

Nachverdichtung im suburbanen Raum aus nachhaltigen Rohstoffen



Diplomarbeit

Nachverdichtung im suburbanen Raum aus nachhaltigen Rohstoffen.

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen
Grades eines Diplom-Ingenieurs

Unter der Leitung von
Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza Fadaei

E259-02
Forschungsbereich Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

Eingereicht an der Technischen Universität Wien Fakultät für Archi-
tektur und Raumplanung

von **Maximilian Flassak**, B.sc.
Matrikelnummer 11715750

Wien, am 28. März 2024

Eidesstattliche 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, den 28. März 2024

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, den 28. März 2024

Kurzfassung

Architektur muss sich ändern.

Das ist mittlerweile weitestgehend im Bewusstsein der Menschen angekommen. Wirklich geändert hat sich seitdem wenig. Einige Pilotprojekte, welche in dieser Arbeit zum Teil auch als Referenzen herangezogen werden, bergen die Hoffnung auf ein Umdenken. Die breite Masse der Bauwerke sind aber bis heute profitorientierte Betonbauten großer Firmen. Das Umdenken dauert, und die Zeit schwindet.

Es geht hierbei nicht nur um Architektur im allgemeinen Sinne. Es geht um Respekt gegenüber der Umwelt, unseren verfügbaren Ressourcen, der Gesellschaft und uns selbst, einen Lebensraum zu schaffen, welcher es wert ist, belebt zu werden. Klimaresistente und bewusste Gebäude bauen heißt, sich damit zu beschäftigen, was anders gemacht werden muss, und zu erörtern, inwieweit dies heute schon möglich ist.

Die Diplomarbeit erörtert, analysiert und setzt dort an, wo sich Möglichkeiten auftun. Sie wird in Frage stellen und diskutieren sowie Lösungsansätze entwickeln. Beginnend mit einer Recherche zu Themen wie Wohnen, sozialen Gefügen und Nachhaltigkeit sowohl im architektonischen als auch im politischen Kontext, wird eine breite Basis für die weitere Arbeit geschaffen. Durch die Analyse von Baustoffen und Tragwerken werden nachhaltige und ressourceneffiziente Lösungen herausgearbeitet. Zukunftsweisende Architektur wird herangezogen, um in Form von Best-Practice-Beispielen von dieser lernen zu können. Zudem werden ausführliche Gespräche mit Stimmen aus dem wirtschaftlichen, politischen und ausbildenden Sektor geführt, um Standpunkte verstehen zu lernen und die Vielzahl der Ideen auf reale Umsetzbarkeit prüfen zu können.

Aus dieser Vorarbeit formt sich ein Entwurf, welcher eine Idee einer zukunftsorientierten Architektur kommuniziert. Eine Systemlösung, welche in weiten Teilen nutzungs offen, anpassbar und flexibel erlebbar ist. Alle Bauteile werden mit der Prämisse der sortenreinen Rückbaubarkeit sowie des geringstmöglichen ökologischen Fußabdrucks entwickelt. Klebeverbindungen werden abgelehnt, um diesem Ziel so nah wie möglich zu kommen.

Erkenntnisse im Bereich des Wohnbaus sowie der Schaffung Nutzungsumgebender Räume, kreislauffähiger Architektur sowie

rechtliche und bautechnische Grundlagen bilden die Basis der im System verwendeten Bautechniken und Ideen.

Das aus dem Bausystem resultierende Bauwerk ist als Prototyp zu verstehen, welcher sich aus der Kritik an der heute entstehenden Architektur formt und einen Gegenpol zu klassischen Bauwerksstrukturen darstellt. Es kritisiert nicht nur die klassisch mineralische Architektur, sondern ebenso die starren Nutzungsformen, welche heute erzeugt werden. Darüber hinaus wird in einem Ausblick veranschaulicht, dass eine Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse möglich ist und die Praxistauglichkeit des Bausystems damit verifizierbar ist.

Nach der Vollendung eines Prototypen werden weitere Einsatzmöglichkeiten erörtert, um den weit gestreuten Einsatzbereich des System widerspiegeln zu können.

Abstract

Architecture has to change.

People are now largely aware of this. Little has really changed since then. A few pilot projects, some of which are also used as references in this work, harbour the hope of a rethink. However, the vast majority of buildings are still profit-orientated concrete structures built by large companies. Rethinking takes time, and time is running out, and it is not just about architecture in the general sense.

It is about respecting the environment, our available resources, society and ourselves, creating living space that is worth living in. Building climate-resilient and conscious buildings means looking at what needs to be done differently and discussing the extent to which this is already possible today.

The thesis discusses analyses and start where opportunities arise. It will question, discuss and develop solutions. Starting with research on topics such as housing, social structures and sustainability in both an architectural and political context, a broad basis for further work is created. Sustainable and resource-efficient solutions are developed by analysing building materials and supporting structures. Pioneering architecture will be analysed in order to learn from best-practice examples. In addition, detailed discussions are held with voices from the economic, political and educational sectors in order to gain an understanding of viewpoints and to be able to test the many ideas for their real-life feasibility.

From this preliminary work, a design is formed that communicates an idea of future-orientated architecture. A system solution that is largely open to use, customisable and flexible to experience. All components are developed with the premise of pure recyclability and the smallest possible ecological footprint. Adhesive joints are rejected in order to come as close as possible to this goal.

The building techniques and ideas used in the system are based on findings in the field of residential construction and the creation of non-utilised spaces, recyclable architecture as well as legal and structural principles.

The building resulting from the building system is to be understood as a prototype, which is formed from the criticism of the architecture being created today and represents an antithesis to classical build-

ing structures. It criticises not only classic mineral architecture, but also the rigid forms of use that are being created today. In addition, an outlook illustrates that the knowledge gained can be transferred and that the practical suitability of the construction system can therefore be verified.

After the completion of a prototype, further possible applications will be discussed in order to reflect the wide range of uses of the system.

Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis

ASR Arbeitsstättenregel

BauGB Baugesetzbuch

CLP Closed-Loop-Potential

DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

DIN Deutsche Industrienorm

EnEV Energieeinsparverordnung

GWP Global-Warming-Potential

KfW Kreditanstalt für Wiederaufbau

KTF Klima- und Transformationsfond

kWp Kilowatt-Peak

LBO Landesbauordnung

LP Loop-Potential

MBO Musterbauordnung

MHolzBauRL Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise

StVO Straßenverkehrsordnung

THG Treibhausgas

VwV TB BaWü Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen Baden-Württemberg

WD Wirtschaftlicher Dienst

Percentil Statistische Größe eines Wertes, verglichen mit anderen Werten eines zusammenhängenden Kollektivs

Inhaltsverzeichnis

| | | | |
|-----------|--|-----|--|
| 01 | Einleitung | | |
| | Architektur heute | 2 | |
| | Suffizienz lernen | 3 | |
| | Forschungsfragen | 6 | |
| | Methodik und Ziele | 7 | |
| 02 | Wohnen | | |
| | Wohnen im Kontext | 11 | |
| | Wohnen für alle | 13 | |
| | Nachverdichtung | 16 | |
| 03 | Nachhaltigkeit | | |
| | Der Begriff Nachhaltigkeit im zeitlichen Kontext | 24 | |
| | Soziale Nachhaltigkeit | 25 | |
| | Nachhaltigkeit in Deutschland | 26 | |
| | Abfallaufkommen im Bauwesen | 27 | |
| | Reuse, Reduce, Recycle oder cradle to cradle ? | 28 | |
| | Nachverfolgung der eingesetzten Materialien | 34 | |
| | Digitale Daten | 35 | |
| 04 | Bauwerkparameter | | |
| | Holz | 39 | |
| | Lehm | 51 | |
| | Dämmung | 61 | |
| | Haustechnik | 65 | |
| | Brandschutz | 69 | |
| 05 | Referenzen | | |
| | COLLEGIUM ACADEMICUM | 78 | |
| | Holzwohnbau Hummelkaserne | 82 | |
| | Green Solution House 2.0 Hotel Ryttergården | 86 | |
| | Hortus | 90 | |
| 06 | Das System | | |
| | Entwurfskriterien | 99 | |
| | Das Tragwerk | 105 | |
| | Elemente | 109 | |
| | Bauablauf | 121 | |
| | Verbindung | 124 | |
| | Rückbaubarkeit | 128 | |
| | Grundrisstypologien | 131 | |
| | Freiflächen | 136 | |
| 07 | Der Prototyp | | |
| | Bauplätze | 141 | |
| | Das Bauwerk | 149 | |
| | Pläne | 163 | |
| | Tragwerksentwurf | 182 | |
| | Detailplanung | 189 | |
| | Energiekonzept | 195 | |
| | Brandschutzkonzept | 198 | |
| | Belichtung | 202 | |
| | Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes | 204 | |
| | Schaubild | 206 | |
| 08 | Ausblick | | |
| | Urbaner Kontext Quelle Areal | 212 | |
| | Ländlicher Kontext Münzinghof | 214 | |
| 09 | Abschluss | | |
| | Fazit | 221 | |
| | Danksagung | 225 | |
| | Disclaimer gendergerechte Sprache | 227 | |
| | Interviews | 229 | |
| | Abbildungsverzeichnis | 261 | |
| | Quellenverzeichnis | 265 | |

Einleitung

| | |
|--------------------------------|---|
| Architektur heute | 2 |
| Suffizienz lernen | 3 |
| Mehr ist immer besser - oder ? | 4 |
| Forschungsfragen | 6 |
| Methodik und Ziele | 7 |

01

Einleitung

Architektur heute

Nachhaltige Architektur ist ein zeitgenössischer Ansatz, der sich darauf konzentriert, umweltfreundliche und ressourcenschonende Bauprojekte zu entwickeln. Ziel ist es, die ökologischen Auswirkungen zu minimieren, Energieeffizienz zu steigern und sozialverträgliche Gebäude zu schaffen. Dies beinhaltet den Einsatz erneuerbarer Energien, nachhaltiger Baustoffe und innovativer Technologien, um die Umweltauswirkungen zu verringern. Zudem legt nachhaltige Architektur Wert auf soziale Aspekte, die Gemeinschaften stärken und den Bewohner*innen einen gesunden, angenehmen Lebensraum bieten sollen.

Der größte Teil des modernen Wohnbaus ist rein profitorientierter Wohnbau großer Wohnungsbaugesellschaften. Auch Bürobauten werden heute in der Mehrzahl von großen Investierenden und somit meist profitorientiert, errichtet. Eine Vielzahl dieser Bauwerke werden so günstig wie möglich erbaut und bieten keinerlei Mehrwert für die Bewohnenden und die Umwelt.¹ Alle vereint hierzu in erster Linie das Material: Beton, da dies als kostengünstig angesehen wird. In der heutigen Architekturindustrie werden jedoch oft umweltbelastende Materialien verwendet, und energieineffiziente Gebäudepraktiken dominieren weiterhin. Nicht nachhaltige Bauprojekte beeinträchtigen die Ökosysteme, führen zu übermäßigem Ressourcenverbrauch und erhöhen den ökologischen Fußabdruck. Im Hinblick auf die in Abbildung zwei sowie drei dargestellten exponentiellen Auswirkungen aus unserer Welt muss ein neuer Fokus gesetzt werden. Heute liegt der Fokus oft auf kurzfristigen wirtschaftlichen Gewinnen, während langfristige ökologische Konsequenzen vernachlässigt werden. Preist man jedoch den ökologischen Fußabdruck mit ein, welcher in den nächsten Jahren durch eine jährlich steigende Abgabe pro ausgestoßener Tonne CO₂ kompensiert werden wird, werden Materialien wie Beton oder Kunststoffe schnell ein Kostenfaktor und Klimaschädiger.² Neben den steigenden Kosten im Bauprozess ist die Baubranche in Deutschland für 55,4 Prozent des anfallenden Mülls verantwortlich, welcher eine sehr durchwachsene Recycelbarkeit aufweist.³ Zudem sind Häuser, welche aus Beton errichtet wurden, im Durchschnitt mit einem kürzeren Lebenszyklus ausgezeichnet als jene aus anderen Materialien, wie beispielsweise Holz.⁴

Suffizienz lernen

Zu den bereits erwähnten Problemen kommt eine Gesellschaft, welche einen immer höheren Lebensstandard pflegt und sich so das Motto „mehr ist immer besser“ zu eigen gemacht hat. Der Großteil der heutigen Gesellschaft ächtet weniger und dafür vielleicht Besseres. Dafür werden „mehr und besser“ die neuen Maximen, die es anzustreben gilt. Höher, weiter, schneller ist der Lebensstil, dem wir nacheifern, auf Kosten endlicher Ressourcen und der Gesundheit des Planeten, der uns heute eine Heimat bietet kann, ob er dies in Zukunft weiterhin kann, bleibt abzuwarten.⁵ Wir wachsen langsam aber sicher heraus aus der Zeit, welche ein Stück weit „laissez faire“ war, oder aus dem Französischen übersetzt leben und leben lassen.⁶ Die Gesellschaft hat sich der Verantwortung zu stellen, welche wir uns selbst und dem Planeten gegenüber tragen. Als einer der weltweit größten Produzierenden von CO₂ und Abfällen kommt der Baubranche und der Architektur im Allgemeinen hier eine gesondert große Rolle zu. So stellt auch das Institut für Energie- und Umweltforschung fest, dass wie in Abbildung eins zu sehen ist, Suffizienz vor allem im Gebäudesektor einer der relevantesten Stellschrauben ist.

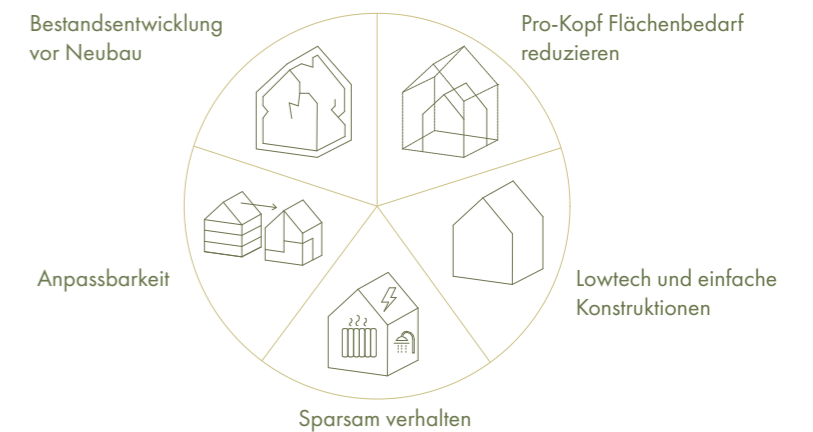


Abb.1 Suffizient bauen

Suffizienz ist in der Gunst der Stunde eine Tugend, der wir uns erneut annähern müssen. Dies ist die Basis, auf die sich alle Überlegungen dieser Arbeit subsumieren lassen werden. Ein Bewusstsein zu schaffen, welches uns die Begrenztheit von Platz, Ressourcen und Lebensraum aufzeigt und ebenso die Einfachheit zelebriert. Nicht Einfachheit im klassischen Sinne, vielmehr eine gewisse Simplizität von Strukturen, die Spielräume für individuelle Entfaltung bereithält und den Bewohnenden so viel Persönlichkeit des Wohnraumes erlaubt, wie nur möglich, ohne dabei verschwenderisch zu sein. Die Rückbesinnung auf Ideen, welche bereits da waren, wie nutzungsflexible Räume oder modulare Strukturen, werden in dieser Arbeit eine Renaissance erfahren und als neues Kombinat in ein System gegossen, welches versucht die Fragen der heutigen Zeit zu beantworten.

¹ Fest, Schneider, Zirkuläres Bauen – Status quo und Perspektiven; 2023; nbau.org

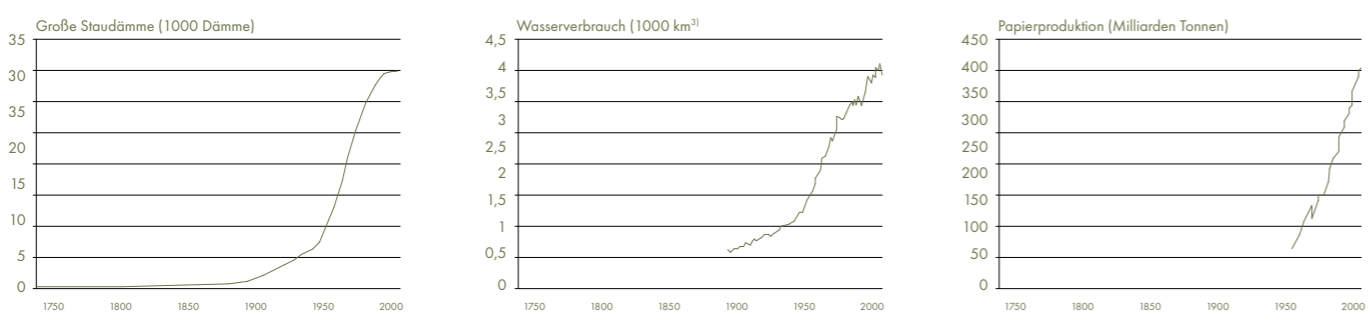
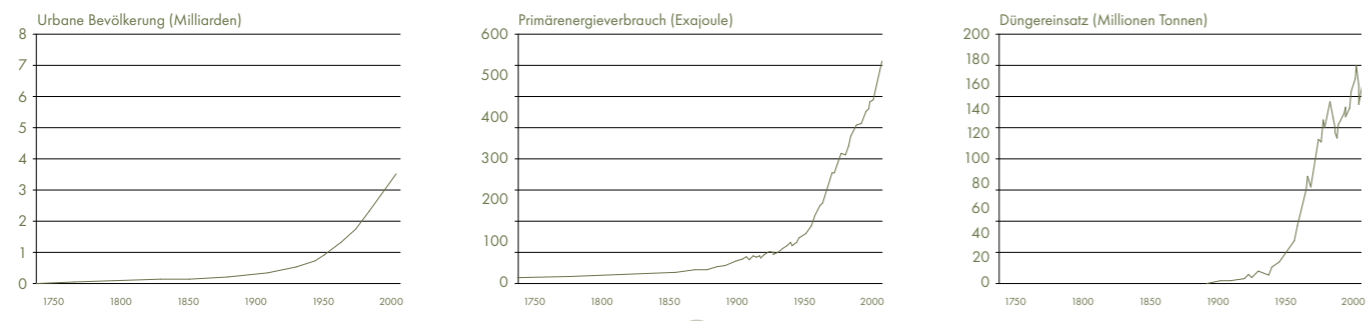
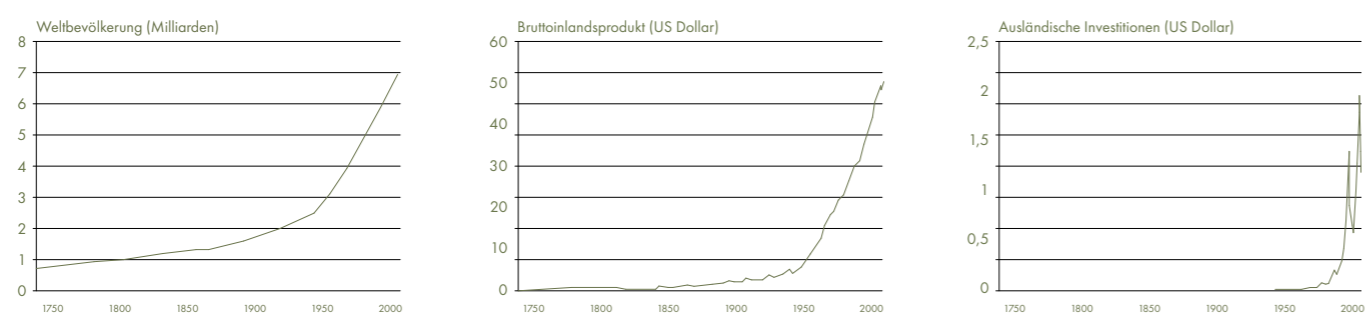
² Bundesamt für Umweltschutz; Holzbau vs. Massivbau - Ein umfassender Vergleich zweier Bauweisen im Zusammenhang mit dem SNBS Standard; 2015; umweltbundesamt.de

³ Umweltbundesamt; Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen, Klimaanpassung in der räumlichen Planung; 2020; Seite 166

⁴ Umweltbundesamt; Abfallaufkommen im Bauwesen; 2023; umweltbundesamt.de

⁵ Bleasdale; Immer besser, immer schneller, immer mehr; geo.de; 2023

⁶ Wortbedeutung Leben und Leben lassen; wortbedeutung.info; 2023



Mehr ist

immer besser –

oder ?

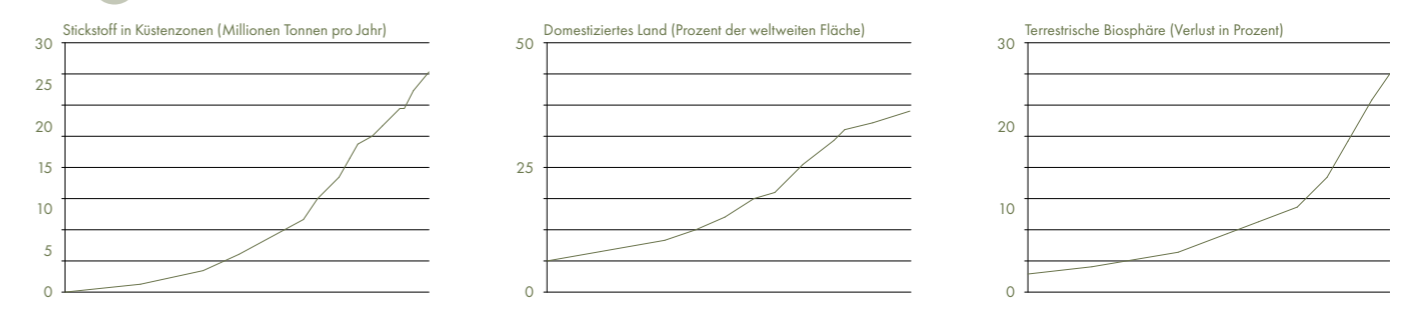
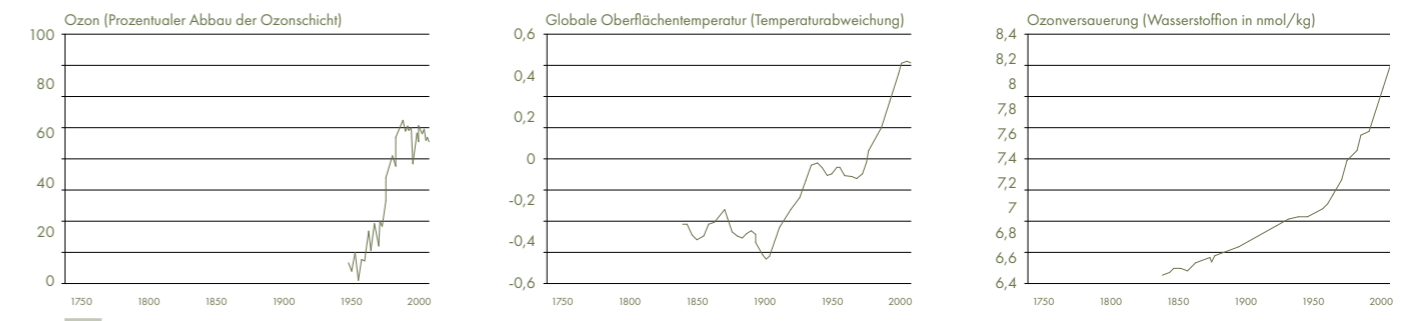
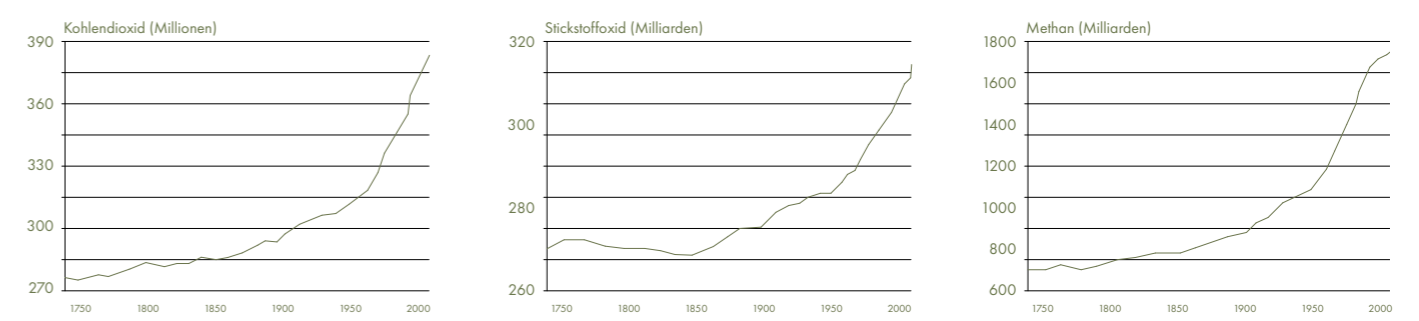


Abb.2 Die Entwicklung des Anthropozäns 1 von 2

Abb.3 Die Entwicklung des Anthropozäns 2 von 2

Forschungsfrage

Mit der Forschungsfrage:

„Ist es möglich, eine Nachverdichtung im suburbanen Raum, nach heutigem Stand der Technik, ökologisch und ökonomisch sinnvoll, aus nachhaltigen Materialien auszuführen?“

soll untersucht werden, wie es um die Branche, die verschiedenen Akteur*innen, die zu einem Bauprozess gehören, und um die politische Stimmung im Hintergrund steht. Das Ziel ist es, zu erörtern, was bereits möglich ist und wo nachhaltig denkende Architektur an technische und rechtliche Grenzen stößt. All diese Thematiken finalisieren sich in einem auf den Antworten der Forschungsfragen basierenden Entwurf, welcher versucht die Fragen in Form eines Systembauvorhabens zu beantworten. Des weiteren soll die Übertragbarkeit des erdachten Bauteilsystems auf andere Konstellationen an Bauaufgaben überprüft werden.

Methodik und Ziele

Im Sinne dieser Frage wird ein neues Bausystem entwickelt, welches versucht, diese Frage zu beantworten und deren Belange zu adressieren. Unter der Prämisse der in der Forschungsfrage formulierten Ziele wird ein neues System entwickelt, welches sich aus einem Konglomerat an Ideen und Innovationen zusammensetzt. All dies in Verbindung mit zimmermannmäßigen Verbindungspunkten sowie durch Empirie erlerntem Wissen. Suffizienz wird die Grundlage der Überlegungen bieten. Sich bewusst für weniger entscheiden, ist ein Lernprozess, welcher auch mit diesem Entwurf ein Stück weit angestoßen werden soll.

Es werden Grundstücke analysiert und Potenziale herausgearbeitet. Grundlagenforschung der Baustoffe und rechtliche sowie bautechnische Belange als auch die Analyse der vor Ort herrschenden Bestimmungen sind ausschlaggebend für alle weiteren Entscheidungen. Zweck dieser Arbeit ist es zu zeigen, ob und wie nachhaltiger und hochwertige Bauwerke geschaffen werden kann, ohne die Qualität des Bestands zu mindern, und einen Mehrwert für Mensch und Umwelt zu schaffen.⁷ Auch eine Umnutzung der durch den Entwurf geschaffenen Struktur über den Lebenszyklus hinweg wird analysiert werden. Um diese selbst formulierten Vorgaben bestmöglich erreichen zu können, wird als erster Schritt eine breit gestreute Analyse durchgeführt, welche sich mit Themen des Wohnens und Lebensräumen, mit Nachverdichtung sowie mit Baustoffen und Nachhaltigkeit beschäftigt. Ein weiteres Augenmerk liegt auf dem Brandschutz, welcher im Kontext Holz eine durchaus spannende Rolle hat. Anhand von Referenzen sowie deren Analyse soll vom Bestand gelernt werden und gepaart mit Stimmen von Expert*innen diverser Fachgebiete eine Idee entwickelt werden, welche sich in Form eines Systems materialisiert.

Das Ziel der Arbeit wird in einem Entwurf finalisiert, welcher den Spagat zwischen dem gestalterischen Anspruch an Architektur und der Funktionalität eines effizienten und vielschichtig einsetzbaren Bausystems beherbergt. Dieser wird auf einem gewählten Grundstück als Prototyp geplant und muss sich im Kontext vom suburbanen Raum sowie Bestand beweisen. Abgeschlossen wird die Arbeit mit einem Ausblick, welcher mögliche weitere Nutzungen durchspielt, um die Praxistauglichkeit des Systems verifizieren zu können.

Die Arbeit soll aufzeigen, wie wir als Architekturschaffende Teil einer besseren Zukunft sein können und diese durch unser Schaffen aktiv mitgestalten.

⁷ Umweltbundesamt, Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen, Klimaanpassung in der räumlichen Planung; 2020; Seite 167

Wohnen

| | |
|------------------------|----|
| Wohnen im Kontext | 11 |
| Wohnen für alle | 13 |
| Anthropometrie | 14 |
| Angepasste Architektur | 15 |
| Nachverdichtung | 16 |



Wohnen

Wohnen im Sinne eines Daches über dem Kopf ist ein allgemeines Recht eines jeden Menschen, oder sollte laut dem „Kapitel 13 des Sozialpaktes der Vereinten Nationen“ zumindest als dieses gesehen werden. Doch dies ist schon lange keine Selbstverständlichkeit mehr.⁸

Wohnen im Kontext

Das Recht auf ein Dach über dem Kopf kann der Staat nur noch bedingt garantieren. Wohnraum ist in Teilen Europas, aber vor allem in deutschen Großstädten, zu einem raren Gut geworden. In deutschen Städten fehlen Wohnungen. Dies ist in den Köpfen der meisten Menschen bereits angekommen. Wie eklatant der Rückstand jedoch ist, erschreckt auf den ersten Blick doch jedes Mal erneut. Die Hans Böckler Stiftung errechnete im Jahr 2022 einen Wohnungsrückstand in 77 Städten und kam zum Ergebnis, dass alleine in der Kategorie bezahlbare Wohnungen, hier vor allem die Ein-Zimmer-Wohnungen mit 1,9 Millionen Wohneinheiten, im Rückstand sind. Auf alle Wohnungen gerechnet ist der Rückstand noch besorgniserregender. Hierzu kommt, dass immer mehr Wohnungen, die einst Sozialwohnungen waren, aus der Verjährungsfrist fallen und kaum neue Wohnungen in diesem Segment hinzukommen.⁹ 2023 wurden die meisten großen Wohnprojekte gestoppt, da es die momentane Zinslage, welche durch die Europäische Zentralbank gesteuert wird, nicht hergibt weiterzubauen. Auch bereits geplante Neubauprojekte sind momentan auf Eis gelegt. Zu hoch sind die Finanzierungs- und Baukosten. Bis zum Juli 2023 wurden laut dem Statistischen Bundesamt lediglich 21.000 Wohnungen genehmigt. Das ist

Fertiggestellte Wohnungen pro Jahr (in Tausend)

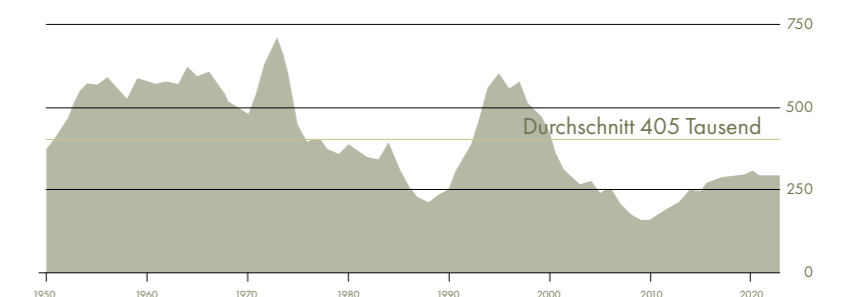


Abb.4 Fertiggestellte Wohnungen

⁸ Umweltbundesamt; Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen, Klimaanpassung in der räumlichen Planung; 2020; Seite 166

⁹ Hans Böckler Stiftung; Wohnungsnot in Deutschland; 2023; boeckler.de

alleine zum Vorjahr ein Rückgang von 31,5 Prozent und das ohne die Problematik im Bauwesen, welche die Coronapandemie oder Engpässe von Baumaterialien mit sich brachten. Auch wenn die Immobilienpreise in den letzten Monaten vor allem in den Metropolen wie Berlin, Hamburg und München um etwa neun Prozent zurückgegangen sind, sind diese Städte immer noch stark gefährdet, durch eine Immobilienblase rasant an Wert zu verlieren. Der „Global Real Estate Bubble Index“ der Großbank UBS stuft hier weltweit Städte ein. Alle Städte, welche über einer Bewertung von 1,5 liegen, gelten als stark gefährdet. Frankfurt liegt hier bei 1,27, in München wurde der Wert 1,35 berechnet.¹⁰

Das Ziel der deutschen Bundesregierung, jedes Jahr etwa 400.000 Wohnungen zu errichten, musste im Kontext von Rohstoffknappheit, Materialkosten, Fachkräftemangel, Inflation, Kreditaufgaben und Bürokratien wieder zurückgenommen werden. Im Jahr 2022 wurde sogar weniger gebaut als in den Jahren davor. Anschaulich ist die Wohnungsentwicklung in der Abbildung vier dargestellt. Laut Baubranche soll dies in den nächsten Jahren noch kritischer werden.¹¹

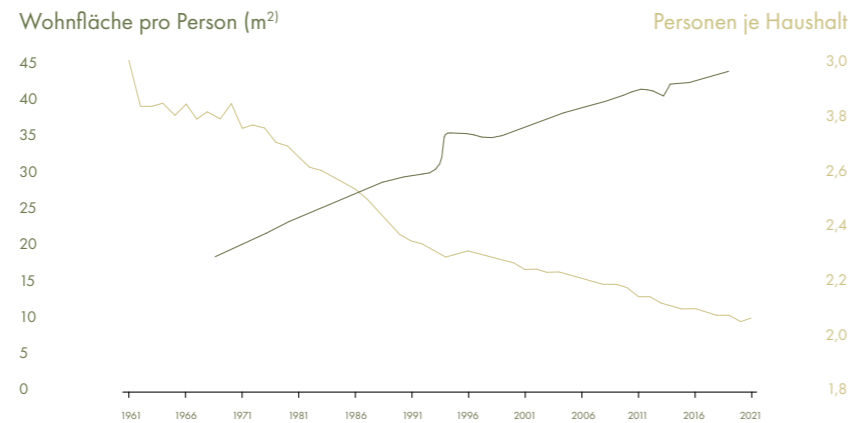


Abb.5 Entwicklung der Wohnpraxis und Haushaltsgröße

In den letzten Jahren stieg die Anzahl an bewohnten Quadratmetern pro Person stetig an. Alleine in den zehn Jahren von 2011 bis 2021 um 1,6 Quadratmeter Zuwachs. Bei einem Zuwachs von insgesamt sechs Prozent mehr Wohnungen auf 43,1 Millionen Wohneinheiten wird der Platz langsam knapp. Aber nicht nur die bewohnten Quadratmeter pro Person steigen an, auch die durchschnittliche Wohnungsgröße stieg um 1,1 Prozent alleine in diesem Zeitraum. Blickt man weiter zurück, wird der Zuwachs immer exponentieller. Im Jahr 1991 bewohnte man durchschnittlich 34,9 Quadratmeter Wohnfläche pro Person. Das entspricht einem Anstieg von rund 37 Prozent innerhalb der letzten dreißig Jahre. Zusätzlich zum Mehrverbrauch an Wohnraum ist seit Jahrzehnten ein immer stärker werdender Zuzug in Metropolen festzustellen. Dies führt ebenfalls zu starker Verknappung von verfügbarer Wohnfläche, siehe hierfür Abbildung fünf.

Nachhaltiges, beziehungsweise klimagerechtes Bauen ist und muss Realität werden. Jedoch darf dabei auf keinen Fall außer Acht gelassen werden, dass Wohnraum bezahlbar bleiben muss. Vor allem die Coronapandemie zeigte, wie unflexibel moderner Wohnungsbau gestaltet wird. Besonders in Bezug auf Homeoffice zeigten sich

¹⁰ Tagesschau; So schwer ist die Wohnungskrise; 2023; tagesschau.de
¹¹ Statistisches Bundesamt; Pressemitteilung Nr. 041; 2023; destatis.de

die räumlichen Grenzen schnell auf. Räume haben einen festgeschriebenen Nutzen, sowohl durch deren Orientierung und Belichtung, vor allem jedoch durch die Art und Weise, wie sie geschnitten sind, und wie viele Quadratmeter zur Verfügung stehen.

Aber nicht nur der Ressourcenverbrauch des Baumaterials steigt mit jedem bewohnten Quadratmeter mehr, auch die Umwelt leidet immer stärker. So führte das Umweltbundesamt aus:

„Jeder bewohnte Quadratmeter Fläche in Gebäuden führt zu höherem Energieverbrauch, denn die Fläche wird beleuchtet, beheizt, mit Bodenbelag versehen und möbliert, muss gereinigt und instandgehalten werden. Dies führt zu erhöhtem Energie- und Ressourcenverbrauch und ggf. Schadstoffemissionen.“¹²

Wohnen für alle

Das Statistische Bundesamt berechnete im Jahr 2022, dass 9,4 Prozent der deutschen Bevölkerung eine schwerwiegende Behinderung haben. Auf die gesamte Bevölkerung gerechnet sind das etwa 7,8 Millionen Personen. Lediglich drei Prozent hiervon sind von der Geburt an beeinträchtigt. Der Rest entsteht durch diverse Faktoren wie Krankheiten oder Unfälle. Das bedeutet, über neunzig Prozent der Behinderungen treten während des Lebens meist unvorhergesehen auf. Barrierefreiheit sollte nicht nur für Menschen mit Behinderung gedacht werden, sondern gesamtgesellschaftlich.¹³ Das bedeutet, dass der Faktor der Barrierefreiheit in der Architektur als fester Bestandteil der Planung mitgedacht werden muss. Im Kontext des Wohnens ist Barrierefreiheit nicht nur mit der Anthropometrie in Verbindung zu bringen, sondern umfasst den gesamten Wohnraum, ebenso wie die Erschließungen und den Außenraum. Demographischer Wandel und die damit einhergehenden Mobilitätseinschränkungen sind ein weiterer Faktor, der eine integrativere Architektur fördern muss, sodass Personen mit besonderen Bedürfnissen nicht dadurch stigmatisiert werden, sondern als Teil des großen Ganzen gesehen werden. Dieser Gedanke, der langsam auch mehr in die Mitte der architektonischen Landschaft Einzug hält, wird bereits seit langem im Deutschen Grundgesetz unter Artikel 3, Abs. 3 eindeutig gefordert: „Niemand darf wegen seiner Behinderung benachteiligt werden.“¹⁴ Konkrete baurechtliche Vorgaben bietet darüber hinaus die Begriffsdefinition im deutschen „Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen“ unter 4§:

„Barrierefrei sind bauliche und sonstige Anlagen, Verkehrsmittel, technische Gebrauchsgegenstände, Systeme der Informationsverarbeitung, akustische und visuelle Informationsquellen und Kommunikationseinrichtungen sowie andere gestaltete Lebensbereiche, wenn sie für behinderte Menschen in der allgemein üblichen Weise, ohne besondere Erschwernis und grundsätzlich ohne fremde Hilfe zugänglich und nutzbar sind.“

Werden diese im Gesetz beschriebenen Maßstäbe auch in der Architektur angesetzt, wird Menschen mit besonderen Bedürfnissen

¹² Umweltbundesamt; Wohnfläche; 2023; umweltbundesamt.de
¹³ Statistisches Bundesamt; Pressemitteilung Nr. 259; 2022; destatis.de
¹⁴ Bundestag; Grundgesetze; 2023; bundestag.de

ein unabhängigeres Leben mit mehr Selbstbestimmung zu Teil. Zudem fördert es ein inklusiveres Leben und eine uneingeschränktere gesellschaftliche Teilhabe am Leben.¹⁵

Anthropometrie

Das Buch „Raumpilot“ von Jocher beschreibt die Anthropometrie als „die Wissenschaft von den Maßen und den Maßverhältnissen des menschlichen Körpers“¹⁶

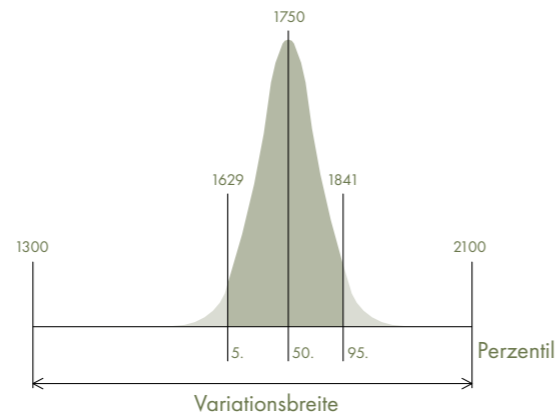


Abb.6 Verteilung der Körperhöhe erwachsener Männer

Der menschliche Körper ist im Wohnbau immer die Bezugsgröße, für die entworfen werden muss. Die Basis gut bewohnbarer Architektur stellt die Physiologie des menschlichen Körpers, also die Körper-, und Bewegungsmaße, in den Mittelpunkt und entwickelt sich anhand dieser. Historisch entwickelten sich diese Verhältnisse anhand des idealisierten menschlichen Körpers und wurden so in die Proportionslehren der Architektur und Kunst verankert. Diese Lehre der Proportionalität des Körpers, welche mit Vitruv und Leonardo Da Vinci begann, wurde in weiten Teilen bis ins 20. Jahrhundert getragen. Durch das architekturtheoretische Konzept „Modulor“ von Le Corbusier wurde eine moderne Version dieser idealisierten Körperstudie veröffentlicht. Diese vereinfachte Herangehensweise an die Komplexität des menschlichen Körpers bietet zwar notwendige Durchschnittswerte für die Planenden, lässt aber ebenso einige Menschen außen vor. In Abhängigkeit von vielen Faktoren wie Alter, Gebrechen, Herkunft oder physischen Besonderheiten stellen sich diverse Körperformen heraus, die unterschiedliche Bedürfnisse an deren Wohnraum haben.¹⁷ Unter der Verwendung von Perzentilen kann die Möglichkeit geschaffen werden, die Vernachlässigung einzelner Personengruppen so gering wie möglich zu halten und verschiedene Körperformen in den Entwurf mit einbeziehen zu können. Diese Art der Planung schafft es, 95 Prozent der Bevölkerung mit in die Planung zu implementieren. Am Beispiel der Körpergröße eines erwachsenen Mannes würde dies ergeben, dass die Nutzung an Körpergrößen von 1629 Millimetern bis hin zu 1841 Millimetern ohne Probleme gegeben sein muss. Die insgesamt fünf Prozent darüber und darunter sind nach der DIN-Norm DIN 33402-2 so geringfügig vertreten, dass die Planung dieses Menschen nicht angepasst sein muss. In vielen Fällen, wie beispielsweise bei Durchgängen, kann es sinnvoll sein, die oberen 2,5 Prozent ebenso mitzudenken.¹⁸ Als Grundlage für die Überlegungen kann beispielhaft

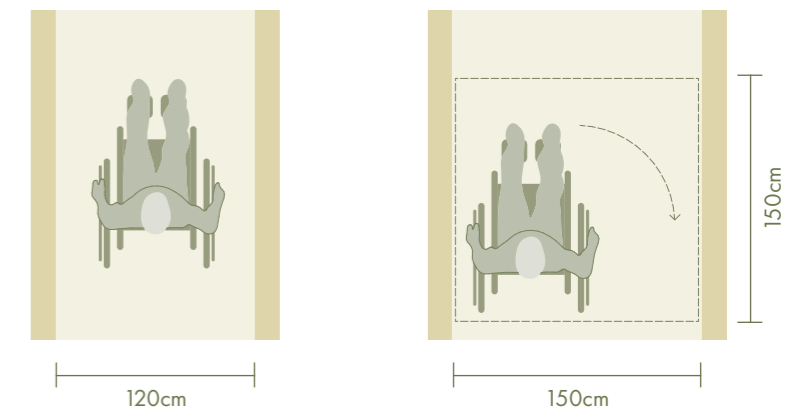
die Abbildung sechs herangezogen werden, welche die Verteilung der Körperhöhe eines erwachsenen Mannes unter Berücksichtigung der Perzentil darstellt.

Angepasste Architektur

Mittlerweile gibt es einige Normen der Landesbauverordnung (LBO), die definieren, wie ein Wohnraum, als auch der Außenraum und die Erschließung zu gestalten sind, und in welchem Maß barrierefreies Wohnen in jedem Projekt mitgeplant werden muss. Darunter finden sich allgemeine Mindestanforderungen wie in der LBO Baden-Württemberg §35 (3):

„In Wohngebäuden mit mehr als vier Wohnungen müssen die Wohnungen eines Geschosses barrierefrei erreichbar sein. In diesen Wohnungen müssen die Wohn- und Schlafräume, eine Toilette, ein Bad und die Küche oder Kochnische mit dem Rollstuhl zugänglich sein.“¹⁹

Es wurden neben diesen Verordnungen auch einige DIN-Normen festgelegt, die verschiedene Aspekte der angepassten Architektur beschreiben. Darunter fallen Planungshinweise bezüglich Geh-, und Fahrhilfen als auch Durchgangshöhen und Breiten sowie Schwellen. In diesem Kontext dürfen Schwellen, sollten diese zwingend technisch erforderlich sein, im Innenraum maximal zwei Zentimeter Höhe²⁰ aufweisen und im Außenraum maximal drei Zentimeter.²¹ Barrierefreie Türen sind grundsätzlich mit einer lichten Öffnungsbreite von achtzig Zentimetern zu planen, wo hingegen rollstuhlgerechte Türen mit neunzig Zentimetern lichten Innenmaß bemessen sein müssen.²² Hauseingangstüren, sowie Lifttüren sind grundsätzlich mit einem neunzig Zentimeter breitem Durchgang einzubauen.²³ Das ist grafisch aufgearbeitet in Abbildung sieben zu sehen, welche eine rollstuhlgerechte Flurgestaltung nach DIN 18040 verdeutlicht. Bei allen Durchgängen gilt, dass eine lichte Höhe von 210 Zentimetern nicht unterschritten werden darf.



¹⁹Jocher, Loch; Raumpilot; 2014; Seite 39
²⁰Deutsches Institut für Normung; DIN 18025 Teil 1; 1992
²¹Deutsches Institut für Normung; Barrierefreies Bauen – Öffentlich zugängliche Gebäude und Arbeitsstätten – Planungsgrundlagen; DIN 18024-2; 1996; Seite 3
²²Deutsches Institut für Normung; DIN 18025 Teil 2; 1996; umwelt-online.de
²³Deutsches Institut für Normung; DIN 18024-2; 1992; beuth.de

Abb.7 Barrierefreie Bewegungsflächen nach DIN 18040

Nachverdichtung

Wie auch in der Abbildung acht deutlich zu erkennen leben heutzutage etwa die Hälfte der Menschheit in Städten. Bis 2050 wird hier ein Anstieg auf über siebenzig Prozent erwartet.²⁴

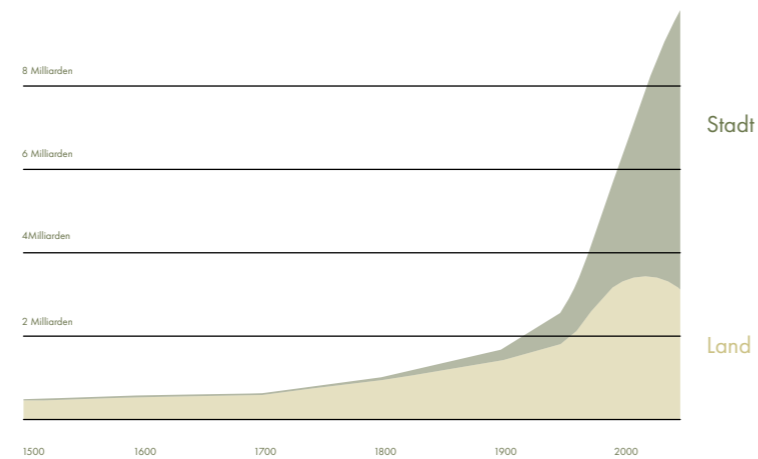


Abb.8 Urbane und ländliche Weltbevölkerung mit Prognose bis 2050

In Deutschland haben wir bereits heute einen Anteil von 77,7 Prozent an Menschen, welche als städtische Bewohner*innen anzusehen sind, und der Trend geht eindeutig weiter bergauf.²⁵ Die Städte sind voll und teils überfüllt und die Mieten steigen exponentiell. Vor allem in den Großstädten können oder wollen sich nur noch wenige Menschen eine Wohnung leisten. Alleine die deutsche Hauptstadt Berlin ist in den letzten zehn Jahren um knapp 500.000 Einwohner*innen gewachsen. Aber auch Städte wie Wien und München haben stark mit dem Bevölkerungswachstum in deren Gebieten zu kämpfen, wie in Abbildung zehn deutlich zu sehen ist. Es bedarf einer Lösung des Platzproblems. Im suburbanen, aber auch im urbanen Raum kann dies durch Nachverdichtung gelingen.²⁶

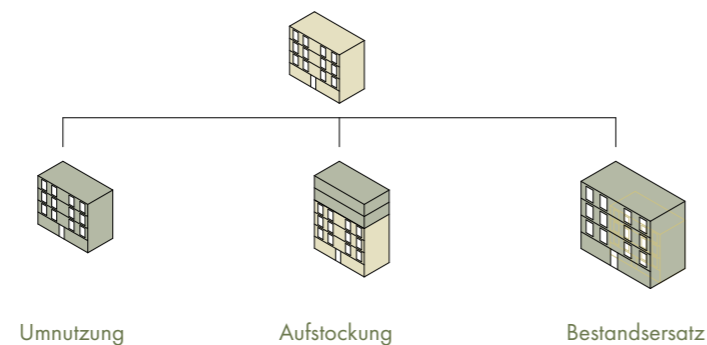


Abb.9 Arten der Nachverdichtung

Grob lässt sich die Nachverdichtung in drei Unterkategorien teilen, welche in der Abbildung neun verdeutlicht werden. Hierzu gehört die heute oft verwendete Methode des Abrisses und der Ersatz mit einer neuen, größeren Struktur. Auch durch eine Umnutzung kann

nachverdichtet werden, da so Flächen effizienter genutzt werden können als im vorherigen Kontext. Die dritte Möglichkeit ist die Aufstockung, sprich eine vertikale Entwicklung und Erweiterung des Bestands. Eine Aufstockung kann hierbei als Kombination einiger Maßnahmen umgesetzt werden. So kann eine Aufstockung gekoppelt an eine partielle Umnutzung oft sinnvoll sein.²⁷ Auch die Nutzung der Dachflächen kann einen Mehrwert für die Bewohner*innen bieten. Ebenso ist ein Umdenken der Wohn,- und Arbeitsstrukturen ein wichtiger Faktor bei der Nachverdichtung. Neue Lebensentwürfe sowie die Verbreitung von Homeoffice fordern andere räumliche Konstellationen und definieren neue Anforderungen an Lebensräume. Klassischerweise wird zur Umnutzung und Flexibilisierung des Bestands dieser bis auf den Rohbau rückgebaut, um dann mit eventuell erweiterten Erschließungskernen eine gesamte neue Einheit mit dem Neubau bilden zu können.²⁸ Anders als Abriss und Neubau wird hier die bestehende Substanz aufgewertet, energetisch erneuert und um Zubauten erweitert, um weitere Jahrzehnte Menschen ein Zuhause bieten zu können.

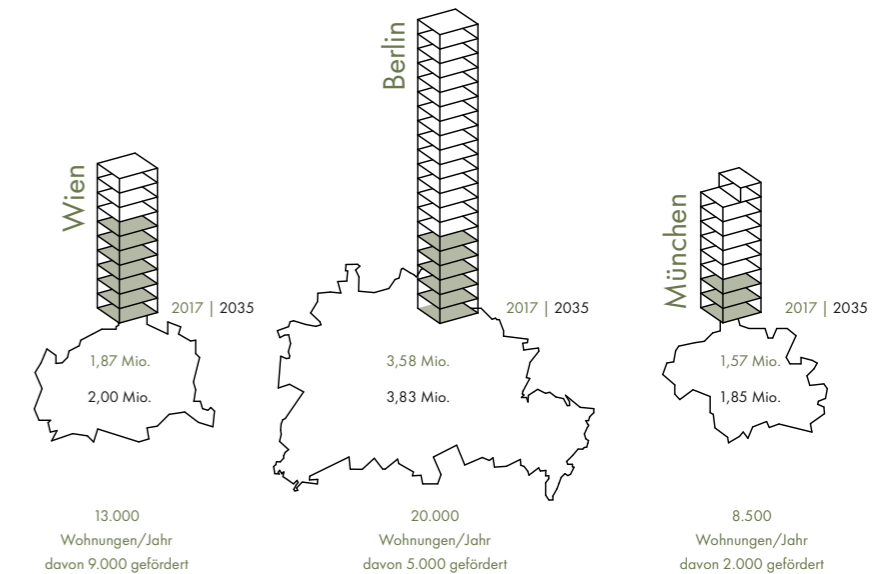


Abb.10 Bevölkerungswachstum und Wohnungsbauprogramme

Bei Nachverdichtungen kommen jedoch nicht nur diese Faktoren zum Tragen. Im Gegensatz zur Schaffung neuer Siedlungen oder Expansionen von Städten werden bereits existierende städtebauliche Infrastrukturen genutzt. Hierzu zählen unter anderem Straßen, Strom, Wasser und Kommunikationsnetzwerke. Auch institutionelle Einrichtungen wie Schulen oder Einkaufsmöglichkeiten sind bereits vorhanden und können bei Bedarf lediglich ausgeweitet werden. Da Nachverdichtungsmaßnahmen meist auf bereits bestehenden Grundstücken mit Bebauung durchgeführt werden, verringert sich die Investition in Baugrund erheblich, da das Grundstück entweder bereits im Besitz ist, oder nur kleine Anteile davon erworben werden müssen. So kann unter Umständen mehr Geld in hochwertige Architektur gesteckt werden.²⁹ Oft geht Nachverdichtung leider damit einher, dass die vor Ort geschaffene Lebensqualität abnimmt, da auf Freiflächen und Grünflächen nachverdichtet wird, womit ein essenzieller Teil der Stadt, der Grünraum, verloren geht. Die bereits

²⁷ Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 33

²⁸ Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 34

²⁹ Baunetz Wissen; Nachverdichtung; 2023; baunetzwissen.de

²⁴ United Nations; Ziele für nachhaltige Entwicklung; 2023; Seite 34

²⁵ Statistisches Bundesamt; Urbanisierung in Deutschland; 2023; statistika.de

²⁶ Baunetz Wissen; Nachverdichtung; 2023; baunetzwissen.de

erwähnte Mehrnutzung an Quadratmetern pro Person verschärft die Knappheit des Wohnraums noch weiter. Andererseits bietet Nachverdichtung die Möglichkeit, den unendlichen Massen an den in die Städte zuziehenden Personen Platz zu bieten und so effektiv Situationen der eklatanten Wohnungsknappheit, wie es sie bereits heute in Wien, Berlin und München gibt, entgegenzusteuern. Dies ist besonders im Hinblick auf die Klimakrise eine fragwürdige Entscheidung.³⁰ Nachverdichtung muss den Spagat zwischen qualitativ hochwertigem Wohnraum und hoher Dichte bestmöglich schaffen. Es geht in keiner Weise um eine absolut maximale Verdichtung von Grundstücken und Strukturen.

³⁰ Drexler; Khouli; Edition Detail Nachhaltige Wohnkonzepte; 2017; Seite 100

Nachhaltigkeit

| | |
|--|----|
| Nachhaltigkeit | 23 |
| Der Begriff Nachhaltigkeit im zeitlichen Kontext | 24 |
| Soziale Nachhaltigkeit | 25 |
| Nachhaltigkeit in Deutschland | 26 |
| Abfallaufkommen im Bauwesen | 27 |
| Reuse, Reduce, Recycle oder cradle to cradle ? | 28 |
| Reuse und Further Use Wieder- und Weiter verwendung | 28 |
| Reduce Ressourceneffizientes Bauen | 29 |
| Recycle Wieder- und Weiterverwertung | 29 |
| Rückbaubarkeit Umnutzung | 30 |
| cradle to cradle vs. cradle to grave Kreis lauffähige Architektur | 32 |
| Post-Use und Pre-Use | 33 |
| Nachverfolgung der eingesetzten Materialien | 34 |
| Digitale Daten | 35 |

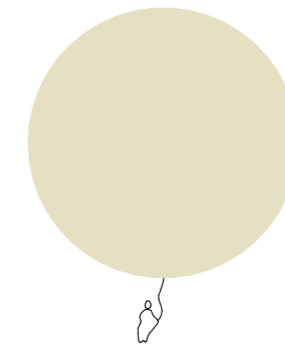


Nachhaltigkeit

Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung beschreibt das Wort Nachhaltigkeit folgendermaßen:

„Nachhaltigkeit oder nachhaltige Entwicklung bedeutet, die Bedürfnisse der Gegenwart so zu befriedigen, dass die Möglichkeiten zukünftiger Generationen nicht eingeschränkt werden. Dabei ist es wichtig, die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – wirtschaftlich effizient, sozial gerecht, ökologisch tragfähig – gleichberechtigt zu betrachten. Um die globalen Ressourcen langfristig zu erhalten, sollte Nachhaltigkeit die Grundlage aller politischen Entscheidungen sein.“³¹

1 Tonne CO₂ entspricht einem Volumen von 505m³



CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (ppm)

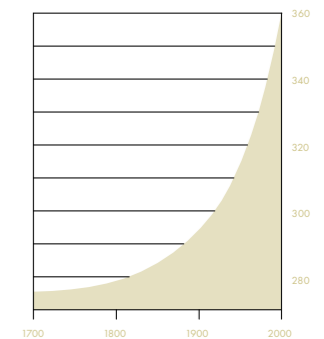


Abb.11 1 Tonne CO₂
Abb.12 CO₂-Konzentration

CO₂ wird meist unter Zuhilfenahme der Maßeinheit Tonne vermittelt. Das Volumen einer einzigen Tonne CO₂ sieht man in Abbildung 11. Jeder und jede Deutsche verursacht etwa 11,3 Tonnen CO₂ pro Jahr. Zum Vergleich: Eine Tonne CO₂ entspricht etwa einer 4.900km langen Autofahrt, oder 80.000 Kilometer Bahnfahrten. In Abbildung 12 wird verdeutlicht, wie exponentiell die Konzentration des CO₂ in unserer Atmosphäre ansteigt. Dies ist eine Entwicklung der entgegengewirkt werden muss.³²

Die Ziele des nachhaltigen Bauens lassen sich als Minimierung der dabei verbrauchten Ressourcen sowie Energie beschreiben. Natürlich gilt dies aber nicht nur für die Errichtung, sondern für den gesamten Lebenszyklus, bei mehrmaligem Aufbau über die Nutzungsdauern hinweg, bis hin zum Rückbau und der sortenreinen Rückführung in die Ursprungsprodukte. Aber nicht nur die Materialien und das Gebäude an sich sollten mit einem Nachhaltigkeitsas-

³¹ Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung; Nachhaltigkeit (nachhaltige Entwicklung); 2023; bmz.de

³² Stadwerke Böblingen; Was ist eine Tonne CO₂; 2023; stadwerke-boeblingen.de

pekt hinterfragt werden. Auch die Verdrängung von Naturraum und die damit einhergehende platzsparende Architektur sind essenziell für eine nachhaltige Architektur. Nachhaltigkeit ist jedoch ein vielschichtiges Ziel. So gibt es neben struktureller Nachhaltigkeit auch soziale Nachhaltigkeit zu bedenken. Unsere Gesellschaft steht einer ganzen Reihe an Herausforderungen gegenüber. Die omnipräsente und langfristige Gefahr des Klimawandels aber auch kurzfristige Gefahren wie Lieferengpässe, Inflation oder Arbeitskräftemangel machen unserer Gesellschaft zu schaffen. Lösungen lassen sich nur finden, wenn man das große Ganze versucht im Blick zu behalten. Hierfür sind die Zusammenhänge dieser wirtschaftlichen und sozialen Krisen ein guter Startpunkt. Proaktiv nachhaltiges Handeln muss gestärkt werden, um kommende Krisen früher erkennen zu können, und ein Lernprozess muss angestoßen werden, um Krisen besser bewältigen zu können. Hierfür ist ein Ansatz der Architektur, eine Herangehensweise zu schaffen, in der diese Problemstellungen die Basis unseres Handelns darstellen, und nicht die Ausnahme.



Abb.13 Nachhaltige Entwicklung

Der Begriff Nachhaltigkeit im zeitlichen Kontext

Der Begriff der Nachhaltigkeit erlangte schnell Popularität im Zusammenhang mit ökologischen Belangen und ist das Schlagwort, welches versucht bedachtes Handeln zu vermitteln. In kürzester Zeit hat sich der Begriff gewandelt, erweitert und wird für viele aktuelle Problembeschreibungen herangezogen. Er ist in jeder Schicht unseres Lebens angekommen. Nachhaltige Entwicklungen gliedern sich hierbei in drei Hauptkategorien, welche in Abbildung 13 dargestellt werden. Über eine klare Definition des Begriffs wird jedoch bis heute diskutiert. Ein Erklärungsversuch stammt von Hardtke und Prehn aus dem Jahr 2001, welcher in ihrem Werk „Perspektiven der Nachhaltigkeit“ ökologisch geprägte Standpunkte fixiert, welche relativ genau die heutzutage herrschende Definition im Allgemeinverständnis erläutern. Drei wichtige Eckpunkte werden definiert:

„Das Niveau der Abbaurate erneuerbarer Ressourcen, darf ihre Regenerationsrate nicht übersteigen. Das Niveau der Emissionen darf

nicht höher liegen als die Assimilationskapazität. Der Verbrauch nicht regenerierbarer Ressourcen muss durch eine entsprechende Erhöhung des Bestandes an regenerierbaren Ressourcen kompensiert werden.“³³

Besonders im ökologisch-, ökonomischen Kontext ist es ein gerne herangezogenes Schlagwort, um Handlungen, welche auf die ein oder andere Weise Gutes tun, zu beschreiben.³⁴ Noch stärker in den Mittelpunkt rückt heutzutage der Begriff der nachhaltigen Entwicklung. So sagt Johannes Reidel in seiner Arbeit kritische Reflexion aus menschenrechtlicher Perspektive folgendes:

„Er gehört wie ein Textbaustein in jede Rede über die Zukunft unserer Gesellschaft, dient als Slogan der Politiker, beschäftigt immer öfter Juristen, ist ein Megathema unter den Wissenschaftlern und wird zunehmend in den Leitungsgremien von Unternehmen diskutiert.“³⁵

Dabei ist der Begriff bereits vom Freiburger Oberhauptmann Hans Carl von Carlowitz im 17. Jahrhundert als Maßnahme gegen Kahlschläge in Wäldern eingeführt worden. Das damals eingeführte Konzept, man sollte nur so viel nehmen, wie sich in einer gewissen Zeit wieder regenerieren kann, gilt bis heute als nachhaltiges Handeln. Damit soll gewährleistet werden, dass es künftigen Generationen mindestens genauso gut geht wie der momentanen, wenn nicht besser. Durch die vielen Versuche, das sich an den Begriff annäherns, entsteht ein stark interdisziplinärer Charakter, der ökonomisch dazu einlädt, das Versprechen, was mit der Verwendung des Begriffs einhergeht, als Marketingmittel für sich zu nutzen. Ohne schwerwiegende Konsequenzen fürchten zu müssen, sollte dieses Versprechen nicht erfüllt werden.³⁶

Soziale Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit umfasst nicht nur unsere ökologische Umwelt. Auch soziale Nachhaltigkeit ist ein Faktor, der fest zum Repertoire eines guten Entwurfes gehört. Sensible und qualitativ hochwertiger Wohnraum, mit dem sich die sozialen Strukturen identifizieren können, stehen stark im Zusammenhang mit der Entwicklung von Quartieren. Nur so kann eine Akzeptanz des sozialen Umfelds geschaffen werden. Ein ebenso wichtiger Teil des Entwurfs ist, das Bauwerk im Kontext als Gesamtkonzept zu verstehen und als solches umzusetzen. Sobald diese neu geschaffene Struktur einen Mehrwert für das soziale Gefüge bietet, steigt die Akzeptanz von Neuem stark an. Ein weiterer Faktor, der nicht außer Acht gelassen werden darf, ist die Schaffung partizipativer Strukturen in der Planung. So kann garantiert werden, dass die Menschen, welche sich mit eingebracht haben, sich mit dem Entwurf identifizieren. Je vielfältiger die sich einbringenden Menschen sind, desto besser kann die Architektur werden. Es geht hierbei nicht nur um die Verbesserung des Bestands oder einen Mehrwert durch die Nachverdichtung, es geht um die Aufwertung eines ganzen Quartiers.³⁷ Neben dem Einbeziehen der Menschen vor Ort ist die Schaffung von leistbarem Wohnraum einer der wichtigsten Stellschrauben sozial nachhaltiger Architektur.

³⁴ Spindler; Geschichte der Nachhaltigkeit Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes; 2021; Seite 1

³⁵ Reidel; Erfolgreich oder ruinös? Transnationale Unternehmen und nachhaltige Entwicklung – kritische Reflexion aus menschenrechtlicher Perspektive; 2010; Seite 96

³⁶ Lexikon der Nachhaltigkeit; Nachhaltigkeit Definitionen; 2015

³⁷ Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 63

³³ Hardtke, Prehn; Perspektiven der Nachhaltigkeit; 2001; Seite 58

Nachhaltigkeit in Deutschland

Architektur nachhaltig zu gestalten, ist ein breit gestreutes Unterfangen. Politisch werden hier grundsätzlich einige Maßstäbe formuliert, nach denen gebaut werden soll. Belohnt wird die Mehrinvestition in die Bausubstanz vom Staat mit einer Förderung, meist durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau. Dieser schüttet Förderungen aus, sollte ein Neubau einen gewissen Energieeffizienzstandard erreichen, oder ein Bestand so saniert werden, dass dieser Standard erreicht wird. Um die bestmögliche Förderung zu erlangen, sollte so geplant werden, dass alle drei Standpunkte, welche durch die EH40 Norm definiert sind, berücksichtigt werden. Das zu errichtende Gebäude muss dem Baustandard Effizienzhaus 40 entsprechen. Das bedeutet, dass ein Gebäude maximal vierzig Prozent der Energie eines definierten Referenzhauses verbrauchen darf. Es wird ebenso festgelegt, dass der CO₂-Ausstoß des Hauses während des Lebenszyklus so gering wie möglich zu halten ist. Darum sind Öl-, Gas-, und Biomasseheizungen kategorisch ausgeschlossen. Darüber hinaus gilt die staatliche Anforderung, dass das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) erfüllt sein muss. Sollten die ersten zwei Kriterien erfüllt werden, so befindet sich das Haus in Förderstufe eins und kann mit einem Förderkredit von bis zu 100.000 Euro pro Wohneinheit gefördert werden. Sollten alle drei Kriterien erfüllt werden, befindet sich das Gebäude in Förderstufe zwei und erhält einen Förderkredit von bis zu 150.000 Euro pro Wohnung. Erreicht werden können diese Kriterien über ein effizientes und klimafreundliches Heizungs-system, lückenlose Dämmung des gesamten Bauwerks sowie dreifachverglaste Fenster. Des Weiteren sollte eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung genutzt werden, um den Temperaturabfall beim Lüften nicht mit der Heizung ausgleichen zu müssen und dennoch Frischluft ins Gebäude leiten zu können.³⁸ Da die deutsche Wirtschaft seit etwa zwei Jahren mit einer schwächeren Kaufkraft der Bevölkerung sowie Inflation und steigenden Energiekosten gepaart mit Wohnraumknappheit zu kämpfen hat, brachte Robert Habeck, seinerseits Umwelt- und Wirtschaftsminister, den Vorschlag,

vom Standard EH40 abzurücken. Stattdessen soll das neue Gebäudeenergiegesetz Planungssicherheit für die Bauträgerschaft bieten, welches momentan noch innerhalb der Koalition stark debattiert wird. Das neue Gesetz soll größeren Augenmerk auf nachhaltige Baustoffe setzen und weniger lediglich auf Gebäudedämmung. Seit September 2023 ist nun der EH40-Standard durch den EH55 Standard ersetzt worden, welcher bis zu 15 Prozent mehr Energie verbrauchen darf als der bereits da gewesene Standard. Dies ist ein Zugeständnis an die Baubranche, da im ersten Halbjahr 2023 die Baugenehmigungen um knapp 27 Prozent zurückgegangen sind, während die Baupreise seit dem Jahr 2022 um knapp neun Prozent anstiegen.^{39/40} Unter der Prämisse, dass Deutschland seine selbstgesteckten Klimaziele bis 2030 mit größter Wahrscheinlichkeit nicht erreichen wird, besteht der Wunsch in einigen Teilen der politischen Welt, die Einzelklimaziele aufzuweichen und zu gemeinschaftlichen Klimazielen zu machen. Besonders schlecht schneiden hier das Verkehrsministerium aber sich die Baubranche ab.⁴¹ Deutlich ist dies auf der Abbildung 14 zu erkennen. Das Ziel, im Jahre 2030 65 Prozent der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 einzusparen, rückt auch aufgrund der Aussetzung des EH40-Standards weiter in die Ferne.⁴²

Abfallaufkommen im Bauwesen

In vielen Industrienationen ist der Bausektor für einen Großteil des anfallenden Mülls verantwortlich, so auch in Deutschland. Laut einer Studie des Umweltbundesamtes war im Jahr 2020 der Abfall, welcher durch die Baubranche verursacht wird, der mengenmäßig größte Sektor und somit die wichtigste zu verringernde Abfallgruppe des Landes. Die Gesamtmenge beläuft sich auf etwa 220 Millionen Tonnen im Jahr. Dabei nicht eingerechnet sind die Gipsabfälle, die mit weiteren 0,74 Tonnen zu Buche schlagen. Recyclingbaustoffe auf mineralischer Basis stehen noch am Anfang, da das dazu passende und allgemein geltende Zertifizierungsverfahren noch in der Ausarbeitung beim Bund ist. Im Jahr 2020 wurden knapp 77 Millionen Tonnen Bauschutt der Kategorie Bauschutt und Straßenabruch zu 63 Millionen Tonnen Recyclingbaustoffe hergestellt, welche jedoch lediglich als Untergrund im Straßenbau oder im Erdbau Verwendung finden. Besonders problematisch in der Hinsicht der Wiederverwendung eines Baustoffes ist jedoch das meist im Innenausbau verwendete Material Gips. Über vierzig Prozent des Bauabfalls wurden auf der Deponie beseitigt, wie auf Abbildung 15 zu erkennen. Der Rest wird laut dem Umweltbundesamtes „aus ökologischer Sicht umstrittene – sonstige Verwertung im Bergbau“ zugeführt.⁴³ Neben den Unmengen an nicht verwendbarem Abfall der Bauwirtschaft bereitet das Maß an Gips besonders Sorgen. Es finden sich in nahezu jedem Bauwerk, welches heutzutage erzeugt wird, Innenausbauten aus Gipskartonwänden wieder, welche nach der Beendigung des Lebenszyklus des Bauwerkes zwangsläufig zum Problem werden. Darum wird beim Entwurf auch besonders hier ein Gipsersatz erprobt, um dieser immensen Problematik der extrem energieaufwendigen und umweltschädlichen Aufbereitung

Entwicklung der Treibhausgasemissionen (1990-2021)

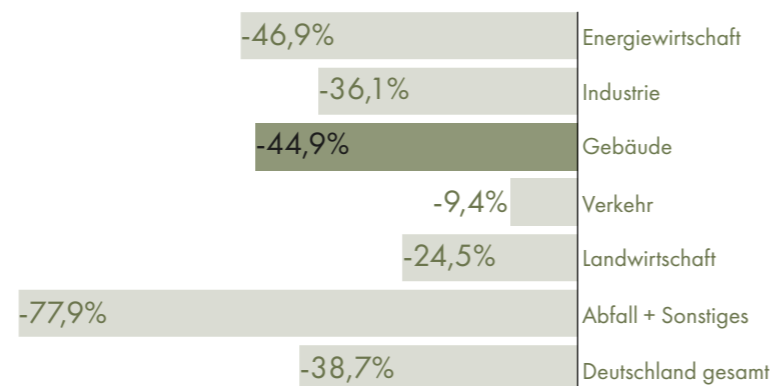


Abb.14 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

³⁹ Süddeutsche Zeitung; Habeck will schärfere Energiestandards für Neubauten aussetzen; 2023; sueddeutsche.de

⁴⁰ Tagesschau; Habeck rückt von stärkerer Dämmung neuer Häuser ab; 2023; tagesschau.de

⁴¹ Tagesschau; Keine Luft nach oben; 2022; tagesschau.de

⁴² Umweltbundesamt; Treibhausgasemissionsziele Deutschlands; 2023; umweltbundesamt.de

⁴³ Umweltbundesamt; Mineralische Bauabfälle; 2023; umweltbundesamt.de

³⁸ KfW; Was ist ein klimafreundliches Wohngebäude?; 2023; kfw.de

oder Deponierung des Gipses zu entkommen.

