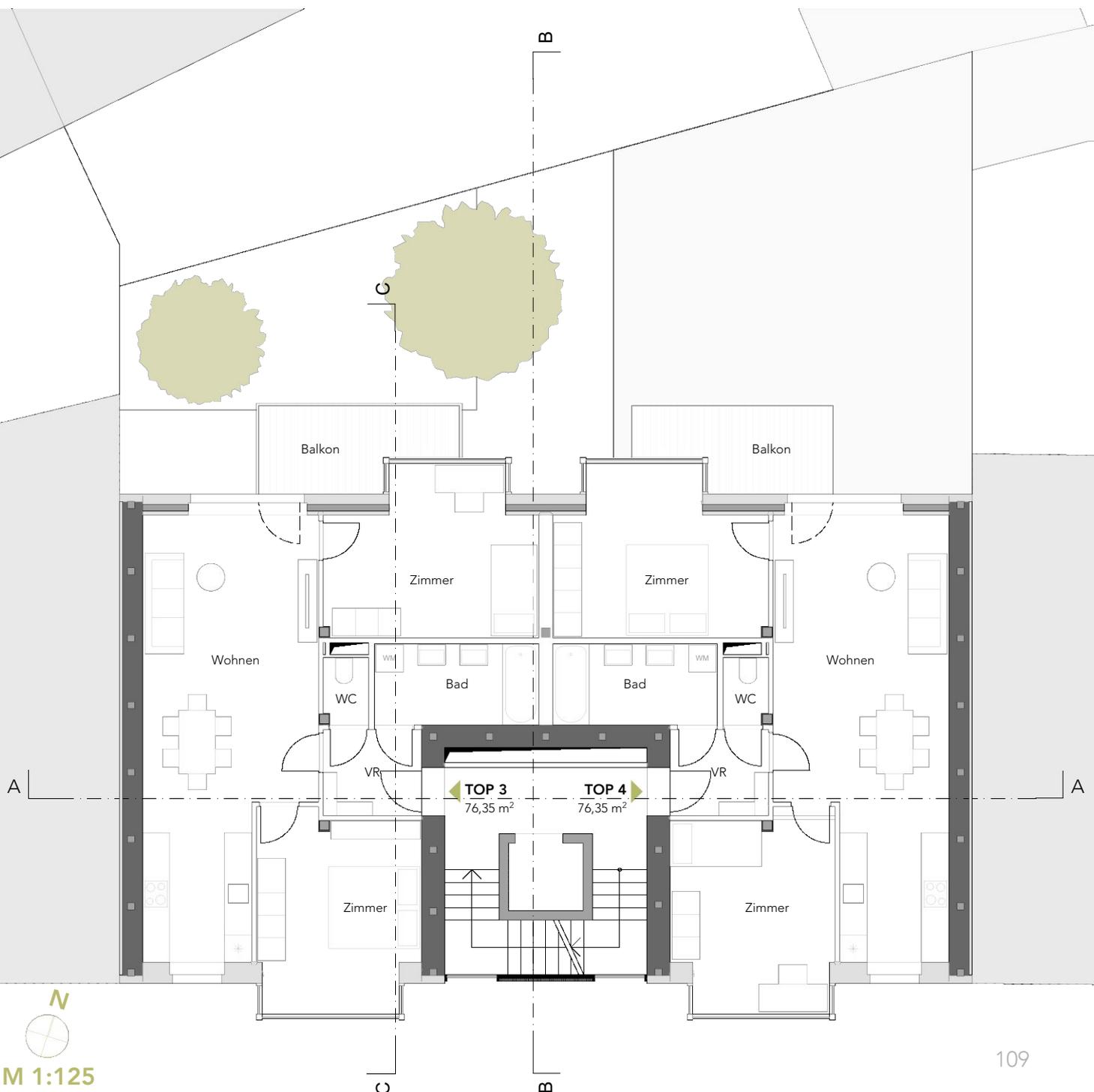
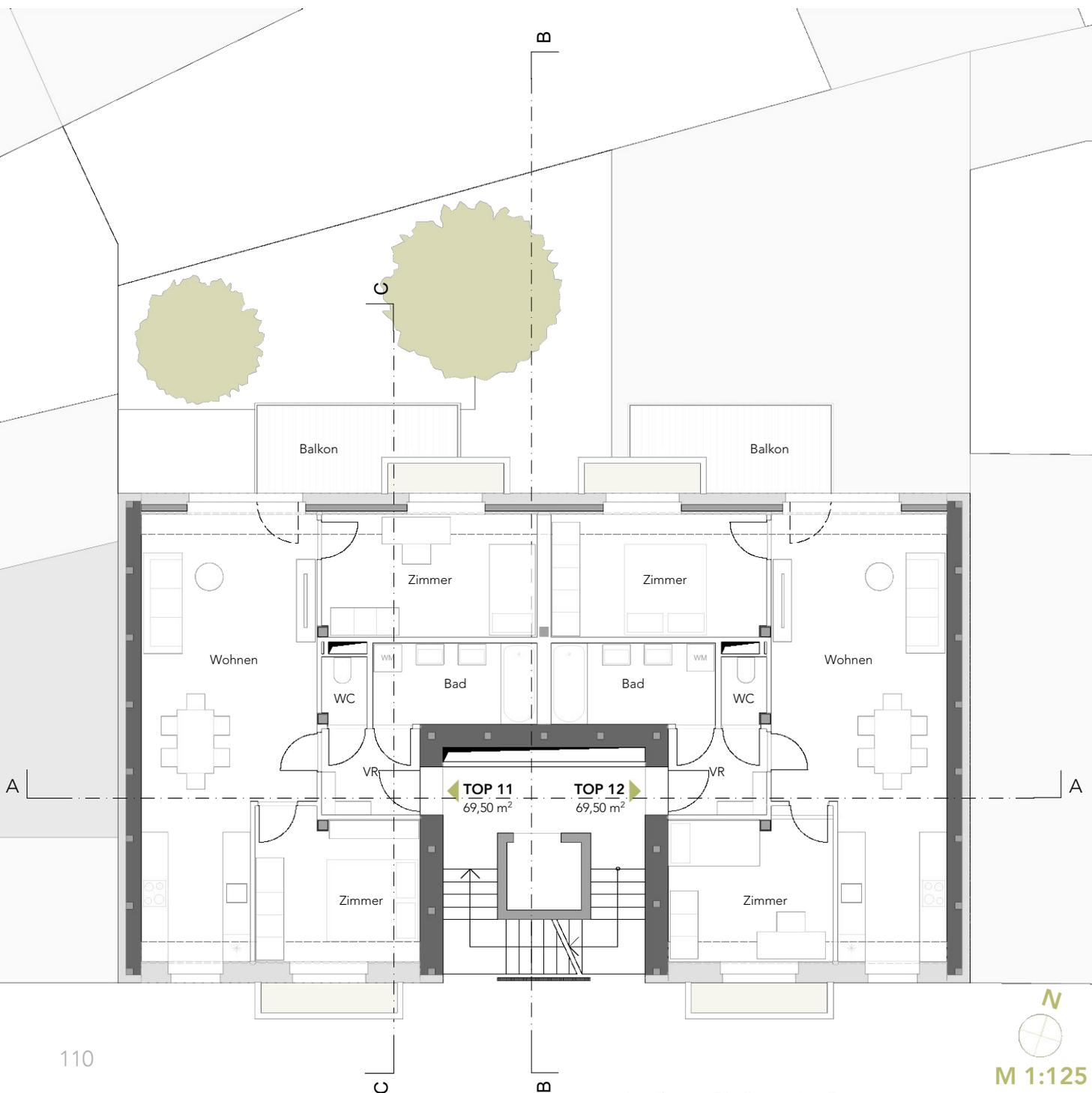


Abbildung 55: Grundriss, Regelgeschoss

Dachgeschoss

und lassen andererseits Licht von zwei Seiten tief in den Wohnraum eindringen. Die Wohneinheiten im sechsten Obergeschoss sind nur noch knapp 70 m² da die Erker im unteren Stockwerk enden, da sie sonst den

erlaubten gläsernen Umriss überschreiten würden. Die Erker bestehen umseitig aus einer Pfosten-Riegel-Fassade und bilden in diesem Geschoss ein privates Beet aus.



Dachgarten

Der Dachgarten stellt einen besonderen Gemeinschaftsraum da: mit Outdoorküche, Sitzgruppen sowie einer Lounge und vielen Hochbeeten wird die Dachterrasse zu einem gemütlichen Treffpunkt. Der Groß-

teil der Fläche ist mit Holzterrassendielen gedeckt. Um die Hochbeete ist eine Wildwiese mit diversen Blumen gepflanzt um unterschiedlichen Insekten Lebensraum zu bieten. Ein Großteil der Terrasse ist

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.



Dachgarten

durch ein Art Pergola verschattet. Diese ist in zwei Bereiche geteilt: der südliche, steile Teil ist durch Photovoltaikpaneele gedeckt und spendet somit Schatten und produziert Energie. Der flachere, mittige Bereich des Dachgartens wird durch Weinreben verschattet. Die restliche Fläche ist ohne schattenspendenden Schutz entworfen. Dort sind der Großteil der Hochbeete situiert und bieten den Bewohner:innen des Haus die Möglichkeit das eigene Gemüse anzubauen. Abgerundet wird die Terrasse mit

der überdachten Outdoorküche sowie zwei Gerätekästen für das Urban Gardening.

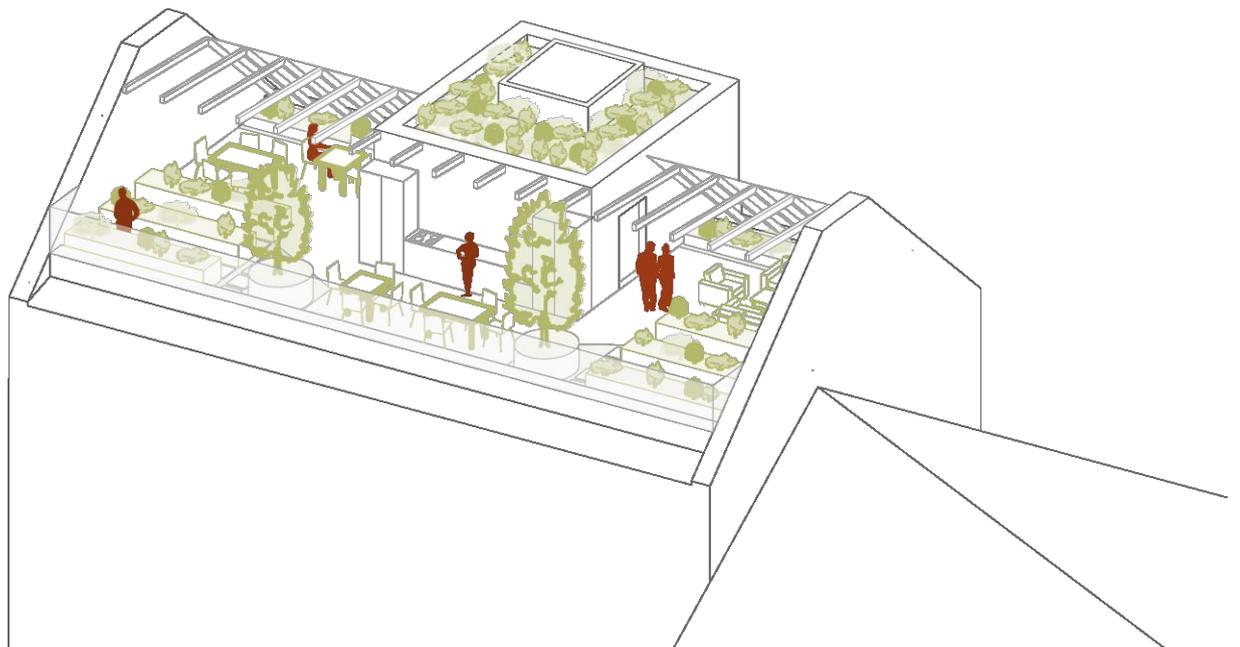


Abbildung 58: Schaubild des Dachgartens

Schnitt A-A

06 ENTWURF | ENTWURF



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.



Abbildung 59: Schnitt A-A

M 1:125

Schnitt B-B

Die Schnitte veranschaulichen den Entwurf in der dritten Dimension. Es wurden bewusst drei Schnitte durch das Gebäude gelegt. Schnitt A-A stellt hierbei den Längsschnitt durchs Gebäude dar. Schnitt B-B zeigt vor allem den Erschließungskern und Schnitt C-C schneidet die beiden Erker des Gebäudes. Die Erdgeschosszone ist mit einer Geschosshöhe von 3,25 m Höhe minimal höher als die 3,00 m hohen Wohngeschosse. Daraus ergeben sich lichte Raumhöhen von 2,77 m sowie 2,52 m. Auf den beiden nächsten Seiten sieht man das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes. Die Nordfassade ist geprägt durch die großen Öffnungen und die Kombination aus Erker und Balkon, wohingegen die Südfassade durch das lichtdurchflutete Stiegenhaus auf sich aufmerksam macht. Die Glasfassade des Erschließungskernes soll einen Einblick ins Innere geben und die Verwendung der nachhaltigen Materialien zeigen.

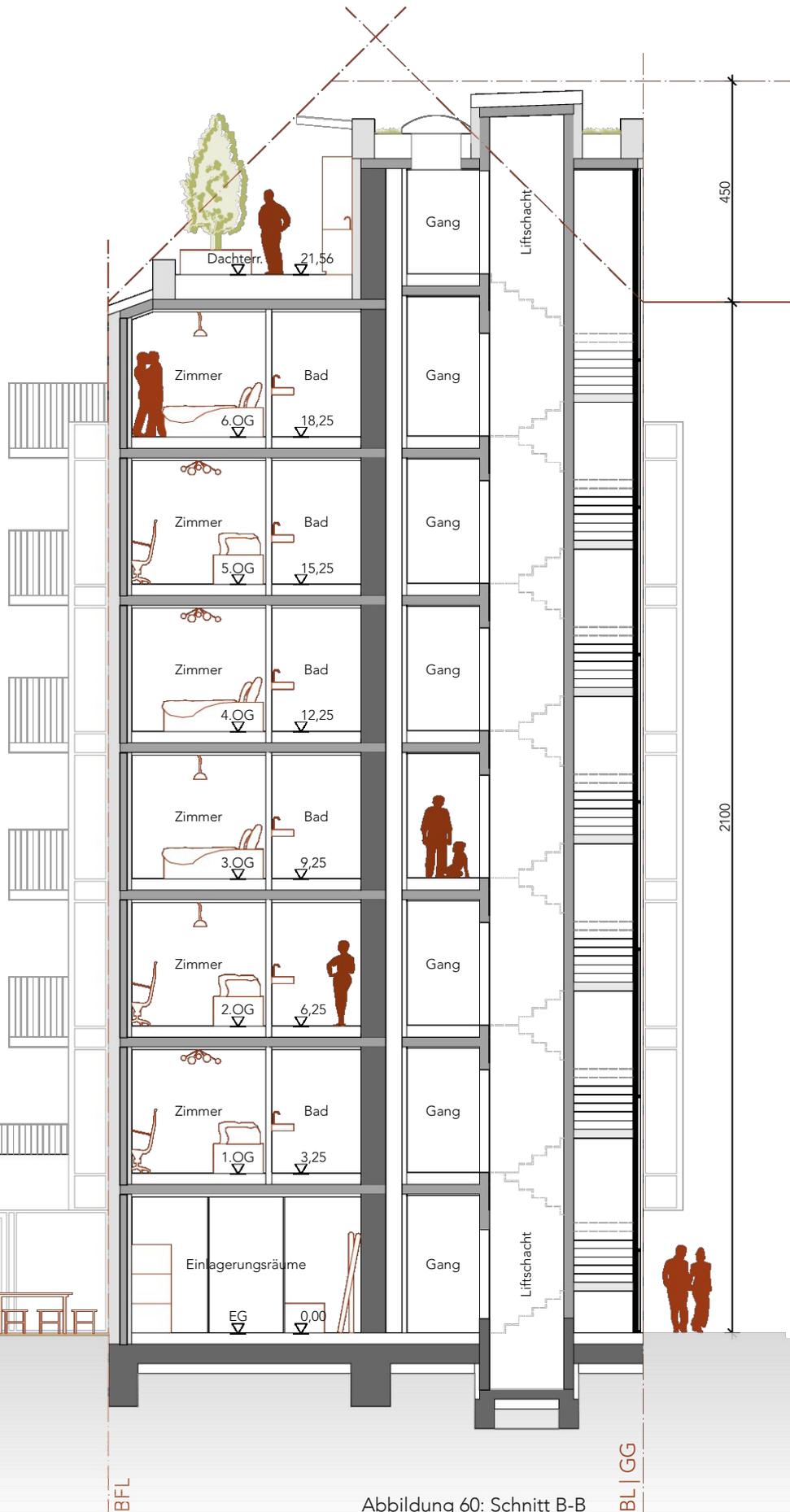


Abbildung 60: Schnitt B-B

M 1:125

Schnitt C-C

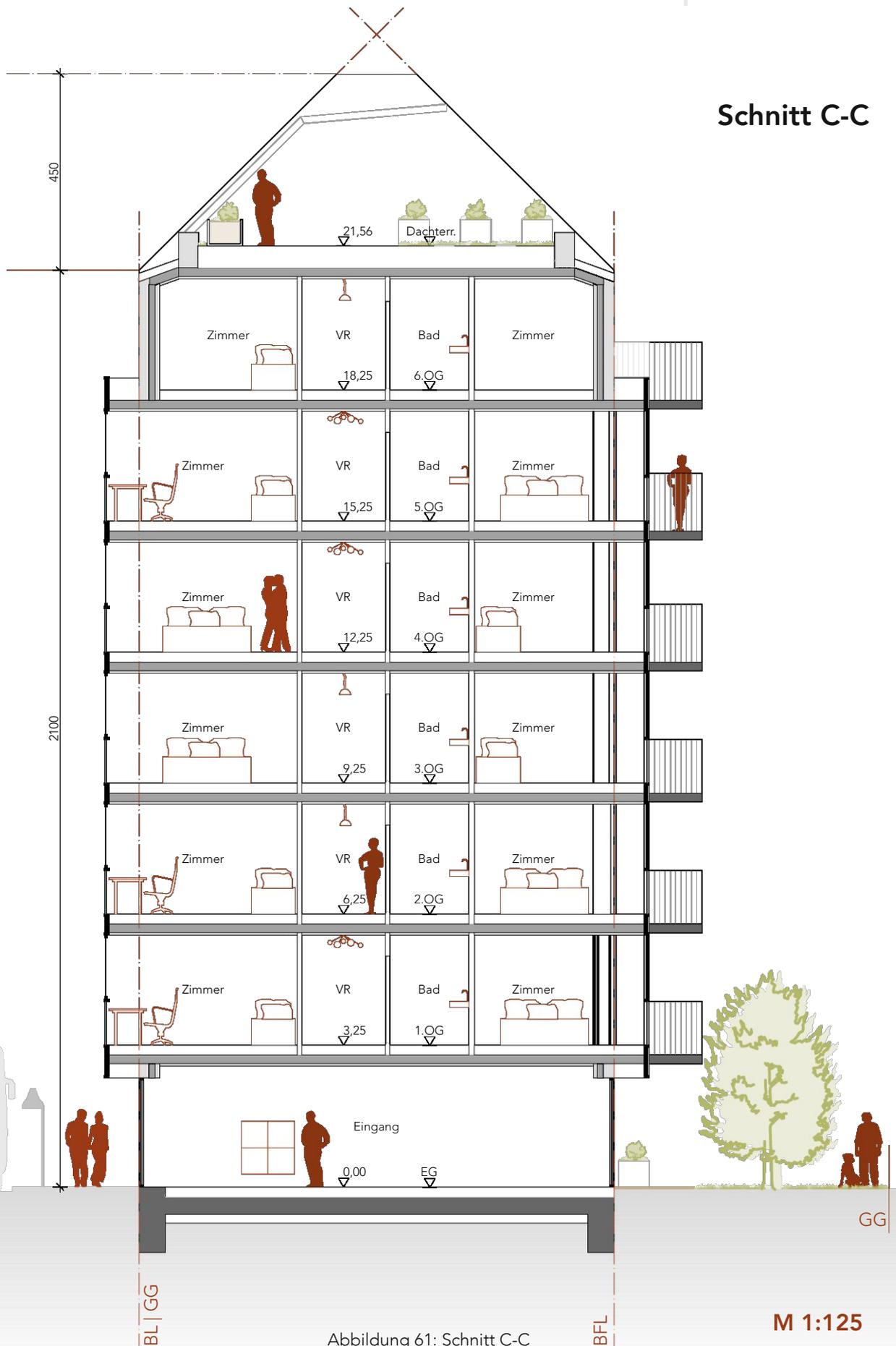


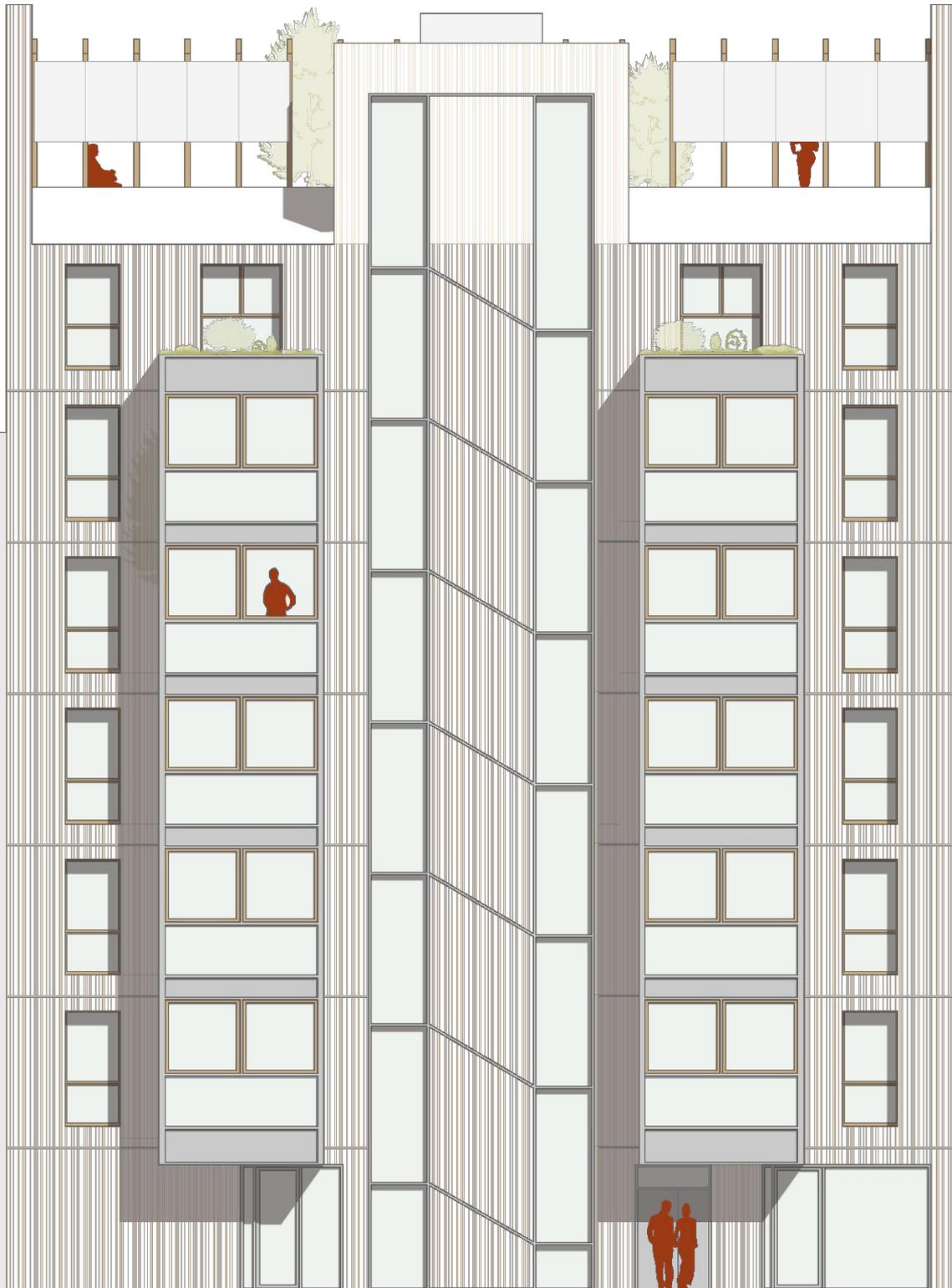
Abbildung 61: Schnitt C-C

M 1:125

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.



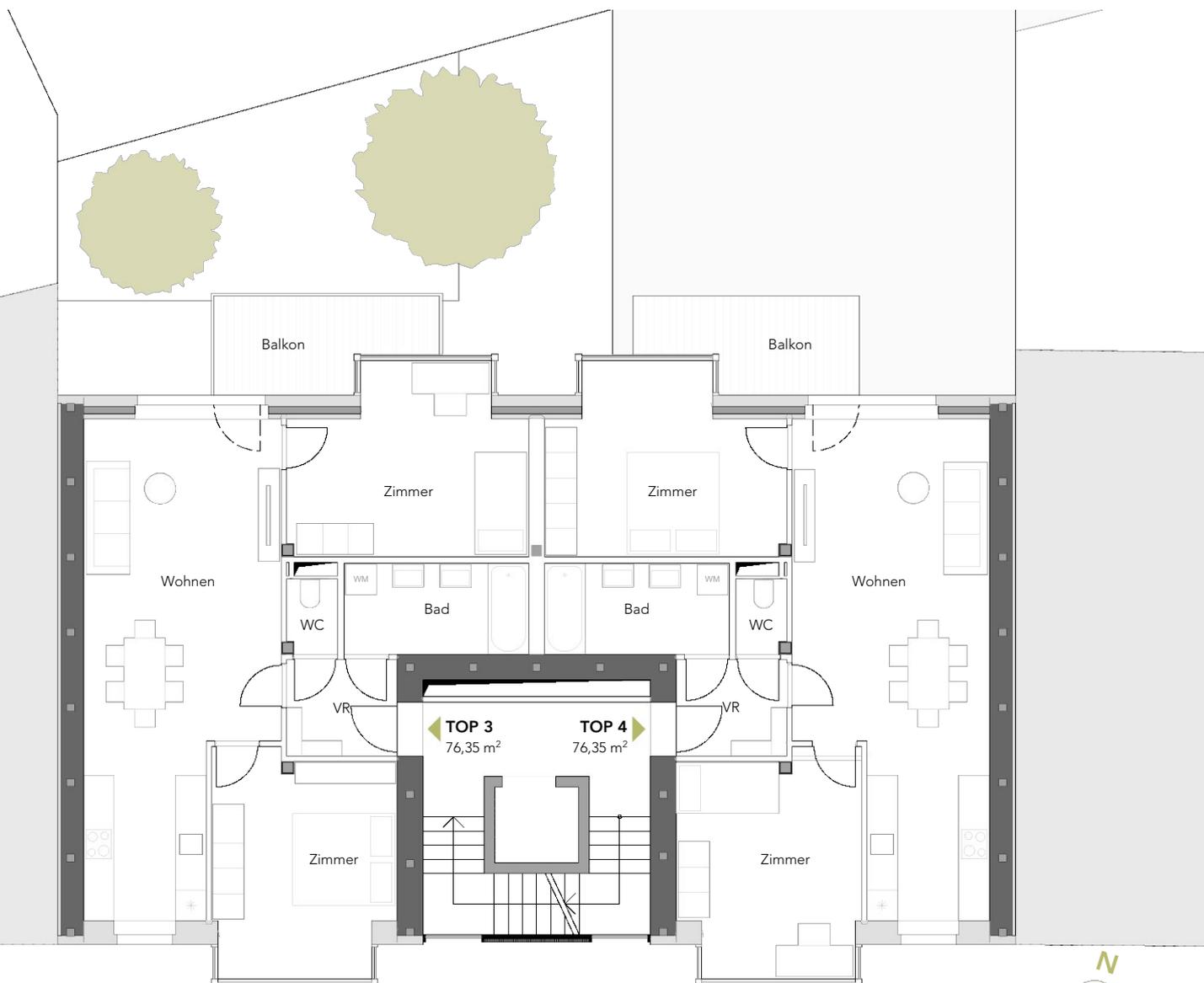
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Flexibilität

Ein weiteres wichtiges Entwurfsziel ist die Flexibilität der Grundrisse. Dieses Thema wird zunehmend wichtiger, da das klare Ziel der Stadt Wien lautet: bis 2040 klimaneutral zu sein. [35] Dazu müssen wohl auch Gebäude langlebiger werden und nach Ende der ersten Nutzungsperiode durch einen anderen Verwendungszweck ein zweites Leben erhalten. Dies sieht neben der Stadt Wien auch Sandra Schuster, Geschäfts-

führerin des Forschungsverbundes TUM. wood, so. Die Wichtigkeit den Gebrauchszyklus wechseln zu können, allenfalls aber die verwendeten Materialien ihrem Kreislauf zurückzuführen, wird von Architektin Schuster unterstrichen. [36] Daher ist der Entwurf schon in der Planungsphase auf eine spätere Umnutzung in Büros entworfen worden. Dazu werden die internen Wände einer Einheit und die wohnungs-



gerechte Möblierung entfernt. Je nach Anforderung können so auch durch Entfernung der Wohnungstrennwand zwei Einheiten zusammengeschlossen werden. Bei dieser Variante weichen die Badezimmer einer Gemeinschaftsküche. Durch die Anordnung des Aufenthalts- und Pausenbereiches in der Nähe der Kochstelle werden die zwei hofseitigen Erker optimal genutzt. Diese Aufteilung teilt den Grundriss in zwei gleich große Bürotrakte, welche nach Be-

lieben auch durch Trennwände in kleine Besprechungsräume oder Einzelbüros aufgeteilt werden können. Die Nutzung als Büroräumlichkeit ist allerdings nicht zwingend, da eine Arztpraxis ebenso Platz finden könnte.