Verbleib von Bauabfällen auf Gipsbasis 2020

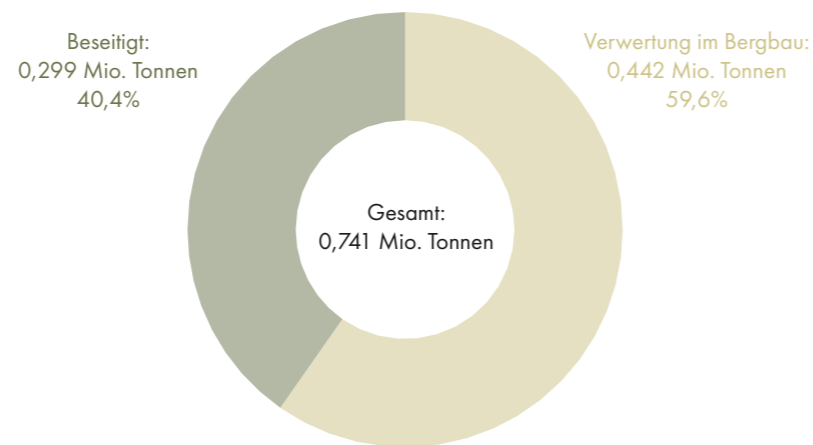


Abb.15 Bauabfälle auf Gipsbasis

Reuse, Reduce, Recycle oder cradle to cradle ?

Das heutzutage vorherrschende Bauwesen ist geprägt von Nachhaltigkeitsversprechen, welche sich oft als Greenwashing herausstellen. Um aufzuzeigen, dass es auch anders geht, und welche Themen hier interessant sind, werden im Folgenden die Chancen und Möglichkeiten sowie Problematiken einer nachhaltig gedachten Architektur diskutiert. Es ist ebenso essenziell, die Terminologien verstehen zu lernen, um diese korrekt und bewusst einsetzen zu können.

Reuse und Further Use | Wieder- und Weiterverwendung

Unter Reuse, übersetzt aus dem Englischen Wiederverwendung bzw. Weiterverwendung, versteht man eine partielle oder komplette Verwendung bereits verbaut gewesener Materialien und Baustoffe oder sogar ganzer Baukörper. Das Ziel von Reuse ist es, Abfälle im Bauwesen zu vermeiden sowie Energie bei der Erzeugung neuer Baustoffe einzusparen. Heute wird dieses Konzept hauptsächlich für standardisierte Bauteile verwendet, da diese einfacher in erneute Planungsprozesse einzubeziehen sind. Anders als beim Reuse, wobei Bauteile für den selben Zweck wiederverwendet werden, wird bei Further Use der Bauteil zwar wiederverwendet, aber mit geändertem Qualitätsanspruch. Somit muss ein anderer Einsatz für den Baustoff gefunden werden, welcher geringere Anforderungen an diesen stellt.⁴⁴ Eine noch nicht allzu weit verbreitete Form der Wiederverwendung und Weiterverwendung bereits gebrauchter Bauteile in neuen Gebäuden sind die Bauteilbörsen. Hiervon gibt es mittlerweile einige in Europa, wobei momentan die Niederlande und Deutschland hier Vorreiter sind. Ein Großteil der Architekturszene steht hinter dem Konzept und erwartet, solange so deklariert,

nicht ausschließlich neue Ware für den Einsatz in der Architektur. In Deutschland ist der Verein Bauteilnetz die größte Organisation, die sich um den Vertrieb und die Koordinierung regionaler Bauteilbörsen kümmert.⁴⁵ In diesen Börsen kann alles gefunden werden von ganzen Bauwerken, über Träger und Fundamente, bis hin zu Inneneinrichtung, sowohl neuwertiges als auch gebrauchtes. Solch ein Netzwerk ist wichtig, um die Organisation des zirkulären Bauens voranzutreiben und dies koordiniert und bewusst mit einer gewissen planerischen Sicherheit angehen zu können.⁴⁶ Eine Weiternutzung ganzer Gebäude und Strukturen kann nur gelingen, sollten diese bereits in ihrem ersten Lebenszyklus so entworfen worden sein, dass sie eine Nutzungsänderung zulassen. Starre Grundrissstrukturen, welche klar zugewiesene Räume beherbergen, sind daher abzulehnen. Die konstruktive Reduktion des Bauwerks auf Stützen und Balken, beziehungsweise Decken, hilft dabei, das Gebäude der Nutzung oder den Bewohnenden bestmöglich anzupassen.⁴⁷

Reduce | Ressourceneffizientes Bauen

„Mit dem Ausreichenden auszukommen, Suffizienz zu üben, ist die direkteste Art von Ressourcenschonung und Abfallvermeidung.“⁴⁸

Maßgeblich beteiligt an einem ressourceneffizienten Bauen sind der Flächenverbrauch und die Form des zu erstellenden Bauwerks. Besonders unterirdische Bauvolumina gehen aufgrund ihrer starken Zwangsfokussierung auf Betonbaustoffe stark auf das Konto der klimaneutralen Bausubstanz des gesamten Bauwerks. So ist bei Neu- oder Erweiterungsbauten darauf zu achten, dass eine Unterkellerung möglichst vermieden wird und der Boden, welcher sich unter dem Bauwerk befindet, weiterhin Lebensraum für Lebewesen bietet. Diesem Konzept folgend bieten sich Punkt- oder Streifenfundamente an, da diese die geringstmögliche Fläche versiegeln. Kompakte Bauformen fördern die Schonung der eingesetzten Ressourcen genauso sehr wie geringe Auskragungen, da diese oft für Wärmebrücken verantwortlich sind. Durch ein bewusstes, suffizientes Bauen und das Simplifizieren des Eingesetzten kann der Reparatur- und Wartungsaufwand minimiert werden. Ein weiteres Thema, welches ebenfalls in der Nachverdichtung im suburbanen Raum eine entscheidende Rolle spielt, ist die Fläche, welche wir als einzelne Person beanspruchen. Diese ist seit Jahrzehnten stark zunehmend und macht es schwer, die ideale Fläche zu finden, welche ausreicht, den gewünschten Lebensstandard zu ermöglichen. Das bedeutet aber auch, dass sich in der Architektur die Idee, Einzelpersonenflächen zu reduzieren und diese mit Gemeinschaftsflächen zu kompensieren, zwangsläufig durchsetzen muss, wenn es das Ziel ist, Architektur nachhaltiger zu gestalten.⁴⁹

Recycle | Wieder- und Weiterverwertung

„Verwertungsprozesse finden unter Auflösung der Produktgestalt statt“⁵⁰

Recycling kann in verschiedene Arten der Verwertung unterteilt werden. Die am wenigsten nachhaltige Lösung ist hier die direkte energetische Verwertung durch Verbrennung meist fossilbasierter Materialien. In der EU Abfallrichtlinie 2008/98/EG wird dies mit dem

⁴⁵ proholz; Bauteilbörsen und Materialdatenbanken; 2023; proholz.at

⁴⁶ Bauteilnetz; Die Idee; 2023; bauteilnetz.de

⁴⁷ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 12

⁴⁸ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 11

⁴⁹ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 11

⁵⁰ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 60

⁴⁴ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 60

Begriff „sonstige Verwertung“ dargestellt. Durch diese Art der Verwertung wird weder Müll eingespart, noch Ressourcen geschont. Darum ist dieses Konzept des Umgangs mit Bestand oder Material im Sinne einer kreislauffähigen Architektur so weit wie möglich zu vermeiden. Eine Wiederverwertung beschreibt den Prozess der Änderung der vorhandenen Produktgestalt durch beispielsweise erneutes Einschmelzen eines metallischen Baustoffes, ohne jedoch dessen Qualität im neu erzeugten Produkt zu mindern. Dieser Baustoff kann somit nahezu unbegrenzt einem Verwertungskreislauf zugeführt werden, jedoch mit erhöhtem Energieeinsatz, welcher mit der Neuproduktion einhergeht. Bei einer Weiterverwertung kann der Baustoff lediglich mit geminderter Qualität erneut eingesetzt werden und wird somit von Einsatz zu Einsatz weniger bautechnischen Ansprüchen gerecht. Solch ein Baustoff wie beispielsweise Glas kann nur temporär und bedingt Teil eines Verwertungsprozesses sein, bis er letztendlich doch deponiert werden muss. Das stoffliche Recycling kann durch diese Definitionen in zwei verschiedene Kreisläufe eingeordnet werden: einen biotischen Kreislauf und einen technischen Kreislauf. Beim technischen Kreislauf werden abgebrochene Bauprodukte einer industriellen Verwertung zugeführt und soweit möglich wieder aufbereitet, sodass sie mit denselben Qualitätsansprüchen erneut eingesetzt werden können. Nur wenn dies geschieht gilt hier der Kreislauf als geschlossen. Baustoffe, welche nach der Aufbereitung geminderte Qualität aufweisen, fallen aus dem Kreislauf heraus. Der biotische Kreislauf ist ein natürlicher Kreislauf der Verrottung, welcher in der Mehrzahl der Fälle für aus der Natur bezogene Baustoffe in Frage kommt. Durch Kompostierung der Baustoffe kann unter Umständen ebenso ein geschlossener Kreislauf geschaffen werden. Wichtige Parameter für das Gelingen eines solchen Kreislaufes sind eine sortenreine und unbeschmutzte Trennung der Materialien, ohne Schadstoffe oder eingebrachte Brandschutzmittel. Das Verwenden von biotischen Baustoffen sollte im Sinn der Abfallvermeidung und Ressourcenschonung auf jeden Fall in Betracht gezogen werden.⁵¹ Besonders schwierig gestaltet sich das Konzept von Wieder- und Weiterverwertung bei mineralöl-, oder zementbasierten Materialien. Besonders schwierig ist dies bei Kunststoffen, welche im Durchschnitt eine Halbwertszeit von 450 Jahren aufweisen.⁵² Das Verhältnis vom Leistungszeitraum des Materials bis zu dessen Austausch im Bauwerk, gemessen an der Zeit die das Material zum Abbau benötigt, ist rein rechnerisch alles andere als wirtschaftlich und ökologisch vertretbar. Darum sollten Baustoffe auf Kunststoffbasis im kleinstmöglichen Maß eingesetzt werden und lediglich dort, wo sie durch deren vorhandenen Alleinstellungsmerkmale schwer bis unersetzlich sind.

Rückbaubarkeit | Umnutzung

Ein Ziel der heute erstellten Architektur muss sein, dass die Strukturen und Hüllen, die geschaffen werden, nach einem gewissen Zeitraum an die Bedürfnisse der Benutzenden angepasst werden können. So kann gewährleistet werden, dass egal wie sich das bebaute Gebiet sowie auch unsere Gesellschaft entwickelt, die Struktur den Anforderungen dieser Zukunft gewachsen ist. Viele Bauwerke, welche ab den 1950er bis in die 2000 erstellt wurden, waren auf sehr spezielle Nutzungen zugeschnitten und sind kaum umnutzbar. Auch die

günstig erstellte Bausubstanz bringt Probleme mit sich und erschwert eine Nutzungsänderung sowie eine Rückbaubarkeit. Ein essenzieller Punkt, welcher die Rückbaubarkeit von Strukturen gewährleistet, ist der weitestgehende Verzicht von Klebeverbindungen. Schraubverbindungen sind aufgrund ihrer Art der Verbindung rückbaubar und fördern so eine sortenreine Baustofftrennung. Im Allgemeinen ist eine materialweise oder sortenreine Rückführung der Bausubstanz mit großer Ungewissheit behaftet, da diese in der herrschenden Praxis nur selten in vollem Umfang Anwendung findet. Es gibt einige Richtlinien und DIN-Normen, welche sich dem Thema annehmen. Eine sortenreine Rückbauung, die als erstrebenswert anzusehen ist, wird hier jedoch als untergeordnetes Thema behandelt.⁵³ Die Bauherrschaft, welche sich nach dem Abbruch mit den Altlasten des Bauwerks umgehen muss, bemüht sich meist um eine ordnungsmäßige Entsorgung. Geregelt sich die Aufgaben und Pflichten hierzu in der DIN 18459 | 2016-09, den Allgemeinen Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Abbruch- und Rückbauarbeiten. Dabei sind wirtschaftliche Belange das Hauptproblem. Eine fachgerechte und sortenreine Trennung geht auch mit leicht höheren Entsorgungskosten einher, jedoch sind die Personalkosten für diese Art des Abrisses meist der ausschlaggebende Faktor. Hier ist der Bausektor weit entfernt von einer kreislauffähigen Lösung. Einerseits fehlen hierfür politische Rahmenbedingungen, andererseits der Wille, das Problem in dessen Ernsthaftigkeit im architektonischen Geschehen anzuerkennen, da es sich um keine akute Problematik handelt.⁵⁴

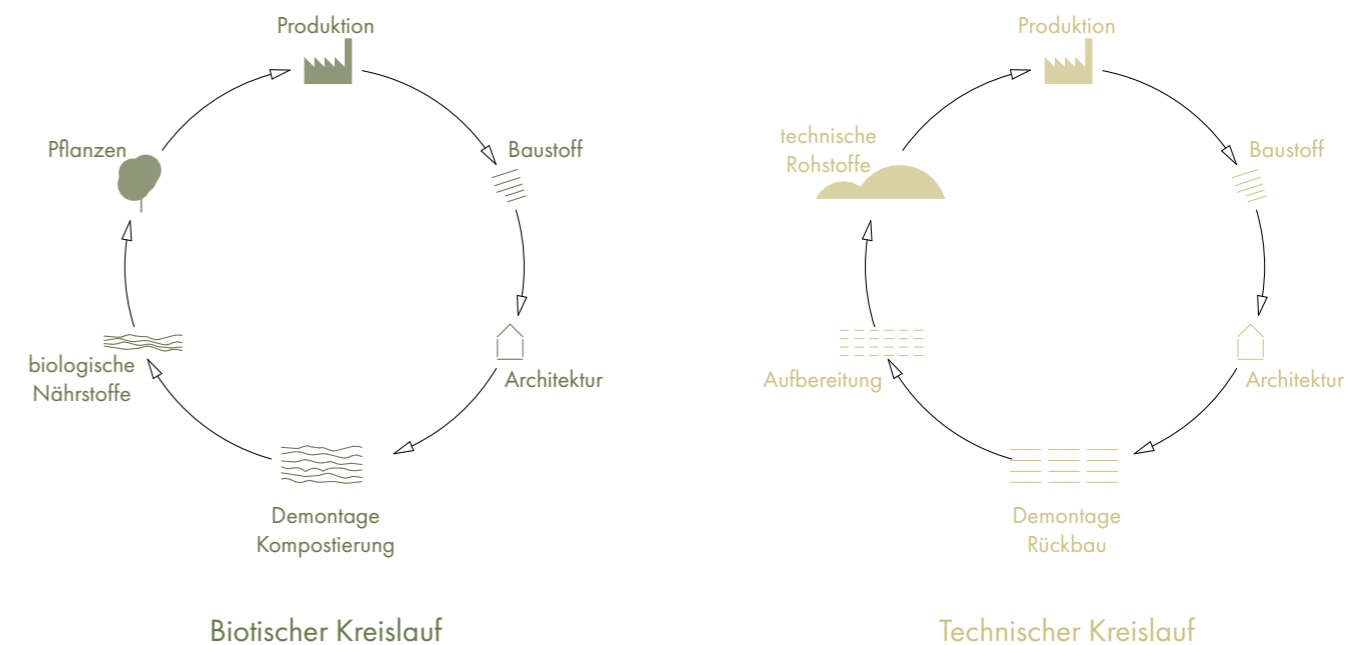


Abb.16 Biotischer und Technischer Kreislauf

⁵¹ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 60

⁵² Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 61

⁵³ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 21

⁵⁴ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 22

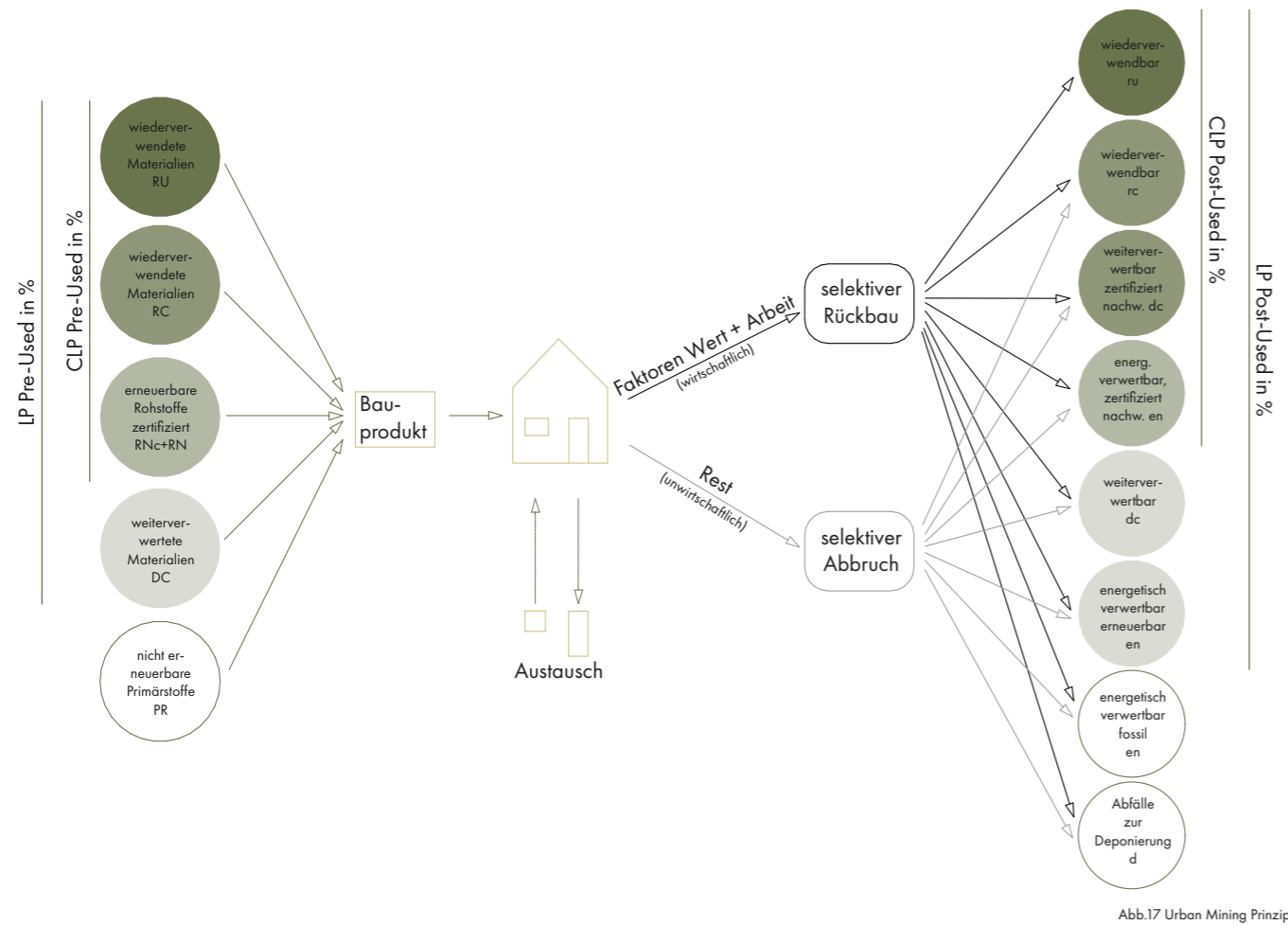


Abb.17 Urban Mining Prinzip

cradle to cradle vs. cradle to grave | Kreislauffähige Architektur

Das Konzept „cradle to cradle“ bedeutet ins Deutsche sinngemäß übersetzt „vom Ursprung zum Ursprung“ und subsumiert die im Kapitel „Reuse, Reduce, Recycle oder doch cradle to cradle?“ genannten Prinzipien der nachhaltigen Planung, und gießt diese in ein Gesamtkonzept, welches weiter geht als die bisher beschriebenen Bestrebungen. In Anlehnung an die Definition des Chemikers Michael Baumgart und des Architekten William McDonough gibt es zwei Kreisläufe: den biotischen Kreislauf und den technischen Kreislauf. Diese Kreisläufe unterteilen sich jeweils in verschiedene Phasen, welche in Abbildung 16 dargestellt wurden. Dieses Konzept, welches bereits in den 1990er Jahren in Entwicklung war, wurde 2002 von den beiden bereits genannten Protagonisten zu einem Werk verfasst. Es wird ein idealisierter, geschlossener Materialkreislauf beschrieben, für den die Natur als Vorbild herangezogen wird. Alles, was in diesem Kreislauf genutzt wird, kann zu hundert Prozent wieder-, und weiterverwendet werden, nachdem der Nutzungszeitraum abgelaufen ist. Das Modell bietet den Gegenpol zu unserem heute verbreiteten Konzept „take, make, waste“. Die Kreislaufwirtschaft ist hier durch den ganzheitlichen Ansatz deutlich radikaler in dessen Herangehensweise als klassische Bestrebungen der Architektur. Die festgehaltenen Prinzipien sind jedoch nicht nur eine Chance für die Architektur, sondern sind auf alle Lebensbereiche übertragbar und anwendbar.⁵⁵ Es gibt bereits Bauwerke, welche auf Basis dieses Konzeptes erbaut wurden. Hier wäre das Gebäude

⁵⁵ Baunetz Wissen; Cradle-to-Cradle-Prinzip; 2023; baunetzwissen.de

Kopfbauhalle 118 vom „Baubüro in situ“ in der Schweiz zu nennen, welches im Sinne einer kreislauffähigen Architektur entwickelt und umgesetzt wurde. Hierbei handelt es sich um eine Dachaufstockung einer alter Fabrik, welche weitestgehend aus bereits vorhanden Überresten des Fabrikbaus erschaffen wurde. Hinzugefügt wurde nach eigener Aussage lediglich Holz, Lehm und Stroh. Durch diese Bauweise konnten rund 500 Tonnen Primärenergiebedarf eingespart werden. Das entspricht einer Reduktion von sechzig Prozent. Bauwerke wie dieses sind zum heutigen Zeitpunkt aber mehr als Prototyp einzustufen.⁵⁶ Zu den ersten Prototypen der Architektur rief bereits 2005 die MBDC den Nachhaltigkeitsstandard in Form eines Zertifikates zum Leben, welches an besonders kreislauffähige Konzepte und Projekte vergeben wird. „Cradle to Cradle Certified™“ Produkte würdigen Menschen, die ihre Produkte insofern optimiert haben, den Richtlinien einer Kreislauffähigkeit gerecht zu werden. Hierbei können Stufen von Bronze bis hin zu Platin für Produkte erreicht werden. Bisher wurden über 34.000 Produkte zertifiziert.⁵⁷

Post-Use und Pre-Use

Die Begriffe Post-Use und Pre-Use werden im Kontext des Urban Mining Index definiert und bieten die Basis einer eindeutigen Messbarkeit und somit auch Bewertbarkeit von Materialien. Bewertet werden die Materialien hier nach deren Nutzungsdauer sowie nach deren Herkunft und Verbleib nach dem Einsatz. Nach dieser Kategorisierung werden Baustoffe eingeteilt und eindeutig bewertet. Die Bewertungskriterien sind in der Abbildung 17 dargestellt. Grundsätzlich lassen sich Post-Use-Materialien als Produkte beschreiben, welche die Schließung eines Wertstoffkreislaufes bereits in der Planung berücksichtigen und eine bewertbare Nachnutzbarkeit darlegen.⁵⁸ Das bedeutet, eine Nutzung nach dem Einsatz wird bereits während beziehungsweise vor dem Einsatz mitgedacht. Hierbei wird Holz als Sondermaterial aufgeführt, da dieses unter der Bedingung des Kultivierens in zertifiziert nachhaltiger Forstwirtschaft ein vollständiges biologisches Kreislaufpotenzial hat. Holz, welches aus nicht-nachhaltiger Forstwirtschaft kommt und energetisch oder durch technischen Bruch verarbeitet wird, kann dieses Kriterium nicht erfüllen und kann den Kreislauf nicht zur Gänze füllen.⁵⁹ Bei Pre-Use-Materialien handelt es sich um bereits vor dem Einsatz im Bauwerk aufbereitete Materialien, welche im Sinne einer ressourcenschonenden Konstruktion mit einem höchstmöglichen Anteil an erneuerbaren oder sekundär-Rohstoffen enthalten. Zur Bewertung des Potenzials werden hierfür die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen sowie der Anteil recycelter Materialien bewertet und errechnet. Ziel beider Baustoffarten ist es, das Kreislaufpotenzial eines Bauwerks zu erhöhen und dieses bewerten zu können, sowie dies grafisch zu einem Closed-Loop-Potenzial zusammenfassen zu können, um eindeutige Kennwerte festzulegen.⁶⁰

⁵⁶ Hebel, Dirk, Sortenrein Bauen : Methode, Material, Konstruktion; 2023. Seite 59

⁵⁷ Cradle-to-Cradle; Get Certified; 2023; c2ccertified.org

⁵⁸ Rosen; Urban Mining Index, Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung; 2020; Seite 12

⁵⁹ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 116

⁶⁰ Rosen; Urban Mining Index, Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung; 2020; Seite 239

Nachverfolgung der eingesetzten Materialien

Bei Bauteilen, welche mehrfach in verschiedenen Gebäuden eingesetzt werden, stellt sich zwangsläufig die Frage, wie viel Verantwortung die beurteilende Person trägt. Ebenso wichtig ist die Frage, wer die Verantwortung übernimmt, sollte dies doch falsch eingeschätzt werden. Die Frage nach der rechtlichen Verantwortung, vor allem bei unbeeinflussbaren Faktoren wie der zwangsweise länger als geplanten Nutzung und damit der Nichteinhaltung der vertraglich gesichteten Rückgabe der Bauteile, ist nicht abschließend geklärt und beruht bis heute auf Einzelentscheidungen.⁶¹ Hier stehen die meist wirtschaftlichen Interessen des Nutzens denjenigen des Bauträgers gegenüber. Heutzutage wird bei solchen Bauteilen meist eine Bauteilliste geknüpft an die CAD-Planung des Objektes geführt. Sollten jedoch Bauteile anderweitig eingebaut werden, als in der Planung vorgesehen, oder Bauteile vertauscht oder abgeändert werden, kann es sein, dass diese nicht mit der Bauteilliste übereinstimmen und fälschlicherweise erneut zum Einsatz kommen, was Risiken der Langlebigkeit und Belastbarkeit der Bauteile mit sich bringt. Auch eine Markierung der Bauteile mit Barcodes oder Zahlen bringt die Problematik mit sich, dass diese mit der Zeit verblassen, verschleißen oder durch die Bewitterung und Nutzung unlesbar werden.⁶¹ Hier kann unter anderem bereits erprobte Technik Abhilfe schaffen. Im zu entwickelnden Modulsystem wird auf das System Radio Frequency Identification, kurz RFID, gesetzt. Die Technik verfügt über Sensoren, welche ohne eigene Stromversorgung einen überschreibbaren aber auch sperrbaren Speicher zur Verfügung stellen. Mit entsprechenden Geräten können diese Daten ausgelesen und bei Bedarf bearbeitet werden. Hierfür wird einerseits ein Transponder, also ein Mikroprozessor benötigt, welcher mit einem RFID-Lese-/Schreibgerät beschrieben und überschrieben werden kann.



Abb.18 Größenvergleich RFID-Chip mit Münze

Damit die Daten nicht von Dritten manipuliert werden können, kann ein zusätzliches zwischengeschaltetes Sicherheitssystem eingesetzt werden. Des Weiteren bewegen sich die passiven Mikroprozessoren, welche in die Bauteile eingebracht werden, pro Stück im Centbereich, was den Einsatz umso attraktiver macht, da dadurch kein Kostenfaktor ins Gewicht fällt. Ebenso ist deren Einbau durch die geringe Größe, siehe Abbildung 18, als auch die Empfangs- und Sendeleistung durch Material hindurch überaus vielversprechend. Auf den Mikrochips, welche mittlerweile in vielen Produkten, unter anderem auch in Ausweisen oder Kleidungsetiketten, verbaut sind,

werden mit Hilfe von europäischen Artikelnummern (EAN) die Merkmale des Produkts beschrieben. Dabei erzeugt das System bei jedem Produkt einen einzigartigen und nur einmal auf der Welt existierenden Code somit sind Verwechslungen ausgeschlossen.⁶² So kann genau katalogisiert werden, welches Bauteil wie lange und in welchem Zustand wo eingebaut wurde. Es bietet Aufschluss darüber, ob das Bauteil dem Recyclingprozess zugeführt werden kann und muss, oder ob es einen weiteren Einsatz in einem anderen Gebäude antreten kann. Des Weiteren bietet das System die Möglichkeit, deutlich weitreichendere Daten zum Einbauzeitraum, die Orientierung des Bauteils, was bezüglich Bewitterung interessant sein kann, oder auch Lagerzeiten einzutragen. Das System ist erprobt und weit verbreitet sowie kostengünstig im Einsatz und sollte somit ebenso in Bauteilen angedacht werden.

Digitale Daten

Die digitale Verarbeitung von Daten ist besonders in der Architektur in den letzten Jahren exponentiell angestiegen. Durch die heute weit verbreitete Einführung von hochentwickelten Architekturzeichenprogrammen, flacht die Kurve der weiteren Digitalisierung der Branche momentan wieder leicht ab. Architektur- und Ingenieurbüros gehören zu der Gruppe der unternehmensnahen Dienstleistungen und belegten im Ranking des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2021 berechneten Digitalisierungsindex mit 142,7 Indexpunkten den vierten Platz im Branchenvergleich.⁶³ BIM-Modeling oder Building Information Modeling ist hier als größter Fortschritt der letzten Jahrzehnte zu nennen. Das BIM-Modeling ermöglicht es, ganzheitliche Prozesse zu erstellen, diese zu verwalten und digitale Änderungen durchführen zu können, welche projektübergreifend nutzbar und einsehbar sind. Es basiert auf einer Cloud-Integration und ist somit geräteunabhängig. Neben der klassischen Planung können hier durch Schnittstellen bautechnische, bauphysikalische sowie statische Berechnungen direkt am bereits gezeichneten Projekt integriert werden. Eine einheitliche und normierte Datenerhebung kann durch diese Praxis ebenso dabei helfen, Bauwerke über ihren Lebenszyklus hinweg zu katalogisieren, kategorisieren und im Falle eines Rückbaus einordnen zu können. Im Bauprozess lassen sich in diese Modelle ebenso sicherheitsrelevante Daten, Lieferscheine oder baustoffbezogene Dokumente hinzufügen, welche es vereinfachen, einzelne Baustoffe einzuordnen und den gesamten Bauprozess somit digital zu verwalten.⁶⁴ Bisher ist BIM-Modeling vor allem im öffentlichen Bau kaum existent. Eines der ersten Pilotprojekte war das Ilse-Wallentin-Haus in Wien, welches 2021 von SWAP Architektur fertig gestellt wurde. Das Bauwerk wurde mittels eines digitalen Zwillings über achtzig Prozent durchgeplant. Der Vorentwurf wurde von einem KI-gestützten BIM-Tool erstellt. Alleine durch diesen Einsatz können Arbeitszeit und Ressourcen für Mockup und Prototypen gespart werden.⁶⁵ BIM ist heute das essenziellste Tool, mit welchem eine eindeutige Datenerfassung von Bauteilen geschaffen werden kann. Durch den Einsatz solcher Software, wird eine echte Kreislauffähigkeit auch in größeren Projekten erst realisierbar.

⁶³ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Digitalisierungsindex 2021; 2021; Seite 8

⁶⁴ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 32

⁶⁵ Edition Detail; Digitale Prozesse; 2021; Seite 105

⁶¹ Persönliche Korrespondenz mit Lukas Lang; 2023

⁶² Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages; Ökodesign Richtlinie; 2005; Seite 1

Bauwerkparameter



| | |
|-----------------------------|----|
| Holz | 39 |
| Wald und Forstwirtschaft | 39 |
| Geschichte des Holzbaus | 41 |
| Das Material | 42 |
| Wachstum | 43 |
| Holzfeuchte | 43 |
| Anisotropie | 44 |
| Sortierklasse | 45 |
| Holzbaustoffe | 45 |
| Baurundholz | 46 |
| Bauschnittholz | 46 |
| Konstruktionsvollholz | 46 |
| Lagenholz | 47 |
| Holzwerkstoffe | 47 |
| Strukturholzbauteile | 48 |
| Lehm | 51 |
| Geschichte des Lehmbaus | 51 |
| Das Material | 53 |
| Lehm im Massivbau | 54 |
| Lehmziegel | 54 |
| Stampflehm | 55 |
| Lehm als Deckenfüllmaterial | 55 |
| Lehm Trockenbau | 56 |
| Lehmbauplatten | 56 |
| Fazit | 57 |
| Dämmung | 61 |
| Holzfaserdämmplatten | 62 |
| Steinwolle | 63 |
| Haustechnik | 65 |
| Heizen Kühlen | 65 |
| Wassermanagement | 66 |
| Energie | 67 |
| Brandschutz | 69 |
| Exkurs ins Inland | 71 |
| Exkurs ins Ausland | 71 |
| Fazit Brandschutz | 73 |

Holz

Neben vielen Materialien, aus denen Bauwerke erzeugt werden können, bietet Holz eine spannende Basis für nachhaltige Entwürfe. Nicht nur ist es deutlich klimafreundlicher, diesen Baustoff zu nutzen, verglichen mit mineralisch basierten Produkten, auch kann er bei richtiger Pflege und Nutzung länger als Beton die Konstruktion eines Bauwerks bilden. Dabei können die Bauteile so oft wie gewünscht ab- und wieder aufgebaut sowie umgenutzt, ausgetauscht und erweitert werden. Auch wird eine große Menge CO₂ in den Gebäuden gespeichert sowie Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen, im besten Fall für ein paar Jahrhunderte.⁶⁶

Wald und Forstwirtschaft

Wie Kaufmann es seinem Werk „Atlas mehrgeschossiger Holzbau“ bereits sagte:

„Holz war in der Menschheitsgeschichte bis ins 19. Jahrhundert als Baustoff, Werkstoff und Brennstoff, aber auch als Kulturgut unersetzlich.“⁶⁷

Holz hat im Gegensatz zu zementbasierten Materialien den Vor- aber auch Nachteil, dass es sich um ein natürliches Produkt handelt. Dieses kann zwar kultiviert und produziert werden, aber die Geschwindigkeit, in welcher dies geschieht, sowie die Menge, in der das Material zur Verfügung steht, ist nicht alleine durch Menschenhand steuerbar. Diese Faktoren werden stark von Umwelteinflüssen beeinflusst. Holz wurde seit jeher in vielen Situationen des Lebens eingesetzt und der Wald war und ist ein sich selbst erneuerndes Materiallager. Im Deutschland des 17. und 18. Jahrhunderts führte dies durch übermäßige Nutzung der Ressource und durch schlechte Forstwirtschaft soweit, dass eine Holzknappheit herrschte und der Waldbestand stetig rückläufig war. Als Folge daraus wurde im Jahr 1713 von Carl von Carlowitz ein Leitsatz formuliert, welcher festlegte, dass ab diesem Zeitpunkt nicht mehr Holz geschlagen werden durfte, als neuer Wald angelegt wurde.⁶⁸ Heute sind etwa vier Milliarden Hektar weltweit mit Wald bedeckt. Das entspricht etwa dreißig Prozent der gesamten Landmasse der Erde. Seit Jahrzehnten nimmt diese Fläche jedoch ste-

⁶⁶ Bayerischer Rundfunk; Forstwirtschaft: Zwischen Barkenkäfer und Preisschwankungen; 2023

⁶⁷ Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 14

⁶⁸ Kaufmann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 14



Nutzbarer Holzzuwachs jährlich etwa 80 Millionen m³, Ernte etwa 70 Millionen m³ pro Jahr. Potenzielles Material für 45 Millionen m³ Holzbauprodukte.



3,7 Milliarden m³ Holzvorrat in Deutschland
10 Millionen m³ Zuwachs im Jahr (Durchschnitt)

Abb.19 Holzvorrat in Deutschland

tig ab. Besonders die Ur- und Regenwälder sind heutzutage im Visier für Landraub und Umnutzung in landwirtschaftliche Flächen für Monokulturen oder Viehzucht. Hierbei lässt sich verzeichnen, dass in den letzten zehn Jahren der Verlust auf etwa sieben Prozent pro Jahr einpendelt. Dies ist natürlich stark abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, seien es Feuer, politische Interessen der Rodung oder Krieg.⁶⁹ Von den weltweit jährlich etwa vier Milliarden Kubikmetern Rundholz werden 51 Prozent energetisch verwertet, die restlichen neunundvierzig Prozent werden zu Holzprodukten weiterverarbeitet, darunter jedoch nicht nur Baustoffe, sondern auch Produkte wie Papier oder Zellstoffe. Im internationalen Vergleich wächst der Waldbestand Europas nun seit mehr als vierzig Jahren stetig mit durchschnittlich fünftausend Hektar pro Jahr an. In Deutschland macht Waldfläche zwar nur etwa 33 Prozent der Fläche aus, durch die Größe des Landes ist es mit 3,7 Milliarden Kubikmetern dennoch vor Schweden und Frankreich die größte Waldreserve europaweit. Um diese doch immensen Zahlen anschaulicher darstellen zu können, wurde Abbildung 19 ausgeführt, auf der das Verhältnis von Nutzholz zu Bestand deutlich ersichtlich wird. Die Forstwirtschaft in Deutschland setzt mit 3,5 Millionen Angestellten jährlich knapp fünf-hundert Milliarden Euro um und ist somit eine treibende Kraft der

⁶⁹ FAO; Global Forest Resources Assessment; 2020; Seite 18

deutschen Wirtschaft. Im Durchschnitt der letzten Jahre werden in Deutschland etwa achtzig Millionen Kubikmeter Nutzholz jährlich neu gepflanzt und etwa siebzig Millionen Kubikmeter geerntet. Ausgehend von der vorher gehenden Rechnung, wie viele Holzprodukte aus dieser Menge geschaffen werden könnten, kommt man auf theoretische 55 Millionen Tonnen. Legt man die Baufertigstellungen des Statistischen Bundesamtes der letzten Jahre zugrunde, könnte mit nur der Hälfte dieses Materials jeder geschaffene Quadratmeter des Neubaus in Deutschland aus Holz gebaut werden. Nachhaltig kann Holz jedoch nur produziert werden, indem viel Arbeit in die Verjüngung und in die Diversifizierung des Waldbestandes gesteckt wird. Monokulturen, wie sie in den letzten Jahrzehnten gefördert wurden, haben sich besonders durch die Klimakrise und den Befall diverser Insektenarten als nicht zukunftsorientiert bewiesen. Ein Rückgang der heute mit vierundvierzig Prozent vorherrschenden Fichte, welche zum großen Teil in Monokulturen gezüchtet wurde, und ein Zuwachs vor der Buche und der Eiche werden für die Zukunft prognostiziert und halten bereits heute Einzug.⁷⁰

Geschichte des Holzbaus

Die Geschichte des Holzbaus weltweit geht zurück bis hin zu den ersten Siedlungen. Vor allem aber durch Siedlungsgründungen und die damit einhergehende Verdichtung der Lebensräume wurde Holz als Material, mit welchem man in die Höhe bauen konnte, essenziell.⁷¹ Die ersten Bautechniken aus Holz, zu welchen vor allem die Blockbauten und Pfostenbauten gehören, sind seit Anfang der Jungsteinzeit bekannt. Blockbauten zeichneten sich durch horizontal geschichtetes Holz aus, welches über die Ecken ausgesteift wurde. Pfostenbauten wurden vor allem in waldärmeren Gebieten eingesetzt, da sie einen deutlich geringeren Bedarf der Ressource hatten. Die Wände wurden meist mit Lehmziegeln oder mit lehmverputztem Flechtwerk witterungsfest gemacht. Da die Pfosten meist direkt in den Boden gerammt wurden und somit konstant der Feuchtigkeit der Erde ausgeliefert waren, belief sich deren Lebensdauer meist auf nicht mehr als dreißig Jahre. Durch diese Pfeiler, als primäre Tragkonstruktion konnten sie nicht ohne weiteres ausgetauscht werden, und so mussten die Bauwerke alle zwanzig bis dreißig Jahre generalsaniert werden. Der technische Fortschritt des Holzbaus wurde im zwölften Jahrhundert durch die sich nördlich der Alpen verbreitende Technik des Fachwerkbau eingeleitet. Zwar war diese Bautechnik bereits in der Antike bekannt, verbreitete sich jedoch nur langsam in Richtung Norden. Das vermutlich älteste noch bestehende Fachwerkhaus stammt ebenso aus dieser Epoche und befindet sich in Esslingen. Es wurde im Jahr 1261 fertiggestellt und ist bis heute in Benutzung. Der große technische Vorteil des Fachwerks war die Entkopplung von Gebäude und Erdfeuchte, da das vorher verpflichtende Einbringen der Tragstruktur in den Boden wegfiel. Der Fachwerkbau legt bis heute die Basis für die Überlegungen zum konstruktiven Holzschutz.⁷² Diese Bauweise herrschte bis ins 19. Jahrhundert vor und legte den Grundstein der modernen Holzarchitektur. Auch wenn das Fachwerk einem Skelettbau gleicht, bildet die Konstruktion aus Pfosten und Reben zusammen mit dem Rähm eine

⁷⁰Kaufmann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 16

⁷¹ Kaufmann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 12

⁷² Baunetzwissen; Geschichte des Holzbaus; 2023; baunetzwissen.de

sehr gut ausgesteifte Wandscheibe. So konnten Fachwerkgebäude, ohne Zuhilfenahme verwindungssteifer Decken ein ausgesteiftes Gebäude erzeugen.⁷³

Durch billigere und vermeidlich langlebigere Baustoffe wie Stahl und Beton wurde Holz lange Zeit kaum als relevanter Baustoff erachtet. Dies hat sich erst in den letzten Jahrzehnten, insbesondere nach der Jahrtausendwende verändert und weiterentwickelt. Vorreiter hier waren das Bundesland Bayern sowie das Land Österreich, in denen in den Zweitausender Jahren die ersten dreigeschossigen Wohnhäuser als Modellvorhaben erzeugt wurden und in der Fachzeitschrift Zuschnitt vom Jahr 2001 als großer Erfolg verbucht wurden. Mittlerweile ist das Ziel, mit den konkurrierenden Materialien wie Stahlbeton mithalten, ganz nach dem Motto größer, höher, weiter. Besonders durch das immer weiter streuende Klimabewusstsein erlegt das Material seit einiger Zeit eine Renaissance. Durch effizientere und ressourcenschonendere Baumethoden wird der Baustoff auch wirtschaftlich immer konkurrenzfähiger. Heute sind wir dabei, jährlich die Höhenrekorde der neusten Holzbauten zu zelebrieren, die größten Holzsiedlungen in europäischen Großstädten bestaunen zu können und innovativen Ideen beim Wachsen zusehen zu dürfen. Langsam aber stetig wird die Gesetzgebung angepasst und erweitert, sodass solche Projekte nicht mehr ausschließlich mit Sondermaßnahmen durchgesetzt werden können, sondern das Holzbau einen regulären und vor allem klar regulierten Platz in der modernen, urbanen Architektur erlangt.⁷⁴ Erste Städte nehmen in ihren Ausschreibungen für Stadtentwicklung diese dekarbonisierenden Maßnahmen auf und stellen einen zusätzlichen ökologischen Kriterienkatalog. So entsteht in München auf einem Teilgebiet der ehemaligen Prinz-Eugen-Kaserne seit 2019 eine, zum weitesten Teilen als Holzbau ausgeführte Stadtentwicklungsmaßnahme, welche 566 neue Wohnungen erzeugt.⁷⁵ Der Holzbau kämpft sich wieder in die Mitte der Gesellschaft, und das zu Recht.

Das Material

Holz als Baustoff ist seit Angedenken der Zeit existent und wird mutmaßlich noch sehr lange Zeit existent sein. In allen Epochen unserer Menschheitsgeschichte wurde das Material in der ein oder anderen Form wiederverwendet. Besonders seit dem 19. Jahrhundert und durch die Nachhaltigkeitsgedanken, welche bis in die Mitte der Gesellschaft salonfähig wurden, erlebt das Material eine Renaissance. Holz eroberte jedoch auch durch neue technische Prozesse sowie die immer vollwertigere Verwertung einen hohen Stellenwert in der Baubranche, ob nun als reines Holz, zusammengefügtes Plattenmaterial oder als Verbindungsmaterial. Es ist noch dazu das weltweit am meisten produzierte Material, noch vor Beton, Aluminium und Stahl. Holz beschäftigt uns in der Baubranche jedoch nicht nur aufgrund seiner positiven CO₂-Bilanz, sondern auch aufgrund eher emotionaler Gesichtspunkte wie dem besseren Innenraumklima oder der tollen Verarbeitbarkeit. Darüber hinaus ist das Material sowohl stofflich recycelbar als auch als Holz erneut einsetzbar. Die organischen Eigenschaften variieren je nach Sorte und Art des

⁷³Kaufmann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 9

⁷⁴Kaufmann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 10

⁷⁵Kaufmann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 12

Baumes. Auch die Herkunft des Holzes kann eine Rolle spielen.⁷⁶ Bei Holz ist ein weiterer Faktor entscheidend, denn Holz ist nicht gleich Holz. Durch verschiedene Schnittarten, Texturen und Strukturen, sowie Arten und Merkmale des Materials bietet sich hier eine weit gestreute Einsetzbarkeit in statischer, optischer und haptischer Diversität.⁷⁷

Wachstum

Die allseits bekannten Jahresringe entstehen in unseren Breitengraden zwischen April und September. Hier ist die Wachstumsphase des Baumes. Über das Jahr verteilt bildet sich hier pro Schicht weiches Frühholz und daraufhin über den weiteren Verlauf das härtere Spätholz. Die zuletzt genannte Schicht ist entscheidend für die Festigkeit des am Ende zu erwartenden Materials. Das allgemeine Wachstum des Baumes entsteht in der Markröhre des Stammes, welcher sich zentral im Stamm befindet. Bei Baumstämmen kann im Allgemeinen in drei Arten unterschieden werden: Kernholz,- Reifholz,- und Splintholzbäume. Kernholzbäume zeichnen sich durch einen dunkleren Kern und helles Splintholz aus. Dies trifft unter anderem auf Eiche, Lärche oder Kiefer sowie Nussbaumarten zu. Bei Reifholzbäumen ist zwischen Splint- und Kernholz kein farblicher Unterschied auszumachen. Zur Veranschaulichung sind die drei Arten ebenso als Abbildung zwanzig grafisch erläutert. Lediglich in der Feuchtigkeit der einzelnen Schichten sind hier messbare Unterschiede. Dabei ist der Splint deutlich feuchter als das Kernholz. Baumarten, die so wachsen, sind beispielsweise Fichte und Tanne sowie Buche und Ahorn. Zu guter Letzt gibt es noch die Splintholzbäume. Hierzu gehören beispielsweise die Birke, Erle und Pappel. Hier ist sowohl die Farbe als auch die Feuchte durch den gesamten Stamm konsistent.⁷⁸



Abb.20 Holzwachstum

Holzfeuchte

Ein essenzieller Faktor bei der Verarbeitung oder dem Einsatz von Holz ist die Holzfeuchte. Sie beeinflusst nahezu alle physikalischen Eigenschaften des Materials. Es bedingt nicht nur das Gewicht und das Brandverhalten, sondern auch das Tragverhalten oder die Resistenz gegenüber Schädlingsbefall. Das Verhalten, das Holz unter veränderter Feuchte hat, wird als Quellen und Schwinden bezeichnet. Da Holz hygroskopisch ist, können die Zellwände wie auch die Zellohllkörper Wasser in Form von Feuchte aus der Umluft aufnehmen, speichern und wieder abgeben. Bei Bauholz ist zwingend die Feuchtigkeit anzugeben. Bauholz ist zwangsläufig trocken einzubauen, um das Arbeiten des Holzes im verbauten Zustand zu

⁷⁶ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 15

⁷⁷ proholz; Zuschnitt 23; 2006; Seite 4

⁷⁸ Steiger, et al; Holzbau; 2020; Seite 9

minimieren. Im besten Fall wird die Feuchte des Holzes an die des Einbauortes angepasst, um Problemen beim Einbau vorzubeugen. In allseits geschlossenen Räumen sprechen wir hier von einer Restfeuchte von sechs bis elf Prozent. Grundsätzlich lässt sich Holz wie in der Abbildung 21 gezeigt in drei Feuchtestufen unterteilen.⁷⁹

| | |
|-------------|--|
| Frisch | über dreißig Prozent Holzfeuchte |
| Halbtrocken | über zwanzig, max. dreißig Prozent Holzfeuchte |
| Trocken | maximal zwanzig Prozent Holzfeuchte |

Abb.21 Holzfeuchte

Anisotropie

Ein weiterer wichtiger Faktor, der beim Einsatz von Holz mitzudenken ist, kann mit dem Begriff Anisotropie beschrieben werden.

„Bei Holz lassen sich anhand des Aufbaus drei anatomische Hauptfaserrichtungen definieren: parallel,- radial,-und tangential zur Faserrichtung.“⁸⁰

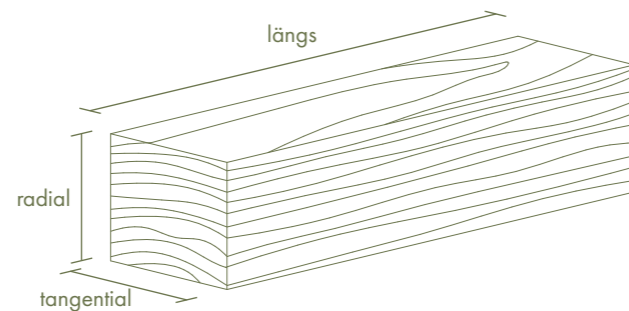


Abb.22 Holzfaserrichtungen

Dies ist der Abbildung 22 deutlich zu erkennen. Die meisten Eigenschaften des Baustoffes hängen damit zusammen, welche der oben genannten Schnittrichtungen vorliegt und in welcher Richtung das Material verarbeitet und belastet wird. Da sowohl für das planende Gewerk als auch das ausführende Gewerk vor der Planung nicht bekannt ist, um welche Faserrichtung es sich beim eingebauten Holz handelt, ist hier Vorsicht geboten. Anders als bei Plattenmaterialien, bei denen alle drei Richtungen vorkommen, können wir bei stabförmigen Baustoffen nur zwischen radial und tangential unterscheiden.⁸¹ Um mehr Sicherheit und somit berechenbare Daten zu erlangen, kann vor dem Einbau die Richtung auf dem Plan angegeben werden. Üblicherweise wird dies über die Richtung der Schraffur der Holzbaustoffe im Plan kommuniziert. Da sich die Fasern in verschiedene Richtungen unterschiedlich stark bewegen, kann das Holz je nach Lage im Baumstamm verschieden arbeiten. So biegen sich, wie in Abbildung 23 zu sehen, tangential liegende Bretter eher durch die Verkürzung der ringförmigen Jahresringe nach Außen, wo hingegen sich Kanthölzer trapezartig verziehen und Kernbretter nahezu kein Arbeiten aufweisen.

⁷⁹ Steiger, et al; Holzbau; 2020; Seite 13

⁸⁰ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 15

⁸¹ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 15

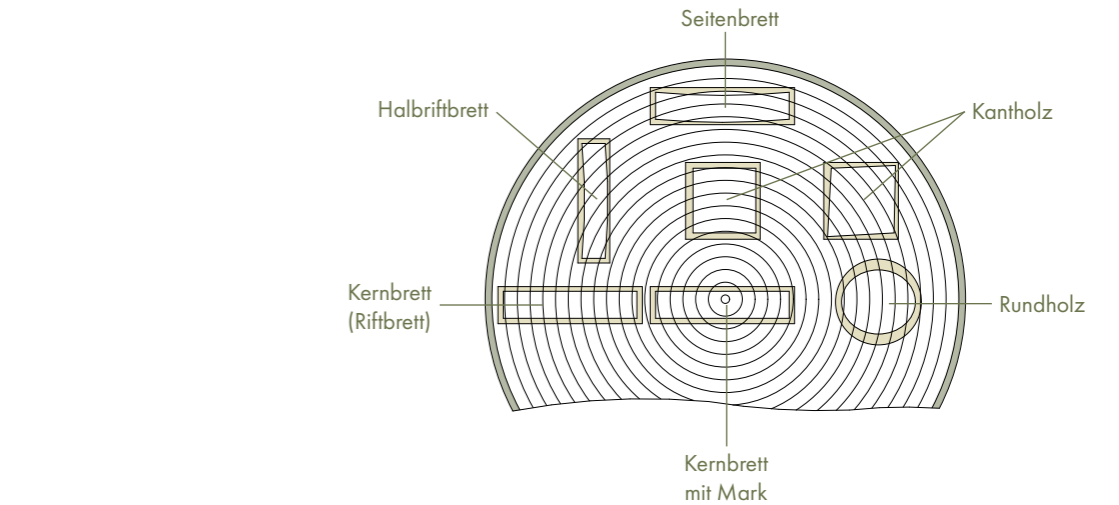


Abb.23 Schnittarten

Sortierklasse

Da es sich bei Holz um ein natürliches Produkt handelt, kann es wachstumsbedingt zu Unterschieden kommen bezüglich der Festigkeit des Holzes. In Deutschland wird Bauholz in drei Güteklassen eingeteilt. Anders als bei vielen anderen Dingen ist Deutschland hier unbürokratischer und pragmatischer als andere Länder. In den USA werden auf jedem verkauften Holzstück Stempel aufgetragen, auf denen knapp zehn Merkmale genau dieses Holzes festgehalten sind. In Deutschland wird aufgrund von Spannungs,- Zug,- und Drucktest festgelegt, in welche der Sortierklassen das Holz einzuordnen ist. Holz der Güteklasse 1, Sortierklasse S13 verfügt über eine überdurchschnittliche Tragfähigkeit. Holz der Güteklasse 2, Sortierklasse S10 hat eine übliche Tragfähigkeit. Güteklasse 3 und somit Sortierklasse S7 beschreibt Holz mit nur geringer Tragfähigkeit.⁸²

Holzbaustoffe

Holzbaustoffe gibt es in unzähligen Ausführungen und Gestaltungen. Dabei sollte vorerst vor allem zwischen Vollholzprodukten und Holzwerkstoffen unterschieden werden. Vollholzprodukte können einerseits ein aus einem einzigen Stück Holz gefertigtes Produkt sein, andererseits spricht man bei verklebten oder keilverzinkten Produkten ebenso von Vollholzprodukten. Verkleben beziehungsweise Keilverzinken wird durchgeführt, um Querschnitte oder Spannweiten vergrößern zu können. Holzwerkstoffe hingegen werden aus Brettern, Platten, Spänen oder Fasern in Kombination mit Verbindungsmitteln wie Klebern hergestellt. Durch das Fügen der einzelnen Komponenten lassen sich einzelne Eigenschaften des Holzes verbessern oder verstärken. Solche Kombinationsmaterialien sind mit dafür verantwortlich, dass aus Holz heute hochbeanspruchbare Bauteile gefertigt werden können, welche essenziell für die Expansion mit dem Baustoff in die Vertikale verantwortlich sind. Durch den Zusatz von Bindemitteln oder Klebstoffen können Eigenschaften wie das Brandverhalten, die Fechteregulation oder das Tragverhalten stark beeinflusst werden.⁸³ Ein großer Nachteil dieser

⁸² Steiger, et al; Holzbau; 2020; Seite 9

⁸³ Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 18

hochverarbeiteten Baustoffe ist jedoch, dass ein Recycling deutlich schwerer umsetzbar ist, da es sich hierbei nicht um sortenrein trennbare Baustoffe handelt.⁸⁴ Neben der Herstellungsweise ist natürlich die Art des eingesetzten Holzes ein entscheidender Faktor, welcher unterschiedliche Eigenschaften mit sich bringt. Hier ist die Entscheidung zwischen Laubholz und Nadelholz entscheidend, da sich deren Struktur stark unterscheidet. Für eine klimagerechtere Architektur und den durch den Klimawandel befeuerten Umbau unserer Wälder sollten Laubbäume in eignen Jahren vermehrt im konstruktiven Holzbau mitgedacht werden. Zusätzlich zu diesen recht allgemeinen Unterscheidungen sollten weitere Themen wie Rohdichte, Biegefestigkeit, Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, Wärmeleitfähigkeit und Treibhauspotenzial nicht außer Acht gelassen werden.⁸⁵ Klassischerweise werden im konstruktiven Holzbau Nadelhölzer (NH) wie Kiefer und Fichte eingesetzt. Für stark auf Druck beanspruchte oder gedübelte Holzprodukte werden meist Eiche oder Buche verwendet, welche zur Gruppe der Laubhölzer (LH) zählen. Für besonders beanspruchte Oberflächen mit hohen Anforderungen sind Hölzer wie Eiche, aber auch exotischere Hölzer wie Teak, Afzelia oder Greenhart in Benutzung.⁸⁶

Baurundholz

Baurundholz bezeichnet entästete, entrindete und rundgeschälte Baumstämme, welche auf die gewünschte Dimension abgelängt wurden. Rundholz wird heutzutage hauptsächlich als Pfosten, Rampaufahl oder Stütze eingesetzt und ist in der breiten Masse der Holzarchitektur eher unüblich. Es kann aus den meisten Nadelhölzern hergestellt werden.⁸⁷

Bauschnittholz

Bauschnittholz ist ein Produkt, welches als Vollholzmaterial entweder aus Nadel-, oder Laubholz als stabförmiger Baustoff herausgeschnitten wird. Das Holz ist jeweils abhängig von der Qualität des Basismaterials, also des herangezogenen Baumes. Dieser entscheidet auch über die maximalen Abmessungen des Produkts, da es weder chemisch noch chemisch-mechanisch nachbearbeitet wird. Das Bauschnittholz wird durch maschinelles Sägen parallel zur Stammachse aus einem Rundholz gefertigt. Es gibt verschiedene Qualitätsstufen, welche von Sägerau bis hin zu diversen Hobelfeinen reichen und nach DIN 4074 im Vorfeld festzulegen sind. Je nach Querschnitt des finalen Produkts, spricht man von Kantholz, Balken, Bohle, Brett oder Latte.⁸⁸

Konstruktionsvollholz

Auch Konstruktionsvollholz ist ein Bauschnittholz-Produkt, welches höhere Qualitätsanforderungen an das Material stellt. Die Kurzfassung des Konstruktionsvollholzes „KVH“ ist eine geschützte Produktbezeichnung für Bauholz, welches spezielle Eigenschaften im Sinne der DIN 4074 aufweist. Hierzu gehören eine einzuhaltende Holzfeuchte von 15 Prozent, welche maximal drei Prozent abweichen darf, als auch die Maßgenauigkeit des Querschnittes mit einer maximalen Toleranz von einem Millimeter. Auch die Einschnittart ist definiert, dies bedeutet, das Material kann als herzgetrennt oder herzfrei bestellt werden. Der Unterschied der beiden Schnittarten ist

in Abbildung 24 dargestellt.

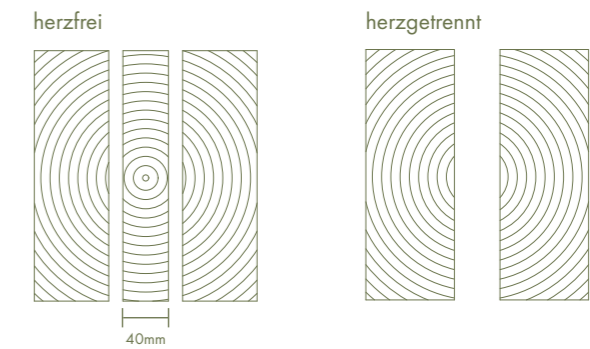


Abb.24 Einschnittarten bei Konstruktionsvollholz

Bei KVH wird des Weiteren zwischen zwei Qualitäten unterschieden. KVH Si ist für den sichtbaren Einbau gedacht und hat eine saubere Oberflächenbeschaffenheit, wo hingegen KVH NSi für den nicht sichtbaren Einbau vorgesehen ist. KVH kann durch Keilverzinkung einzelner Stücke in deutlich längeren Bauteilen geliefert werden.⁸⁹

Lagenholz

Durch Fügung mehrere gehobelter Lagen Holz kann eine deutlich größere Vielzahl an Querschnitten erreicht werden. Lagenholz, welches meist aus Fichte erzeugt wird, unterteilt sich in zwei Kategorien, das Balkenschichtholz (BASH) und das Brettschichtholz (BSH). Das Balkenschichtholz gibt es mit zwei Lagen als Duo-Balken oder als dreischichtigen Aufbau als Trio-Schichtbalken. Durch die Fügung einzelner Kanthölzer wird ein höherer Querschnitt des Balkens erreicht, wobei die einzelnen Schichten untereinander ebenso keilverzinkt sein können. Der deutlich häufigere Einsatz von Lagenholz im Ingenieurholzbau ist das Brettschichtholz. BSH setzt sich aus mindestens drei faserparallel miteinander verklebten Brettern zusammen, welche gepresst und technisch getrocknet wurden und so eine Einheit bilden. Maximale Abmessungen des BSH können, je nach Herstellungsmethode und herstellendem Betrieb, bis zu drei Metern Höhe, bis zu dreißig Zentimetern Breite und Längen von bis zu sechzig Metern haben. Beim Aufbau von BSH wird in verschiedene Aufbauklassen unterschieden. Dies bezieht sich einerseits auf die Festigkeit der verbauten Lamellen, welche beim kombinierten BSH(c) in die Klassen 1 und 2 kategorisiert werden, als auch auf den Aufbau selbst und wie die einzelnen Lamellen miteinander verbunden sind. Die verschiedenen Arten der Fügung sind in der Abbildung 25 ersichtlich.⁹⁰

Holzwerkstoffe

Holzwerkstoffe ist ein Sammelbegriff für alle Produkte, die aus kleinteiligem Holz wie Brettern, Platten, Spänen oder Fasern hergestellt werden. Dies hat einerseits den Vorteil, dass im modernen Ingenieurholzbau Produkte zur Verfügung stehen, in denen einzelne Qualitäten des Materials herausgearbeitet und verbessert wurden, um höheren Belastungen standhalten zu können.⁹¹ Andererseits wird durch diese Art der Produkte auch eine Ressourcenschonung umgesetzt, die auf Verwendung von ehemals als Abfall bezeichneten Produkten wie Späne und Fasern setzt. Durch das Fügen einzelner Holzbestandteile ist der Einsatz von Bindemitteln wie Kunstharzen

⁸⁴ Hebel, Dirk, Sortenrein Bauen : Methode, Material, Konstruktion; 2023. Seite 21

⁸⁵ Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 18

⁸⁶ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 19

⁸⁷ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 21

⁸⁸ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 21

⁸⁹ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 22

⁹⁰ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 24

⁹¹ Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 18

oder mineralischen Bindemitteln zwingend notwendig, was sich stark negativ auf die CO₂-Bilanz der Produkte auswirkt und ebenso bei Rückbau und Recycling zum Problem wird, da die Materialien keinem biotischen Kreislauf zugeführt werden können.⁹² Holzwerkstoffe, welche im Bau eingesetzt werden können, werden nach DIN EN 13986 in sieben Kategorien unterteilt: Massivholzplatten (SWP), Furnierschichtholzplatten (LVL), Sperrholz, OSB-Platten, Spanplatten, welche durch Kunstharz oder mineralisch gebunden wurden, Faserplatten nach dem Nassverfahren und Platten nach dem Trockenverfahren. Je nach Einsatz kann hier die passende Produktkategorie gewählt werden, welche innerhalb jeder Kategorie einige Spielräume bietet, um zu sehen, für was das Material bestimmt ist.⁹³



Abb.25 Brettchichtholzquerschnitte

Strukturholzbauteile

Technische Innovation und Weiterentwicklung des Baustoffes haben das Holz nach der Jahrtausendwende verändert. Bekanntes wurde weiterentwickelt und technisch aufgewertet, sodass der Holzbau durch konstruktive Innovationen vorangebracht werden konnte. Den größten Wandel hier bewirkte die Einführung des Brettsperrholzes sowie verschiedener Furniertechniken. Neue Bauprozesse durch das Vorfertigen und die Just-in-Time-Produktion befeuerten den Wandel noch weiter und machten Holz zu einem Millimeter genauem, vorgefertigtem System, welches kurze Bauzeiten auf der jeweiligen Baustelle förderte.⁹⁴ Moderner Holzbau kennt viele Systeme und Bauteile, meist in Form von flächigen Plattenbauteilen, welche weitestgehend als Elemente fungieren. Nicht nur die einzelnen Bauteile sind von Belang, sondern deren Fügung miteinander. So können linearen Beanspruchungen jedes Bauteils ausnutzen, wo hingegen ein Verbund eines Stabwerks in Verbindung mit einer Beplankung eine Scheibenwirkung erzielen kann. Das Fügen unterschiedlicher Bauteile ist längst im Zentrum der Bauindustrie angekommen und schafft verschiedenste Bauteile, die je nach Anforderung anders ausgeführt werden können. Eine reine Trennung der Idee des Rahmen/Tafelbau,- Skelettbau,- und Massivbaus ist hierbei kaum mehr möglich, da die Systeme in ihrer Fusion die besten Eigenschaften ausspielen können. Eine Kombination der Materialien ist ebenso be-

reits längst üblich. Besonders in Deckenkonstruktionen werden hier sinnvolle Symbiosen eingegangen.⁹⁵ Wie genau die verschiedenen Bautechniken miteinander kombiniert werden können, wird in Abbildung 26 behandelt. Als aussteifende Maßnahme wird im Atlas für mehrgeschossigen Holzbau beschrieben, dass für Bauwerke mit maximal drei Geschossen oder etwa sieben Metern Bauhöhe die aussteifende Wirkung von Holzbeplankung sowie darüber liegendem Trockenbau dem Bauwerk ausreichende Steifigkeit zur Verfügung stellt. Für Bauwerke, die über dieses Maß hinausgehen, sollten je nach Einbausituation Auskreuzungen aus Stahl, Brettstapelwänden oder Betonwänden als aussteifendes Element mitgedacht werden.⁹⁶

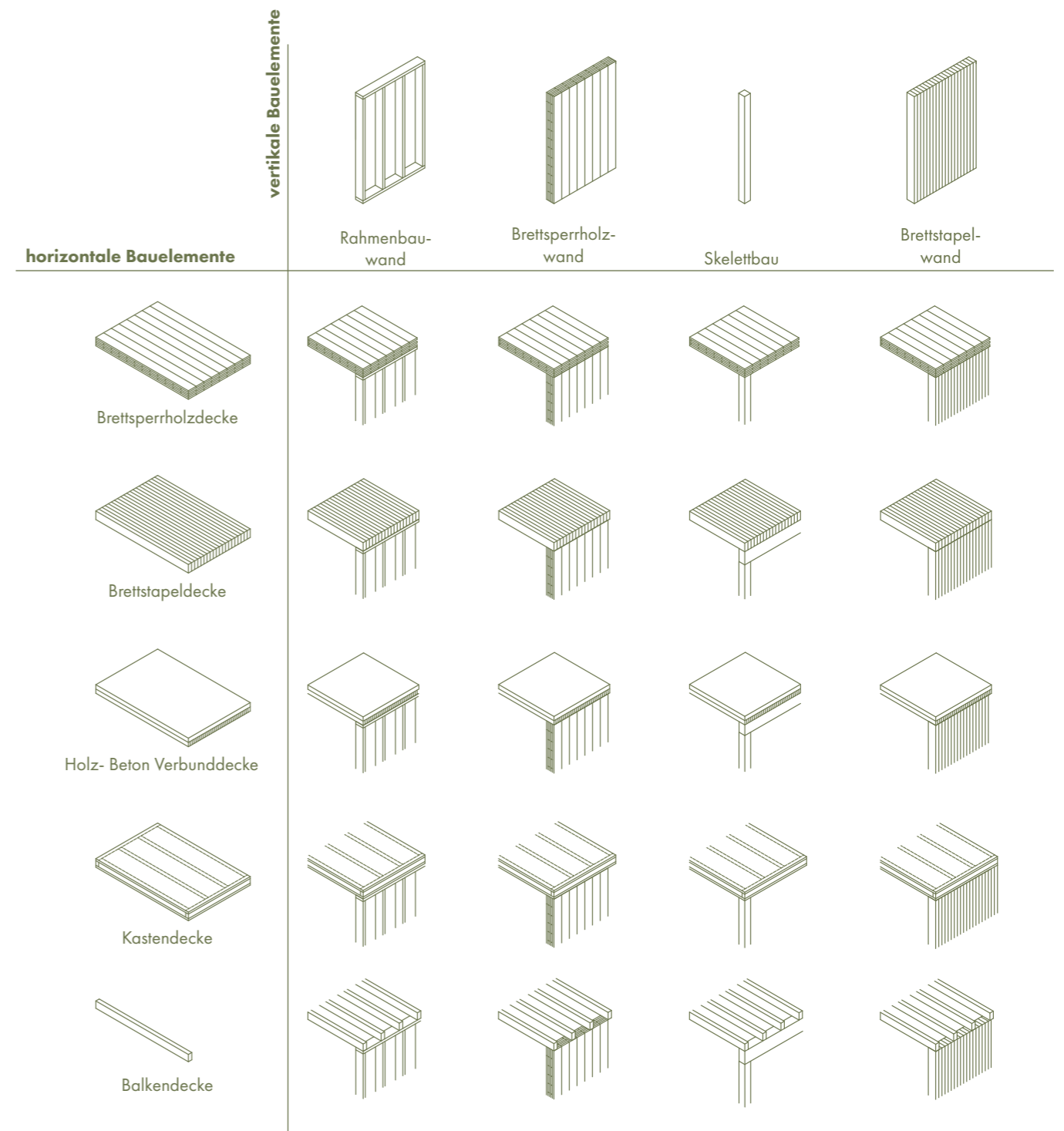


Abb.26 Strukturholzbauteile

⁹² Hebel, Dirk, Sortenrein Bauen : Methode, Material, Konstruktion; 2023. Seite 21
⁹³ Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte; 2018; Seite 25
⁹⁴ Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 42
⁹⁵ Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 45
⁹⁶ Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 50

Lehm

Wenn man Ressourcenschonung und Recyclbarkeit noch weiterdenken möchte, stößt man zwangsläufig auf diesen Baustoff. Er ist anders als Holz, nicht nur nach sortenreiner Abtragung erneut mit Feuchtigkeit versetzbar, sondern ist auch in der vorgefertigten Dimension erneut einsetzbar. Außerdem kann dieser in jede beliebige Form oder Struktur verändert werden, ohne an Tragfestigkeit oder Struktur eingeschränkt zu sein. Sobald der Lehm bei der neuen Anwendung getrocknet ist, bietet er exakt dieselbe Festigkeit und Dauerhaftigkeit wie bei jedem Einsatz zuvor. Sollte der Lehm kein weiteres Mal benötigt werden, kann er ohne Probleme in die Natur zurückgeführt werden.⁹⁷ Im diesem Sinne ist Lehm das einzige heute genutzte Material, welches zu hundert Prozent recycelt werden kann und lediglich auf Zeit von der Natur geliehen wird, um es am Ende wieder an diese zurückzuführen. Seit Ende des 19. Jahrhunderts wurde Lehm von industriell verarbeiteten Produkten immer mehr verdrängt und geriet so in Vergessenheit. Auch das Ende des Zweiten Weltkriegs war ein großer Auslöser, mit Schnellgebaudem aus Beton und Zement die Kriegszerstörung vergessen zu lassen. Es wurde rational und günstig gebaut, und so ist es meist bis heute. In den 1970er Jahren wurde die damals geltende DIN-Normierung für Lehm zurückgezogen. Dies war der endgültige Todesstoß, da Lehm als Baustoff, welcher für den Einsatz in der breiten Masse ohne Sondergenehmigung einer Norm bedurfte, nicht mehr eingesetzt werden konnte. Erst 2013 wurden in Deutschland die neue DIN-Norm verabschiedet, welche endlich wieder den Weg für Lehmprodukte im Bau ebneten.⁹⁸

Geschichte des Lehmbaus

Lehmbau hat eine lange Tradition in der Welt des Bauens. Die Geschichte des Lehmbaus geht bis 9000 Jahre in die Vergangenheit zurück. In den damaligen Kulturen wurde Lehm jedoch nicht alleinig für den Bau von Wohngebäuden genutzt, sondern für Bauwerke aller Art. So wurden Kulturbauten wie auch Befestigungsanlagen aus diesem Baustoff errichtet. Besonders in holzarmen Regionen wurde das Material oft eingesetzt, und es entwickelten sich unzählbare Bauformen von einfachen Ziegeln bis hin zu komplexen Gewölbestrukturen, welche ohne den Einsatz von Holz ein Dach über dem Kopf boten.⁹⁹ Ein weiterer wichtiger Aspekt war, dass durch den Einsatz Masse in das Gebäude eingebracht wurde, was als Schutz ge-

⁹⁷ Schroeder; Lehmbau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 2

⁹⁸ Dachverband Lehm e.V.; Verbraucherinformation; 2014; Seite 2

⁹⁹ Minke; Handbuch Lehmbau : Baustoffkunde, Techniken,Lehmarchitektur; 2022; Seite 8

gen die starke Hitze der Sonneneinstrahlung diene.¹⁰⁰ Besonders in regenarmen und heißen Gebieten der Welt ist der Lehm- bau bis heute stark verbreitet. Noch heute leben ein Drittel aller Menschen weltweit in Gebäuden, welche aus Lehm errichtet wurden. Dies kommt besonders in sozial und wirtschaftlich schwächeren Regionen zum Tragen.¹⁰¹ Aber nicht nur in weit entfernten Gebieten ist das Material zu finden. Auch in Deutschland ist der Einsatz des Materials seit der Bronzezeit belegt. Die sich vor etwa acht Jahrtausend ansiedelnden Menschen mussten jedoch den Bau mit Lehm den geografischen Gegebenheiten grundlegend anpassen. In Deutschland war es nicht der Sonnenschutz, der die Gebäudeform bestimmen sollte, sondern Kälte und insbesondere Niederschlag machte den Lehm- bauwerken zu schaffen. Durch Ausgrabungen lassen sich heutzutage etwa viertausend Jahre alte, lange Gebäude feststellen, welche den Lehm durch eine Holzkonstruktion statisch gestützt einsetzen. Durch einen starken Überstand des mit Stroh bedeckten Daches wurde der Lehm zusätzlich vor Regen geschützt. Aus diesen Bauwerken entstanden mit der Zeit lastabtragende Wellerlehmstrukturen sowie erste Stampflehmfundamente. Stampflehm als schalungsgebundene Wandstruktur setzte sich in Deutschland im achtzehnten Jahrhundert durch.¹⁰² Ab dem zwölften Jahrhundert begann eine stetige Verdichtung der Siedlungsstruktur, und als Folge mangelnder Bau- plätze musste erstmals in die Höhe expandiert werden. Stadtbrände und ein rapider Bevölkerungsanstieg führten zu einer Holzknapp- heit und zu einem rapiden Anstieg der Verwendung von Lehm. Im Jahre 1560 wurde in der Forst- und Holzordnung festgelegt, dass aufgrund der Knappheit von Holz und verheerender Brände das Erdgeschoss eines jeden Bauwerkes in Stein oder Lehm- bauweise zu sein hat.¹⁰³ Im Mittelalter wurde Lehm außerdem für die Ausfachung von Fachwerkstrukturen herangezogen, da dieser eine dämmende und isolierende Wirkung hatte. Auch das Verputzen von Wänden oder Strohdächern zur Steigerung des Brandschutzes war üblich. Technische Fortschritte in der Entwicklung von Maschinen und Ver- arbeitungstechniken, sowie die deutlich einfachere Möglichkeit, Öfen mit hoher Temperatur zu erschaffen, verdrängten langsam aber sicher Lehm als Baustoff mit dem Beginn des neunzehnten Jahrhunderts.¹⁰⁴ Lehm erlebte eine kurze Renaissance nach dem ersten, aber besonders nach dem zweiten Weltkrieg. Geld und Ressourcen waren knapp und viele Menschen waren obdachlos. Besonders in der damaligen DDR herrschten prekäre Situationen. Die schnell und günstig errichteten Nachkriegsbauten förderten aber leider nicht den Baustoff Lehm, da sie das Image des Materials durch die schlechte und schnelle Bauweise damit eher schwächten. Ab dem Jahr 1950 wurde nahezu dreißig Jahre kein einziges Lehm- haus mehr errichtet bzw. bei einer der 17 staatlichen Prüfstellen für Lehm- bau eingereicht. Erst in den 1980er Jahren, mit Ansteigen des ökologischen Bewusstseins der Bevölkerung, wurde Lehm zumindest wieder in Betracht gezogen. Viel damit gebaut, wurde dennoch lange Zeit nicht.¹⁰⁵

Das älteste deutsche Lehmgebäude, welches leider vor wenigen Jahren abgerissen wurde, war ein Wellerlehmhaus in Wülfershausen bei Arnstadt. Dieses Relikt geht auf das Jahr 1577 zurück und ist der eindeutige Beweis, dass auch in regenreichen Gebieten wie

¹⁰⁰ Schroeder; Lehm- bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 2
¹⁰¹ Minke; Handbuch Lehm- bau : Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchi- tektur; 2022; Seite 7
¹⁰² Schroeder; Lehm- bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 13
¹⁰³ Schroeder; Lehm- bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 15
¹⁰⁴ Schroeder; Lehm- bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 18
¹⁰⁵ Minke; Handbuch Lehm- bau : Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchi- tektur; 2022; Seite 11

Deutschland mit Lehm gebaute Architektur uns alle überdauern kann und wird.¹⁰⁶

Das Material

Lehm begegnet uns an vielen Orten der Welt. Es kann durch seine immense Verfügbarkeit als wichtigstes natürliches Baumaterial an- gesehen werden, das auf der Erde existiert.¹⁰⁷ Grundsätzlich handelt es sich bei Lehm um ein Verwitterungsprodukt feiner Gesteine. Es gibt Verwitterungslehme, welche auf Grund der lokal herrschenden Verwitterung vor Ort entstehen, und solche, die durch Wind, Eis oder Wasser umgelagert wurden. Diese werden unter den Begriffen Löß- lehm, Auelehm und Geschiebelehm subsumiert. Lehm besteht aus verschiedensten Körnungen: von den feinsten Partikeln, den Ton- mineralen, welche den Lehm bindig machen, über verschiedenste Steinkörnungen, bis hin zu Kiesgrößen.¹⁰⁸ In welchem Kontext wel- ches Produkt einsetzbar ist, wird in Abbildung 27 genauer erläutert.

| | Ungeformte Lehm- baustoffe | | | | | Geformte Lehm- baustoffe | | |
|-------------------|----------------------------|------------|-----------|------------|-----------------|--------------------------|------------|-------------|
| | Stampflehm | Wellerlehm | Strohlehm | Leichtlehm | Lehmschüttungen | Lehmmörtel | Lehmsteine | Lehmplatten |
| Fußboden | ● | | | | ● | | | |
| Wand tragend | ● | ● | | | | ● | ● | |
| Wand nichttragend | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ● |
| Decken und Dach | | | ● | ● | ● | | ● | ● |
| Trockenbau | | | | | | | ● | ● |
| Putz | | | ● | ● | | ● | | |

Abb.27 Verwendung von Lehm- baustoffen

Lehm bietet neben seinen Nachhaltigkeitsaspekten viele weitere po- sitive Eigenschaften, die eine wertige Architektur und so eine lange Halbwertszeit versprechen. Viele dieser Aspekte sind auf das Ver- hältnis von Lehm und Wasser zurückzuführen. Lehm trocknet, anders als gips- oder zementbasierte Baustoffe, nicht hydraulisch, sondern durch Lufttrocknung. Dies kann eine hohe Festigkeit des Materials erwirken und ist ebenso rückwärts anwendbar. So kann ein aus- gehärteter Lehm lediglich mit Wasser und Zeit in eine homogene, verarbeitete Masse zurückgeführt werden. Somit ist Lehm, sollte die- ser nicht durch Verunreinigungen verseucht sein, zeitlich unbegrenzt einsetzbar.¹⁰⁹ Auch im Innenraum kann man sich diese hohe kapil- lare Leitfähigkeit zu Nutze machen, um ein konstanteres Innenraum- klima zu ermöglichen.

Ähnlich wie in anderen Materialgruppen kann Lehm in verschie- denen Formen vielseitig eingesetzt werden, wobei hier, anders als beispielsweise Materialien aus der Gruppe der Zementbaustoffe, der Tiefbau ein wenig erforschetes und schwieriges Unterfangen ist. Lehm eignet sich daher hauptsächlich für Hochbauvorhaben.¹¹⁰ Im

¹⁰⁶ Schroeder; Lehm- bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 14
¹⁰⁷ Minke; Handbuch Lehm- bau : Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchi- tektur; 2022; Seite 7
¹⁰⁸ Dachverband Lehm e.V.; Verbraucherinformation; 2014; Seite 3
¹⁰⁹ Persönliche Korrespondenz mit Simon Breitenbach; Claytech; 12.09.2023; Interview in Kapitel 9

Folgenden werden die heutzutage gängigsten Materialien der Kategorie Lehm-massivbau erläutert und deren Einsatz im spezifischen Entwurf abgewägt. Materialien wie beispielsweise Wellerlehm wurden bewusst nicht behandelt, da diese keine Relevanz im Entwurf haben werden und im modernen Lehm-bau, außer in Sanierungsmaßnahmen, nicht eingesetzt werden.

Lehm im Massivbau

Lehm als massiver Erdbaustoff ist seit langem bekannt und wird seit jeher genutzt. Hier gibt es einige Formen, in denen Lehm eingesetzt werden kann. Lehm ist per se ein massives Material und ist darum in den meisten Anwendungsfällen auch als solches genutzt.

Lehmziegel

In Form von Grünlingen, also ungebrannten Ziegeln, verwendete man Lehm bereits seit langem. Hierfür wird aufbereitetes Material aus der Erde mit Wasser zu einer homogenen, erdfeuchten Masse verarbeitet. Meist finden sich ebenso natürliche Zuschläge wie Stroh oder Sägespäne im Material, um einer Rissbildung beim Trocknungsprozess vorzubeugen. Bei Lehmziegeln wird unterschieden, wie diese hergestellt werden. Formgeschlagene Ziegel werden aus lockerem Lehm in Modeln aus Holz oder Metall geschlagen, daher der Name, und erhalten so ihre Form. Stranggepresste Ziegel werden aus fetterem und kompakterem Lehm gepresst und nach der gewünschten Ziegelhöhe abgeschnitten. Als letzte Form der Herstellung sind formgepresste Ziegeln zu nennen. Hier wird halbfester Lehm maschinell in Modeln gepresst. Getrocknet wird jeder Ziegel, egal wie hergestellt, am besten an der Luft. Oft wird dies aufgrund von Zeitmangel oder Witterung durch künstliche Trocknung beschleunigt. Der Lehmziegel kann nun in nicht zu stark belasteten Wänden eingesetzt werden. Problematisch ist der Einsatz, sobald die Wand hohe Lasten abtragen muss oder der Witterung ausgesetzt wird.¹¹¹ Da die Ziegel nicht gebrannt werden, sind sie anfällig auf Feuchtelasten und sind meist nicht als Mauerwerk zugelassen. Selbst wenn ein Putz darüber geplant wurde, sollte dieser wetterseitig sein.¹¹² In vielen Regionen der Welt ist diese Art des Bauens bis heute allgegenwärtig. Durch ihre hohe Feuchtigkeitsempfindung werden diese Ziegel im europäischen Raum hauptsächlich im Innenraumbau verwendet, da sie hier durch ihre hohe Rohdichte sehr viel Masse auf sehr kleinem Raum in ein Gebäude bringen können. So können Temperaturspitzen deutlich abgefedert werden und sommerliche Überhitzungen vermieden werden. Im Innenraum kann man sich des Weiteren die Feuchteempfindlichkeit zu Nutzen machen, da die Ziegel neben der Speichermasse eine stark feuchtigkeitsregulierende Wirkung haben.

¹¹⁰ Dachverband Lehm e.V.; Verbraucherinformation; 2014; Seite 7

¹¹¹ Schroeder; Lehm-bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 205

¹¹² Claytech; Lehmsteine Anwendungsklasse II; 2023; Seite 2

Stampflehm

Stampflehm ist eine sehr besondere Art, das Material zu verarbeiten. Als Ausgangsmaterial wird ein magerer Lehm benötigt, welcher mit hohem Schotteranteil und anderen Zuschlägen zu einer relativ lose wirkenden Masse verarbeitet wird. Oft eignet sich sogar der Aushub der Baustelle selbst für das zu erstellende Bauvorhaben. Der so vorbereitete Lehm wird in Schichten von meist einigen Zentimetern in eine Schalung eingebracht und mittels Stampfen so lange verdichtet, bis die gewünschte Festigkeit erreicht wird, siehe hierfür Abbildung 28. Dies kann in kleinerem Maßstab händisch passieren. Im größeren Maßstab wird dies maschinell durchgeführt. Im fertigen Zustand hat Stampflehm eine Rohdichte von etwa zweitausend Kilogramm pro Kubikmeter und ist somit eines der schwersten Lehm-bauprodukte. Stampflehm ist aufgrund seiner Beschaffenheit, aber vor allem aufgrund der komplexen Verarbeitung für das spezifische Material, weniger für den Massenaufbau geeignet als viele andere Materialien. Als Kombinatbaustoff, in welchem Lehm die Masse zu einer beispielhaften Kombination mit Holz trägt, ist der Baustoff heute bereits gut einsetzbar und erprobt.

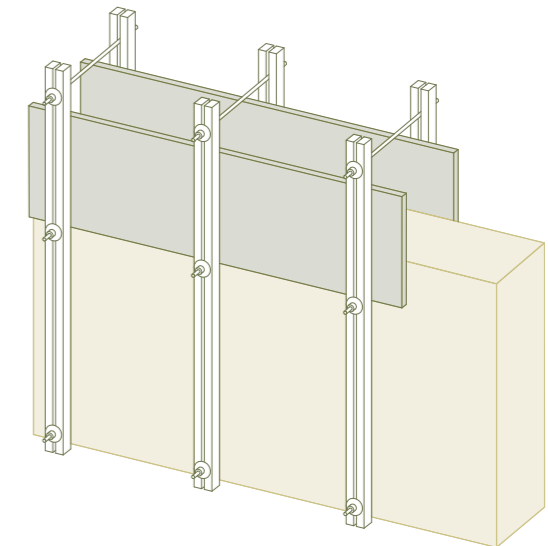


Abb.28 Erzeugung einer Stampflehmwand

Lehm als Deckenfüllmaterial

Aufgrund der grundsätzlichen Beschaffenheit eines Holzbaus ist Lehm hier als entscheidender Faktor zu sehen, Masse in das Gebäude zu bringen. Lehm-baustoffe kommen sowohl als Ziegel sowie als Kombinatbaustoff in einer Holzbalkendecke zum Einsatz. Durch die gute Speichermasse des Materials ist Lehm ebenso als Unterbodenaufbau in Form eines Estrichs oder einer Schüttung zum Einsatz. Hier ist ebenso die Kombination aus Lehm und einer Flächenheizung ein sinnvoller Einsatzzweck.¹¹³ Lehme-striche kämpfen momentan noch mit einigen Problemen, wo hingegen Lehmschüttungen im Geschossdeckeneinsatz bereits recht weit verbreitet sind. Lehmschüttungen werden in Leichtlehmschüttungen mit einem spezifischen Gewicht von 300-1200 kg/m³ und in klassische Lehmschüttungen unterteilt, welche ab 1200 kg/m³ zum Einsatz kommen. Bei sollte des Weiteren der Zusatzstoff Erwähnung finden, da dies dessen Brandschutz und Wärmeleitfähigkeiten mit beeinflussen

¹¹³ Schroeder; Lehm-bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 378

kann. Die gängigsten Zuschläge in diesem Segment sind Stroh oder Holzfasern. Lehmschüttungen werden mit der DIN 18945-48 beschrieben und eingeordnet.¹¹⁴

Lehm Trockenbau

Lehm ist oft nur als Material aus massiver Erde bekannt. In der modernen Lehmarchitektur macht dies dennoch nur einen Teil des vielseitigen Einsatzgebietes aus. Immer häufiger kommt Lehm heutzutage jedoch als Plattenmaterial oder als Oberflächenmaterial sowie als Putz zum Einsatz. Durch dessen Einsatz wird das Gebäude mit der nötigen Masse versorgt, was einer Auskühlung bzw. sommerlichen Überhitzung vorbeugen kann und viele Vorteile in brandschutztechnischen Belangen bietet.

Lehmbauplatten

Beim Innenausbau mit Lehmplatten muss zwischen Bekleidung und Beplankung unterschieden werden. Die Beplankung versteht sich als konstruktive Maßnahme und wird in der Regel auf eine Lattenunterkonstruktion aufgebracht. Die Bekleidung wird auf einen flächigen Untergrund, meist durch Verkleben oder Klammern, aufgebracht. Klassische Lehmbauplatten sind bereits seit knapp dreißig Jahren im Handel verfügbar. Ganz klassisch wird mit Hilfe von Schilfmatten im Kern sowie Jutematten als Oberflächenstruktur eine Plattenkonstruktion geschaffen, die dem auf den Kern aufgebrachten Lehm viel Haltbarkeit und Widerstand bietet. Die Masse dieser Art von Platten liegt bei etwa 700kg/m³. Diverse Hersteller bieten jedoch auch Produkte an, welche bis zu 1500kg/m³ auf die Waage bringen können. Die Platten werden entweder stumpf oder mit einem Nut- und-Feder-Prinzip verlegt.¹¹⁵

Die vorgefertigten Lehm-trockenbauplatten, welche mit einer Abmessung von 120x62,5cm meist den Maßen der heutigen Trockenbauplatten nachempfunden sind, können entweder auf eine Metall- oder Holzunterkonstruktion aufgebracht werden.¹¹⁶ Hierfür hat Claytech einige bereits geprüfte Aufbauten entwickelt, welche in Abbildung 29 gezeigt werden.

Trotz des deutlich weiter verbreiteten Einsatzes von Metallprofilen als Trägerkonstruktion wird im Sinne des gesamten Projekts hierbei auf die Holzunterkonstruktion zurückgegriffen. Die für das Projekt favorisierten Lehmbauplatten von Claytech wurden unter anderem ausgewählt, da diese die ersten Lehmplatten sind, welche mit der DIN 4103-1 von der VHT Darmstadt auf Tragsicherheit geprüft und zertifiziert wurden, und zwar sowohl im geklammerten als auch im verschraubten Zustand und mit Unterkonstruktion aus Holz sowie Metallprofilen. Geschnitten werden die Platten anders als die herkömmlichen Trockenbauplatten. Die sauberste Verarbeitung geschieht mit einer Tauchsäge.¹¹⁷ Beim Anbringen ist des Weiteren auf die Ausrichtung der Platten zu achten, da diese, genauso wie herkömmliche Trockenbauplatten, eine Vorder- und Rückseite haben.




| Produkt | Baustoffklasse | Konstruktion | Wandaufbau | Gesamtdicke | Feuerwiderstandsklasse |
|-------------------------------------|----------------|---|---|-------------|------------------------|
| Claytech Lehmbauplatte D25 | B1 |  | UK: Holz 6x4cm Platte beidseitig einfach | ca. 120mm | F30 |
| Lehmbauplatte schwer (Lemix) D22 | A1 |  | UK: Holz 6x6cm Platte beidseitig einfach | ca. 120mm | EI45 (F30) |
| Lehmbauplatte schwer (Lemix) D22 | A1 |  | UK: Holz 8x6cm Platte beidseitig einfach | ca. 140mm | EI90 (F60) |

Abb.29 Geprüfte Innenwandaufbauten

Als Dämmstoff in Innenraumwänden werden Holzflexwolleplatten genutzt. Unter Holzflexwolle versteht man eine leichte und gut zu verarbeitende Holzwolleplatte, welche in die Zwischenräume der Trägerkonstruktion eingebracht wird. Für Elektroinstallationen wird eine Standard-Hohlwanddose verwendet, welche mit einem extra für Lehmwände entwickelten Hohlwanddosenthaler an die Trockenbauwand montiert wird. Nur so kann die von der VDI vorgeschriebene Zuglast, welche auf Steckdosen beim Herausziehen eines Steckers ausgelöst wird, erfüllt werden.¹¹⁸ Um Lasten von Mobiliar wie Hängeschränken gut ablassen zu können, müssen keine Traversen oder ähnliche Unterkonstruktionen geschaffen werden. Sowohl die Firma Fischer (fischer DuoTec 10) als auch TOX (TOX Spagat Pro 8 mm) sowie Würth (Würth W-KDW) bieten ausreichende Tragkraft für solche Installationen.¹¹⁹ Auch in Sanitäreinrichtungen wie Bädern ist das Material gut geeignet, da es einen idealen Luftfeuchte-Ausgleich schafft und somit unter anderem Schimmel im Bad vermeiden kann. Direktem Wasser sollte das Material jedoch nicht ausgesetzt sein. Bereiche, die direktem Wasser ausgesetzt sind, wie beispielsweise der Bereich der Dusche oder die Spritzwasserzone am Waschbecken, müssen zusätzlich vor Wasser geschützt werden. Hierfür können sowohl eine Holzvertäfelung als auch Fliesen genutzt werden. Wichtig im Aufbau ist ebenso zu bedenken, dass so wie bei herkömmlichen Trockenbauplatten sowohl Nassestriche als auch sehr dicke Putzschichten nach dem Platteneinbau nicht mehr eingebracht werden dürfen.¹²⁰ Allgemein sollte die dauerhafte Feuchte einen Wert von siebenzig Prozent nicht überschreiten, um Probleme und Defekte an den Trockenbauplatten zu vermeiden. Bei herkömmlichen Trockenbauplatten ist dieser Wert mit maximal achtzig Prozent relativer Luftfeuchte etwas höher, sonst gelten jedoch weitestgehend dieselben Regeln bei der Verarbeitung.¹²¹

Fazit

Das Ziel einer zukunftsorientierten Architektur muss es sein, die vergangene Expertise der Materialkunde von Holz und Lehm zu revitalisieren und das Verlernte wieder neu zu erlernen, um ein besseres Morgen zu gestalten, ohne das bereits dagewesene außer Acht zu

¹¹⁴ Schroeder; Lehm-bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 184

¹¹⁵ Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 5

¹¹⁶ Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 9

¹¹⁷ Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 33

¹¹⁸ Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 38

¹¹⁹ Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 39

¹²⁰ Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 42

¹²¹ rigips; Baustellenbedingungen und entsprechende Baustellensicherung im Trockenbau mit rigips; 2023; rigips.de

lassen. Traditionelle Techniken und Baustoffe, gepaart mit moderner Technik, sichern eine nachhaltige, gut durchdachte und zukunftsfähige Bausubstanz. Der Lebenszyklus der Architektur sollte nicht mehr auf die heutzutage klassischen fünfzig Jahre gesetzt werden, sondern darauf setzen, so lange wie nur möglich den Bestand zu erhalten und weiterzuentwickeln, um Bauwerke zu errichten, welche unsere und die kommenden Generationen überdauern können. Die Symbiose der beiden Materialien deckt ein breites Spektrum an Anforderungen des modernen Bauprozesses ab. Durch den Einsatz von Holz können leichte Tragstrukturen, welche hohe statische Anforderungen erfüllen können, sowie gute Spannweiten, die erreicht werden können, erzeugt werden. Durch den Einsatz von Lehm können brandschutztechnische Probleme des reinen Holzbaus in größeren Strukturen vernachlässigt werden. Fehlende Masse im Bauwerk wird zudem ökologisch kompensiert und eine behagliche Raumstruktur kann erzeugt werden, durch sich selbst ausgleichende Luftfeuchte und bessere Luftqualität im bewohnten Innenraum.

Dämmung

Regulär im Wohnbau eingesetzte Dämmmaterialien vereint ein großes Problem. Sie sind zum Großteil auf Basis mineralölbasierter Baustoffe. Hier wären vor allem verschiedene Kunststoffprodukte wie beispielsweise EPS und, wo benötigt, XPS zu nennen. Diese Dämmstoffe entsprechen nicht dem Anspruch des Entwurfes, so klimafreundlich wie möglich zu sein. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass ein Dämmstoff, sollte er einmal verbaut worden sein, für Erüchtigung oder Reparatur nur überaus schwer zugänglich ist. Meist ist ein Austausch notwendig, und dies lohnt sich erst in großflächigeren Maßstäben. Qualität und Langlebigkeit sollten bei Dämmmaterialien also ebenso mitgedacht werden wie deren CO₂-Ausstoß in der Produktion und in der Verwertung. Alle aus Kunststoff hergestellten Dämmstoffe werden heutzutage ausschließlich energetisch verwertet. In absehbarer Zeit wird das stoffliche Recycling von EPS und XPS zwar möglich sein, in welchem Umfang dies aber in der Realität stattfindet, vor allem mit dem Bewusstsein, dass nahezu alle Dämmstoffe dieser Art verklebt werden und somit nicht sortenrein rückbaubar sind, bleibt abzuwarten. Zwar gibt es hier erste Testbetriebe in den Niederlanden, aber auch diese schaffen es nach der Verwertung nicht, dieselbe Qualität des Materials nach dem Prozess aufrecht zu erhalten. Erste Produktprototypen zeigen, dass eine Beimischung von maximal dreißig Prozent dieses recycelten Materials das Endprodukt unverändert lassen. Alles darüber mindert die Eigenschaften der Wärmedämmung des Baustoffes.¹²² Bei Baustoffen auf natürlicher Basis beziehungsweise bei solchen, die lediglich mit natürlichen Komponenten gebunden wurden, kann nach dem Lebenszyklus zwar oft keine Weiternutzung mehr erreicht werden, da die Materialien nur eine bedingte Lebensdauer haben, sie bieten jedoch die Möglichkeit, biotische kompostiert zu werden.¹²³

| Gebäudeart | Bauaufsichtliche Anforderung nach LBO | Baustoffklasse nach DIN 4102-1 |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Niedrige Gebäude Gebäudeklasse 1-3 | normal entflammbar | B2 |
| Mittlere Gebäude Gebäudeklasse 4-5 | schwer entflammbar | B1 |

¹²² Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 86

¹²³ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 87

Abb.30 Brandschutzanforderung Dämmung

Holzfaserdämmplatten

Holzfaserplatten können im Nass,- und Trockenverfahren hergestellt werden, wobei hier unterschiedliche Schichtdicken erreicht werden können. Schichtdicken bis 240 Millimeter sind im Trockenverfahren ohne weitere Bindemittel möglich. Diese Art der Dämmplatten wird meist aus Resten der Holzproduktion und Sägewerke hergestellt. Als Bindemittel kann das holzeigene Lignin verwendet werden, was den Baustoff zu hundert Prozent sortenrein trennbar macht. Derzeit sind leider andere Zuschläge noch Standard, obwohl es bereits rein ligninbasierte Produkte auf dem Markt gibt. Durch die Kappilarkwirkung der Platte ist eine diffusionsoffene Bauweise möglich. Die Dämmplatten sind sowohl für den Innenausbau als auch für den witterungsgeschützten Außenbereich geeignet.¹²⁴ Ein Nachteil, welcher sich vor allem ab Gebäudeklasse drei bemerkbar macht, ist die Einordnung von Holzfaserdämmplatten in die Kategorie „normal entflammbar“ im Sinne des Brandschutzes der LBO, ersichtlich in Abbildung dreißig. Diese Einordnung teilt sich der Baustoff mit nahezu allen Naturmaterialien, mit denen gedämmt werden kann. Darum ist dieser sowie auch viele weitere als nachhaltig anzusehende Dämmstoffe wie Schafwolle, Schilf oder Zellulose für den Einsatz in raumabschließenden Wänden, Decken und Dächern in der Gebäudeklasse vier nicht erlaubt. Der Einsatz innerhalb einer Nutzungseinheit ist zulässig.¹²⁵ Im Jahr 2019 wurde eine Versuchsreihe angeordnet, welche herausfinden sollte, wie es möglich ist, Holzfasern in Kombination verschiedener Fassadensysteme in Gebäudeklasse vier und fünf einsetzen zu können. Primär wurde hier mit aufgeputzten Strukturen getestet, jedoch sind die Ergebnisse auf eine Struktur, welche mit Lehm verkleidet ist, weitestgehend übertragbar. Hierfür beauftragen das Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft und das Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe mit den Forschungspartnern TU Braunschweig und dem Fraunhofer-Institut, diese Versuchsreihe durchzuführen. In der Studie wurde eindeutig festgestellt, dass durch geringen Einsatz von Maßnahmen auch Holzfaserplatten in den zwei Gebäudeklassen eingesetzt werden könnten.¹²⁶ Hierzu wird im Endbericht formuliert:

„Das Brandverhalten der Fassade entspricht bei den durchgeführten Brandversuchen damit sogar eher dem einer nichtbrennbaren Fassade. [...] Die derzeitige Regelung der Landesbauordnungen, dass keine schwelenden (und damit normalentflammbaren) Dämmstoffe bei mehrgeschossigen Gebäuden verbaut werden dürfen, auch wenn das Gesamtsystem die Anforderungen an eine schwerentflammbare Außenwandbekleidung erfüllt, sind auf Grundlage der Forschungsergebnisse nicht mehr nachvollziehbar.“¹²⁷

Hierbei ist zu erwähnen, dass die Holzfaserplattendämmung auf der Gebäudeinnenhülle mit einem nicht brennbaren Dickschichtputz oder Plattenmaterial zu kapseln ist. Hierfür kommen neben herkömmlichen Produkten wie Gipskarton ebenso Lehmbauplatten in Frage.¹²⁸

Auf Grund dieser Aussage der forschenden Institute sowie deren gesamter Prüfung wird im Gebäude, welches sich bis zur Gebäude-

klasse vier entwickeln wird, soweit es möglich ist, mit Holzfaserdämmung gedämmt, auch wenn dies zum momentanen Zeitpunkt noch nicht die rechtlichen Anforderungen erfüllt.

Steinwolle

Für Bauwerke der Gebäudeklasse vier ist in allen Bauteilen, die entweder Gebäude,- oder Nutzungseinheitsabschließend sind, ein Dämmstoff einzusetzen, welcher nicht der Bauproduktkategorie normalentflammbar (B2) angehören darf. Alle dort eingesetzten Materialien müssen der Kategorie schwerentflammbar (B1) oder nicht brennbar (A) angehören.¹²⁹ Da, wie bereits beschrieben, viele Naturfaserdämmstoffe diese Anforderung nicht erfüllen können, muss zu einem anderen Bauprodukt gegriffen werden, sollte der Aufbau die rechtlichen Anforderungen der LBO erfüllen müssen. Mineralölbasierte Bauprodukte werden für den Entwurf kategorisch so weit wie nur möglich ausgeschlossen, da diese zum weitesten Teil deponiert werden müssen und sich ein Rückbau durch meist damit einhergehende Klebeverbindungen deutlich erschwert.¹³⁰ Steinwolle bietet hier die Möglichkeit, zumindest einen guten Schritt in die richtige Richtung zu machen. Das Material gehört zu den nichtbrennbaren Baustoffen und darf somit in jedem Bauvorhaben eingesetzt werden. Das Produkt bietet eine gute Wärmedämmung und Schalldämmung sowie eine diffusionsoffene Struktur. Ein weiterer Vorteil der Nutzung ist die gedübelte Bauweise ohne den Einsatz von Kleber. Die Platten können lediglich mechanisch durch Schraub,- und Steckverbindungen angebracht werden und sind somit sortenrein rückbaubar und recycelbar.¹³¹ Für die Produktion wird das in hoher Menge vorkommende Gestein Basalt herangezogen. Zudem kommt die zwar relativ energieintensive, aber endlose Recyclingschleife des Baustoffs. Durch erneutes Einschmelzen und Aufflocken können über 96 Prozent des Materials ohne Qualitätsminderung wieder zu Steinwolle werden. Ebenso bieten Firmen wie beispielsweise „Rockwool“ mit ihrem Konzept „Rockcycle“ nicht nur die Rücknahme des Baustellenverschnitts zur Wiederverwertung, sondern auch die gesamte verbaute Steinwolle nach Rückbau eines Bauwerks, um aus dem dort verwendeten Material erneut Steinwolle herzustellen. Dies wird in Deutschland bereits in drei Werken der Firma aktiv umgesetzt. Weitere Reyclingstätten sollen bis 2030 folgen.¹³²

¹²⁹ Deutsches Institut für Normung; DIN 4102-1 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1; 2023

¹³⁰ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 90

¹³¹ Rockwool; Vorgehängte hinterlüftete Fassade; 2023; rockwool.com

¹³² Rockwool; Abfallrücknahme-Service Rockcycle; 2023; rockwool.com

Haustechnik

Der Grundsatz einer ressourceneffizienten Haustechnikanlage muss es sein, dass diese in Herstellung und Betrieb so wenig Energie wie möglich benötigt. Durch intelligente und bewusste Planung können viele haustechnische Installationen gespart und/oder zurückgefahren werden.

Heizen | Kühlen

Da das System zukunftsorientierte Baustoffe und Materialien sowie Techniken einsetzt, kommen beim Thema Gebäudeheizung,- sowie Kühlung nur ein paar Systeme in Frage. Geothermie ist oft ein guter Ansatz, sich die Energie der Erde auf Eigengrund zu nutzen zu machen. Das im Modulsystem eingesetzte System wird auf Wärmepumpen in Kombination mit Flächenheizungen basieren, da der Ansatz der Geothermie in Deutschland leider momentan auf relative kleine Flächen und Anwendungsbereiche begrenzt ist und eines umfassenden Genehmigungsverfahrens bedarf. Im Entwurf werden sich ein paar weitere Vorteile der Konstruktion zu Nutzen gemacht. Hierzu gehört unter anderem die thermische Speichermasse des eingebrachten Lehms, welcher die Innenraumtemperatur bestens regeln kann. Dabei bringen Flächenheizsysteme, welche in Lehm verlegt wurden, noch mehr Vorteile mit sich als solche, die in Gipswänden verbaut wurden. Der Wirkungsgrad der abgegebenen Wärme im Verhältnis zur genutzten Energie liegt etwa dreißig Prozent höher als in vergleichbaren Kalkwänden oder Estrichböden. Des Weiteren gibt es auch bei hohen Vorlauftemperaturen keine Versprödung oder Risse im eingelassenen Material, da Lehm durch eingeschlossene Feuchte in der Wand die Wärme besser und gleichmäßiger verteilen kann als dies andere Systeme vermögen. Das verbaute System kann ebenso das gesamte Gebäude runterkühlen. Dafür wird in das System 16 Grad kaltes Wasser eingespeist, welches dann im Gebäude zirkuliert. Wichtig ist es in diesem Kontext nicht von Normkühlen zu sprechen, da dieses ein aktives Kühlen voraussetzen würde. In diesem Fall ist der richtige Terminus Ankühlen. Sobald die Wandheizung vom Heizungsbauer*innen verlegt wurde, wird diese auf Prüfungsdruck abgedrückt und unter Druck belassen, bis eine Inbetriebnahme erfolgt. Danach werden die Putzschichten aufgebracht bis auf die Dicke der darunter liegenden Heizungskonstruktion. Lehmputz sollte immer in mehreren Lagen aufgetragen

werden, da sonst Risse drohen. Bei einer üblichen Dicke von 25mm sollten dies etwa zwei bis drei Schichten sein. Sobald eine Ebene mit den Rohren erreicht ist, kann der Putz abgezogen werden und die Heizung zur Unterstützung des Trocknungsprozesses angefahren werden. Dies kann, muss aber wie bei anderen Materialien nicht sein, um Rissbildung zu vermeiden. Der Lehmputz ist so plastisch, dass hier keine Risse entstehen können. Somit kann zur Trocknung ebenso ein geführter Luftstrom zum Abtransport der anfallenden Feuchte schon ausreichend sein. Nach dem nahezu Durchtrocknen des Unterputzes wird eine weitere Lage Lehmputz auf die Wand aufgetragen. Diese Lage sollte eine Dicke von fünf bis zehn Millimetern aufweisen und auf die kalte Wand aufgetragen werden. In diese Putzschicht muss ein Bewehrungsgewebe eingearbeitet werden, welches bei Stoßfugen mindestens 25cm überlappt. Im entwickelten Projekt handelt es sich hier um ein Flachsgewebe. Sollte ein geringerer Anspruch an Nachhaltigkeit gestellt sein, kann jedoch auch ein Glasfasergewebe benutzt werden. Zum Abschluss wird die Wand mit einem Feinputz und gewünschter Farbe vollendet. Beim Aufbringen der letzten Schicht darf nicht geheizt werden, da das Material sonst zu schnell durchtrocknen würde. Das Konzept kann ebenso in Deckensysteme eingesetzt werden. Hierfür wird nach dem Verlegen keine Putzschicht, sondern eine weitere Lehmestrich oder Lehmschüttungsschicht eingebracht.¹³³

Wassermanagement

Der auf das Bauwerk und das Grundstück einwirkende Wassereintrag sollte, soweit möglich, gesammelt und/oder auf Eigengrund langsam versickern können, sofern nicht im Haus genutzt.¹³⁴ Dafür bestens geeignet ist das sogenannte Schwammstadtprinzip. Besonders durch die in größeren Städten entstehende, zunehmende Zahl an Extremwetterereignissen, ist Wassermanagement ein wichtiger Teil der Planung von Freiflächen und Versiegelungsflächen. Um diesen urbanen Hitzeinseln langfristig entgegenzuwirken, sollte die versiegelte Fläche auf ein geringstmögliches Maß herabgefahren werden. Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass die Wurzeln der bereits vorhandenen oder der eventuell hinzukommenden Bäume so geschützt werden, dass diese die aufkommende Wasserlast über einen langen Zeitraum hinweg aufnehmen können und langsam an den Boden abgeben. Hierfür ist ein Verzicht auf Bodenversiegelung und übermäßige beziehungsweise großflächige Verdichtung einzuhalten. So kann das Regenwasser der Natur zurückgegeben werden und wird von eben dieser so lange zurückgehalten, sodass weniger Probleme mit dem Ableiten des überschüssigen Wassers mittels der Kanalisation entstehen.¹³⁵ Trinkwasserqualität bietet meist lediglich das öffentliche Netz der städtischen Wasserwerke. Für alle weiteren Nutzungen des Wassers, bei denen ein geringer Anspruch herrscht, etwa für die Gartenwässerung oder die Spülung der WCs, kann durchaus ein Grauwasserauffangbecken, welches danach gereinigtes Wasser in diesen zweiten Wasserkreislauf leitet, angebracht werden. Dies führt zu einer merklichen Nutzwasserreduktion und leistet somit ebenso seinen Teil zur Ressourcenschonung.¹³⁶

Energie

Ein Grundprinzip ressourcenschonender Architektur ist es ebenso, dass der Einsatz regenerativer Energie, soweit diese verfügbar oder erzeugbar sind, im Fokus der Energienutzung stehen. Um die Gesamteffizienz eines Bauwerks zu maximieren, ist es wichtig, bereits in der Planungsphase all diese Aspekte zu berücksichtigen und eine ganzheitliche, integrative Herangehensweise an bautechnische und energetische Anlange der Gebäudestruktur zu verfolgen. Im besten Fall kann hier mit Erdwärme gearbeitet werden, da hier die anfallenden Emissionen gegen null gehen. Ungeachtet der Herkunft der Energie, muss ein intelligent steuerbares Heizungs,- Kühlungs-system eingesetzt werden, da dies einen großen Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch hat. Um den Einsatz der aufgewendeten Energie sowie des Wartungsaufwandes zu begrenzen, wird eine möglichst geringe technische Infrastruktur erzeugt. Weitere Maßnahmen, ab von energetischen Gesamtkonzepten, können auch durch Minimalinvasive Eingriffe erfolgen. Hierzu gehören Maßnahmen wie die klassische Umstellung auf LED-Leuchtmittel, aber auch die intelligente Nutzung von Endgeräten oder die zeitweise automatisierte Abschaltung gewisser Geräte.¹³⁷ Auch das Elektroauto kann neben seinem Nutzen als CO₂-armes Fortbewegungsmittel durch sogenanntes Überschussladen aus dem eigenen Hausnetz gespeist werden.¹³⁸ Durch das Erzeugen von Energie auf Eigengrund, beispielsweise durch das Anbringen von Photovoltaikanlagen, kann der Strom günstig erzeugt werden und bietet somit auch finanziell einen Mehrwert für die Bewohnenden.

¹³³ Claytech; Wandheizsysteme mit dicklagigen Lehmputzen – WEM Flächenheizung & CLAYTEC; 2022; youtube.com

¹³⁴ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 13

¹³⁵ Stadt Wien; Schwammstadt-Prinzip macht Bäume für den Klimawandel fit; 2023; wien.gv.at

¹³⁶ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 13

¹³⁷ Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 13

¹³⁸ ÖAMTC; Überschussladen mit Photovoltaik; 2023; oeamtc.at

Brandschutz

Ein gut ausgeführter Brandschutz ist, vor allem im Holzbau, ein essenzieller Teil einer guten Planung. Laut dem Ministeriumssprecher Ruckdäschel ist einer der Hauptgründe für den langsamen Fortschritt in der Freigabe von Holzbauvorhaben, welche höher als durch die Einordnung Gebäudeklasse drei beschrieben werden können, die grundsätzlich kritische Haltung zum Brandschutz des Materials in Bayerns Ministerien. Der grundsätzliche Brandschutz kann hierbei in zwei Kategorien und vier Unterkategorien unterteilt werden, welche gemeinsam ein Brandschutzkonzept nach § 14 Brandschutz MBO formen. Unter dem abwehrenden Brandschutz versteht man eine Hilfe durch die Feuerwehr oder den Bewohnenden selbst. Hierzu gehören Überlegungen zur Löschwasserversorgung oder Rückhaltung, auf welchen Flächen die Feuerwehr an das Gebäude heranzufahren kann, um es bestmöglich zu löschen, aber auch die Erstellung eines Feuerwehrplans. Die anderen drei Unterkategorien lassen sich unter dem Begriff vorbeugender Brandschutz subsumieren. Hierzu gehört der bauliche Brandschutz. Dieser umfasst die Einhaltung geltender Normen bezüglich Feuerwiderstandsfähigkeit von Aufbauten, die Einhaltung der erlaubten Brennbarkeitsklassifizierungen der Materialien für das Bauvorhaben sowie die Bildung von Brandabschnitten. Als zweiter Unterpunkt ist der anlagentechnische Brandschutz anzuführen. Dies handelt technische Rahmenbedingungen im Kampf gegen Feuer ab. Hierzu zählen eine Brandmeldeanlage, Sprinkleranlagen, brandschutztechnische Einrichtungen wie Wandhydranten oder Sicherheitsmaßen sowie Notstromversorgung und Beleuchtung. Als letzte Unterkategorie gibt es noch den organisatorischen Brandschutz. Hierbei gilt es, eine möglichst gut koordinierte Situation während eines Brandfalls zu ermöglichen. Darunter fallen die Bereitstellung von Kleinlöschgeräten wie Feuerlöschern, die Kennzeichnung von Rettungswegen sowie die Schulung des Personals bezüglich Verhalten im Brandfall und eventuelle Evakuierungsmöglichkeiten.¹³⁹

Nach § 67 MBO sind Abweichungen von der allgemein geltenden Musterbauverordnung möglich, wenn diese durch die Bauaufsichtsbehörde genehmigt werden. Hierfür können zwar einzelne Punkte des Brandschutzes verändert werden, müssen an anderer Stelle jedoch durch Aufbesserung anderer Brandschutzmaßnahmen kompensiert werden. So könnte beispielsweise ein K260-Kapselkriterium auf ein K230-Kriterium abgeschwächt werden, um wirtschaftlicher bauen zu können, mit der Kompensation die technische Brandanlage weiter auszubauen, als es nötig gewesen wäre, um früher einen

¹³⁹ Knauf, Trockenbau: Basis, Verarbeitung; Gestaltungsmöglichkeiten; 2023; knauf.com

Brandfall melden zu können.¹⁴⁰

In Deutschland gibt es unter Punkt 4.2 der amtlichen Mitteilung MHolzBauRL Nr. 4/21.06.2021 die Anforderung, dass zwar Holzbauteile der GK vier in Holzrahmen-, - oder Holztafelbauweise ausgeführt werden dürfen, sofern diese

„Bauteile allseitig mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nicht brennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung, siehe Abschnitt 4.2) versehen werden [...]. Sie müssen als tragende raumabschließende Bauteile einen Nachweis über die Feuerwiderstandsfähigkeit von mindestens 60 Minuten haben.“¹⁴¹

Des Weiteren muss erwähnt werden, dass die MHolzBauRL Beplankungen beschreibt, welche für den Einsatz der Kapselung geeignet und zulässig sind. Für eine K260-Kapselung wird genau ein Material erwähnt, welches laut dem Ministerium hier eingesetzt werden kann. Eine aufgedoppelte 18 Millimeter Gipsfaserplatte mitsamt Vorgabe zu Befestigungsmitteln und Fugen. Nach der Verordnung ist dies die einzige Möglichkeit der Ausführung. Weitere Möglichkeiten und Materialien wie Lehm- oder Gipsplatten bleiben unerwähnt.

Der Brandschutz von Lehm- oder Gipsbaustoffen ist hier hingegen relativ einfach gestaltet. Sollten im Lehm ausschließlich mineralische Materialien wie Sand oder Kies zugefügt werden, gilt dieser nach DIN 18945-48 als Baustoff der Klasse A1 und gilt somit als „nicht-brennbar“. Bei Zuschlägen organischen Ursprungs wie Stroh, Sägespäne oder Korkschröten dürfen diese nicht mehr als ein Prozent der Masse des Materials ausmachen. Sollte dieser Wert überschritten werden, muss eine Einzelprüfung des Unternehmens vollzogen werden, um eine Brandschutzklassifizierung nachzuweisen.¹⁴²

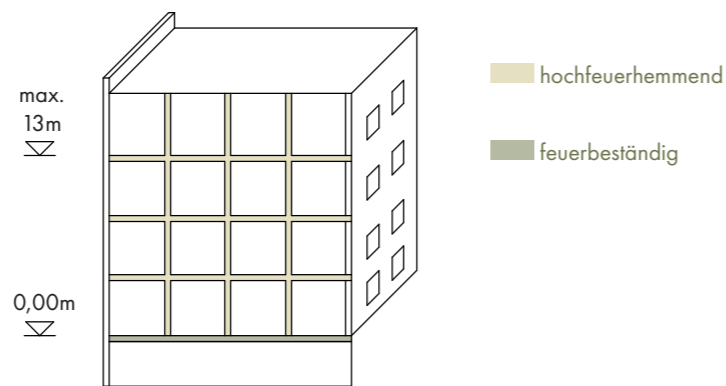


Abb.31 Brandschutz in Gebäudeklasse vier

Befindet sich das zu planende Gebäude in Gebäudeklasse vier, bedeutet dies in Bayern eine maximale Größe pro Nutzungseinheit von 400m². Des Weiteren ist eine maximale Höhe von 13 Metern einzuhalten. Diese bezieht sich auf das Maß der Fußbodenoberkante des obersten Geschosses, in dem sich Aufenthaltsräume befinden. Gemessen wird dies im Mittel der Geländeoberflächenkante des zu bebauenden Grundstücks, wie in Abbildung 31 erläutert. Bei der Einordnung des Bauwerkes ist es irrelevant, in welcher Nutzungskategorie dieses sich wiederfindet. Die Einordnung des Bauwerkes in

die Gebäudeklassen, hier maximal in Gebäudeklasse vier, bestimmt die Wahl der Materialien, also deren materielle Anforderungen, sowie deren Brandwiderstandsverhalten.¹⁴³

Exkurs ins Inland

Andere Länder, aber ebenso andere Bundesländer Deutschlands, haben im Kontext des Brandschutzes des Holzbaus jedoch andere Ansichten. Als Paradebeispiel geht hier das Bundesland Baden-Württemberg voran und beschloss mit der Neufassung der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VwV TB BaWü) eine weitreichende Vereinfachung und Konkretisierung des Baustoffes Holz in den Gebäudeklassen vier und fünf. Hier wird in der Anlage A2.2/BW2 unter Ziffer 2.2 eindeutig festgelegt, dass neben dem Kapseln der Bauteile eine durch ein bauaufsichtliches Prüfungszeugnis erstellte Dimensionierung auf Abbrand möglich ist.¹⁴⁴ Insgesamt lässt sich festhalten, dass in Deutschland und hier besonders in einigen Bundesländern, darunter Bayern, die Regeln bezüglich des Einsatzes von Holz in sehr engen Grenzen gehalten werden. Auf Nachfrage beim Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr wurde auf die Frage, wieso der Baustoff in Bayern so reglementiert ist, folgendermaßen argumentiert:

„Wie gebaut werden darf, also das gesamte Bauordnungsrecht, ist Ländersache. Wir haben aus gutem Grund in Deutschland einen Föderalismus [...]. Gleichzeitig gibt es hier natürlich schlichtweg politische Unterschiede in der Mehrheitsverteilung. Das bedeutet auch, es regieren unterschiedliche Parteien, mit unterschiedlichen Interessen und Schwerpunkten. Dementsprechend wird vermutlich Holzbau in Ländern wie Baden-Württemberg mehr zugelassen oder eben in anderen Bundesländern nicht.“¹⁴⁵

Daraus lässt sich relativ gut ablesen, woran die Erweiterung der Freigabe für Baustoffe auf Naturmaterialien in Gebäudeklasse vier und fünf in Bayern eher stockt als in manch anderen Bundesländern. Hierzu sei am Rande erwähnt, dass in Bayern die CSU (Schwesterpartei der CDU) seit jeher die treibende Kraft der Regierung bildet. In Baden-Württemberg hingegen ist die regierende Partei und somit jene, welche mit der Stellung des Ministerpräsidenten beauftragt wird, seit drei Amtszeiten die Grünen.¹⁴⁶

Exkurs ins Ausland

Blickt man über die Grenzen Deutschlands hinaus, wird klar, dass Deutschland hier einen relativ einsamen und strikten Weg beschreitet. Dies wird vor allem im direkten Vergleich ersichtlich, wie er in Abbildung 32 ausformuliert wurde. So kann in Österreich mit Ausformulierung eines Brandschutzkonzeptes und einer Anforderung aller Baustoffe REI 90/A2 bis zu 22 Meter Fluchtniveau gebaut werden. In der Schweiz dürfen unter Einhaltung der REI 60/EI30 Norm bis zu sechs Geschossen gebaut werden. Hierbei ist ebenso wie in Deutschland eine Kapselung der Bauteile nötig, jedoch anders als in Deutschland lediglich mit einem dreißigminütigen Brandwiderstand. In Großbritannien wie auch in Italien gibt es unter gewissen Voraussetzungen keine Höhenbeschränkung der Bauwerke. In Großbritannien müssen alle Bauteile neunzigminütigen Brandwiderstand

¹⁴⁰ MBO Musterbauordnung; Abweichungen; 2023; arbeitssicherheit.de

¹⁴¹ Deutsches Institut für Bautechnik; Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL); 2021; Seite 8

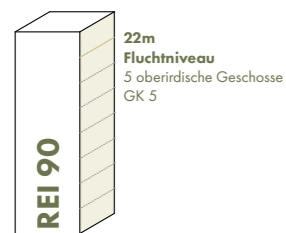
¹⁴² Schroeder; Lehm- oder Gipsbau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen; 2019; Seite 175

¹⁴³ Bayerische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023; byak.de

¹⁴⁴ Baunetzwissen; Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, Baden-Württemberg; 2023; baunetzwissen.de

¹⁴⁵ Persönliche Korrespondenz mit Frank Ruckdäschel; Baudirektor Bauforschung, Konstruktive Bauwerksicherheit, Baunormung, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr; 14.09.2023; Interview in Kapitel 9

¹⁴⁶ Wikipedia; Landesregierung (Deutschland); 2023; wikipedia.org



Österreich

Voraussetzung

Brandschutzkonzept, sonst nur GK 4 möglich. Bei sieben Geschossen kann das oberste in Holz mit einem Feuerwiderstand von 60 Min. ausgeführt werden. Bei in Summe maximal sechs Geschossen gilt dies für die obersten beiden.

Anforderungen

Für alle REI 90 Bauteile gilt: die Baustoffe der Euroklasse des Brandverhaltens müssen mindestens A2 entsprechen



Deutschland

Voraussetzung

Gilt ausschließlich für vorgefertigte Holztafel-, Holzrahmen- und Fachwerk-bauweise. Bis auf die Brett-stapeldecke ist die Massiv-bauweise ausgenommen.

Anforderungen

K60 für raumabschließende Wände und Decken. Zusätzliche Anforderungen an die Ausführung der Brandschutzbekleidung und die Wahl der eingesetzten Dämmstoffe (Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000°C).



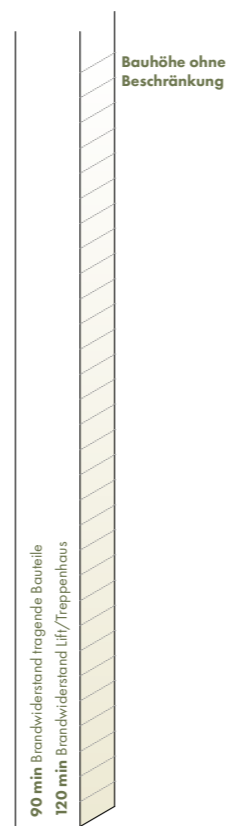
Schweiz

Voraussetzung

Brandschutzkonzept vor Baubeginn, Begleitung durch anerkannten Fachingenieur, Qualitätssicherungsprogramm des ausführenden Unternehmens. Wird das Gebäude gesprinkelt, kann auf EI 30-Verkleidung verzichtet werden (EI = nicht tragende, raumabschließende Bauteile).

Anforderungen

Die Holzbauteile müssen beidseitig EI 30 (nbb = nicht brennbare Beplankung)



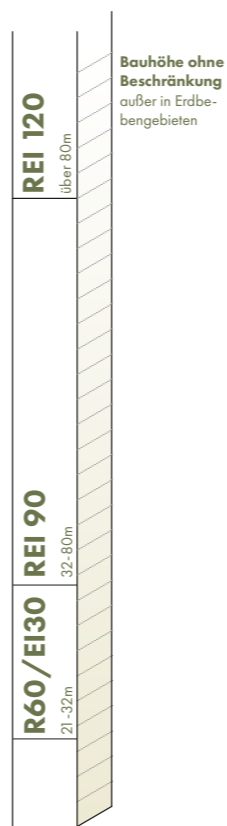
Großbritannien

Voraussetzung

Ab 30 m Gebäudehöhe muss gesprinkelt werden

Richtlinie/Gesetz

The Building Regulations 2000, fire safety, 2006 edition



Italien

Voraussetzung

Voraussetzung für alle Gebäude ≥12 m: ein Brandschutzzertifikat

Richtlinie/Gesetz

siehe www.vigilfuoco.it

Abb.32 Brandschutzanforderungen diverser Länder

leisten können. Ab einer Bauwerkshöhe von dreißig Metern muss zudem ein Sprinkler vorgesehen werden. In Italien wird hier je nach Gebäudehöhe entschieden, welche Maßnahmen zu treffen sind.¹⁴⁷

Fazit Brandschutz

Besonders bei Gebäuden, welche im allgemeinen Verständnis als brennbar angesehen werden, muss mit größter Vorsicht gearbeitet werden. Architekturschaffende sind für all die erwähnten Punkte bis zu einem gewissen Maß mitverantwortlich. Hätte der Architekt Kaden Klingbeil beim Neubau des Stadthauses in Berlin 2008 nicht extra für dieses Projekt die Baubehörde davon überzeugen können, von der Berliner Bauordnung befreit zu werden, wäre das sieben-geschossige Holzhaus mit tragenden Bauteilen, welches nicht feuerbeständig ausgeführt wurde, niemals entstanden.¹⁴⁸ Ideen wie diese schaffen Präzedenzfälle sowie Praxisbeispiele, wie Architektur hier durch überzeugende Arbeit ein Mitspracherecht erkämpfen kann und sich aus den Fesseln der Baukultur des letzten Jahrhunderts befreien kann.

¹⁴⁷ proholz; Zuschnitt 33; 2009; Seite 20

¹⁴⁸ proholz; Zuschnitt 33; 2009; Seite 21

Referenzen

| | |
|--------------------------------------|----|
| Bewertungskriterien | 77 |
| COLLEGIUM ACADEMICUM | 78 |
| Daten und Fakten | 79 |
| Erschließung | 80 |
| Grundrisstypologie | 80 |
| Konstruktion | 80 |
| Ressourcenverbrauch Nachhaltigkeit | 81 |
| Holzwohnbau Hummelkaserne | 82 |
| Daten und Fakten | 83 |
| Erschließung | 84 |
| Grundrisstypologie | 84 |
| Konstruktion | 84 |
| Vorfertigung | 85 |
| Ressourcenverbrauch Nachhaltigkeit | 85 |
| Green Solution House 2.0 | 86 |
| Daten und Fakten | 87 |
| Erschließung | 88 |
| Grundrisstypologie | 88 |
| Konstruktion | 88 |
| Vorfertigung | 88 |
| Ressourcenverbrauch Nachhaltigkeit | 89 |
| Hortus | 90 |
| Daten und Fakten | 91 |
| Erschließung | 92 |
| Grundrisstypologie | 92 |
| Konstruktion | 92 |
| Vorfertigung | 93 |
| Ressourcenverbrauch Nachhaltigkeit | 93 |
| Fazit | 95 |



Referenzen

Um durch bereits Gebautes zu lernen, werden Referenzen herangezogen, die eine möglichst große Schnittmenge mit den gewählten Konzeptpunkten aufweisen. Diese werden nach festgelegten Kriterien analysiert und eingeordnet, um ihre Schwächen und Stärken herausarbeiten und von ihnen lernen zu können. Alle hier genannten Projekte behandeln in der ein oder anderen Form modularen Holzbau zu Wohn- oder Mischzwecken, teils auch in der Verbindung mit Lehm oder recycelten Materialien.

Bewertungskriterien

Alle im folgenden Kapitel besprochenen Bauwerke bezeichnen sich als nachhaltige Holzbauten und legen den Fokus auf zukunftsfähige Architektur. Zur Bewertung wird mit der weit verbreiteten Positionsbestimmung SWOT Analyse auf einzelne Punkte des Bauwerks eingegangen und mit Zuhilfenahme dieser bewertet. Bei dieser Analyse werden vier wichtige Faktoren, welche Einfluss auf die Bewertung haben, genauer untersucht: Schwächen, Stärken, Chancen und Risiken der Bauwerke und wie diese sich auf das Geschaffene auswirken.¹⁴⁹ Die Gebäude reichen von eher klassischer Architektur mit Versuchen der Implementierung von Nachhaltigkeit bis hin zu Prototypen eines vollends kreislauffähigen Bauwerks. In einem Fazit werden die Bauwerke in den Kontext der jeweils anderen gesetzt und verglichen, um herauszufinden, was man jeweils von ihnen lernen kann, und wo eher Fragen als Lösungen aufkommen.

¹⁴⁹ Harvard Business Review; Are You Doing the SWOT Analysis Backwards?; 2021; hbr.org

COLLEGIUM ACADEMICUM

Daten und Fakten

Standort Heidelberg, Deutschland¹⁵²

Bauherrschaft Collegium Academicum GmbH¹⁵³

Architekturbüro DGJ Architektur¹⁵⁴

Tragwerksplanung PIRMIN JUNG Deutschland GmbH¹⁵⁵

Zeitraum 2016-2023¹⁵⁶

Fläche BGF 7480,83 m² (Neubau)¹⁵⁷

Anzahl der Geschosse 4¹⁵⁸

Nutzung Studentische Wohneinrichtung¹⁵⁹

Vorwiegende Materialien Holz, Beton¹⁶⁰

Baukosten etwa 14 Millionen Euro¹⁶¹

Das Gebäude ist als eine von vielen Wiederbelebungsmaßnahmen auf einer Konversionsfläche eines alten Militärhospitals in Heidelberg errichtet worden. Zur Erschließung des Wohngebiets wurde der Bestand, soweit möglich, erhalten und aufgewertet und durch Neubauten ergänzt. Das Bauwerk ist mit seinen 176 Wohnplätzen auf 46 Wohngemeinschaften aufgeteilt. Es wurde als studentisches Wohnheim errichtet und bietet über die Wohnfunktion hinaus etliche Gemeinschaftsflächen. Der Außenbereich ist öffentlich zugänglich und dient als Begegnungszone, siehe Abbildung 33 und 34. Für eine privatere Begegnung innerhalb des Komplexes gibt es eine Dachterrasse, die allen dort Lebenden zur freien Verfügung steht. Das Collegium Academicum wurde 2013 gegründet, mit dem Zweck, gegen hohe Mieten in der Stadt mit einem selbstverwalteten Wohnheim einen Gegenpol zu bilden.^{150/151}



Abb.34 Collegium Academicum Hofansicht



Abb.33 Collegium Academicum Außenansicht



Abb.35 Collegium Academicum Innenansicht

Erschließung

Durch einen barrierefreien Laubengang im Innenhof können alle Wohneinheiten problemlos erreicht werden. Dieser umfasst drei Treppenhäuser und einen Lift, um die zwei Baukörper so effizient wie möglich erschließen zu können.¹⁶² Erstellt wird die Erschließung aus einem vorgesetzten und selbst tragenden Stahlbetonfertigteilsystem, welches sich auf die gesamte Höhe und Länge der Innenseite der Bauwerke entlang zieht.¹⁶³

Grundrisstypologie

Die 176 Wohnplätze unterteilen sich in 46 Wohneinheiten, die in ihrer Ausgangslage jeweils achtzig Quadratmeter Wohnfläche bieten. Diese teilen sich auf die zwei Neubauten auf, siehe hierfür Abbildung 36. Es gibt acht Dreier-Wohngemeinschaften und 38 Vierer-Wohngemeinschaften. Je Wohngemeinschaft gibt es ein gemeinschaftlich genutztes Bad und eine Küche. Die versetzbaren Innenwände können laut DGJ Architektur im Selbstbau hergestellt werden und so nach Belieben angepasst werden. Hierfür steht eine eigens hierfür hergestellte Werkstatt zur Verfügung. Jeder persönliche Raum besteht aus zwei, je sieben Quadratmeter großen Teilen. Der hintere Teil ist, wie in Abbildung 35 zu sehen, der rein private und räumlich von der Wohnung getrennte Teil. Der vordere Part ist nicht von der restlichen Wohnung getrennt, wird aber so angeordnet, dass dieser durch Einsetzen einer zweiten Wand oder eines Vorhangs ganz- oder teilprivatisiert werden kann.¹⁶⁴ Die Innenwände werden als versetzbar beschrieben. Inwiefern dies in der Realität umgesetzt werden kann, bleibt dahingestellt. Es werden Pläne zur Verfügung gestellt, wie Bewohnende in Selbstbauweise Innenwände erstellen und nachrüsten können.¹⁶⁵

Konstruktion

Die Umsetzung wurde mit Hilfe des von DGJ Architektur sowie Hans Drexler entwickelten Typus „Open Architecture“ verwirklicht. Dieses Konzept stellt eine flexible Raumnutzung und eine Nachhaltigkeit auch während des Lebenszyklus des Bauwerks vor viele andere Kriterien. Gebaut wurde in Holzelementbauweise, wobei hierbei meist auf eine Skelettbauweise zurückgegriffen wurde. Die Aussteifung

des Bauwerks wird erreicht, indem einige Wände als Wandscheiben ausgebildet werden und somit eine hohe aussteifende Wirkung in das Gebäude bringen. In der Primärkonstruktion kommt das System ohne metallische Verbindungen aus. Hier wurde ausschließlich mit form- und kraftschlüssigen sowie metallfreien Zimmermannsverbindungen gearbeitet. Für die Bodenplatte wurde Recyclingbeton verwendet.¹⁶⁶ Die Holzfertigteile werden in Elementbauweise in Skelettbauweise, beziehungsweise als stabförmige Bauteile vorgefertigt, und müssen vor Ort kraftschlüssig verbunden werden. Gefertigt werden die Bauteile, welche aus Brettschichtholz, Brettspertholz sowie Vollholz Baubuche von Züblin Timber im Werk in Aichach.¹⁶⁷

Ressourcenverbrauch | Nachhaltigkeit

Das gesamte Gebäude verfügt über eine kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung. Auf dem Flachdach ist eine Photovoltaikanlage mit 180kWp Leistung verbaut. Im Gebäude selbst befindet sich ein 140 kWh Speicher, welcher Überschussenergie für das Gebäude speichert und den Überschuss ins Netz einspeist. Über das Jahr gerechnet, ist das Gebäude zu 100 Prozent autark. Das Energiemanagement wird zum Thema jedes Bewohnenden. Durch eine eigens hierfür programmierte App, wird live der Stromverbrauch ermittelt und kann je Wohnung kontrolliert und protokolliert werden.¹⁶⁸ Das Gebäude wurde als kfW-/BEG-Effizienzhaus 40 Plus geplant und übt sich in Prinzipien der Suffizienz.¹⁶⁹

¹⁶² dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum
¹⁶³ holzbau austria; Von der Studentenidee zum 18 Mio. €-Projekt; 2020; holzbauaustria.at
¹⁶⁴ dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum
¹⁶⁵ dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum



Abb.36 Collegium Academicum Grundriss 2.OG

Holzwohnbau Hummelkaserne

Daten und Fakten

Standort Graz, Österreich¹⁷¹

Bauherrschaft ENW Gemeinnützige Wohnungsgesellschaft m.b.H.¹⁷²

Architekturbüro sps÷architekten zt GmbH¹⁷³

Tragwerksplanung merz kley partner zt GmbH¹⁷⁴

Zeitraum 2013-2016¹⁷⁵

Fläche BGF 9309 m² (ohne Tiefgarage)¹⁷⁶

Anzahl der Geschosse 6¹⁷⁷

Nutzung Wohnen

Vorwiegende Materialien Holz, Beton

Baukosten 10,77 Millionen Euro¹⁷⁸

Der Holzwohnbau Hummelkaserne befindet sich auf dem ehemaligen Gebiet der Hummelkaserne im Stadtentwicklungsgebiet Reininghausgründe etwa zwei Kilometer von der Grazer Altstadt entfernt. Eine geplante Straßenbahnlinie sowie vor Ort vorhandene Einkaufsmöglichkeiten machen das Entwicklungsgebiet zu einer attraktiven Stadterweiterung. Neben den Wohnungen, welche sich in das Grün gut einbinden, finden sich in der Erdgeschosszone eine Fahrradwerkstatt und Gemeinschaftsräume wieder, siehe Abbildung 37 sowie 38. Bei der Hummelkaserne handelt es sich um den ersten sechsgeschossigen Holzbau der Steiermark.¹⁷⁰



Abb.37 Erdgeschosszone Holzwohnhaus Hummelkaserne



Abb.38 Außenansicht Holzwohnhaus Hummelkaserne

¹⁷⁰ dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019; dataholz.eu

¹⁷¹ dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019; dataholz.eu

¹⁷² Kaufmann Bausysteme; Wohnanlage Hummelkaserne; 2018; kaufmannbausysteme.at

¹⁷³ sps÷architekten; Wohnanlage Hummelkaserne; 2023; sps-architekten.at

¹⁷⁴ merz kley partner; Hummelkaserne Graz; 2016; mkp-ing.de

¹⁷⁵ Mayr Melnhof Holz; Innovativer Wohnbau; 2016; mm-holz.com

¹⁷⁶ dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019; dataholz.eu

¹⁷⁷ dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019; dataholz.eu

¹⁷⁸ dbz; Wohnbau Hummelkaserne, Graz/AT; 2016; dbz.de



Abb.39 Schnitt Holzwohnhaus Hummelkaserne

Erschließung

Die Wohneinheiten werden wie in Abbildung 39 zu sehen, über ein natürlich belichtetes Treppenhaus auf der Innenseite des kompakten Baukörpers erschlossen. Dieser liegt mit samt dem Lift längsseitig auf der Ostseite des Baukörpers. Die Erschließung ist als Vierspänner ausgeführt.¹⁷⁹

Grundrisstypologie

Insgesamt werden durch den Neubau 92 geförderte Wohneinheiten mit 33,18m² bis hin zu 92,80m² erzeugt, siehe hierfür Abbildung 40. Die Wohneinheiten sind auf vier Baukörper verteilt, welche baugleich sind und eine ideale Belichtung der Struktur zulassen. Jede Wohnung ist entweder mit einer Terrasse oder einem großzügigen Balkon ausgestattet. Die Erdgeschosswohnungen haben einen privaten Garten. Die meisten Wohnungen sind zweiseitig belichtet, einige wenige haben jedoch eine einseitige Belichtung.¹⁸⁰

Konstruktion

Das Untergeschoss, welches klassisch in Stahlbeton ausgeführt wurde, beherbergt 92 PKW-Stellplätze in einer von allen vier Baukörpern zugänglichen gemeinschaftlichen Tiefgarage. Neben dem Untergeschoss wurden ebenso das Erdgeschoss und die Erschließungskerne aus Stahlbeton gefertigt. Die Brettsperrholzplatten aus MM corsslam, welche sowohl für die Decken als auch für die Dächer verwendet wurden, kommen ebenso von der Firma Mayr-Melnhof, sowie die vorgefertigten Brettsperrholzelemente der Außenwände und die Holzmassivtragstruktur.¹⁸¹ Die vorgesetzten Balkone bestehen aus Stahlbetonfertigelementen und werden durch auskragende Stahlträger, wie auch Stahlstützen getragen.¹⁸² Für einen aufgewerteten Schallschutz wurden die Decken in der Untersicht mit Gipskartonplatten, welche mit Federbügeln befestigt wurden, eingesetzt. Innen wurden die Holzmassivwände zweifach mit Gipskarton beplankt. Dies wurde laut der Holzbaufirma Kaufmann einerseits so umgesetzt, da es der Kundenwunsch war, weiße Oberflächen im Innenraum zu erzeugen. Andererseits geschuldet der Kosten, die eine Überdimensionierung des Holzes bezüglich Brandschutzsicherheit zur Folge gehabt hätte, welche durch die Offenlegung des Materi-

¹⁷⁹ dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019; dataholz.eu

¹⁸⁰ dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019; dataholz.eu

¹⁸¹ Mayr Melnhof Holz; Innovativer Wohnbau; 2016; mm-holz.com

¹⁸² dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019; dataholz.eu

als nötig gewesen wäre. Ummantelt ist das Bauwerk mit einer 29cm Mineralwollendämmung, welche sich hinter einer vorgehängten und hinterlüftenden Holzfassade verbirgt.¹⁸³

Vorfertigung

Weiterverarbeitet wurden die Brettsperrholz Elemente vom, als Generalunternehmer eingesetzten, Holzbauer Kaufmann Bausysteme GmbH. Ausgeführt wurde das Bauwerk also weitestgehend in Holzmassivbauweise und somit nur bedingt als Ressourceneffizient anzusehen. Die Wandscheiben sowie Deckenplatten wurden mit Fenstern und Fassade vorgefertigt von Kaufmann Bausysteme angeliefert und vor Ort lediglich auf vorbereitete Verankerungen versetzt sowie kraftschlüssig verbunden. So wurden die 16,5 Meter langen und 3,5 Meter hohen Außenwände mitsamt Verschalung aus Lärchenholz angeliefert.¹⁸⁴

Ressourcenverbrauch | Nachhaltigkeit

Heizung und Warmwasser werden durch einen Nahwärmeeanschluss der Fernwärme bezogen und müssen daher nicht im Gebäude selbst erzeugt werden. Auf dem Dach befindet sich eine Photovoltaikanlage, deren Leistung jedoch nicht betitelt wird. E-Ladesäulen für Fahrräder sowie Autos sollen trotz dezentraler Lage in Graz einen emissionsarmen Verkehr fördern. Das gesamte Gebäude ist im Passivhausstandard erbaut worden.¹⁸⁵

¹⁸³ dbz; Wohnbau Hummelkaserne, Graz/AT; 2016; dbz.de

¹⁸⁴ dbz; Wohnbau Hummelkaserne, Graz/AT; 2016; dbz.de

¹⁸⁵ dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019; dataholz.eu

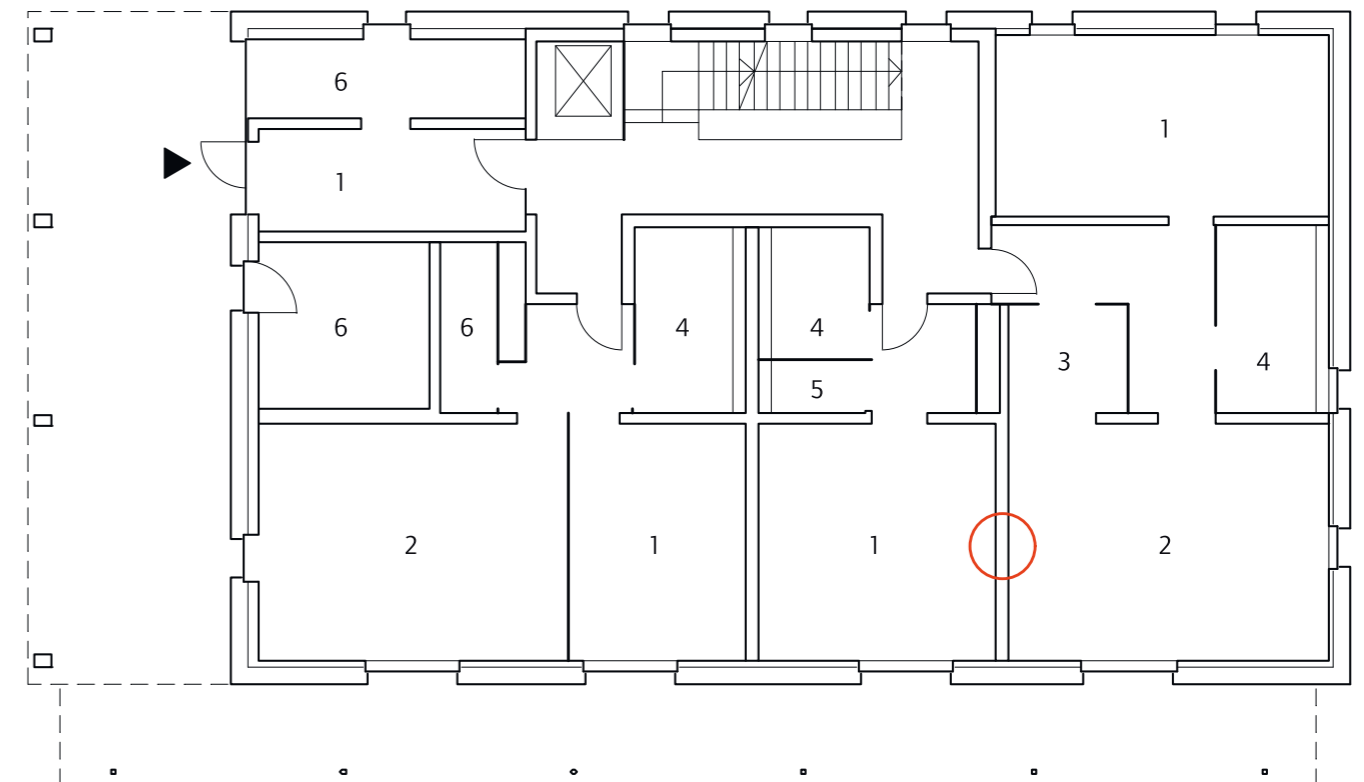


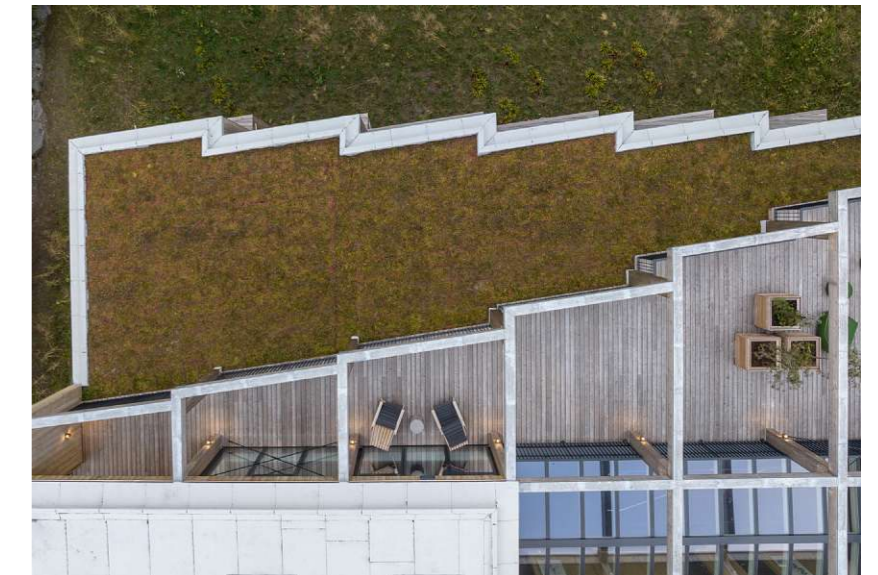
Abb.40 Regelgeschoss Holzwohnhaus Hummelkaserne