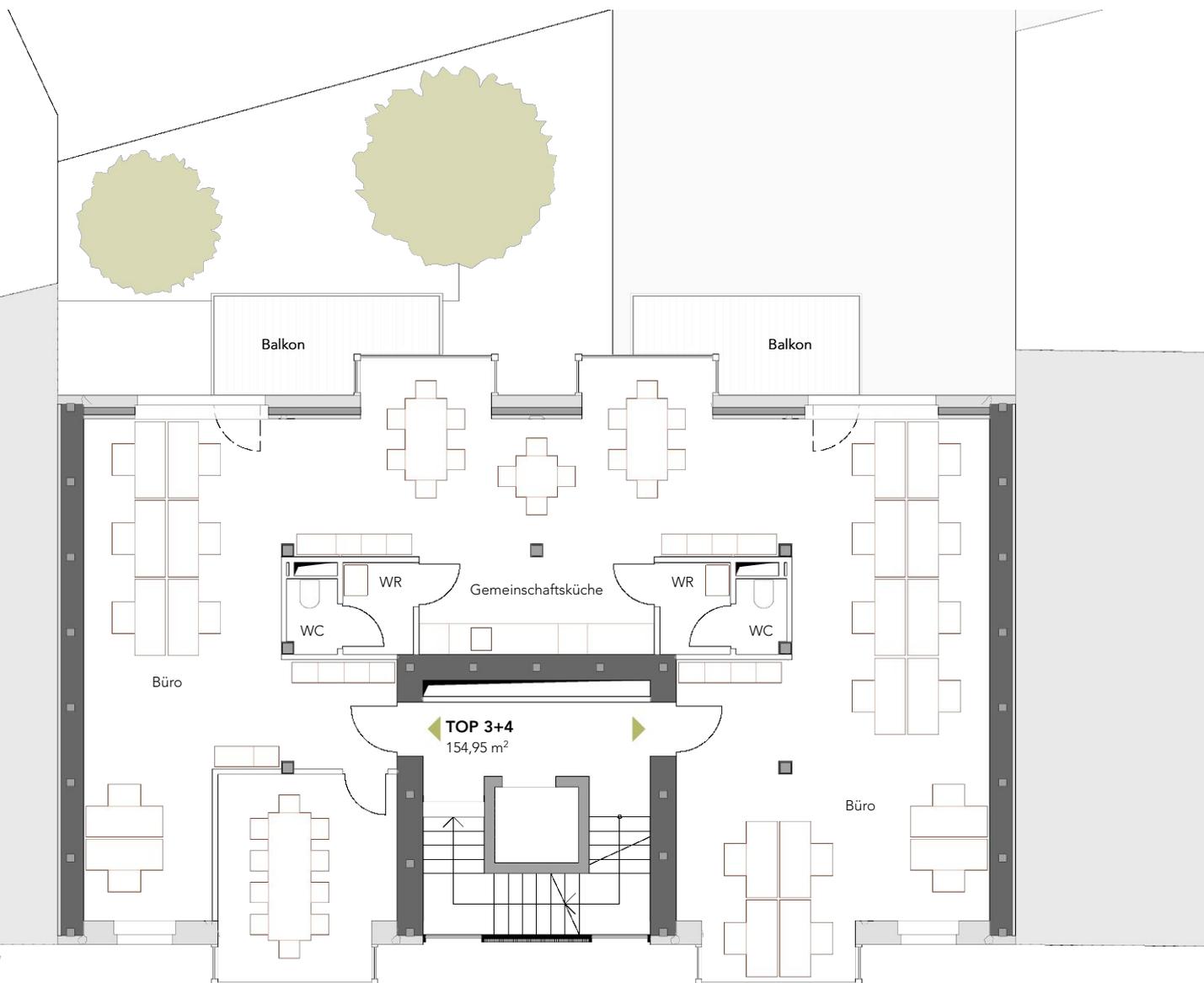


Abbildung 65: Grundriss, Büro

KONSTRUKTION

Der nachfolgende Abschnitt erklärt im Wesentlichen die Funktionsweise sowie den technischen Teil des Entwurfes. In den Tragwerksplänen wird der Aufbau und die Konstruktion des Gebäudes dargestellt und im Bauablauf wird die Montage der Fertigteile im Detail beschrieben. Dies ist im Holzbau ein wesentlicher Punkt, besonders bei einer innerstädtischen Baulücke wie dieser. Hier ist wenig Raum, um Materialien und Werkzeuge während der Bauphase zwischenzulagern, weshalb der Einsatz von vorgefertigten Bauteilen forciert werden muss. Dies hat zudem auch Vorteile für den gesamten Kreislauf der Materialien, dazu wird allerdings im nächsten Abschnitt genauer darauf eingegangen.

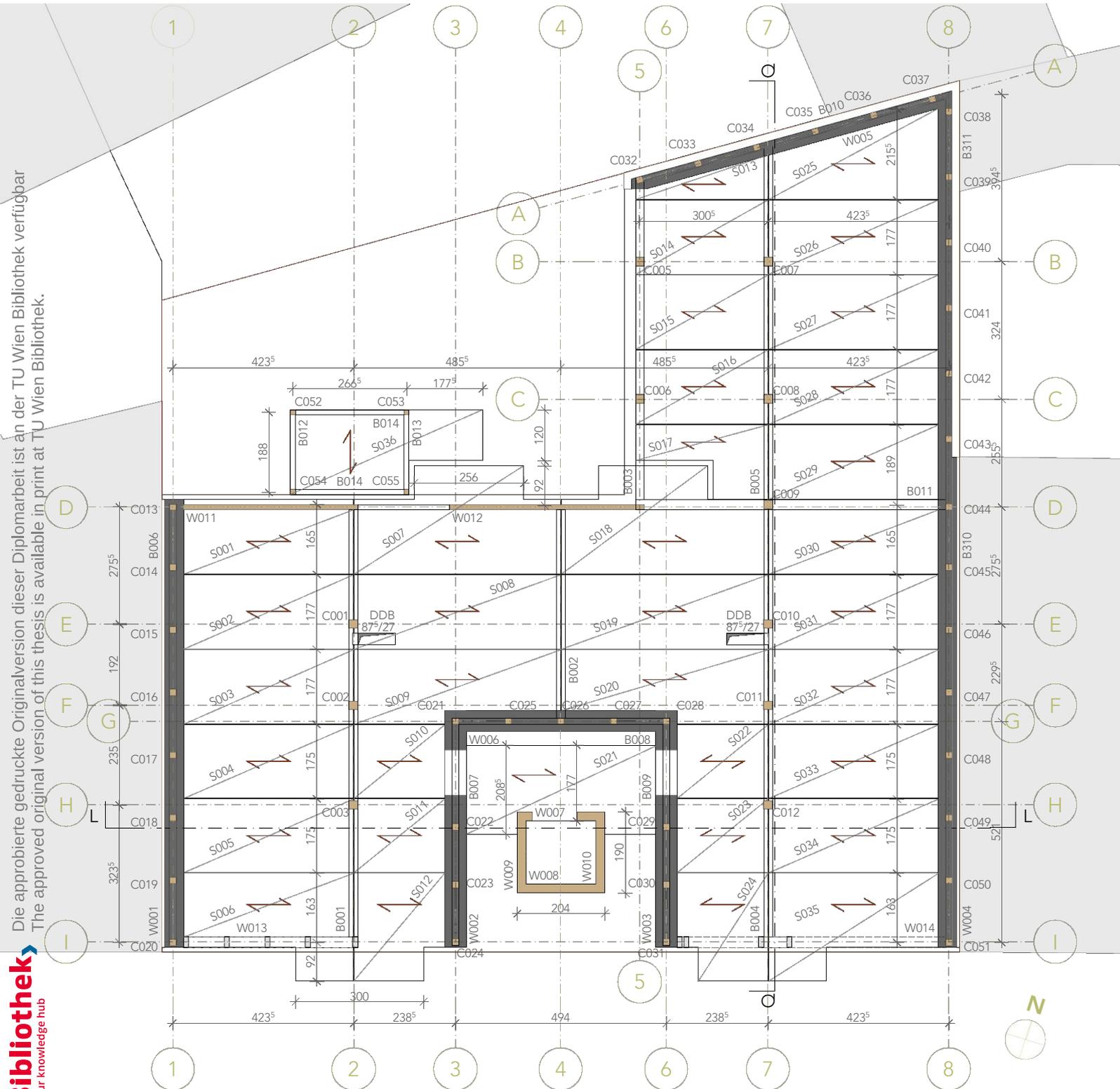
Tragwerk

Der Entwurf ist geprägt durch den Einsatz der nachhaltigen Materialien. Die Tragstruktur wird im Wesentlichen durch Stampflehmwänden, Holzstützen und -wänden gebildet. Ein einheitliches Raster weist dieses Gebäude nicht auf, die tragenden Achsen sind im Einklang mit dem Entwurf entstanden. Die der Grundgrenze zugewandten Wände bestehen aus tragendem Stampflehm. Da diese bis zum obersten Punkt des Bauwerks reichen, muss dem Lehm eine Hilfe in der Steifigkeit gegeben werden. Dies wird durch eingestampfte Holzstützen erzielt. Sie erhalten zu Beginn und am Ende der Wand eine Auskreuzung durch Stahlzugstäbe. Das Holz übernimmt allerdings auch ein Teil der tragenden Funktion und dient besonders als Deckenaufleger. Der Erschließungskern ist nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Auch hier sind die Eckfelder zusätzlich ausgesteift.

Die Lehmwände weisen eine Stärke von 44 cm bzw. 50 cm auf, die eingestampften Stützen eine Abmessung von 15 x 15 cm. Sind die Dächer der Nachbargebäude erreicht, nimmt die Dicke der Stampflehmwand ab und beträgt nur noch 32,50 cm. Der Aufzugsschacht besteht aus 20 cm starken Kreuzlagenholzwänden. Das dies möglich ist zeigt ein Referenzprojekt in Aalen: bei dem achtstöckigen Verwaltungsgebäude wurde die gesamte Tragstruktur, selbst der Erschließungskern und Aufzugsschacht in Holzbauweise errichtet. [11] [37]

Die gebäudeinterne Tragstruktur wird durch ein Baubuche-System aus Stützen und Trägern gebildet. Die Vorbemessung der Holzelemente wurde mithilfe von Tabellen der Firma Pollmeier Massivholz GmbH & Co. KG durchgeführt: die Stützen weisen eine Dimension von 20 x 20 cm auf, die Träger 36 x 20 cm. [38] Die größte Spannweite der Träger beträgt 3,24 m. Diese Abmessungen gelten für alle punktförmigen Lastabtragungselemente im Gebäudeinneren. Bei den Unterzügen gibt es im Erdgeschoss zwei Ausnahmen: einerseits wird aus Nutzungsgründen im Erdgeschoss, anders als in den Wohngeschossen darüber, die Stütze in den Achsen E-4 entfernt. Somit muss der darüber befindende Träger die Lasten der oberen Geschosse ohne Unterstützung im Zentrum an die Außenwand liefern. Daher ergab die Vorbemessung eine Abmessung von 52 x 20 cm. Hier ist eine Spannweite von 5,05 m zu erwarten. Andererseits gibt es einen Unterzug in Achse D, welcher von Achse 5 bis 8 spannt. Da es hier, abgesehen von den beiden Endauflagern, nur ein exzentrisches Mittelaufleger gibt, beträgt die größte Spannweite 4,24 m. Somit ergibt sich bei diesem Träger eine Dimension von 44 x 20 cm. Bei den Decken handelt es sich um Brettstapeldecken. Diese wurden mittels Vorbemessungstabellen der Firma Hasslacher Holding GmbH durchgeführt.

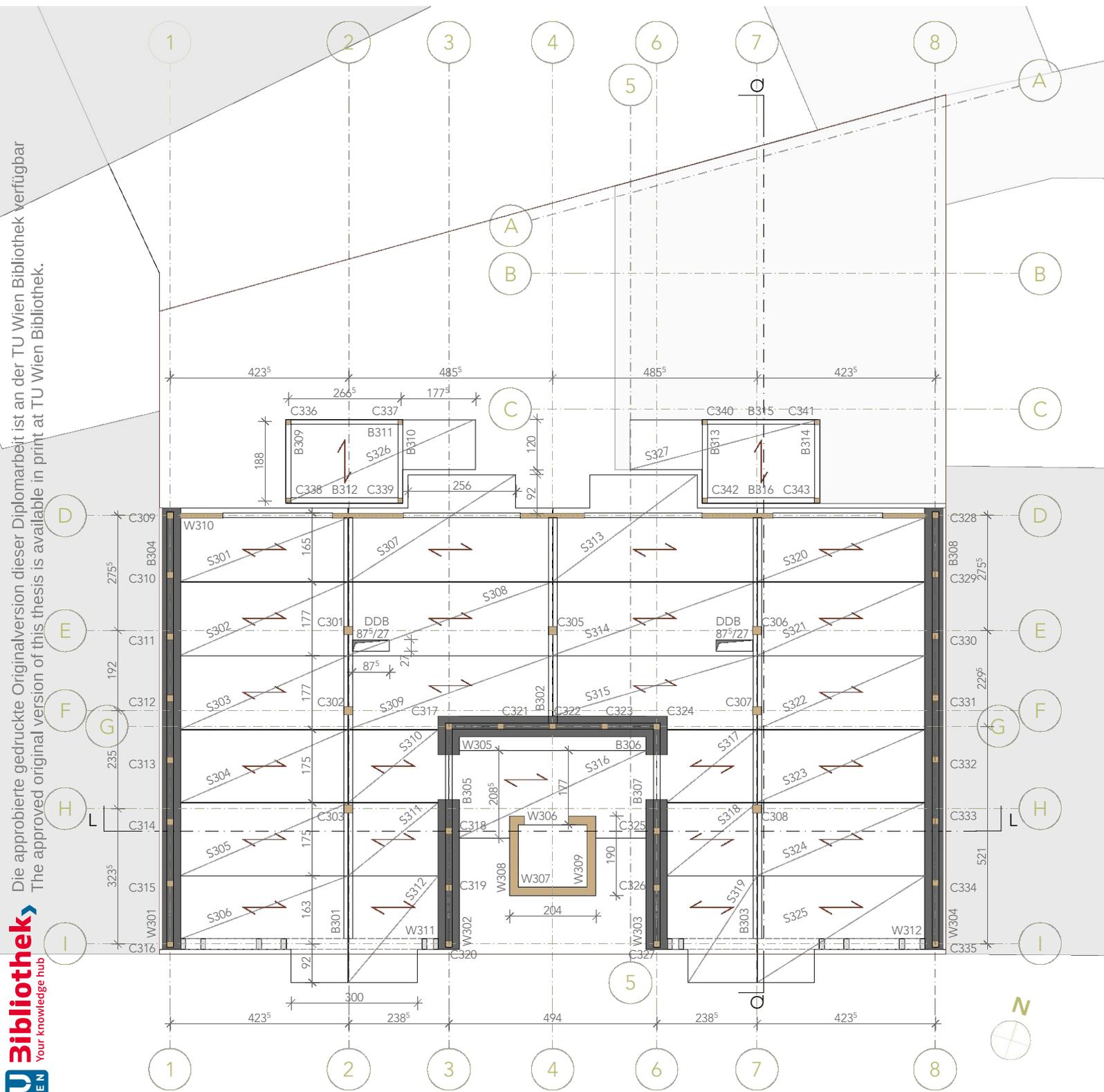
Erdgeschoss



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.

Abbildung 66: Tragwerksgrundriss, Erdgeschoss

Regelgeschoss



TU Bibliothek
 Your knowledge hub
 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.

Abbildung 67: Tragwerksgrundriss, Regelgeschoss

Dachgeschoss

TU **Bibliothek** WIEN
 Your knowledge hub
 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.

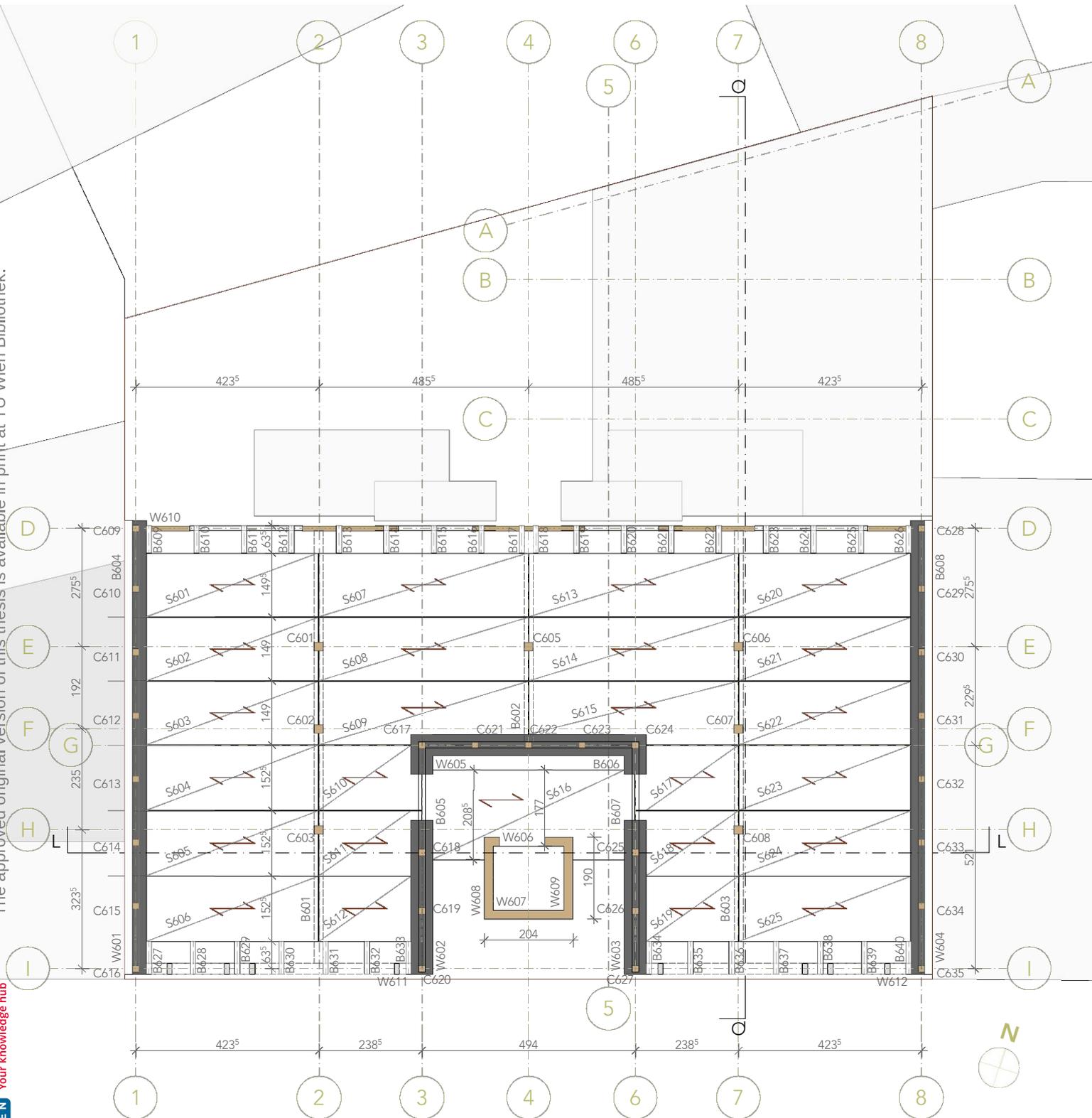


Abbildung 68: Tragwerksgrundriss, Dachgeschoss

M 1:125

Schnitt L-L

06 ENTWURF | KONSTRUKTION

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.

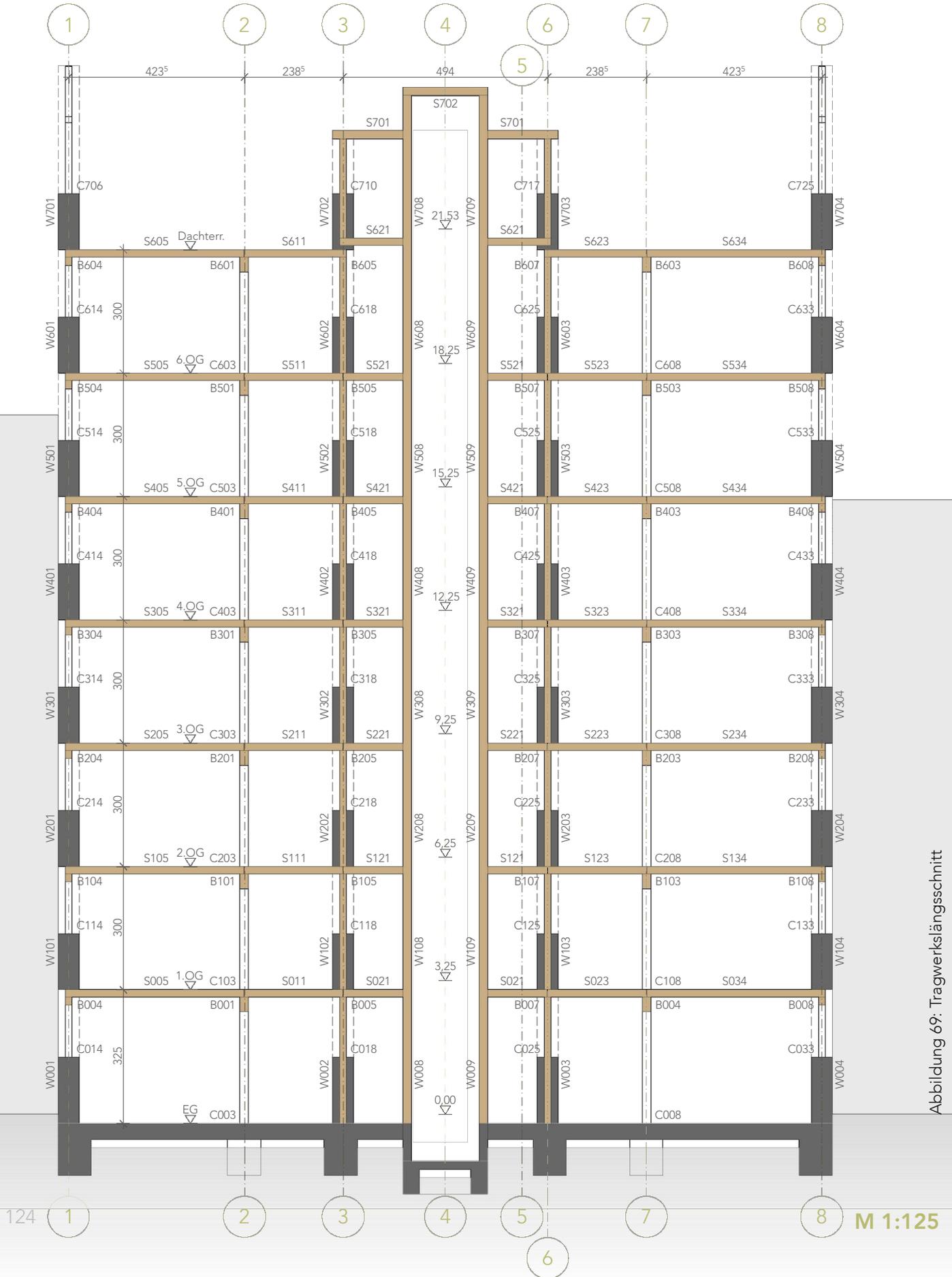
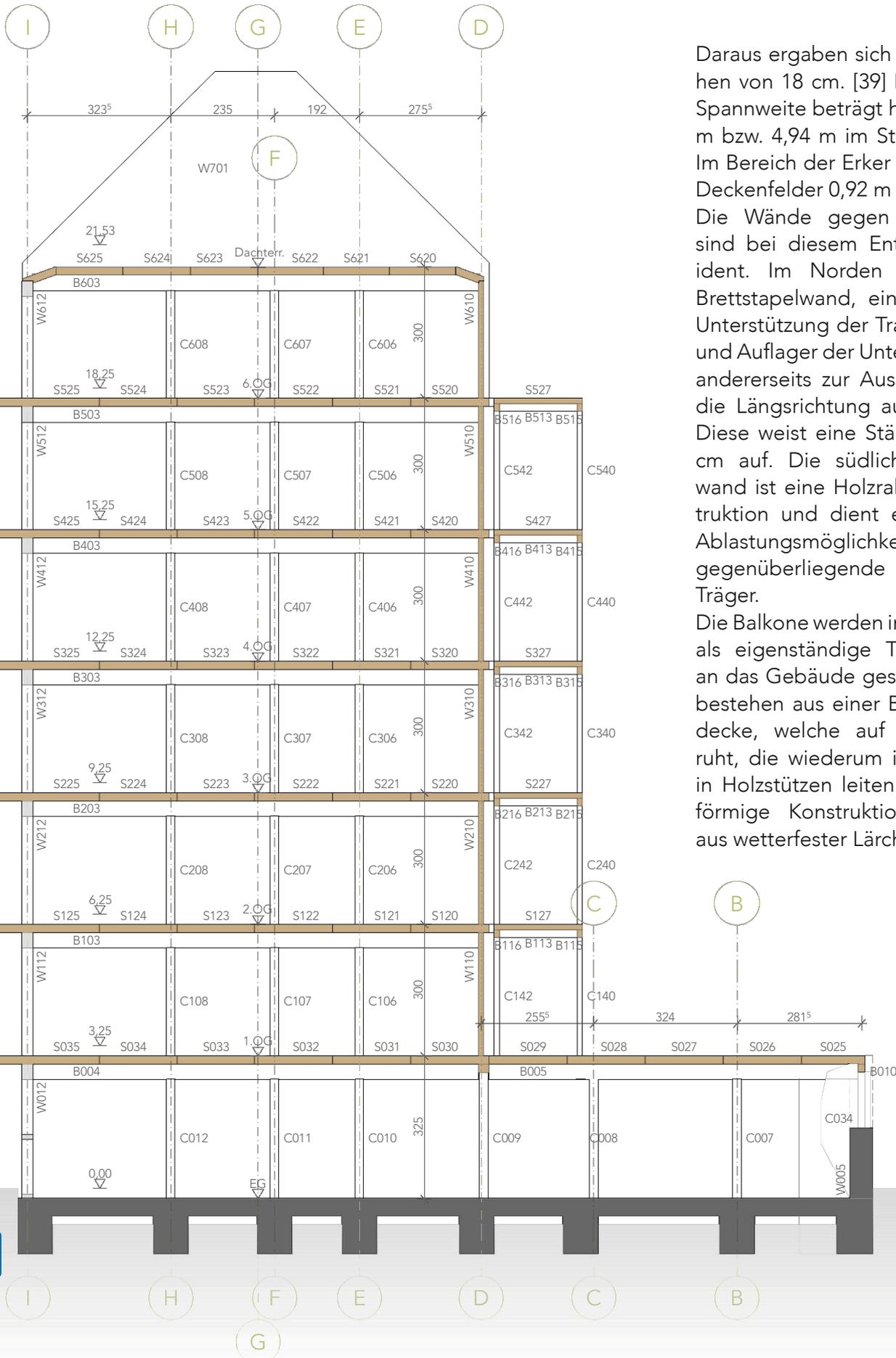


Abbildung 69: Tragwerkslängsschnitt

Schnitt Q-Q



Daraus ergaben sich Aufbauhöhen von 18 cm. [39] Die größte Spannweite beträgt hierbei 4,85 m bzw. 4,94 m im Stiegenhaus. Im Bereich der Erker kragen die Deckenfelder 0,92 m aus.