Green Solution House 2.0

Daten und Fakten

Standort Rønne, Dänemark (Insel Bornholm)¹⁸⁷
Bauherrschaft Bornholm Hotels¹⁸⁸
Architekturbüro 3XN / GXN¹⁸⁹
Tragwerksplanung ABC Rådgivende ingeniører¹⁹⁰
Zeitraum 2020-2022¹⁹¹
Fläche BGF 1034 m²¹⁹²
Anzahl der Geschosse 3¹⁹³
Nutzung Hotel und Meeting
Vorwiegende Materialien Holz, Granit¹⁹⁴
Baukosten unbekannt

Etwa 200 Kilometer entfernt von der Hauptstadt Kopenhagen, auf der Insel Bornholm liegt die Stadt Rønne auf der das Hotel „Green Solution House 2.0“ aus Holz und anderen recycelten Materialien erbaut wurde. Das Bauwerk erhielt für seine Bestrebungen der Nachhaltigkeit den renommierten dänischen Architekturpreis „Årets Byggeri“. Das Projekt geht aus dem dänischen Büro 3XN hervor, welches weltweit Büros betreibt, die sich speziell mit ökologisch und sozial nachhaltiger Architektur beschäftigen. Neben der planerischen Tätigkeit wird mit der eigenen Forschungs- und Beratungsfirma GXN zu Themen der Wieder-, und Weiterverwendung, allgemein zu nachhaltigem Bauen sowie Kreislaufverhalten geforscht.¹⁸⁶



¹⁸⁶ holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023; holzbau-austria.at

¹⁸⁷ 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022

¹⁸⁸ holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023; holzbau-austria.at

¹⁸⁹ 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022

¹⁹⁰ 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022

¹⁹¹ holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023; holzbau-austria.at

¹⁹² 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022

¹⁹³ 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022

¹⁹⁴ 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022

Abb.41 Außenansicht Green Solution House 2.0

Abb.42 Dachdraufsicht Green Solution House 2.0

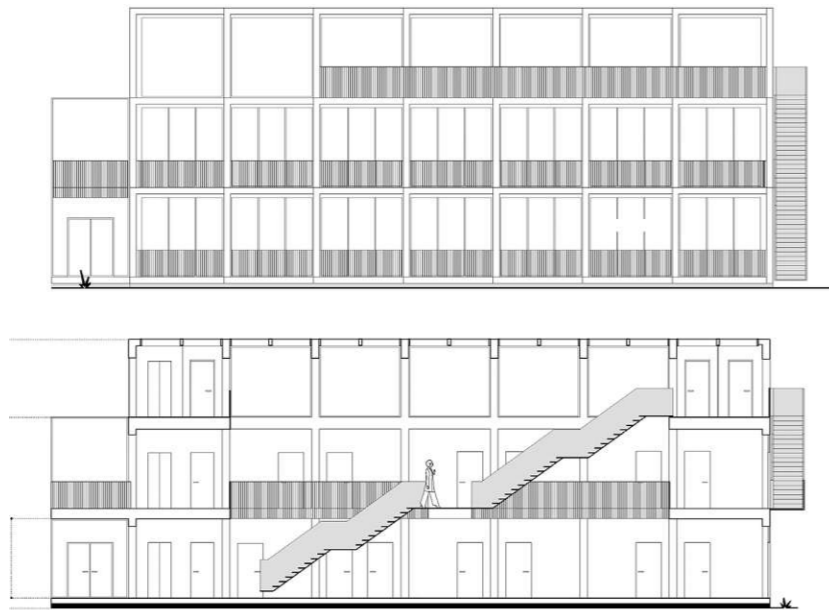


Abb.43 Ansicht und Schnitt Green Solution House 2.0

Erschließung

Durch das zentral liegende und lichtdurchflutete Atrium verläuft, wie in Abbildung 43 zu sehen, eine großzügige und offene Treppe, welche alle drei Stockwerke miteinander verknüpft und vom Eingang bis auf das Dach des Bauwerks führt.¹⁹⁵

Grundrisstypologie

Das dreigeschossige Gebäude kombiniert 22 Einbettzimmer sowie ein Zweibettzimmer und vier Konferenzräume. Durch den leichten Versatz der einzelnen Zimmer, welcher in Abbildung 41,42 sowie 44 gut zu erkennen ist, wird eine gesteigerte Privatheit auf den Balkonen und vorgelagerten Freiräumen erzielt sowie ein Spiel in der Fassade.¹⁹⁶ Die sichtbaren Holzwände im Innenraum schaffen eine warme und einladende Atmosphäre in allen Räumen.¹⁹⁷

Konstruktion

Das in der Primärkonstruktion verwendete Baumaterial fasst sich aus verschiedenen Holzprodukten zusammen. Stützen werden aus Vollholz erstellt, die Einheiten mitsamt deren Wänden wurden als Bettsperrholzelemente errichtet, welche von CLT Denmark produziert wurden. Die Verwendung von Vollholz ist in der gesamten Konstruktion ausnahmslos gegeben. Es handelt sich jedoch um verklebtes Holz, was die Rückbaubarkeit sowie die Recyclingfähigkeit einschränkt.¹⁹⁸

Vorfertigung

Die verbauten Brettsperrholzelemente (CLT) werden im Werk vorproduziert und mit allen nötigen Fräsungen, beispielsweise für das Low-tech Lüftungssystem versehen. Diese vorgefertigten Bauteile umfassen Wände, Decken und alle weiteren Hauptbestandteile wie Träger oder die auf dem Dach verbaute Witterungsschutzstruktur. All diese Bauteile wurden vor Ort lediglich versetzt und montiert. Kleinere Anpassungen und Einbauten wurden vor Ort getätigt.¹⁹⁹

¹⁹⁵ holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023; holzbau-austria.at

¹⁹⁶ holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023; holzbau-austria.at

¹⁹⁷ 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022

¹⁹⁸ holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023; holzbau-austria.at

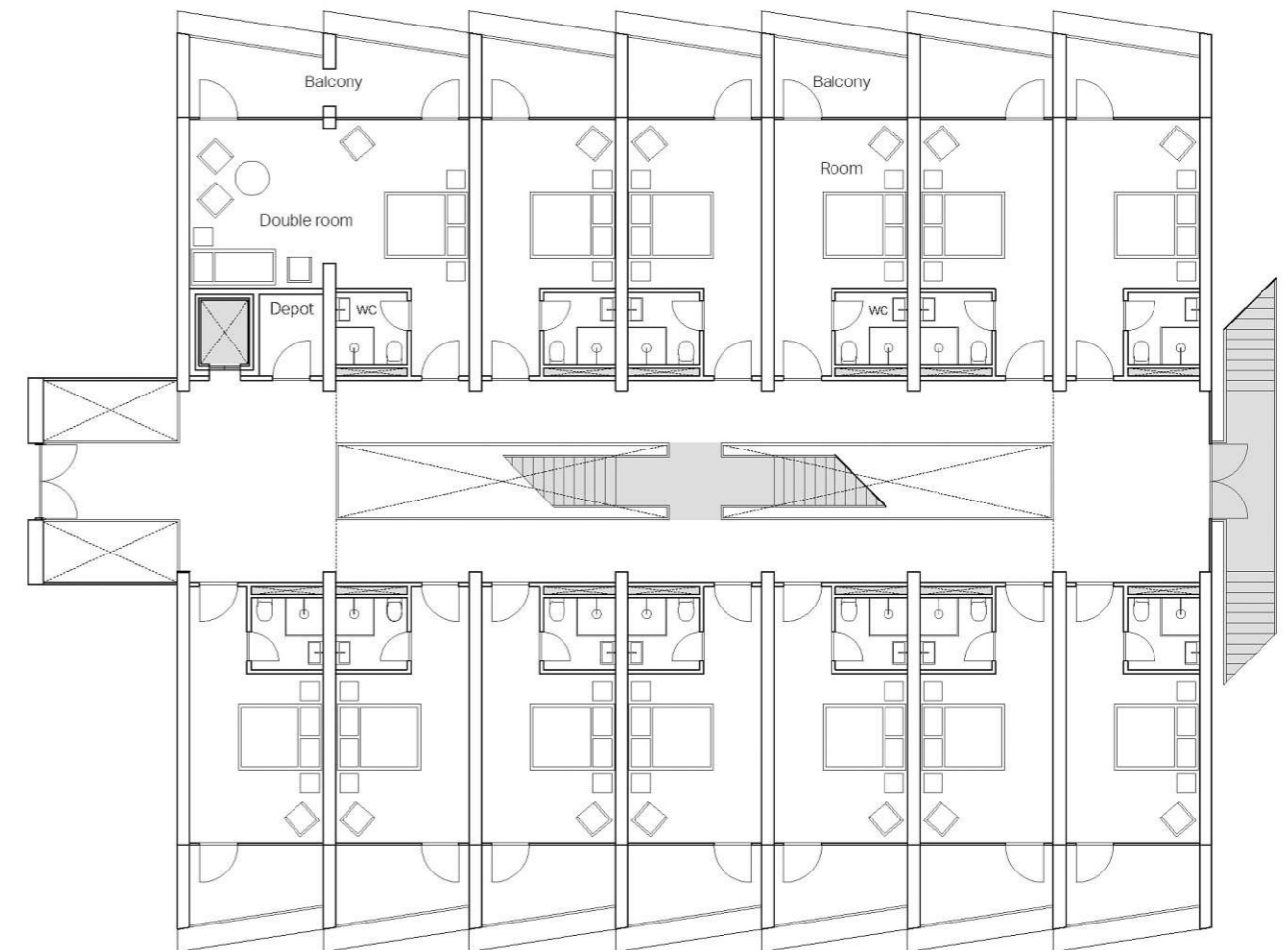
¹⁹⁹ holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023; holzbau-austria.at

Ressourcenverbrauch | Nachhaltigkeit

Im Büro wird das Thema Kreislaufverhalten und nachhaltiges Denken in der Architektur großgeschrieben. Besonders durch die eigene Forschungsabteilung GXN spezialisiert man sich auf die Analyse des Kreislaufverhaltens einzelner Baustoffe, so wie deren Rückbaubarkeit und Trennung. Durch Standardisierung vieler Holzelemente wurden Schnittmuster so angepasst, dass kaum Restflächen entstehen. Alle Restprodukte, welche beim Fertigen der Holzelemente übrig blieben, wurden in weiterer Folge zu Möbeln für das Hotel gefertigt. Glas und Granit, welcher für Fenster und Bäder eingesetzt wurde, stammt aus lokaler Überschussproduktion oder aus Lagerresten. Durch große Oberlichten und vollflächige Verglasung wurde die Tageslichtdurchflutung der Räume so hoch angesetzt, dass künstliche Beleuchtung heruntergefahren werden konnte.²⁰⁰ Das Bauwerk verfügt über eine vollflächige Solaranlage auf dem Dach sowie über eine eigene Wasseraufbereitungsanlage. Auf mechanische Lüftung konnte verzichtet werden, da diese durch ein ausgeklügeltes System von Lüftungsschlitzen, welche in die CLT-Bauteile eingefräst wurden, obsolet wurde.²⁰¹

²⁰⁰ 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022

²⁰¹ holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023; holzbau-austria.at



Hortus

Daten und Fakten

Standort Allschwil bei Basel, Schweiz²⁰³
Bauherrschaft SENN Resources AG²⁰⁴
Architekturbüro Herzog & de Meuron²⁰⁵
Tragwerksplanung ZPF Ingenieure²⁰⁶
Zeitraum 2020-2025 (Baubeginn Frühjahr 2023)²⁰⁷
Fläche BGF 14.150m²²⁰⁸
Anzahl der Geschosse 5²⁰⁹
Nutzung Office und Gastronomie
Vorwiegende Materialien Holz, Lehm
Baukosten unbekannt

Beim Projekt Hortus in der Schweiz, siehe Abbildung 45 und 46 handelt es nicht um einen Wohnbau, sondern um ein Bürogebäude. Es wurde als Referenz dennoch herangezogen, da er starke Schwerpunkte in die Materialität Holz und Lehm setzt und das gesamte Bauwerk im Sinne des Cradle-to-Cradle Konzeptes entworfen wurde und somit einige Gedanken gesammelt wiedergibt, welche spannend zu analysieren sind. Das Gebäude liegt in einer ehemaligen Schrebergartensiedlung in Allschwil, nur etwa zehn Minuten vom Zentrum Basels entfernt. Diese ehemalige Siedlung wurde im Laufe der letzten Jahre zu einem Technologiestandort namens BaselLink transformiert. Es soll ein qualitativ hochwertiger und flexibler Arbeitsplatz für die nächste Generation der Technologiefirmen sein, die mit der Natur im Einklang arbeiten wollen.²⁰²



²⁰² Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com
²⁰³ Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com
²⁰⁴ Senn Vermarktung, Aktuelle Projekte; 2023; senn.com
²⁰⁵ Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com
²⁰⁶ zpf Ingenieure; HORTUS.;2023; zpfing.ch
²⁰⁷ Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com
²⁰⁸ zpf Ingenieure; HORTUS.;2023; zpfing.ch
²⁰⁹ zpf Ingenieure; HORTUS.;2023; zpfing.ch

Abb.45 Hortus Rendering Außenansicht

Abb.46 Hortus Rendering Innenhof



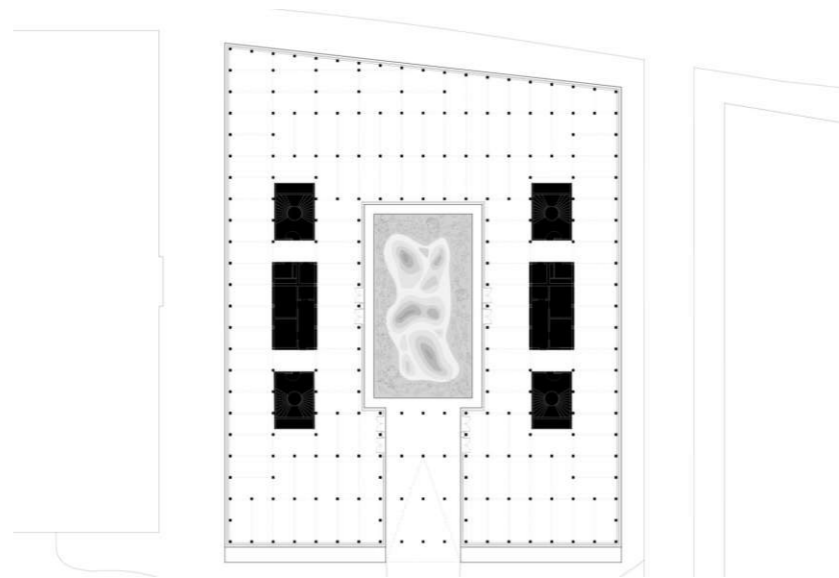


Abb.47 Hortus Stützenraster mitsamt Kernen und Innenhof

Erschließung

Erschlossen wird das Bauwerk über vier großzügig gestaltete Wendeltreppen, welche sich jeweils in einer von zwei Achsen des Bauwerks wiederfinden. Auf jeweils derselben Achse kommt je ein Liftkern hinzu, der gemeinsam mit den Sanitärräumen den Kern des Bauwerks bildet. Die Treppenhäuser erschließen das gesamte Bauwerk bis ins 5. Geschoss. Das Dach ist nicht begehbar.²¹⁰

Grundrisstypologie

Der gesamte Baukörper zeichnet sich durch eine absolut freie Nutzung aus. Die Struktur verfügt über ein Stützenraster, welche in Abbildung 47 gut zu erkennen ist sowie einige aussteifende Elemente aus Holz, welche als Designelement den Innenraum verspielt auflockern sollen. Abgesehen hiervon und von den Kernen für Sanitätszwecke und Erschließung ist der gesamte Grundriss jeder Etage frei bespielbar und lässt sich jederzeit der Nutzung anpassen. Eine erhöhte Erdgeschosszone beherbergt ein gastronomisches Angebot und ebenso Sitzbereiche ohne Konsumzwang.²¹¹ Im Zentrum des Bauwerks befindet sich ein großer Innenhof, welcher als Biotop des Bauwerks einerseits als Erholungsort, andererseits zur Verbesserung des Mikroklimas zur Verfügung steht. Die Planung des Innenhofes bespielt die durch Regenwasser gespeisten Wasserfläche im Zentrum durch tiefere, flachere und wechselfeuchte Zonen, um ein natürliches Habitat für eine möglichst breit gestreute Flora und Fauna zu ermöglichen. Holzdecks wurden betonfrei in den Hügeln der Landschaft fundiert und bieten einen Zugang zum Entspannungsraum des Innenhofes.²¹²

Konstruktion

Die Konstruktion des gesamten Bauwerks basiert neben den aussteifenden Kernen auf einem Stützenraster, welches aus Vollholz Fichte und Tanne erzeugt wurde. Dort, wo besonders hohe Kräfte einwirken, wurden die Stützen durch Stabschichtholz aus Buche ersetzt. Die Stützen aus Fichte und Tanne bestehen jeweils aus komplett unverklebtem Vollholz. Das Tragsystem der Decke besteht ebenfalls aus unverklebten Vollholzbalken aus Fichte, in dessen Zwischenraum Lehm gestampft wurde. Die Deckenelemente werden in die

auf den Stützen montierte Träger eingehängt. Darüber befindet sich als aussteifende Schicht eine Dreischichtplatte, welche kraftschlüssig mit den Balken verbunden wurde, siehe hierfür Abbildung 49.²¹³ Die Fassade beziehungsweise die äußere Hülle des Bauwerks wird in Holzrahmenbauweise ausgeführt und wird lediglich in die Balkenkonstruktion eingehängt.²¹⁴

Vorfertigung

Die Stützen und Balken werden mitsamt Anschlüssen, Fräsungen und Verbindungselementen im Werk vorgefertigt und vor Ort mittels Steckverbindungen versetzt. Die Holzrahmenaufassade wird ebenso als Fertigteil geliefert. Alle Deckenfertigelemente werden in einer Feldfabrik auf dem Acker des Nachbarn des Bauwerks hergestellt.²¹⁵

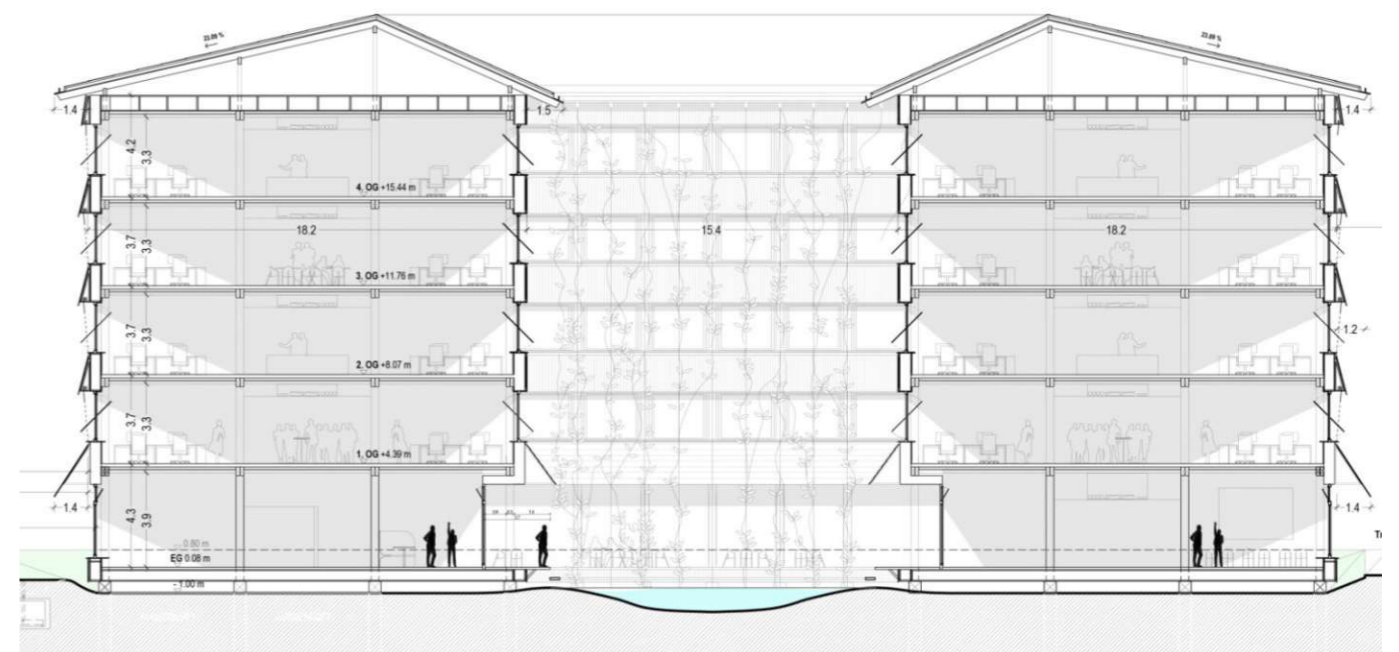
Ressourcenverbrauch | Nachhaltigkeit

Hier kann das Bauwerk alle seine Stärken ausspielen. Das Gebäude wurde vom Büro Herzog & de Meuron bis ins kleinste Detail im Sinne der Nachhaltigkeit optimiert. Nach Berechnungen der Bauträgerschaft wird das Bauwerk nach nur dreißig Jahren alle im Bau eingesetzte graue Energie kompensiert haben und ab diesem Zeitpunkt energiepositiv sein. Die konnte durch einen hohen Anteil an Holz, Lehm und Altpapierbaustoffen umgesetzt werden. Das Bauwerk stößt im Betrieb lediglich 37,5 kWh/m²/a aus, was nur etwa die Hälfte eines heute üblichen Neubaus ist. Dabei ist der Betrieb des Bauwerks komplett Treibhausgas befreit. Die graue Energie, welche durch Bauphase und Material eingebracht wurde, liegt mit 24,24 kWh/m²/a ebenfalls knapp auf der Hälfte der üblichen 40 kWh/m²/a. Der Anteil an Bauteilen, welche aus erneuerbaren Ressourcen bezogen wurden, liegt bei 86 Prozent. Durch eine hausinterne Regenwasseraufbereitungsanlage und einen zweiten Wasserkreislauf sollen jährlich über 1,8 Millionen Liter Wasser gespart werden. Alle genannten Vergleichswerte beziehen sich nicht auf klassische

²¹³ Constructive Disobedience, Die Holz-Lehm-Decke und HORTUS; 2022; constructive-disobedience.com

²¹⁴ Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com

²¹⁵ Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com



²¹⁰ Herzog de Meuron; 543 Hortus lightbox; 2020; herzogdemeuron.com

²¹¹ Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com

²¹² Hochparterre; Biodiversität messen; 2022; hochparterre.ch

Mineralische Architektur, sondern bereits auf die Zielwerte für nachhaltige Architektur des „Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereines“.²¹⁶ Um solche Ziele zu erreichen, müssen nicht nur die Gebäudestrukturen selbst durchdacht sein, sondern auch die Aufbauten im Innenraum, die verwendeten Materialien für den Ausbau sowie das gesamte Mobiliar. Die Dachfläche ist nicht begehbar und wurde als 5000 m² großes, vollflächiges Solardach geplant. Unterkellert wurde das Bauwerk ebenso nicht, um hier eingesetzte Ressourcen einzusparen. Das gesamte Bauwerk ist, wie in Abbildung 48 zu erkennen, leicht aufgeständert und schafft zwischen dessen Fundamentierung und der Erdoberfläche Raum für atmenden Boden und Leben.²¹⁷ In Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro ZPF wurde eigens für das Projekt ein Deckensystem entwickelt, welches auf eine Kombination aus Vollholz und Stampflehm setzt. Geheizt und gekühlt wird das Bauwerk durch den Einsatz von Geothermie.²¹⁸



Abb.49 Hortus Schnittdetail

Fazit

So divers die hier referenzierten Entwürfe sein mögen, so sehr vereint sie ein neuer Blick auf Architektur. Ein Blick, welcher sich an neuen Bautechniken bedient und Material anders und bewusster einsetzt. Dieser Blick ist wie beim Beispiel Hortus sehr fokussiert und verliert sich beim Beispiel der Hummelkaserne etwas. Teilweise wurde die gesamte Tragstruktur neu gedacht und wie diese ressourceneffizienter sein kann, wie beim Beispiel Collegium Academicum. Hier wurde neben der Tragstruktur ebenso das Konzept von Wohnen und Raum analysiert und mit neuen Wegen des Zusammenlebens experimentiert. Teilweise wurde mehr darauf geachtet, dass durch Innenausbau und Betrieb wie beim Green Solution House 2.0 und bei Hortus Innenraum so nachhaltig durchdacht wie möglich stattfinden kann, um auch in diesem Feld der Architektur die Klimabilanz des Bauwerkes bestmöglich zu amortisieren. Auch die soziale Nachhaltigkeit wurde besprochen und analysiert, welche besonders im Collegium Academicum einen sehr hohen Stellenwert einnahm. Lediglich das Bauwerk Hummelkaserne schaffte es im Gegensatz zu den anderen nicht, das mineralische Erdgeschoss und Untergeschoss hinter sich zu lassen. Dies ist aber auch bedingt durch die Art des geförderten Wohnbaus und den damit verbundenen Richtlinien und der kostenoptimierten Bauweise. Andererseits ist es ein Fortschritt, dass ebenso diese Art des Wohnbaus bereits im Holzbau ausgeführt wird. Insgesamt kann von den besprochenen Beispielen viel gelernt. Teilweise wurde auch das Verständnis erlangt, wo mögliche Kritikpunkte nachhaltiger Architektur ansetzen können. Je nach Thema brillieren die Gebäude jeweils durch ihre Schwerpunktsetzung und Zielsetzungen. Alle Bauwerke zeigen, was die Zukunft bringen kann, wenn sich Architektur das Ziel setzt, Ressourcen zu schonen und im gleichen Zuge gute Architektur zu schaffen, und das sogar teilweise ohne große Mehrkosten, verglichen mit mineralisch erzeugten Bauwerken.

²¹⁶ Factsheet Hortus Nachhaltigkeit; 2023; Seite 1

²¹⁷ Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com

²¹⁸ Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020; herzogdemeuron.com

Das System

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Das System | 99 |
| Entwurfskriterien | 99 |
| Transport | 100 |
| Vorfertigung | 101 |
| Platzbedarf | 102 |
| Möblierung | 103 |
| Sanitärräume | 103 |
| Innenausbau | 105 |
| Das Tragwerk | 105 |
| Erschließung | 107 |
| Elemente | 109 |
| Bauteilkatalog | 109 |
| Unterkonstruktion Fundament | 110 |
| Wände | 111 |
| tragende Innenwand | 111 |
| Wohnungstrennwand | 112 |
| tragende Außenwand | 112 |
| aussteifende Außenwand | 113 |
| nicht-tragende Innenwand | 114 |
| Fassade | 115 |
| Decke | 116 |
| Geschossdecke | 116 |
| Geschossdecke Sanitärräume | 118 |
| Dach | 119 |
| Boden | 120 |
| Bauablauf | 121 |
| Verbindungen | 124 |
| Verbindung der Deckenelemente | 125 |
| Verbindung der tragende Wand | 125 |
| Verbindung der aussteifenden Wand | 127 |
| Rückbaubarkeit | 128 |
| Rückbaukonzept Wohnungstrennwand | 129 |
| Rückbaukonzept Außenwand | 129 |
| Rückbaukonzept Decke | 130 |
| Grundrisstypologien | 131 |
| Micro | 131 |
| Small | 132 |
| Medium | 133 |
| Large | 134 |
| X-Large | 135 |
| Freiflächen | 136 |



Das System

Nachdem nun eine belastbare Basis geschaffen wurde und die Recherche soweit abgeschlossen ist, wird angestrebt, das Erlernte in einen formschönen und innovativen sowie funktionalen Entwurf zu gießen. Hierfür wird in den folgenden Kapiteln eine Basis für das System geschaffen, welches daraufhin zu einem Fertigteilensystem entwickelt wird. Final wird das Konzept als Prototyp auf einem geeigneten Grundstück, welches unter diversen Gesichtspunkten gewählt wird, getestet. Hierfür wird ein konkreter Entwurf erstellt und analysiert. Wichtig wird es ebenso sein, dass das Konzept in verschiedenen Situationen als Nachverdichtungsmaßnahme gedacht werden soll und kann. Das bedeutet, dass eine Symbiose von Bestand und Neuem eingegangen werden wird. Damit einher geht die Aufwertung der bereits bestehenden Bebauung, welche bewusst im Entwurf mitgedacht wird. Sie steht dem Zubau keinesfalls im Weg, sondern versteht sich in diesem Konzept als Verbindungskörper. Dieser dient dazu, das neue Bauwerk noch besser in den Kontext der Geschichte des vorhandenen Ortes miteinzubeziehen.

Entwurfskriterien

Das im Folgenden zu entwickelnde Modulsystem basiert auf dem Konzept eines modular und sich dem Nutzenden anpassbaren Wohn,- und Arbeitsraumes. Zweck dieses Systems ist es aufzuzeigen, dass hochwertiger Raum auch ohne Verschwendung von Ressourcen oder den übermäßigen Einsatz zementbasierter Produkte möglich ist. Im Zuge der Nachverdichtung soll die Qualität des Bestands erhalten bleiben und durch die Entwurfsmaßnahme ein Mehrwert für Mensch und Natur entstehen. Das Modulsystem kann sowohl in die Höhe als auch in die Breite multipliziert werden und ist somit perfekt geeignet, sich an Bauplätze anzupassen. Es wird entwurfstechnisch so gearbeitet, dass das System allen Anforderungen der Gebäudeklasse vier entspricht und bis zu dieser auch eingesetzt werden kann. Regelungen, die diskutiert und als veraltet angesehen werden, sollen hinterfragt und debattiert werden, um deren Sinnhaftigkeit im Entwurf klären zu können. Als Bauwerk der Gebäudeklasse vier gilt in Bayern ein Objekt, welches gemessen an der höchstgelegenen Fußbodenoberkante eines Aufenthaltsraumes maximal 13 Meter über der Geländeoberflächenmitte liegt und eine Nutzungseinheitsgröße von je 400 m² nicht übersteigt.²¹⁹ Sollte ein

²¹⁹ Bayerische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023; byak.de

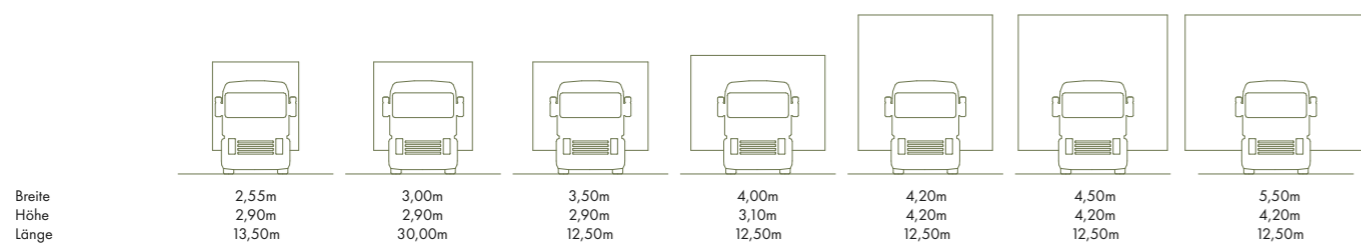
Bestand in den Entwurf mit einbezogen werden, wird dieser nicht grundlegend verändert oder abgerissen, sondern dem Zubau insofern angenähert, sodass eine Symbiose entstehen kann. Einerseits ist hier eine energetische Sanierung ein Thema, um den Bestand zukunftstauglich zu machen. Andererseits kann auch eine gestalterische Annäherung geschehen, je nachdem, was der Bauplatz zulässt.

Die Bauteile selbst werden so geplant, dass eine Anordnung der Räume sinnvoll und komprimiert, aber mindestens genauso flexibel stattfinden kann wie nur möglich. Hierfür ist der Raster des Systems entscheidend, da dieser die Raumgrößen definiert und somit die Räumlichkeiten voneinander abgrenzt sowie durch deren Spannweite die statischen Grundlagen des Systems darlegt. Hierbei muss jedoch nicht nur der Raum als ein „Modul“ gedacht werden. Ebenso ist der Transport zu bedenken, da das System so gedacht ist, auf- und wieder abgebaut werden zu können. Während einer eventuellen Einlagerungsphase einzelner Bauteile können diese problemlos, auch mit bereits aufgebrachten Lehmwänden und Putzschichten, in einer überdachten Lagerhalle gesammelt werden, wo sie auf ihren nächsten Einsatz warten können. Eine kontrollierte Raumlüftung zur Kontrolle der Feuchtigkeit ist nicht vonnöten. Dies wirkt sich unter anderem auf die verfügbaren Räume zur Lagerung und die damit verbundenen Lagerkosten aus.²²⁰

Transport

Da die Modulbestandteile einen hohen Vorfertigungsgrad haben sollen, werden diese auf der Baustelle selbst lediglich versetzt und nach dem Einbau kraftschlüssig miteinander verbunden. Um eine möglichst unproblematische Anlieferung gewährleisten zu können, muss das System auch so durchdacht werden, dass die Bauteile möglichst effizient auf LKWs geladen und transportiert werden

²²⁰ Persönliche Korrespondenz mit Simon Breitenbach; Claytech; 12.09.2023; Interview in Kapitel 9



| | | | |
|-------------------|--|--|--|
| 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 Autobahn erforderlich | |
| Polizeibegleitung | Polizeifahrzeug in DE/CH | mit Polizeibegleitung | |
| Sonstiges | Tiefeladungskombination | | |

können, siehe Abbildung fünfzig. Hierfür ist die Straßenverkehrsordnung heranzuziehen, die unter §22 regelt, wie hoch, breit oder lang die Ladung sein darf. Da das System so nachhaltig wie möglich erschaffen werden soll, wird die Regel angewendet, dass die einzelnen Bauteile eine maximale Anreise von hundert Kilometern zurücklegen müssen. Dies erleichtert die Transportmöglichkeiten und spart dazu noch jede Menge an unnötigen Fahrtstrecken, welche aufgrund der Beschaffenheit der heute in breiter Masse zur Verfügung stehenden LKWs mit dem Ausstoß von Emissionen durch Verbrennungsmotoren entstehen. Die Straßenverkehrsordnung, kurz StVO, regelt, dass LKWs die eine Strecke von weniger als hundert Kilometer zurücklegen, wie folgt zu beladen sind: Die Ladung muss gut gesichert sein und darf sich auch bei starken Ausweichmanövern nicht lösen. Die Fahrzeuge dürfen im Allgemeinen samt Ladung nicht breiter als 2,55 Meter sein und dürfen eine Höhe von vier Metern nicht überschreiten. Die Ladung darf hinten 1,5 Meter über den Sattelschlepper auskragen. Bei Strecken unter hundert Kilometern dürfen es drei Meter sein. Sollte die Ladung mehr als einen Meter auskragen, so ist diese durch mehrere Sicherheitsmerkmale erkenntlich zu machen, welche nicht mehr als 1,5 Meter oberhalb der Fahrbahn angebracht werden dürfen. In Summe darf das Gespann aus Zugfahrzeug und Anhänger mitsamt Ladungsüberstand 20,75 Meter nicht überschreiten.²²¹ Sollte einer dieser Werte überschritten werden, gibt es mehrstufige Genehmigungen. Wie in der StVO §29 festgelegt, wird bei jeder Überschreitung eine Erlaubnis und eine Genehmigung für den Transport einzuholen. Die meisten LKWs mit einem Sattelaufleger haben eine Ladehöhe von etwa einem Meter. Das heißt, eine Ladung mit einer Maximalhöhe von drei Metern ist möglich. Der Sattelzug bietet eine Ladefläche von 13,6 Metern Länge und 2,45 Metern Breite, wobei eine Genehmigung für einen Transport mit drei Metern Breite ohne Probleme möglich ist. Die maximale Belastbarkeit wird mit etwa 24.000kg pro Sattelschlepper angegeben und sollte somit nicht zum Problem beim Transport werden.²²² Bei den Aufbauten wurde darauf geachtet, dass sie durch die Geschosshöhe von drei Metern im Fall des Transports immer liegend transportiert werden können. So kann verhindert werden, dass eine höhere Breite als diese den Transport erschwert.

Vorfertigung

Eine der größten Herausforderungen im Bauwesen heutzutage ist der Fachkräfte-, aber auch der allgemeine Mitarbeitermangel. So ist das Baugewerbe nach einer Studie aus dem Jahr 2022, welche durch das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung angestellt wurde, mit 63% unbesetzten Stellen die am höchsten unbesetzte Branche in Deutschland.²²³ Um dieser Problematik entgegenzuwirken, und durch den angestrebten hohen Vorfertigungsgrad wird ein Großteil der Arbeitsleistung auf das Handwerk übertragen. Das Hauptaugenmerk liegt hier auf dem Holzverarbeitenden Handwerk. Es muss eine Fusion stattfinden zwischen dem planerischen Part der Architektur und der vorfertigenden Arbeit durch das Handwerk sowie den Ingenieur*innen, um die möglicherweise entstehenden Problematiken auf der Baustelle so sehr zu minimieren wie nur möglich. Das Ziel wird so gesetzt, dass die Lieferwege kurz gehalten werden, um das emittierte CO₂ in der Bauphase so weit wie möglich zu be-

²²¹ Bundesministerium für Justiz, Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)§ 22 Ladung; 2023

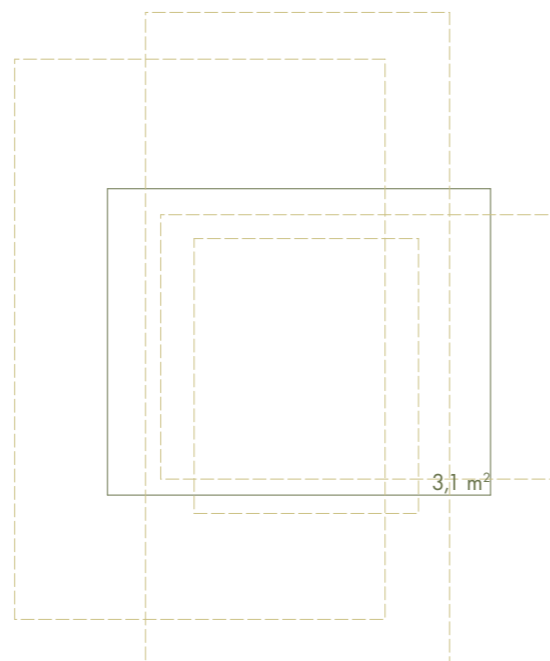
²²² Diez Spedition; Sattelzüge; 2023; diez-spedition.de

²²³ Institute for employment research; European Labour Market Barometer; 2023; iab.de

grenzen. Es wird angestrebt, dass die Bauteile durch ein Paket aus Bauplänen und Dateien, lizenziert von Handwerksbetrieben, vor Ort hergestellt werden können, um die Lieferwege zu verkürzen. Es wird das bereits vorhandene Netz des Handwerks vor Ort einbezogen, um lokale Handwerksbetriebe zu stärken und zu nutzen. Ein Mindestmaß technischer Voraussetzungen und Maschinenstrukturen wird im Zuge des Lizenzverfahrens festgelegt. Auch eine lokale Produktion vor Ort kann angedacht werden, sollte der Bauplatz dies zulassen.

Platzbedarf

Die Größe eines Raumes korreliert auf den ersten Blick stark mit dessen Nutzung. Sollte jedoch eine Umnutzung stattfinden, kann dieser Raum auf einmal nicht mehr die Funktion erfüllen, für die dieser vorgesehen war. Es muss also ein adaptiver Raum entworfen werden, der zwischen effizient gemessenem Grundriss und Großzügigkeit im räumlichen Empfinden liegt. Wenn Räume funktionsfrei geplant werden, sollten ihnen nach dem Buch „Flexible Housing“ ein Mindestmaß von 3,5x4,0 Metern zukommen.²²⁴ Eine gleichwertige Planung aller Räume trägt dazu bei, dass die Strukturen langfristiger und vielseitiger eingesetzt werden können. Durch die Vielzahl verschiedener Lebensentwürfe und Wohnsituationen ist es natürlich schwer, diese auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen. Dennoch wird durch Recherche verschiedener Quellen der Versuch angestrebt, sich einer Definition des Raumbedarfs gewisser Nutzungen zumindest anzunähern. Durch Analyse der Grundrisse der referenzierten Bauwerke sowie durch die Analyse der Recherchen des Umweltbundesamtes bezüglich Ressourcenverbrauch und Wohnfläche sowie durch die Leitlinien, welche durch das Buch Open Architecture vermittelt werden, wurden Querschnitte als Bedarfsflächen für Räume herausgefunden, welche im Entwurf als Basisgröße herangezogen werden.^{225/226} Die folgende Abbildung zeigt hier beispielsweise die Flächen und das Flächenmittel der Eingangsbereiche der analysierten Projekte.



²²⁴ Schneider, Till; Flexible Housing. Architectural Press; 2007; Seite 143

²²⁵ Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; 2021; Seite 145

²²⁶ Umweltbundesamt; Wohnfläche; 2023; umweltbundesamt.de

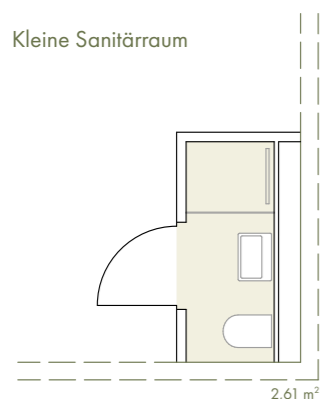
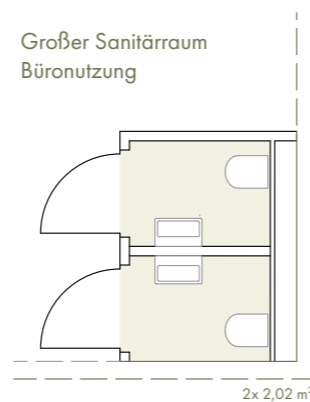
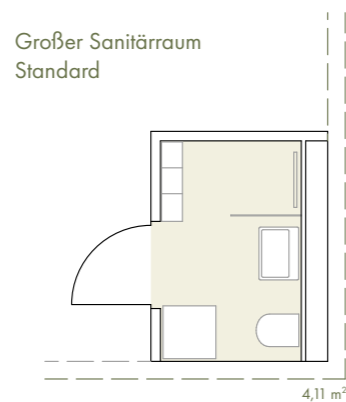
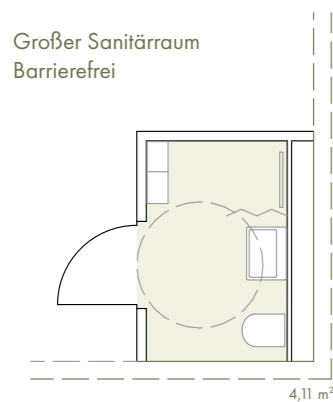
Schlussfolgernd aus dieser räumlichen Recherche wurde eine multiplizierbare Zahlenreihe entwickelt, welche die größtmögliche Zahl der genannten Raumgrößen bespielen kann und somit als Wunschmaß einer räumlichen Konstellation eingeführt wird. Die Zahlenreihe ist in Quadratmetern angegeben und bezieht sich auf die tatsächlich nutzbare Fläche des jeweiligen Raumes inklusive Mobiliar und Einbauten. Die Summe als Korrelation der oben genannten Räume unterscheidet sich kaum zwischen Wohneinheiten mit den verschiedenen Bad-Konstellationen und ergibt sich mit einer Fläche von durchschnittlich 46,45m² für einen effizient gestalteten Zwei-Personen-Haushalt. Die daraus schlussfolgernden Größen lassen sich mit einer Dreierzahlenreihe beschreiben- also drei, sechs, neun, zwölf usw. Bei einer angenommenen Modulbreite von 360-370 Zentimetern Innenmaß ergibt sich hier bei zwölf Quadratmetern nahezu ein Quadrat. Dieser Würfel ist immer wieder unterteilbar, um alle gewünschte Raumflächen zu erzeugen, und durch Multiplikation so erweiterbar, dass größere Raumkonstellationen flexibel darin positioniert werden können. Die Raumhöhe ist ebenso wichtiger Faktor für die räumliche Vielfalt eines Bauwerks. Für eine ideale Nutzung für sowohl Wohnzwecke als auch Bürotätigkeiten wurde eine Geschosshöhe von drei Metern gewählt. Dies bietet in den recht kompakt konzipierten Grundrissen eine gewisse räumliche Freiheit in der dritten Dimension.

Möblierung

Möblierung spielt im System eine untergeordnete Rolle, da diese sowohl nach Situation der Bewohnenden als auch abhängig von der Nutzung der Einheiten sehr divers ausfallen kann. Die möglichen Möblierungssituationen werden im Zuge des Entwurfs an einem spezifischen Bauplatz durchgespielt. Hierfür werden die Räume mit standardisierten Möbelkonfigurationen ausgestattet, um eine klare Evidenz zu schaffen, dass das System gut für den Einsatz solcher geschaffen ist. Es wird jedoch explizit darauf hingewiesen, dass es sich neben dem fest installierten Inventar wie den sanitären Einrichtungen lediglich um Vorschläge handelt und somit mit dem Leben und dem eventuell bereits vorhandenen Inventar der Nutzer*innen bespielt werden kann. Möbel sind insofern so persönlich, da die Benutzenden eine große Bindung zu diesen aufbauen. Somit kann sich die Architektur lediglich anmaßen, eine bestmögliche Hülle für die Entfaltung der einzelnen Charaktere zu bieten.

Sanitärräume

Sanitärräume sollten Platz und Ausstattung bieten, um Körperpflege und Gesundheitspflege in ausreichendem und nicht beengtem Raum zuzulassen. Das Bad ist konstruktiv an eine Schacht gebunden und persönlich an eine Kopplung an Individualräume. In den meisten Wohnungen erfüllt er ebenso zumindest einen Teil der hauswirtschaftlichen Bedürfnisse der Wohnung, da dort die Anschlüsse für die Waschmaschine verortet sind. Im Zuge der Flächenbedarfsermittlung und im Sinne der Kompaktheit wird auf ein separates WC verzichtet. Dies kommt neben einer kompakteren Schachtführung ebenso mit einer räumlichen Platzersparnis einher. Anders als beispielsweise in Österreich, gibt es in Deutschland keine Verpflichtung ein getrenntes WC am einer gewissen Wohnungsgröße vorzu-



sehen. Die Planungsgrundlage umfassen lediglich zwei DIN Normen die sich mit der Beispielung von Sanitäräumen befassen, DIN 68935 und DIN 18040-1/18040-2. Die erzeugten Räume sind im Sinne dieser Planungsgrundlage erzeugt worden. Neben der kompakteren Raumdimensionierung ist ebenso die Nutzung als barrierefreie Einrichtung ebenso vereinfacht umsetzbar. Nichtsdestotrotz ist dies der Raum, der täglich am kürzesten und wenigsten genutzt wird. Hier kommt die Frage der Größe zwangsläufig auf. Ein gewisses Mindestmaß ist durch eine barrierefreie Ausführung geboten und sollte eingehalten werden. Eine übermäßig große Planung verbraucht im Gesamtkonzept der kompakten Wohnungen jedoch zu viel Fläche und würde die Lebensqualität mindern. Es werden darum zwei verschieden große Badestrukturen gestaltet. Beide vereint ein längs an der Wand entlang laufender Schacht, in dem die Anschlüsse des Badeinventars gesammelt entlanggeführt werden. Die Tiefe der Bäder entscheidet sich jedoch, und damit einhergehend die Anordnung der einzelnen Nutzungen. Die kleinere Ausführung verfügt über das Nötigste auf minimaler Fläche. Dieses System ist für Kleinstwohnungen gedacht und verfügt in seinen 2,5 Quadratmeter über eine Toilette, ein Waschbecken sowie eine großzügige Dusche. Die hauswirtschaftliche Nutzung entfällt und wird durch einen im Erdgeschoss angeordneten Hauswirtschaftsraum kompensiert. Die zweite und größere Sanitär Anordnung verfügt über einen tieferen Raum, der es ermöglicht, hauswirtschaftliche Nutzungen mit einzubeziehen. Dieser wird in etwas größeren Wohnungen, vor allem aber auch in der Bürokonstellation eingesetzt werden. Dieses Bad ist deutlich flexibler, da es mit nur sehr geringen Umbauten wie der Entfernung der Waschmaschine allen Anforderungen an Bar-

rierefreiheit entspricht, ohne dabei den Raum ineffizient zu nutzen. Im Kontext einer Umnutzung oder Bedarfsanpassung ist es durch die seitlich angeordnete Schachtsituation leicht möglich, das Bad in zwei Toiletten mit jeweils angeordnetem Waschbecken umzubauen. Nichtsdestotrotz wird hierfür lediglich eine Fläche von genau vier Quadratmetern beansprucht. Die Sanitäräume werden jeweils so angeordnet, dass sie natürlich belichtet und belüftet werden können und eine technische Lüftung, welche Energie verbrauchen würde, entfällt.

Innenausbau

Der Innenausbau der Räume kann in den Grenzen der tragenden Wände und der Anschlüsse für die sanitären Einrichtungen frei gestaltet werden. Die entwickelten Grundrisse verstehen sich als konzeptioneller Leitfaden, welcher individuell anpasst ist. Da einige innerhalb einer Wohneinheit verwendeten Bauteile keine oder geringe Anforderung an Brandschutz oder Bauphysik haben, kann in diesem Teil weitestgehend frei gestaltet werden und die Fokussierung der Nutzung von Pre-used-Materialien kann in Gänze umgesetzt werden. Hierfür können beispielsweise Bauteile in den bereits beschriebenen Bauteilbörsen käuflich günstig erworben werden. Ein partizipativer Ansatz, welcher mit einer stärkeren Identitätsverknüpfung von Mensch und Lebensraum einhergeht, kann so geschaffen werden.

Das Tragwerk

Bei der Erstellung von Holzbausystemen kann grundsätzlich in mehrere Bauarten entschieden werden. Diese Systeme gliedern sich in drei Hauptkategorien: den Holzmassivbau, den Skelettbau und deren Mischkonstruktion, einem Hybrid der beiden Bauarten. Mit dem Verweis auf das Kapitel Holz wird dies hier lediglich kurz angeschnitten. Holz, welches von dessen Natur aus als stabförmiger Baustoff vorhanden ist, legt die Nutzung als solches grundsätzlich nahe. Da es im Wohnbau meist keinen Bedarf an großen Spannweiten gibt und das Gebäude weitestgehend mit lasttragenden Innen- als auch Außenwänden geplant wird, um ein effizientes Tragwerk liefern zu können, wird der Skelettbau im Wohnbau heutzutage selten eingesetzt. Lösbar, aber zu beachtende Schwachstellen bietet der Skelettbau auch an anderen Stellen. Die akustische Entkopplung der einzelnen Räume, sowie die Übertragung von Lasten ist weitestgehend komplexer als in anderen Systemen.²²⁷

Die horizontale Aussteifung des Systems gelingt durch aussteifende Deckenplatten, welche kraftschlüssig an das System von Stützen und Trägern angeschlossen werden müssen. In der vertikalen Ebene übernehmen die Aussteifung Wandscheiben. Dies kann durch Brettsperrholz,- Brettstapel,- Vollholz als auch aufgebrachte Plattenmaterialien wie beispielsweise Dreischichtplatten geschehen. Als aussteifende Maßnahme wird im „Atlas für mehrgeschossigen Holzbau“ beschrieben, dass für Bauwerke mit maximal drei Geschossen

²²⁷ Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; 2021; Seite 155

²²⁸ Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen; 2022; Seite 50

oder etwa sieben Metern Bauhöhe die aussteifende Wirkung von Holzbeplankung sowie darüber liegendem Trockenbau dem Bauwerk ausreichende Steifigkeit zur Verfügung stellt. Für Bauwerke, die über dieses Maß hinausgehen, sollten je nach Einbausituation Auskreuzungen aus Stahl, Holzmassivbaustoffen oder Betonwänden als aussteifendes Element mitgedacht werden.²²⁸ Da sich das Bauwerk bis zur Gebäudeklasse vier entwickeln wird, ist die oberste Fußbodenoberkante mit maximal 13 Metern anzunehmen. Durch das dazu wegfallende Treppenhaus als Ankerpunkt wäre bei einer nicht massiven Bauweise das System nicht bestmöglich ausgesteift.

Eine reine Holzmassivbauweise ist, auch wenn die anfallenden Lasten einfacher und gleichmäßiger abgeleitet werden können, materialintensiver und somit im Hinblick auf Ressourcenschonung sowohl als auch finanziell in einer Reinform zu hinterfragen.²²⁹ Dimensioniert man das System jedoch sinnvoll, kann eine deutlich längere Haltbarkeit der Tragstruktur erreicht werden, vor allem verglichen mit anderen Systemen. Dies kann die Kosten der Errichtung zum Teil amortisieren. Verzichtet man dazu noch auf geklebte Baustoffe, wie beispielsweise CLT Plattenwerkstoffe, trägt der ökologische Gesichtspunkt der Rückbaubarkeit und Sortenreinheit zur Sinnhaftigkeit des Einsatzes eines solchen Systems bei. Ein einheitliches System an Schichtaufbauten vereinfacht einerseits die Herstellung der Systembauteile und schafft andererseits die Möglichkeit, jeden Bauteil schichtweise rückbauen zu können.

Um aufgedoppelten Wänden und dem damit einhergehenden gesteigerten Ressourcenverbrauch entgegenzuwirken sowie die Flexibilität und Vielseitigkeit des Systems bestmöglich ausreizen zu können, wird das Modulsystem nicht aus Raumzellen, sondern aus zweidimensionalen Elementen erstellt. Dies ermöglicht eine höhere Nutzungsoffenheit und Veränderbarkeit beziehungsweise Umnutzung nach einem Lebenszyklus oder währenddessen. Sollte ein Element defekt oder über die Lebens- und Belastungsgrenze hinaus in Nutzung sein, ist ebenso der Austausch leichter und kostengünstiger, da diese Elemente modularer und kleiner sind als ganze Raumzellen. Hinzu kommen weitere Themen, wie die des Transportes und des Rückbaus, welche bei Raumzellen mit größeren Anstrengungen verbunden sind. Bemessen ist das Tragwerk so, dass sowohl das Eigengewicht als auch die gesetzlich vorgeschriebene Nutzlast, sowohl für Wohnnutzung als auch für eine Büronutzung mit einberechnet werden. Alle Vordimensionierungen werden unter Einbeziehung der Eigenlast sowie der Nutzlast für Wohnbau und Büroflächen, sowie die Wind- und Schneelasten, geregelt nach DIN EN 1991-1-1 (12.2010) bemessen.²³⁰

²²⁹ Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; 2021; Seite 157

²³⁰ Niedersächsisches Ministerialblatt Nummer 37a; 2012; Seite 174

Erschließung

Mit der Flexibilität des Systems geht immer eine gewisse Komplexität der Erschließungsformalitäten einher. Jeder Bestand kann unterschiedlich bespielt werden und das System selbst ist ebenso überaus flexibel gestaltbar. Ein weiterer Faktor im Holzbau ist die Vorgabe, dass der Erschließungskern nicht brennbar auszuführen ist, was die Auswahl der Materialien eingrenzt. Der Einsatz von Stahlbeton wäre einerseits ökologisch überaus fragwürdig, und ebenso stark zweck-, und ortsbezogen aufgrund von Gestaltungsform und Gewicht. Um bei der Erschließung nicht in die Struktur des Moduls eingreifen zu müssen, als auch den Einsatz bereits verwendeter oder erneut verwendbarer standardisierter Materialien zu fördern. Hierbei kommt die Erschließung aus Stahlfertigelementen in Frage. Die einzelnen Bauteile dieses Stahlgerüsts können nahezu unbegrenzt in verschiedenen Bauwerken eingesetzt werden oder haben vor dem Einsatz in besagtem Entwurf bereits einen Gebäudelebenszyklus durchlaufen, da sie von Bauteilbörsen oder allgemein gebraucht erworben werden können. Diese Stahlfertigteillösungen werden in weiten Teilen der industriellen Architektur heute bereits eingesetzt und erprobt. Das System besteht meist aus einem Elementsystem, welches zu einer Treppe nach Wunsch kombiniert werden kann.²³¹ Die Erschließung wird als Laubengang ausgebildet, um so wenig in die bestehende Gebäudestruktur einzugreifen wie möglich, und ebenso die Nutzfläche innerhalb der Strukturen nicht zu verringern. Anschlusspunkte an der tragenden Struktur des Baukörpers nehmen die Struktur auf, lasten sie ab und verbinden sie mit dem Gebäude. Damit das anfallende Gewicht bestmöglich abgelastet werden kann, wird auf der gegenüberliegenden Seite ein Stützenraster angebracht. Um hier eine Schallentkopplung bestmöglich umzusetzen, werden die Ankerpunkte, welche bereits beim Vorfertigen an der Struktur angebracht werden, mit Gummidämpfern unterlegt. Eine zweite Ebene der Schallentkopplung findet in der Aufhängung der Gitterrostrahmen statt. Hier werden ebenso zwischen den Verbindungspunkten elastische Dämpfer eingeschraubt. Um der Erschließung neben der grundlegenden Funktion der Bereitstellung eines Zugangs zur Wohneinheit einen Mehrwert verleihen zu können, wird diese um eine Aufenthaltsqualität erweitert. Hierfür wird neben der Erhöhung des barrierefreien Mindestmaßes die Breite der Erschließung erweitert. Hinzu kommen Begegnungszonen, welche sich als Inseln vor den jeweiligen Wohnungseinheiten entwickeln und so einen halböffentlichen Kommunikationsraum bieten. Zum Schutz vor Umwelteinflüssen der Bewohnenden wird die Erschließung überdacht und bietet durch die an der Außenkante angeordneten Pflanzenträger mitsamt Rankhilfe einen gewissen Schutz vor Wind und schrägem Regen. Mit diesem Konzept wird das horizontale Grün des Gartens in die Vertikale verlängert.

²³¹ Steinhaus Treppen; Stahlrahmen Podest mit DIN Stahlgitter Belag; 2023; steinhaus-treppen.de

Elemente

Da es sich bei der gewählten Bauart um zweidimensionale Elemente handelt, setzt sich dieses ähnlich wie ein Baukastensystem auf mehreren Elementen zusammen. Auf den folgenden Seiten werden die einzelnen hierfür benötigten Bauteile erläutert und Entscheidungen bezüglich deren Materialität und Aufbauten sowie Verbindungen getroffen. Neben der Freiflächengestaltung werden ebenso verschiedene Grundrisstypologien durchgespielt, um die Praktikabilität des Systems unter Beweis zu stellen.

Bauteilkatalog

Um ein solches Bausystem so ressourcenschonend wie möglich ausführen zu können, wird die Anzahl der Bauteile soweit minimiert wie möglich, ohne die Flexibilität des Entwurfs einzuschränken. Das System schafft aus je maximal sechs Bauteilen einen Raum, wobei hier jeweils zwei Bauteile weitestgehend baugleich sind. Lediglich die Positionierung von Türen und Fenstern dieser jeweils zwei nahezu gleichen Bauteile kann sich unterscheiden. So entsteht ein Bauteilkatalog, welcher die Basis der Entwurfsmöglichkeiten bietet. Dieser umfasst eine Deckenkonstruktion, welche in zwei drei Variationen auftritt. Klassisch als Geschossdecke, mit aufgebracht Dämmung und Abdichtung für ein Dach, sowie nach unten gedämmt als Boden gegen Außenluft beziehungsweise gegen Erdreich. Die längs liegenden Wände unterscheiden sich jeweils in der Dicke der eingebrachten Tragstruktur. Die Stärke des Holzes wurde dem Einsatz angepasst, um den Materialeinsatz so weit zu beschränken wie möglich. Hierzu gehören die längs liegende tragende Außenwand, die Nutzungseinheitstrennwand mit Vorsatzschale und die wohnungsinterne Wand, welche dieselbe Stärke wie die Nutzungstrennwand aufweist, jedoch ohne Vorsatzschale auskommt. Die letzten Bauteile ist die quer angebrachte Wand. Als Reaktion auf den möglichen Bestand kann und muss teilweise im geringen Maß von den standardisierten Bauteilen abgewichen werden. Dies wird jedoch auf ein Minimalmaß beschränkt.

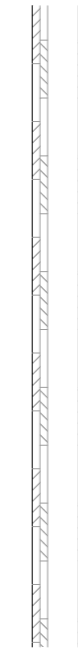
Unterkonstruktion | Fundament

Ein gut konstruiertes Fundament, welches sowohl standhaft als auch in Sinne der Nachhaltigkeit geplant wurde, bildet die Basis eines widerstandfähigen Bauwerks. Klassische Fundamente werden durch den Einsatz von Beton erzeugt. Dies geschieht entweder durch die Ausbildung eines Kellers oder durch eine gegossene Bodenplatte oder Streifenfundamente. Im entworfenen System kann je nach Untergrundbeschaffenheit auf Punkt,-Streifenfundamente oder, sollte es die Belastung zulassen, auf Schraubfundamente gesetzt werden. Betonfundamente können als Fertigteile vorgefertigt werden und an Ort und Stelle versetzt werden. Durch die Nutzung normierter und vorgefertigter Fertigbetonteile wird zwar durch deren Herstellung CO₂ emittiert, dies wird jedoch auf ein absolutes Mindestmaß heruntergebrochen, da die Bauteile nahezu endlos einsetzbar sind und ebenso wie alle anderen Bauteile in neuen Konstellationen und Bauten erneut eingesetzt werden können. So kann das Gebäude in einer gewissen Höhe über dem Boden ruhen. Dies versiegelt diesen nur in geringem Maß und lässt der Natur darunter Luft zum Atmen. Umgesetzt werden kann dies entweder durch ein Aufständern des Bauwerks, oder durch eine löse Dämmung wie beispielsweise Schaumglasschotter im Perimeterbereich.²³² Eine weitere Möglichkeit bietet eine neue Art des Beton. Eine zukunftsweisende Entdeckung wurde hier von einem Forschungsteam der ETH Zürich erbracht. Gemeinsam mit dem Impact HUB Zürich wurde ein Material entwickelt, welches komplett neu und nie da gewesen ist: Ein nachhaltiger Beton frei von Zement, welcher aus Abbruchmaterial hergestellt wird.²³³ Die erzeugten Baustoffe gelten als einzigartig in ihrem Segment und brachten die Forschenden unter die weltweite Spitze der Forschung sowie den Co-Gründer Dr. Gnanli Landrou in die Forbes „30 under 30“ Bestenliste.²³⁴ Mit der Gründung der Firma Oxacrete werden die verschiedenen Abbruch,- und Lehmabbaustoffe, welche entwickelt wurden, momentan bis zur Marktreife optimiert. Der Baustoff „Oxacrete Oulesse“ welcher im Entwurf eingesetzt werden wird, gibt es bereits käuflich zu erwerben. Es handelt sich hierbei um einen Beton, welcher aus über siebzig Prozent Abbruchmaterial besteht, welches aus Beton, Fliesen und Gips gewonnen wird. Weitere Inhaltsstoffe sind Lehm und verschiedene Erden. Die verwendeten mineralischen Bindemittel sind als ungiftig und nicht gefährlich eingestuft. Mit einer Druckfestigkeitsklasse von C20/25 und einer dauerhaften Wasserbeständigkeit ist er für den Einsatz im Fundamentbereich zugelassen. Mit einem Erderwärmungspotenzial (GWP) von 0,13 kg CO₂-eq unterbietet er herkömmlichen Beton um mehr als siebzig Prozent des CO₂ Fußabdrucks. Laut Oxacrete liegt der Baustoff ebenso preislich deutlich unter den klassischen Betonprodukten. Dazu kommt, dass der Baustoff so entwickelt wurde, dass er ohne hohen Energieaufwand endlos wieder gemahlen und neu eingesetzt werden kann.²³⁵ Als Unterkonstruktion werden Beton-Streifenfundamente gegossen, welche so weit über der Geländekante liegen, dass unter der dort aufgelegten Bodenplatten eine Lufffläche entsteht. Mit diesen Fundamenten wird die Bodenversiegelung auf ein Mindestmaß heruntergefahren, ohne die Standfestig-

keit des Bauwerks zu beeinflussen. Bei geringeren Gebäudehöhe von ein bis zwei Geschossen kann zur Gänze auf Beton verzichtet werden und die Fundamentierung des Bauwerks unter Zuhilfenahme von Schraubfundamenten erzeugen.

Wände

Tragende Innenwand



Unverklebtes Massivholz

16cm

16cm

Die tragende Struktur der Wände wird, wie auch der Rest des Bauwerks, im Sinne einer kreislauffähigen Architektur erzeugt. Hierfür wird ein Holzmassivmaterial genutzt, welches ohne Kleber oder metallische Verbindungen statisch bestens für das Gebäude funktioniert. Der tragende Kern der Wand wird aus einer unklebten Holzmassivwand hergestellt. Hier bietet beispielsweise die Firma Thoma ein spannendes Produkt. Der Bauteil „Holz100“ bietet eine langlebige Konstruktion aus mehrschichtigem Vollholz und schafft die ideale Basis als Auflager für die Decken als auch für die allgemein an das Bauwerks bestehenden Anforderungen. Neben dem Kern, welcher einer klassischen Brettstapelbauweise nachempfunden ist, werden beidseitig kreuzweise Bretterschichten aufgedübelt um eine perfekte Auskreuzung zu erreichen. Die Vorbemessung ergibt einen Querschnitt von 16 Zentimetern Vollholz in der tragenden Struktur. Die Holzmassivwand ist in die nach DIN EN 12207 definierte Luftdurchlässigkeitsklasse 4 eingeteilt. Dies bedeutet eine Referenzdurchlässigkeit bei 100 Pa m³/hm von 0,75. Hierdurch ist eine Zulassung im Sinne der DGNB möglich.²³⁶ Die Vorbemessung ergibt einen Querschnitt von 16 Zentimetern Vollholz in der tragenden Struktur. Auch andere Firmen wie Longin mit ihrem Produkt „LONDYB“ bieten entsprechende Lösungen an. Für den Entwurf wurde mit dem System von Thoma gearbeitet.²³⁷

²³⁶ Holz 100; Thoma Planungshandbuch; 2024 thoma.de

²³⁷ Longin; Massivholz-Wände LONDYB; 2024; longin.at

²³⁸ Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 44

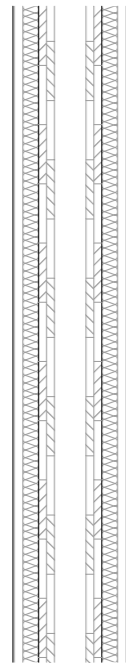
²³² Hillebrandt; Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource; 2021; Seite 46

²³³ Oxara; Purpose; 2023; oxara.earth

²³⁴ Forbes; Pioneer Fellow, ETH Zürich, 30 Under 30 in der Kategorie „Tech“; 2019; forbes.at

²³⁵ Oxacrete Produktblatt; 2023; Seite 1

Wohnungstrennwand



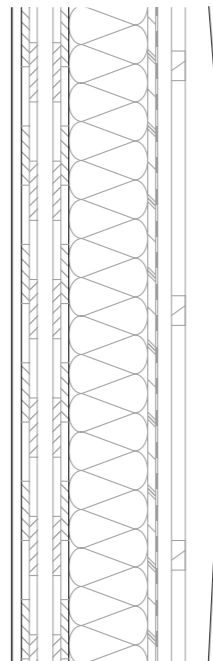
| | |
|---|-------|
| Lehmfeinputz | 0,3cm |
| Lehmbauplatten | 2,2cm |
| Holzfaserdämmplatten, dazwischen Holzständer | 4cm |
| Unverklebtes Massivholz | 16cm |
| Holzfaserdämmplatten, dazwischen Holzständer | 4cm |
| Lehmbauplatten | 2,2cm |
| Lehmfeinputz | 0,3cm |

29cm

Bei der Innenwand wird, sollte es sich um eine Wohnungstrennwand handeln, eine benötigte Schallschutzvorsatzschale angebracht werden, welche sich aus einer Holzfaserdämmplatte und einer Verkleidung aus 22 Millimeter dicken Lehmplatten zusammensetzt.²³⁸ Die Wände sind zur Gänze rückbaubar und bieten ein hohes Potential des Einsatzes von Post- und Pre-Used-Materialien. Fräsungen und Ankerpunkte für das Zusammenschließen der Wände mit den darüber und darunter liegenden Wänden sowie mit den Decken werden während der Vorproduktion eingearbeitet.

Tragende Außenwand

Soll U-Wert 0,24 W/(m²·K)²³⁹
 Soll U-Wert Passivhaus 0,15 W/(m²·K)²⁴⁰
 Ist U-Wert **0,129/(m²·K)**



| | |
|---|-------|
| Fassadenlattung (Douglasie) | div. |
| Lattung | 3,5cm |
| Konterlattung | 3,5cm |
| Winddichtung | - |
| Diagonale Rauschalung | 2,7cm |
| Holzfaserdämmplatten oder Steinwolle, dazwischen Holzständer | 20cm |
| Unverklebtes Massivholz | 12cm |
| Lehmbauplatten | 2,2cm |
| Lehmfeinputz | 0,3cm |

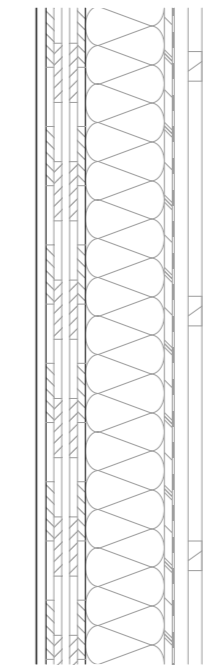
44,2cm

²³⁹ Bayerische Ingenieurekammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 34
²⁴⁰ Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021; planradar.com

Die tragenden Außenwände wurden, ebenso wie die tragenden Innenwände, aus einer Vollholzlösung konzipiert, welche klebe- und metallverbindungsfrei sind. Aufgrund der nur einseitigen Belastung konnte hier bei einer Vorbemessung der tragenden Struktur auf zwölf Zentimeter reduziert werden. Durch die Erfüllung des Passivhausstandards des Bauteils wird eine Dämmung von insgesamt zwanzig Zentimetern aufgetragen. Je nach Gebäudeklasse können als Dämmung Holzfaserdämmplatten oder Steinwolle eingesetzt werden. An die Abdichtungen wird auf der Außenseite des Bauteils eine Fassade angeschlossen. Bei diesen Wänden werden ebenso alle Ankerpunkte, die nötig sind vorgearbeitet, um während des Versetzens der Bauteile diese lediglich positionieren und verbinden zu müssen.

Aussteifende Außenwand

Soll U-Wert 0,24 W/(m²·K)²⁴¹
 Soll U-Wert Passivhaus 0,15 W/(m²·K)²⁴²
 Ist U-Wert **0,133/(m²·K)**



| | |
|---|-------|
| Fassadenlattung (Douglasie) | div. |
| Lattung | 3,5cm |
| Konterlattung | 3,5cm |
| Winddichtung | - |
| Diagonale Rauschalung | 2,7cm |
| Holzfaserdämmplatten oder Steinwolle, dazwischen Holzständer | 20cm |
| Unverklebtes Massivholz | 10cm |
| Lehmbauplatten | 2,2cm |
| Lehmfeinputz | 0,3cm |

42,2cm

Da Aufstockungen, wie auch das Konzept an sich, meist ohne aussteifenden Treppenhauskern auskommen müssen, und das entwickelte System in der Erschließung auf nachhaltigere Stahlfertigelemente setzt, rückt das Thema der Aussteifung und Aufnahme von Windlasten mehr in den Mittelpunkt als bei anderen Bauvorhaben. Darum wurde sich auch hier für einen konstruktiven Ansatz aus Vollholz entschieden. Zwar hat dieser verglichen mit einer Leichtbaustruktur einen gesteigerten Materialeinsatz, ist dafür aber deutlich langlebiger und universeller einsetzbar. Ebenso verringert sich so die Komplexität des Bauteils, was es widerstandsfähiger und reparabler macht. Auch der Bauablauf konnte hiermit optimiert werden, da alle Wände, welche als Außenwand eingesetzt werden, die selben Bauschritte erfahren und sich lediglich in der Dicke ihrer konstruktiven Schicht unterscheiden. Aufgrund der lediglich aussteifenden Wirkung der Wände kann mit Hilfe der Vorbemessung der konstruktive Querschnitt des Vollholzes auf zehn Zentimeter reduziert wer-

²⁴¹ Bayerische Ingenieurekammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 34
²⁴² Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021; planradar.com

den. Dies verschlankt die Wand bei gleichzeitiger Scheibenwirkung und bietet bei überdurchschnittlichem U-Wert eine dünne Hülle des Bauwerks. Auch hier wird die sich durch den Entwurf ziehende Fassadengestaltung aufgebracht sowie Verbindungspunkte eingefräst.

Nicht-tragende Innenwand



| | |
|---|-------|
| Lehmfeinputz | 0,3cm |
| Lehmbauplatten | 2,2cm |
| Holzfaserdämmplatten, dazwischen Holzständer | 6cm |
| Lehmbauplatten | 2,2cm |
| Lehmfeinputz | 0,3cm |

11 cm

Innenwände werden in der klassischen mineralischen Architektur aus einer Metallständerwand, entweder aus CW oder UW Profilen und meist doppelt aufgeschraubten Gipskartonplatten hergestellt, welche nach dem Einbau verputzt und gestrichen werden.²⁴³ Im entworfenen System wird als tragende Konstruktion der Innenwand eine Holzlattung verwendet, welche je nach Brandschutzanforderung mit Steinwolle oder Holzfaserplatten ausgekleidet wird. Zu vergleichen ist hier mit Kapitel Dämmung und Brandschutz. Für wohnungsinterne Wände wird hier eine Grundstruktur aus quadratischen sechs Zentimetern Holzlatten gewählt, welche beidseitig mit der Lehmbauplatte „Lemix 22“ der Firma Claytech beplankt werden.²⁴⁴ Gefüllt wird der Hohlraum mit der sechs Zentimeter dicken Holzfaserdämmplatte „Steico internal“.²⁴⁵ Den Wandabschluss bietet ein dünn aufgetragener Lehm-Feinputz. In Räumen, welche einer höheren Feuchtelast ausgesetzt sind, ist dieser Wandaufbau ebenfalls problemlos einsetzbar.²⁴⁶ Lediglich in Bereichen, welche direkt mit Spritzwasser in Berührung kommen, ist eine weitere Schutzschicht vonnöten. Hier kann je nach Bedarf verfließt werden oder auf eine kaseinhaltige Spachtelmasse zurückgegriffen werden.

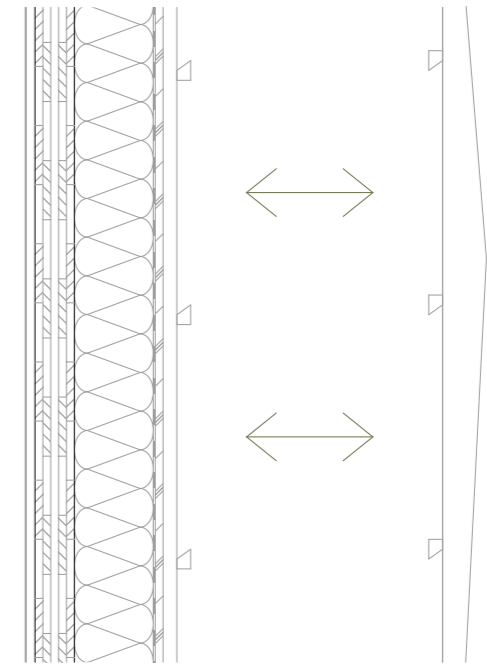
²⁴³ Knauf; Wandsysteme; 2023; knauf.at

²⁴⁴ Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 44

²⁴⁵ Steico; Steico internal- Innendämmung aus Holzfasern; 2023; steico.com

²⁴⁶ Persönliche Korrespondenz mit Simon Breitenbach; Claytech; 12.09.2023; Interview in Kapitel 9

Fassade



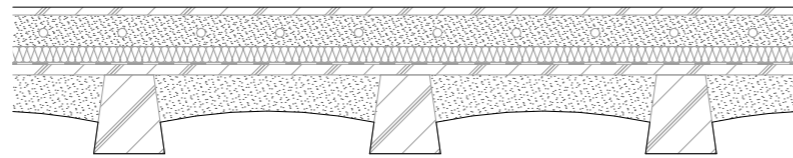
Die Fassade wird aus einer vertikalen Lattung erzeugt. Mit einer Lebensdauer von durchschnittlich vierzig bis sechzig Jahren ist diese deutlich kürzer als die tragende Struktur und wird daher so ausgeführt, dass diese nach dem Ende ihres Lebenszyklus ausgetauscht werden kann, ohne dabei Großteile des Bauwerkes in Mitleidenschaft zu ziehen.²⁴⁷ So kann die tragende Struktur deutlich länger erhalten bleiben und nach Stand der Technik und des Zeitgeistes sowie ästhetischen Aspekten die äußere Hülle des Bauwerkes neu erfinden. Hierfür werden gefräste Holzprofile an die außenliegende Holzplatte angebracht, in die das vorgefertigte Fassadensystem eingehängt werden kann. Sobald dies eingehängt wurde, wird es mit einigen Schrauben fixiert. Eine Vorfertigung des Fassadensystems in den Systemgrenzen bewirkt nicht nur eine leichtere Zugänglichkeit im Falle eines Austausches oder einer Reparatur. Auch die Bauzeit kann durch den Wegfall des Anschraubens einzelner Latten in diesem Bauabschnitt reduziert werden. An die Fassadenlattung wird einerseits der Anspruch einer hohen Witterungsbeständigkeit gestellt. Andererseits sind optische Präferenzen als auch eine klimabewusste Entscheidung wichtig für die Materialwahl. Besonders im süddeutschen Raum entwickelt sich die Douglasie zum Klimagewinner. Neben ihrer hohen Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse ist diese Baumart eine zukunftsorientierte Bauwahl. Die TU München untersuchte in Kooperation mit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 16 Bäume auf ihre Zukunftsfähigkeit. Hierbei schnitt die Douglasie mit am besten ab.²⁴⁸ Um die Müllproduktion und den Materialverschnitt auf nahe Null zu senken, wurde ein spannendes aber ebenso ressourceneffizientes Muster erstellt, welches ohne Verschnitt eine interessante Außenhülle gestalten kann.

²⁴⁷ Holz Haus Werft; Die unbehandelte Holzfassade; 2024; holzhauswerft.de

²⁴⁸ LWF; Bäume für die Zukunft; 2024; lwf.bayern.de

Decke

Geschossdecke



| | |
|---|-------|
| Vollholzdielen | 2cm |
| Lehmschüttung, verdichtet mit eingelegter Fußbodenheizung und Polsterhölzern | 8cm |
| Holzfaserdämmplatten, druckfest | 4cm |
| Ölpapier | - |
| Dreischichtplatte (Fichte) | 2,7cm |
| Stampflehm (12cm, 9cm im Spitz), dazwischen Vollholzbalken aus Fichte (18cm unten/ 12,7cm oben) | 20cm |

36,7cm

Die Auswahl des Deckensystems ist ein wichtiger Bestandteil des Entwurfs, da hier aufgrund der Spannweiten in vielen Holzbauten verklebtes Holz, oft in Form von Brettsperrholz, zum Einsatz kommt. Baustoffe wie Brettsperrholz, welche aus verklebten Holzschichten bestehen, können nicht problemlos und restlos wie unverklebte Hölzer einem Wieder- und Weiterverwendungsprozess zugeführt werden. An den Baustoff, welcher bis zur Gebäudeklasse vier eingesetzt werden kann, ist in Bayern eine rechtliche Anforderung von REI90 und, ohne Kompensationsmaßnahmen, K₂₆₀ gestellt. Wobei hier zu beachten ist, dass das Kapselungskriterium K₂₆₀ teilweise kompensiert oder in manchen Bundesländern durch Überdimensionierung sogar außer Acht gelassen werden kann.²⁴⁹ Um einigen Herausforderungen des reinen Holzbaus wie Schallschutz, Masse im Bauwerk sowie Schwingungsverhalten entgegenzuwirken, wird bei der Deckenkonstruktion auf eine Holz-Lehm-Mischkonstruktion gesetzt. Neben den bau- und brandschutztechnischen Belangen war die Prämisse für das Deckensystem den Treibhauseintrag so gering wie möglich zu halten. Es wurde sich aufgrund dieser Faktoren für das System von „rematter“ aus der Schweiz entscheiden. Im System wird auf unverklebtes Vollholz, in den meisten Fällen aus Fichte, als Tragstruktur gesetzt, sowie auf Lehm für die Erfüllung der Funktionen wie Masse, Brandschutz sowie Schallabsorbung. Das System wird in der Schweiz hergestellt und basiert auf einer durch Robotik durchgeführten hochtechnologisierten Produktion mit reinen Naturmaterialien. Das Bauprodukt wurde auf Basis einer hundertprozentigen Zirkularität entworfen und umgesetzt. Der Aufbau wird aus einer Dreischichtplatte gebildet, welche die Aussteifung der Decke als Scheibe ermöglicht. Darunter werden konisch gefräste Vollholzbalken in einem Rasterabstand von siebenzig Zentimetern verbaut, dies kann je nach Bauvorgabe und Wunsch der Bauherren jedoch leicht variiert werden. Die durch das System gebildeten Zwischenräume werden mit einer Stampflehmischung ausgefacht und maschinell

verdichtet. Das Bauteil wird vor dem Einbau und nach dem Vollen lediglich gedreht, sodass die Dreischichtplatte die Basis für den darüber liegenden Fußboden bildet. Diese Platte ist auch das einzige verklebte Produkt, welches verwendet wird und bietet sowohl die aussteifende Funktion als auch die Verbindung der einzelnen vorgefertigten Elemente. Laut Rematter ist dies hier aber nicht anders umsetzbar. Durch eine Nutzlast von bis zu 5 kN/m² sowie eine Ausbaulast von bis zu 0.75 kN/m² ist es bestmöglich für den Wohnbau, aber auch für eine spätere Umnutzung geeignet. Das System ist zertifiziert für eine Brandlast von REI60. Die Luftschalldämmung der Rohdecke liegt bei R_w =50dB. Mit dem gewählten Fußbodenaufbau ergibt sich ein Wert von R_w =54dB sowie der Trittschallwert von L_{n,w} 53dB.²⁵⁰ Oberhalb der Grundstruktur aus Balken und Stampflehm entwickelt sich ein Bodenaufbau, welcher mit einer 27 Millimeter Dreischichtplatte beginnt. Diese ist dafür verantwortlich horizontal auszusteifen, indem sie kraftschlüssig mit den Balken verbunden wurde. Darüber wird ein Kraftpapier als Rieselschutz eingebracht.²⁵¹ Auf diesem liegt die vier Zentimeter dicke Holzfasertrittschalldämmung „Steico therm SD“.²⁵² Hierauf lagert eine acht Zentimeter dicke Lehmschüttung mit eingelegter Fußbodenheizung, - sowie Kühlung. Auf den in die Lehmschüttung eingebrachten Polsterhölzern werden zwei Zentimeter dicke Vollholzdielen angebracht. Diesen bilden den oberen Abschluss des Bauteils. Der gesamte Deckenaufbau wurde in Kooperation mit rematter erstellt und vorbemessen.

Durch den Einsatz von Lehm wird unter anderem die relative Raumluftfeuchte konstant zwischen vierzig und sechzig Prozent gehalten und steigert somit die Behaglichkeit in den Räumen. Dies kann jedoch nur mit offener Deckenunterseite geschehen. Wird also die K₂₆₀-Norm erfüllt und somit die Decke verschlossen, kann dieser positive Effekt nicht mehr zum Tragen kommen.²⁵³ Durch die Vorfertigung als Elemente entfällt die einzige Schwachstelle des Lehms im Bau, die Trocknungszeit, ebenso weg. Somit können die Bauteile ebenso just-in-time gefertigt und/oder angeliefert werden. Für den darüber liegenden Fußboden wird der in Kombination mit der Decke empfohlene Fußbodenaufbau gewählt. Einerseits ist dieser für die gewünschten Schalldämmmaße förderlich, andererseits jedoch bietet er durch seine Struktur die Möglichkeit eines sortenreinen Umbaus und Rückbaus.²⁵⁴ Die Decke kann ebenso vor Ort hergestellt werden, sollte dies vom Auftragsvolumen sowie platztechnisch möglich sein. Hierfür müsste die Produktionsrobotik der Firma vor Ort gebracht werden, was wiederum ebenso mit einem CO₂-Ausstoß verbunden ist. Das für die Decken verwendete Holz wird, wenn diese in der Fabrik in der Schweiz hergestellt werden, aus FSC zertifiziertem Handel oder auf Wunsch auch mit der Zertifizierung „Schweizer Holz“ bezogen. Der Lehm wird ebenso von einem Schweizer Lehmbauunternehmer, welcher ausschließlich Lehm aus der Schweiz verarbeitet, bezogen. Bei der Produktion vor Ort kann jedoch auch regionales Material verwendet werden, sollte dies den qualitativen Anforderungen des Systems entsprechen. Bei einer Spannweite von unter vier Metern kann das System so angepasst werden, dass die Holzdimensionierung verringert wird und der Anteil des Lehms erhöht, um einerseits Kosten, aber auch einen Materialeinsatz des Holzes zu minimieren. Dies trägt auch zu einer

²⁵⁰ rematter; Holz-Lehm Decke; Factsheet; 2022; Seite 4

²⁵¹ Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

²⁵² Steico; Steico druckfeste Trittschalldämmungen aus Holzfasern; 2023; steico.com

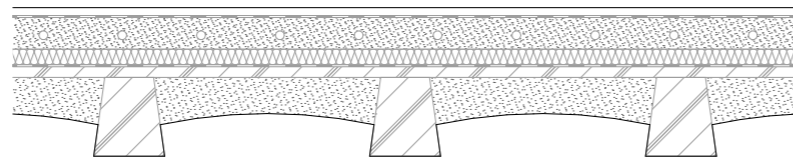
²⁵³ Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

²⁵⁴ rematter; Holz-Lehm Decke; Factsheet; 2022; Seite 4

²⁴⁹ Bayerische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023; byak.de

noch positiveren Ökobilanz des Gesamtproduktes bei. Je nach Projektgröße kann mit Kosten von etwa 300 CHF/m² (exkl. MwSt.) gerechnet werden. Dies bezieht sich auf die Deckenelemente ohne Fußbodenaufbau.²⁵⁵ Aufgrund der aktuellen LBO Bayerns müsste das Bauteil unterseitig mit einer Bepankung nach K260 Kapselkriterium verschlossen werden.²⁵⁶ Wie bereits im Kapitel Brandschutz diskutiert, ist dieses Kriterium nicht mehr als zeitgemäß anzusehen und wird in vielen anderen Ländern, unter anderem im Herkunftsland des Systems, der Schweiz, nicht mehr angewendet. Hier darf das Deckensystem weitestgehend in Bauvorhaben in offener Ausführung eingesetzt werden.²⁵⁷ Im Entwurf wird die Decke als offene Bauweise ausgeführt, um einerseits Kritik an der Richtlinie zu üben, andererseits um deren einzigartige Auswirkungen auf das Raumklima und die Luftfeuchte bestmöglich nutzen zu können.

Geschossdecke Sanitärräume



| | |
|--|-------|
| Recycling Fliesen bezogen von Baustoffbörsen | 1,8cm |
| Fliesenkleber | 0,2 |
| Abdichtung | - |
| Lehmschüttung, verdichtet mit eingelegter Fußbodenheizung und Polyesterhölzern | 8cm |
| Holzfaserdämmplatten, druckfest | 4cm |
| Abdichtung | - |
| Dreischichtplatte (Fichte) | 2,7cm |
| Stampflehm (12cm, 9cm im Spitz), dazwischen Vollholzbalken aus Fichte (18cm unten/12,7cm oben) | 20cm |

36,7cm

Lehm wie auch unbehandeltes Holz dürfen im Spritzwasserbereich nicht eingesetzt werden. In Nassräumen werden die Vollholzdielen in von Spritzwasser belasteten Bereichen durch eine Verfliesung ersetzt. Um die konstruktive Ebene des Holzbaus zu schützen, muss eine sekundäre Abdichtung ebenfalls mit eingebracht werden. Die Fliesen werden von Baustoffbörsen als Recyclingsprodukt bezogen, um hier den Einsatz von in der Herstellung energieintensiven Produkten zu reduzieren. Eine Verfugung ist jedoch dennoch nötig.

²⁵⁵ Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

²⁵⁶ Deutsches Institut für Bautechnik; Muster-Richtlinie über brand-schutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL); 2021; Seite 8

²⁵⁷ Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

²⁵⁸ Bayerische Ingenieurekammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 8

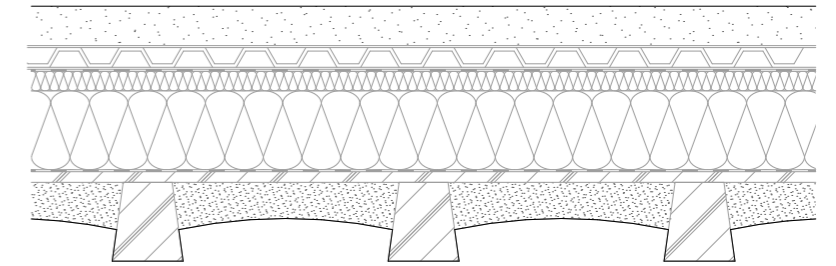
²⁵⁹ Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021; planradar.com

Dach

Soll U-Wert 0,24 W/(m²·K)²⁵⁸

Soll U-Wert Passivhaus 0,10 W/(m²·K)²⁵⁹

Ist U-Wert **0,101/(m²·K)**



| | |
|--|-------|
| Substrat | 10cm |
| Filtervlies | - |
| Drainage | 5cm |
| Wurzelfeste Schutzschicht | - |
| Abdichtung | - |
| Holzfaserdämmplatten oder Steinwolle, im Gefälle verlegt | 25cm |
| Dampfsperre | - |
| Dreischichtplatte (Fichte) | 2,7cm |
| Stampflehm (12cm, 9cm im Spitz), dazwischen Vollholzbalken aus Fichte (18cm unten/12,7cm oben) | 20cm |

62,7cm

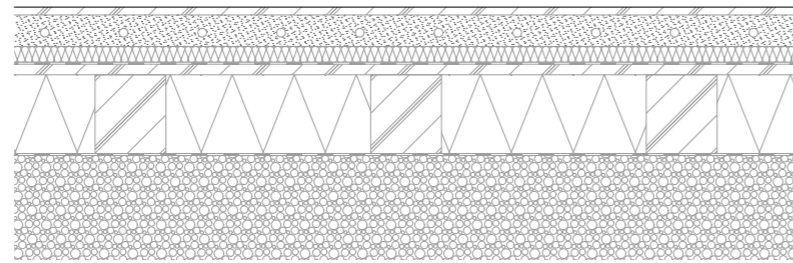
Um das jeweilige Gebäude vom Passivhausstandard so weit wie möglich an ein Null-Energie-Haus anzunähern, kann je nach Oberfläche des Daches der solare Ertrag der Sonne genutzt werden, um Energie mittels Solaranlagen zu erzeugen. Unter den Photovoltaikanlagen wird das Dach zur Verbesserung des Mikroklimas extensiv begrünt. Die Konstruktion des Daches wird wie die der Geschossdecken ausgeführt. Lediglich ein dämmender Dachaufbau wird hinzugefügt. Das Dach ist einer der wenigen Bauteile, bei dem, bedingt durch Regen, Schnee und Witterung, nicht auf klassische Abdichtungen verzichtet werden kann. Darum wird hier neben der im Gefälle verlegten Dämmung eine Abdichtung vorgesehen.

²⁵⁸ Bayerische Ingenieurekammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 8

²⁵⁹ Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021; planradar.com

Boden

Soll U-Wert $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})^{260}$
 Soll U-Wert Passivhaus $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})^{261}$
 Ist U-Wert **$0,115/(\text{m}^2\cdot\text{K})$**



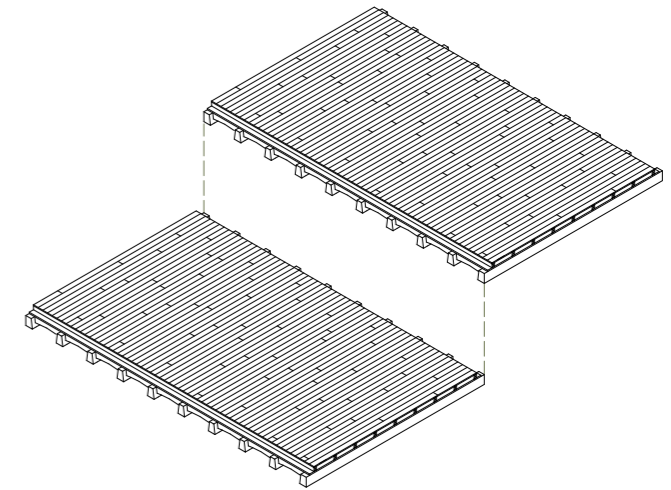
| | |
|--|-------|
| Vollholzdielen | 2cm |
| Lehmschüttung, verdichtet mit eingelegter Fußbodenheizung und Polsterhölzern | 8cm |
| Holzfaserdämmplatten, druckfest | 4cm |
| Ölpapier | - |
| Dreischichtplatte (Fichte) | 2,7cm |
| Holzfaserdämmplatten oder Steinwolle, dazwischen Vollholzbalken (Fichte) | 20cm |
| Abdichtung | - |
| Schaumglasschotter (wenn benötigt) | 40cm |

36,7cm

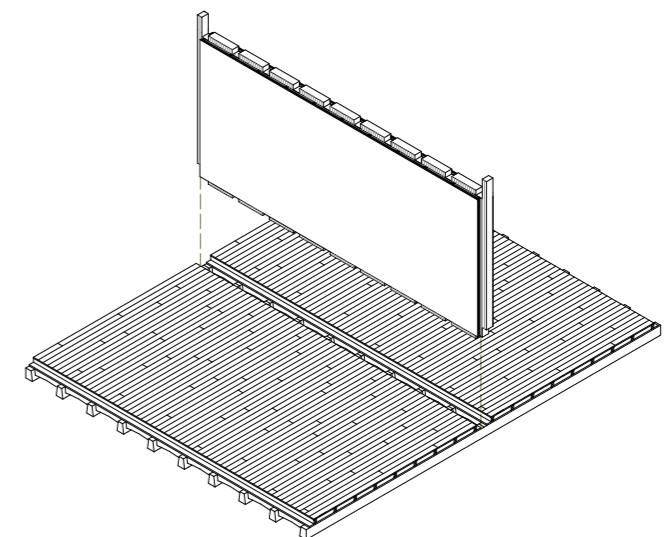
Der Bodenaufbau wird ähnlich wie die Geschossdecke und das Dach konstruiert. Da es kein weiteres darunter liegendes Geschoss gibt, kann auf den Stampflehm verzichtet werden. In die Zwischenräume der in diesem Aufbau umgefrästen Vollholzbalken wird Dämmung eingebracht. Der darüber liegende Fußbodenaufbau gleicht dem, der Geschossdecke. Nach einer Abdichtungsebene auf der Unterseite des Bauwerks wird der Bauteil mit Schaumglasschotter gedämmt. Dieser wird in Form einer Schüttung eingebracht und ist somit Klebverbindungsfrei und rückstandslos rückbaubar. Zwar wird der darunter liegende Boden bis zu einem gewissen Maße geschlossen, da jedoch keine starke Verdichtung stattfindet, kann dieser weiterhin Lebensraum für Natur und Tierwelt bieten, sowie als Wasserspeicher dienen.

Bauablauf

Der Bauablauf muss sich im gewissen Maß den örtlichen Gegebenheiten anpassen. Hierzu gehört die Schaffung einer Basis, die je nach Größe und Höhe des Bauwerks unterschiedlich ausformuliert werden muss. Auch die Frage des Umgangs mit dem eventuell vorhandenen Bestand stellt sich zwangsläufig. Im Falle der Erweiterung eines Bestands muss dieser soweit vorbereitet werden, die neue Struktur aufnehmen zu können. Sobald die Basis für das System geschaffen wurde, kann damit begonnen werden, die Einzelteile einzubringen und miteinander zu verbinden.



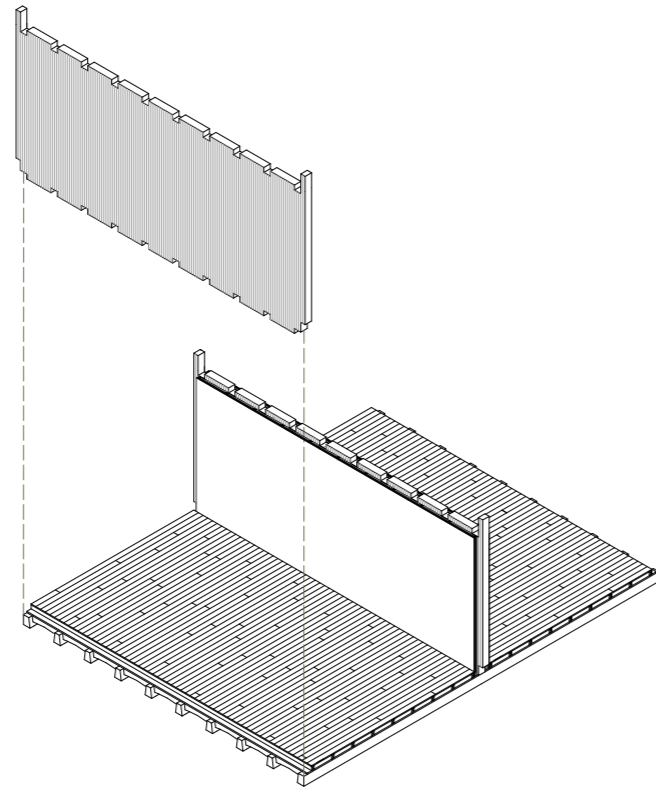
Nachdem die erste Lage an Decken, in diesem Fall der Boden vollständig versetzt und mit der darunter liegenden Struktur vereint wurde, werden die Balken mittels Schwalbenschwänzen miteinander kraftschlüssig verbunden.



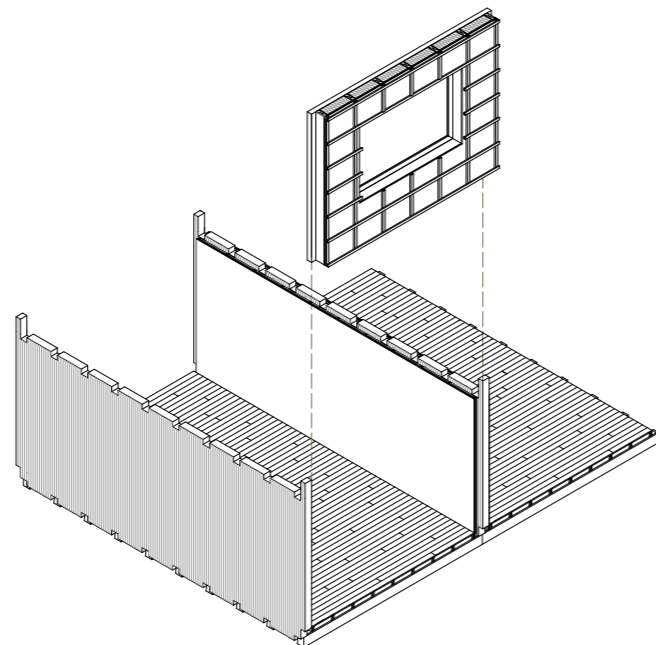
²⁶⁰ Bayerische Ingenieurkammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 8

²⁶¹ Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021; planradar.com

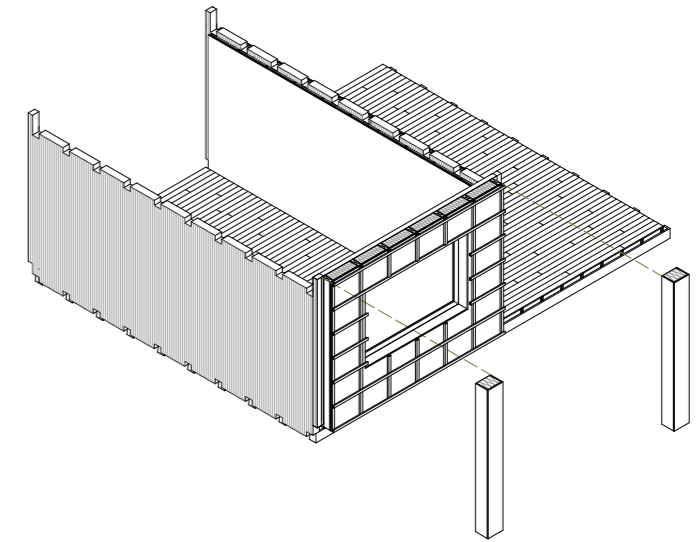
Nun werden die tragenden Wände des ersten Holzbaugeschosses auf die dafür vorbereiteten Holzdübel gehoben. Diese verbinden die Bodenplatten kraftschlüssig mit den Wänden. Durch die gefrästen Verbindungspunkte muss das System von Ort lediglich eingesetzt werden. Je nach Standort der Wand unterscheidet sich dessen Aufbau leicht zwischen Außenwand, Innenwand und Wohnungstrennwand.



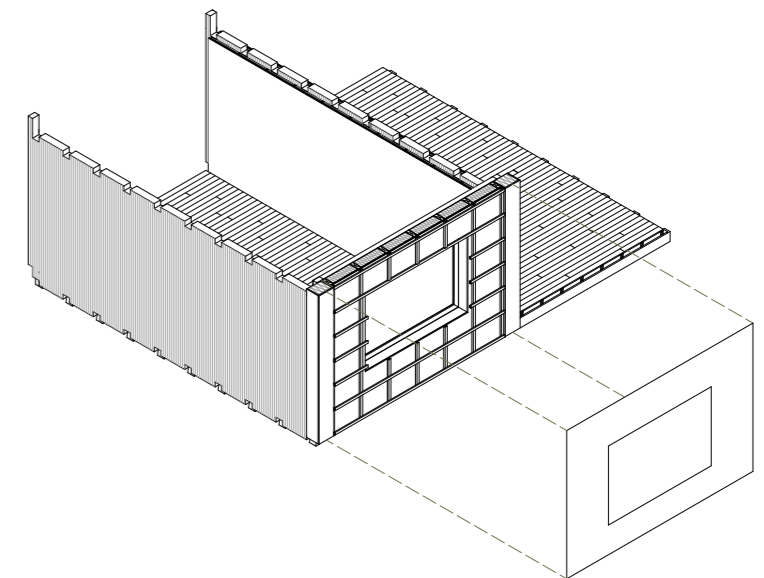
Die Tragstruktur ist nun eingebracht und wird mit den nun quer liegenden Wänden ausgesteift. Diese werden so produziert und versetzt, dass eine Verbindung mittels Schwalbenschwanz zwischen tragender und aussteifender Konstruktionsschicht geschaffen werden kann.



Vorgefertigte Dämmkeile verschalen die für die Befestigung der Bauteile freigelassene Struktur.



Nun kann die Fassadenebene aufgebracht und mit der Struktur verschraubt werden. Diese wurde Elementweise als vorgefertigtes Bauteil hergestellt und können je nach Auftraggeber* in divers ausformuliert werden



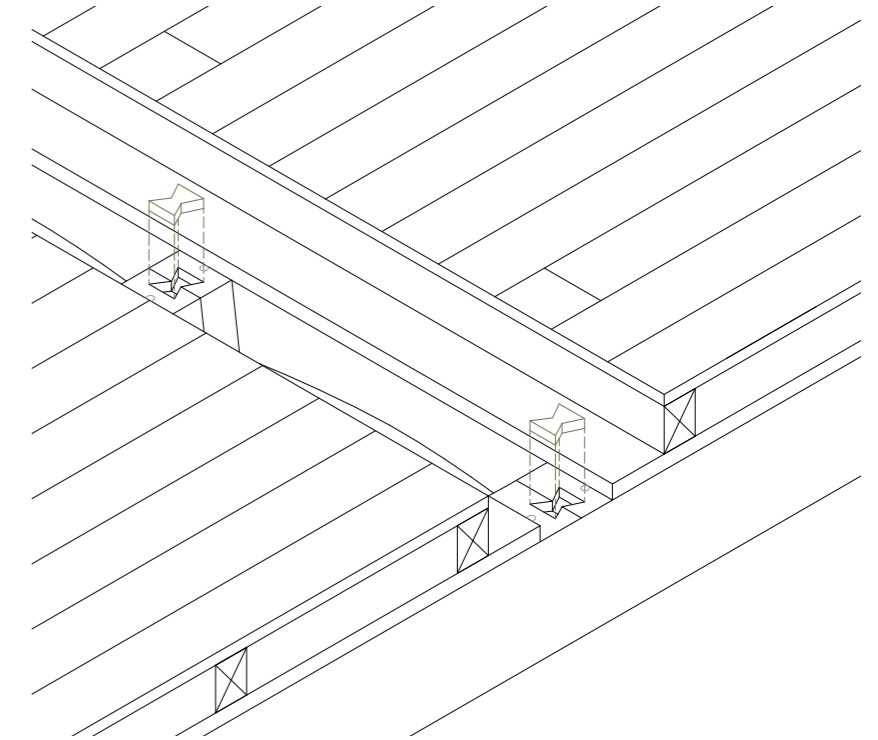
Verbindungen

Es gibt unzählbare Holzverbindungssysteme, welche von hochkomplexen Stecksystemen über metallische Verbindungselemente bis hin zu gefrästen Verbindungen viele Anforderungen abdecken können. Verbindungen sind in drei Hauptkategorien zu unterteilen: mechanische Verbindungen, geklebte Verbindungen und zimmermannsmäßige Verbindungen. Als mechanische Verbindungsmittel werden stiftartige und flächige Verbindungsmittel bezeichnet. Diese sind meist aus metallischen Materialien und umfassen Schrauben, Nägel sowie Nagelplatten, Dübel und Bolzen. Mechanische Verbindungen aus Holz können in Form von Bolzen umgesetzt werden. Geklebte Verbindungen sind meist bereits im Bauwerk vorhanden, da diese in vorgefertigten Bauprodukten wie BSH-Platten vorkommen. Es handelt sich hierbei um eine Holz-Holz-Klebeverbindung. Gelegentlich kommen hier auch Klebeverbindungen zwischen Holz und Stahl sowie Stahlbeton zum Einsatz. Im Sinne einer rückbaubaren Architektur wird der Einsatz aller geklebten Verbindungen, außer sie sind zwingend notwendig, grundsätzlich vermieden und abgelehnt, da sie die Rückbaubarkeit erschweren. Eine sortenreine Recyclbarkeit kann hier im Rückbau nicht gewährleistet werden. Zimmermannsmäßige Holzverbindungen bieten hier eine Alternative als Verbindungsmittel aus Holz, welche als handwerkliche Verbindungen in Form von Verblattung, Versatzung, Verzapfung, Aufklärung und Verkämmung zum Einsatz kommen. Meist sind diese handwerklichen Verbindungen am besten auf Druck belastbar. Um ebenso auf Zug beanspruchte Bauteile mit Holzverbindungen kraftschlüssig fügen zu können, kommen unter anderem Techniken wie Schwalbenschwänze zum Einsatz. Zu den klassischen Zimmermannsverbindungen, welche heutzutage im Holzbau vermehrt Einsatz finden, sind der Schwalbenschwanz und der Holzbolzen. Unter Zuhilfenahme von Schwalbenschwänzen können flächige Verbindungen geschaffen werden. Holzbolzen sind stiftartige Verbindungen, welche im System zur Verbindung aufeinander stoßender Bauteile verwendet wird.²⁶²

Das Bausystem verfügt über zweidimensionale Bauteile welche, soweit es das System zulässt, mit Holz-Holz-Verbindungen zusammengeschlossen werden. Dies verringert den Einsatz von Stahlprodukten wie Schrauben und Nägeln und kann damit nicht nur zu einer geringeren Umweltbelastung des Bauwerks beitragen, sondern auch zur Kostensenkung.

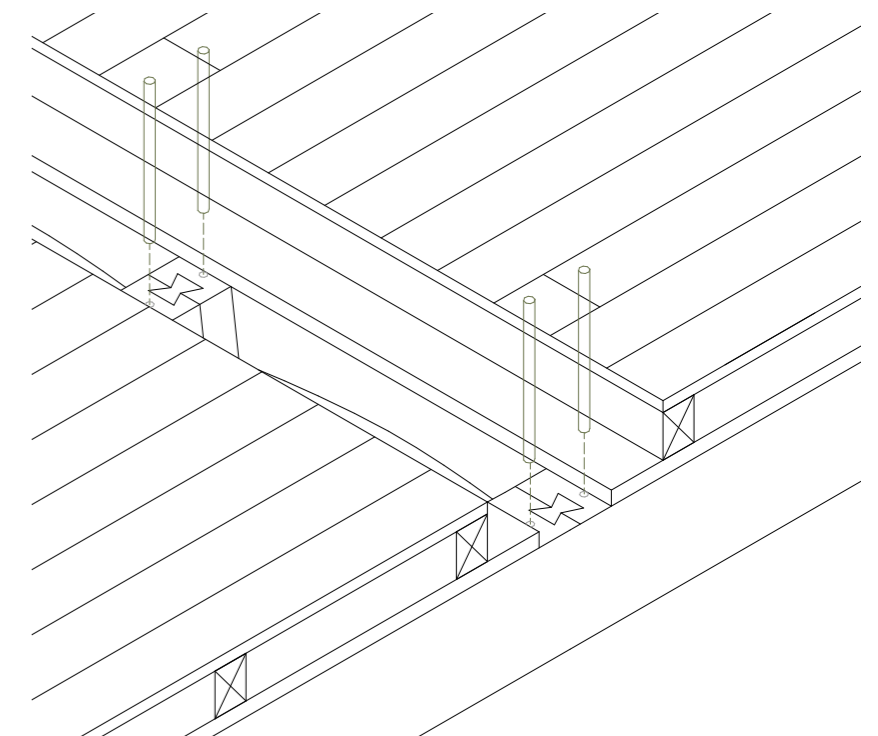
Verbindung der Deckenelemente

Zur Verbindung der einzelnen Deckenelemente werden diese auf der darunter liegenden Wand so positioniert, dass die Deckenbalken aufeinander treffen. Durch den Rücksprung der darüberliegenden Fußbodenkonstruktion können die statisch wirkenden Elemente jeweils unter Zuhilfenahme von Schwalbenschwänzen miteinander verbunden werden. So werden die einzelnen Deckenelemente zur schubsteifen Platte.

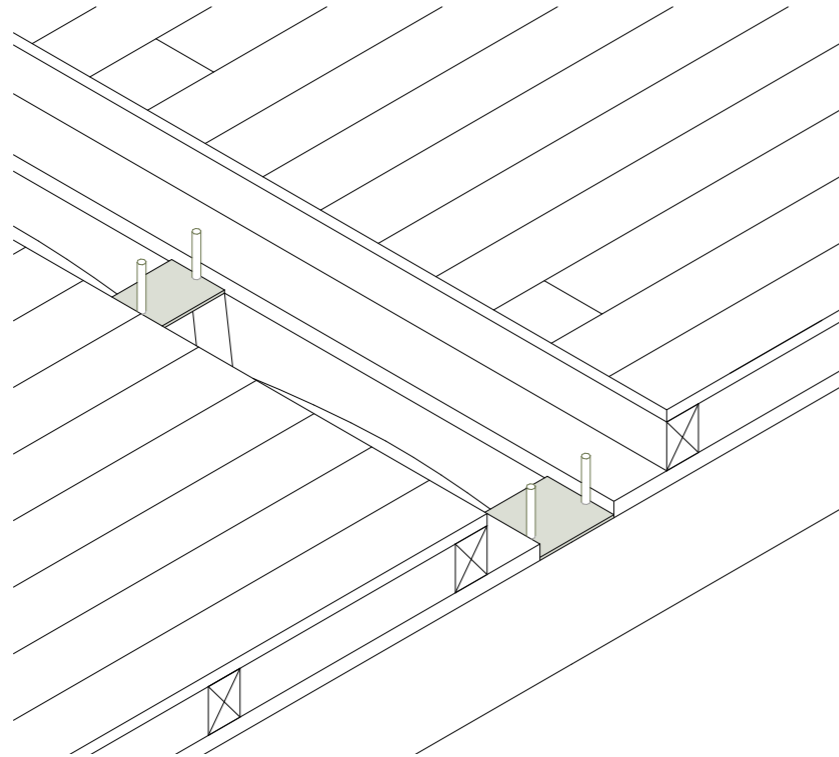


Verbindung der tragende Wand

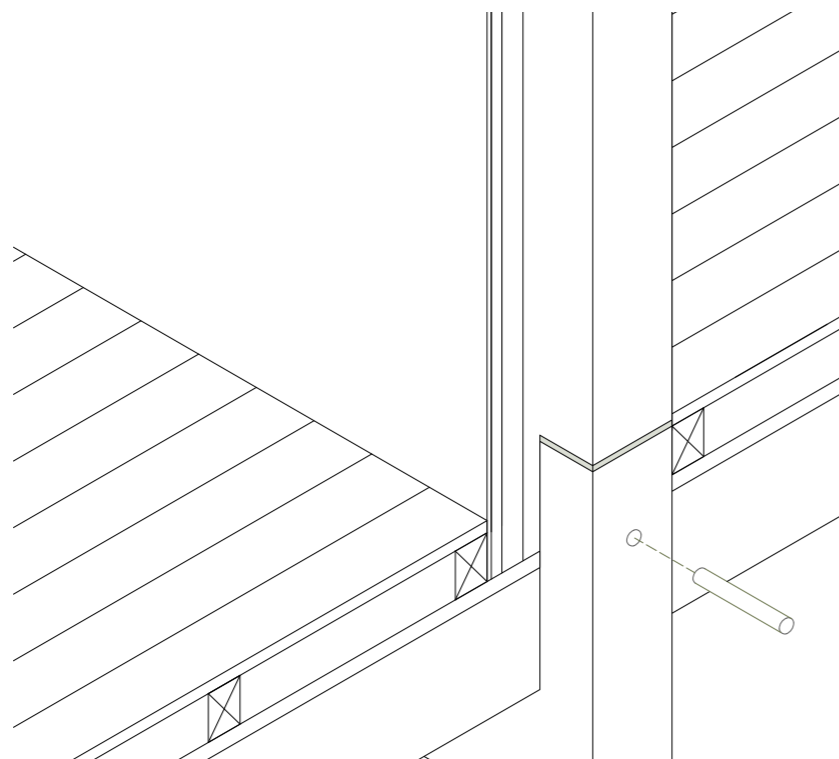
In die bereits dafür vorgesehenen Bohrungen in den Balken werden nun Holzdübel positioniert. Diese bilden die Verbindungspunkte für die darüberliegende Wand und sind ein weiterer Fixierungspunkt für die Deckenelemente.



Sobald die Holzdübel montiert wurden, kann die schallentkoppelnde Dämmschicht aufgebracht werden und die darauffolgende Wand wird versetzt.

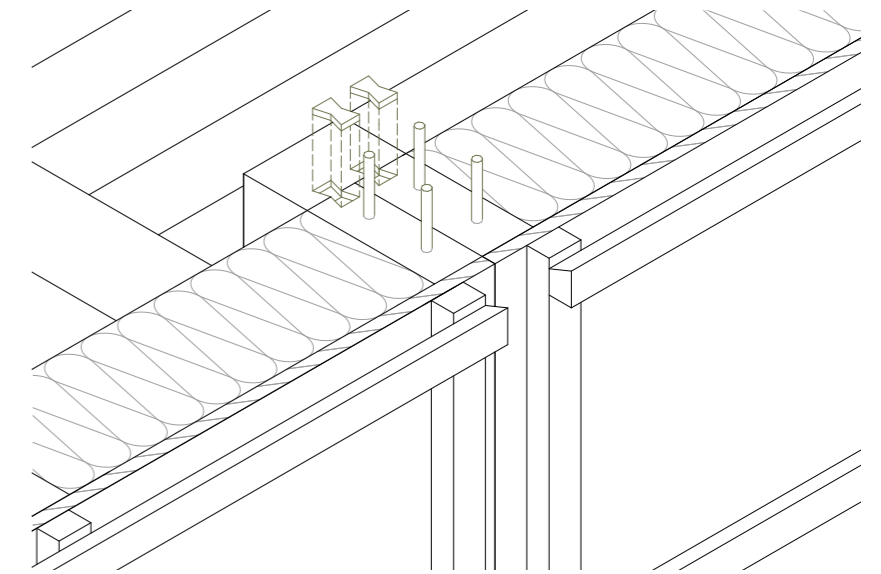


Durch das bereits eingefräste Profil auf der Unterseite der Wand kann das Element zügig und einfach eingesetzt werden. Von unten wird dies durch die Holzbolzen fixiert und spannt im gleichen Zug die Deckenbalken zwischen den zwei Wänden ein. Zwischen dem gefrästen Überstand der Wände wird ebenfalls eine schallentkoppelnde Dämmschicht eingebracht. Fixiert wird die Wand durch einen Holzbolzen der, aufgrund der Überschneidung der beiden konstruktiven Wandelemente, diese bestmöglich miteinander verbindet.

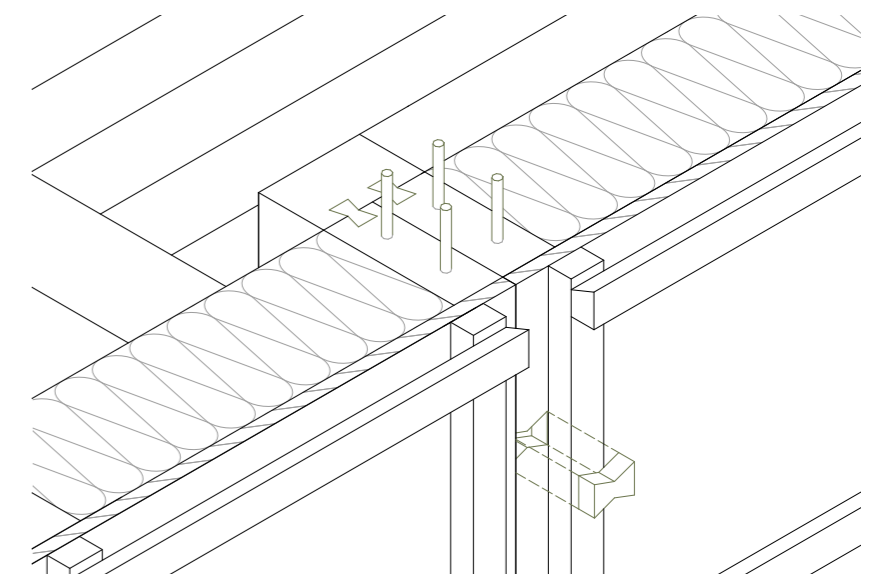


Verbindung der aussteifenden Wand

Nachdem nun die tragende Konstruktion erzeugt wurde, wird diese mit den aussteifenden Wänden zu einem Raum abgeschlossen. Hierfür wird erst eine, dann die zweite aussteifende Wand auf die im darunter liegenden Geschosse vorhandene Bolzenanordnung eingehoben. Fixiert werden die Wände dann mit Schwalbenschwänzen, welche eine Bindung zwischen den tragenden und aussteifenden Elementen bewirkt und diese kraftschlüssig aneinander koppelt.



Die vormontierten Bolzen bilden die Basis für die Verbindung mit dem darauffolgenden Geschoss. Um die aussteifenden Wandelemente miteinander verbinden zu können, wurde ein Rücksprung der Fassadenebene umgesetzt, welcher direkten Zugang zur Tragstruktur bietet. Die dann verbauten Schwalbenschwänze koppeln die einzelnen Elemente aneinander. Abgeschlossen wird das Element mit dem Versetzen eines Dämmkeils, welcher den Einfluss der kurzzeitigen Unterbrechung der Dämmebene weiter abschwächen soll.



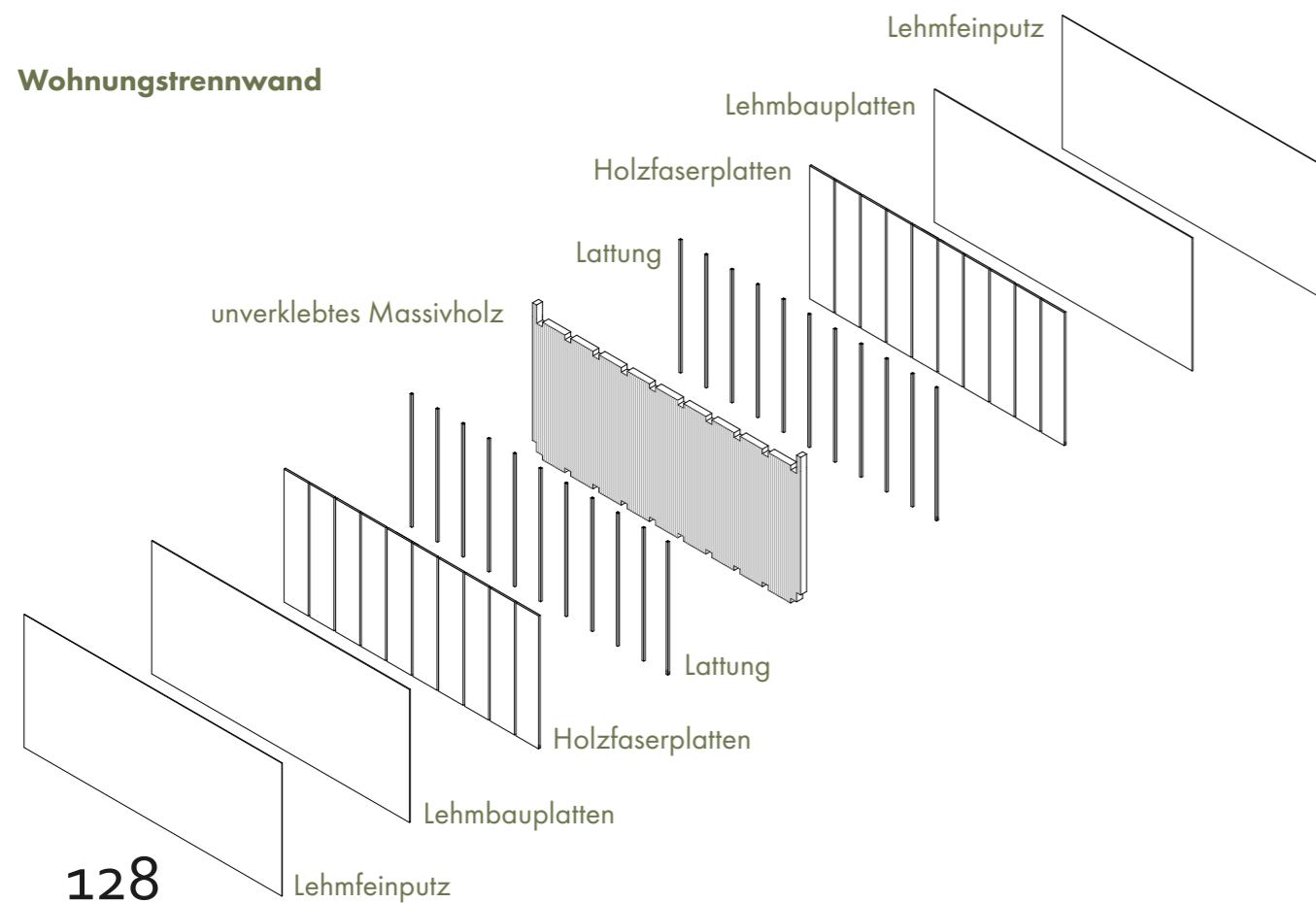
Rückbaubarkeit

Beim Entwerfen der Bauteile wurde von den einzelnen Schichtaufbauten über die Verbindungsarten bis hin zum fertigen Bauteil darauf geachtet, dass sollte ein weiterer Einsatz nicht mehr möglich sein, alle Produkte sortenrein getrennt werden und so weit wie nur möglich in einen Kreislauf zugeführt werden können. Es wird bei nahezu allen Bauteilen auf geklebte Verbindungen verzichtet, um den Rückbau und die sortenreine Trennung zu gewährleisten. Eine der wenigen Ausnahmen bieten hier beispielsweise die Dachabdichtungen, da diese nicht ohne Klebeverbindungen ausgeführt werden können. Über die sortenreine Trennbarkeit der Bauteile hinaus wurden die Lebenszyklen der Bauteile analysiert. So wurde unter Zuhilfenahme der Publikation „Kompetenzzentrum der Initiative Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“, welche vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) veröffentlicht wurde, eine Bauteilanalyse durchgeführt. Dies bietet die Basis für die Zerlegbarkeit der Bauteile. Die mittlere Lebenserwartung der statisch tragenden Struktur wird hier mit hundert Jahren angegeben. Das gleiche gilt für Betonfundamente. Die Stahlbauteile, welche sowohl für das Erschließungssystem als auch für die Balkone genutzt werden, sind mit der selben Lebensdauer datiert.²⁶³ Auch die Innenwände können bei nicht unsachgemäßer Nutzung eine Lebensdauer von bis zu hundert Jahren haben.²⁶⁴ Hiervon unterscheiden sich vor allem die witterungsausgesetzten Bauteile, primär zu nennen die Fassadenstruktur. Je nachdem, ob es sich hierbei um Weich-, oder Hartholz handelt, ist hier von einer mittleren Lebensdauer von 45-70 Jahren

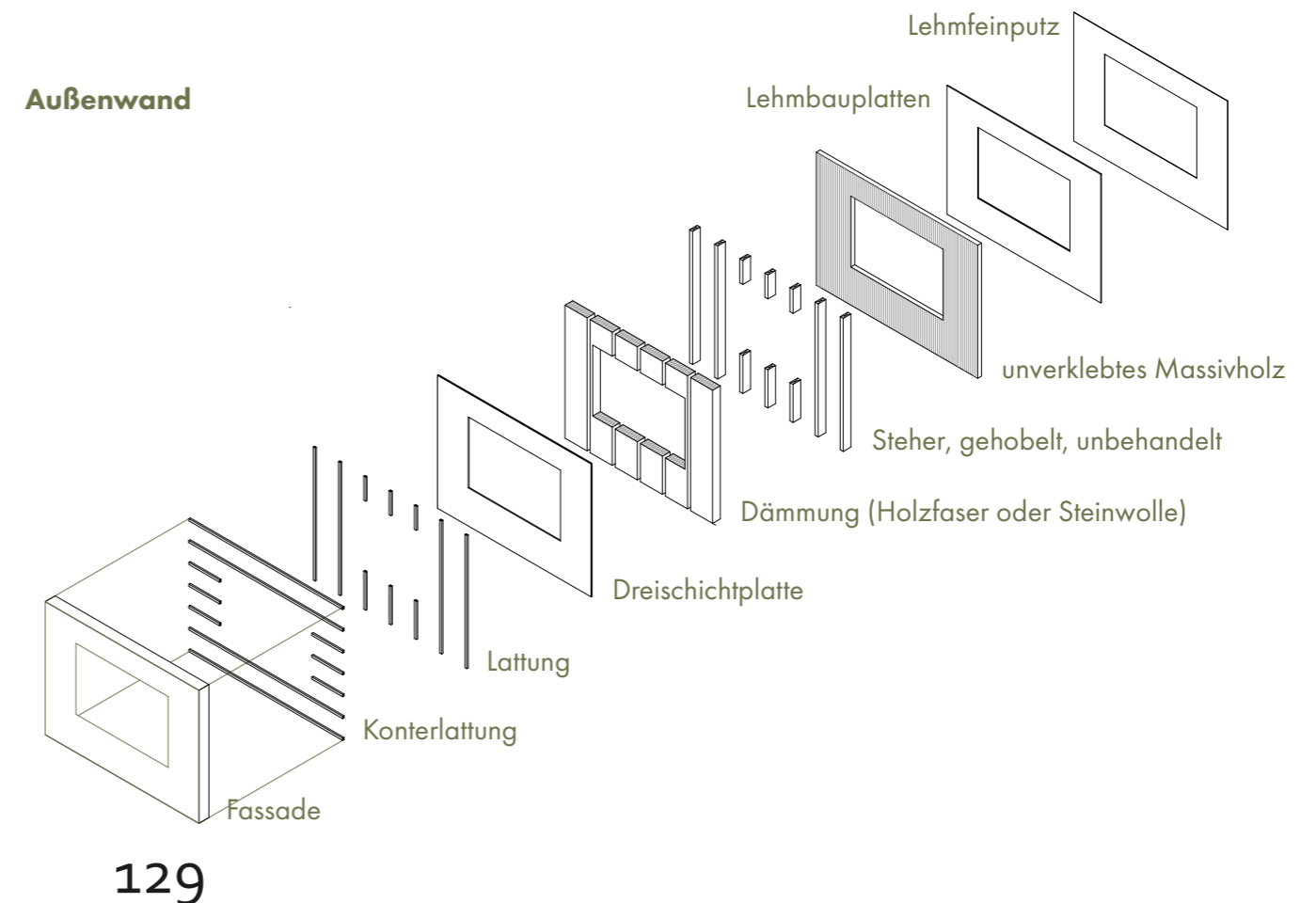
²⁶³ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); Kompetenzzentrum der Initiative Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen; 2009; Seite 2

²⁶⁴ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); Kompetenzzentrum der Initiative Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen; 2009; Seite 7

Wohnungstrennwand



Außenwand



²⁶⁵ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); Kompetenzzentrum der Initiative Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen; 2009; Seite 3

auszugehen.²⁶⁵ Durch den Unterschied der diversen Lebenszyklen der Bauteile wird vor allem zwischen der tragenden Struktur und der Fassade ein Rückbau möglichst unkompliziert ermöglicht. Hierfür wird die Fassadenstruktur in die Unterkonstruktion eingehängt und mit Schrauben fixiert. Um neben dem Rückbau der vertikalen Bauteile ebenso die horizontalen Bauteile sortenrein trennen zu können, werden diese ebenso schichtweise trennbar ausgeführt. Bewusst wird auf einen flüssigen Estrich verzichtet und stattdessen zu einer verdichteten Lehmschüttung gegriffen, da diese nicht nur rückstandslos entfernt werden kann, sondern auch bei Problemen des im Boden verbauten Heizsystems deutlich einfacher eine rasche und zerstörungsfreie Reparatur eingeleitet werden kann.

Rückbaukonzept Wohnungstrennwand

Alle Innenwände sind mit einem Kern aus massiven und unverklebten Vollholz ausgestattet. Bei den Wohnungstrennwänden kommt aufgrund der höheren Schallschutztechnischen Anforderungen eine Vorsatzschale zum Einsatz, welche sich aus unverklebten und somit vollends rückbaubaren Schichten zusammensetzt.

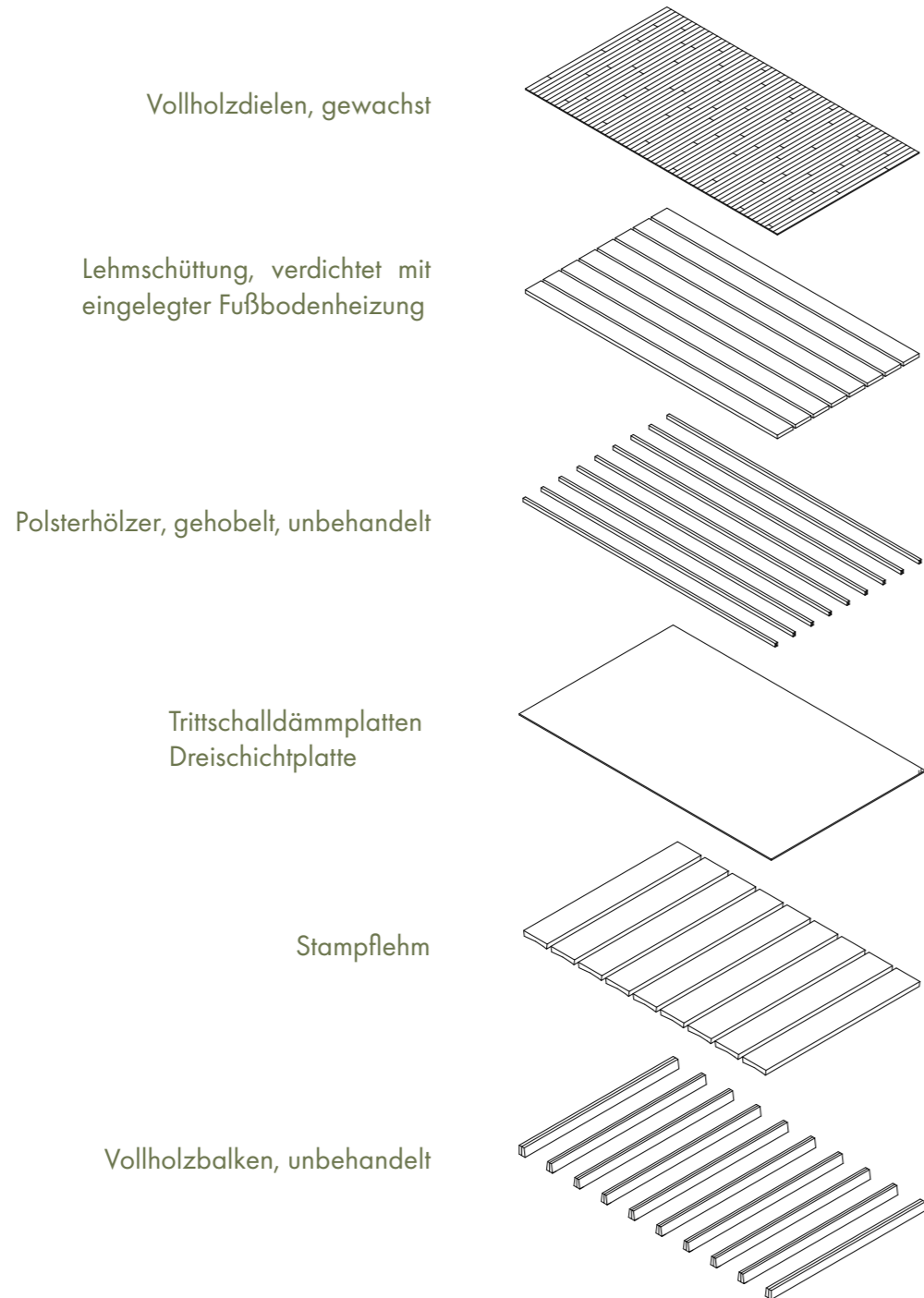
Rückbaukonzept Außenwand

Auch bei den Außenwänden bildet eine unverklebte Vollholzwand den Kern. Die Dämmende Schicht ist durch Schraubverbindungen angebracht. Lediglich bei der Winddichten Schicht handelt es sich um ein Produkt, in dem Kleber verwendet werden muss. Die Fassade ist vom gesamten System leicht Trenn-, und somit Auswechselbar.

Rückbaukonzept Decke

Alle Deckenelemente werden sortenrein Trennbar, sowie wieder- oder weiterverwendbar hergestellt. Im gesamten Aufbau werden keine Klebeverbindungen eingesetzt. Die eingesetzten Materialien wie beispielsweise Holz werden weitestgehend unbehandelt eingesetzt. Lediglich die aussteifende Dreischichtplatte aus Fichte ist verklebt. Auf diese kann aufgrund statischer Anforderungen an die Deckenplatte nicht verzichtet werden.

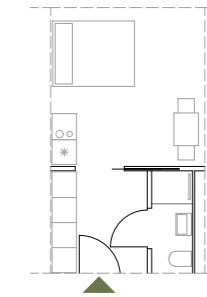
Decke



1-2

Micro | Wohnen

Bad 2,61 m²
Zimmer 19,97 m²
Gesamt NF 22,58 m²



1m 2m 3m

Grundrisstypologien

Das System erlaubt es, eine Vielzahl verschiedener Nutzungsformen zu unterstützen, und liefert Lösungen von Gästeapartements bis hin zu großzügigen Wohnungen und Büroflächen. Auch Mischkonzepte können geschaffen werden. Die Grundrisse, welche als konzeptionelle Ideen und Vorschläge zu verstehen sind, können individuell angepasst werden. Je weniger Fixpunkte im System vorhanden sind, desto größer die Freiheit der Nutzung. Zu den wenigen Einschränkungen gehören die Sanitäreinrichtungen sowie die räumliche Trennung zwischen den einzelnen Modulen. Alle hier gezeigten Beispiele sind rechtlich durch den Sachstand WD7-3000-102/17 des Wissenschaftlichen Dienstes des Deutschen Bundestages als Wohnung anzusehen und entsprechen den dort festgeschriebenen Anforderungen an Wohnfläche von mindestens 9m² für jede Erwachsene Person, sowie 6m² pro Kind ab einem Alter von sechs Jahren. Dieser Sachstand, umgangssprachlich Wohnungsaufsichtsgesetz, wurde in einigen Bundesländern zwar wieder aufgehoben, in Bayern beispielsweise ab dem 01.01.2005, dennoch ist er in vielen anderen Bundesländern bis heute geltendes Recht.²⁶⁶

Micro ist der kleinste Grundriss, der im System möglich ist. Er setzt sich aus der kompakten Sanitäreinrichtung, einem Gang mit Staufläche sowie einer nach der Schiebetür daran anschließenden kleinen Küche zusammen. Nach passieren des Ganges der Wohnung befindet sich eine Sitzmöglichkeit für bis zu zwei Personen sowie ein Bett. Der Grundriss richtet sich vor allem an Besuchende, die aufgrund der Kompaktheit der Wohngrundrisse oft keinen Platz in der Wohnung selbst haben. Ein Einsatz als Microapartment, Hotelzimmer oder Wohnheim ist ebenso denkbar.

²⁶⁶ Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestages; Sachstand WD7-3000-102/17; 2017; Seite 4

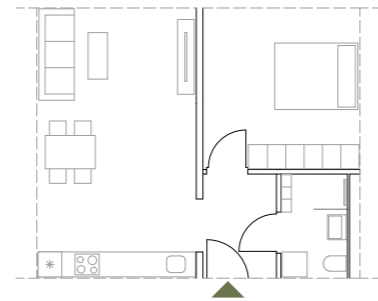


Small | Wohnen

Bad 4,11 m²
 Wohnküche 24,89 m²
 Eingangsbereich 4,43 m²
 Schlafzimmer 14,63 m²

Gesamt NF 48,06 m²

2

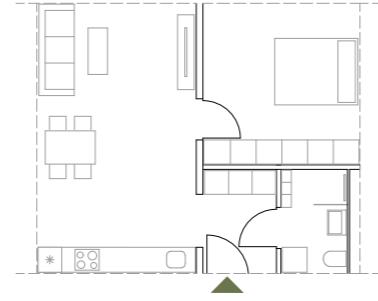


Small | Wohnen

Bad 4,11 m²
 Wohnküche 24,89 m²
 Eingangsbereich 4,43 m²
 Schlafzimmer 14,63 m²

Gesamt NF 48,06 m²

2

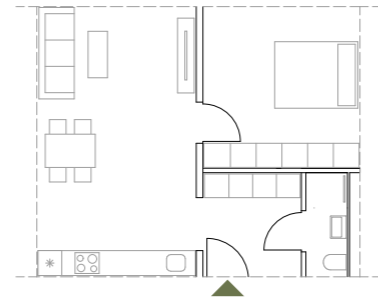


Small | Wohnen

Bad 2,61 m²
 Wohnküche 24,89 m²
 Eingangsbereich 5,93 m²
 Schlafzimmer 14,63 m²

Gesamt NF 48,06 m²

2



1m 2m 3m

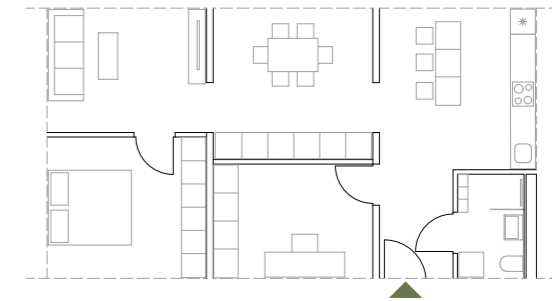


Medium | Wohnen

Bad 4,11 m²
 Wohnzimmer 11,77 m²
 Küche 14,68 m²
 Esszimmer 14,17 m²
 Schlafzimmer 13,04 m²
 Office 10,67 m²
 Eingangsbereich 4,62 m²

Gesamt NF 73,06 m²

2-3

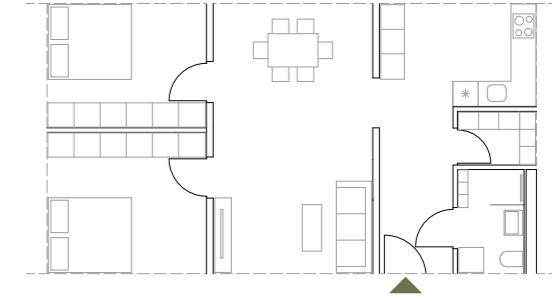


Medium | Wohnen

Bad 4,11 m²
 Wohnzimmer 13,38 m²
 Küche 11,87 m²
 Esszimmer 11,49 m²
 Schlafzimmer 13,29 m²
 Schlafzimmer 13,29 m²
 Eingangsbereich 4,62 m²
 Abstellraum 2,55 m²

Gesamt NF 73,60 m²

4

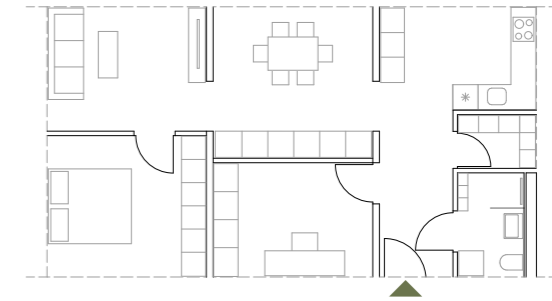


Medium | Wohnen

Bad 4,11 m²
 Wohnzimmer 11,77 m²
 Küche 14,68 m²
 Esszimmer 12,13 m²
 Schlafzimmer 13,04 m²
 Office 10,67 m²
 Eingangsbereich 4,62 m²
 Abstellraum 2,55 m²

Gesamt NF 73,05 m²

2-3

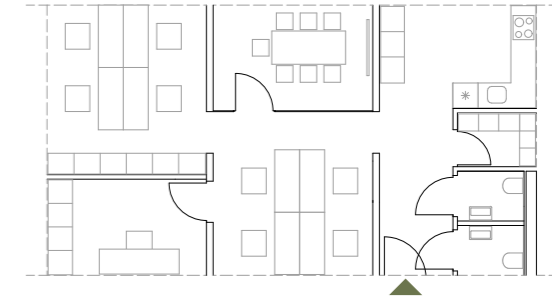


9-11

Medium | Office

Bad 4,11 m²
 Besprechungsraum 9,8 m²
 Küche 9,44 m²
 Einzeloffice 9,03 m²
 Office 30,92 m²
 Eingangsbereich 4,62 m²
 Abstellraum 2,55 m²

Gesamt NF 70,9 m²




1m 2m 3m

Der Grundriss Small setzt sich aus zwei Räumen zusammen, welche in sich trennbar sind. So können auf kompakter Fläche ein abgetrennter Schlafbereich, ein Bad mit Hauswirtschaftsflächen sowie eine großzügige Wohn-, Essküche geschaffen werden. Je nach Wunsch kann die Sanitäreinrichtung auch durch das kompakte Modul ersetzt werden, um einen größeren Vorraum zu schaffen. Ebenso kann die Anordnung der Zimmer je nach Wunsch und präferierter Belichtungssituation angepasst werden. Dieser Typus ist ausgelegt für bis zu zwei Bewohnende.

Die Grundrisszusammensetzung Medium setzt sich aus drei unterteilbaren Räumen zusammen. Durch den kompakten Grundriss können viele verschiedene Situationen für Wohnen und Arbeiten geschaffen werden. Neben der Möglichkeit für bis zu zwei vollwertige Schlafzimmer bietet das System auch Platz für die Einrichtung eines Home-Offices oder eine komplette Ausrichtung hin zu einer Bürostruktur. Hier kann die Badkonstellation ersetzt werden, um zwei getrennte Toiletten zu schaffen. Des Weiteren bietet es die Möglichkeit, ein kleines Besprechungsraum sowie ein Einzelbüro und zwei Mehrpersonenschreibtischinseln einzurichten. Abgerundet wird das Konzept durch eine kleine Küche sowie einen Akten-, oder Vorratsraum. Der Grundriss Medium kann sehr funktional von bis zu vier Personen oder mit etwas mehr Großzügigkeit für zwei Erwachsene mit oder ohne Nachwuchs bewohnt werden. Ein betreutes Wohnen ist ebenso denkbar. In der Office-Konfiguration schafft der Grundriss bis zu neun Arbeitsplätze.