Die Wände gegen Außenluft sind bei diesem Entwurf nicht ident. Im Norden wird eine Brettstapelwand, einerseits zur Unterstützung der Tragfähigkeit und Auflager der Unterzüge und andererseits zur Aussteifung in die Längsrichtung ausgebildet. Diese weist eine Stärke von 14 cm auf. Die südliche Außenwand ist eine Holzrahmenkonstruktion und dient ebenso als Ablastungsmöglichkeit für das gegenüberliegende Ende der Träger.

Die Balkone werden im Innenhof als eigenständige Tragstruktur an das Gebäude gestellt. Diese bestehen aus einer Brettstapeldecke, welche auf Unterzüge ruht, die wiederum ihre Lasten in Holzstützen leiten. Die stabförmige Konstruktion besteht aus wetterfester Lärche. [65]

Abbildung 70: Tragwerksquerschnitt

Bauteilaufbauten

Außenwand (Nachbar)

U-Wert IST: 0,408 W/m²K
 U-Wert SOLL: 0,500 W/m²K [43]

Steinwolle	6,0 cm
Stampflehm	44,0 cm
mit Holzstützen	15,0 cm
Lehmputz (nur bei Bedarf)	1,6 cm
	50,0-51,6 cm



Abbildung 71: Außenwand (Nachbar)

Außenwand (Massiv)

U-Wert IST: 0,158 W/m²K
 U-Wert SOLL: 0,350 W/m²K

Holzfassade (Robinie) [40] [41]	4,4 cm
Lattung	3,5 cm
Konterlattung (Hinterlüftung)	3,5 cm
Winddichtung	-
Diagonale Rauschalung	2,4 cm
Steinwolle (Rockwool) [42]	14,0 cm
dazw. Holzständerkonstruktion	
Brettstapelwand	14,0 cm
Dampfbremse	-
Installationsebene, Lattung	3,8 cm
Lehmputzplatten	1,6 cm
	47,0 cm

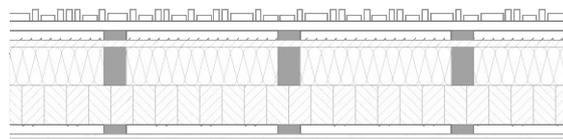


Abbildung 72: Außenwand (Massiv)

Außenwand (Leichtbau)

U-Wert IST: 0,157 W/m²K
 U-Wert SOLL: 0,350 W/m²K

Holzfassade (Robinie)	4,4 cm
Lattung	3,5 cm
Konterlattung (Hinterlüftung)	3,5 cm
Winddichtung	-
Diagonale Rauschalung	2,4 cm
Steinwolle (Rockwool)	24,0 cm
dazw. Holzständerkonstruktion	
Diagonale Rauschalung	2,4 cm
Dampfbremse	-
Installationsebene, Lattung	3,8 cm
Lehmputzplatten	3,0 cm
	47,0 cm

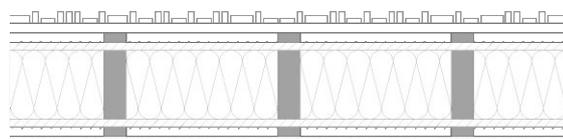


Abbildung 73: Außenwand (Leichtbau)

Geschossdecke

Massivparkett	2,0 cm
Lehmheizestrich	12,2 cm
Trennlage	-
Holzfaserdämmung, druckfest [44]	4,0 cm
Diagonale Schalung	2,4 cm
Brettstapeldecke	18,0 cm
Installationsebene, Lattung	3,8 cm
Lehmbauplatten	1,6 cm
	46,0 cm

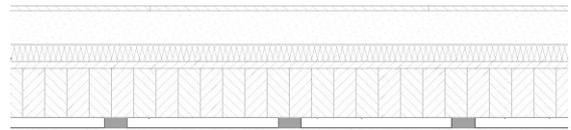


Abbildung 74: Geschossdecke

Geschossdecke (Nassraum)

Lehmheizestrich (Kaseingespachtelt)	13,2 cm
Trennlage	-
Holzfaserdämmung, druckfest	6,0 cm
Diagonale Schalung	2,4 cm
Brettstapeldecke	18,0 cm
Installationsebene, Lattung	3,8 cm
Lehmbauplatten	1,6 cm
	45,0 cm

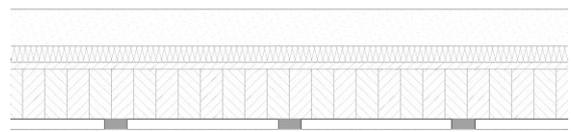


Abbildung 75: Geschossdecke (Nassraum)

Flachdach (begrünt) [45]

U-Wert IST: 0,122 W/m²K
U-Wert SOLL: 0,200 W/m²K

Blumen und Wiese	-
Substrat	17,5 cm
Filtervlies	-
Dränschicht	5,0 cm
Wurzelfeste Schutzschicht	-
Trennfolie	-
Abdichtung	-
Steinwolle (Rockwool) im Gefälle verlegt	25 cm
Dampfsperre	-
Diagonale Schalung	2,4 cm
Brettstapeldecke	18 cm
Installationsebene, Lattung	3,8 cm
Lehmbauplatten	1,6 cm
	73,3 cm

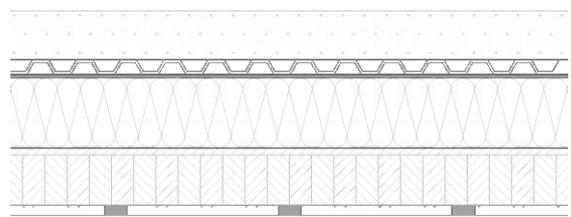


Abbildung 76: Flachdach (begrünt)

Steildach

U-Wert IST: 0,164 W/m²K
 U-Wert SOLL: 0,200 W/m²K

Ziegeldeckung	2,0 cm
Lattung	3,5 cm
Konterlattung (Hinterlüftung)	3,0 cm
Winddichtung	-
Diagonale Rauschalung	2,4 cm
Steinwolle (Rockwool)	7,6 cm
dazw. Holzständerkonstruktion	
Diagonale Rauschalung	2,4 cm
Steinwolle (Rockwool)	20,0 cm
dazw. Holzständerkonstruktion	
Diagonale Rauschalung	2,4 cm
Installationsebene, Lattung	3,8 cm
Lehmbauplatten	1,6 cm
	48,7 cm

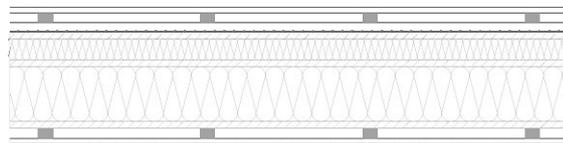


Abbildung 77: Steildach

Wohnungstrennwand

Lehmputz	0,5 cm
Ökomassivplatten [46]	4,5 cm
Holzstütze (Baubuche)	20,0 cm
dazw. Steinwolle (Rockwool)	
Ökomassivplatten	4,5 cm
Lehmputzen	0,5 cm
	30,0 cm



Abbildung 78: Wohnungstrennwand

Wohnungsinterne Wand

Lehmbauplatten	1,6 cm
Holzständerkonstruktion	6,8 cm
Steinwolle (Rockwool)	
Lehmbauplatten	1,6 cm
	10,0 cm



Abbildung 79: Wohnungsinterne Wand

Wohnungsinterne Wand (Nassraum)

Lehmbauplatten	1,6 cm
Holzständerkonstruktion	7,4 cm
Steinwolle (Rockwool)	
Lehmbauplatten	3,0 cm
	12,0 cm



Abbildung 80: Wohnungsinterne Wand (Nassraum)

Fundamentplatte

U-Wert IST: 0,187 W/m²K

U-Wert SOLL: 0,400 W/m²K

Lehmheizestrich (Kaseingespachtelt)	14,6 cm
Trennlage	-
Holzfaserdämmung, druckfest	7,0 cm
Abdichtung	-
Bodenplatte	40,0 cm
Schaumglasschotter [5]	40,0 cm
	48,7 cm

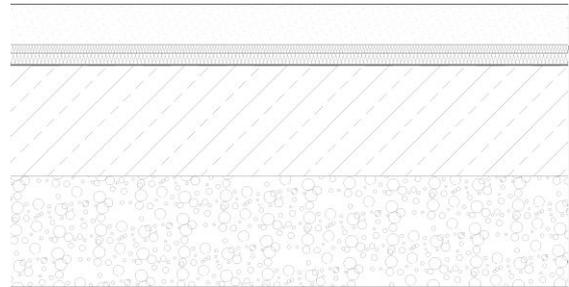


Abbildung 81: Fundamentplatte

Die U-Werte wurden mithilfe des Bauteilrechners „Baubook“ berechnet. [69]

Fertigteile

Da gerade im innerstädtischen Bereich kaum Lagermöglichkeiten für Baumaterial vorhanden sind, ist die Vorfertigung enorm wichtig. Einige der zuvor gezeigten Aufbauten werden für diesen Entwurf vorgefertigt.

Stampflehwand

Die Tatsache, dass gerade das erste Fertigteil nicht den Holzbau betrifft, ist vor allem Martin Rauch zu verdanken. Vor über 20 Jahren gründete er seine Firma Lehm-Ton-Erde und trieb mit dieser den Lehm- und Tonbau in Österreich voran. Seit 2007 produziert Rauch vorgefertigte Stampflehmwände. Solche kommen auch bei diesem Entwurf zum Einsatz. Diese werden für die Wände an der Grundgrenze sowie für das Stiegenhaus gefertigt. Hierbei gilt es zwei Arten zu unterscheiden: jene Wände mit den aussteifenden Stahlstäben, sowie die mittigen Bauteile. Erstere weisen im Kern zwei eingestampfte Holzstützen mitsamt Auskreuzung auf. Diese werden in zwei Längen vorgefertigt – 2,27 m bzw. 2,10 m. Da die Wände pro Geschoss hergestellt werden, muss auch in

zwei Höhen unterschieden werden – 3,07 m im Erdgeschoss, 2,82 m in den darüberliegenden Geschossen. Durch die Bauteilstärke von 44 cm und einer Rohdichte von 1800 kg/m³ ergibt sich so ein Gewicht von maximal 6,85 Tonnen. Dies ist vor allem wichtig, da bei 7 Tonnen pro Bauteil die Obergrenze liegt. [47] Das zweite Stampflehmelement weist nur eine Holzstütze auf. Diese Bauteile sind mittig zwischen zwei Stützen getrennt, wodurch je ein stabförmiges Element in einem Bauteil eingestampft wird. Bei diesem vorgefertigten Teil gibt es drei wesentliche Herstellungsgrößen: 1,23 m, 1,48 m und 2,71 m. Hier beträgt das maximale Gewicht 6,87 Tonnen.

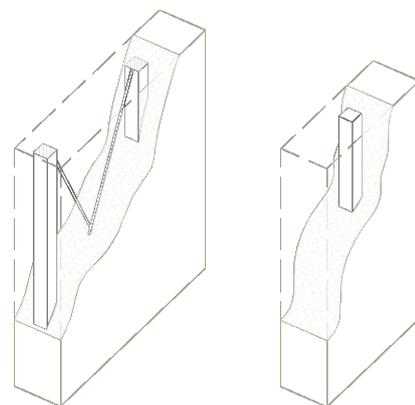


Abbildung 82: Stampflehmwand

Holzleichtbauwand

Neben der Stampflehmwand werden auch noch die Außenwände vorgefertigt. Zunächst die Holzleichtbauwände: diese bilden die südliche Fassade des Gebäudes und bestehen aus acht unterschiedlichen Teilen, wobei sich diese lediglich durch ihre Höhe, die Fensterart sowie der Länge differenzieren. Die Hälfte der Elemente sind den Ausgangsbauanteilen nur durch die Spiegelung zu unterscheiden.

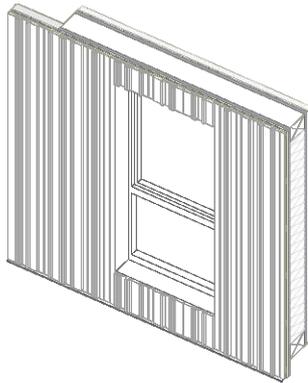


Abbildung 83: Holzleichtbauwand inkl. Fenster und Lehmenschutz

Das erste Fertigteil wird inklusive Fenster hergestellt und grenzt an die Stampflehmwand an der östlichen und westlichen Grundgrenze. Dadurch besteht das Bauteil aus zwei Teilen, der eigentlichen Wand und dem Schutzteil (ohne konstruktive tragende Schicht) welche die Stirnseite des Lehmehes vor Witterung schützt. Die wesentliche Tragstruktur bildet die Holzrahmenkonstruktion mit zwischenliegender Steinwolldämmung. Diese wird sowohl außen als auch innen mit einer diagonalen Rauschalung mittels Schrauben geschlossen. Auf der Rauminnenseite wird die Dampfbremse auf die Schalung montiert, die Installa-

tionsebene verschraubt und anschließend die Lehmbauplatten befestigt. Auf der kalten Bauteilseite wird eine winddichte Folie montiert. Darauf wird Konterlattung und Lattung verschraubt und schlussendlich die Robinie angebracht. So kommt die gesamte Außenwand auf die Baustelle und kann dort versetzt werden. Dieses Teil, mitsamt Lehmeheschutz, misst 3,12 m. Das östliche Fassadenteil weist die Beplankung der Lehmehewand auf der rechten Seite auf, das westliche auf der linken. Insgesamt werden diese Elemente für das erste bis fünfte Geschoss verwendet und weisen eine Höhe von 2,80 m auf. Im Erdgeschoss gibt es zwei ähnliche Bauteile: eine Fertigteilwand mit einer Tür statt einem Fenster, mit einer Länge von 3,30 m, sowie ein Element ohne Öffnung mit 4,61 m, und einer Höhe von 3,02 m.



Abbildung 84: Holzleichtbauwand inkl. Lehmeheschutz

Neben diesen vier Bauteilen gibt es noch ein Fertigteil, welches am Stiegenhaus Anschluss findet. Auch hier gibt es zwei Teile, welche sich nur durch ihre Spiegelung unterscheiden. Der Aufbau ist dem der anderen Wand ident, dieser ist lediglich kürzer, 1,00 m, weist keine Öffnung auf und integriert ebenso den Lehmeheschutz für die Wände des Erschließungskernes. Die Wände im sechsten Geschoss, Element sieben und acht der Leichtbauwand, sind aufgrund der

Verschneidung mit dem Dach lediglich 2,65 m hoch. Da die Erker zusätzlich im fünften Stockwerk enden, weist die Fertigteilwand so eine Länge von 7,12 m auf und besitzt nur in diesem Geschoss zwei statt nur einem Fenster. Der Aufbau ist ident.

Holzmassivwand

Die massiven Holzwände werden für die südliche Außenwand verwendet. Diese verleihen dem Gebäude die nötige Längsausteiung. Sie werden gleich wie die Holzleichtbauwände als Fertigteile produziert. Hier sind es sechs unterschiedliche Elemente, wobei es wieder gespiegelte Varianten im Sortiment gibt. Die tragende Struktur bilden gedübelte Brettstapelhölzer. Da diese im Vergleich zu anderen Holzbauteilen im Punkt Tragfähigkeit sehr gut abschneiden, jedoch als Scheibenwirkung gegenüber der Konkurrenz eher schlecht, wird zusätzlich ein sogenannter Rähm bzw. eine Schwelle eingebaut, um die Steifigkeit zu verbessern. [11] Der innere Aufbau ist

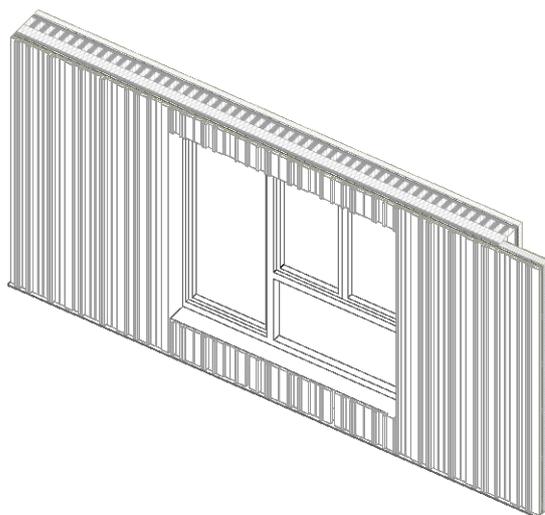


Abbildung 85: Holzmassivwand inkl. Fenster und Lehmschutz

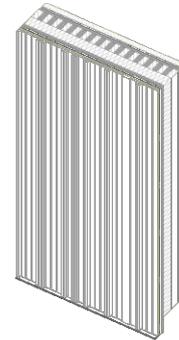


Abbildung 86: Holzmassivwand

bis auf das Wegfallen der Schalung, dem der Leichtbauwand ident. Auf der Außenseite wird Steinwolle zwischen einer Holzkonstruktion eingeklemmt und mit einer Schalung verschraubt. Die anschließenden Schichten sind ebenfalls ident.

Die Längen variieren abermals aufgrund der Verschneidung mit dem Dach im sechsten Geschoss und dem Wegfallen der Erker. So gibt es im ersten bis fünften Stockwerk Fertigteile mit einer Länge von 5,30 m. Im sechsten ist es gleich wie bei den Leichtbauteilen, hier weisen die Wände zwei Fenster pro Bauteil auf und besitzen eine Länge von 9,34 m.

Im Erdgeschoss sowie in den Geschossen eins bis fünf, existieren Massivholzfertigteile ohne Öffnung. Der Aufbau dieser ist gleich, allerdings variieren diese in der Länge. Im bodengleichen Stockwerk gibt es ein Teil mit 4,61 m sowie einen anderen Bauteil mit 4,30 m. In den oberen Geschossen ist das Fertigteil lediglich 1,75 m. Die Höhen unterscheiden sich klarerweise nicht zu denen der Leichtbauwände.

Brettstapeldecke

Die Decken bestehen gleich wie die Massivwände aus Brettstapelhölzern und werden ebenfalls vorgefertigt. Gleich wie die Wand funktioniert das Prinzip der Decke.

Die einzelnen Lamellen werden miteinander verdübelt und um auch hier eine Scheibenwirkung zu erzielen, werden diese mit einer diagonalen Schalung verschraubt. Der Fußbodenaufbau wird vor Ort hergestellt und nicht mit der Decke geliefert. Die Fertigteile werden in drei Längen und vier Breiten produziert. Die Elemente sind entweder 2,38 m, 4,23 m oder 4,85 m lang und 1,65 m, 1,75 m, 1,77 m oder 2,55 m breit.

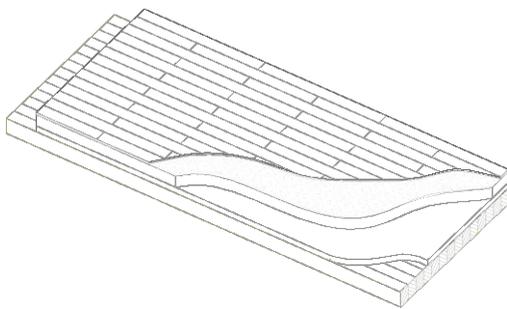


Abbildung 87: Holzmassivdecke mitsamt Fußbodenaufbau

Bauablauf

Nachfolgend wird der Bauablauf des Entwurfes erklärt und neuralgische Knotenpunkte der Montage genauer gezeigt. Die zuvor beschriebenen Fertigteile werden nach der Produktion mittels Lastentransporter zur Baustelle gebracht. Beim Transportieren von derartig großen Elementen gilt es besonders die Abmessungen sowie das Gewicht zu beachten. Die Obergrenzen der jeweiligen Transportfahrzeuge sind klar definiert und zusätzlich durch Sondergenehmigungen, Begleitfahrzeuge sowie Polizeischutz klassifiziert (Abbildung 88). Die größten Fertigteile des Entwurfs (Erdgeschosswände in der Höhe) erfordern die Wahl des Transporters mit maximalen Abmessungen von 4,00 m Breite, 3,10 m Höhe sowie 12,50 m Länge. Durch die Höhe der Wände ist ein Transport mit Sondergenehmigung nicht zu umgehen. Die plattenförmigen Erzeugnisse können allesamt nebeneinander am LKW platziert werden.

Breite (B)	2,55 m	3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,20 m	4,50 m	5,50 m
Höhe (H)	2,90 m	2,90 m	2,90 m	3,10 m	4,20 m	4,20 m	4,20 m
Länge (L)	13,50 m	30,00 m	12,50 m	12,50 m	12,50 m	12,50 m	12,50 m
Genehmigung	keine	Ausnahmegenehmigung erforderlich					
		meist Dauergenehmigung vorhanden	Für die jeweiligen Transporte müssen separate Genehmigungen beschafft werden				
Begleitfahrzeug				Begleitfahrzeug auf Bundesstraßen erforderlich			
				auf Autobahnen in AT, in DE/CH teilweise	Begleitfahrzeug auf Autobahnen erforderlich, in AT doppelte Begleitung		
Polizeibegleitung				Polizeibegleitfahrzeug in DE/CH	mit Polizeibegleitung		
Sonstiges				Tiefladerkombination			

Abbildung 88: Klassifizierung von Transportfahrzeugen

Ausgangslage

Zu Beginn wird die Baustelle eingerichtet und erste Vorbereitungen getroffen. Zudem muss jedoch spätestens zwei Wochen vor dem ersten Spartenstich der Baubeginn angezeigt werden. [48] Die Baustelleneinrichtung ist zwingend erforderlich und be-

inhaltet sowohl bautechnische Einrichtungen am Bauplatz als auch die Herstellung von Sanitär- und Aufenthaltseinrichtungen für das Arbeitspersonal. Die Verkehrswege sowie die Problematik der Hindernisse wie öffentliche Leuchten müssen ebenfalls vorab durchgeplant werden. [49]

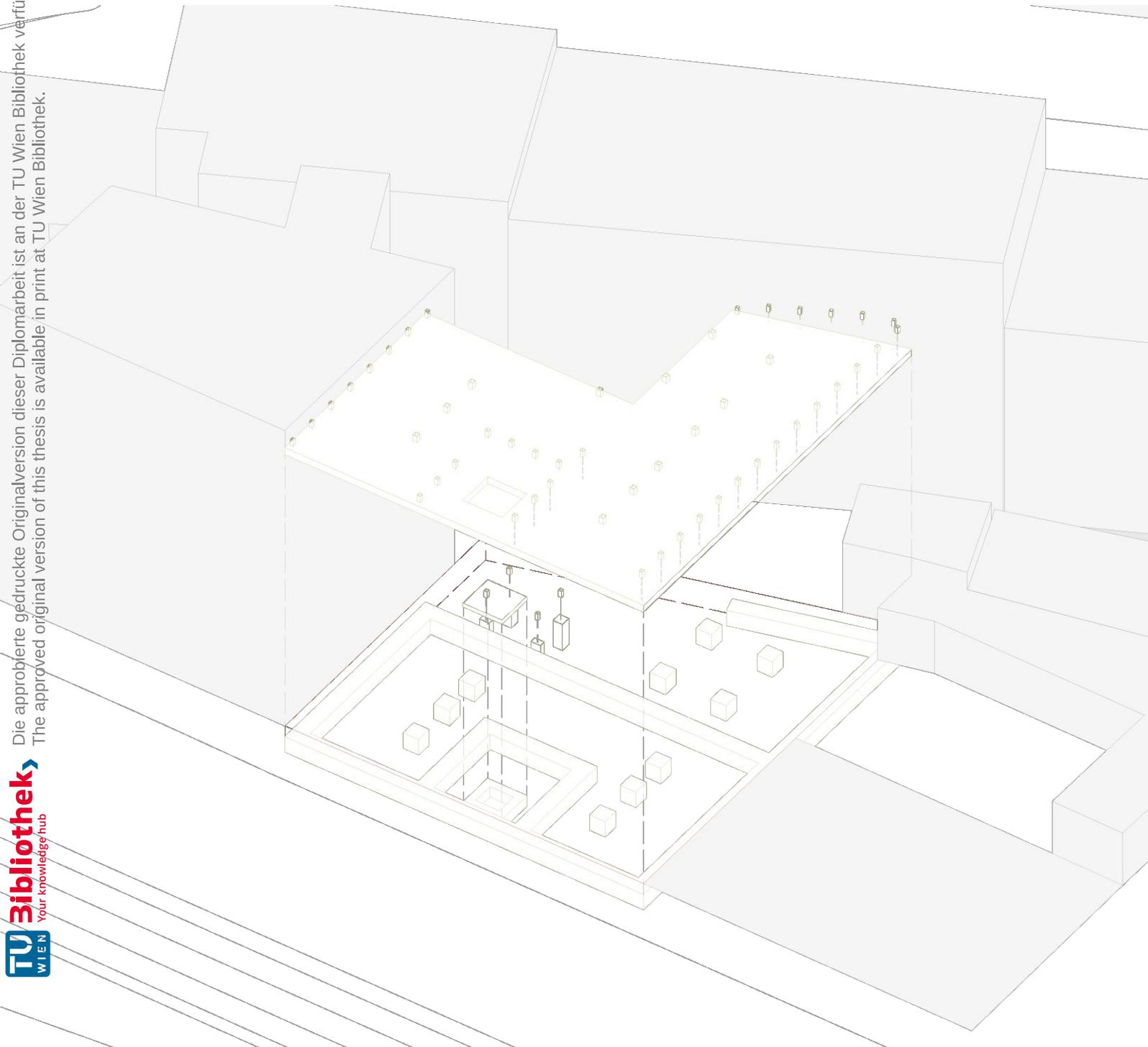
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bauplatz
Eichenstraße 74

Fundierung

Da bei diesem Entwurf auf einen Keller verzichtet wird, ist der erste Schritt das Ausheben des Erdreiches für die Fundierung. Anschließend werden die Punkt- und Streifenfundamente gegossen und die Bodenplatte findet ebenso seinen Platz. In die

diese werden die Stützenfüße direkt mit-einbetoniert.



Vorbereitung für Erdgeschossherstellung

Im nächsten Schritt erfolgt das Betonieren der Liftgrube sowie das Erzeugen der ersten Stampflehmschicht. Diese wird vor Ort hergestellt da die Stützenfüße miteingestampft werden müssen. Damit ist die Herstellung aller auf der Baustelle produ-

zierten Teile abgeschlossen. Von nun an werden lediglich Fertigteile antransportiert und versetzt.

Positionieren der Stampflehmwände

Die zuvor vorgefertigten Stampflehmelemente werden nun zur Baustelle transportiert und vor Ort direkt vom LKW an die richtige Position gesetzt. Im Erdgeschoss sind dies 29 Fertigteile. Bis das Erdgeschoss abgeschlossen ist und die Lehmwände somit

nicht mehr direkt der Witterung ausgesetzt sind, werden diese mit einer Plane bedeckt.

Versetzen der Holzfertigteile

Die Holzmassiv- sowie Holzleichtbauwände werden ebenfalls direkt vom LKW an ihre Position gehoben. Diese kommen mit- samt Fassade und bilden somit tragende Schicht, den Innenausbau, sowie die wär- medämmende und witterungsbeständige,

winddichte Fassade. Ebenso werden in diesem Schritt die gebäudeinternen Bau- buchstützen in den vorgesehenen Stützen- fuß gehoben. Die Balkenelemente für das erste Obergeschoss werden ebenfalls an- gebracht.

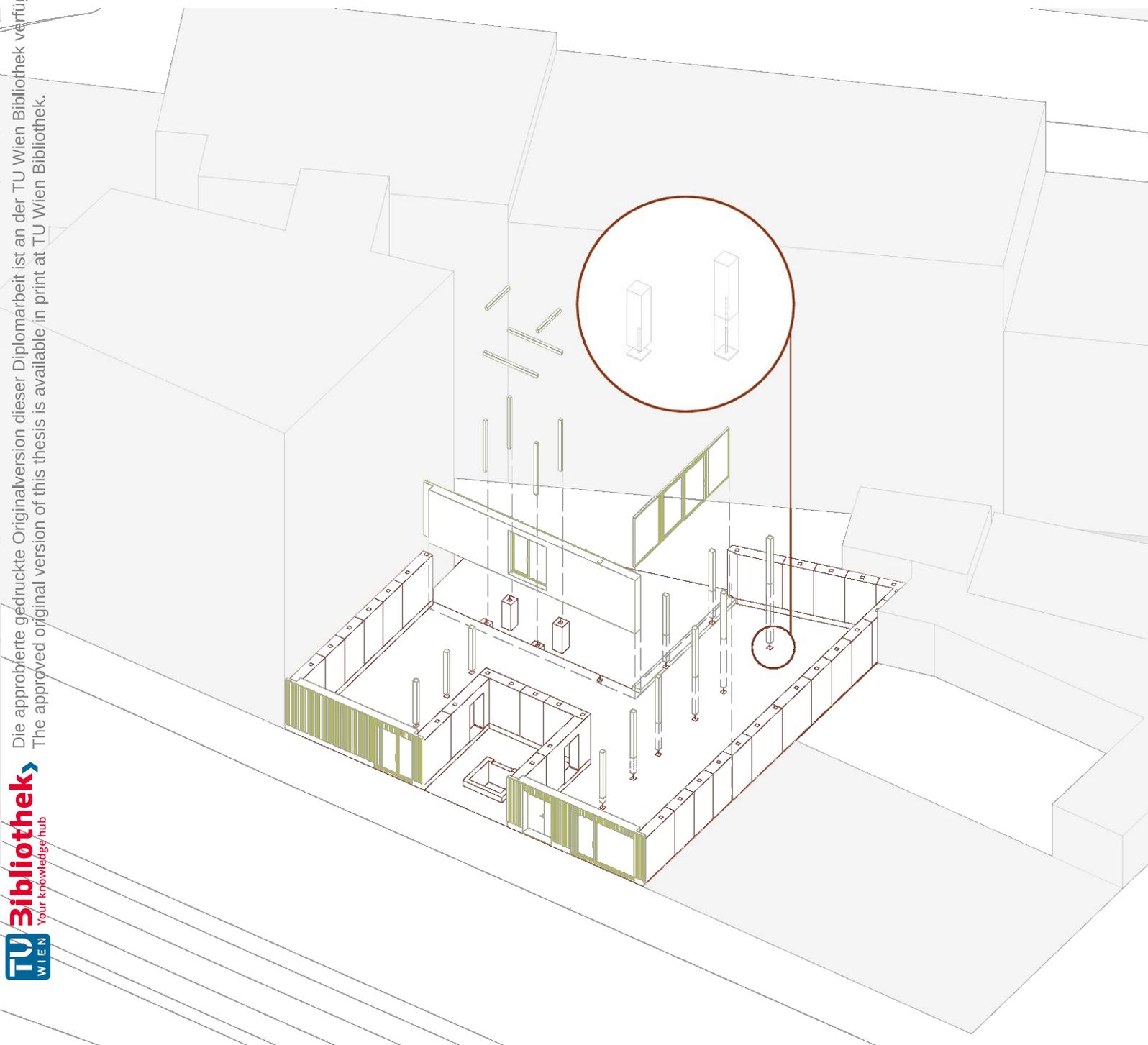
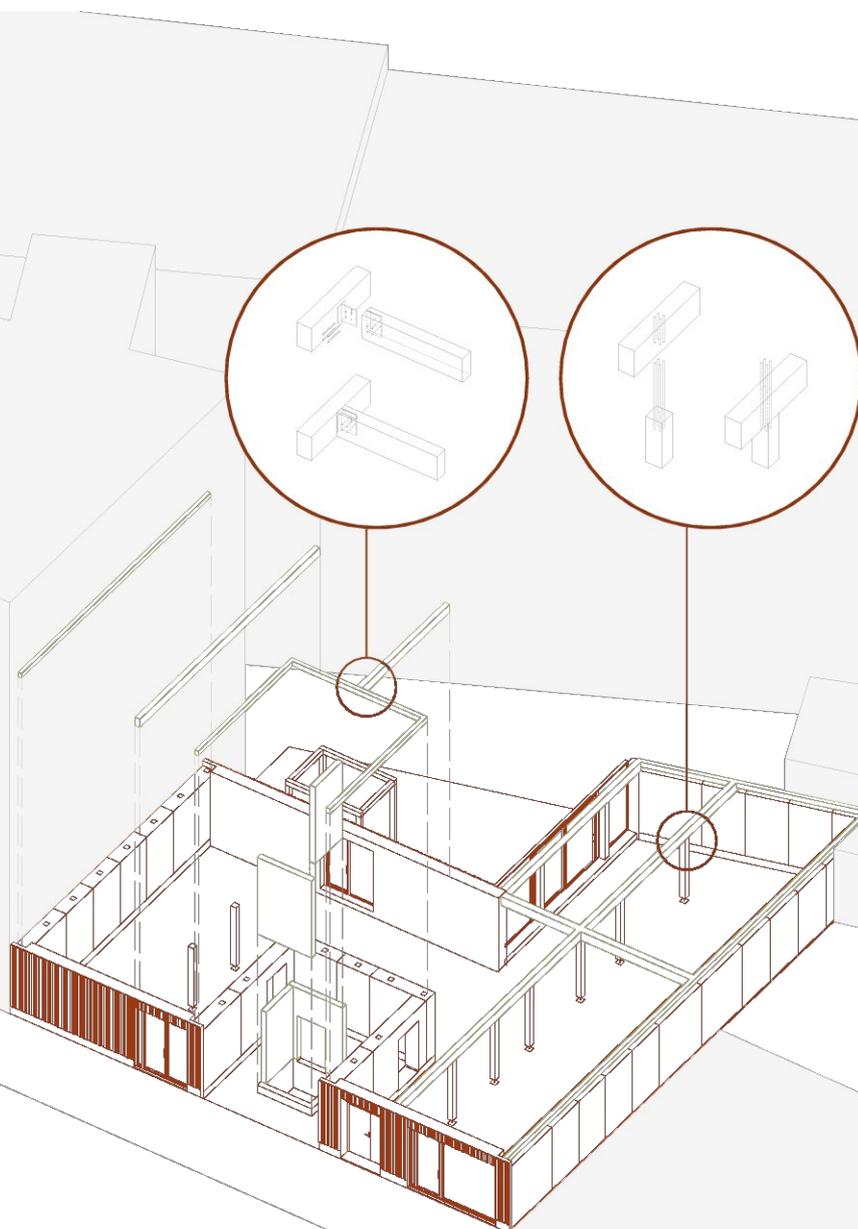


Abbildung 93: Versetzen der Holzfertigteile

Vorbereitung der Deckenaufleger

Anschließend werden die Unterzüge aus Baubuche an die Baustelle geliefert und auf die Stützen und Wände gelegt. Die kraftschlüssigen Verbindungen der Stützen und Träger werden durch eine Art Dübel hergestellt. Diese wurden schon im Werk

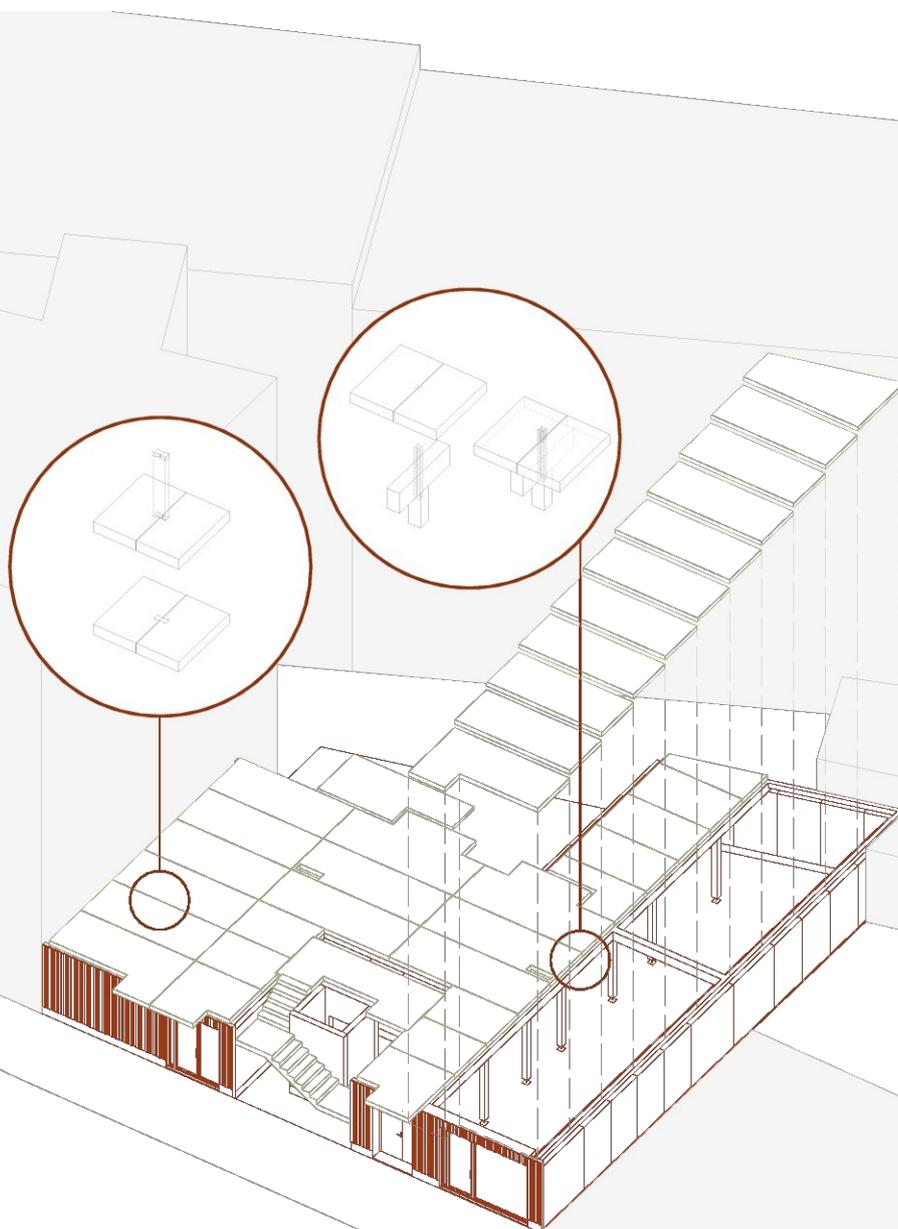
in den zuvor gelieferten Stützen verankert. Nun wird der Unterzug mit den vorgebohrten Löchern auf diese vertikalen Elemente gesetzt. Der Zusammenschluss zweier Träger geschieht durch ein Metallschwert. In diesem Schritt wird auch das erste Geschoss des Aufzugsschachtes versetzt.



Abschluss des Erdgeschosses

Als Abschluss des Erdgeschosses werden die vorgefertigten Brettstapeldecken versetzt. Diese ruhen auf den Trägern und werden durch dieselben Dübel wie die der Stützen und Unterzüge gesetzt. Die einzelnen Deckenfelder werden mittels Schwal-

benschwänze verbunden. Abschließend wird auch die Fertigteilmassivholzstiege an ihre Position gehoben. Damit ist das Erdgeschoss abgeschlossen.



Herstellung der Feuermauer

Im ersten Obergeschoss beginnen die Schritte von vorne: zuerst werden die vorgefertigten Stampflehmwände an ihre Position gehoben. Diese werden abermals an die Grundgrenze versetzt und bilden so die Feuermauer des Gebäudes. Bevor

diese an die endgültige Stelle gehoben werden kann, wird die notwendige Wärmedämmung zwischen Nachbargebäude und späterer Lehmwand positioniert.

Anbringen der Außenwände

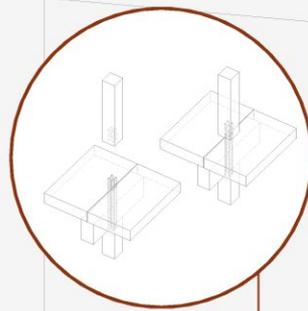
Anschließend werden die Holzfertigteile für das erste Geschoss versetzt. Diese bilden, abgesehen von den später angebrachten Erkern die Außenhülle. Durch die komplette Herstellung der Außenwand (mitsamt Fassade und Innenausbau) im Werk, ist

innerhalb nur weniger Kranhübe die umschließende Struktur des ersten Stockwerks aufgebaut.

Einheben der inneren Tragstruktur

Als nächstes folgt die Anbringung der inneren Tragstruktur. Die Stützen werden auf die von unten kommenden Dübel gesetzt. Die Träger folgen dem Prinzip des Erdgeschosses und werden auf die vertikalen Elemente gehoben. Den Zusammenschluss zwischen

zwei sich treffender Unterzüge bilden erneut Metallschwerter. Das zweite Geschoss des Aufzugschachtes findet ebenso an seinen Platz.

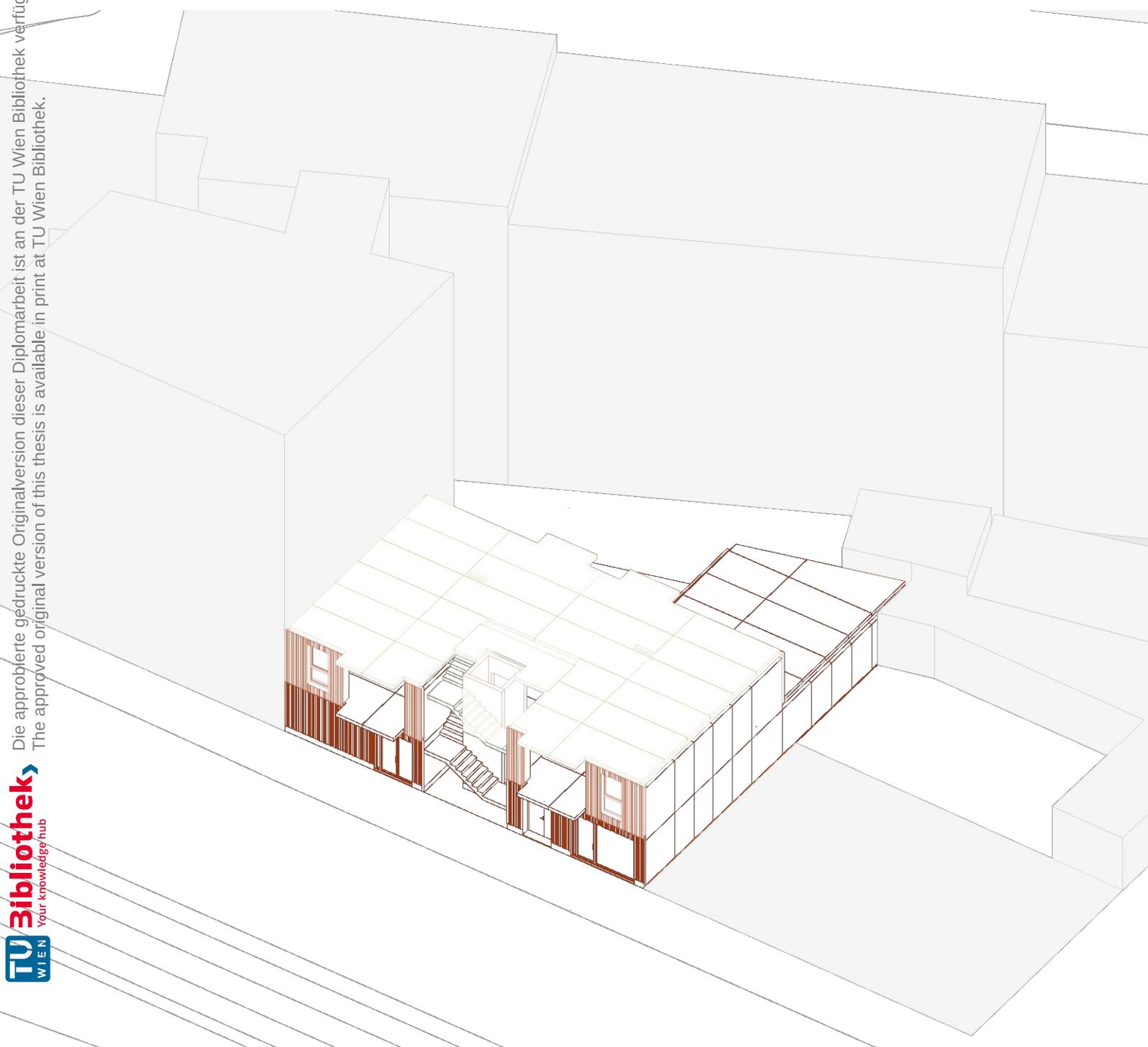


Vollendung des ersten Obergeschosses

Den Abschluss machen erneut die Deckenfelder. Die kraftschlüssigen Verbindungen ändern sich für das System der Decken auch in diesem Geschoss nicht. Die Stiege zum ersten Obergeschoss wird an Ort und Stelle gehoben und damit ist das erste

Stockwerk abgeschlossen.

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.

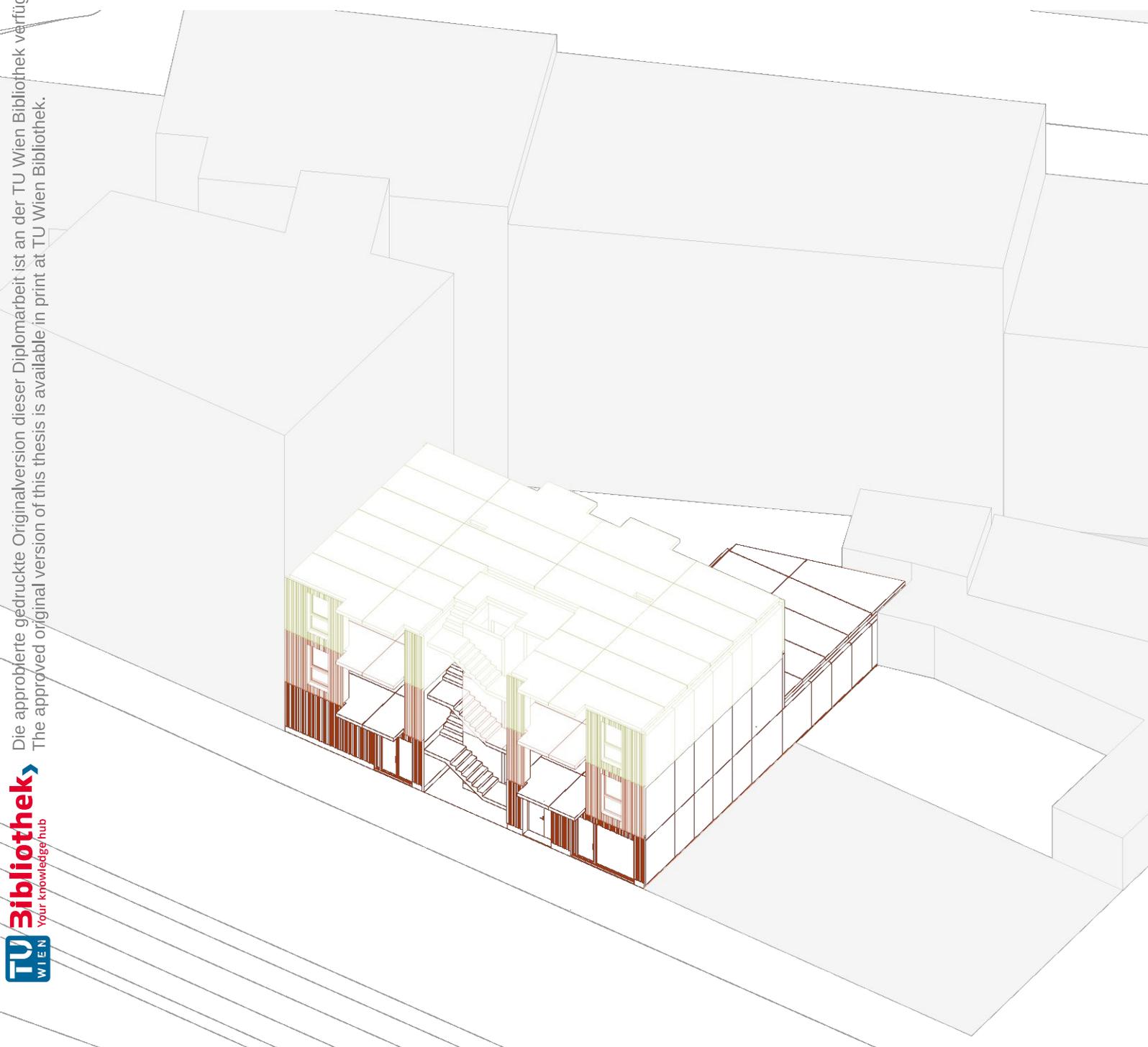


Erzeugung weiterer Geschosse

Nach diesen Prinzipien erfolgt der Aufbau der weiteren Geschosse. So wächst Geschoss für Geschoss in kürzester Zeit. Dies hebt den Vorteil des Holzbaus hervor: der höhere Planungsaufwand sowie die längere Bearbeitung eines Teiles im Werk, wird

durch die kurze Arbeitszeit auf der Baustelle ausgeglichen.

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.



Erreichen des letzten Vollgeschosses

Nach Vollendung des fünften Obergeschosses ist das letzte volle Stockwerk abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt können in den unteren Geschossen bereits die Innenwände errichtet werden.

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.



Abbildung 101: Erreichen des letzten Vollgeschosses

Anbringen der Erkerterverglasung

Das letzte Geschoss ist kein Vollgeschoss mehr und daher als Dachgeschoss anzusehen. Die wenig höheren Außenwände werden durch einen kleinen Dachteil mit den Decken geschlossen. Den Abschluss der warmen Hülle bilden die Erker. Anschlie-

ßend werden die Fußbodenaufbauten sowie das Gründach und die unterseitigen Deckenverkleidungen hergestellt, Balkone mit Geländern versehen und die Sanitäreinrichtungen eingebaut.