Large | Wohnen



6

- Bad 4,11 m²
- Wohnzimmer 11,77 m²
- Küche 14,64 m²
- Esszimmer 11,70 m²
- 1.Schlafzimmer 13,04 m²
- 2.Schlafzimmer 13,04 m²
- 3.Schlafzimmer 13,04 m²
- Office 10,20 m²
- Eingangsbereich 4,62 m²

Gesamt NF 96,16 m²

Large | Wohnen




6

- Bad 4,11 m²
- Wohnzimmer 11,77 m²
- Essküche 23,25 m²
- 1.Schlafzimmer 13,04 m²
- 2.Schlafzimmer 13,04 m²
- 3.Schlafzimmer 13,04 m²
- Office 10,20 m²
- Eingangsbereich 4,62 m²

Gesamt NF 96,19 m²

Large | Office




13-15


- Toilette 4,04 m²
- Bad Vorraum 4,49 m²
- Teeküche 8,92 m²
- Einzeloffice 9,61 m²
- Besprechungsraum 9,03 m²
- Office 52,08 m²
- Eingangsbereich 9,87 m²

Gesamt NF: 98,04 m²

Large | Office und Wohnen



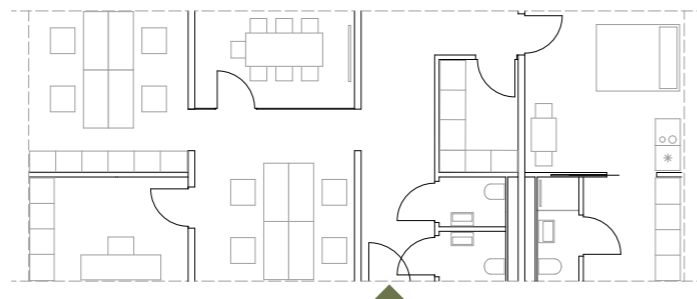
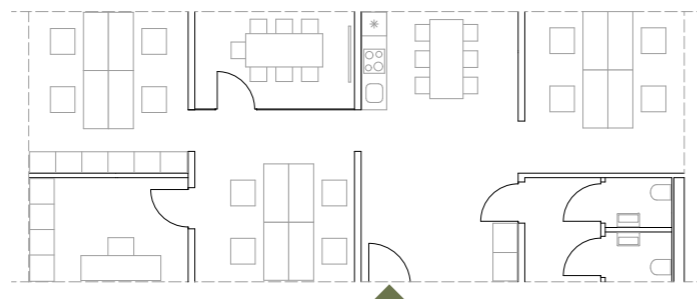
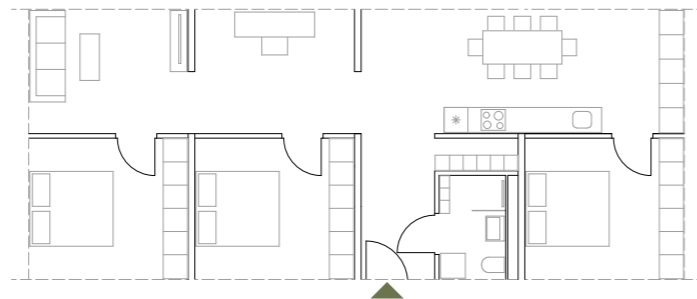
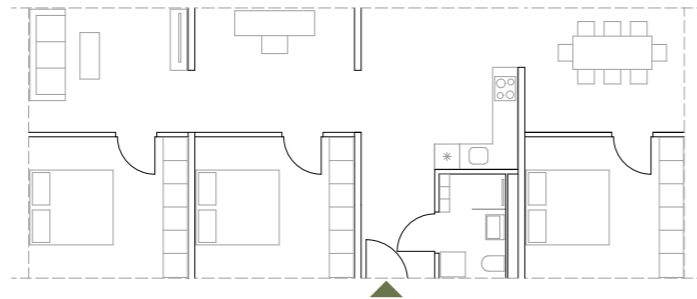
1-2



9-11

- Toilette 4,04 m²
- Bad Privat 2,61 m²
- Abstellraum 5,17 m²
- Einzeloffice 9,61 m²
- Besprechungsraum 9,03 m²
- Office 40,48 m²
- Eingangsbereich 4,62 m²
- Zimmer privat 21,17 m²


Gesamt NF 96,78 m²



1m 2m 3m

Aus vier erzeugten Räumen entsteht der Grundriss Large. Bedingt durch dessen Größe können hier eine Vielzahl von möglichen Konstellationen entstehen. Von reiner Wohnnutzung über Wohngemeinschaften und Mischkonzepte aus Wohnen und Arbeiten bis hin zu reinen Arbeitskonstellationen sind möglich. Besonders die Mischnutzung aus einem Büro und räumlich getrennter Privatwohnung ist eine spannende Möglichkeit. Der Grundriss Large erzeugt eine großzügige Wohnung für bis zu sechs Bewohnende und ist als Wohngemeinschaft sowie Mehrgenerationenhaushalt denkbar. Auch verschiedenste Lebensgemeinschaften können hier einen hochwertigen Lebensraum formen. In der Mischkombination aus Wohnen und Arbeit erzeugt er eine kompakte Wohnung für bis zu zwei Personen sowie neun Arbeitsplätze. In der reinen Office-Nutzung werden 13-15 Arbeitsplätze erzeugt.

X-Large | Office




10-16

- Bad 2,61 m²
- Toilette 4,04 m²
- Besprechungsraum 9,03 m²
- Küche/Aufenthaltsraum 24,93 m²
- 1.Einzeloffice 7,40 m²
- 2. Einzeloffice 9,61 m²
- Office 59,56 m²
- Eingangsbereich 4,77 m²

Gesamt NF 121,80 m²

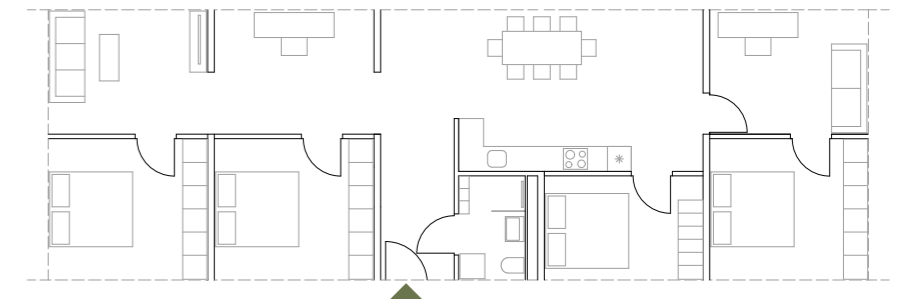
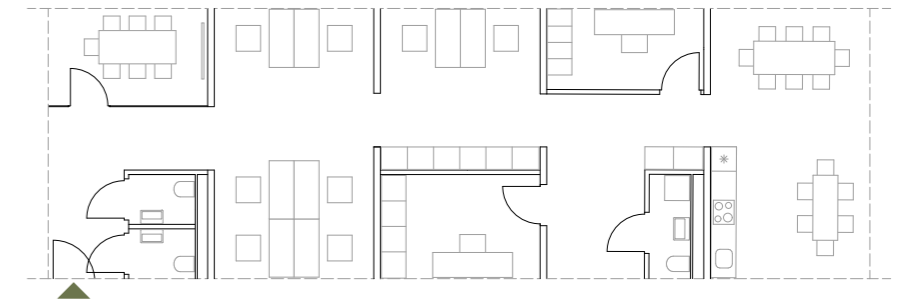
X-Large | Wohnen



8-9

- Bad: 4,16 m²
- Wohnzimmer 11,58 m²
- Privates Wohnzimmer 11,53 m²
- Küche/Esszimmer 23,98 m²
- 1.Schlafzimmer 13,04 m²
- 2.Schlafzimmer 13,04 m²
- 3.Schlafzimmer 13,04 m²
- 4.Schlafzimmer 13,04 m²
- Office 11,58 m²
- Abstellraum 1,58 m²
- Eingangsbereich 6,21 m²

Gesamt WF 111,25 m²



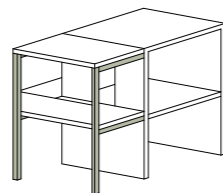
1m 2m 3m

Der größte der hier als Beispiel vorgeschlagenen Grundrisse setzt sich aus fünf Haupträumen zusammen. Im hier gezeigten Beispiel ist er der Einzige, der aufgrund seiner Größe über zwei Sanitärzellen verfügt. Eine hiervon ist das große Modul, welches im Kontext einer Wohnnutzung neben Toilette, Dusche und Waschbecken eine hauswirtschaftliche Einrichtung bekommt. In einem Bürokontext können aus diesem Modul zwei voneinander getrennte WCs entstehen. Das kleine Modul kann entweder klassisch mit Dusche, Toilette und Waschbecken ausgeführt werden oder als Mischnutzung im Büro. Hierfür wird die Dusche durch eine Waschmaschine ersetzt. Der Grundriss bietet bei einer gewerblichen Nutzung bis zu 10-16 Arbeitsplätze sowie eine großzügige Küche. Sollte der Grundriss als Wohnung genutzt werden, sind hier verschiedene Konzepte von Wohngemeinschaften über Mehrgenerationenhaushalte bis hin zu großen Familien mit bis zu neun Personen möglich.

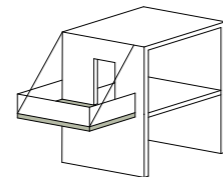
Freiflächen

Je nach Bauplatz können Freiflächen in Form von Balkonen ein essenzieller privater Außenraum sein, welcher die Identität der Wohnung stark prägen kann. Allgemein lässt sich hier in drei Bauarten unterscheiden, wie auch in der Abbildung 51 ersichtlich: angebaut, vorgestellte sowie auskragende Balkone. Unter Berücksichtigung der Möglichkeiten und des gesamten Baukonzeptes können Balkone je nach Bauplatz in diesem Konzept als angebaute oder als vorgestellte Balkone ausgeführt werden. Angebaute Balkone werden an der Fassade montiert und leiten einen Teil der oder ihre gesamte Last auf diese ab. Besonders muss hier auf die Übertragung von Wärme bzw. Kälte und Schall geachtet werden, da die Schnittpunkte als potenzielle Schwachstellen in der thermischen Hülle zu betrachten sind. Vorgestellte Balkone bilden eine eigene Tragstruktur in Form eines vorgesetzten Regals, in welches die Balkonplatten jeweils eingelegt werden. Statisch sind diese Balkone lediglich im Baukörper rückverankert. Neben den Vorteilen der geringen Durchdringung der Gebäudehülle sowie einer großen Gestaltungsfreiheit kommt der Nachteil des gesteigerten Materialverbrauchs durch das zwingende Erzeugen einer sekundären Tragstruktur sowie die räumlich geschlossene Wirkung sowie der Flächenverbrauch durch ablasten in den Boden.²⁶⁷ Für das System werden raumbreite Bauteile zur Verfügung gestellt, welche an die tragende Struktur der Wände angeschlossen werden können. Sollte der Bauplatz vorgestellte Balkone zulassen, kann dieser Ankerpunkt auch als Rückverankerung verwendet werden. An diesen Ankerpunkten können neben Auskragungen in Form eines Balkons ebenso die Erschließung als Laubengang ausgebildet werden. Die Ankerpunkte werden bereits in der Vorproduktion angebracht. Nach dem Anbringen werden diese Stahlbauteile umgedämmt und mit der Fassadenebene so geschützt, dass die Gefahr einer Wärmebrücke eliminiert wird. Die

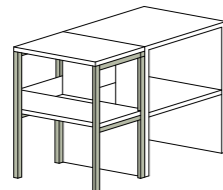
Verkleidung der Balkone kann je nach Fassadengestaltung dieser angepasst werden. Das statische Grundgerüst aus Stahl dient hierbei als Trägerkonstruktion für die Verkleidung. Diese ist ebenso je nach Gebäudeklasse den gegebenen Brandschutzanforderungen anzupassen.



Angebauter Balkon, mit Stütze



Angebauter Balkon, ohne Stütze



Vorgestellter Balkon

Abb.51 Mögliche Freiflächen im Holzbau

²⁶⁷ proholz; Zuschnitt 86; 2022; Seite 7

Prototyp



| | |
|---|-----|
| Bauplätze | 141 |
| Nürnberg | 141 |
| Geschichte | 141 |
| Die Stadt | 143 |
| Wohnen in Nürnberg | 143 |
| Laufamholz | 143 |
| Schupfer Straße | 144 |
| In der Finstermail | 144 |
| Bauplatzauswahl | 146 |
| Das Bauwerk | 149 |
| Grundlagen | 150 |
| Bebauungsplan | 150 |
| Abstandsflächen | 150 |
| Mobilität | 152 |
| Produktion vor Ort | 152 |
| Bauplatzvorbereitung | 153 |
| Kubatur | 154 |
| Umgang mit dem Bestand | 156 |
| Überarbeitung der Bestandsgrundrisse | 158 |
| Haupthaus | 158 |
| Nebenhaus | 158 |
| Lageplan | 160 |
| Pläne | 163 |
| Freiraumplanung | 164 |
| Grundrisse | 166 |
| Schnitte | 172 |
| Ansichten | 178 |
| Tragwerksgrundriss | 182 |
| Tragwerksschnitte | 184 |
| Detailplanung | 189 |
| Attika | 190 |
| Sockelanschluss | 191 |
| Anschluss Balkon | 192 |
| Anschluss Erschließung | 193 |
| Anschluss Decke Wand | 194 |
| Energiekonzept im Bauwerk | 195 |
| Brandschutzkonzept | 198 |
| Belichtung | 202 |
| Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes | 204 |
| Schaubild | 206 |

Bauplätze

Nürnberg

Geschichte

Die Geschichte Nürnbergs geht weit in die Vergangenheit zurück und ist durch viele Umbrüche in der Geschichte Deutschlands sehr bewegt. Die Stadt, damals noch Norenberc, wurde das erste Mal am 16. Juli 1050 beurkundet. Dies gilt als die Stadtgründung Nürnbergs. Es ist anzunehmen, dass davor schon Siedlungen existierten, da die Nachbarstadt Fürth bereits 45 Jahre zuvor schriftlich erwähnt wurde. Die ersten Siedlungen um das Stadtgebiet herum gehen weiter zurück, bis ins Jahr 1300 vor Christus.²⁶⁸ Die Gründung ist im Vergleich zu anderen Städten, welche im römischen Reich lagen, wie Regensburg, gegründet 179 nach Christus, recht spät.²⁶⁹ Die erste Festung auf dem rötlichen Sandstein, welcher namensgebend für die Siedlung war, entsteht um das Jahr 1000 nach Christus.

Im späten Mittelalter stieg Nürnberg auf, zu einer der wichtigsten Handelsstädte des Reiches. Daraus folgte die erste Verfassung 1320, welche vom Nürnberger Rat aufgesetzt wurde. Gebeutelt durch die Pest und die damit einhergehende Verjagung und Enteignung der jüdischen Bevölkerung entsteht in deren ehemaligem Wohngebiet der neue Stadtkern mit dem Hauptmarkt und der Frauenkirche. Ab 1424 wird festgelegt, dass die Herrschaftsinsignien in Nürnberg aufbewahrt werden sollten. Dies führte dazu, dass jeder neu gewählte König seinen ersten Reichstag in Nürnberg abhalten musste, was erst 1796 wieder aufgehoben wurde. Die kulturelle und wirtschaftliche Blütezeit der Stadt liegt im 15. und 16. Jahrhundert. Weltberühmte Künstler wie Albrecht Dürer, Adam Kraft, Veit Stoß, aber auch Humanisten wie Willibald Pirckheimer bewirkten, dass die Stadt immer weiter aufsteigt. Nach dem Aufstieg folgte der Niedergang als einer der Hauptschauplätze des Dreißigjährigen Krieges. Das Ende des Römischen Reiches 1806 beendete auch die Eigenständigkeit Nürnbergs, und die Stadt muss sich einer Annexion Bayern hingeben. Im 19. Jahrhundert wird Nürnberg erneut ein Anziehungspunkt für Innovation und Fortschritt. Startschuss für den erneuten Aufstieg ist die erste Bahnstrecke zwischen Nürnberg und dem Nachbarort Fürth, auf dem der Zug namens Adler 1835 seine Jungfernfahrt absolvierte. Die Stadt wird zum industriellen Zentrum Bayerns, und das produzierende Gewebe boomt. Ab 1927 nutzt die NSDAP Nürnberg für ihre Reichsparteitage. Sie nutzen die Er-

²⁶⁸ Stadt Nürnberg; Stadtgeschichte; 2023; nuernberg.de

²⁶⁹ Stadt Regensburg; 2000 Jahre auf einen Blick; 2023; regensburg.de

folgsgeschichte als eine Kulisse für die Selbstdarstellung Hitlers und das Parteiprogramm der NSDAP. Viele menschenverachtende Gesetze wie das Nürnberger Rassengesetz wurden hier beschlossen. Ab 1935 wird das Stadtbild Nürnbergs den Wünschen Hitlers und seiner Partei drastisch angepasst und soll als eine Beispielstadt für die neue germanische Baukultur gelten. Im Zuge der Umplanung des Stadtgebietes entsteht das Reichsparteitagsgelände. Nach den Grausamkeiten des zweiten Weltkriegs ist vor allem die Altstadt vollkommen zerstört und Nürnberg liegt erneut am Boden. Ab 1945 findet ebenfalls das internationale Militärtribunal, bekannt als die Nürnberger Prozesse, in Nürnberg statt. Nach langwierigem Wiederaufbau kämpft sich die Stadt langsam aber sicher wieder bergauf. Im Jahre 1955 entsteht der neue Flughafen. Ab 1972 entstehen die erste U-Bahn sowie der Hafen am Main-Donau-Kanal. Nürnberg ist ein Sinnbild einer sehr besonderen, oft erschütterten, aber lebenswerten Stadt mit sehr viel bis heute erlebbarer Geschichte.²⁷⁰



75km 150km 225km

²⁷⁰ Stadt Nürnberg; Stadtgeschichte; 2023; nuernberg.de

Die Stadt

Nürnberg ist eine im nördlichen Bayern verortete Stadt und mit rund 541.000 Einwohner*innen die zweitgrößte Stadt Bayerns. Auf über 186 Quadratkilometern erstreckt sich das Stadtgebiet, welches von nahezu allen Seiten mit den Nachbarstädten Fürth und Erlangen, Schwabach und Lauf zu einer Millionen Metropolregion herangewachsen ist.²⁷¹ Nürnberg hat mit über 50% einen hohen Anteil an Bewohnenden mit Migrationshintergrund, besonders verglichen mit dem weitestgehenden Rest Bayerns.²⁷² Dies lässt sich auf die mit dem fragwürdigen Begriff der „Gastarbeitenden“ bezeichneten Arbeiterströme ab 1955 aus Italien, ab 1961 aus der Türkei zurückführen, welche in Nürnberg Jobs und Zukunft suchten.²⁷³ Durch diesen Einfluss erblüht, trotz der für deutsche Verhältnisse geringen Größe, eine multikulturelle Gemeinschaft in der Stadt. Im Juni 2022 waren in Nürnberg 318.346 Menschen in sozialversicherungspflichtigen Berufen tätig. Mit über 80% liegt der Großteil des Erwerbes im Dienstleistungssektor. Die Arbeitslosenquote lag im gleichen Zeitraum bei etwa 5,5%.²⁷⁴

Wohnen in Nürnberg

2022 waren mit 145.489 Wohneinheiten über die Hälfte der Haushalte Ein-Personen-Haushalte. Im gleichen Jahr wurden in Nürnberg insgesamt 1731 Wohnungen fertiggestellt. Die Mieten steigen seit Jahren aufgrund der Wohnraumknappheit exponentiell und lagen im Jahr 2021 laut der Stadt Nürnberg bei 9,18 Nettokaltmiete pro Quadratmeter im Stadtgebiet.²⁷⁵ Dies spiegelt jedoch den realen Mietmarkt nur bedingt wieder. Hier wurden während der Zeit meiner Recherche, beginnend mit Juni 2022 bis Februar 2023, durchschnittlich 10-13 Euro pro Quadratmeter Nettokaltmiete aufgerufen.^{276/277}

Laufamholz

Das Ortsgebiet Laufamholz in Nürnberg ist einer der im Osten Nürnbergs gelegenen, suburbanen Wohnbezirke der Stadt. Die Siedlung wurde 1938 ins Stadtgebiet eingemeindet und findet erste Erwähnungen bereits 1296. Mit etwa 8500 Bewohner*innen ist die Stadt als kleiner Teil Nürnbergs zu betrachten. Mit 3245 Einwohner*innen pro Quadratkilometer ist hier der Flächenverbrauch zwar geringer als im Durchschnitt von Nürnberg mit 2805 Einwohner*innen pro Quadratkilometer,²⁷⁸ dennoch liegen Städte wie Wien oder München bei knapp 4800 Einwohner*innen pro Quadratkilometer.^{279/280} Das Gebiet selbst verfügt über alle Grundelemente, welche man benötigt, jedoch nichts darüber hinaus. Eine Grundschule sowie verschiedene Kindergärten, öffentliche Spielplätze, Ärzte aller Art, eine Apotheke sowie eine Post sind vorhanden. Für das leibliche Wohl sorgen mehrere Bäckereien und Metzger sowie einige Lokale und ein kleiner Bio-Supermarkt. Freizeitangebote sind durch den gegenüberliegenden Sportplatz, verschiedene Sportvereine, einen Park mit Basketballfeld sowie durch mehrere Tennisplätze geboten. Auf dem Platz gegenüber der katholischen Kirche St. Otto finden einige Feste über das Jahr verteilt statt. Das Größte hiervon ist

²⁷¹ Stadt Nürnberg; Daten und Fakten; 2023; nuernberg.de

²⁷² Stadt Nürnberg; Daten und Fakten; 2023; nuernberg.de

²⁷³ Norddeutscher Rundfunk; Gekommen - und geblieben: Die „Gastarbeiter“; 2022; ndr.de

²⁷⁴ Stadt Nürnberg; Entwicklung der Nettokaltmieten je Quadratmeter Wohnfläche nach Baujahr und Wohnflächengröße der bewohnten Mietwohnungen (in EUR/qm); 2021; nuernberg.de

²⁷⁵ Stadt Nürnberg; Daten und Fakten; 2023; nuernberg.de

²⁷⁶ Immoscout24; Preisatlas Metropolregion Nürnberg; 2023; immoscout24.de

²⁷⁷ Stadt Nürnberg, Amt für Stadtforschung und Statistik; Statistisches Jahrbuch 2022; 2022 Seite 141

²⁷⁸ Wikipedia; Laufamholz; 2023; wikipedia.org

²⁷⁹ Demografie Portal; Bevölkerungsdichte; 2020; demografie-portal.de

²⁸⁰ Stadt Wien; Bevölkerungsstand, Statistiken; 2023; wien.gv.at

die Kirchweih in der Pfingstzeit. Die zweite Kirche des Stadtviertels vertritt die evangelisch-lutherische Glaubenslehre. Ein wirkliches Zentrum ist nicht mehr vorhanden und formte sich erst in den letzten Jahren zunehmend durch private Investierende und Lokalitäten. Das heutige Zentrum des Gebiets bildet einen kleinen Platz mit Lokalen und einer Eisdielen sowie einer Bankfiliale. Jedoch bietet der Platz neben dem Konsumieren keine Aufenthaltsqualitäten. Angebunden ist Laufamholz über eine S-Bahn, welche in etwa zehn Minuten das Zentrum erreicht, sowie mit mehreren Buslinien. Ein Radweg führt entlang des Flusses Pegnitz in die Stadt und ist nahezu perfekt. Dieser bringt einen in unter 20 Minuten in die Stadt und dies mit nur wenigen Ampeln und zur Gänze ohne gefährliche Kreuzung des Straßenverkehrs bis ins Zentrum der Stadt.

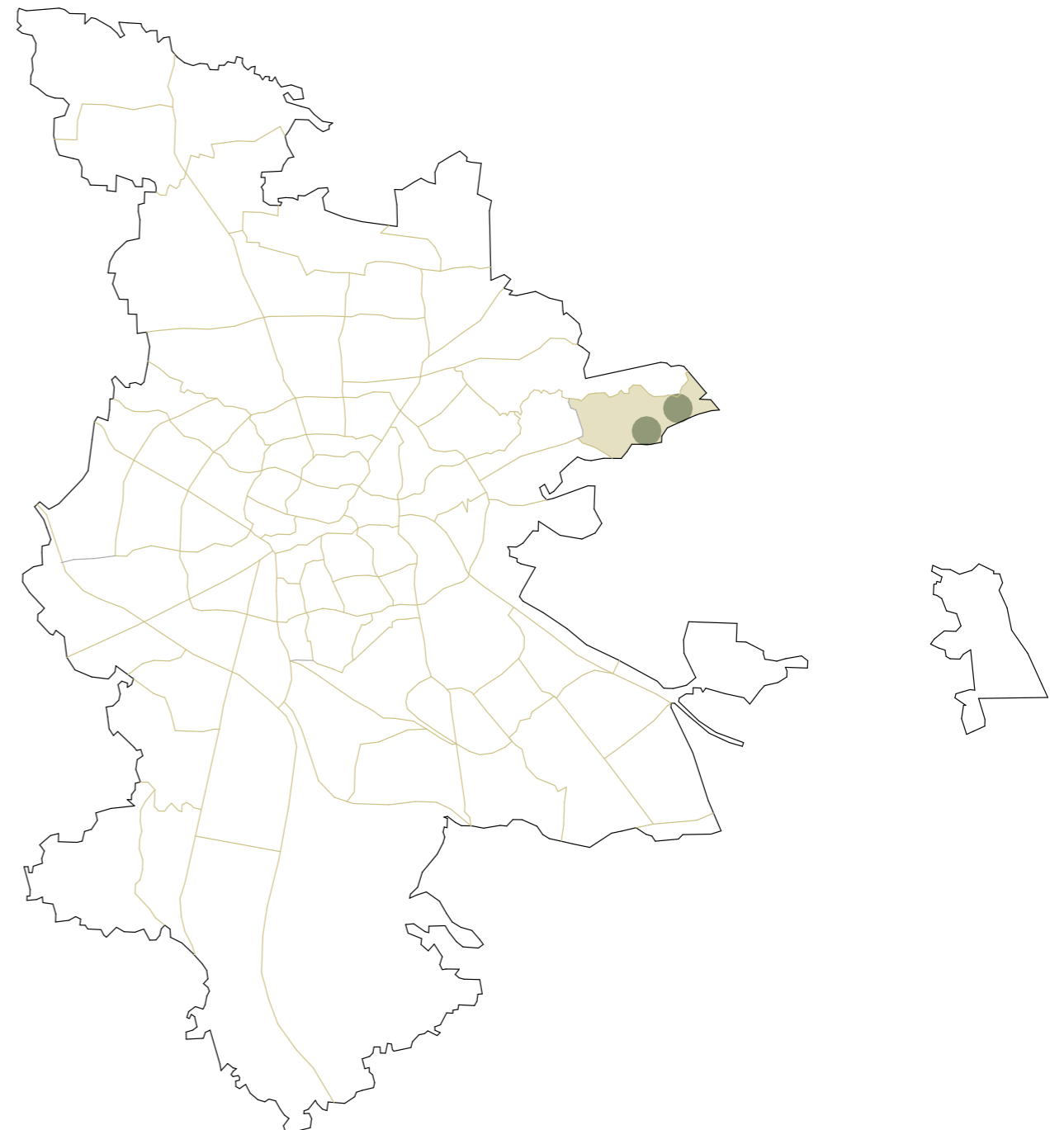
Schupfer Straße

Der erste der beiden zur Auswahl stehenden Bauplätze befindet sich in der Schupfer Straße. Es handelt sich um das Eckgrundstück zur Reicheneckerstraße mit der Hausnummer 92. Das Grundstück liegt im flacher bebauten Gebiet Laufamholzes. Die umliegende Nachbarschaft bildet sich aus Einfamilienhäusern sowie einem großen Sportplatz mit dazugehörigem Parkplatz gebildet. In einer Entfernung von etwa hundert Metern südlich findet sich die erste Reihenhaussiedlung wieder. Sonst bestimmen Einfamilienhaushalte das Bild. Die Bebauungshöhe und Bebauungsdichte nimmt mit dem Straßenverlauf der Schupferstraße in südwestlicher Richtung, hin zur S-Bahn Station Laufamholz, stetig zu. Das höchste Bauwerk findet man kurz vor der Station, welches mit elf Geschossen, zusätzlich zur erhöhten Geschäftserdgeschosszone, in die Höhe ragt. Mit einer Gehentfernung von sieben Minuten zur S-Bahn, welche einen in etwa zehn Minuten Fahrzeit ins Zentrum bringt, und drei Minuten Gehentfernung zur nächsten Busstation der Linien 40 und 45, ist das Grundstück trotz seiner Stadtrandlage denkbar gut angebunden. An dieser Stelle ist der Stadtteil lediglich etwa fünfhundert Meter breit und wird auf der Nord- sowie Südseite von einer idyllischen Wald- und Wiesenlandschaft eingefasst. Nur etwa einen Kilometer nördlich des Grundstückes befindet sich die Autobahnauffahrt Nürnberg Mögeldorf, welche einen auf der A3 in Richtung Berlin, München, Regensburg sowie Würzburg vernetzt.

In der Finstermail

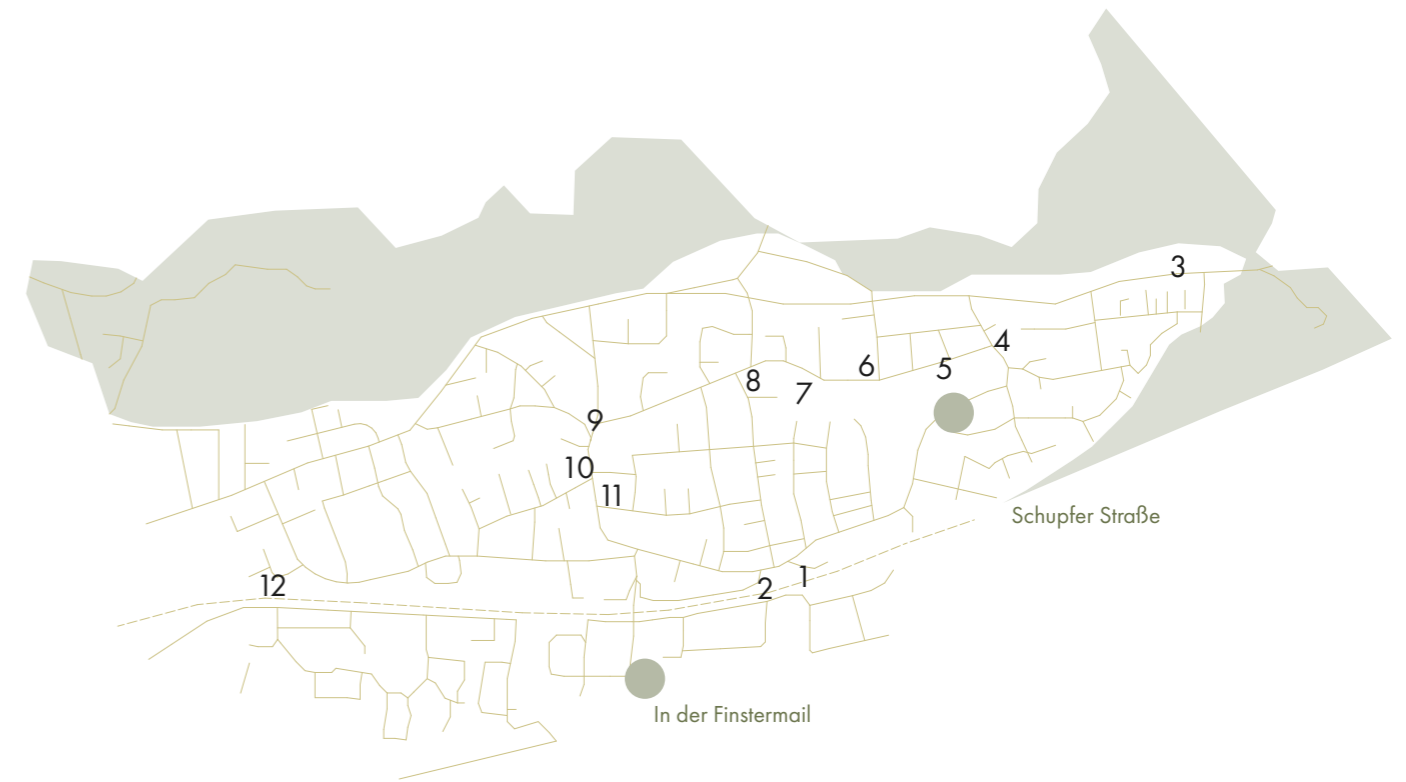
Das zweite Grundstück, welches zur Auswahl steht, befindet sich ebenfalls in Laufamholz, jedoch in einer anderen Ecke des Gebiets. Das Grundstück mit der Hausnummer 15 in der „In der Finstermail“ und bildet die Stadtkante des Viertels hin, zu einer Schrebergartensiedlung und dem dahinter liegenden Wald. Es kann als Grenzgrundstück des städtischen Gebiets gesehen werden und findet sich in einem sehr kleinen Teil Laufamholzes wieder, welcher durch die Bahntrasse vom Rest des Viertels getrennt wird und lediglich über eine Unterführung der S-Bahn erreichbar ist. In der näheren Umgebung findet man lediglich Einfamilienhäuser oder Doppelhaushälften. Wie in der Schupferstraße bereits beschrieben nimmt die Dichte der Bebauung hin, zur Bahnstation stetig zu. Mit einem Schotterweg, beginnend nur weniger Meter südlich der Haustüre, und einem Wald, der in selber Richtung nur etwa hundert Meter entfernt ist, das

Grundstück perfekt an eines der städtischen Naherholungsgebiete angeschlossen. Die S-Bahn Station ist lediglich einen 5-minütigen Fußmarsch entfernt, ebenso wie der Bio-Supermarkt, welcher sich im ehemaligen Bahnhofsgebäude befindet. Durch die größere Entfernung zur Autobahn und die Lage in einem Sackgassengebiet ist das Grundstück merklich ruhiger.



Bauplatzauswahl

Die beiden zur Auswahl stehenden Grundstücke wurden anhand der vorhandenen Pläne analysiert und auf deren Potenziale der Nachverdichtbarkeit geprüft. Des Weiteren wurden öffentliche Anbindungen als großer Mehrwert für die zukünftigen Bewohnenden mit einbezogen und die örtlichen Gegenseiten herausgearbeitet. Dies umfasst sowohl die Einfachheit der Errichtung einer möglichen Produktion vor Ort als auch die Erreichbarkeit für den Bau benötigten Lastkraftwagen und Kränen zum Anliefern und Versetzen der Bauteile. Grundsätzlich ist bei beiden Grundstücken eine Nachverdichtungsmaßnahme in gewissem Maß sinnvoll. Nach einer Studie der Technischen Universität Darmstadt ist eine Nachverdichtung auf Bauland wirtschaftlich dann sinnvoll, wenn sie einen Bodenrichtwert von über 240 Euro pro Quadratmeter haben. Je höher der Wert, desto höher ist ebenso der wirtschaftliche Vorteil gegenüber eines Neubaus.²⁸¹ Bodenrichtwerte werden von der Stadt Nürnberg alle zwei Jahre erhoben. Im Jahr 2022 wurde mit dem Stichtag des 1. Januar in der Bodenrichtwertkarte festgelegt, dass je nach Situierung im Viertel der Bodenrichtwert eines erschlossenen Grundstücks zwischen 740 und 1600 Euro pro Quadratmeter liegt.²⁸² Die Grundstücke bieten beide großes Potenzial und spannende Möglichkeiten, den Bestand aufzuwerten und weiterzuentwickeln. Für das Grundstück in der Finstermail spricht vor allem die tolle Lage nahe der Waldkante und die damit einhergehende Wohnqualität. Zwar liegt das Grundstück in der Schupferstraße an einer Straße, diese wird jedoch lediglich von den Nachbarn genutzt und ist somit sehr ruhig und nicht als Störfaktor einzuordnen. Des Weiteren befindet sich direkt über der Straße ein großer Parkplatz eines Sportvereins, der für den Zeitraum des Baus als Zwischenlager oder sogar als Produktion vor Ort genutzt werden könnte. Ein großes Problem mit dem Grundstück in der Finstermail und der ausschlaggebende Faktor, warum dieses leider gewählt werden konnte, ist die Unterführung der S-Bahn-Stammstrecke, welche als einziger Weg das Quartier erschließt. Mit einer Höhe von 3,5 Metern und einer Straßenbreite von knapp 3 Metern ist die Durchfahrt nicht für größere LKW geeignet, welche die Materialien oder die Kranbauteile mit den geforderten Dimensionen vor Ort bringen müssen. Aus diesem Grund wird das Modulsystem als Pilotprojekt auf dem Grundstück der Schupferstraße umgesetzt.



- 1 S-Bahn Station „Laufamholz“
- 2 Bio Supermarkt
- 3 Bus Station „Freilandsiedlung“
- 4 Bus Station „Henfenfelder Straße“
- 5 Sportplatz mit kleiner Gaststätte
- 6 Bus Station „Hammer“
- 7 Park mit Basketball Platz und Tischtennisplatten
- 8 Tennisplätze
- 9 Dorfplatz mit Restaurant, Eisdiele und Metzgerei
- 10 Pizzeria
- 11 Bäckerei
- 12 S-Bahn Station „Rehhof“

²⁸¹ Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 62

²⁸² ImmoPartner; Immobilienpreise in Nürnberg- Laufamholz; 2023; immopartner.de

Das Bauwerk



Der Entwurf wird mit den dafür entworfenen Bauteilen auf dem bereits gewählten Grundstück in der Schupfer Straße 92 umgesetzt. Aufgrund der Bestrebungen, auch im Betrieb einen möglichst niedrigen CO₂-Ausstoß zu erzeugen, wird im Zuge des Entwurfs ein Bauwerk erzeugt, das als Gratwanderung zwischen der vorhandenen Natur und Freifläche und dem zwangsläufigen Pragmatismus, welcher ökologische Architektur uns abfordert, fungiert. Um den Energieeinsatz zur Klimakontrollierung des Bauwerkes möglichst gering zu halten, wird eine Form gewählt, welche die zum Außenraum exponierte Fläche weitestgehend minimiert. Dies ist am besten durch eine komprimierte Bauweise zu erreichen. Um die bereits heute auf dem Grundstück vorhandene Natur nicht zu stark durch die neue Baustruktur einzuengen, werden die Baukörper, wo dies möglich ist, den bereits bestehenden Bäumen untergeordnet, um diese zu schützen. Durch diese selbst auferlegten Entwurfsprinzipien bieten sich einige Möglichkeiten der Positionierung der einzelnen Wohneinheiten verschiedener Größen auf dem Grundstück. Im Zuge dieser Regeln zum Natur- und Versiegelungsschutz des Grundstücks wird davon abgesehen, Module quer zueinander anzuordnen, da dies die äußere Hülle des Bauwerkes vergrößern würde, ohne mehr Wohnraum schaffen zu können. Die neu erzeugte Nachverdichtungsmaßnahme soll jedoch nicht nur mehr Wohnfläche auf dem Grundstück unterbringen, sondern auch das Grundstück als solches und auch den Bestand aufwerten, um dem Quartier einen Mehrwert bieten zu können. Angestrebt wird eine Verdopplung bis Verdreifachung der nutzbaren Fläche, welche sich im unverdichteten Zustand auf rund 218m² beläuft. Die Positionierung der Wohneinheiten und Büroeinheiten wird so gewählt, dass eine Mischnutzung mit Schwerpunkt Wohnen erzeugt wird. Effizient wird auch im Sinne der sanitären Einrichtungen geplant. Diese liegen immer übereinander, um Blindschächte zu vermeiden. Durch eine Orientierung des Baugrundstückes in die nordwestliche und südöstliche Richtung ist eine nahezu ganztägige natürliche Belichtung des Bauwerkes gewährleistet und kann somit zur Minimierung des Strombedarfs des Bauwerkes beitragen.

Grundlagen

Die rechtliche Lage und die veralteten Bebauungspläne, welche meist nach dem Zweiten Weltkrieg erstellt wurden und nur genau die damals existente Bebauung als bebaubare Fläche definieren, sind in vielen deutschen Großstädten einer der Faktoren der Behinderung von Bauvorhaben oder Nachverdichtung. In der Stadtentwicklungskarte der Stadt Nürnberg ist Laufamholz als „Allgemeines Wohngebiet“ eingestuft. Dies fordert eine Hauptnutzung zu Wohnzwecken, schließt aber anderweitige Nutzungen, solange sie dem Quartier dienlich sind, nicht aus.²⁸³

Bebauungsplan

Das ausgewählte Grundstück liegt als Flurstück 111/2 im Geltungsbereich des qualifizierten Bebauungsplans Nr. 3620 von 1966. Dieser Plan ist bis heute unverändert gültig. Dem Bauplan folgend ist auf dem Grundstück eine maximale Bebauungshöhe von zwei Vollgeschossen möglich. Ausnahmen sind aber, solange dies mit dem Nürnberger Bauamt abgesprochen und genehmigt wurde, möglich bis zu einer maximalen Geschossanzahl von vier oberirdischen Geschossen. Abweichend gilt dies nur für Garagen, welche maximal eingeschossig sein dürfen. Das Gebiet ist als allgemeines Wohngebiet ausgewiesen.²⁸⁴ Die Stadt Nürnberg legt fest, dass es sich hier eindeutig nicht um ein reines Wohngebiet (WR) handelt, sondern um ein allgemeines Wohngebiet (WA).²⁸⁵ Dem Gesetzestext folgend sind in solchen Gebieten hauptsächlich Wohnnutzungen vorgesehen. Anders als in einem WR-Gebiet jedoch sind Nutzungen für kulturelle, soziale, gesundheitliche oder sportliche Zwecke erlaubt; ebenso wie der Gebietsversorgung dienenden Läden sowie Schank- und Speisewirtschaften.²⁸⁶ Die Bebauungsart wird im Beiblatt als offene Bauweise mit Abweichungen und Zeilenbauweise festgesetzt.²⁸⁷

Abstandsflächen

Das Bayerische Baurecht legt unter Artikel 6 folgendes fest:

„(4) Die Tiefe der Abstandsfläche bemisst sich nach der Wandhöhe; sie wird senkrecht zur Wand gemessen. Wandhöhe ist das Maß von der Geländeoberfläche bis zum Schnittpunkt der Wand mit der Dachhaut oder bis zum oberen Abschluss der Wand. Die Höhe von Dächern mit einer Neigung von bis einschließlich 70 Grad wird zu einem Drittel der Wandhöhe, von Dächern mit einer Neigung von mehr als 70 Grad voll der Wandhöhe hinzugerechnet. Die Sätze 1 bis 3 gelten für Dachaufbauten entsprechend. Das sich ergebende Maß ist H.

(5) Die Tiefe der Abstandsflächen beträgt 0,4 H, [...] aber mindestens 3m. Durch städtebauliche Satzung oder eine Satzung nach Art. 81 kann ein abweichendes Maß der Tiefe der Abstandsfläche zugelassen oder vorgeschrieben werden. Für solche Regelungen in Bebauungsplänen gilt § 33 BauGB entsprechend.“²⁸⁸

Für den konkreten Fall in der Schupfer Straße bedeutet das, dass einen Abstand von mindestens 3 Metern zu der Grundstücksgren-

ze der Nachbarn in nördlicher und westlicher Richtung. In südlicher und östlicher Richtung ist das Grundstück von Gehweg und Straße eingefasst. Nach dem Gesetz darf hier die Abstandsfläche auch bis zur Hälfte der öffentlichen Verkehrsfläche liegen. Durch die Abmessung von etwa 830cm der Verkehrsfläche inklusive des Gehweges ist eine Bebauung bis an die Grundstücksgrenze rein rechtlich möglich.²⁸⁹ Dies müsste jedoch mit einer abweichenden Abstandsfläche nach §3 Abschnitt 5 Satzungstextes im Beiblatt des Bebauungsplans beantragt und festgelegt werden, was bisher nicht der Fall ist.²⁹⁰ Für eine energetische Sanierung des Bestands darf eine Dämmebene von maximal 30cm aufgetragen werden, solange der Abstand zum Grundstück keine 2,5 Meter unterschreitet.

Bei drei Vollgeschossen $904,3 \times 0,3 = 271,3$ GRZ

Bei drei Vollgeschossen $904,3 \times 0,9 = 813,87$ GFZ

Bei vier Vollgeschossen $904,3 \times 0,3 = 271,3$ GRZ

Bei vier Vollgeschossen $904,3 \times 1,0 = 904,3$ GFZ

Eine Überschreitung der vorgesehenen Grenzwerte ist bis zu einem gewissen Maße möglich, sollte dies eine rechtfertigende Mehrqualität mit sich bringen. Dies kann in schriftlicher Form sowie unter Zuhilfenahme von Planmaterial vor dem Bauausschuss angesucht werden. Ebenso ist eine Auskragung der Balkone über öffentlichem Grund zwar im Beiblatt des Bebauungsplanes nicht vorgesehen, wird aber im Sinne der Nachverdichtung in den meisten Fällen problemlos genehmigt.²⁹¹

²⁸⁹ Stadt Nürnberg; Masterportal Stadtplan; 2023; geoportal.nuernberg.de

²⁹⁰ Persönliche Korrespondenz mit der Planungsrechtlichen Beratung der Stadt Nürnberg, 10.11.2023

²⁹¹ Persönliche Korrespondenz mit Andrew Schneider; Head of Building Department; 12.01.2024



²⁸³ Stadt Nürnberg; Erläuterung des Bebauungsplan Nr. 3620 vom 16.06.1965; 2023; Seite 2

²⁸⁴ Persönliche Korrespondenz mit der Planungsrechtlichen Beratung der Stadt Nürnberg, 10.11.2023

²⁸⁵ Bayerische Staatskanzlei; BayBO in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007; 2007; gesetzte-bayern.de

²⁸⁶ Baunutzungsverordnung, 1. Abschnitt - Art der baulichen Nutzung; §4 Allgemeines Wohngebiet; 2017; gesetzte-im-internet.de

²⁸⁷ Stadt Nürnberg; Erläuterung des Bebauungsplan Nr. 3620 vom 16.06.1965; 2023; Seite 2

²⁸⁸ Bayerische Staatskanzlei; BayBO in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007; 2007; gesetzte-bayern.de

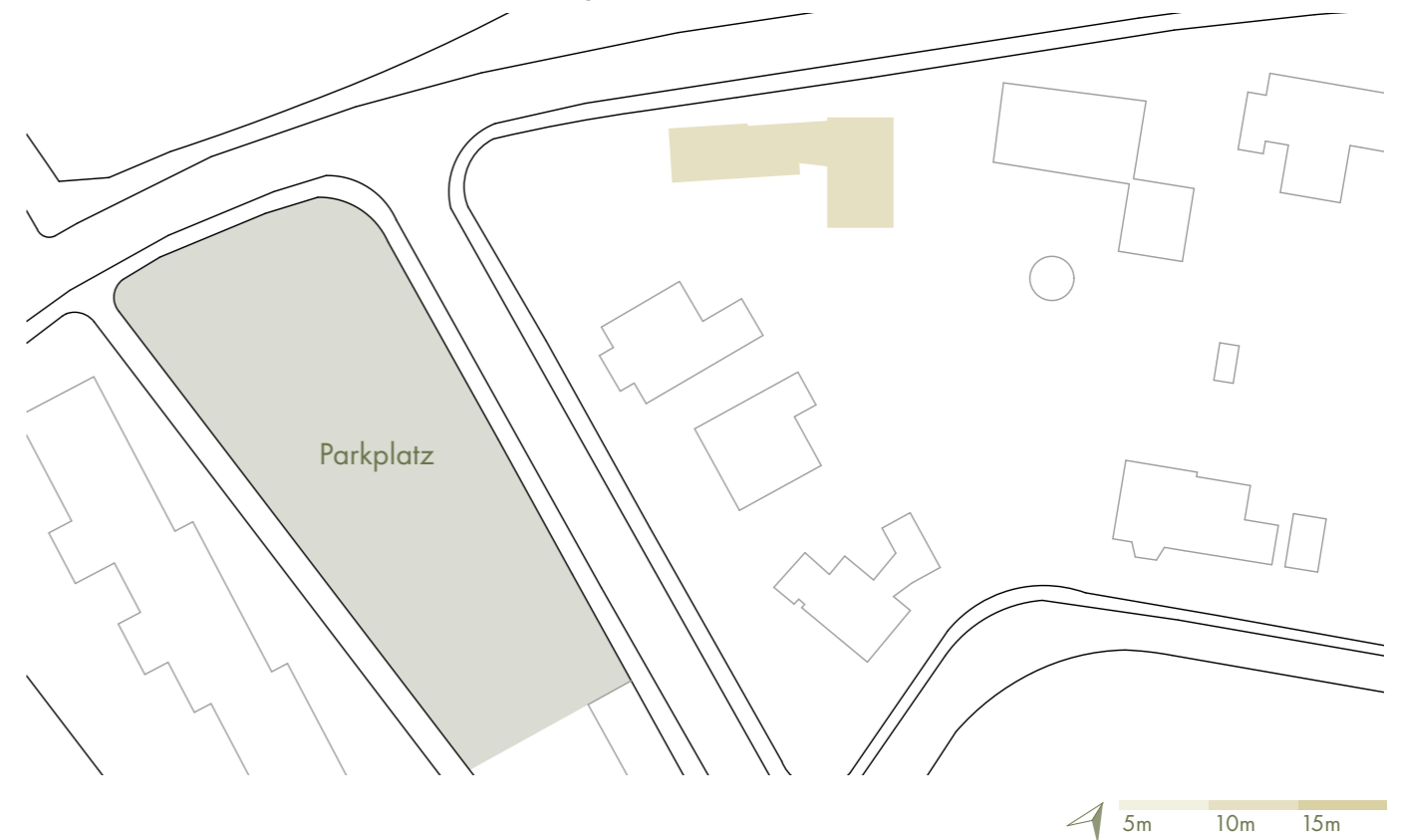
Mobilität

Nach Artikel 47 der Bayrischen Bauordnung müssen für alle vor Ort lebenden Personen ausreichend Stellplätze zur Verfügung gestellt werden. Da das Baugrundstück sich in Zone zwei, also dem Gebiet außerhalb des Rings in Nürnberg befindet, ist die Anzahl der benötigten Stellplätze vom Erbauenden zu errechnen.²⁹² Hierfür wird die Richtzahlenliste der Stadt Nürnberg benötigt. In dieser wird festgelegt, dass für Wohnungen mit einer Wohnfläche von unter fünfzig Quadratmeter sowohl ein Stellplatz für ein KFZ als auch für ein Fahrrad erzeugt werden muss. Für Wohnungen mit 50 m² bis zu 130m² benötigt man einen KFZ-Abstellplatz und 2 Fahrradabstellplätze. Für Wohnungen mit über 130 m² werden zwei KFZ-Stellplätze und 3 Fahrradabstellplätze benötigt.²⁹³ Ausnahmen gelten, wenn der Straßenraum genug Fläche zur Verfügung stellt, um öffentliche Parkplätze von der Stadt abzulösen. Diese sind in der Zone 2 mit 8.500€ pro Stellplatz befreit und können mittels Ablösevertrag bei der Stadt beantragt werden. Eine Ablöse eines Fahrradstellplatzes schlägt in allen Zonen mit 500€ zu Buche.²⁹⁴ Im Sinne eines zukunftsorientierten Mobilitätskonzeptes werden beim Entwurf lediglich die Parkflächen erzeugt, die dringend notwendig sind. Weitere Stellplatzmöglichkeiten werden durch die Längserstreckung des Grundstückes entlang einer Straße sowieso gegeben sein und müssten lediglich von der Stadt abgelöst werden. Da das Baugrundstück relativ gut durch den öffentlichen Nahverkehr angebunden ist, wird in der Hausgemeinschaft ein einfach zu bedienendes Sharingkonzept initiiert. Hierbei werden mehrere Fahrräder zur Verfügung gestellt, welche in erster Linie als „Last-Mile-Fahrzeug“ die Wegzeit insbesondere zur S-Bahn Station überbrücken sollen. Sie können frei von jeder Person im Hausverband genutzt werden und stehen für Wegstrecken innerhalb eines gesetzten Radius zur Verfügung. In diesem Fall wäre ein stadtweiter Radius anzudenken, da das Grundstück ebenso sehr nah am Radweg in das Zentrum liegt. Mit diesem Angebot wird angestrebt, den individuellen Personenverkehr auf ein Mindestmaß zu verringern. Ein Elektroauto, welches ebenso der Hausgemeinschaft gehört und welches durch den eigenen Strom geladen werden kann, kann für größere Besorgungen für das Haus oder für größere Einkäufe geliehen werden. Hierfür wird ein festgelegter Betrag erhoben, welcher von den Bewohnenden bei Ausleihe zu entrichten ist.

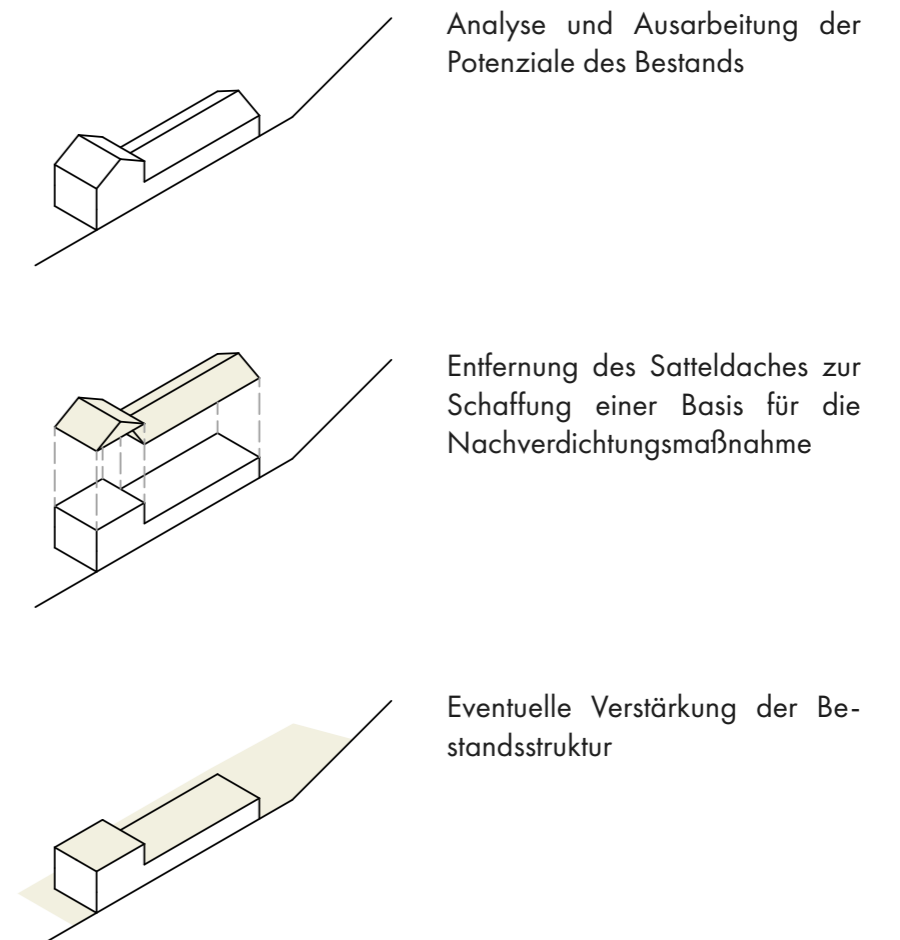
Produktion vor Ort

Das Grundstück in der Schupfer Str. wurde unter anderem gewählt, da es sich städtebaulich anbietet, eine Produktion der Baustoffe vor Ort zu realisieren. Hierfür wird für die Zeit der Bauphase eine temporäre Werkshalle auf dem benachbarten Parkplatz installiert. Dieser wird für diese Zwecke temporär vom Sportverein SV-Nürnberg Laufamholz e.V. angemietet. Der etwa 1.755m² große Parkplatz bietet genug Platz für die Zwischenlagerung von Holz- und Lehmbaumaterialien, als auch für eine mobile Werkshalle, in der wetterunabhängig der Elementbau betrieben werden kann. Vor Ort benötigt wird dann neben Maschinenteknik lediglich ein Kran, welcher die Bauteile aus der Halle über die Straße auf dem Bauplatz versetzt. So können die Materialien so kompakt wie möglich zur Baustelle transportiert werden und erst vor Ort in eine räumliche

Struktur umgearbeitet werden. Dies spart zusätzliche Fahrtstrecken und macht den gesamten Bauprozess durch perfekt abgestimmte Just-in-Time-Produktion noch kontrollierbarer, steuerbarer und weniger durch extrinsische Einflüsse beeinflussbar.



Bauplatz Vorbereitung

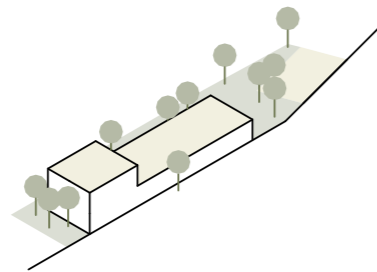


²⁹² Bayerische Staatskanzlei; BayBO in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007; 2007; gesetzte-bayern.de
²⁹³ Stadt Nürnberg; StellplatzS 630.746 Anlage, Richtzahlenliste (Anlage zu § 2 Abs. 1 StS); 2016; Anlage 1
²⁹⁴ Stadt Nürnberg; Satzung über die Herstellung und Bereithaltung von Kraftfahrzeugstellplätzen und Fahrradabstellplätzen (StellplatzS – StS); 2007; Seite 7

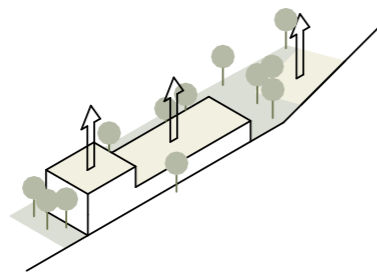
In den Kapiteln zur Nachhaltigkeit wurde bereits beschrieben, dass ein unterirdischer Bau aufgrund des ökologischen Eintrags auf das CO₂-Konto nicht angestrebt wird. Des Weiteren ist der Boden so vorzubereiten, dass die Bäume und Bepflanzungen des Grundstücks nicht allzu stark unter dem Bauvorhaben leiden. Für das solitär stehende Bauwerk werden Auskofferungen für die Fundamente vorgenommen. In diesen werden die vorgefertigten Stahlbetonelemente versetzt und fixiert. Um die maximale Effizienz der Bauwerke erzeugen zu können, werden vor den Baumaßnahmen die Dächer des Haupthauses wie auch des Nebenhauses rückgebaut und als Flachdächer bzw. Dachterrassen umgebaut. So kann der Zubau dieses Dachs als sinnbildlichen Ankerpunkt für die weitere Entwicklung in die Vertikale nutzen. Nötige Umbauten wie das Versetzen der Fundamente, das Erzeugen neuer Treppen, aber auch der Aufbau der temporären Produktionshalle werden vor dem Beginn des Zubaus abgeschlossen. Die Ankerpunkte auf den Dächern werden so vorbereitet, dass ein Versetzen der Bauteile zeiteffizient möglich gemacht wird.

Kubatur

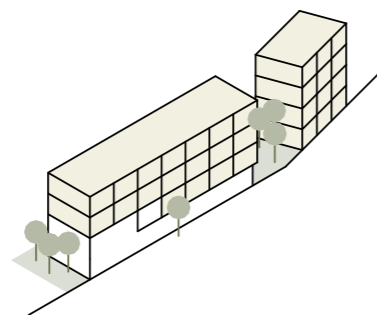
Die Anzahl der geschaffenen Wohneinheiten wurde so gewählt, dass eine gewünschte Verdopplung beziehungsweise Verdreifachung der Nutzfläche erreicht wurde. Dabei teilt sich das Bauwerk in zwei Strukturen auf. Parallel zur Bebauungsgrenze des südöstli-



Analyse bebaubarer Restflächen unter Einbezug des Grünraums



Festlegung der Sturkturausdehnung und Entscheidung inwieweit vertikal Verdichtet werden soll.



Umsetzung der Verdichtungsmaßnahme in Symbiose mit dem Bestand.

chen Nachbargrundstücks wird ein solitäres Bauwerk ausgebildet, welches sich die Form des Grundstücks zu Nutze macht. Das Gebäude wurde so nah an die Straßenkante verschoben, dass dahinter neben einem privaten Grüngürtel ebenso die Erschließung Platz findet. Dies lässt ebenso zu, dass ein direkter Ausblick auf den Waldgürtel ohne Behinderung durch die Erschließung möglich wird. Das Bauwerk wird nach der Richtlinie des Bebauungsplanes bezüglich der maximalen Bauhöhe viergeschossig ausgeführt und schafft 878,93 Quadratmeter Wohnraum. Durch den zur Bauwerksachse des Hauptgebäudes leicht verdrehten solitären Baukörper werden durchgesteckte Wohnungen geschaffen, die durch eine Orientierung in die nordwestliche und südöstliche Richtung ganztägig natürlich belichtet sind. Dies kann dabei helfen, den Energiebedarf, welcher zum Beleuchten der Räume benötigt wird, zu minimieren.²⁹⁵ Die Flucht des Bauwerks ergibt sich aus der parallelen Verschiebung der Bebauungsgrenze und des mit dem Haupthauses fluchtenden Struktur. Die zweite und größere Struktur ist jene, welche eine Symbiose mit dem Bestand eingeht. Sie wurde so gewählt, dass sie folgend der vorhandenen Bausubstanz eine Aufstockung erzeugt. Die Parallelität zum Bestand wurde gewählt, da die Lasten auf das darunter bestehende Gebäude bestmöglich abgeleitet werden können. Ein weiterer Faktor ist die geringe Verschattung des Bestands sowie der Nachbarbauwerke sowie die Erzeugung von hochwertigen Blickachsen, welche die benachbarten Bauwerke so gering wie möglich beeinträchtigen. Dieses Bauwerk ist konzeptuell als Spiegelung des Bestandes um die eigene horizontale Achse in die Zukunft zu verstehen. Durch diesen Ansatz erzeugt der Neubau eine private Eingangssituation und einen Durchblick im ersten Obergeschoss sowie eine großzügige Dachterrasse auf dem Haupthaus des Bestands. Die Ausdehnung in die südwestliche Richtung wurde so gewählt, dass ein Vordach für den im Bestand zu positionierenden Quartiers-treffpunkt geboten wird und somit eine witterungsgeschützte Eingangssituation erzeugt. Die Aufstockung ist wie das solitäre Bauwerk in nordwestliche und südöstliche Richtung orientiert und daher ganztägig natürlich belichtet.

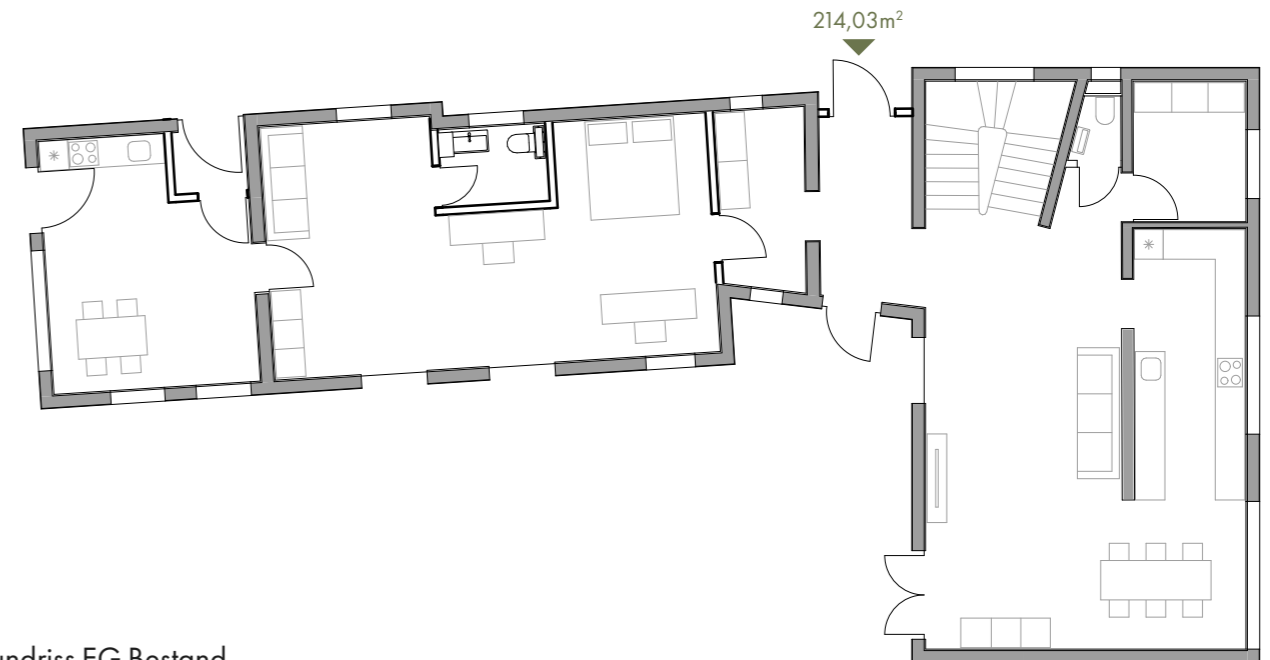
Dort, wo nun Neubau auf Bestand trifft, schließt dieser flächig auf die durch den Rückbau des Daches offenliegende Stahlbetondecke an. Aufgrund der geringeren statischen Belastung der Balkendecke wird hier das System abgeflacht, um sowohl platz,- als auch ressourceeffizienter ausgeführt werden zu können. Von einer Balkenhöhe von zwanzig Zentimetern kann auf zwölf Zentimeter reduziert werden.

²⁹⁵ Sonnenverlaufrechner; Nürnberg, Schupfer Str; 2024; sonnenverlauf.de

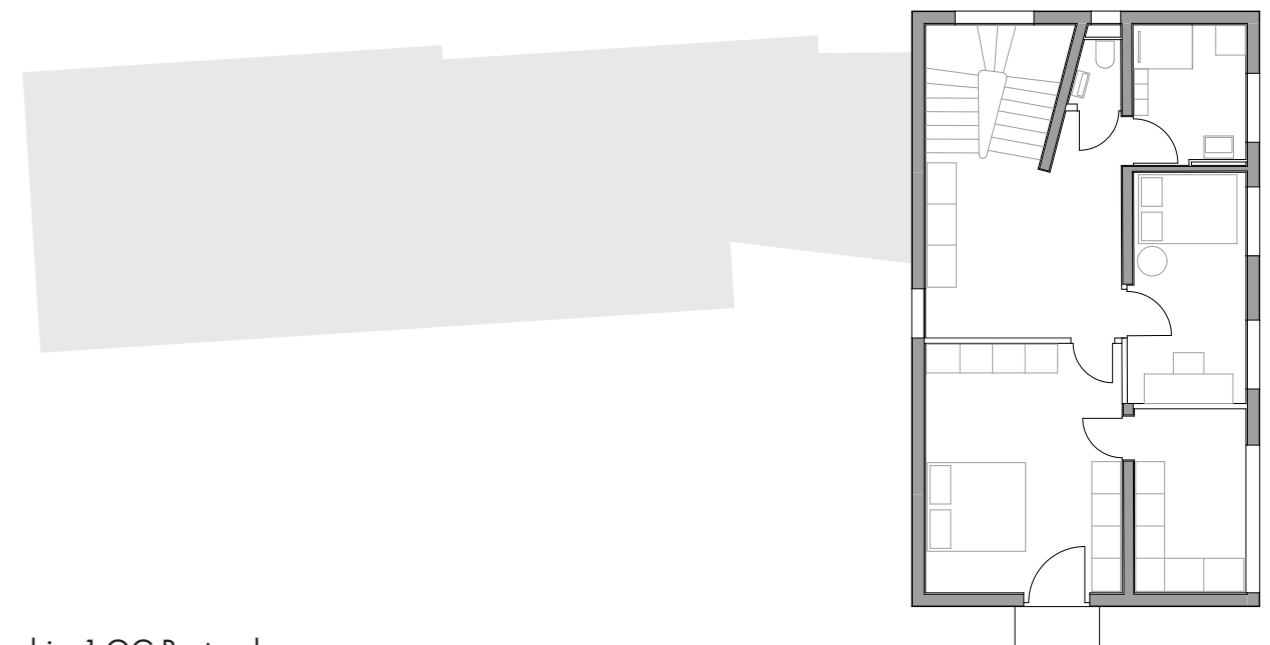
Umgang mit dem Bestand

Essentiell bei der Umsetzung eines Zubaus auf einem Grundstück, welches bereits über Baukörper verfügt, ist der Umgang mit dem Bestand. Dieser darf unter keinen Umständen unter der Nachverdichtung leiden und muss ebenso wie der Neubau von den Baumaßnahmen profitieren. Im Zuge des Neubaus wird der Bestand einer energetischen Sanierung unterzogen, um diesen auf den neusten Stand der Technik zu bringen und für viele weitere Jahrzehnte als Struktur bewohnbar zu bleiben. Die beiden Bauwerke gehen auf dem Grundstück eine Symbiose ein, welche sich durch die Einbeziehung des Bestands in Fragen der Erschließung und gestalterische Aspekte widerspiegeln kann. Die zusätzliche statische Belastung durch die neuen Baukörper kann auf zweierlei Arten aufgenommen werden. Da das Bestandsgebäude aus Ziegeln und Stahlbeton errichtet wurde, wird eine statisch berechnete Ertüchtigung der Mauern und Fundamente vorgenommen. So kann der Holzbau auf dem Bestand ruhen und über diesen die anfallende Zusatzbelastung ablasten. Durch studieren der Originalpläne des Bauwerks konnten die Materialität sowie die bestehende Bausubstanz festgehalten werden. Die Pläne vom März 1955, welche Schnitte und Grundrisse des Bauwerks zeigen, wurden digitalisiert und als Basis für den weiteren Entwurf herangezogen.

Eine energetische Ertüchtigung des Bestands erfolgt, da dieser ohne Dämmung errichtet worden ist und somit einen schlechten U-Wert aufweist. Der weitestgehende Teil der Außenwände des Bestands hat denselben Aufbau und besteht aus einer Hochlochziegelwand mit einer Ziegelstärke von 24cm und einem beidseitigen Kalkzementputz von jeweils etwa 3cm Dicke. Diese insgesamt 30cm dicke Wand hat eine flächenbezogene Masse von 348kg pro Quadratmeter und einen U-Wert von 1,315 W/m²K.²⁹⁶ Durch eine Berechnung unter Zuhilfenahme des Webtools „baubook“ und dem Wunsch, das Gebäude in den erstrebenswerten Passivhausstandard zu heben, wird als thermische Hülle eine 22cm dicke Schicht Rockwool Coverrock 2 aufgetragen.²⁹⁷ Diese Dämmung bietet neben den Nachhaltigkeitsaspekten, welche Steinwolle gegenüber mineralölbasierten Produkten hat, ebenso eine Montage frei von Kleber und kann dadurch auf Wunsch sortenrein getrennt und demontiert werden. Außerdem werden mit ihr die erforderlichen Brandschutzanforderungen an die Außenwand des sich in der Gebäudeklasse vier befindenden Objektes erfüllt. Mit dem Auftragen der Dämmebene erhält die Wand einen U-Wert von 0,138 W/m²K und ist somit Passivhaus zertifiziert.²⁹⁸ Der Keller des Hauses ist weder gedämmt noch abgedichtet und muss daher trockengelegt werden. Diese Maßnahme ist schlussfolgernd aus dem Kapitel Energienutzung und Gewinnung nicht genehmigungspflichtig und kann im Zuge des Zubaus problemlos mit umgesetzt werden. Der Keller wird ebenso als Raum für technische Anlagen genutzt. Der bereits im Bestand vorhandene Öltank, welcher im östlichen Gartenteil versenkt ist, wird aufbereitet und als Regenwasserspeicher verwendet. Ein Anschluss zu einer im Keller befindlichen Aufbereitungsanlage wird durch die bereits verlegten Ölleitungen geschaffen. Die Treppe



Grundriss EG Bestand



Grundriss 1.OG Bestand

²⁹⁶ Baubook; Rechner für Bauteile; 2024; baubook.at

²⁹⁷ Rockwool; Coverrock 2; 2024; rockwool.com

²⁹⁸ Baubook; Rechner für Bauteile; 2024; baubook.at

in den Keller wird so verlegt, sodass sie straßenseitig am Gebäude liegt und somit eine geringstmögliche Störung des Lebens vor Ort fördert. Hier ist bereits ein Eingang durch eine Bodenklappe in den Keller vorhanden. Es muss lediglich die Treppe als Fertigelement nachgerüstet werden.

Überarbeitung der Bestandsgrundrisse

Haupthaus

Die Grundrisse des Bestands wurden einerseits im Sinne einer Nachverdichtung, andererseits so minimalinvasiv wie möglich umgestaltet. Im Haupthaus entstehen durch Entfernen der hausinternen Treppe zwei Wohnungen mit je etwas über 70m² Wohnfläche. Beide Grundrisse wurden so gestaltet, dass alte Badanschlüsse genutzt werden konnten und die Wände in geringstmöglichem Maße angepasst werden mussten, um qualitativ guten Wohnraum bieten zu können. Für den Zweck der Erschließung und der Trennung der Wohneinheiten wird der Eingangsbereich des Bestandes durch eine luftige und einladende Erschließung ersetzt, welche unter Zuhilfenahme einer Freitreppe und eines Laubengangs entlang des Neubaus den Bestand erschließt. Durch die entstehende Restfläche zwischen Bestand und Neubau im ersten Obergeschoss wird ein attraktiver Vorraum der Wohnung im ersten Obergeschoss geschaffen. Das Haupthaus erhält zur Erschließung der beiden Wohneinheiten zwei neue Eingangstüren.