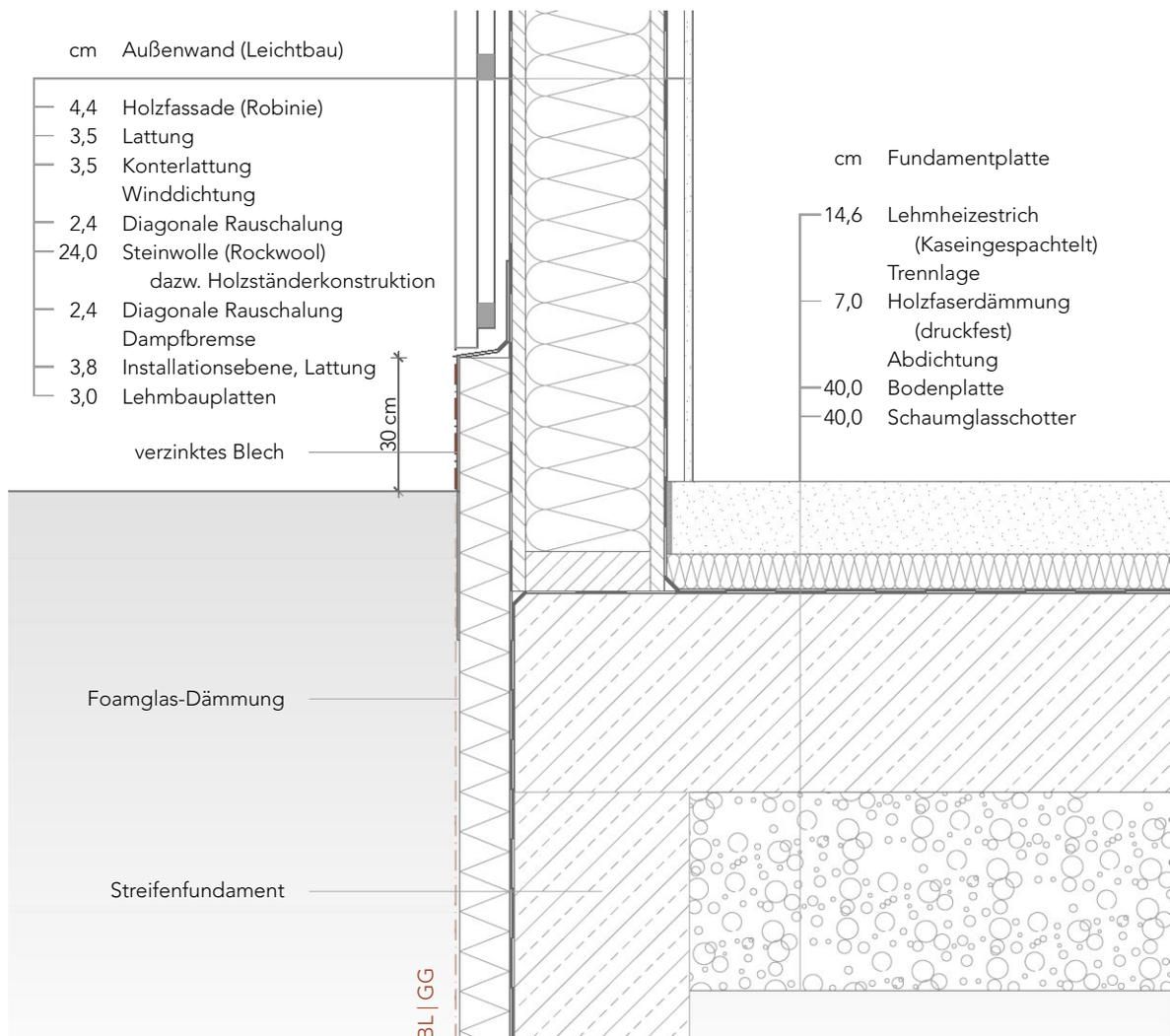
Abbildung 102: Anbringung der Erkerterverglasung

DETAILPLANUNG

Sockeldetail (Holzleichtbauwand)

Gerade dieses Detail ist im Holzbau ein sehr empfindliches. Holz muss vor Feuchtigkeit geschützt werden, da es sonst über die Jahre dieser nicht standhält. Trotz der Geschichte des Holzes und der vergangen sowie heute noch engen Verbundenheit mit Wasser sowie dem Einsatz des Mate-

rials mit dauerhaftem Kontakt zum Wasser, wird das Holz bei diesem Entwurf im Bereich des Bodenkontaktes geschützt. [51] [52] Dies geschieht einerseits durch eine Abdichtung zwischen den Berührungspunkten des Holzes sowie der Bodenplatte und andererseits durch eine spezielle Wärmedämmung. [53] Diese wird bis zur kritischen Spritzwasserzone, 30 cm über das Geländeniveau geführt und zusätzlich durch ein verzinktes Blech geschützt. [54]



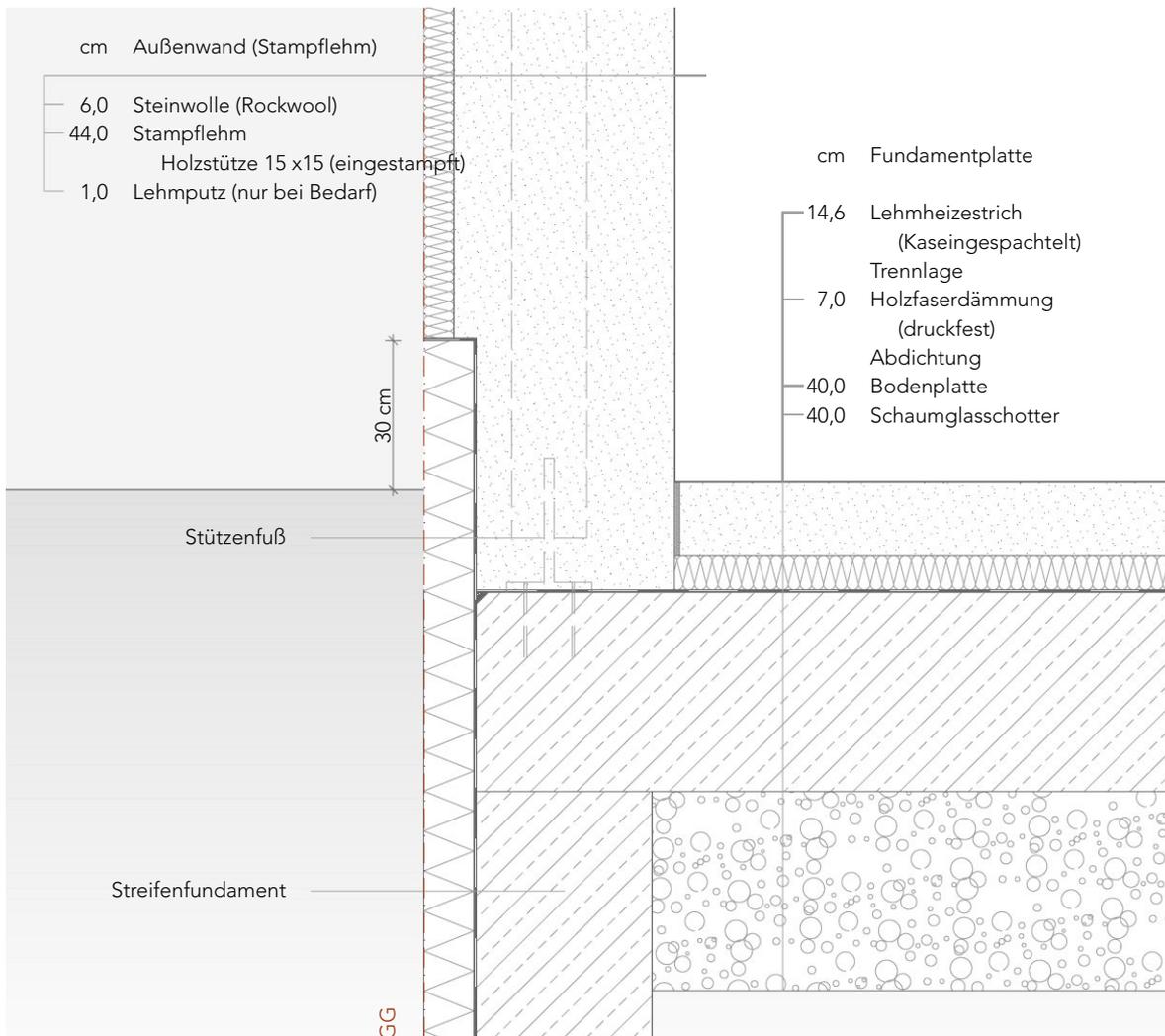
M 1:15

Abbildung 103: Sockeldetail Holzleichtbauwand

Sockeldetail (Stampflehwand)

Die Stampflehwand kann hier ohne Probleme direkt auf der Bodenplatte ruhen. Allerdings gilt es hier die eingestampfte Holzstütze vor direktem Kontakt zu schützen. Hierfür wird ein Stützenfuß in die Bodenplatte geschraubt. [55] Die vorgebohrte eingestampfte Stütze wird auf den Stahlbolzen gesteckt und ist somit von der aufsteigenden Feuchte geschützt. Sollte es beim Transport sowie bei der Ver-

setzung der Lehmfertigteile zu Rissbildungen kommen, kann bei Bedarf noch eine Schicht Lehmputz aufgetragen werden. Dies ist auf der Baustelle vor Ort von den Verantwortlichen zu entscheiden.



M 1:15

Anschlussdetail (Holzdecke-Lehmwand)

Die Stütze des unteren Geschosses wird mittels Stahlstiften mit dem Unterzug verbunden, anschließend wird die Decke schallentkoppelt daraufgesetzt und mit denselben Mechanismus fest gemacht. Als Abschluss kommt die Stampflehmwand mit der Holzstütze des nächsten Geschosses darauf und wird als letztes Teil auf die Stifte gesetzt. Der Fußbodenaufbau sowie die Deckenverkleidung werden im An-

schluss hergestellt. Bei Bedarf kann noch Lehmputz auf die Feuerwand angebracht werden.

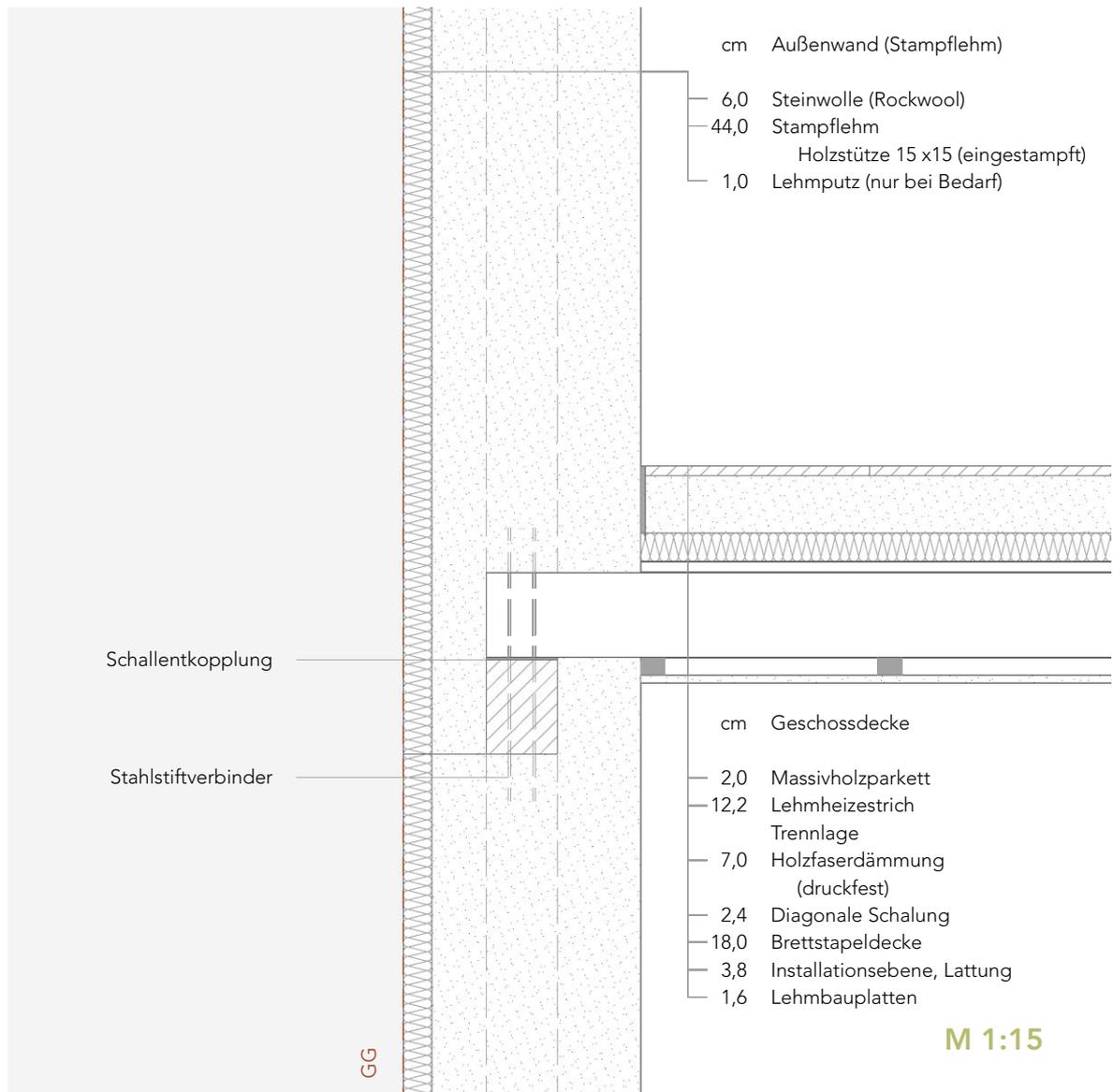


Abbildung 105: Anschlussdetail Holzdecke-Lehmwand

Erkerdetail

Dieses Detail zeigt die Funktionsweise der Erker. Die Brettstapeldecke läuft durch und wird unterseitig mit Steinwolle gedämmt, auf die anschließend dieselbe Holzfassade wie bei den Wänden angebracht wird. Ebenso ist wie bei den Außenwänden die notwendige Winddichtung angebracht. Diese verhindert das Einströmen der kalten Außenluft in den warmen Teil des Bauteils. Die Erker sind mit einer Pfosten-Rie-

gel-Fassade umschlossen, welche an den Decken montiert werden. Im Bereich der Stirnseite der horizontalen Tragstruktur ist statt einer Fixverglasung bzw. statt einem Fenster ein wärmegeämmtes Paneel angebracht. Im Bereich der Verglasung wird im Heizestrich die Leistung der Fußbodenheizung erhöht, um keinen Konvektor vor den Scheiben zu benötigen.

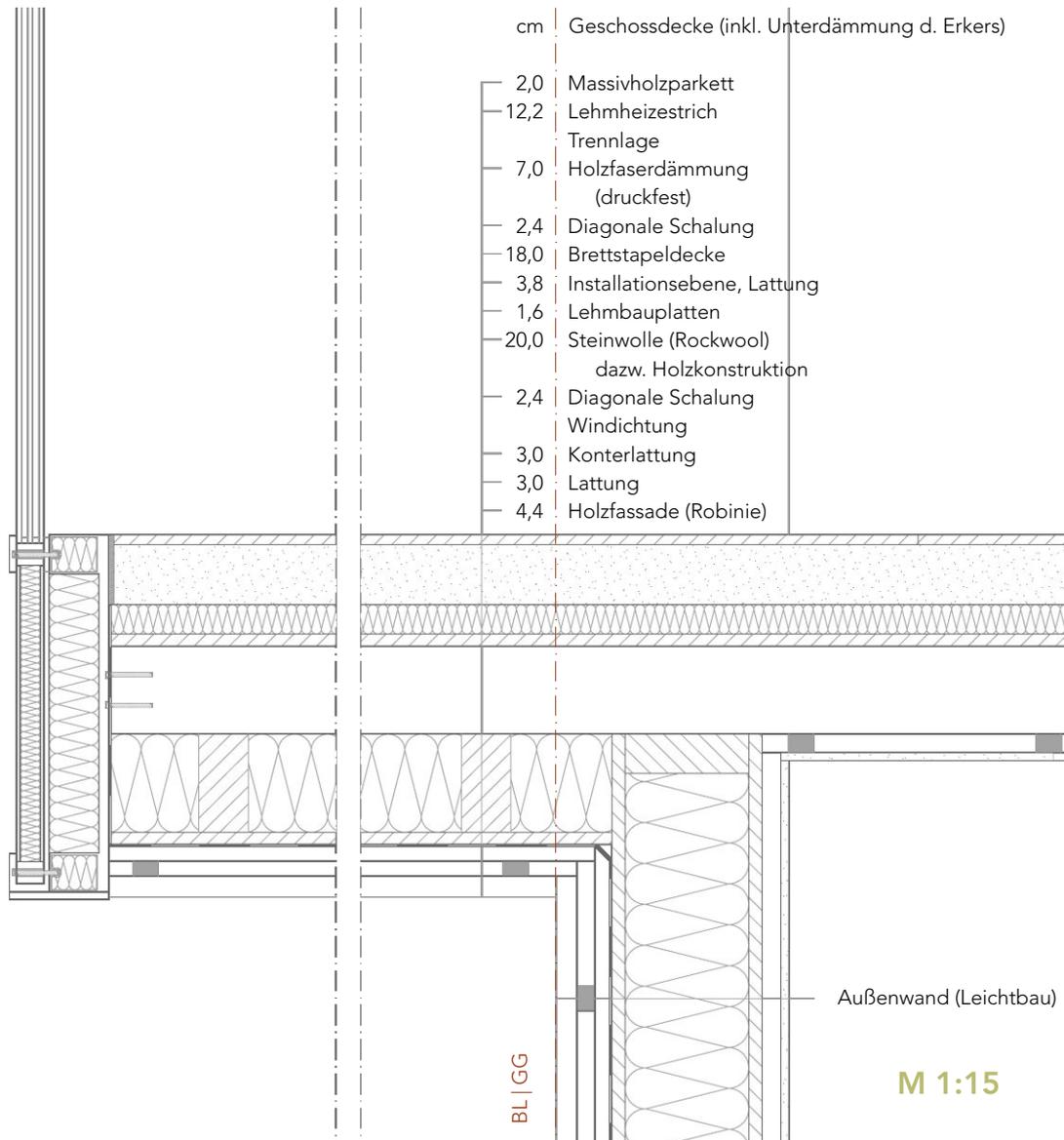


Abbildung 106: Erkerdetail

Balkondetail

Beim Balkon wurde bei diesem Entwurf nicht das herkömmliche System der auskragenden Deckenplatte gewählt. Die Konstruktion der Balkon ist eigenständig und wird lediglich in den Decken rückverankert. Diese Art wurde bei einem gebauten Beispiel analysiert und aus ästhetischen Gründen in dieser Form entworfen. [56] Die Holzkonstruktion besteht aus witterungsbeständiger Lärche und es

wurden auf notwendige Feuchteschutzmaßnahmen bei der Verwendung von Holz im Außenbereich geachtet. [65]

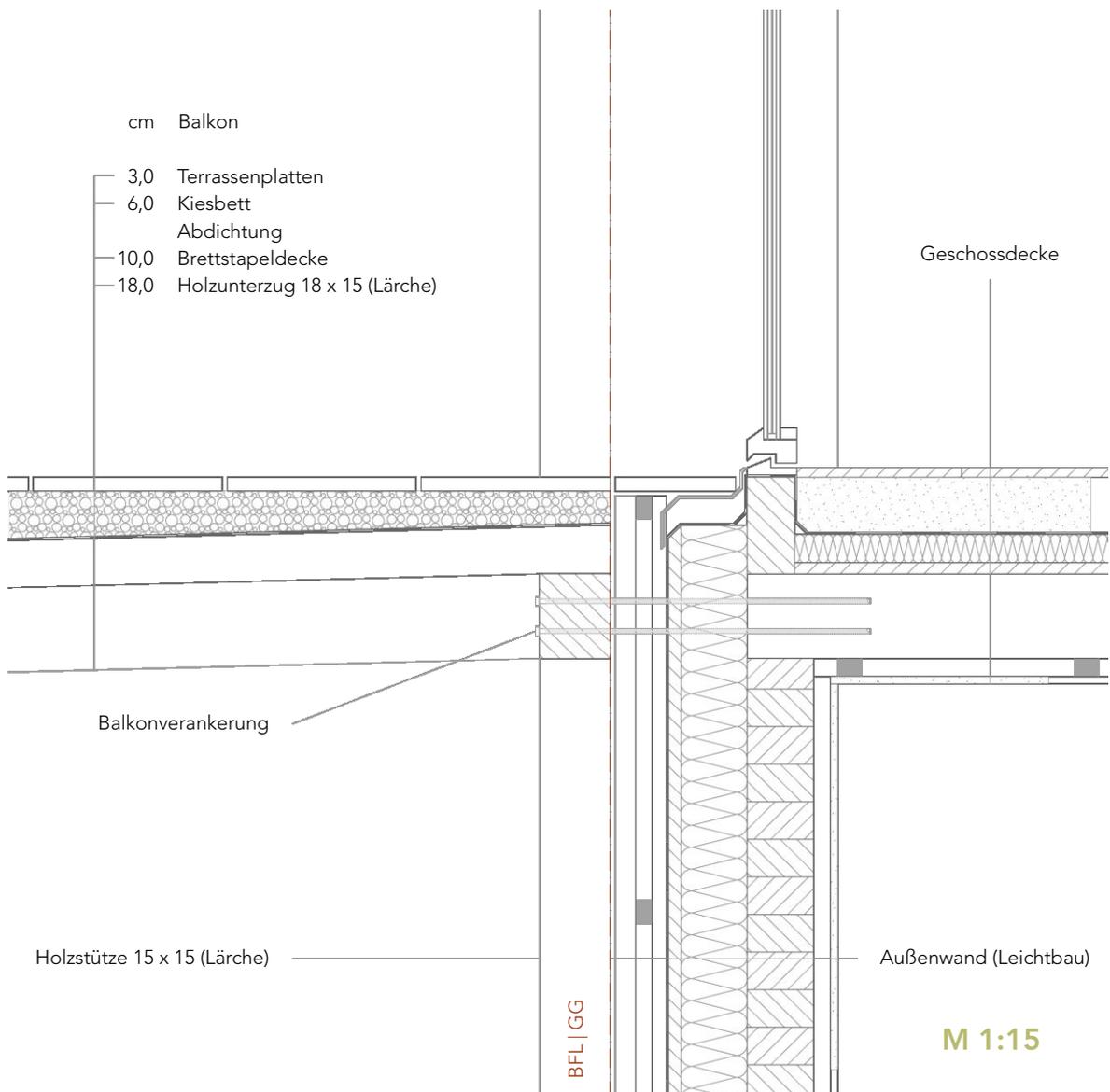


Abbildung 107: Anschlussdetail Balkon

Anschluss Steildach an das Flachdach samt Attika

Im letzten wesentlichen Detail ist der Übergang der Außenwand ins Steildach und davon weiter ins Flachdach samt der Attika dargestellt. Das Steildach wird auf der Fußpfette, die an die Holzrahmenkonstruktion geschraubt wird, aufgelagert. Das letzte Deckenelement des Flachdaches ist in der Höhe auf die Hälfte reduziert, um die Sparren des Daches dort

aufzulegen. Anschließend wird die Attika montiert und der Dachaufbau angebracht sowie das Steildach gedeckt.

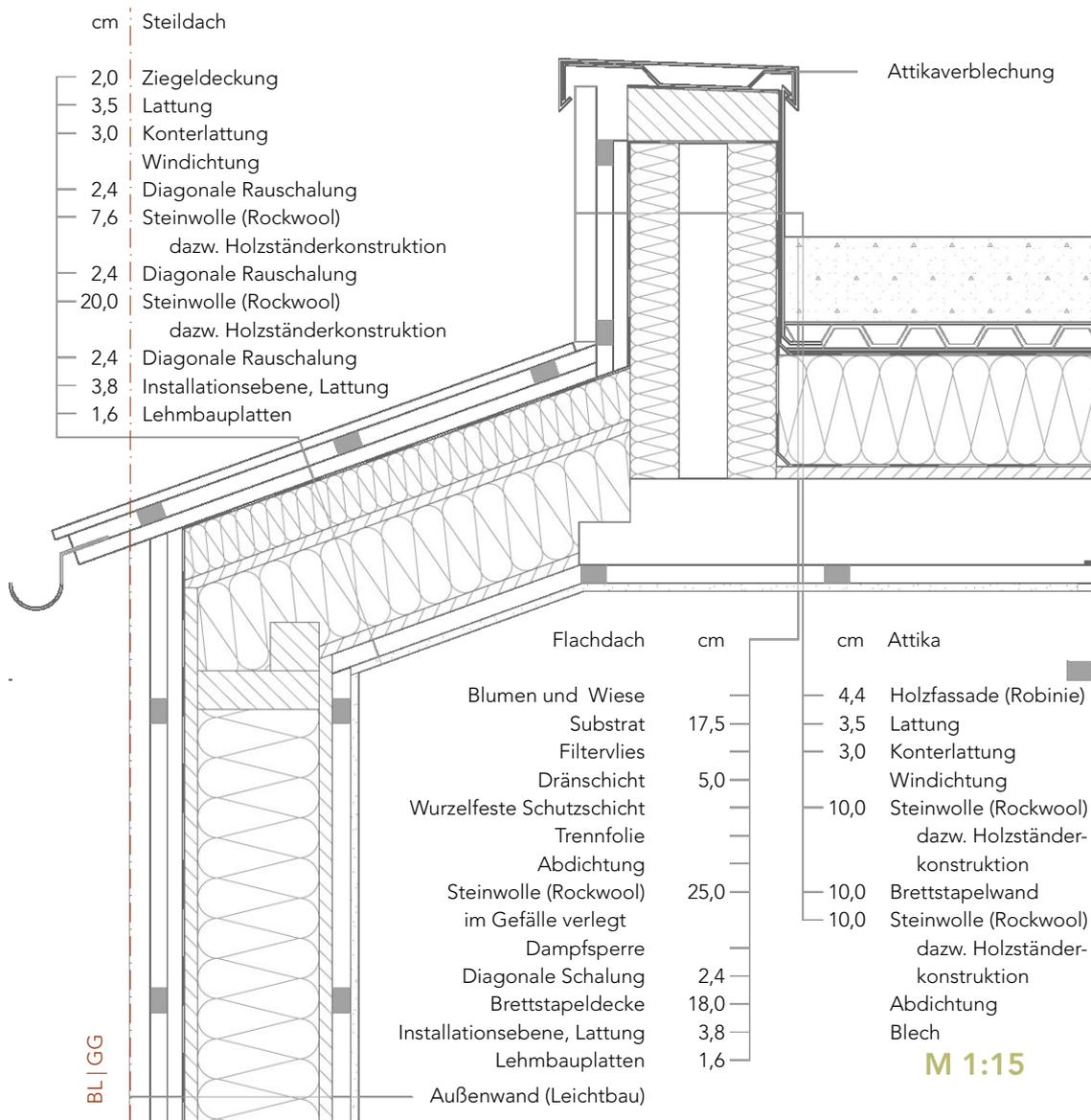


Abbildung 108: Anschluss Steildach an das Flachdach samt Attika

Brandschutz

Den Brand in einem Gebäude zu verhindern bzw. mit entsprechenden Maßnahmen entgegenzuwirken zählt zu den wichtigsten Dingen in der Planung eines Bauwerks. Da das Brandverhalten von Materialien sehr unterschiedlich ist, ist es unumgänglich bei der Planung auf den richtigen Einsatz zu achten.

Zunächst muss allerdings bestimmt werden, welche Anforderungen für ein Gebäude gelten. Hierbei ist einerseits die Gebäudeklasse entscheidend und andererseits das höchstgelegene Fluchtniveau. Die Gebäudeklassen geben Auskunft darüber wie zugänglich ein Bauwerk ist und wie viele Geschosse dieses aufweist. Um die Einstufung vornehmen zu können, muss in der OIB „Begriffsbestimmungen“ Einblick genommen werden. [50]

Nach der Bestimmung der Gebäudeklasse gilt es in der OIB-Richtlinie 2 „Brandschutz“ nachzuschlagen, welchen Brandschutzanforderungen die Bauteile und Materialien für das jeweilige Projekt entsprechen müssen. [15] Bei diesem konkreten Entwurf wurden in den Abbildungen 109 sowie 111 die erforderlichen Mindestkennzahlen aufgezeigt.

Da eines der Hauptziele der Diplomarbeit ist, das Bauwerk mit nachhaltigen Baustoffen zu konzipieren, ist die Herangehensweise etwas schwieriger als bei einem konventionellen Gebäude aus Stahlbeton. Die Abbildungen 110 sowie 112 zeigen, den tatsächlichen Brandwiderstand der Bauteile im Entwurf.

Der Entwurf ist der Gebäudeklasse 5 mit mehr als sechs oberirdischen Geschossen zuzuordnen. Daraus ergeben sich die dargestellten Mindestanforderungen (Abbildung 109 und 111). Da Holz nicht die Anforderung „A2 – nicht brennbar“ erfüllt,

wurden die wesentlichen tragenden Bauteile aus Holz, mit dem nicht brennbaren Material Lehm ummantelt. Durch diese Maßnahme wurde eine sogenannte Kapselung geschaffen. Die Wände, welche der Grundstücksgrenze zugewandt sind, werden aus massiven Stampflehm konstruiert. Dieser erfüllt die Anforderung nicht brennbar und ist zudem auch tragend, raumabschließend und isolierend für 90 Minuten. Nach demselben Prinzip ist das Stiegenhaus konstruiert.

Die Brettstapeldecken des Gebäudes entsprechen ebenfalls nur der Anforderung „REI90“. Die entsprechende nicht brennbare Qualifikation bringen deckenunterseitig Lehmbauplatten und raumseitig der Lehmestrich mit sich. Da diese Ebenen bis zu den angrenzenden Wänden verlaufen, welche allesamt mit Lehmbauplatten verkleidet sind oder aus tragendem Lehm bestehen, entsteht eine Kapselung der Holzstruktur.

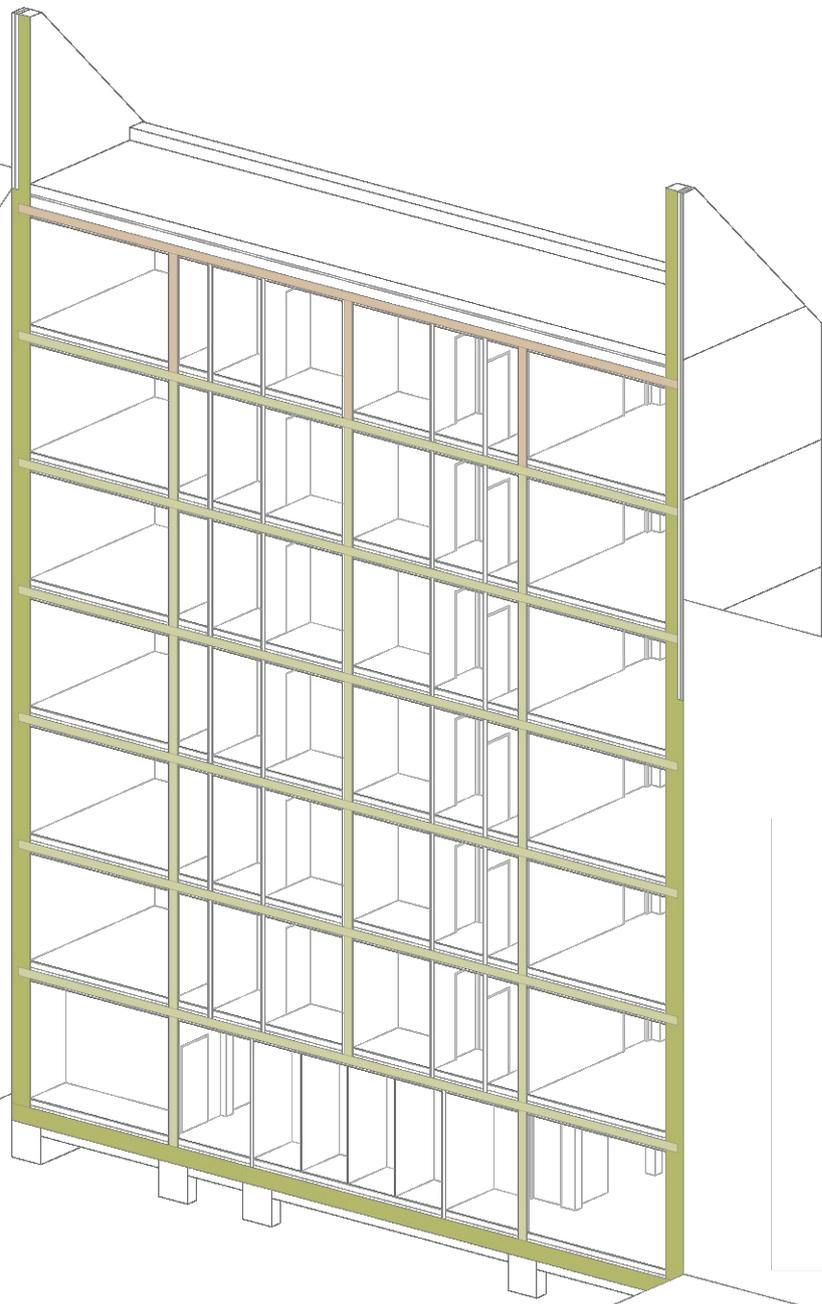
Im Erschließungskern sind die Decken nach dem gleichen Prinzip konstruiert. Die Stiegenläufe und Podeste sowie der Aufzugschacht bestehen entgegen den Anforderungen ebenfalls aus Holz. Dies wird durch die Anbringung einer Sprinkleranlage ermöglicht. Dies wurde auch in einer Bibliothek in Australien umgesetzt. [11] [62] Aus diesem Grund wurde auch der Aufzugschacht aus massivem Holz errichtet.

Die Balkone sind als eigenständige Konstruktion sowie der OIB 2 entsprechend als Einzelbalkone mit einer kleineren Fläche als 10 m², einer geringeren Auskragung als 2,50 m sowie einem Abstand von mehr als 2,00 m zum nächsten Balkon, in R 30 ausgeführt.

Die hinterlüftete Fassade ist mit einer nicht brennbaren Steinwolldämmung versehen, die Bekleidung besteht aus vertikalen Holzlatten. Um den Brand aufs nächste Geschoss zu verhindern wurden horizontale

06 ENTWURF | DETAILPLANUNG

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.



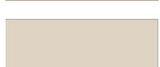
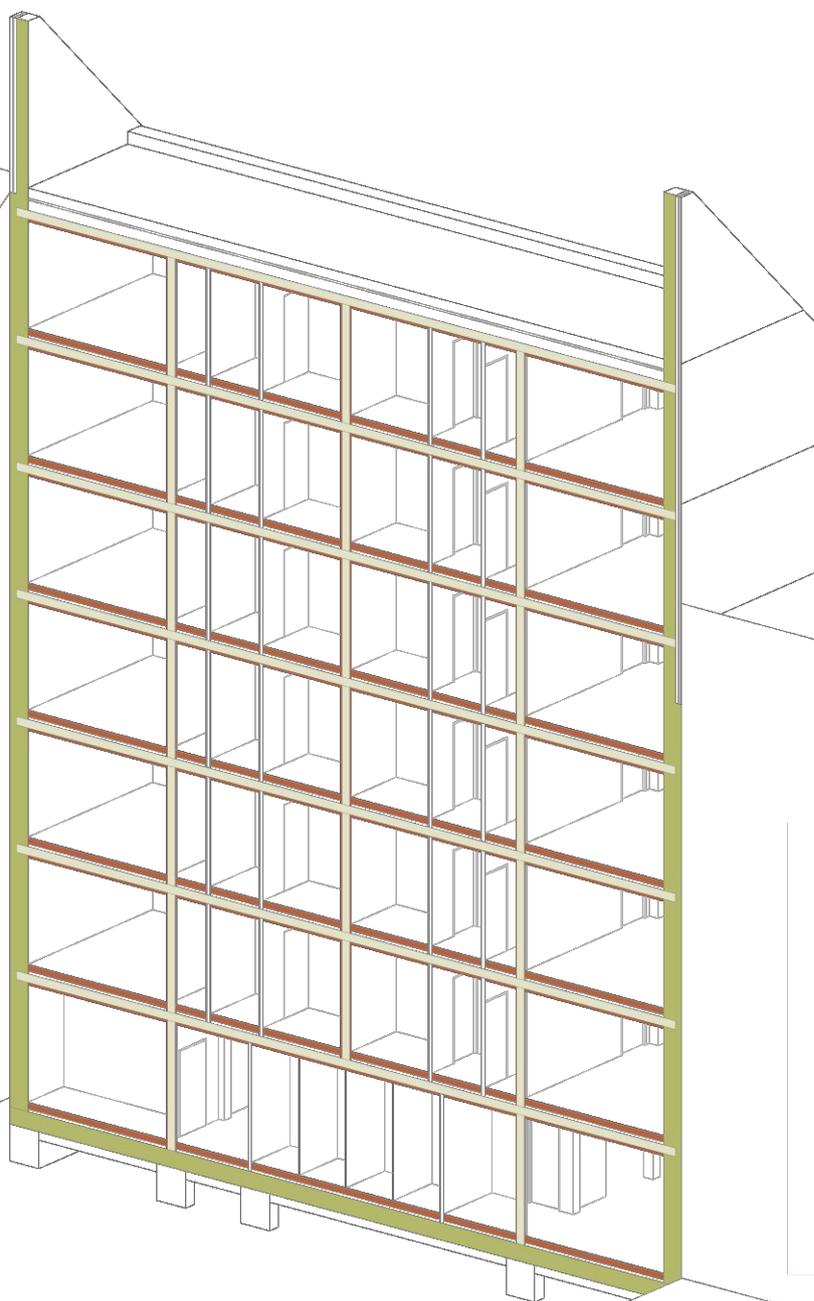
	A2		REI 90
	REI 90 + A2		REI 60
	R 90 + A2		R 60

Abbildung 109: Brandschutzanforderungen laut OIB-Richtlinie 2 „Brandschutz“ - Längsschnitt des Entwurfes

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.

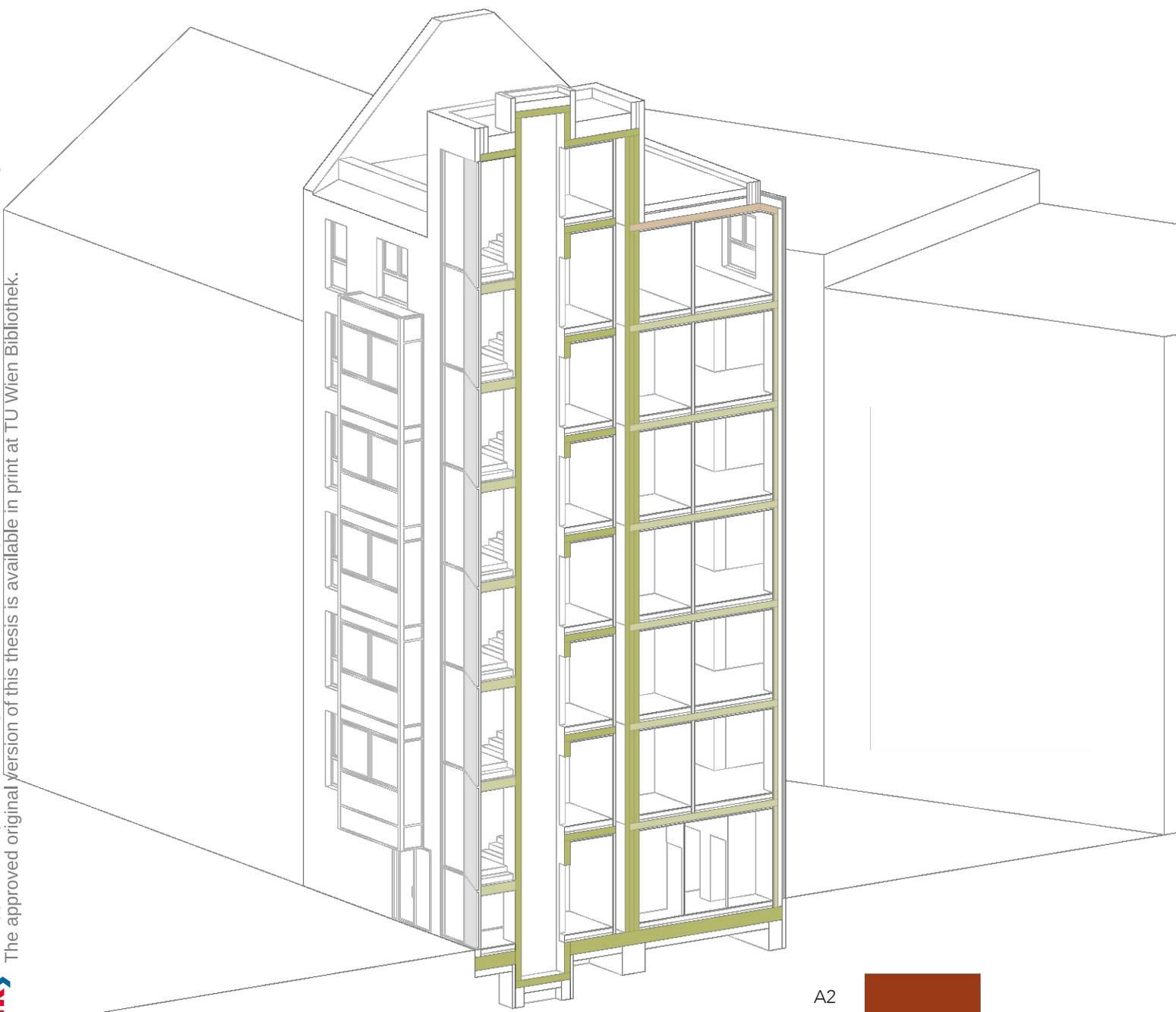


	A2		REI 90
	REI 90 + A2		REI 60
	R 90 + A2		R 60

Abbildung 110: Tatsächliche Brandschutzeigenschaften der Bauteile - Längsschnitt des Entwurfes

06 ENTWURF | DETAILPLANUNG

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.

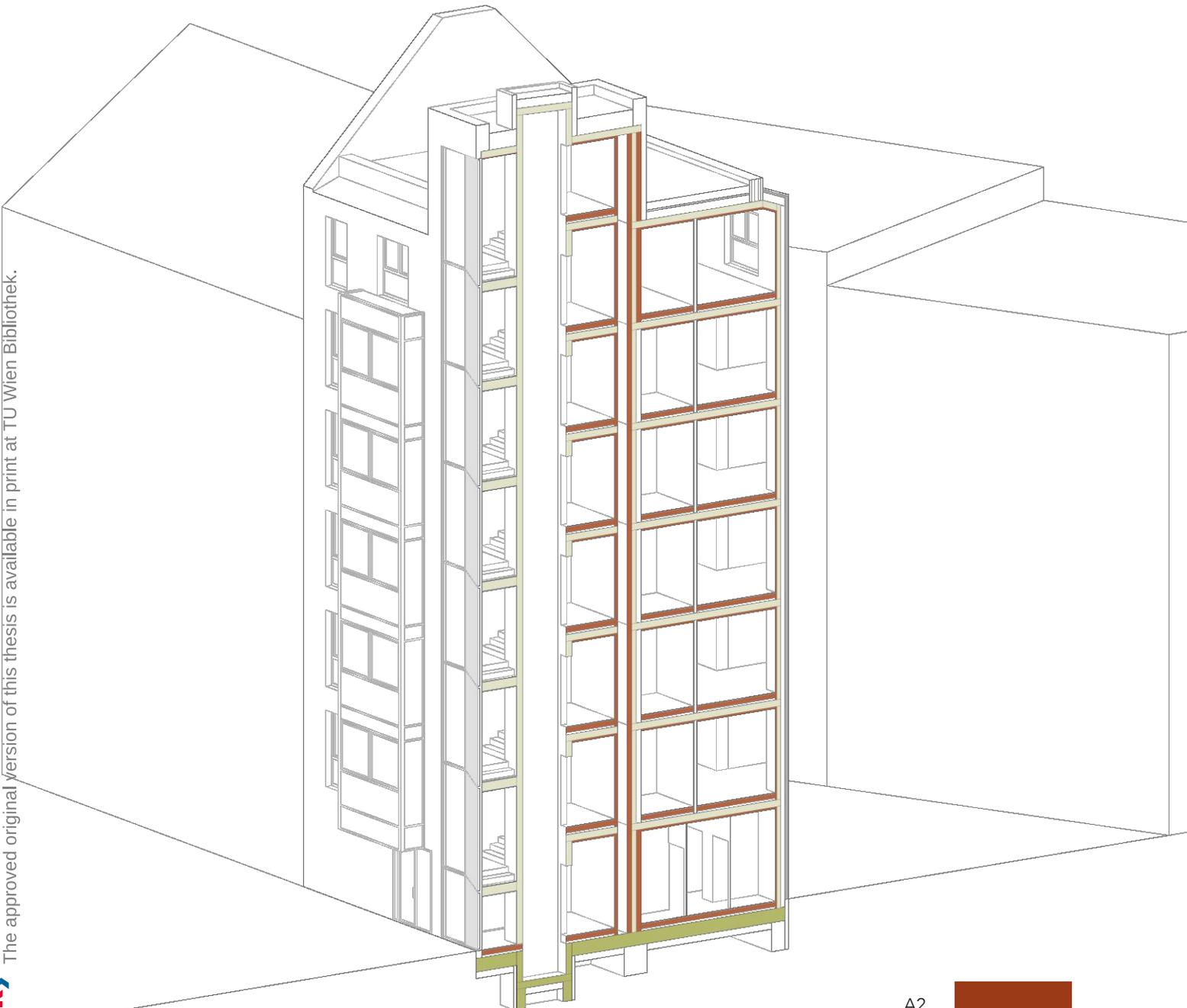


R 60		REI 90		REI 90 + A2	
		REI 60		R 90 + A2	
				A2	

Abbildung 111: Brandschutzanforderungen laut OIB-Richtlinie 2 „Brandschutz“ - Querschnitt des Entwurfes

06 ENTWURF | DETAILPLANUNG

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.



R 60 

REI 90 

REI 60 

A2 

REI 90 + A2 

R 90 + A2 

Abbildung 112: Tatsächliche Brandschutzeigenschaften der Bauteile - Querschnitt des Entwurfes

Blechprofile an die Fassade montiert.

Energiegewinnung

Wichtig im Hinblick auf die Energieeffizienz ist die Kubatur eines Gebäudes, da ein gutes Verhältnis zwischen Fläche und Volumen (A/V-Verhältnis) sowie ein einfach gehaltener Baukörper, ohne zahlreiche Auskragungen und ohne einer komplexen Bauteilfügung, Energie spart, Materialien schont und einen hohen Wartungs- und Ressourcenaufwand minimiert. [5]

Die Gewinnung grüner Energie ist leichter möglich als je zuvor. Die Sonnenstunden werden durch den Klimawandel jedes Jahr

mehr. [64] Dies ermöglicht eine effizientere Nutzung von Energie, welche durch die Sonne erzeugt wird. So ist die Nutzung einer Photovoltaikanlage eine gute Möglichkeit, um grünen Strom zu produzieren. Daher wurde der Dachgarten südseitig durch eine Pergola überdacht, welche im steilen, optimalen Bereich mit einer solchen Produktionsstätte ausgestattet wurde. Die Fläche bietet Platz für 12 Module, welche in etwa 5.000 kWh produzieren. Die Wärmeerzeugung wird durch eine weitere grüne Quelle produziert: mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, welche am Dach des Stiegenhauses situiert ist. Da die Kombination dieser zweier nachhaltigen Quellen, be-

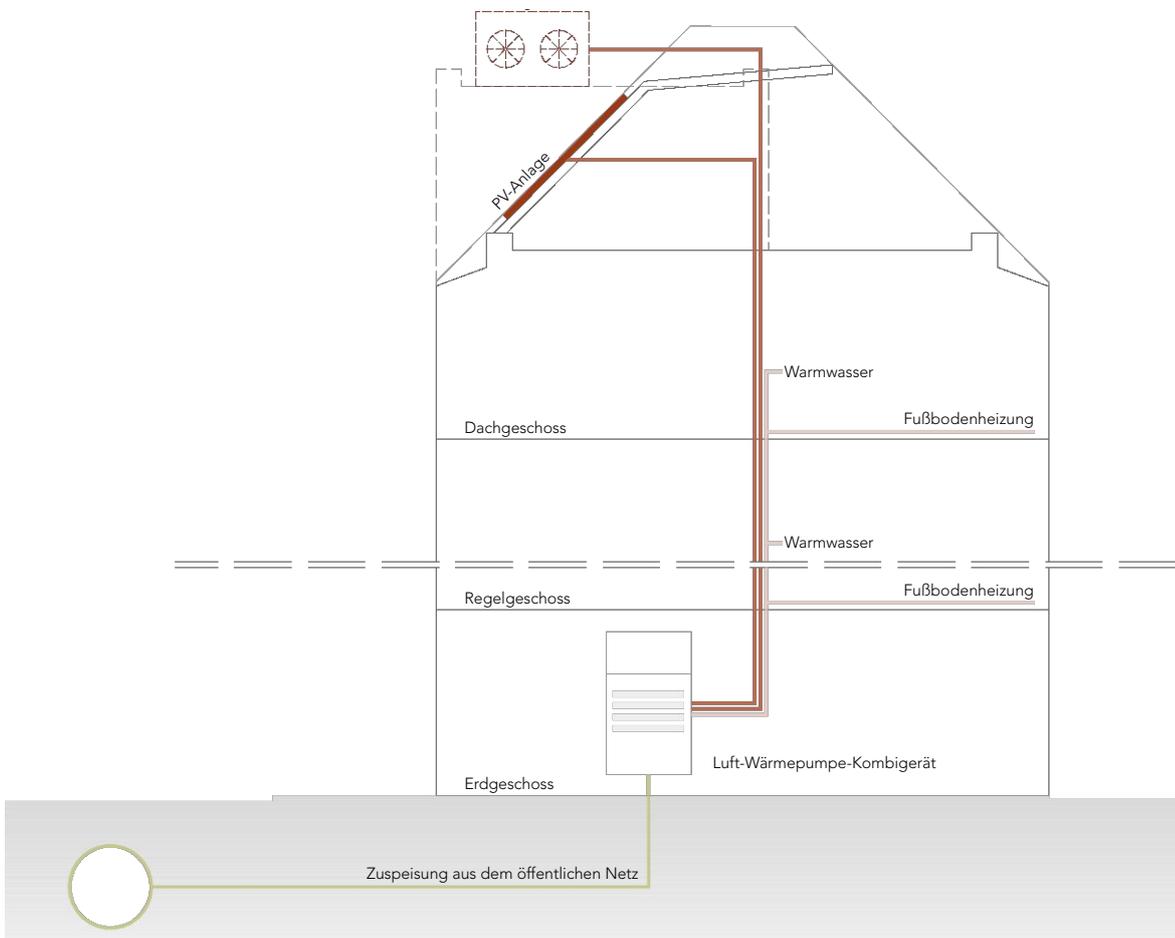


Abbildung 113: Energiegewinnung

sonders die produzierte Strommenge, an Stoßzeiten nicht ausreichen wird, wird das Gebäude zusätzlich an das öffentliche Netz angeschlossen.

Die Wärme wird an die Nutzungseinheiten über die im Lehmestrich installierte Fußbodenheizung abgegeben und ist von jeder Einheit getrennt steuerbar. Dies ist grafisch in Abbildung 113 dargestellt.

Lichtqualität

Nicht unwichtig für ein Gebäude ist auch

die optimale Belichtung. Viel natürliches Tageslicht verleiht den Bewohner:innen eines Bauwerks Freude und spart so Energie, da weniger künstliche Beleuchtung notwendig wird.

Bisher wurde die Belichtungsfläche eines Raumes lediglich durch die in der OIB-Richtlinie 3 festgelegten Prozent definiert. Hierbei muss zumindest 12% der Fußbodenfläche des jeweiligen Raumes Belichtungsfläche sein. [70]

Seit 2019 definiert die ÖNORM EN 17034 darüber hinaus die Mindestbeleuchtungs-

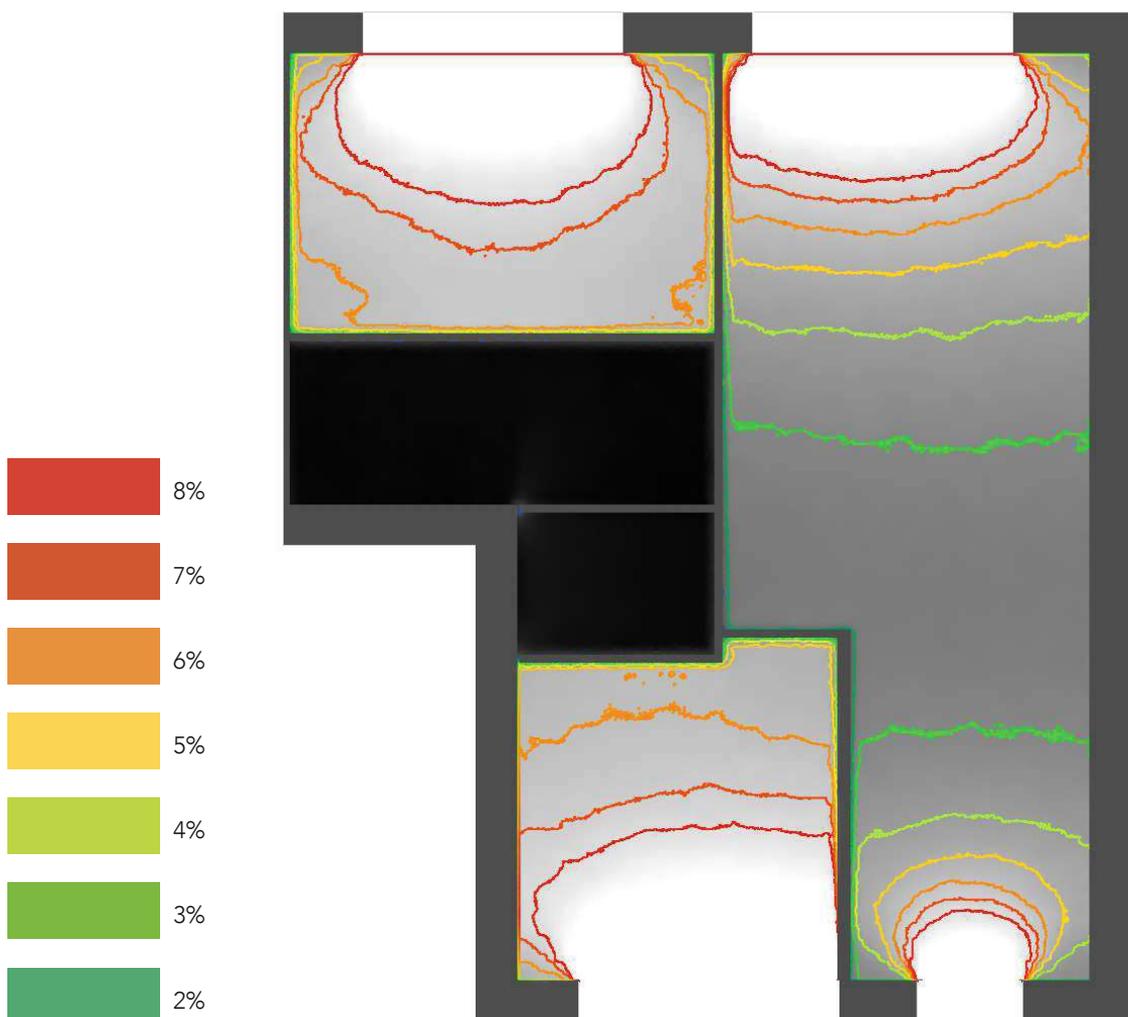


Abbildung 114: Belichtung

stärke in Räumen. Zumindest muss im jeweiligen Raum eine Belichtung von 300 lx (Lux) auf die Hälfte der Fläche des Raumes und über die Hälfte der Tageszeit erreicht werden, sowie in 95% des Raumes 100 lx. 300 lx entspricht in Österreich in etwa einem Tageslichtquotient von 1,9%.

Eine „mittlere Belichtung“ ist bei 500 lx über 50% und 300 lx über 95% gegeben und eine „hohe Belichtung“ bei 750 lx sowie 500 lx. Bedeutet für die mittlere Belichtung wird ein Tageslichtquotient von in etwa 3,1% und für die hohe Belichtung ca.