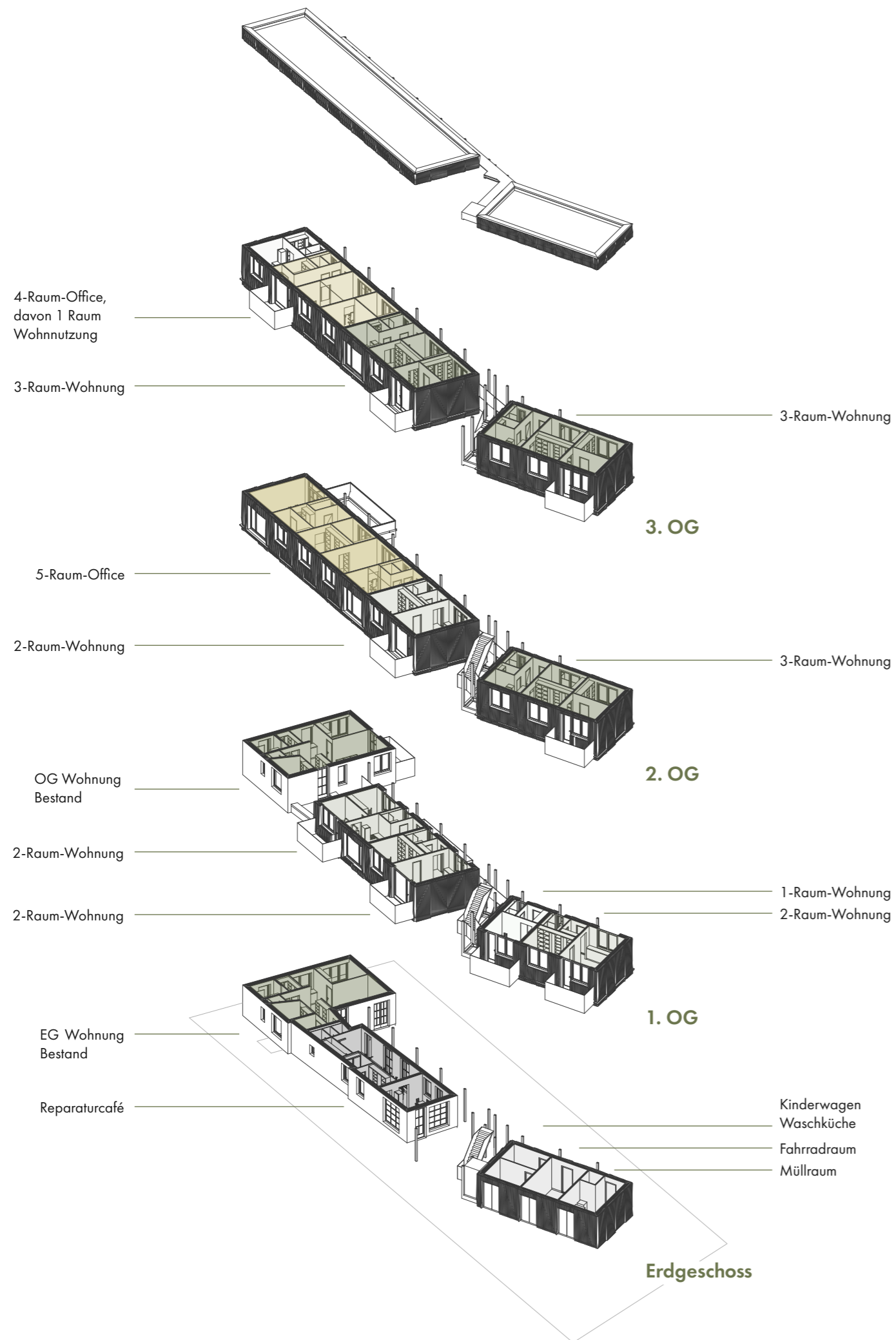
Nebenhaus

Die Erschließung des Anbaus wird auf die westliche Fassade verlegt. In diesem Gebäudeteil wird ein Quartierstreffpunkt installiert, da die Standortanalyse eine einer Zusammenkunftsstätte vermissen ließ. In den Räumlichkeiten werden ein Trocken,- sowie ein Kühl-lager installiert. Zwei Toiletten und eine Küche werden an den bereits vorhandenen Kanal angeschlossen. Zusätzlich wird ein kleiner Rückzugsort als Personalraum geschaffen. Der erzeugte Raum soll einen Treffpunkt bilden, welcher möglichst viele Nutzungen zulässt und somit Verschiedenes bieten kann und im Laufe der Zeit an die Bedürfnisse der Nutzenden anpassbar ist. Auf den 70,4m² wird im Entwurf ein Reparaturcafé mit kleinem gastronomischen Angebot vorgesehen. Der Raum kann parallel ebenso kostengünstig von den Bewohner*innen angemietet werden, um hausinterne Zusammenkünfte sowie Versammlungen auf eigenem Grund durchführen zu können, und so den Zusammenhalt der Bewohnenden zu stärken. Die Nutzung als hausinterne Werkstatt ist ebenso möglich.

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.



Pläne

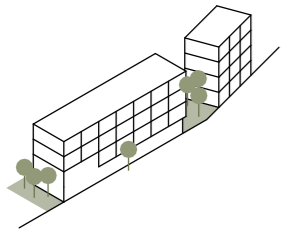


Das folgende Kapitel wird das Bauwerk auf dem gewählten Bauplatz behandelt. Pläne sowie Details des Bauwerks werden erläutert und dargestellt, sowie Berechnungen bezüglich Belichtung und Überwärmung werden durchgeführt. Das erzeugte Bauwerk übertrifft den vor dem Entwurf definierten Wunsch, die Nutzfläche um das Doppelte bis Dreifache zu erweitern. Durch die neue Mischnutzung konnte die Wohnfläche von 214,03 Quadratmetern auf 609,5 Quadratmeter verdreifacht werden. Hinzu kommt eine neue Mischnutzung, welche das Baugrundstück um weitere 72,02 Quadratmeter in Form eines Quartierstreifpunkts sowie 197,41 Quadratmeter Büroflächen erweitert. Die gesamte neue Nutzfläche summiert sich auf 878,93 Quadratmeter und ist somit viereinhalb mal so hoch wie im unverdichteten Zustand. Dies könnte ohne eine übermäßig hohe Versiegelung der Freiflächen herbeigeführt werden und erzeugt weiterhin qualitativ hochwertigen Grünraum. Die beiden Geschosse des Haupthauses wurden je zu einer neuen Wohnung umgeplant. Der Anbau des Bestandes wurde zu einem Kaffee umformuliert. In den neu errichteten Strukturen befinden sich neben Hauswirtschaftsräumen sowie Abstellmöglichkeiten für Fahrräder und Kinderwagen eine Vielzahl an diversen Wohnungen. Aufgrund einer Bevölkerungsentwicklungsanalyse des Gebietes sowie einer Analyse der pro Person bewohnten Quadratmeter wurde sich für den folgenden Verteilungsschlüssel der Flächen entschieden:²⁹⁹

- 1 x 1-Raum-Wohnung** (22,58 m²)
- 4 x 2-Raum-Wohnung** (48,06 m²)
- 3 x 3-Raum-Wohnung** (73,60 m²)
- 1 x 4-Raum-Mischnutzung** (96,78 m², davon 21,17 m² Wohnen)
- 1 x 5-Raum-Office** (121,80 m²)

Die Definition „Raum“ bezieht sich in dieser Berechnung auf die Raumeinheit, welche sich durch die Schottenbauweise ergibt, nicht auf die daraus tatsächlich erzeugten Zimmer, da diese je nach Wunsch der Bewohnenden im gewissen Maß frei gestaltet werden können.

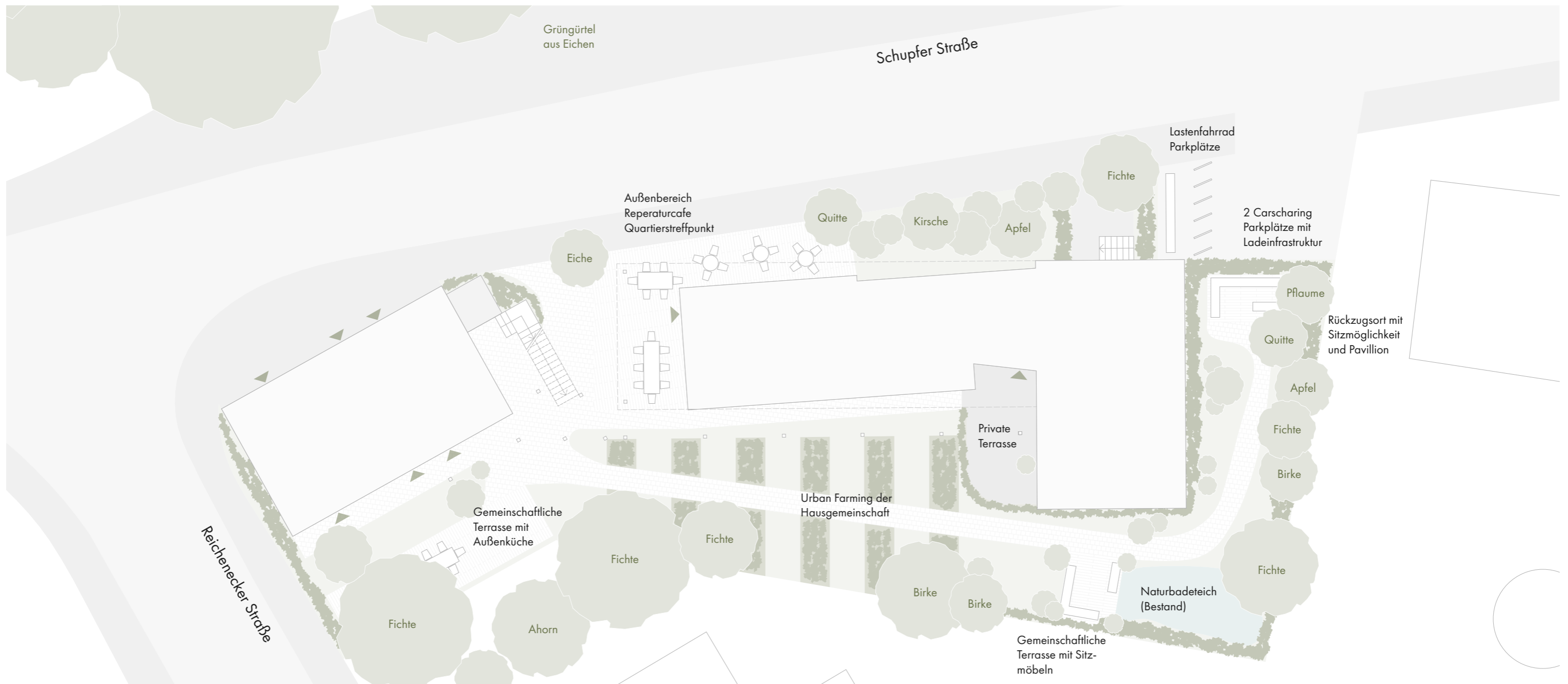
²⁹⁹ Bevölkerungsbestand mit Hauptwohnung - Altersgruppen (BSDB_01); 2024; nuernberg.de

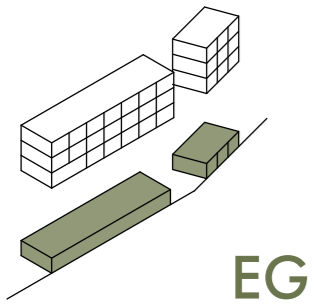


Freiraumplanung

Der Entwurf wurde so geplant, dass der bereits vorhandene Freiraum des Bestands soweit mit einbezogen wird, dass dieser, soweit es möglich ist, erhalten bleiben kann und die seit Jahrzehnten dort wachsenden Strukturen nicht zerstört werden. Die Population der Pflanzen auf dem Grundstück reicht von Bäumen wie Birken, Fichten, Äpfel,- und Pflaumenbäumen sowie einem Ahorn über eine im Sinne der Biodiversität angelegte Mischbepflanzung im Heckenbereich bis hin zu großen Sträuchern aus Efeu, Rose und Rhododendren. Diese Vielfalt soll erhalten bleiben und durch kleine Beete ergänzt werden. Sie bietet den perfekten Nährboden für Insekten aller Art, was dem Anbau von Gemüse und Obst dienlich ist und den Artenreichtum schützt. Durch den Verzicht auf das Unterkellern der neuen Bausubstanz kann sich vor allem die Baumpopulation auf dem Grundstück über keine Störung deren Wachstums freuen. Durch den sandigen Boden ist ein Anbau von Gemüse oder Obst im

Boden selbst schwer umzusetzen. Darum werden im privaten Garten einige Hochbeete mit hochwertigem Substrat vorgesehen, um diesem Wunsch gerecht zu werden. Des Weiteren werden einige kleine Rückzugsorte in den Garten implementiert, um trotz deren Kompaktheit auch hier ein gewisses Maß an Privatsphäre schaffen zu können. Die Erdgeschosswohnung im Bestand erhält zusätzlich einen Sichtschutz in Form einer Mischhecke, welche sowohl die Diversität des Lebens vor Ort fördert, als auch ein gewissen Maß an Privatsphäre in den Räumlichkeiten fördert. Zur Unterstützung der Vielzahl an Vögeln vor Ort werden sowohl Fledermauskästen in die Fassade als auch Vogelhäuser in den Bäumen vorgesehen.

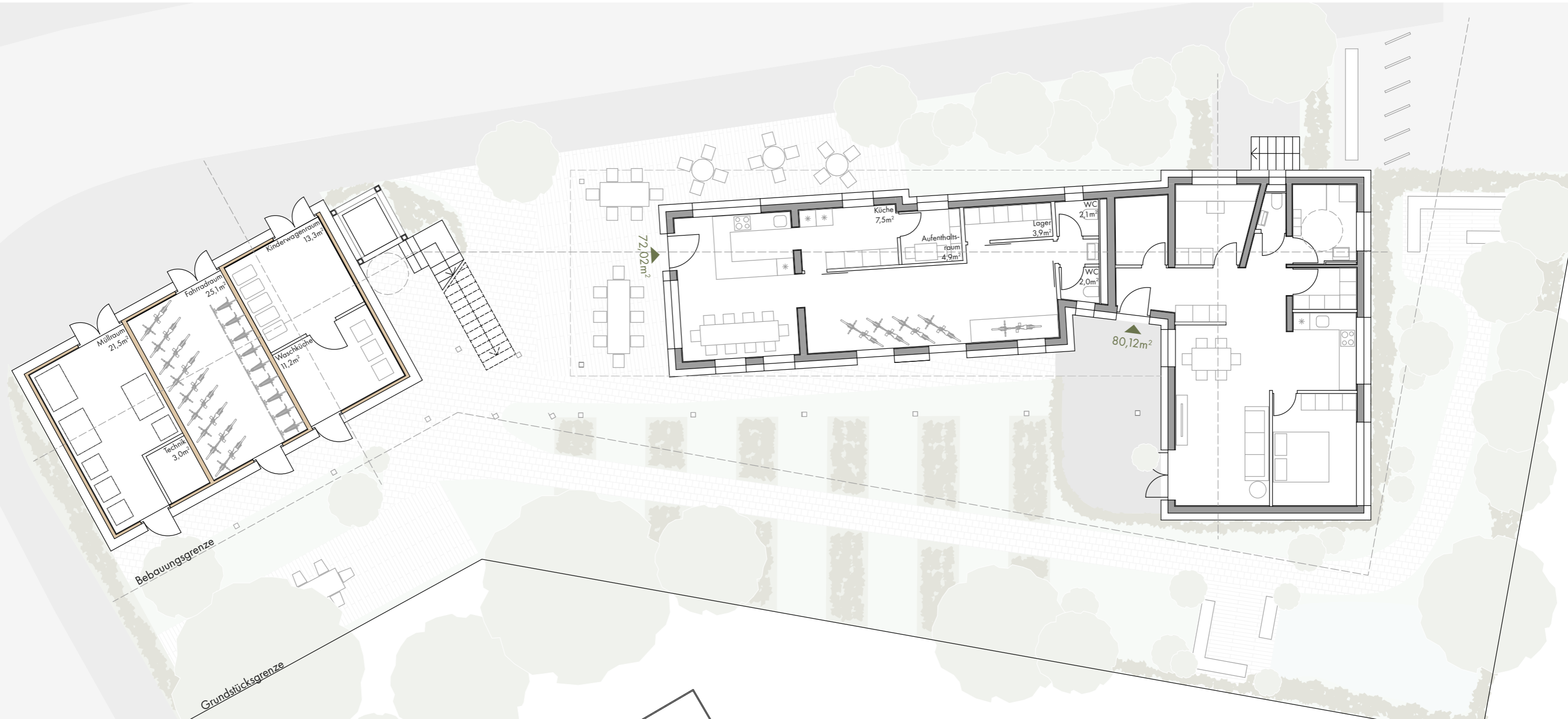


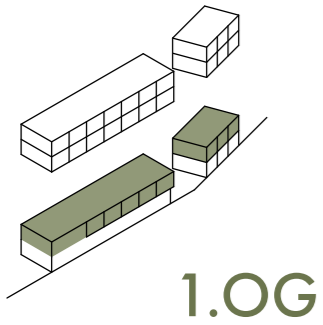


EG

Im Erdgeschoss des neu gestalteten Bestandsgrundrisses befindet sich eine neue Trennung, welche das Reparaturcafé von der Wohneinheit trennt. Die Erdgeschosswohnung, welche einen direkten Zugang zu einem privaten Garten hat, wird über die Hofseite des Bauwerks erschlossen, und hat somit einen Zugang, welcher durch das Grün des Grundstücks führt, überdacht von den darüberliegenden Erschließungen. Das Reparaturcafé, welches einen multifunktionalen Quartierstreffpunkt beherbergt, wird über die westliche Fassade erschlossen. Durch die Auskrugung der darüberliegenden Struktur wird eine attraktive, überdachte Außenterrasse erzeugt, welche die Pufferzone zwischen dem öffentlich zugänglichen Teil und dem privaten Teil des Gartens bildet. Die Orientierung der Fenster ist so gewählt, dass zwar Einblicke in den privaten Garten möglich sind, aber der Fokus der Blickrichtung in Richtung der Straße und des

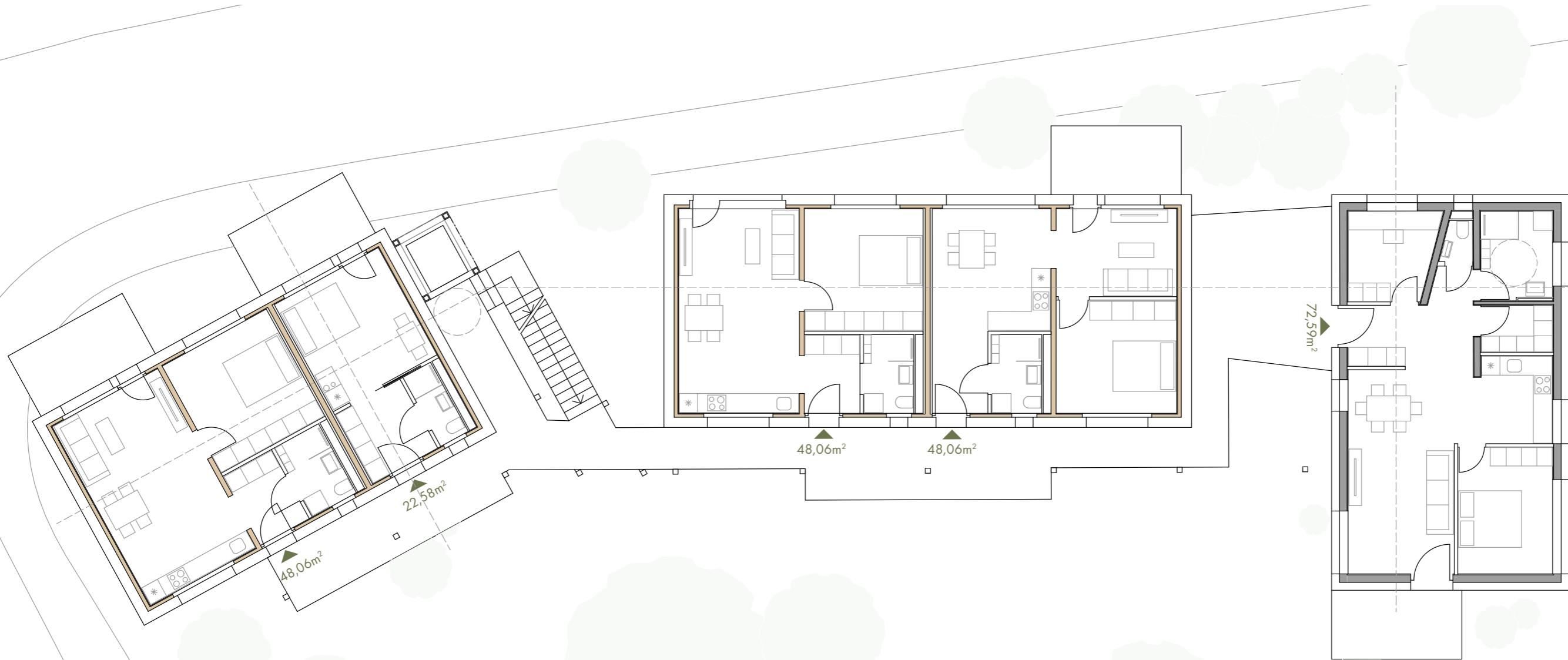
dort vorhandenen Grünraums gerichtet ist. Im neu erzeugten Gebäudetrakt befinden sich im Erdgeschoss Räumlichkeiten, welche für das Zusammenleben in einer Hausgemeinschaft unabdingbar sind und durch die Positionierung im Erdgeschoss einen barrierefreien Zugang bieten. Hierzu gehören ein 13,3 Quadratmeter großer Kinderwagenraum, eine 11,20 Quadratmeter große Waschküche mit Waschmaschinen und Trockner sowie Platz zum Aufhängen der Wäsche. Ein 25,1 Quadratmeter großer Fahrradraum bietet genug Platz, die Fahrräder aller Bewohnenden sicher abzustellen. E-Bikes können durch angebrachte Steckdosen und der damit verbundenen Photovoltaikanlage der Hausgemeinschaft geladen werden. Der westlichste Raum, welcher dieselbe Größe wie der Fahrradraum aufweist, bietet genügend Platz, um die Mülltonnen des Komplexes sowie benötigte Technik zu beherbergen.

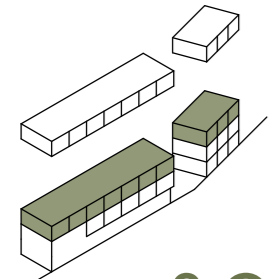




Im ersten Obergeschoss des Bauwerks wurden fünf Einheiten untergebracht. Drei Wohnungen mit je 48,06 Quadratmetern sowie das Gästeappartement und die umgeplante Bestandswohnung. Das Gästeappartement, welches auf minimalstem Raum eine gemütliche Unterbringung bietet, ist sowohl für Gäste der Hausgemeinschaft als auch für externe Gäste im Sinne einer Vermietung nutzbar. Neben einer kleinen Teeküche bietet das Modul Schrankfläche, ein Bett, einen kleinen Esstisch und ein Bad. Die neu geplante Wohnung des Bestands kann über die allgemeine Erschließung erreicht werden und verfügt hier über einen eigenen halbprivaten Eingangsbereich. Der Balkon der Bestandswohnung ist ebenso Teil der bereits dagesenen Struktur. Alle anderen Wohnungen erhalten eine eigene private Freifläche in Form eines neun Quadratmeter großen Balkons. Die Erschließung ist vor den jeweiligen Appartements auskragend

ausgeführt, um nicht nur Platz für Pflanztröge zu schaffen, sondern auch um eine mehrschichtige Privatheit der Zusammenkunftssituationen erzeugen zu können. Die Erschließung ist ebenfalls hier so ausgeführt, dass alle Wohneinheiten barrierefrei erschlossen werden können.

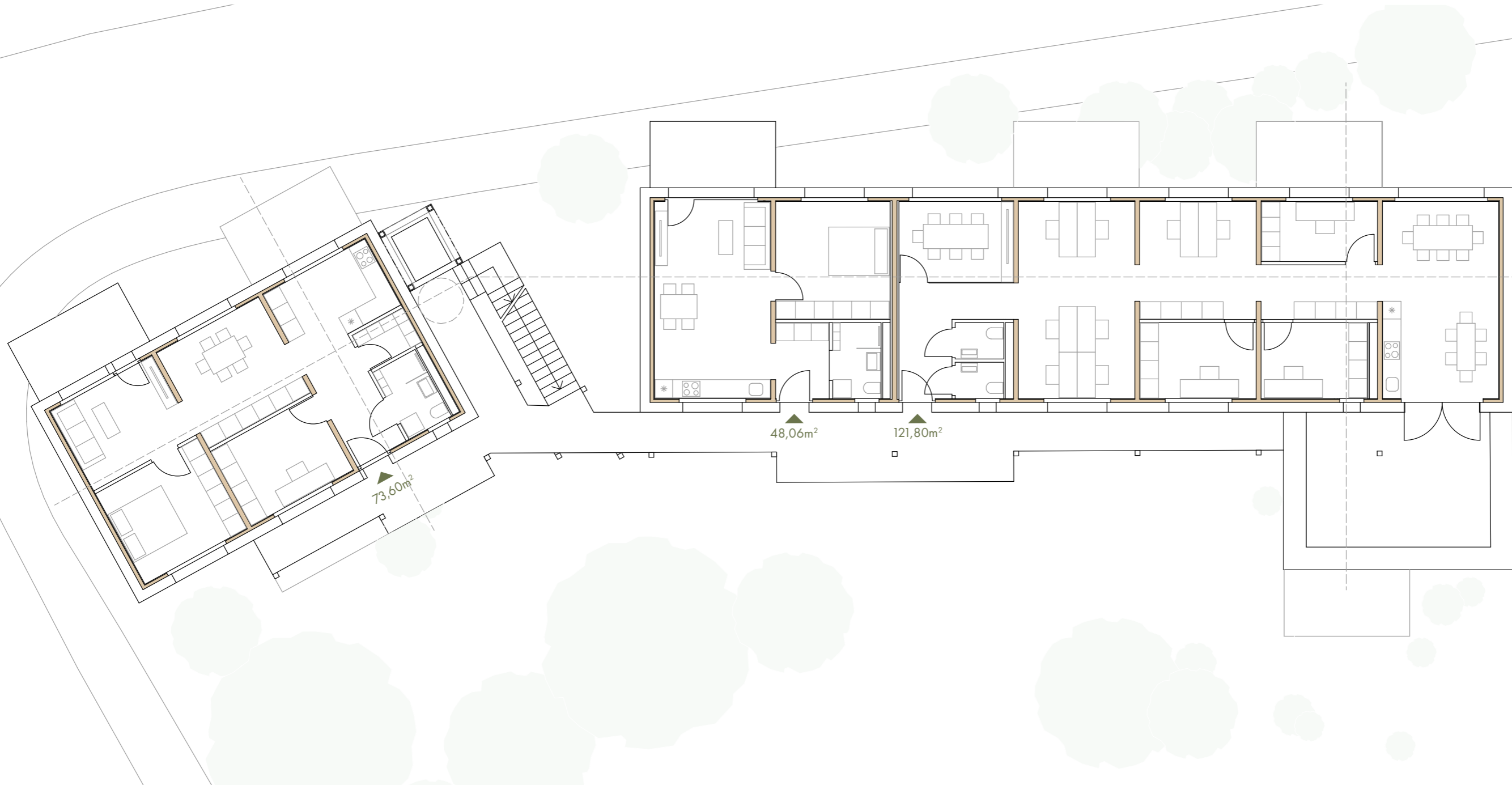


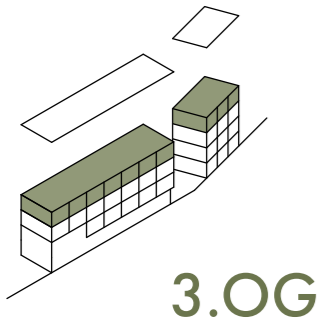


2.OG

Das zweite Obergeschoss basiert auf einer Mischnutzung aus Wohnen und Arbeiten. Im Hauptgebäude befindet sich eine Zweizimmerwohnung mit privater Freifläche sowie eine große Bürofläche. Diese bietet über zwölf Arbeitsplätze sowie einen zusätzlichen gemeinsamen Arbeitstisch für weitere Mitarbeitende. Drei der Arbeitsplätze sind als Einzelbüros ausgeführt. Das Büro verfügt darüber hinaus über einen Besprechungsraum und Sanitäreinrichtungen sowie über eine großzügige Küche mit hoher Aufenthaltsqualität. An die Küche angeschlossen ist eine knapp dreißig Quadratmeter große Dachterrasse, welche auf dem Dach des Bestands ruht. Neben der Officenutzung wird eine Zwei-Zimmer-Wohnung positioniert, welche als einzige Wohnung im Haupthaus dieses Geschosses eine Freifläche auf die Straßen,- beziehungsweise Grüngürtelseite hat. Im Nebengebäude, welches über eine Brücke mit dem Haupthaus

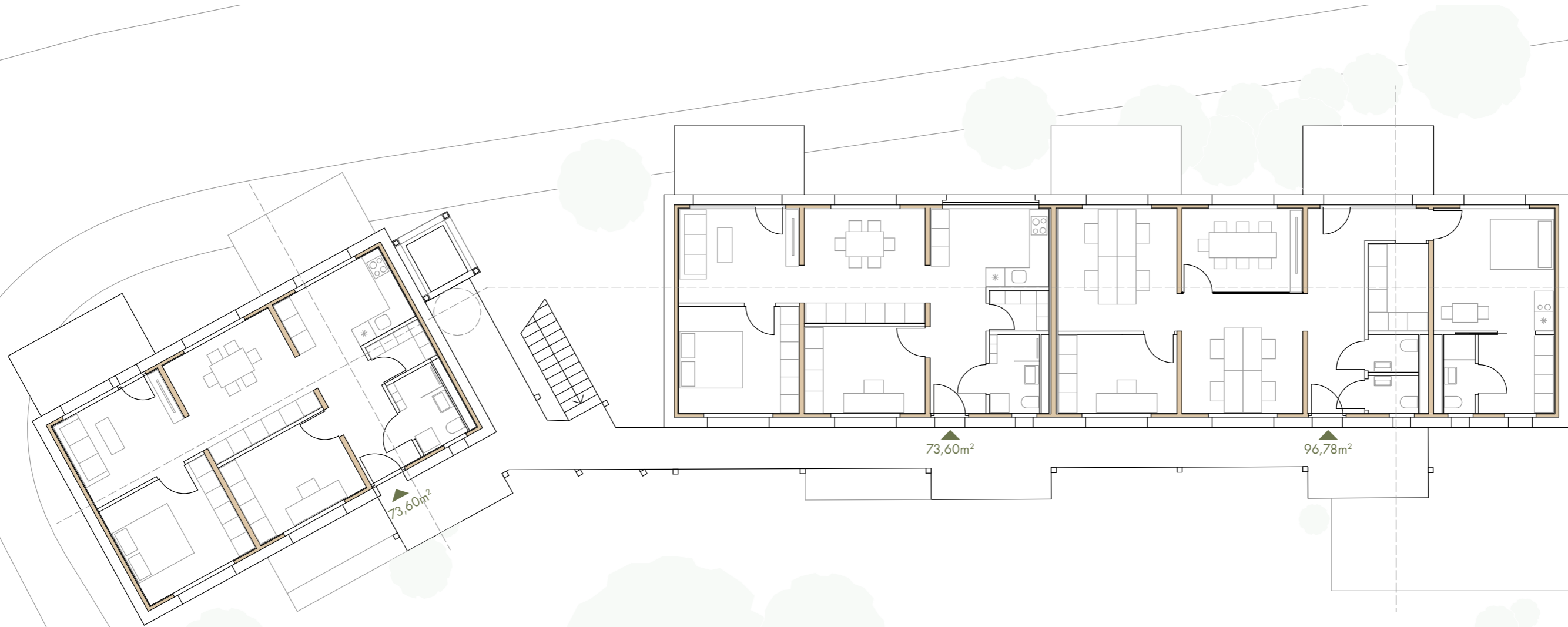
verbunden ist, befindet sich eine großzügige Wohnung mit eigener Freifläche. Der Balkon hat ein hohes Maß an Privatsphäre, da die Bauwerke sich voneinander weg verdrehen und gegenseitige Einblicke somit unterbunden werden.

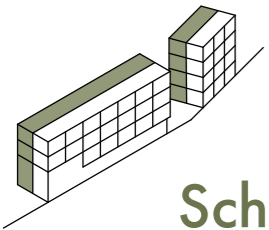




Wie auch das zweite Obergeschoss bietet das dritte und letzte Geschoss des Bauwerks eine Mischnutzung aus Büroflächen und Wohnraum. Wie bereits in den Geschossen darunter bietet das System eine barrierefreie Erschließung aller Einheiten sowie ausragende Erschließungen vor der jeweiligen Nutzungseinheit. Auch hier wird die Erschließung über ein darüberliegendes Dach vor Witterung geschützt. Neben den zwei gleich geschnittenen 73,6 Quadratmeter Wohnungen im Neben,- und Haupthaus bietet dies Geschoss eine besondere Büronutzungseinheit. Die Büroeinheit bietet neben neun Arbeitsplätzen, wovon einer als Einzelbüro gestaltet wurde, einen Besprechungsraum sowie ein kleines Lager, welches bei Bedarf zu einem Pausenraum umgestaltet werden kann. Angeschlossen an das Büro ist eine kleine Wohneinheit, welche temporär oder dauerhaft bewohnt werden kann und über einen direkten Zu-

gang zum Büro verfügt. Die Wohnung ist wie das Gästeappartement im ersten Obergeschoss mit einer kleinen Küche, einem Bett, einer Sitzmöglichkeit sowie einem eigenen Bad und Schrankfläche ausgestattet. Durch die Verdrehung der beiden Bauwerke voneinander weg sind hier gegenseitige Einblicke über die Balkone kaum möglich, was ein hohes Maß an Privatsphäre der Balkone mit sich bringt.

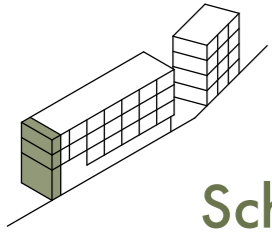




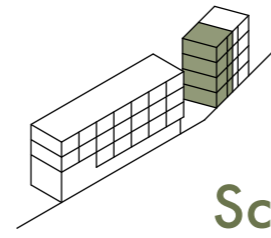
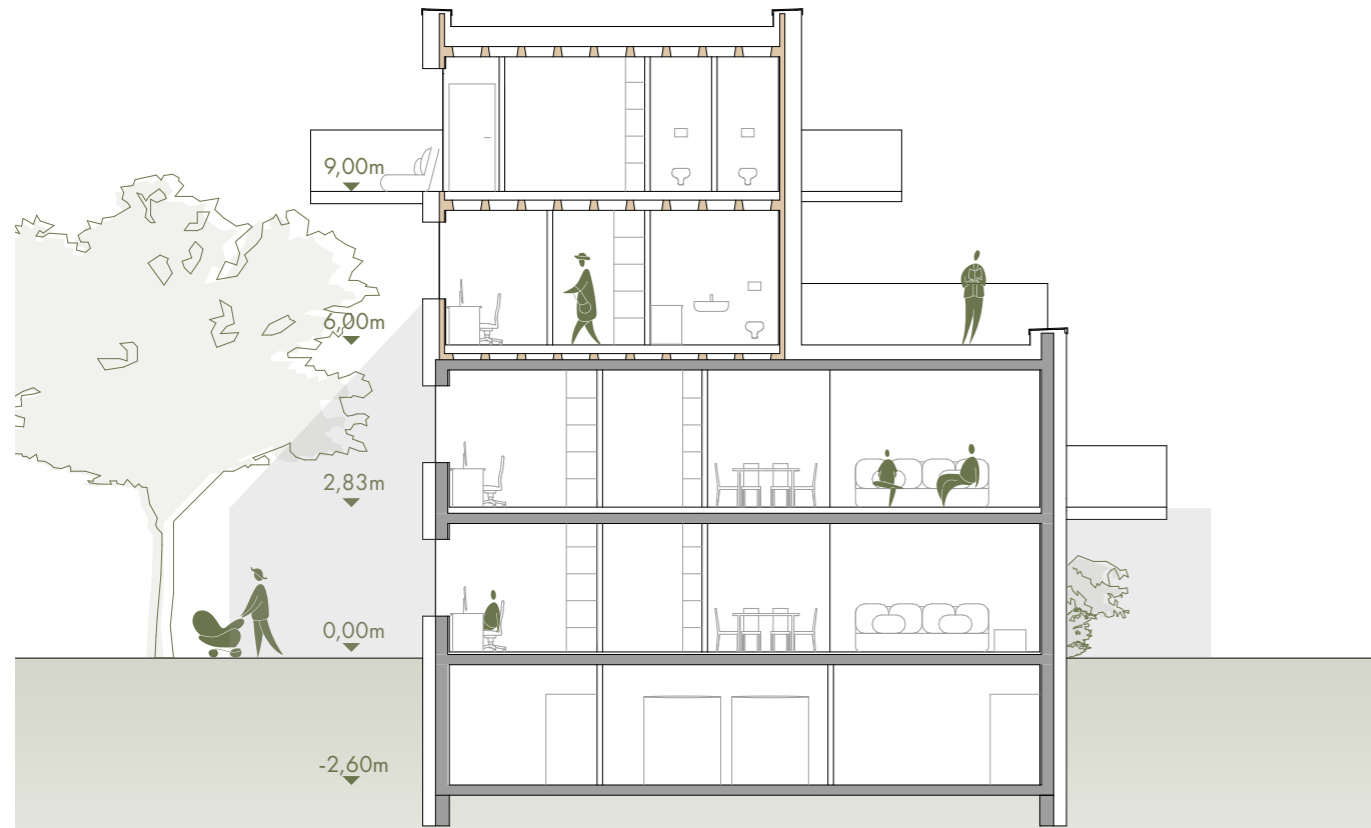
Schnitt längs



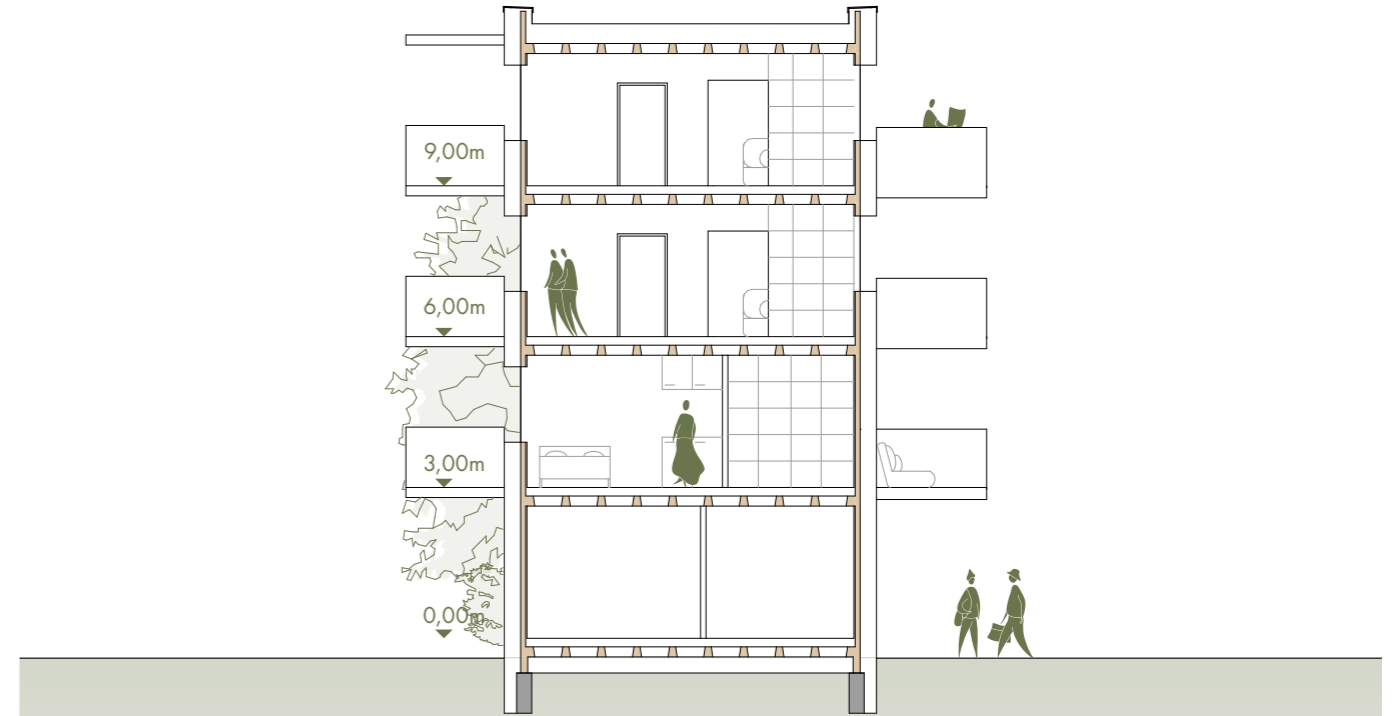
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

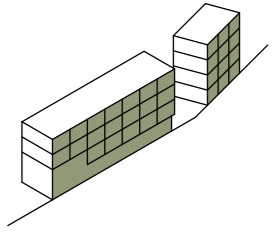


Schnitt quer Haupthaus



Schnitt quer Nebenhaus

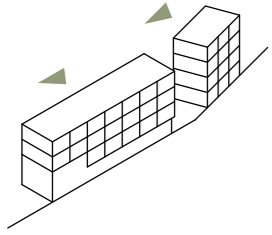




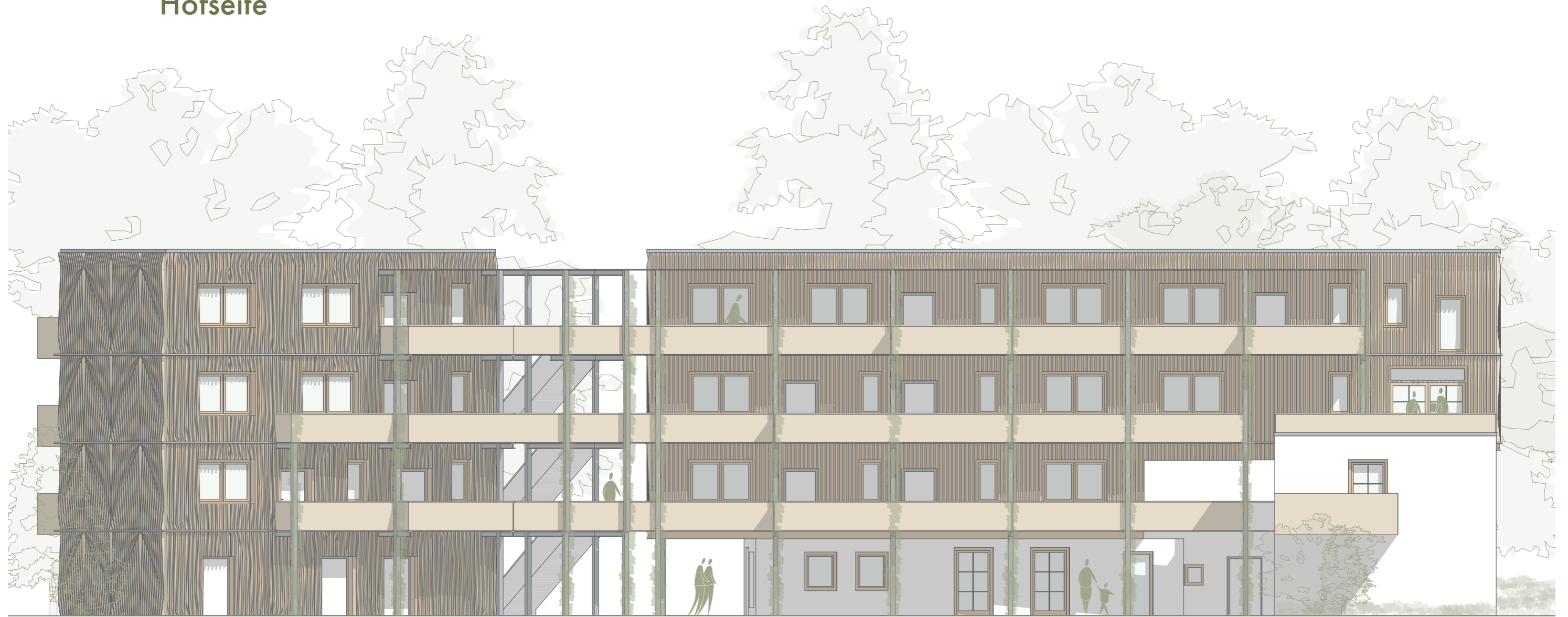
Ansicht Straßenseite



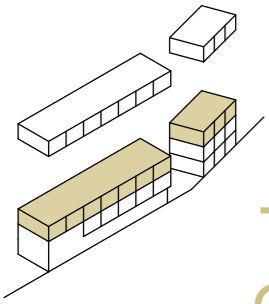
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



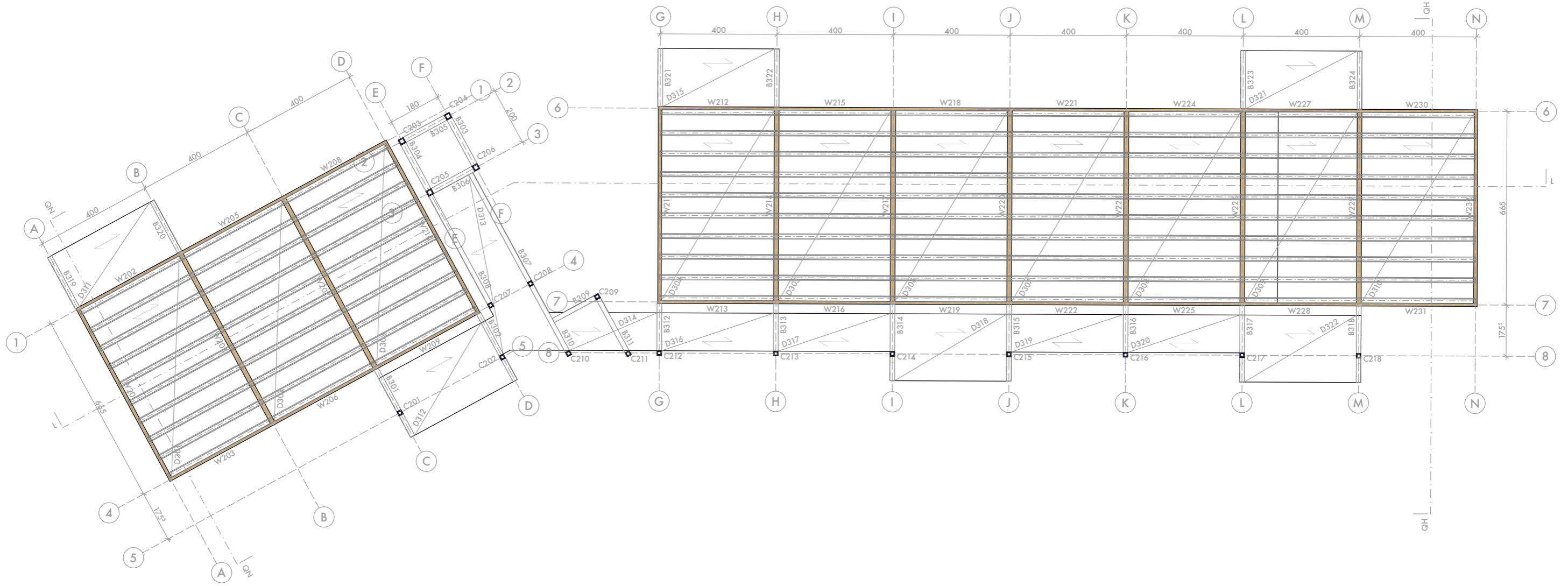
Ansicht Hofseite



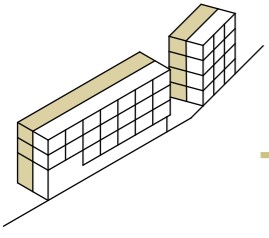
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



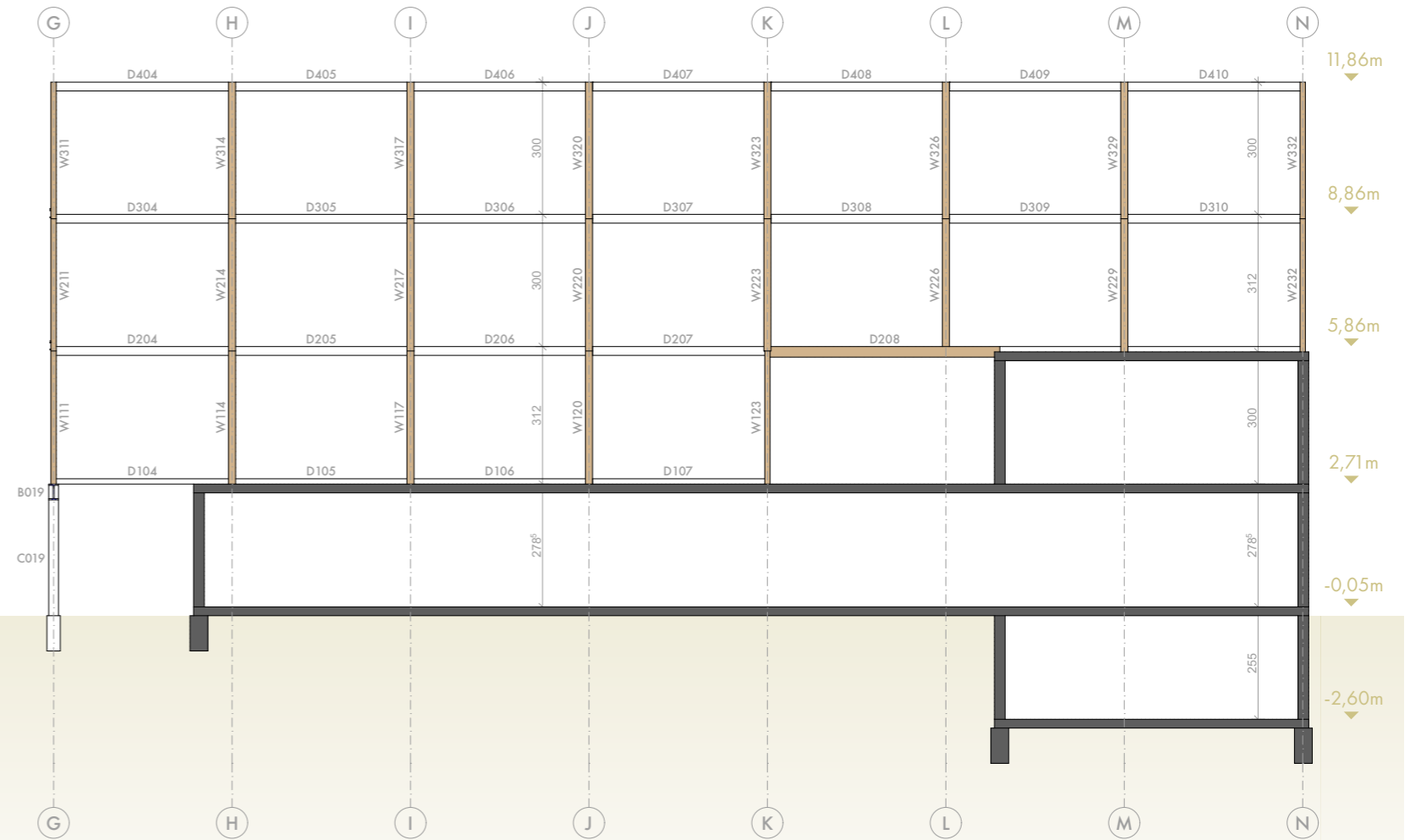
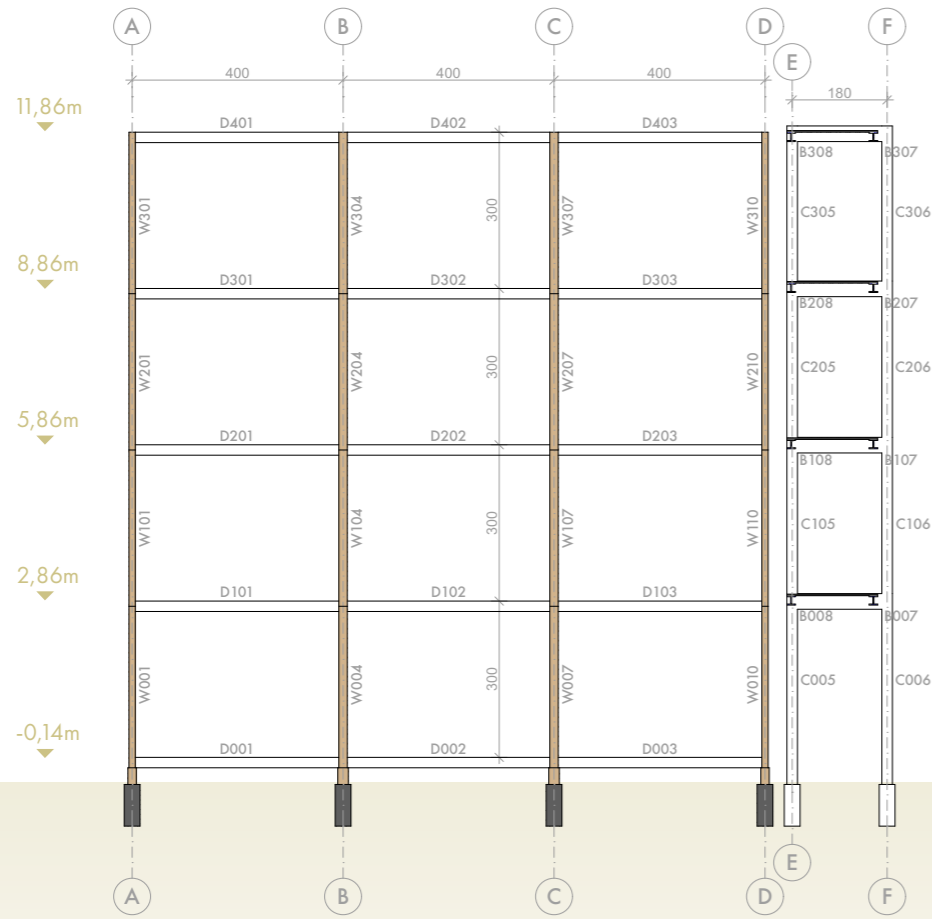
Tragwerk Grundriss

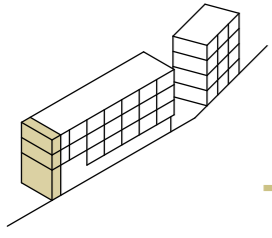


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

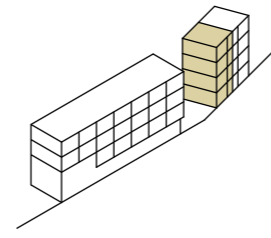
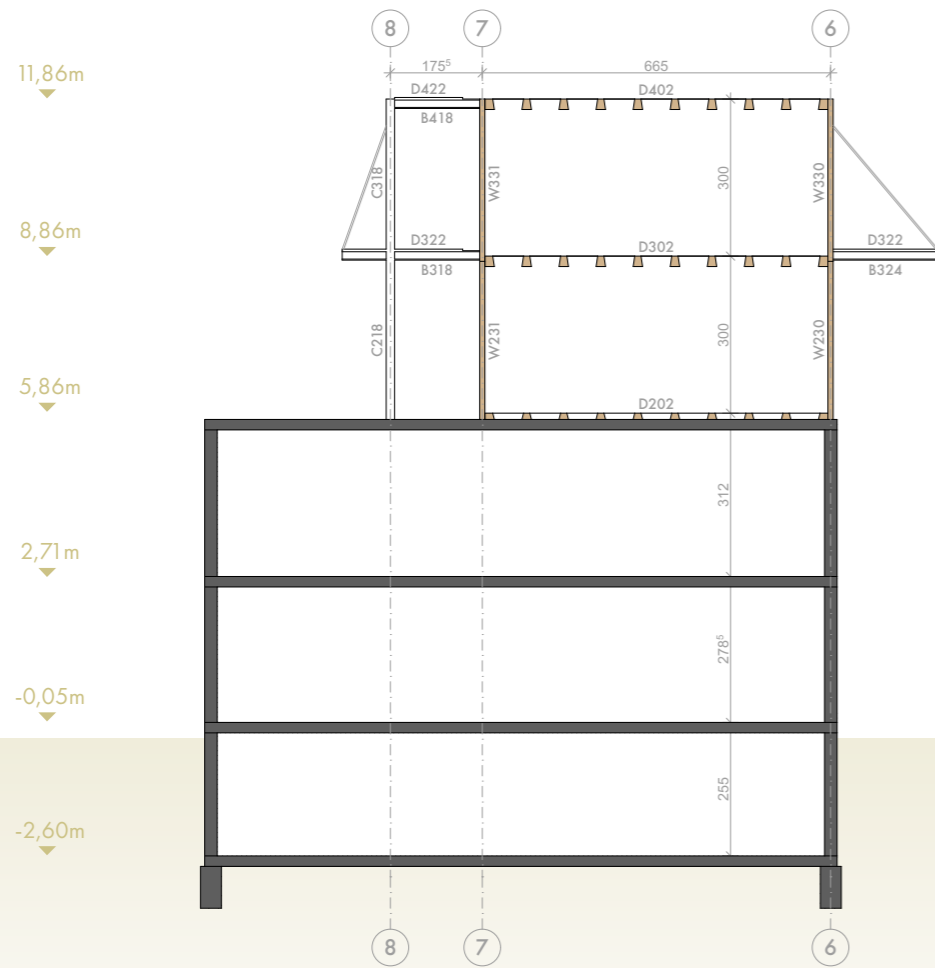


Tragwerk Schnitt L

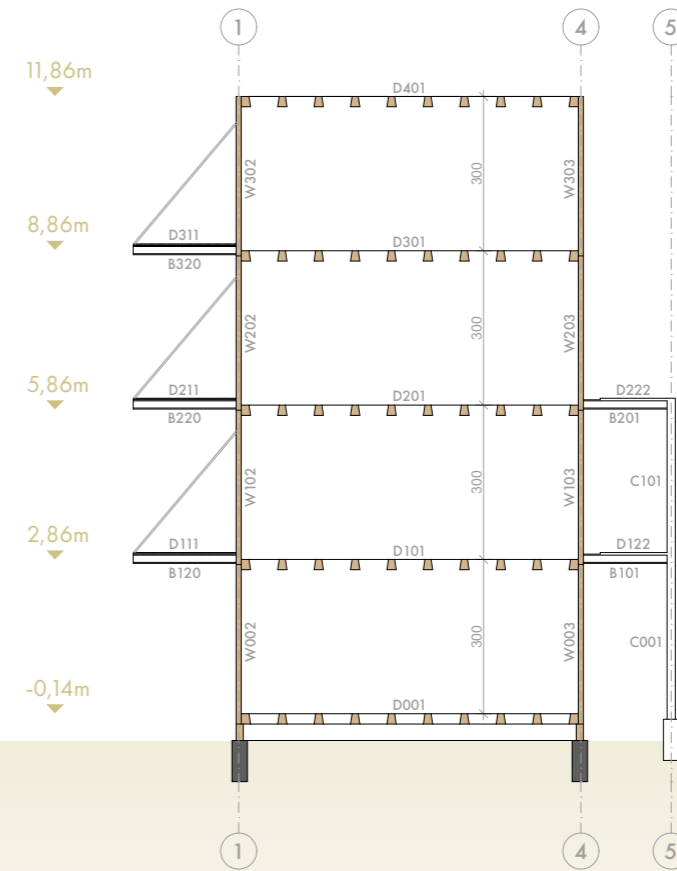




Tragwerk Schnitt QH



Tragwerk Schnitt QN

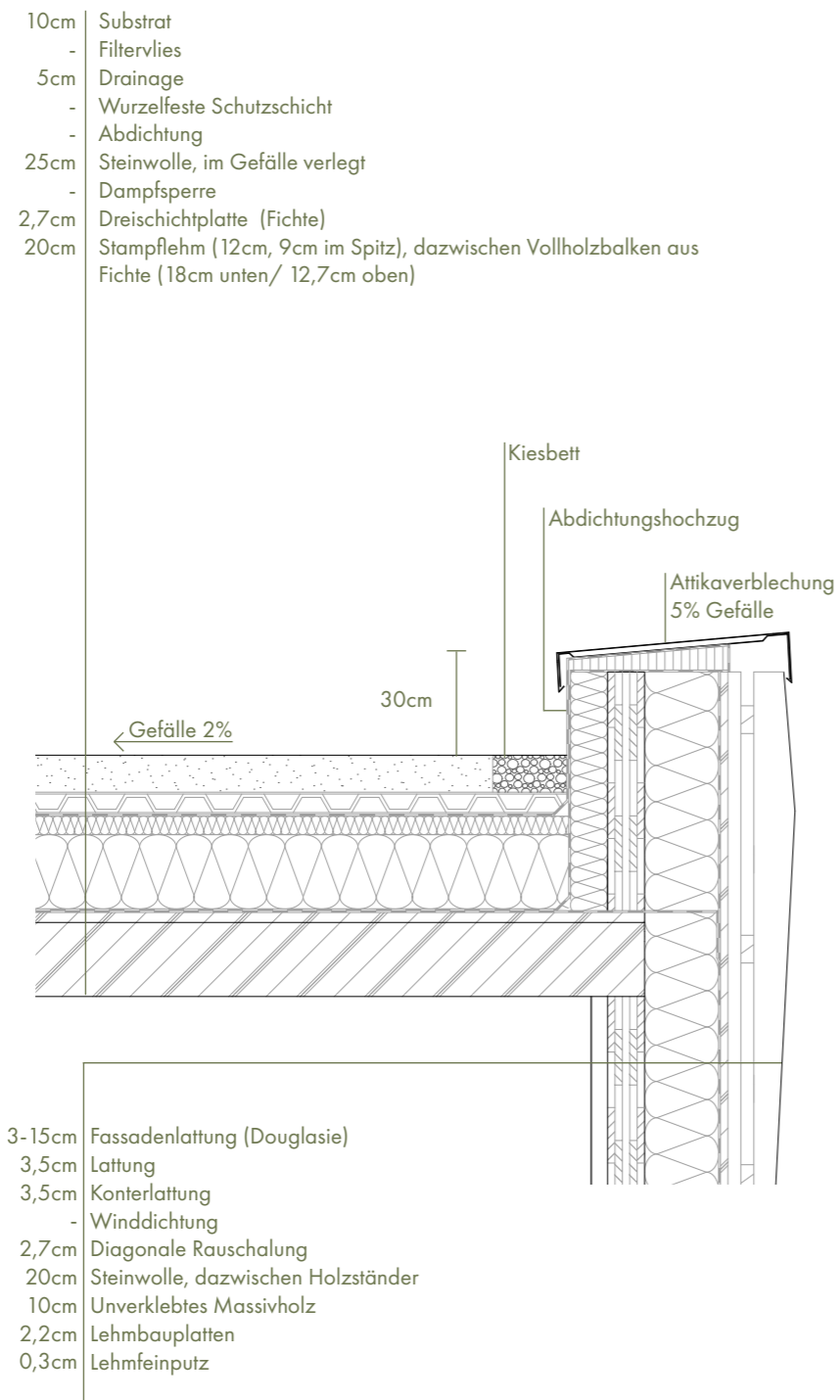


Detailplanung

Die folgende Detailplanung beschäftigt sich mit Themen des Anschlusses einzelner Bauteile sowie mit den Verbindungen des Baukörpers mit Balkonen, der Erschließung und der Fundamentierung der gesamten Struktur. Darüber hinaus wurde ein Brandschutzkonzept erarbeitet, welches dargestellt und argumentativ untermauert wird. Des Weiteren wurde ein auf den Bauplatz angepasstes Energiekonzept erarbeitet und erörtert, welche Arten der Energieerzeugung am Standort möglich sind. Um nachweisen zu können, dass das Bauwerk gut natürlich belichtet ist, wurde eine Belichtungsstudie durchgeführt. Durch die daraus resultierenden Ergebnisse kann sichergestellt werden, dass sowohl ein gut belichteter Lebensraum erzeugt wurde als auch der Energieeinsatz durch künstliche Beleuchtung minimiert werden kann. Um sicherzustellen, dass die erzeugten Nutzflächen ein hohes Maß an Behaglichkeit im Sommer aufweisen, wurden Berechnungen der kritisch anzusehenden Räume bezüglich einer sommerlichen Überwärmung durchgeführt.

Attika

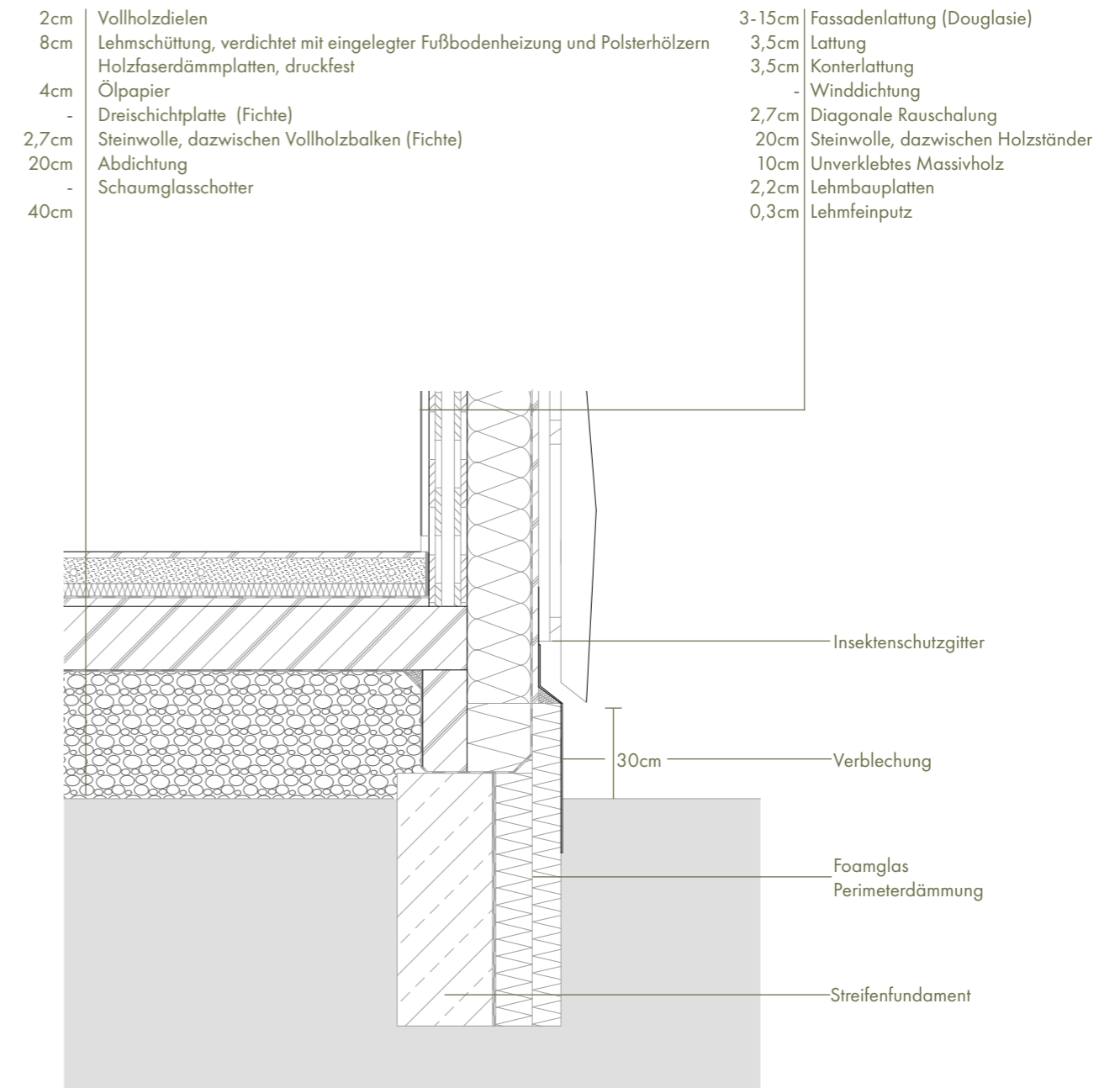
Das gezeigte Detail zeigt den Attikaanschluss des Systems. Als Abschluss des Bauwerks nach oben wird an die Dachkonstruktion die Attika montiert. Diese lagert auf der tragenden oder aussteifenden Struktur des Bauwerks, abhängig von dessen Position im Bauwerk. Abgeschlossen wird die ringsum gedämmte Attika mit einer Verblendung. Die Dachfläche bietet den Untergrund für extensive Begrünung und/oder das Anbringen von Photovoltaikanlagen. Das Dach wird lediglich für Revisions,- und Reparaturtätigkeiten zugänglich.



20cm 40cm 60cm

Sockelanschluss

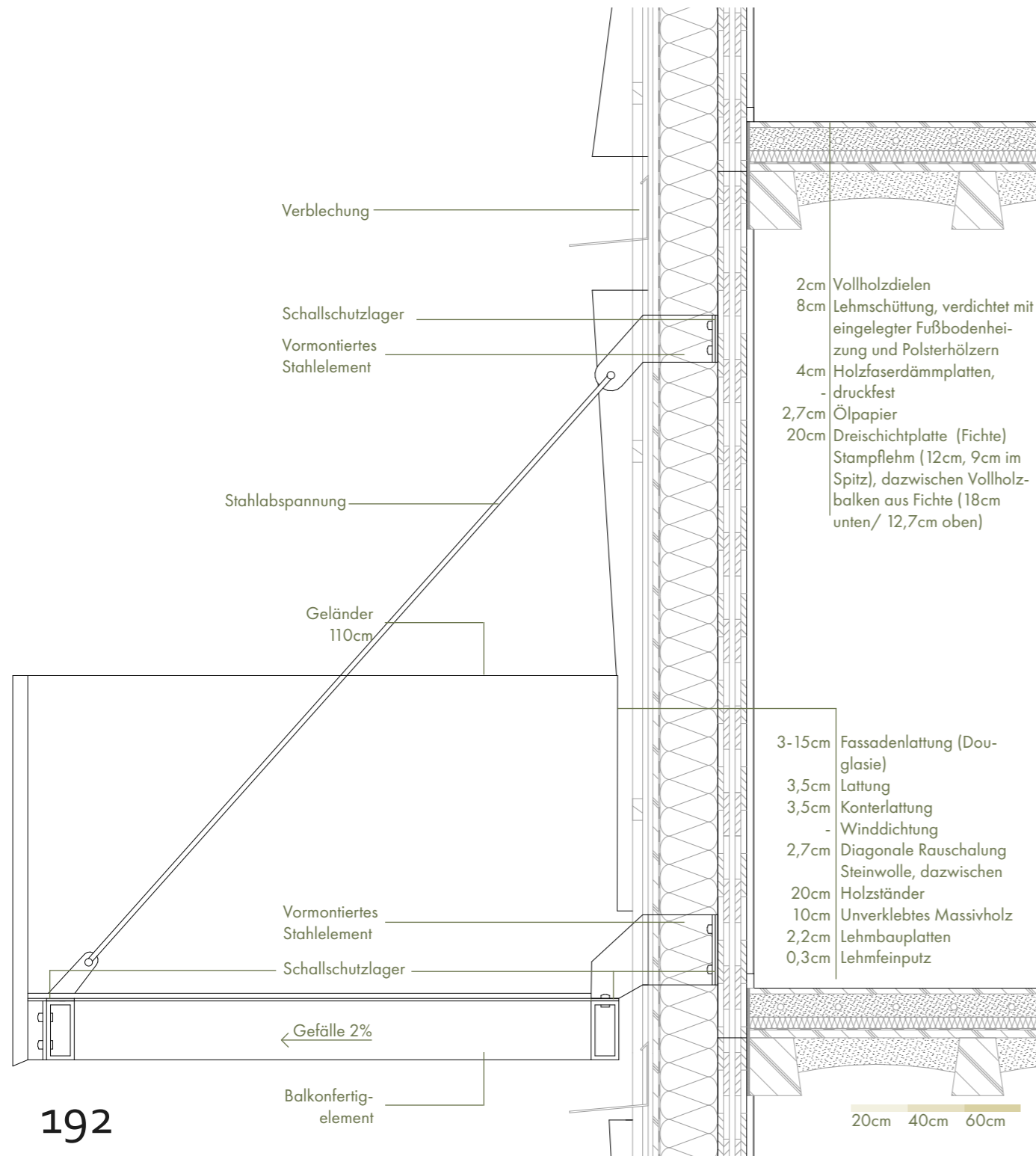
Der Sockelanschluss verdeutlicht den Anschluss des Bauwerks an die drunterliegenden Fundamente. Die Bodenplatten werden auf einem Vollholzbalken montiert. Dieser ruht auf einem Betonfundament, welches als Streifenfundament ausgeführt wurde. Bei den erdberührenden Bauteilen wird mit einer Foamglas Dämmung gearbeitet, um auch hier auf Plastik verzichten zu können. In allen Bereichen, in denen es möglich ist, wird das Foamglas durch Schaumglasschotter, welcher unverklebt eingebracht wird, ersetzt. Am Sockelbereich geht die Holzfassadenstruktur über in eine Verblechung, welche bis auf Spritzwasserhöhe geführt wird.