4,7% benötigt.

In Abbildung 114 wird eine Wohnung eines Regelgeschosses dargestellt. Mithilfe des „Velux Daylight Visualizer“ wurde eine Simulation für die Belichtung erstellt. Für die beiden Zimmer ist eine hohe Belichtung gegeben, der durchgesteckte Wohnraum erzielt eine mittlere Belichtung. Die dunkel dargestellten Bereiche sind die Nassräume sowie der Vorraum. [71]

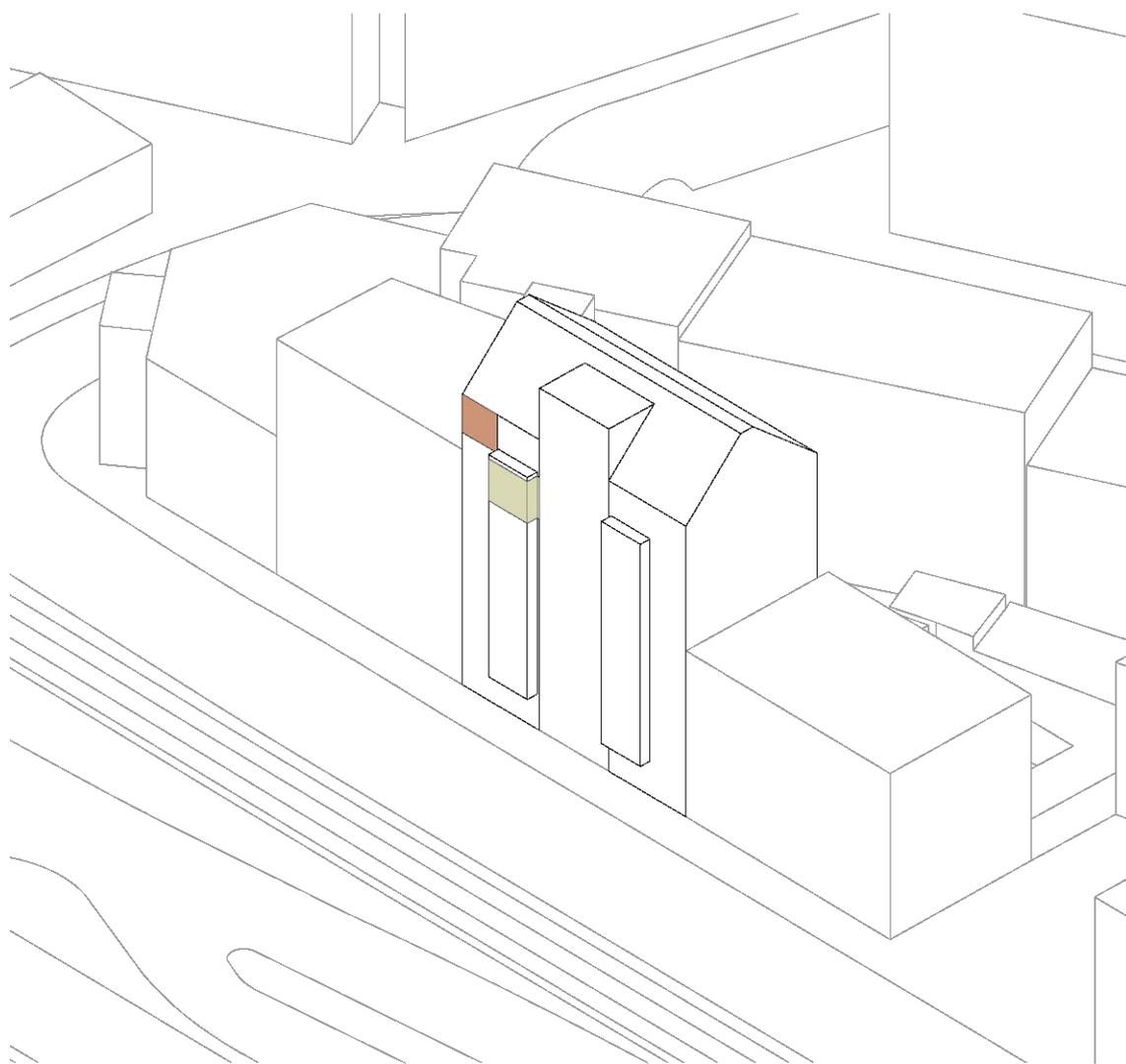


Abbildung 115: Kritische Räume für die Simulation der sommerlichen Überwärmung

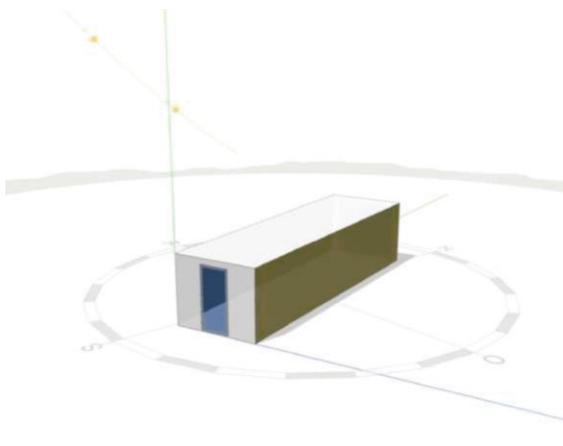


Abbildung 116: Wohnraum, südseitig

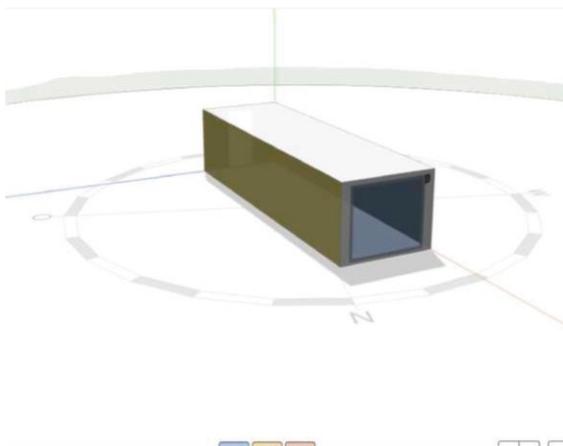


Abbildung 117: Wohnraum, nordseitig

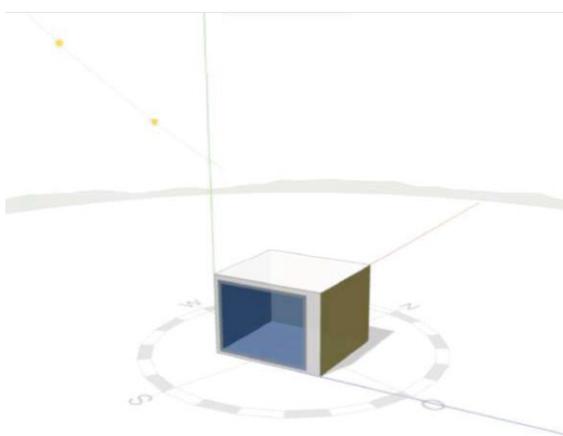


Abbildung 118: südliches Zimmer

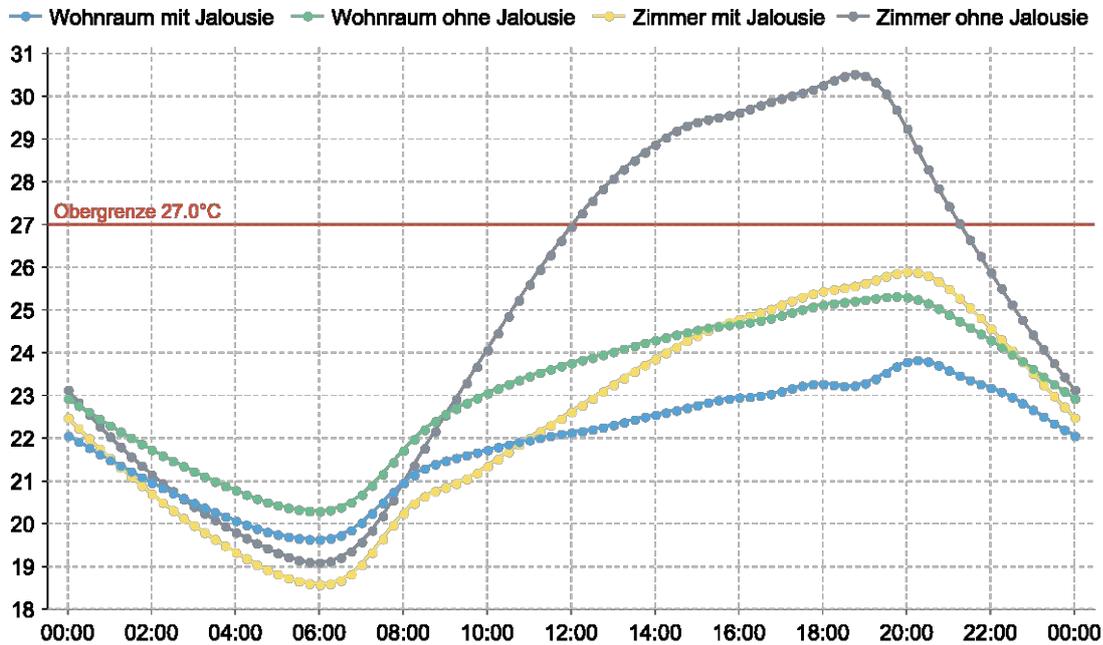
Sommerliche Überwärmung

Zusätzlich zum Tageslicht ist auch die Sommerliche Überwärmung sehr entscheidend. Aufgrund des Klimawandels und der immer heißer werdender Sommer muss ein Gebäude der Zukunft so geplant sein, dass diese den sommerlichen Wärmeschutz ohne einer Klimaanlage übersteht. Dies ist besonders für die Behaglichkeit der Bewohner:innen erstrebenswert.

In einer Simulation zur sommerlichen Überwärmung mithilfe des Online-Programmes „Thesim-3D“ wurden die zwei kritischsten Räume betrachtet. Einerseits der Wohnraum im Dachgeschoss (siehe Abbildung 116 sowie 117) und andererseits das südseitige Zimmer (siehe Abbildung 118) im fünften Obergeschoss.

Der Wohnraum ist mit einer Tageshöchsttemperatur von 24,7° Celsius, bei einer nächtlichen Lüftung der Fenster von 20-08 Uhr, sowie unter Gebrauch einer Jalousie weit unter der kritischen Obergrenze von 27° Celsius. (siehe Abbildung 119, Variante 1) Selbst bei Entfernen der Jalousie steigt die Temperatur nicht höher als 26,3° Celsius. (siehe Abbildung 119, Variante 2)

Das südseitig vollverglaste Zimmer erreicht unter gleichen Bedingungen eine Tageshöchsttemperatur von 25,4° Celsius und ist somit ebenfalls unter der kritischen Obergrenze. (siehe Abbildung 119, Variante 3) Lediglich ohne Jalousie würde das Zimmer tagsüber von 11-20 Uhr über die 27° Celsius steigen und würde um 18 Uhr einen Höchstwert von heißen 31° Celsius erreichen. (siehe Abbildung 119, Variante 4) [72]



Berechnete Tagesgänge der operativen Temperatur

	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
•• Wohnraum mit Jalousie	22,1	21,5	21,0	20,5	20,1	19,8	19,6	20,0	21,0	21,5	21,7	22,0	22,1
•• Wohnraum ohne Jalousie	22,9	22,3	21,7	21,2	20,8	20,4	20,3	20,7	21,7	22,6	23,1	23,5	23,8
•• Zimmer mit Jalousie	22,5	21,5	20,7	20,0	19,3	18,8	18,6	19,1	20,3	20,9	21,4	22,0	22,6
•• Zimmer ohne Jalousie	23,1	22,0	21,2	20,4	19,8	19,3	19,1	19,6	21,0	22,5	24,1	25,6	27,0

	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	Max
•• Wohnraum mit Jalousie	22,3	22,6	22,8	23,0	23,1	23,3	23,3	23,8	23,6	23,2	22,7	22,1	23,8
•• Wohnraum ohne Jalousie	24,0	24,3	24,5	24,7	24,9	25,1	25,3	25,3	24,9	24,3	23,6	22,9	25,3
•• Zimmer mit Jalousie	23,3	23,9	24,4	24,8	25,1	25,4	25,6	25,9	25,5	24,6	23,5	22,5	25,9
•• Zimmer ohne Jalousie	28,1	28,9	29,4	29,6	30,0	30,3	30,5	29,3	27,4	25,9	24,4	23,1	30,5

Abbildung 119: Verläufe der Tagestemperatur in betrachteten Räumen

Kreislaufwirtschaft

Das letzte, allerdings heute sowie zukünftig mehr und mehr relevantem Thema ist die Kreislaufwirtschaft. Sowohl im nachfolgenden Text als auch in Abbildung 120 wird das Recyclingpotential sowie der Umgang mit den Materialien nach dem Gebäude-

zyklus für diesen Entwurf beschrieben und dargestellt.

Die Kreislaufwirtschaft hat eines zum Ziel: Materialien ihrem ursprünglichen Stoffkreislauf zurückzuführen. Dies kann durch eine Wiederverwendung eines Baustoffes in derselben Form passieren, durch Weiterverwendung des Materials in anderer

Form oder durch gezielte thermische Verwertung für andere Stoffe. Gerade in der Stadt, in der es keine intelligente Neuplanung von Gebäuden benötigt um zukünftig eine Kreislaufwirtschaft zu betreiben, sondern eine Nutzung vorhandener Rohstofflager wie Bestandsbauten, welche neu zu planenden Bauten weichen und als Sondermüll abtransportiert werden, muss die Kreislaufwirtschaft gesteigert werden. [5] So wäre es nicht notwendig gewesen, das Bestandgebäude des gewählten Bauplatzes vorab vollständig abzureisen. Durch den Einsatz hierbei verbauter Materialien hätten Rohstoffe gespart werden können und alte Baustoffe weiterverwendet werden können.

Um dies zukünftig zu vermeiden, wurde bei diesem Entwurf der Kreislauf der Materialien und Bauteile berücksichtigt.

Die Bauteilaufbauten wurden so konzipiert, dass sie am Ende des Gebäudezyklus ohne großen Aufwand in, umgekehrter Aufbaufolge, abgebaut werden können.

Dazu wird nun in drei Überkategorien unterschieden: Wände, Decken, Innenstruktur.

Die Wände unterschieden sich zwischen der Holzmassivwand, der Holzleichtbauwand sowie der Stampflehmwand. Bei Decken sind alle Felder gleich zu behandeln. Die innere Struktur unterscheidet sich wieder, in nicht tragende Wände sowie in tragende Konstruktion.

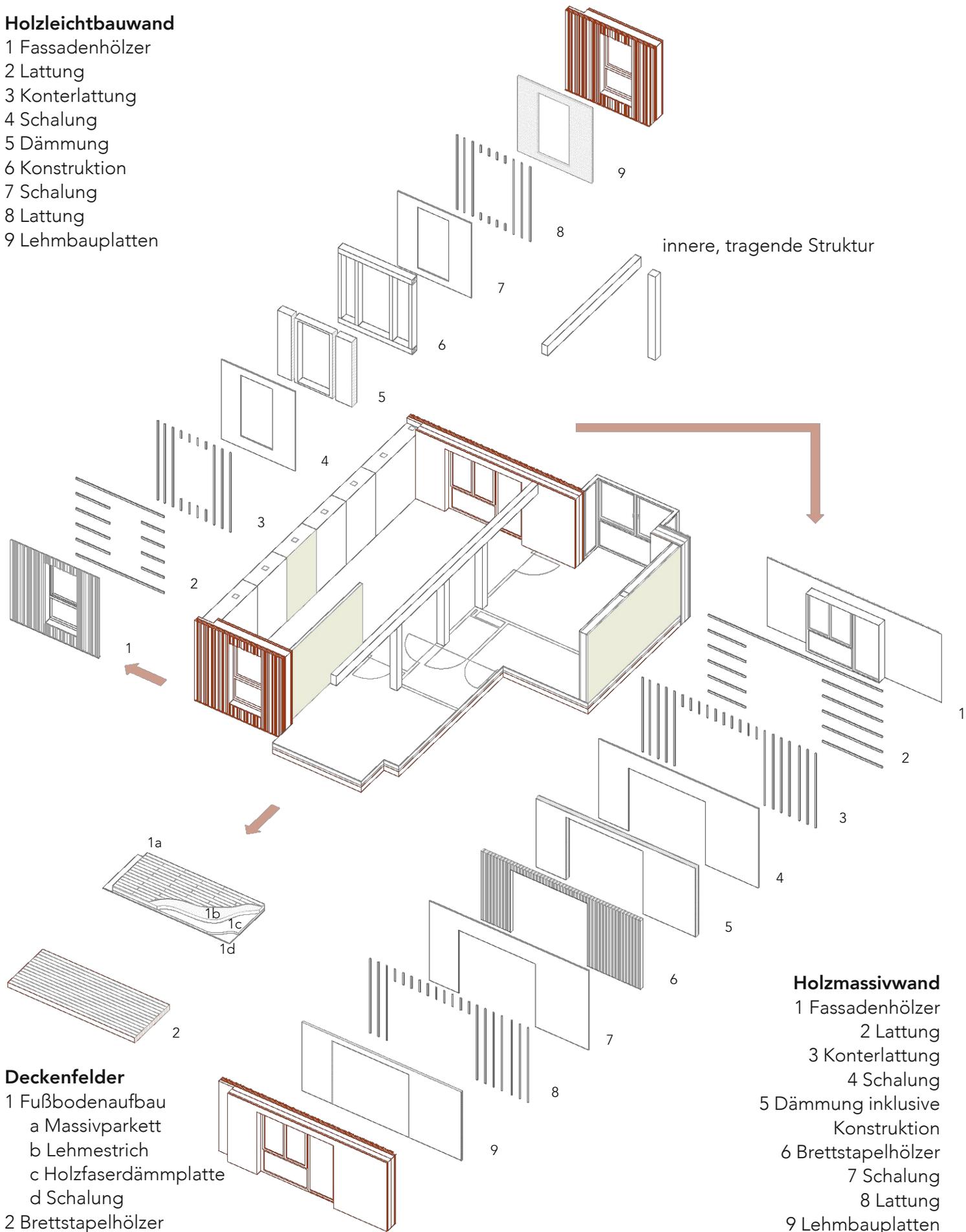
Die Holzmassivwand und die Holzleichtbauwand werden sehr ident gelöst (die folgenden Nummern beziehen sich auf die Beschriftung in Abbildung 120): zu Beginn werden die Lehmplatten (9) abgeschlagen, sofern die Schrauben nicht auffindbar sein sollten und somit ein Abnehmen der Platten nicht möglich ist. Darauf wird später noch genauer eingegangen. Die Lattung der Installationsebene (8), sowie die Fassa-

de (1), die Lattung (2) dieser und die Konterlattung (3) werden durch die Schraubverbindungen gelöst und können in gleicher Funktion weiterverwendet werden. Andernfalls können diese zerkleinert und zu Plattenmaterial weiterverarbeitet werden, letztlich wäre noch die thermische Verwertung möglich. Die nächste zu entfernende Schicht ist die diagonale Schalung (4 und 7). Der Abbau folgt, dem gleichen Prinzip wie bei den stabförmigen Hölzern. Ebenso die möglichen Weiter- und Wiederwendungen. Bei der Steinwolldämmung (5) wurde zu Beginn der Planung das Produkt der Firma „Rockwool“ ausgewählt. Diese recyceln ihre Dämmung zu 96%, führen diese dem Herstellungsprozess zu und bieten sogar ein Rückgabeservice an. Hierbei wird der Baustellenverschnitt als auch alte Dämmung bei Sanierungen (die Dämmung darf nicht vor 1996 eingebaut worden sein) zurückgenommen und somit der Stoffkreislauf geschlossen. [59] Die Konstruktion (5 bzw. 6) kann auseinandergelöst werden und die einzelnen Querschnitte beliebig weiterverwendet werden, es kann jedoch auch die gesamte Konstruktion erneut eingesetzt werden. Zuletzt ist die Brettstapelkonstruktion (6) hervorzuheben. Diese kann einerseits als tragendes Element in dieser Form genutzt werden, andererseits bietet diese Art der massiven Holzwand die Möglichkeit, die Dübelverbindungen zu lösen und somit die einzelnen Hölzer für andere Zwecke weiter zu verwenden.

Dasselbe funktioniert bei den Brettstapeldecken (2). Hier wird zuerst der gesteckte Holzparkettboden (1a) entfernt, anschließend wird der Lehm (1b) gelöst, dazu später genauer, und die Holzfasernplatten (1c) werden herausgehoben. Der Paket kann zu kleineren Werkstoffen verarbeitet werden, die Trittschallplatten erneut wieder verwendet werden oder beide Stoffe können ther-

Holzleichtbauwand

- 1 Fassadenhölzer
- 2 Lattung
- 3 Konterlattung
- 4 Schalung
- 5 Dämmung
- 6 Konstruktion
- 7 Schalung
- 8 Lattung
- 9 Lehmbauplatten



Deckenfelder

- 1 Fußbodenaufbau
 - a Massivparkett
 - b Lehmestrich
 - c Holzfaserdämmplatte
 - d Schalung
- 2 Brettstapelhölzer

Holzmassivwand

- 1 Fassadenhölzer
- 2 Lattung
- 3 Konterlattung
- 4 Schalung
- 5 Dämmung inklusive Konstruktion
- 6 Brettstapelhölzer
- 7 Schalung
- 8 Lattung
- 9 Lehmbauplatten

Abbildung 120: Kreislaufwirtschaft

mische verwertet werden. Die diagonale Schalung (1d) ist gleich wie bei den Wänden zu behandeln.

Nun zur Innenstruktur bzw. zur Stampflehmwand. Die Stampflehmwand, die Lehmbauplatten der nicht tragenden Wände, die Ökomassivplatten der Wohnungstrennwand (allesamt grün markiert) sowie die Lehmbauplatten der Holzmassiv- und Holzleitbauwände können zur Gänze recycelt werden. Lehm trocknet an der Luft und kann durch Beigabe von Wasser wiederverwendet werden. Bei den Plattenbaustoffen ist allerdings primär darauf zu achten, ob diese abgeschraubt werden können. Sind die Schrauben nicht auffindbar, so kann der Lehm abgeschlagen, aufgesammelt und erneut verarbeitet werden (siehe Kapitel 05: Interview mit Hans Wegscheider). Die eingestampften Holzstützen der massiven Außenwand werden nach abtragen des Lehmes frei und können wiederverwendet werden. Anders als zu erwarten, konserviert der Lehm das Holz (siehe hierfür ebenfalls Kapitel 05: Interview mit Hans Wegscheider).

Die innere Tragstruktur kann dank der Steckverbindungen gelöst und in die Einzelteile zerlegt werden. Diese sind ebenfalls erneut als lastabtragende Elemente einsetzbar oder können zu kleineren Produkten weiterverarbeitet werden. Gleiches gilt für die Holzkonstruktion der nicht tragenden Wände sowie der Wohnungstrennwand.

Fazit

Die Ziele der Diplomarbeit wurden im Entwurf erfolgreich umgesetzt. Das Hauptaugenmerk des Einsatzes von nachhaltigen Rohstoffen wurde erzielt. Durch die Stampflehmwände als Feuerschutz- sowie Erschließungsmauern werden die typischen, sonst mineralischen Wände konstruiert. Durch die Mischung aus tragenden Holzelementen und der brandschutztechnischen Lehmummantelung wurde so der innere Teil des Gebäudes hergestellt.

Laut dem Interview mit den Expert:innen der MA37 wäre diese Konstruktion der Bauteile nach heutigem Stand in Wien allerdings nicht zulässig. Es wurde jedoch bewusst in dieser Form konstruiert, um die Möglichkeit der Verbindung der beiden Baustoffe Lehm und Holz aufzuzeigen.

Bei einem Gebäude bis zu sechs oberirdischen Geschossen, wäre dieser Entwurf laut den momentanen Brandschutzbedingungen möglich. Die ausschlaggebende Frage allerdings ist die der Brandbekämpfung. Die Feuerwehr bringt einen Vollbrand einer Wohnung ohne Probleme unter Kontrolle, ungeachtet ihrer Bauweise. Dies wirft die Frage auf, ob die Grenze bei sechs oberirdischen Geschossen liegen muss, da es möglicherweise mit einer kleinteiligeren Bauweise besser zu beurteilen und abzugrenzen wäre. [63]

Das Ziel der Flexibilität wurde durch die Wahl einer Skelettbauweise erzielt. Der Stützenraster im Inneren des Bauwerks bietet einen freien Grundriss und die Möglichkeit der späteren Umnutzung.

Die Recyclingfähigkeit des Gebäudes wurde ebenso wie das Kreislaufverhalten der Materialien gewährleistet. Lösbare Verbindungen der Knotenpunkte der Tragstruktur maximiert beim späteren Abriss die Wie-

derverwendung der Bauteile. Diese wurden außerdem so konzipiert, dass eine leichte Rückbaubarkeit der einzelnen Schichten möglich ist. Dies gewährleistet den Vorteil des höchsten Grades an Recycling von Materialien.

Bezugnehmend auf die in Kapitel 2 beschriebenen Analyseschwerpunkte wird nun auch der Entwurf anhand dieser bewertet.

Im Punkt Konstruktion ist dieser Entwurf in Kategorie 3 – „von beiden etwas“ einzuordnen. Der geringe Materialverbrauch durch die Stützenstruktur im Inneren des Gebäudes wird durch die ressourcenverbrauchenden Stampflehmwände ausgeglichen. Da das Gebäude allerdings fast ausschließlich aus nachhaltigen Rohstoffen besteht, ist der Entwurf im Schwerpunkt Materialien in die Kategorie 1 – „vollständig nachwachsend“ einzuordnen. Durch das Stützenraster ist der Grundriss freigestaltbar. Der momentan geplante Wohnungsgrundriss kann durch geringe Maßnahmen zu einem Büro umstrukturiert werden. Dadurch ist das Gebäude in Kategorie 1 – „flexibel“ einzustufen. Die Energieeffizienz ist nach den Schwerpunkten nach zu urteilen in die Kategorie 2 – „ein großer Anteil nachhaltig“ einzuordnen. Die Photovoltaikanlage ist ein grüner Ansatz, jedoch reicht die Fläche nicht aus, das gesamte Gebäude mit Strom zu versorgen. Gleiches gilt für die beiden wärmeerzeugende Quellen. Daher wird für Stoßzeiten Energie aus dem Netz gespeist. Im Punkt Recycling ist der Entwurf in Kategorie 1 – „sehr gut rückbau- und recycelbar“ einzustufen. Durch die intensiv überlegten Verbindungen der Knotenpunkte und den nicht verklebten Zusammenschlüssen der Bauteilaufbauten ist das spätere Recycling ohne aufwendige Maßnahmen möglich.

F A Z I T

07

Abschließend gilt es die geleistete Arbeit zusammenzufassen und ein Resümee daraus zu ziehen. Das gewonnene Wissen wird gemeinsam mit den Erkenntnissen des Entwurfs analysiert und das Ergebnis als abschließendes Fazit verfasst.

07 FAZIT

CONCLUSIO

Die Arbeit zeigte einige Punkte klar auf und beantwortete auch die Frage des Einsatzes von nachhaltigen Rohstoffen. Der Entwurf eines siebengeschossigen Wohnbaus im innerstädtischen Bereich in einer Baulücke wäre mit den verwendeten Materialien Holz und Lehm in dieser Form nur schwierig umsetzbar. Dies ist einerseits auf die fehlende praktische Erfahrung mit Lehm im Einsatz bei mehrgeschossigen Gebäuden und andererseits der Gebäudeklasse, den daraus folgenden Brandschutzanforderungen und der Nicht-Erfüllung dieser mit dem Baustoff Holz zurückzuführen. Die anderen wesentlichen Ziele des Entwurfs, die Flexibilität des Gebäudes sowie die Recyclingfähigkeit der Bauteile und Materialien, wurden durchaus erfüllt. Durch die Wahl einer offenen und leichten Tragstruktur im Inneren des Gebäudes, lässt sich beinahe der gesamte Grundriss aushöhlen und wie im gezeigten Beispiel zu einem Büro umnutzen. Dies ist vor allem auch deshalb möglich, weil der Baustoff Lehm, welcher in Form von Beplankungen der inneren Wände zum Einsatz kam, leicht rückbaubar und anschließend recyclebar ist. Außerdem sind die gewählten kraftschlüssigen Verbindungen der Tragstruktur so gewählt, dass diese im Fall eines Abrisses des Bauwerks, in rückwertiger Folge des gezeigten Bauablaufes zerlegbar wären und somit ein nahezu abfallfreier Abbruch möglich wäre.

Die konkrete Fragestellung der Diplomarbeit, ob die Schließung einer Wiener Baulücke mit nachhaltigen Rohstoffen möglich ist, ist allerdings nicht eindeutig zu beantworten. Einerseits da die angesprochenen erforderlichen Brandschutzklassifikationen für ein Gebäude mit sieben Geschossen

und in dieser Gebäudeklasse nicht erfüllt wären, die zuständigen Expert:innen ein Bauwerk in dieser Art und Ausführung sowie Verwendung der Materialien nicht zulassen würden sowie das Risiko des Versagens des heute nicht in dieser Form genutzten Baustoffes Lehms. Daraus ergibt sich die negative Beantwortung der Frage. Für die positive Antwort würde andererseits die historische Nutzung des Lehmes auch für mehrgeschossige Gebäude sprechen, wie es anhand des Beispiels einer Siedlung vom 14. Jahrhundert in Taos im Bundesstaat New Mexico in den USA gezeigt wird. [3] Außerdem die Möglichkeit mittels Kompensationsmaßnahmen die erforderlichen Brandschutzbestimmungen umgehen zu dürfen, wie diese auch im Thema Detailplanung im Punkt Brandschutz für diesen Entwurf erklärt und beschrieben wurden, sowie der rasche technische Fortschritt und der Wille der Wirtschaft und Industrie stets neue und alternative Lösungen zu finden.

Um eine fundamtierte Antwort auf die Frage liefern zu können, wäre unter anderem ein Austausch mit ausführenden Firmen notwendig gewesen sowie zumindest die statische und brandschutztechnische Erprobung der konzipierten Bauteile (Stampflehmaußenwand mit eingestampften Holzstützen), welche nach erster Idee, durch das Expertenwissen bestätigt und in dieser Form weiterverfolgt wurden. Dies hätte jedoch den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Außerdem wurden wirtschaftliche Aspekte bei der Planung außer Acht gelassen, da dies ebenso eine noch größere und umfangreichere Arbeit erfordert hätte. Daher blieb es bei der Auseinandersetzung in analytischer Form der Materialien und ihren Eigenschaften, der Umsetzung eines Entwurfes mit diesen sowie die gewissenhafte Ausarbeitung einer konstruktiven und detailhaften Möglichkeit das Gebäude um-

07 FAZIT | CONCLUSIO

setzen zu können. So liefert der Entwurf dieses Wohngebäudes eine möglicherweise zukunftsfähige und realistische Herangehensweise, um ein Bauwerk mit nachhaltigen Rohstoffen auch im innerstädtischen, mehrgeschossigen Bereich umsetzbar zu machen.

DANKSAGUNG

Ich möchte mein Studium und meine Diplomarbeit in Dankbarkeit beenden. Dankbarkeit für den Wohlstand, die Sicherheit und das Bildungswesen in Österreich. Es ist keine Selbstverständlichkeit in einem Umfeld wie diesem aufzuwachsen und eine solche Chance zu bekommen.

Abgesehen davon gilt es auch meinem Betreuer Herrn Alireza Fadai zu danken. Durch ihn ist mir das Thema der Nachhaltigkeit noch nähergebracht worden. Er war es auch der den Beginn meines Masterstudiums geprägt hat und mich in sein Modul über Ressourceneffizienz gebracht hat. Ich verdanke ihm somit nicht nur die wunderbare Betreuung meiner Arbeit und die Energie die Herr Fadai in die Gespräche und Unterstützung gesteckt hat, sondern auch das mir heute vertraute und wichtige Thema der Nachhaltigkeit.

Ein großer Dank gilt allerdings auch meiner Familie, die stets an mich geglaubt haben und immer an meiner Seite waren. Neben meinen Eltern, die mich trotz ihrer Unkenntnis zur Architektur jederzeit aufgebaut, motiviert und finanziell unterstützt haben, war vor allem mein Onkel, der mir schon als Kind die Architektur zeigte und selbst einst studierte, jener Mann, der mich mit seinen oft direkten aber stets hilfreichen Kritiken, wachsen ließ und mir so neue Sichtweisen zeigte.

Außerdem verdanke ich meinem leider viel zu früh verstorbenen Großvater meine Leidenschaft zum Modellbauen. Er war es, der mich zwar nicht mehr durchs Studium jedoch durch mein Schullaufbahn bei den anfänglich, schwierigen Aufgaben der Ar-

chitektur unterstützte.

Ebenso möchte ich meinen Freunden danken, die trotz meiner Abwesenheit in stressigen Zeiten nicht von meiner Seite wichen. Spezieller Dank gilt vor allem auch meinen zwei engen Studienfreunden Maximilian und Florian, die mit mir gemeinsam viele Nachtschichten geschoben haben und so eine unzertrennliche Freundschaft entstehen ließen.

Zuletzt gilt der wohl größte Dank meiner Verlobten Katharina. Sie hat mich durch meine gesamten sechs Jahre des Architekturstudiums begleitet, jede gemeisterte Aufgabe gebührend mit mir gefeiert und jeden Fehltritt kaschiert. Ohne ihren vielen wohlmeinenden Worte und ihre unermüdliche Unterstützung hätte ich dieses Studium und diese Diplomarbeit niemals bewältigen können. Vielen Dank!

VERZEICHNISSE

08

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.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 01: https://www.nachhaltiges-bauen.de/fileadmin/publikationen/BBSR_LFNB_D_190125.pdf; Zugriff: 05.05.2023, 11:35; gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 02: H. Kaufmann, S. Krötsch und S. Winter, Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, München: Detail Business Information GmbH, 2021.; gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 03: A. Pech, Holz im Hochbau, Basel: Birkhäuser, 2016.; gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 04: <https://www.hasslacher.com/konstruktionsvollholz> (Zugriff: 30.09.2023, 00:20)

Abbildung 05: <https://www.hasslacher.com/brettsperrholz> (Zugriff: 30.09.2023, 00:12)

Abbildung 06: <https://www.hasslacher.com/brettstapelsystemdecke> (Zugriff: 30.09.2023, 00:15)

Abbildung 07: A. Pech, Holz im Hochbau, Basel: Birkhäuser, 2016.; gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 08: <https://www.lehmtonerde.at/de/produkte/produkt.php?aID=6> (Zugriff: 29.09.2023, 23:06)

Abbildung 09: https://www.claytec.de/de/produkte/fachwerksanierung/lehm-trockenschuetting-granulat_pid2815 (Zugriff: 29.09.2023, 22:45)

Abbildung 10: [\[produkte/lehm_trockenbau/claytec-lehm-bauplatte-d20_pid205\]\(https://www.claytec.de/de/produkte/lehm_trockenbau/claytec-lehm-bauplatte-d20_pid205\) \(Zugriff: 29.09.2023, 22:55\)](https://www.claytec.de/de/</p></div><div data-bbox=)

Abbildung 11: H. Schroeder, Lehmbau - mit Lehm ökologisch planen und bauen, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019.; gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 12: https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/04/lu_ckenschluss-par-excellence.html (Zugriff: 25.04.2023, 22:45)

Abbildung 13: <http://www.m-a-o.fr> (Zugriff: 25.04.2023, 22:21)

Abbildung 14: <http://www.m-a-o.fr> (Zugriff: 25.04.2023, 22:21)

Abbildung 15: <http://www.m-a-o.fr> (Zugriff: 25.04.2023, 22:21)

Abbildung 16: <http://www.m-a-o.fr> (Zugriff: 25.04.2023, 22:21)

Abbildung 17: <http://www.m-a-o.fr> (Zugriff: 25.04.2023, 22:21)

Abbildung 18: https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/04/lu_ckenschluss-par-excellence.html (Zugriff: 25.04.2023, 22:45)

Abbildung 19: https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/04/lu_ckenschluss-par-excellence.html (Zugriff: 25.04.2023, 22:45)

Abbildung 20: <https://www.baumeister.de/rue-robert-blache-paris-mao/> (Zugriff: 25.04.2023, 22:56)

Abbildung 21: <https://www.kadenplus.de/projekt/c13> (Zugriff: 30.04.2023, 17:19)

Abbildung 22: https://holzbauatlas.berlin/c13_kadenklingbeil-architekten/ (Zugriff:

08 VERZEICHNISSE | ABBILDUNG

30.04.2023, 17:34)

Abbildung 23: https://holzbauatlas.berlin/c13_kadenklingbeil-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 17:34)

Abbildung 24: https://holzbauatlas.berlin/c13_kadenklingbeil-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 17:34)

Abbildung 25: https://holzbauatlas.berlin/c13_kadenklingbeil-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 17:34)

Abbildung 26: https://holzbauatlas.berlin/c13_kadenklingbeil-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 17:34)

Abbildung 27: https://holzbauatlas.berlin/c13_kadenklingbeil-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 17:34)

Abbildung 28: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 15:07)

Abbildung 29: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 15:07)

Abbildung 30: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 15:07)

Abbildung 31: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 15:07)

Abbildung 32: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 15:07)

Abbildung 33: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 15:07)

Abbildung 34: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 15:07)

Abbildung 35: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/ (Zugriff: 30.04.2023, 15:07)

Abbildung 36: <https://www.motorlab.de/index.php?id=5> (Zugriff: 30.04.2023, 15:55)

Abbildung 37: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Fuellung_in_Gold_Bauluecke_Lange_Roetterstrasse_Mannheim-2204087.html (Zugriff: 30.04.2023, 16:15)

Abbildung 38: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Fuellung_in_Gold_Bauluecke_Lange_Roetterstrasse_Mannheim-2204087.html (Zugriff: 30.04.2023, 16:15)

Abbildung 39: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Fuellung_in_Gold_Bauluecke_Lange_Roetterstrasse_Mannheim-2204087.html (Zugriff: 30.04.2023, 16:15)

Abbildung 40: <https://www.motorlab.de/index.php?id=5> (Zugriff: 30.04.2023, 15:55)

Abbildung 41: <https://www.motorlab.de/index.php?id=5> (Zugriff: 30.04.2023, 15:55)

Abbildung 42: <https://www.motorlab.de/index.php?id=5> (Zugriff: 30.04.2023, 15:55)

Abbildung 43: <https://www.motorlab.de/index.php?id=5> (Zugriff: 30.04.2023, 15:55)

Abbildung 44: <https://www.google.com/maps/@48.1746601,16.3324424,3a,75y,345.94h,90.22t/data=!3m7!1e1!3m5!1sYNjTW8d-ZlrTGwoNAwZXTiw!2e0!5s20190801T0000!7i16384!8i8192?entry=ttu;> (Zugriff: 07.09.2023)

08 VERZEICHNISSE | ABBILDUNG

Abbildung 45: https://www.google.com/maps/@48.1746763,16.3324108,3a,75y,345.94h,90.22t/data=!3m6!1e1!3m4!1sWySVP2BQdcWfo_yqb0Zi3w!2e0!7i16384!8i8192?entry=tту;
Zugriff: 07.09.2023

Abbildung 46: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 47: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 48: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 49: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 50: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 51: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 52: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 53: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 54: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 55: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 56: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 57: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 58: gezeichnet von Daniel Suppan

pan

Abbildung 59: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 60: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 61: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 62: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 63: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 64: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 65: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 66: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 67: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 68: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 69: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 70: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 71: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 72: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 73: gezeichnet von Daniel Suppan

08 VERZEICHNISSE | ABBILDUNG

- pan
- Abbildung 74: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 75: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 76: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 77: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 78: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 79: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 80: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 81: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 82: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 83: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 84: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 85: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 86: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 87: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 88: H. Kaufmann, S. Krötsch und S. Winter, Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, München: Detail Business Information GmbH, 2021.; gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 89: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 90: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 91: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 92: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 93: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 94: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 95: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 96: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 97: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 98: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 99: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 100: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 101: gezeichnet von Daniel Suppan
- Abbildung 102: gezeichnet von Daniel Suppan

08 VERZEICHNISSE | ABBILDUNG

pan

Abbildung 103: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 104: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 105: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 106: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 107: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 108: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 109: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 110: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 111: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 112: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 113: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 114: gezeichnet von Daniel Suppan, erstellt mithilfe des „Velux Daylight Visualizer“ - <https://www.velux.de/fachkunden/tools-technik/daylight-visualizer> (Zugriff am 15. Oktober 2023)

Abbildung 115: gezeichnet von Daniel Suppan

Abbildung 116: erstellt von Daniel Suppan

mithilfe des Online-Tools „Thesim-3D“ <http://www.thesim.at>. [Zugriff am 17 Oktober 2023]

Abbildung 117: erstellt von Daniel Suppan mithilfe des Online-Tools „Thesim-3D“ <http://www.thesim.at>. [Zugriff am 17 Oktober 2023]

Abbildung 118: erstellt von Daniel Suppan mithilfe des Online-Tools „Thesim-3D“ <http://www.thesim.at>. [Zugriff am 17 Oktober 2023]

Abbildung 119: erstellt von Daniel Suppan mithilfe des Online-Tools „Thesim-3D“ <http://www.thesim.at>. [Zugriff am 17 Oktober 2023]

Abbildung 120: gezeichnet von Daniel Suppan

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] N. Bartels, J. Höper, S. Theißen und R. Wimmer, Anwendung der BIM-Methode im nachhaltigen Bauen, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022.
- [2] A. Pech, Holz im Hochbau, Basel: Birkhäuser, 2016.
- [3] H. Schroeder, Lehm-bau - mit Lehm ökologisch planen und bauen, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019.
- [4] T. Kölzer, Nachhaltige und digitale Baukonzepte, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022.
- [5] A. Hillebrandt, P. Riegler-Floors, A. Rosen und J.-K. Seggewies, Atlas Recycling, München: Detail Business Information GmbH, 2021.
- [6] pro:Holz Austria, Zuschnitt 65, Wien: Grasl FairPrint, 2017.
- [7] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, „Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen,“ [Online]. Available: <https://www.nachhaltigesbauen.de/publikationen/eigene-publikationen/>. [Zugriff am 14 April 2023].
- [8] J. Kolb, Holzbau mit System, Basel: Birkhäuser, 2010.
- [9] Ö. Rundfunk, „ORF,“ 15 November 2022. [Online]. Available: <https://oesterreich.orf.at/stories/3182263/>. [Zugriff am 2 Jänner 2023].
- [10] Umweltbundesamt, „Umweltbundesamt,“ 13 Oktober 2022. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfall>. [Zugriff am 29 Dezember 2022].
- [11] H. Kaufmann, S. Krötsch und S. Winter, Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, München: Detail Business Information GmbH, 2021.
- [12] R. Lückmann, Holzbau : Konstruktion. - Bauphysik - Projekte, Kissing: WEKA MEDIA, 2014.
- [13] M. Green und J. Taggart, Hoch Bauen mit Holz, Basel: Birkhäuser, 2017.
- [14] Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, „Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,“ [Online]. Available: <https://info.bml.gv.at/themen/wald/wald-in-oesterreich/wdw2021.html>. [Zugriff am 02 Jänner 2023].
- [15] Österreichisches Institut für Bautechnik, „Österreichisches Institut für Bautechnik,“ [Online]. Available: https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_2_12.04.19_0.pdf. [Zugriff am 21 Mai 2023].
- [16] U. Röhlen und F. Volhard, Lehm-bau Regeln, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009.
- [17] F. Volhard, Bauen mit Leichtlehm, Wien: Springer-Verlag, 2013.
- [18] D. Schäfer, Massivbauweise mit Lehm, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [19] B. Hauer, Lehm Urban - Anwendungsmöglichkeiten von Lehm im städti-

08 VERZEICHNISSE | LITERATUR

schen Wohnungsbau am Beispiel Wien, Wien, 2020.

[20] K. Schönburg, Lehmbauarbeiten, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2017.

[21] „MAO,“ [Online]. Available: <http://www.m-a-o.fr>, http://www.m-a-o.fr/referenzen/Mao_55-BLACHE.pdf. [Zugriff am 25 April 2023].

[22] „Holzbau Austria,“ [Online]. Available: https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/04/lu_ckenschluss-par-excellence.html. [Zugriff am 25 April 2023].

[23] „Baumeister,“ [Online]. Available: <https://www.baumeister.de/rue-robert-blache-paris-mao/>. [Zugriff am 25 April 2023].

[24] „Kadenplus,“ [Online]. Available: <https://www.kadenplus.de/projekt/c13>. [Zugriff am 30 April 2023].

[25] „Holzbauatlas Berlin,“ [Online]. Available: https://holzbauatlas.berlin/c13_kadenklingbeil-architekten/. [Zugriff am 30 April 2023].

[26] „Holzbauatlas Berlin,“ [Online]. Available: https://holzbauatlas.berlin/eisberg_rundzwei-architekten/. [Zugriff am 30 April 2023].

[27] „Hubert Magazin,“ [Online]. Available: <https://www.hubert-magazin.de/nachhaltig-bauen-und-sanieren/eisberg-berlin-mehrfamilienhaus-holz/>. [Zugriff am 30 April 2023].

[28] „Brandschutzplus,“ [Online]. Available: <https://brandschutzplus.de/projekt/wohnhaus-eisberg-in-holz-hybrid-bauweise-berlin-moabit/>. [Zugriff am 30 April 2023].

[29] „Architekturzeitung,“ [Online].

Available: <https://www.architekturzeitung.com/architektur/137-architekturprojekte/3997-wohnhaus-in-holz-hybrid-bauweise-von-rundzwei-architekten>. [Zugriff am 01 Juli 2023].

[30] „Motorlab,“ [Online]. Available: <https://www.motorlab.de/index.php?id=5>. [Zugriff am 30 April 2023].

[31] „DBZ,“ [Online]. Available: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Fuellung_in_Gold_Bauluecke_Lange_Roetterstrasse_Mannheim-2204087.html. [Zugriff am 30 April 2023].

[32] „Flächenwidmungs- und Bebauungsplan,“ [Online]. Available: <https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>. [Zugriff am 24 April 2023].

[33] „Geodatenviewer,“ [Online]. Available: <https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public/start.aspx>. [Zugriff am 26 April 2023].

[34] pro:Holz Austria, Zuschnitt 66, Bad Vöslau: Grasl FairPrint, 2017.

[35] „Stadt Wien,“ [Online]. Available: <https://www.wien.gv.at/spezial/smartklimacitystrategie/die-leitziele-der-smart-city-wien/ressourcenschonung/>. [Zugriff am 7 April 2023].

[36] pro:Holz Austria, Zuschnitt 82, Bad Vöslau: Print Alliance, 2021.

[37] proHolzBW GmbH, „proholzBW,“ [Online]. Available: <https://proholzbw.de/objekte/kampa-k8-aalen-waldhausen/>. [Zugriff am 20 September 2023].

[38] P. M. G. & C. KG, „BauBuche - Statische Kennwerte und Vorbemessungstabel-

len," [Online]. Available: <https://www.pollmeier.com/wp-content/uploads/2023/04/Pollmeier-BauBuche-04-Statistische-Kennwerte.pdf>. [Zugriff am 20 September 2023].

[39] Hasslacher Holding GmbH, „Brettstapelsystemdecke," [Online]. Available: https://www.hasslacher.com/data/_datei-manager/broschuere/HNT-Brettstapelsystemdecke-DE.pdf. [Zugriff am 20 September 2023].

[40] „pro:Holz Austria," [Online]. Available: <https://www.proholz.at/holzarten/robini>. [Zugriff am 20 September 2023].

[41] pro:Holz Austria, Zuschnitt 63, Wien: Grasl FairPrint, 2016.

[42] Rockwool HandelsgmbH, „Rockwool," [Online]. Available: <https://www.rockwool.com/at/rat-und-tat/warum-mit-steinwolle-daemmen/oekologie/>. [Zugriff am 20 September 2023].

[43] Österreichisches Institut für Bautechnik, „OIB-Richtlinie 6," [Online]. Available: https://www.oib.or.at/sites/default/files/oib-rl_6_ausgabe_mai_2023.pdf. [Zugriff am 19 September 2023].

[44] pro:Holz Austria, Zuschnitt 87, Bad Vöslau: Print Alliance, 2022.

[45] P. B. G. & C. KG, „Bauder," [Online]. Available: <https://www.bauder.at/at/bauder-gruendach-systeme/extensive-dachbegruenung/systemloesungen/extensiv-mit-wasserspeicherplatte.html>. [Zugriff am 20 September 2023].

[46] Holzbau Wegscheider Innovative Bau GmbH, „Holzbau Wegscheider," [Online]. Available: <https://www.holzbau-wegscheider.at/oekomassiv-system>. [Zugriff am

26 April 2023].

[47] Lehm Ton Erde Baukunst GmbH, „LehmTonErde," [Online]. Available: <https://www.lehmtonerde.at/de/produkte/produkt.php?aID=6>. [Zugriff am 20 September 2023].

[48] B. f. A. u. Wirtschaft, „Arbeitsinspektion," [Online]. Available: <https://www.arbeitsinspektion.gv.at/Branchen/Branchen/Vorankuendigung.html>. [Zugriff am 21 September 2023].

[49] B. f. A. u. Wirtschaft, „Baustellen-einrichtung," [Online]. Available: https://www.arbeitsinspektion.gv.at/Branchen/Bauarbeiten-_Bergbau/Baustelleneinrichtung.html. [Zugriff am 21 September 2023].

[50] Österreichisches Institut für Bautechnik, „OIB-Richtlinie Begriffsbestimmungen," [Online]. Available: https://www.oib.or.at/sites/default/files/oib-rl_begriffsbestimmungen_ausgabe_mai_2023.pdf. [Zugriff am 19 September 2023].

[51] pro:Holz Austria, Zuschnitt 21, Dornbirn: Höfle GmbH, 2006.

[52] pro:Holz Austria, Zuschnitt 22, Dornbirn: Höfle GmbH, 2006.

[53] Pittsburgh Corning Schweiz AG, „Foamglas," [Online]. Available: <https://www.foamglas.com/de-ch/wissenszentrum/protection-areas/water>. [Zugriff am 22 September 2023].

[54] „pro:Holz Austria," [Online]. Available: <https://www.proholz.at/zuschnitt/63/thema-sockel-wie-bringe-ich-die-fassade-bis-zum-boden>. [Zugriff am 22 September 2023].

08 VERZEICHNISSE | LITERATUR

- [55] ROTHO BLAAS SRL, „Rothoblaas,“ [Online]. Available: <https://www.rothoblaas.de/produkte/verbindungstechnik/holzbauverbinder/pfostentrager/r10-r20-r30>. [Zugriff am 22 September 2023].
- [56] pro:Holz Austria, „Wohnprojekt Lynarstraße in Berlin,“ [Online]. Available: <https://www.proholz.at/zuschnitt/86/wohnprojekt-lynarstrasse>. [Zugriff am 15 September 2022].
- [57] „Ö1 ORF,“ [Online]. Available: <https://oe1.orf.at/programm/20220915/691204/Architektur-und-Gesundheit>. [Zugriff am 24 September 2023].
- [58] „Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen,“ [Online]. Available: <https://unric.org/de/weltbevoelkerung28032023/>. [Zugriff am 24 September 2023].
- [59] Rockwool HandelsgmbH, „Recycling bei Rockwool,“ [Online]. Available: <https://www.rockwool.com/at/downloads-und-services/steinwolle-entsorgen/>. [Zugriff am 25 September 2023].
- [60] pro:Holz Austria, „pro:Holz Austria,“ [Online]. Available: <https://www.proholz.at/wald-holz-klima/mehr-holz-weniger-co2>. [Zugriff am 02 Jänner 2023].
- [61] Netzwerk Lehm e.V, „Netzwerk Lehm,“ [Online]. Available: <http://netzwerk-lehm.at/lehm/was-ist-lehm/>. [Zugriff am 02 Jänner 2023].
- [62] Hayball, „Hayball,“ [Online]. Available: <https://hayball.com.au/projects/docklands-library/>. [Zugriff am 10 September 2023].
- [63] pro:Holz Austria, Zuschnitt 77, Bad Vöslau: Print Alliance, 2020.
- [64] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „BMK Infothek,“ [Online]. Available: <https://infothek.bmk.gv.at/klimastatusbericht-2022-gletscherschwund/>. [Zugriff am 27 September 2023].
- [65] „pro:Holz Austria,“ [Online]. Available: <https://www.proholz.at/zuschnitt/86/planungshinweise>. [Zugriff am 14 Oktober 2023].
- [66] G. Gebhardt, Holzfaserdämmplatten als aussteifende Beplankung von Holztafeln, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2012.
- [67] Bundesministerium für Klimawandel, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „Klimaaktiv,“ [Online]. Available: https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:bac0c0f6-dd3d-4487-a9ef-270dd8448ea9/20230824_Broschüre%20Basiskriterien%202020_bf.pdf. [Zugriff am 16 Oktober 2023].
- [68] A. Dr. Rosen, „Urban Mining Index,“ [Online]. Available: <https://urban-mining-index.de>. [Zugriff am 16 Oktober 2023].
- [69] baubook GmbH, „baubook - Rechner für Bauteile,“ [Online]. Available: https://www.baubook.at/BTR/?SW=5&LU=1823784486&qj=8&LP=msMZc&SBT_open=600640&info=LOGOUT&REQUEST_URI=%2FBTR%2FPHP%2FOben.php%3FSW%3D5%26LU%3D1823784486%26qj%3D7%26LP%3DmsMZc%26SBT_open%3D600640&HTTPS=on&datetime=2023-10-16%2023:42:49. [Zugriff am 20 September 2023].

[70] Österreichisches Institut für Bautechnik, „Österreichisches Institut für Bautechnik,“ [Online]. Available: https://www.oib.or.at/sites/default/files/oib-rl_3_ausgabe_mai_2023.pdf. [Zugriff am 15 Juli 2023].

[71] VELUX Commercial Deutschland GmbH, „Leitfaden zur Tageslichtplanung mit der ÖNORM EN 17037,“ [Online]. Available: https://contenthub.velux.com/api/public/content/2073d-1f3cf-2f434_downloadOriginal?v=7d46d250&_ga=2.232691932.253225192.1697577746-1231972961.1697577746. [Zugriff am 17 Oktober 2023].

[72] <http://www.thesim.at>. [Zugriff am 17 Oktober 2023].