20cm 40cm 60cm

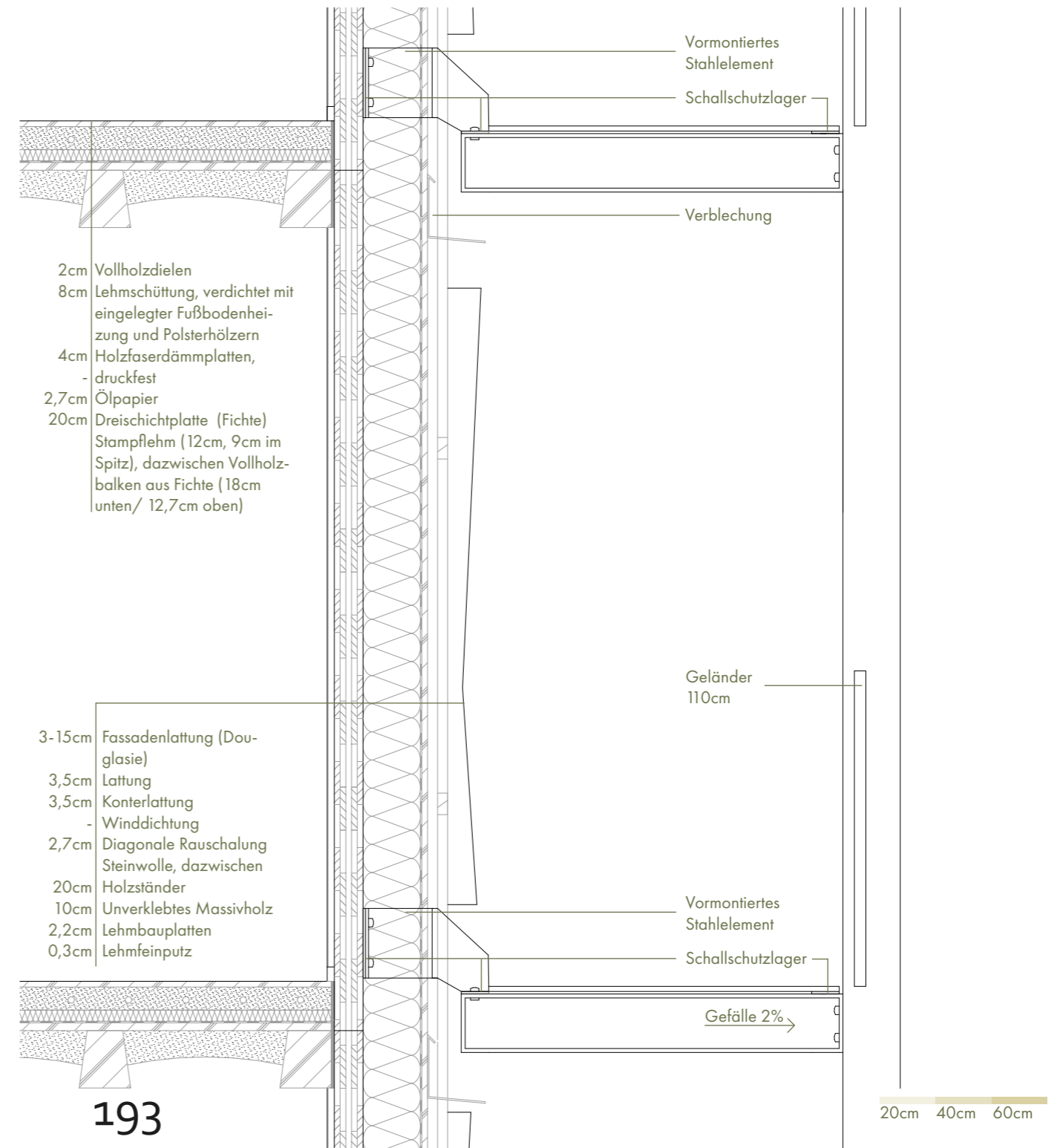
Anschluss Balkon

Die aus Stahlrahmen gefertigten Balkone werden an bereits in der Vorproduktion angebrachten und voll umgedämmten Stahlelementen angeschlossen. Um auch hier eine bestmögliche Schallentkopplung zu erreichen, sind sowohl zwischen den Verbindungspunkten, welche direkt an der Wand verbaut wurden, als auch an jenen zwischen Balkon und Konstruktion Schalldämmmatten angebracht worden. Der Balkon wird am unteren Ankerpunkt gehalten und mit dem oberen Stahlelement abgespannt. Rückverankert sind diese in der dazu quer liegenden tragenden Vollholzwand. Um dem Brandüberschlag an der aus Holz gestalteten Fassade entgegenzuwirken, wurden Brandschutzriegel aus Stahlblech eingearbeitet.



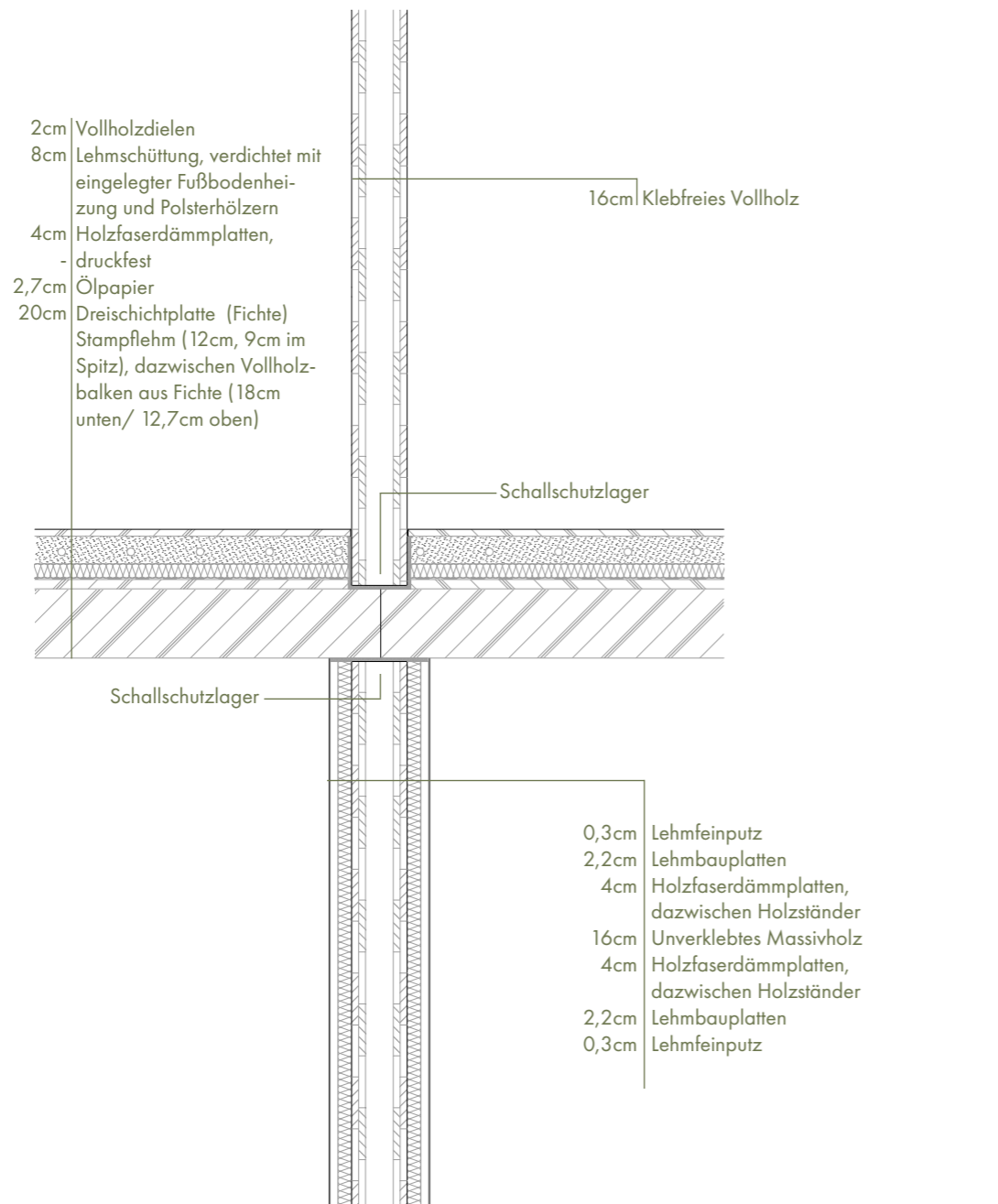
Anschluss Erschließung

Für die Erschließung des Bauwerks wird auf der Unterseite derselbe Ankerpunkt verwendet wie auch bereits für die Balkonstruktur, um die Flexibilität hoch zu halten. Ein weiterer Faktor ist es, die Anzahl der Bauteile aus nicht nachhaltigen Materialien so gering wie möglich zu halten. Gestützt wird die Erschließung auf der gegenüberliegenden Seite von einem Stahlgerüst, welches aus Industriestahlfertigteilen erzeugt wurde. Um auch hier dem Brandüberschlag an der aus Holz gestalteten Fassade entgegenzuwirken, wurden Brandschutzriegel aus Stahlblech eingearbeitet.



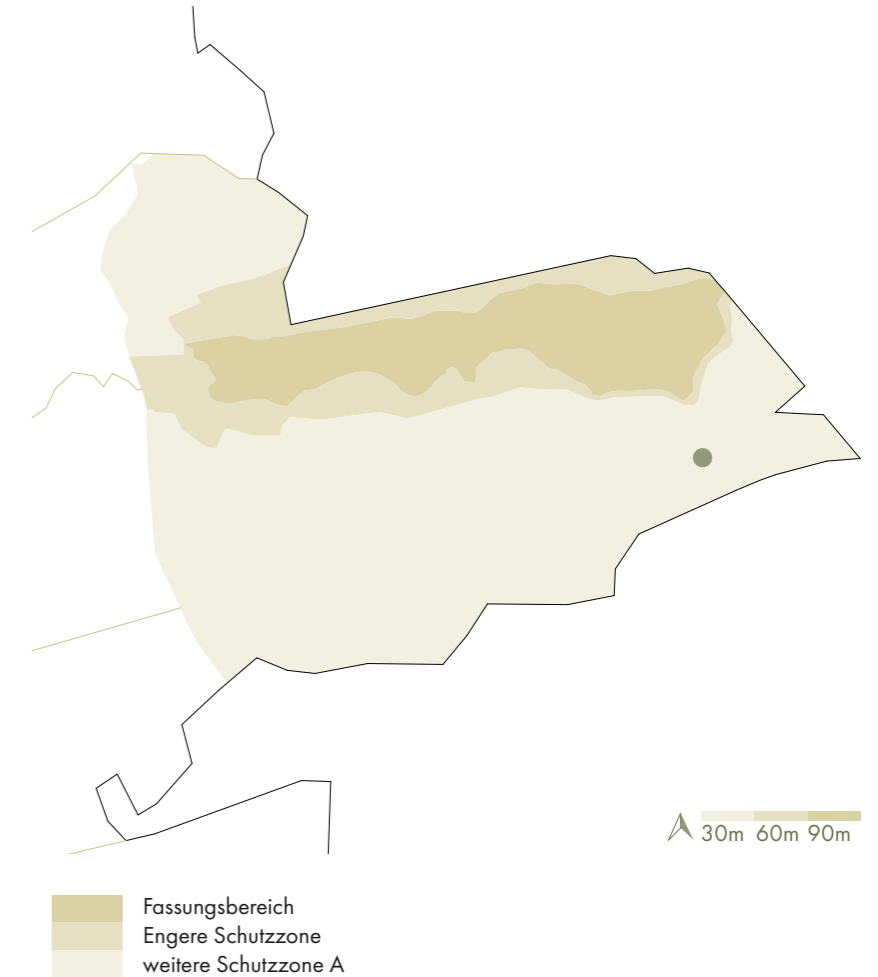
Anschlussdetail Decke Wand

Im Anschlussdetail wird dargestellt, wie sich die Decken,- und Wandelemente fügen lassen. Wie auch im Kapitel Bauablauf bereits ersichtlich, werden je zwei Deckenplatten hälftig auf eine tragende Wand aufgelegt. Durch Einbringen von Schalldämmmatten kann die Übertragung von einem Bauteil auf ein anderes somit eingeschränkt werden. In den Rücksprung des Fußbodenaufbaus der zwei Deckenelemente wird die darüberliegende Wand versetzt und montiert.



Energiekonzept im Bauwerk

Das oben bereits angeführte Gebiet des Bebauungsplans 3620 liegt zur Gänze im „weiteren Schutzgebiet A“ des Wasserwerkes Erlenstegen. Dazu legte die Stadt Nürnberg fest, dass Tiefenbohrungen insbesondere auch zur Erzeugung von Energie aus dem Boden (Geothermie) auch mit Genehmigungsansuchen nicht erlaubt sind.³⁰⁰ Das bedeutet jedoch, dass Tiefenbohrungen beim Entwurf nicht möglich sind, da sich beide der zur Auswahl stehenden Bauplätze in einem Wasserschutzgebiet befinden und diese Art der Bohrung von der Stadt Nürnberg in diesem Gebiet bis auf weiteres untersagt sind.

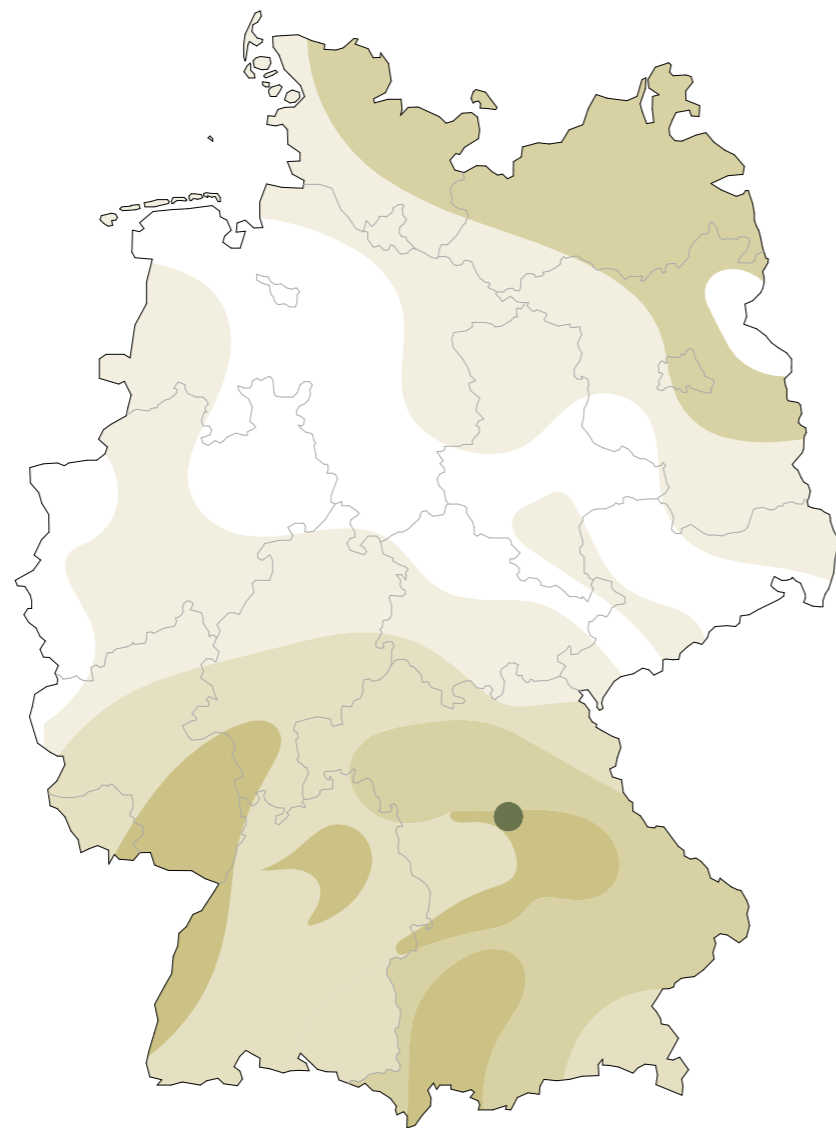


Besser geeignet ist das sogenannte Smart-Grid, welches eine Kombination aus Photovoltaikanlage und hauseigenem Speicher ist. Dieser Speicher bietet zusätzlich die Möglichkeit, durch ein an das Gebäude gekoppeltes Elektroauto erweitert zu werden, da die Batteriekapazität die des im Haus verbauten Speichers oft übersteigt. Durch die teilweise möglichst vollkommene Autarkie des Bauwerks entfallen zu allererst Transmissionsverluste der Netze. Die Nutzenden sind des Weiteren deutlich resistenter gegenüber problematischer Situationen, wie es in letzter Vergangenheit mit der Ukraine-Krise war, oder vielleicht in naher Zukunft im Sinne eines Black-Out sein könnte.³⁰¹ Die Basis möglichst weitreichender Autarkie ist es, den Basisenergieverbrauch des Bauwerks soweit zu minimieren, dass dieser ohne Probleme gestemmt werden kann. Die Kellerräumlich-

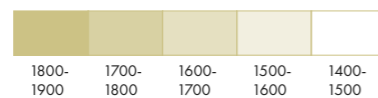
³⁰⁰ Stadt Nürnberg; Erläuterung des Bebauungsplan Nr. 3620 vom 16.06.1965; 2023; Seite 3

³⁰¹ Umweltbundesamt; Was ist ein Smart-Grid?; 2024; umweltbundesamt.de

³⁰² Vaillant; Luft-Wasser-Wärmepumpen ohne Außengerät; 2023; vaillant.de



Durchschnittliche Sonnenstunden pro Jahr

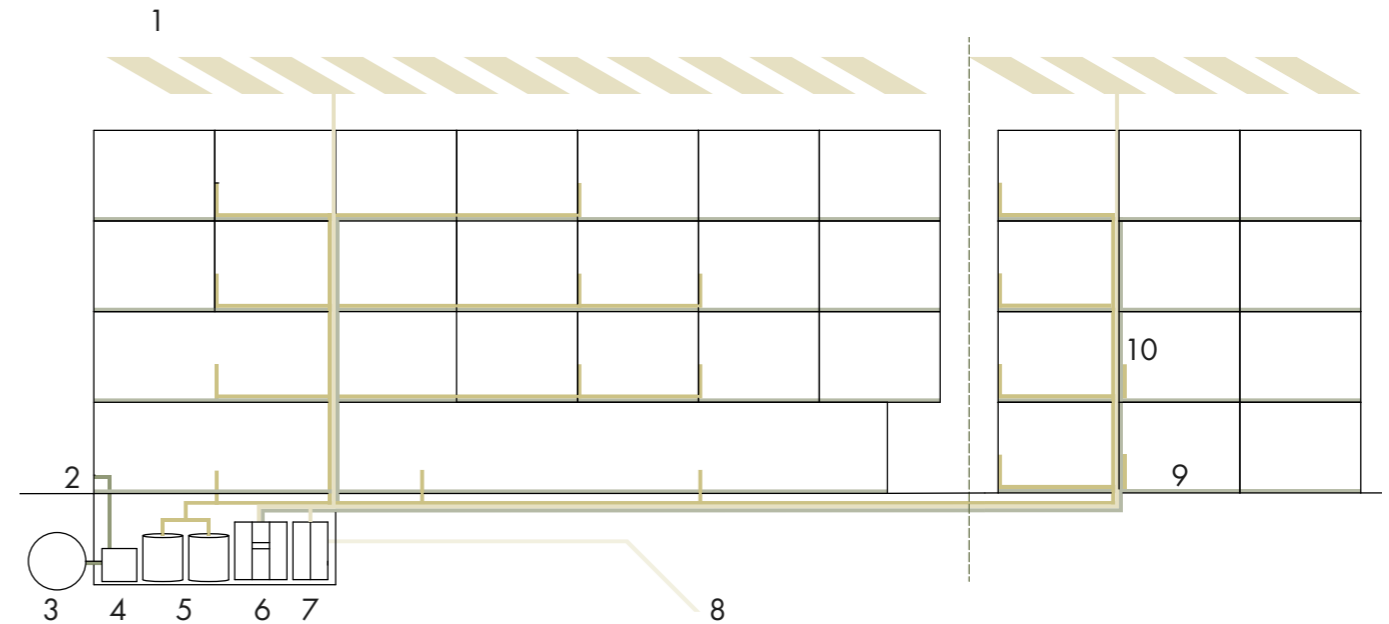


75km 150km 225km

Abb.52 Sonnenstunden pro Jahr

keiten, welche bereits im Bestand vorhanden sind und knapp 75m² umfassen, bieten Platz für die benötigte Infrastruktur der Energiespeicherung und Haustechnik-Anlagen. Hierzu gehören unter anderem ein Pufferspeicher für den gesamten Komplex, eine Wärmepumpe sowie eine Regenwasseraufbereitungsanlage für ein sekundäres Wassersystem. Als Regenwasserauffangbecken wird der bereits seit jeher im Boden des Grundstücks verrenkte und bereits dafür vorbereitete Öltank, welcher etwa ein Fassungsvermögen von 10.000 Litern hat. Als Wärmepumpe wird die Luft-Wasser-Wärmepumpe „recoCOMPACT“ von Vaillant eingesetzt. Diese hat genug Leistung, um das gesamte Bauwerk mit Warmwasser sowie Heizungsenergie zu bedienen, und kommt im Gegensatz zu vielen anderen Wärmepumpen ohne ein Außengerät aus.³⁰² Da die Dächer des Bestands als Dachterrassen und Erschließung ausgebildet sind, können die Dachflächen des Neubaus zur Energieerzeugung genutzt werden, um einen möglichst hohen Grad an Autarkie zu erreichen. Hier steht eine Dachfläche von 268,2m² zur Verfügung. Durch die Wahl der passenden Solarplatten, siehe Abbildung 52, können hier 90 Stück

platziert werden. In Summe kann auf dem Flachdach somit eine Gesamtleistung von 47,79 kWp erzielt werden.³⁰³ Mit dieser Energiegewinnung ist davon auszugehen, dass das im Passivhausstandard erstellte Bauwerk durch die eigene Energiegewinnung mindestens zu einem Nullenergiehaus wird. Wie in der Abbildung 52 gut zu erkennen ist, liegt der Standort durchaus günstig und verspricht durch viele Sonnenstunden einen hohen solaren Ertrag.³⁰⁴

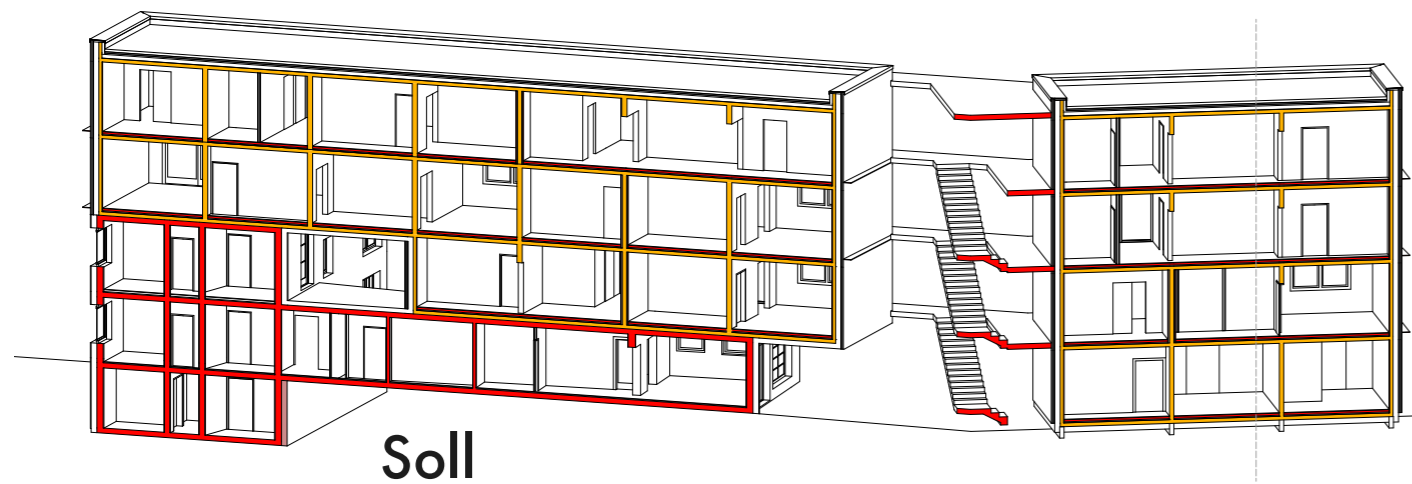
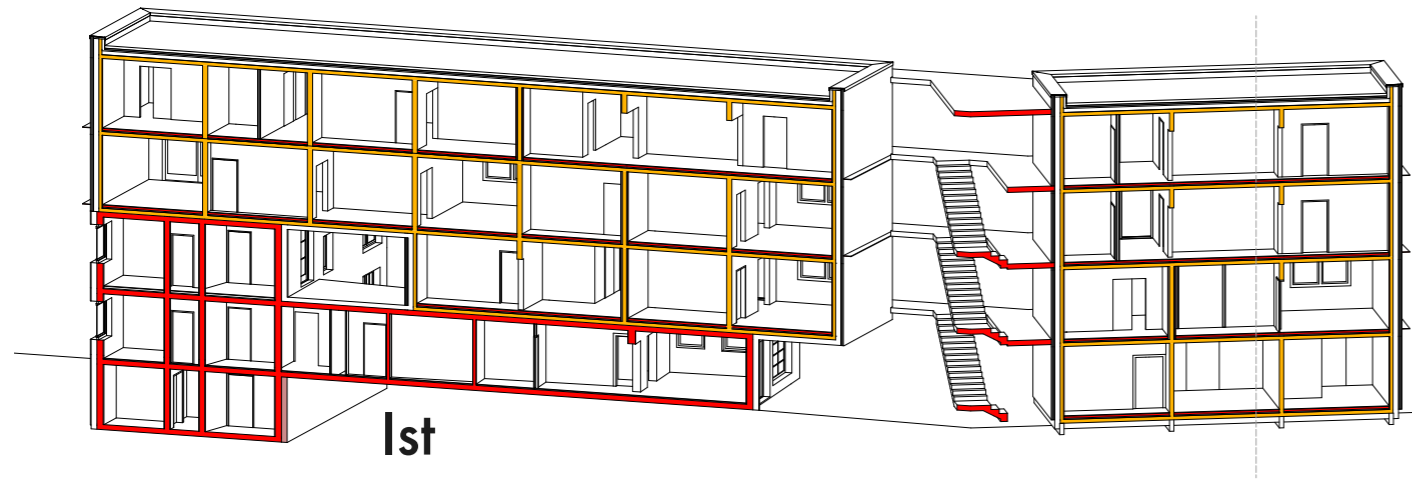


- 1 Photovoltaikanlage
- 2 Nutzwasseranschluss
- 3 Nutzwasser Reservoir
- 4 Regenwasser Aufbereitungsanlage
- 5 Pufferspeicher Warmwasser
- 6 Wärmepumpe (Inneninstallation)
- 7 Pufferspeicher Elektrizität
- 8 Netzanschluss (Einspeisung/Energienutzung)
- 9 Fußbodenheizung
- 10 Wasseranschluss Wohnung

³⁰³ Luxor, ECO Linie N-Type HJT Glas-Glas Bifacial M144; 2023; luxor.solar

³⁰⁴ Baunetzwissen; Nullenergiehaus; 2024; baunetzwissen.de

Brandschutzkonzept



- feuerhemmend - F30
- hochfeuerhemmend hfh- F60
- feuerbeständig fb- F90-AB

Wie bereits im Kapitel „Brandschutz“ beschrieben, wird das Bauwerk an den beschriebenen Kritikpunkten der Musterbauordnung Holzbau durch Abänderung der Bauteile und somit nicht vollends der Norm entsprechend ausgeführt. Diese Entscheidung wurde unter der Prämisse des Vergleichs der Holzbaurichtlinien anderer Länder gewählt. Siehe hierzu Kapitel „Exkurs Ausland“ sowie „Exkurs Inland“. Ein weiterer wichtiger Faktor war eine Absprache mit dem „Head of Buildingdepartment“ der Stadtverwaltung Nürnberg, Andrew Schneider.³⁰⁵ Die Bauteile wurden so von der Norm weg verändert, dass sie konstruktiv, ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll erzeugt werden können, ohne eine höhere brandschutztechnische Gefahr zu bergen. Die größte Änderung ist das Abrücken der im Holzbau in Bayern zwingend erforderlichen K₂60-Kapselung aller Bauteile.³⁰⁶ Trennwände der Nutzungseinheiten werden weiterhin auch aufgrund der Schallschutzanforderungen mit einer Vorsatzschale versehen und sind somit gekapselt um den Brandüberschlag auf die anschließenden Nutzungseinheiten zu verhindern. Für diese Vorsatzschalen werden Dämmplatten aus nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt, was die Norm grundsätzlich nicht erlauben würde.³⁰⁷ Tragende Innenwände, welche sich innerhalb einer Nutzungseinheit befinden, erhalten keine Beplankung und haben somit eine Holzoberfläche. Aufgrund der kompakten Bauweise sowie der feuerbeständigen Erschließung im Außenraum in Form eines Laubengangs ist der sichere Antritt im Brandfall deutlich kürzer als im durchschnittlichen Wohnbau dieser Dimension. Bei einer maximal zulässigen Länge eines Fluchtwegs gemäß ASR A2.3 von Luftlinie 35 Meter wird im erzeugten Bauwerk lediglich eine maximale Fluchtweglänge von elf Metern benötigt.³⁰⁸ Zur Einschränkung des Brandüberschlages an der Fassade wurde eine Verblendung angebracht, welche die Außenverkleidung geschossweise trennt.

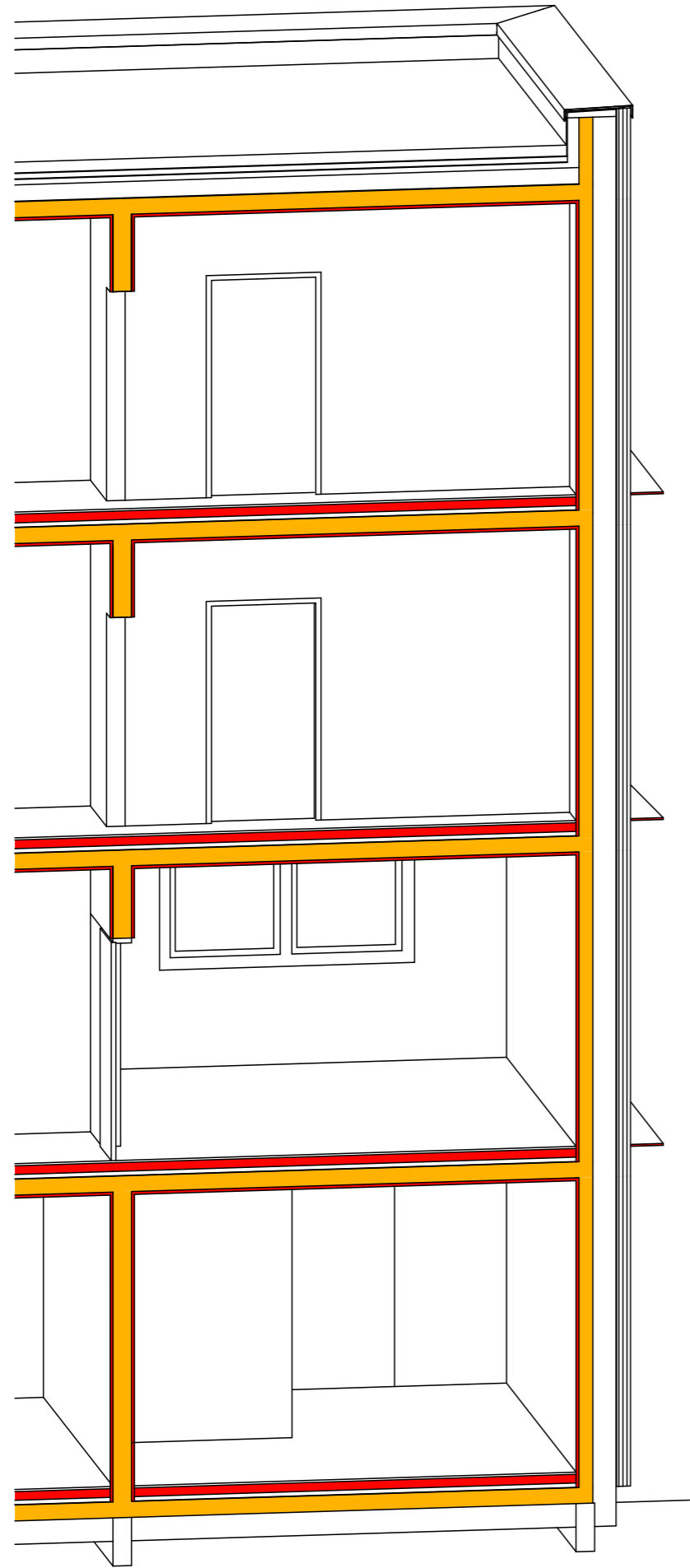
³⁰⁵ Persönliche Korrespondenz mit Andrew Schneider, Head of Building Department; 12.01.2024

³⁰⁶ Bayerische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023; byak.de

³⁰⁷ Bayerische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023; byak.de

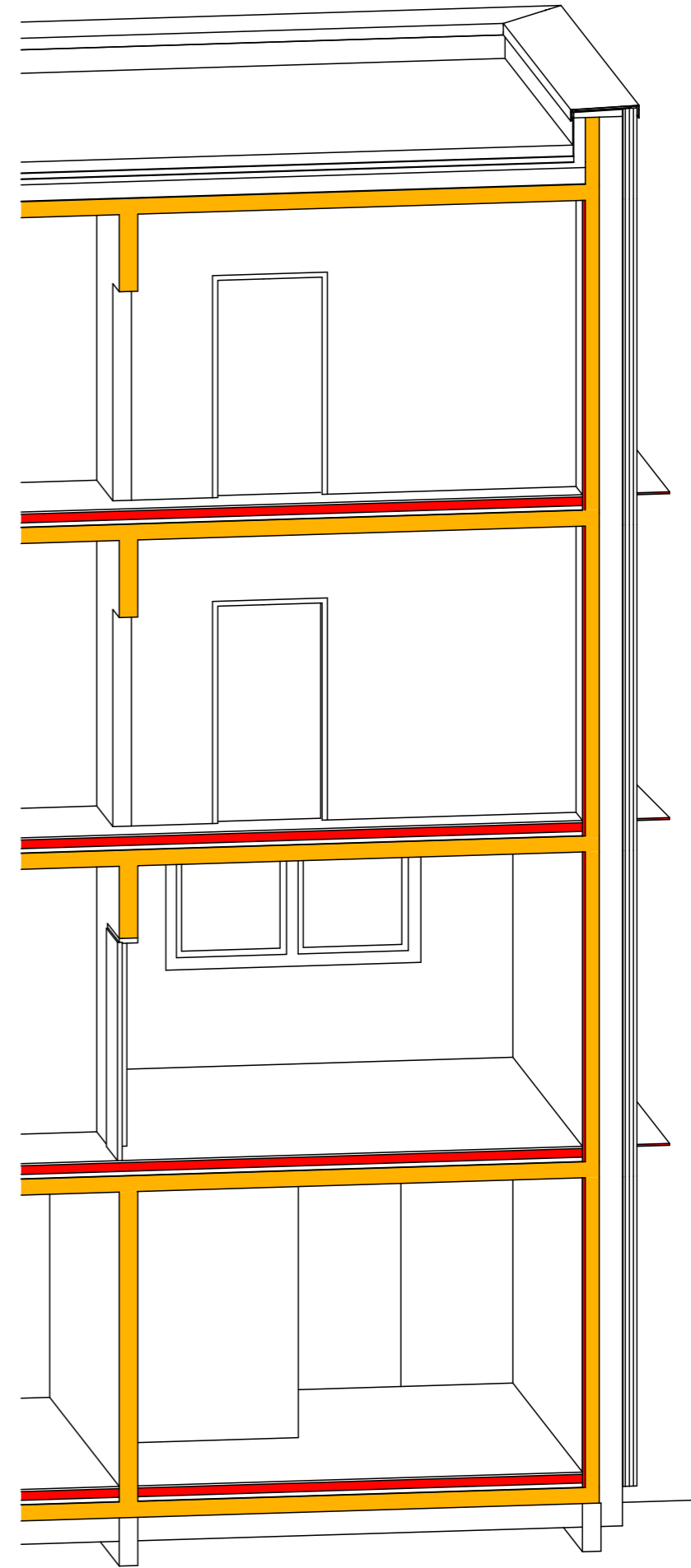
³⁰⁸ Berufsgenossenschaft Holz und Metall; Fluchtweg; 2023; bghm.de

Soll



- feuerhemmend - F30
- hochfeuerhemmend hfh- F60
- feuerbeständig fb- F90-AB

Ist



- feuerhemmend - F30
- hochfeuerhemmend hfh- F60
- feuerbeständig fb- F90-AB

Belichtung

Eine gute Belichtung der erzeugten Räumlichkeiten ist ein essenzieller Faktor für dessen Aufenthaltsqualität. Neben dem Wunsch, die Wohnung aufgrund der Energiekostenreduktion durch künstliches Beleuchten möglichst lange mit Tageslicht durchfluten zu können, regelt hier die DIN EN 17037 im europäischen Recht die Anforderungen an die Belichtung des Innenraums. Diese ersetzt seit März 2019 die DIN 5034 und beinhaltet ein weites Spektrum an gesteigerten Anforderungen an die Tageslichtversorgung. In der europäischen Norm wird in drei sogenannte „Empfehlungsstufen“ unterschieden: Gering, Mittel und Hoch. Diese lassen sich über die Faktoren Zielbeleuchtungsstärke E_T , Mindestbeleuchtungsstärke E_{TM} sowie Ziel-Tageslichtquotient D_T und Mindestziel-Tageslichtquotient D_{TM} errechnen. Dies ist in Abbildung 53 veranschaulicht.

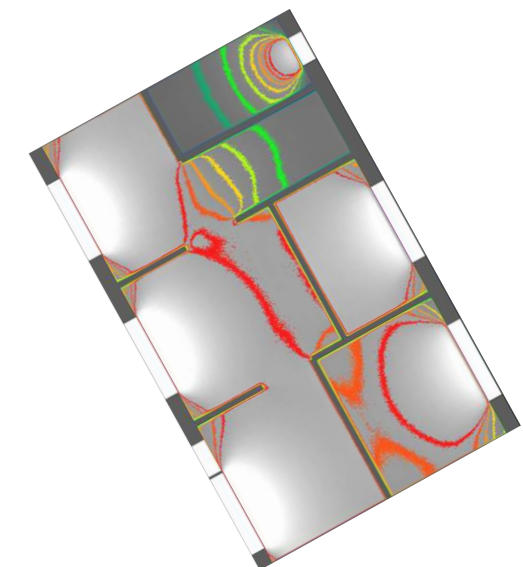
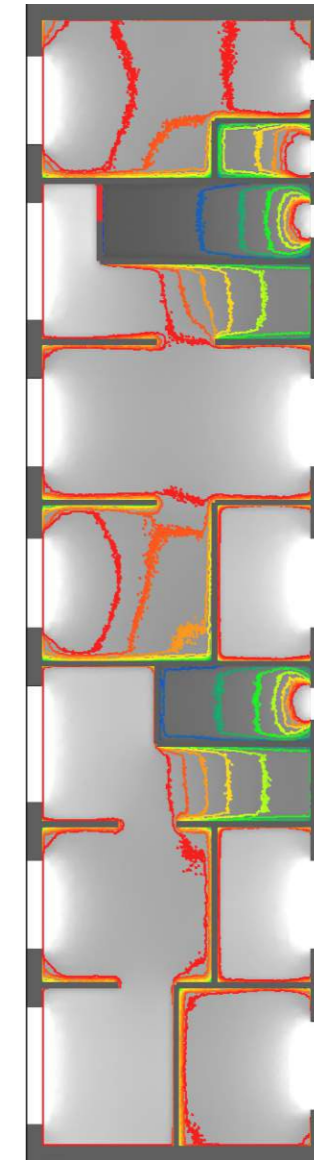
| Empfehlungsstufe | Ziel-Beleuchtungsstärke E_T | Mindestziel-Beleuchtungsstärke E_{TM} | Ziel-Tageslichtquotient D_T | Mindestziel-Tageslichtquotient D_{TM} |
|------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|---|
| Gering | 300 lx | 100 lx | 2,2% | 0,7% |
| Mittel | 500 lx | 300 lx | 3,6% | 2,2% |
| Hoch | 750 lx | 500 lx | 5,4% | 3,6% |

Abb.53 Tageslicht in Innenräumen nach DIN EN 17037

Je nach Nutzung des Raumes werden in der Norm verschiedene Zielwerte definiert. So reicht es bei Büroräumen, die Empfehlungsstufe „Gering“ zu erreichen, bei Wohnräumen muss so geplant werden, dass die Stufe „Mittel“ erreicht wird. Als referenzierter Wert ist der 21. März als Berechnungsdatum zu wählen.³⁰⁹ Die Visualisierung des Bauwerks wurde am ausgewählten Grundriss des zweiten Obergeschosses analysiert, da dieser sowohl über Wohn-, als auch über Büronutzung verfügt. Genutzt wurde das kostenfreie Planungsanalyseprogramm, welches unter dem Namen „Daylight Visualizer“ von Velux zur freien Verfügung gestellt wird. Das Ergebnis der über das Jahr verteilenden Beleuchtung zeigt, wie in Abbildung 54 zu sehen, eine durchweg gute Belichtung der Räume. Die Stufe „Mittel“ wird flächendeckend erreicht, in einigen Räumen wird die Stufe „Hoch“ erreicht.³¹⁰ Aufgrund der großen Glasflächen muss sensibel mit dem Thema der sommerlichen Überhitzung umgegangen werden. Durch die Stampflehmdecken wird sehr viel träge Masse in das Bauwerk eingebracht, welche einer Überhitzung der Struktur entgegenwirkt. Die in den Lehm eingebrachten Fußbodenheizungen,- sowie Kühlung kann ebenfalls als Bauwerkskühlung genutzt werden. Eine Verschattung zur Reduktion des direkt wirkenden solaren Eintrags findet zudem unter Zuhilfenahme der Erschließung auf der südöstlichen Fassade statt. In den Abendstunden oder über die Nacht können alle Räume quer gelüftet werden.

³⁰⁹ Deutsches Architektenblatt; Tageslicht in Innenräumen: die neue Norm DIN EN 17037; 2021; dabonline.de

³¹⁰ Velux; Daylight Visualizer; 2024; velux.com

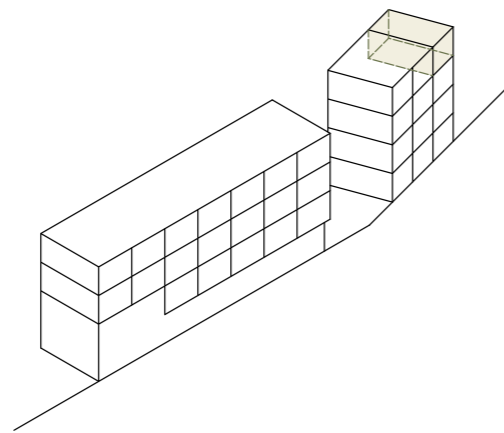


- 500 lx
- 450 lx
- 400 lx
- 350 lx
- 300 lx
- 250 lx
- 200 lx
- 150 lx

Abb.54 Belichtungsberechnung

Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Sommerliche Überhitzung ist vor allem im Hinblick auf den Klimawandel ein zunehmendes Problem, welchem sich die Architektur annehmen muss. Aufgrund von heißeren Sommern und längeren Phasen extremer Hitzeentwicklung ist dieses Thema präsenter denn je. Problematisch wird dies oft im Zusammenhang mit fehlender Masse im Bauwerk, welche eine Trägheit der Erwärmung bewirken kann. Entschieden wurde sich für eine Deckenkonstruktion mit hohem Lehmanteil. Die in den Deckenelementen eingelegten Leitungen können neben dem Heizen des Bauwerks dieses ebenso ankühlen. Hierbei wird 16 Grad kaltes Wasser in das System eingespeist und bewirkt eine Art der Bauteilaktivierung im Kontext einer Lowtech-Architektur.³¹¹ Neben dem Kühlen durch die aktivierte Masse des Baukörpers können nahezu alle Räume dank der durchgesteckten Bauweise quer gelüftet werden. Durch die Situierung des Bauwerks in einem suburbanen und sehr durch Grünraum geprägten Kontext hat die Thematik sommerlicher Hitzeinseln keine große Auswirkung. Unter Zuhilfenahme des kostenfreien Planungsanalyseprogramms „Thesim 3D“ wurde der kritischste Raum auf dessen Überhitzungspotential geprüft. Es handelt sich hierbei um den in der Axonometrie, sowie um den in der 3D Darstellung Abbildung 56 gezeigten südlichsten Raum des obersten Stockwerks des Bauwerks. Dieser ist am stärksten von direkter Südsonne betroffen und weist die längste Sonnenbestrahlung aller Räume des Bauwerks auf. Durch die Berechnung konnte nachgewiesen werden, dass eine sommerliche Überhitzung der Struktur, gemessen am durchschnittlich heißesten Tag des Jahres, nicht gegeben ist. Gemessen wurde das Ergebnis



am 15. Juli.³¹² Durch die in Abbildung 55 dargestellte Tabelle ist der Raum mit anbergerachter Jalousie sowie ohne dargestellt. Die Höchsttemperatur ohne Jalousie liegt bei 24,2 Grad Celsius, die mittlere Temperatur bei 20,9 Grad Celsius. Mit Jalousie verringert sich die Höchsttemperatur um 3,5 Grad auf 20,7 Grad Celsius. Die mittlere Temperatur liegt hier bei 19 Grad. Durch die durchaus geringe Hitzeentwicklung der Räumlichkeiten, kann ein hohes Maß an Behaglichkeit erzeugt werden.

³¹¹ Claytech; Wandheizsysteme mit dicklagigen Lehmputzen – WEM Flächenheizung & CLAYTEC; 2022; youtube.com
³¹² Thesim; 2024; www.thesim.at

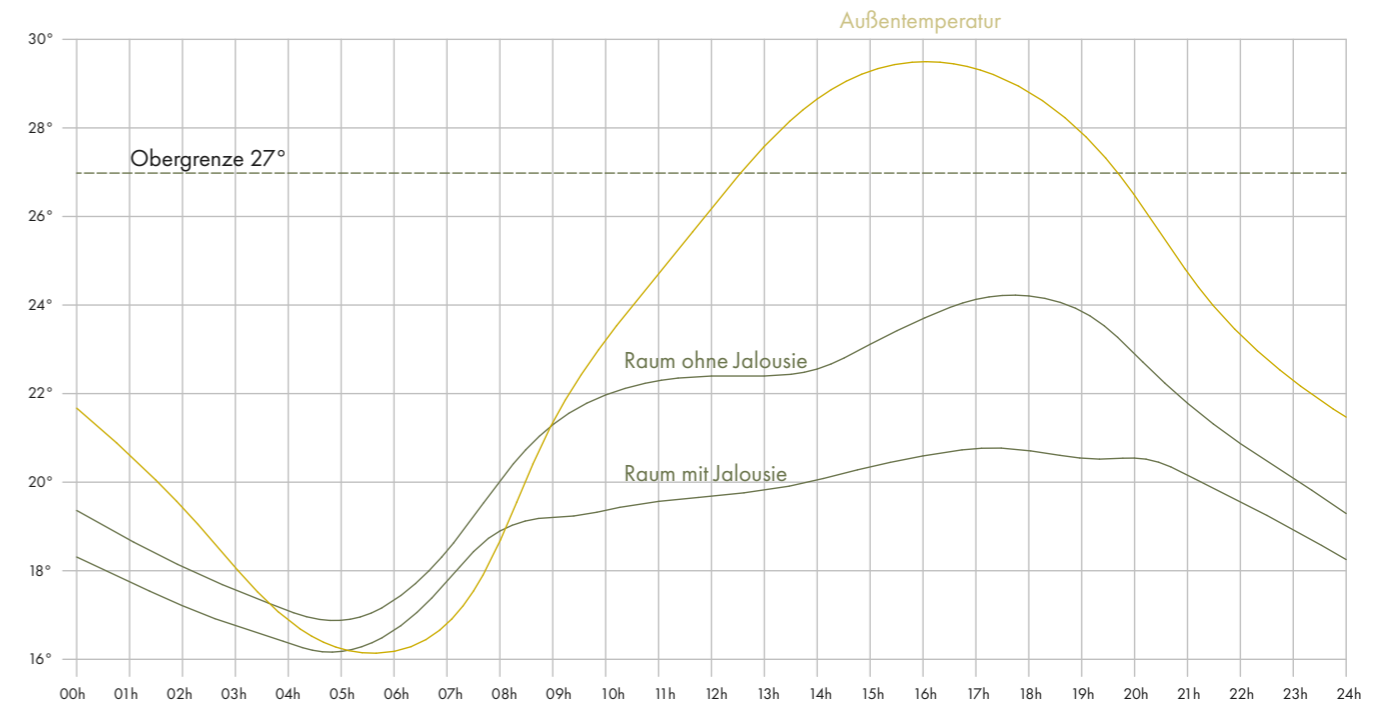


Abb.55 Temperaturverläufe

| Uhrzeit | 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 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Raum mit Jalousie | 18,3° | 17,7° | 17,2° | 16,7° | 16,4° | 16,2° | 16,6° | 17,7° | 18,9° | 19,2° | 19,4° | 19,6° | 19,7° |
| Raum ohne Jalousie | 19,3° | 18,7° | 18,1° | 17,6° | 17,1° | 16,9° | 17,3° | 18,4° | 20,0° | 21,3° | 22,0° | 22,3° | 22,4° |

| Uhrzeit | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | max. |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Raum mit Jalousie | 19,8° | 20,0° | 20,3° | 20,6° | 20,7° | 20,7° | 20,5° | 20,5° | 20,2° | 19,6° | 18,9° | 24,2° |
| Raum ohne Jalousie | 22,4° | 22,6° | 23,1° | 23,7° | 24,1° | 24,2° | 23,9° | 22,9° | 21,8° | 20,9° | 20,1° | 24,2° |

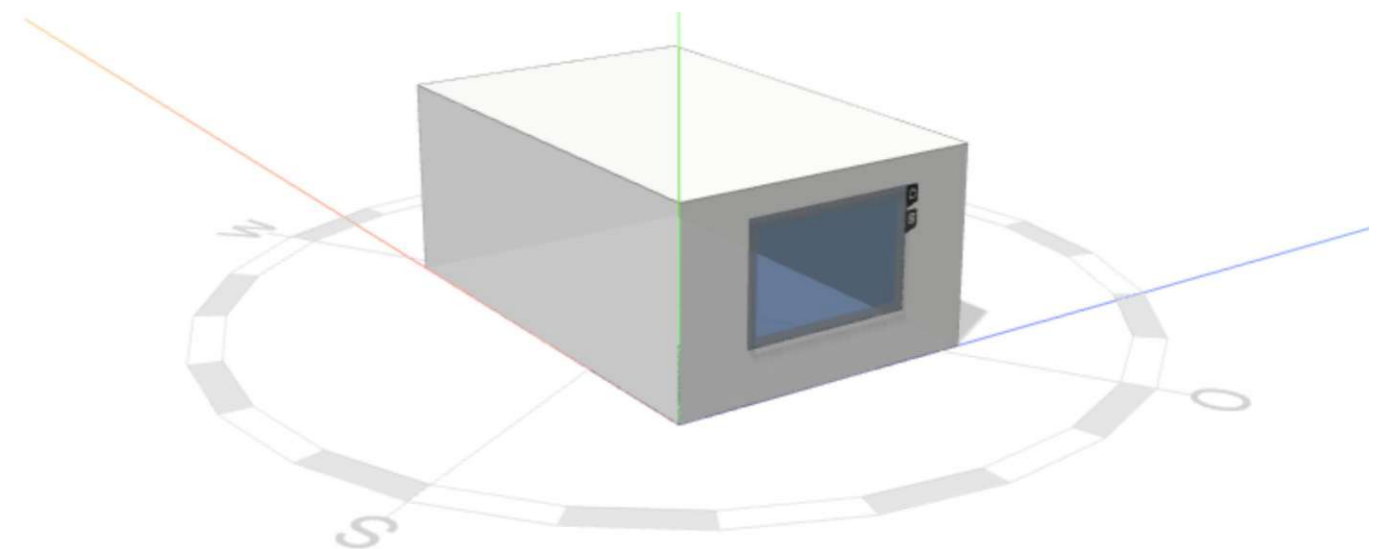


Abb.55 3D Darstellung kritischer Raum

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.



Ausblick

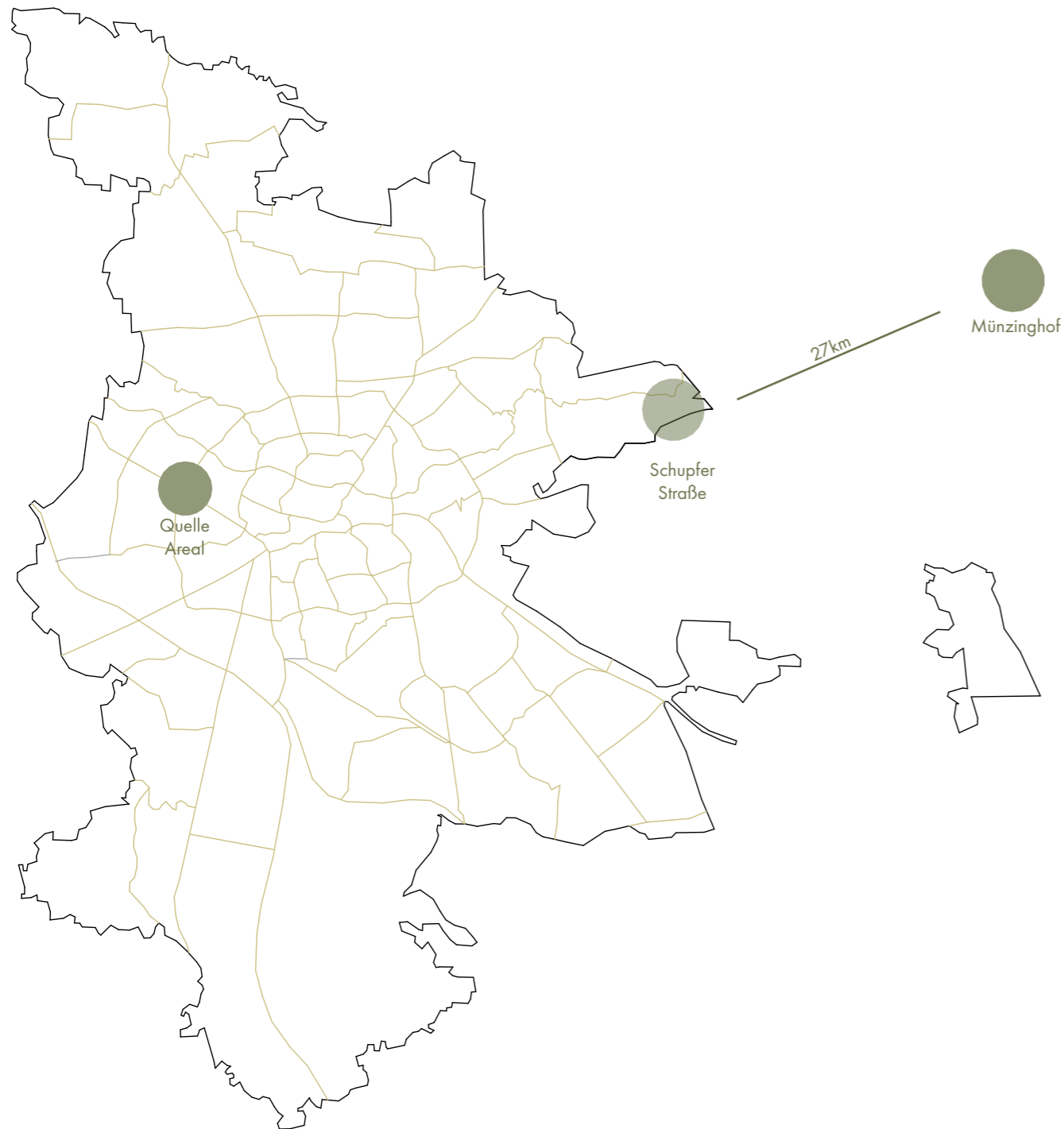
Ausblick

Urbaner Kontext | Quelle Areal
Ländlicher Kontext | Münzinghof

211
212
214



Ausblick



Nachdem sich das System nun einem spezifischen Entwurf beweisen durfte, stellt sich zwangsläufig die Frage, wie universell es in anderen Situationen einsetzbar ist. Beim Entwurf wurde sowohl ein solitärer Baukörper als auch eine Aufstockungsmaßnahme erfolgreich analysiert und konstruiert. Das System ist jedoch vielseitiger einsetzbar als in diesen zwei Funktionskonzepten. Bewegt man sich vom suburbanen Raum in Richtung Stadtzentrum, kann das kompakte System als Nachverdichtungsmaßnahme ebenso eingesetzt werden. Hier ist vieles angefangen bei Dachaufstockungen bis hin zu einer Baulückenfüllung denkbar und umsetzbar. Begibt man sich nun vom am Stadtrand liegenden Bauplatz in Richtung ländlicherem Raum, kann das System ein attraktiver Anlaufpunkt für ländlichen Tourismus oder als Erweiterung der häuslichen Strukturen der folgenden Generation sein. Besonders im Sinne des Umdenkens der angesteuerten Urlaubsziele und der starken Förderung von Konzepten wie „Urlaub auf dem Bauernhof“ kann das Konzept hier ebenso Anklang finden.³¹³

Um diese beiden grundlegenden Szenarien als kleinen Ausblick anzuschneiden, wurden zwei Bauplätze in der Umgebung von Nürnberg ausgewählt, welche je eines der Potenziale mit sich bringen.

³¹³Urlaub auf dem Bauernhof; 2023; urlaubambauernhof.de

Urbaner Kontext | Quelle Areal

Vom nun bereits bekannten Bauplatz liegt eine etwa halbstündige Fahrt mit dem öffentlichen Nahverkehr entfernt das ehemalige Quelle Areal. Es liegt auf der gegenüberliegenden Seite des Stadtzentrums, sehr zentral in Nürnberg. Am Rande des Szenebezirks Gostenhof finden wir ein Areal, welches lange in Vergessenheit geriet. Das ehemalige Quelle Areal ist eines der größten Neubau-, beziehungsweise Umbauprojekte in Nürnberg. Seit der Insolvenz des in Nürnberg ansässig gewesenen Versandhändlers steht das Bauwerk leer. Nur einige wenige Zwischennutzungen fanden statt. Die über 250.000 Quadratmeter Nutzfläche werden seit 2021 als neues Quartier umgebaut und sollen neben dem alten Charme der Anlage moderne Büros und Wohnungen sowie ein Einkaufszentrum erhalten. Die Freiraumplanung hat sich bereits dem ehemaligen Bus- und LKW Parkplatz angenommen und diesen zu einem Park umgewandelt.³¹⁴ Direkt vor dem Bauwerk, welches sich im ehemaligen Industriegebiet Nürnberg befindet, ist ein perfekter Anschluss an den öffentlichen Nahverkehr gegeben. Mit der U1 kommt man hier ab der Station Eberhardshof in wenigen Minuten ins Stadtzentrum. Auf

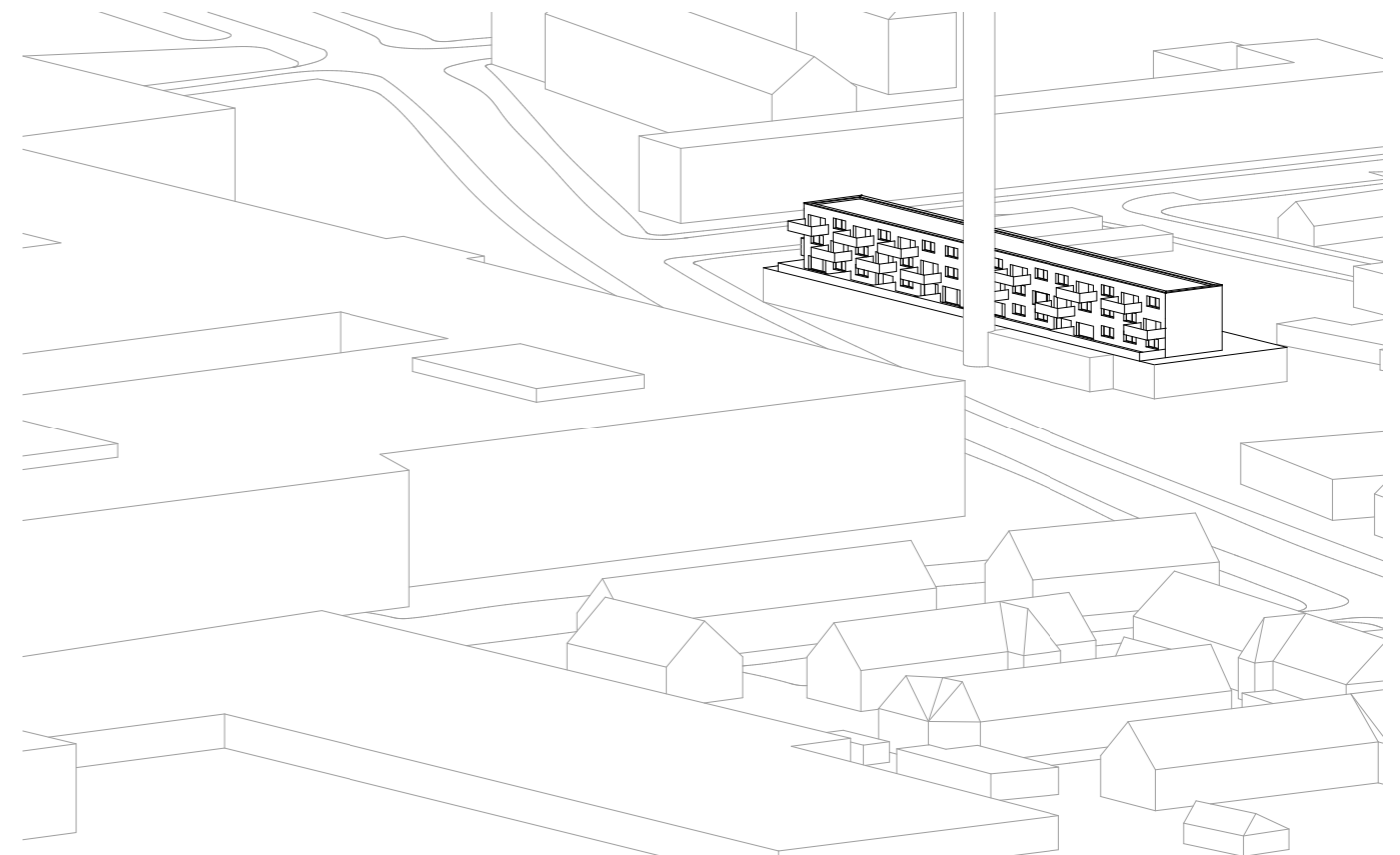
³¹⁴ Stadt Nürnberg; Quelle Areal; 2023; nuernberg.de



der gegenüberliegenden Seite des neu entstehenden "The Q" auf dem Quelle Areal befindet sich ein, verglichen mit dem Bauwerk, kleines solitäres Gebäude. Es handelt sich um das ehemalige Heizhaus der Industrieanlage. In der ehemaligen Industriehalle ist heute ein Künstlerkollektiv sowie ein kreativer Raum mit Arbeitsplätzen und Ateliers, eingerichtet. Das Bauwerk ist zweigeschossig ausgeführt und ragt etwa 5,5 Meter in die Höhe.³¹⁵ Mit diesen Abmessungen und den Grundmaßen des Bauwerks von etwa 15 auf 70 Metern bietet es sich perfekt für die Erweiterung des entworfenen Systems an.³¹⁶ Dadurch das sich das System bis zu einer Gebäudeklasse vier in die Höhe entwickeln kann, ist eine Aufstockung um drei Stockwerke möglich. Unter Berücksichtigung der Bauwerksabmessungen kann hier eine Riegelbebauung entlang der Längsseite des Bestandes als effizientes Nachverdichtungskonzept angesehen werden. Insgesamt finden auf dem Dach, welches den neu aufkommenden Lasten statisch angepasst werden müsste, 16 Raumzellen pro Geschoss Platz. Bei drei Geschossen wären es 48 Module und eine Nutzfläche beziehungsweise Wohnfläche von etwa 1245 Quadratmetern, abhängig davon, wie die Aufteilung der einzelnen Einheiten ausformuliert ist. Durch die Tiefe von knapp sieben Metern bleibt genügend Platz für die Erschließung des Daches und der darauf liegenden drei Geschosse sowie für die Erzeugung von halböffentlichen und privaten Freiflächen. Durch die Mischung aus industrieller Architektur des 19. Jahrhunderts und der Erweisung durch die neu geschaffene Struktur entsteht eine einzigartige Symbiose. Neben der Wirkung nach Außen korrelieren die Nutzungen der Vereinsstruktur und der Büros sehr gut mit dem Ansatz der partizipativen Architektur, welche das System vorsieht.

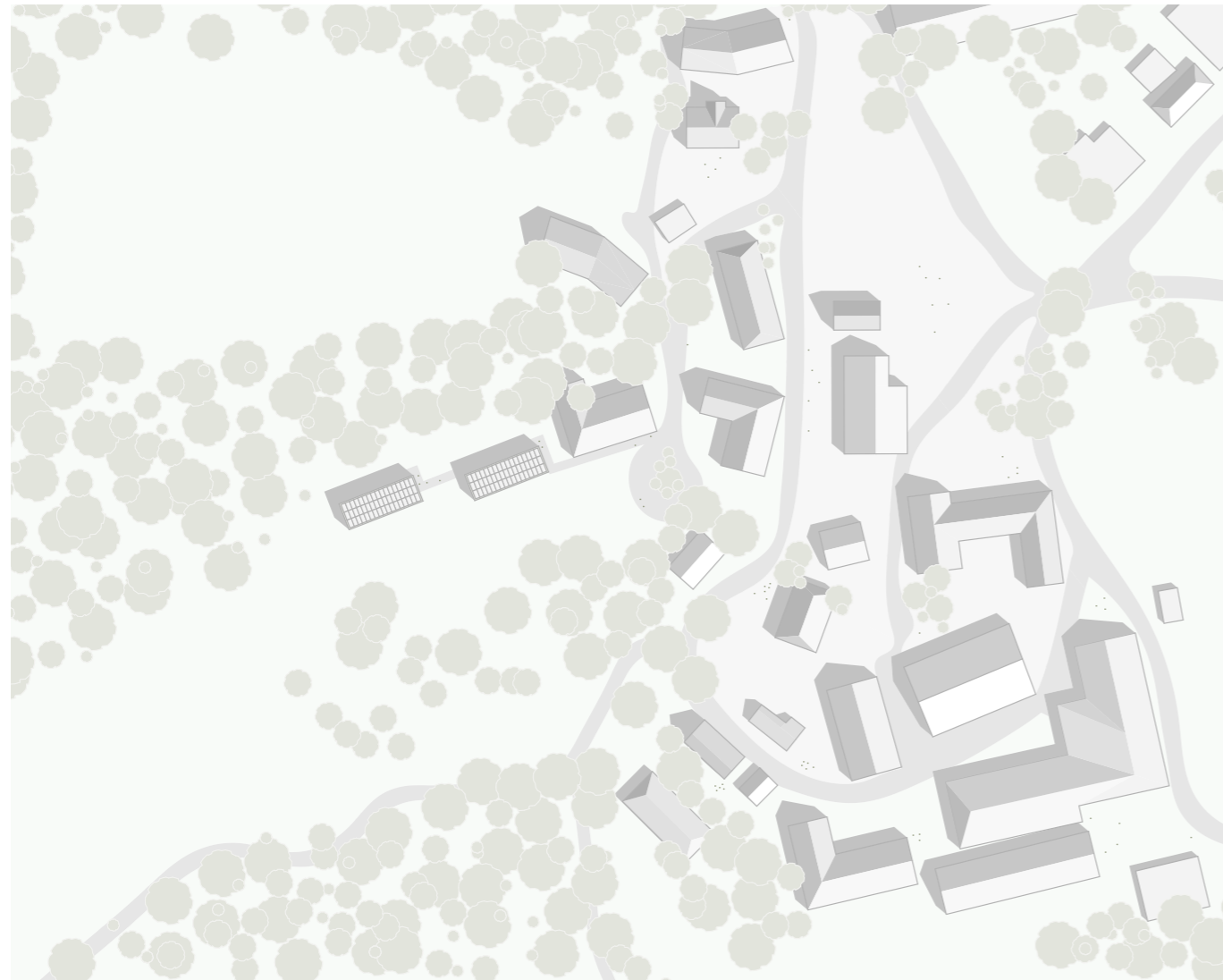
³¹⁵ Quellkollektiv, 2022; heizhaus.org

³¹⁶ Stadt Nürnberg; Masterportal Stadtplan; 2023; geoportal.nuernberg.de



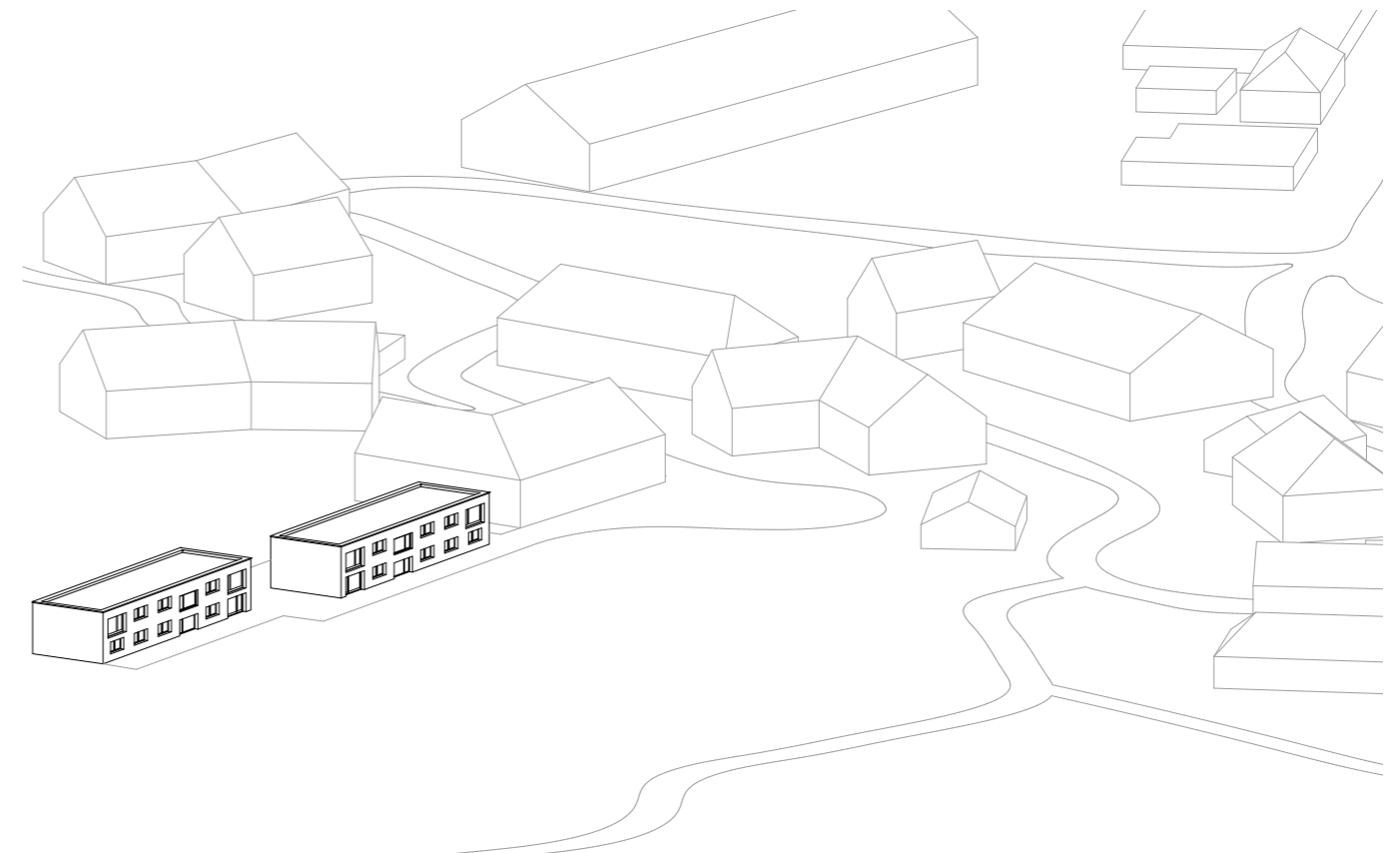
Ländlicher Kontext | Münzinghof

Bewegt man sich nun aus der Stadt hinaus, wird man hinter den Stadtgrenzen Nürnberg von der fränkischen Schweiz begrüßt. Ein Gebiet geprägt von idyllischen Landschaften und ländlichen Strukturen. Für die Implementierung des Systems in ländliche Strukturen können viele Szenarien angedacht werden. Durch kleinere Strukturen können Gästearmten für nachhaltig Reisende erzeugt werden. Hier kann eine hohe Aufenthaltsqualität gepaart mit ländlichem Raum zur Erholung vom Trubel der Stadt genutzt werden. Denkbar ist hier ein Anschluss an einen bereits bestehenden Hof oder eine ganz einsame Situierung für volle Privatsphäre. Dies sind jedoch alles temporäre Nutzungen, da es sich hier um Gäste handelt. Spannende dauerhafte Strukturen können entstehen, wenn im ländlichen Raum Mehrgenerationenhaushalte eine Erweiterung des eigenen Hofes umsetzen wollen, oder aber auch Wohngemeinschaften. Hier wird der zweite Bauplatz des Kapitels Ausblick sich wiederfinden. Etwa eine halbstündige Fahrt, jedoch dieses Mal mit dem Auto, in Richtung Bayreuth liegt die Dorfgemeinschaft Münzinghof. Was 1978 mit einer Gemeinschaft von nur 16 Personen begann, wuchs bis heute auf eine Dorfgemeinschaft von über 150 Personen



an. Der Grundgedanke der Menschen dort ist es, ein gemeinsames Leben und Schaffen von Menschen mit und ohne geistiger und körperlicher Einschränkung zu führen. Alle Menschen werden in ihrem Können und ihren Fähigkeiten gestärkt. Unabhängig welche Schwächen diesen gegenüber stehen. Gemeinsam werden in dieser Lebensgemeinschaft Landwirtschaft, Produkte für den täglichen Gebrauch, als auch Holz,- und Metallverarbeitung betrieben und an umliegende und in Nürnberg verortete Supermärkte und Läden verkauft. Seit 1993 werden regelmäßig neue Wohngebäude errichtet, da der Bedarf stetig steigt.³¹⁷ Das erzeugte System würde hier eine einfache und nachhaltige Ergänzung schaffen. Es ist immer wieder erweiterbar und so dem Bedarf vor Ort anpassbar. Westlich der bereits vorhandenen Struktur erstreckt sich ein etwa fünfzig Meter breiter Grüngürtel zwischen zwei Waldstrukturen. Hier könnte das System zum Einsatz kommen. Auf einer Breite von etwa sechzig Metern, könnte hier eine Wohngemeinschaft entstehen, welche Platz für neue Mitglieder des Dorfes bietet. Das an die Wiese grenzende Bauwerk ist bereits mit einer Straße erschlossen, diese müsste lediglich ein Stück als befestigter Weg verlängert werden. Aufgrund der dörflichen Struktur würde eine sehr lang gestreckte Riegelbauweise das Bild des Ortes stark beeinflussen. Daher werden zwei Strukturen mit jeweils einer Längsausdehnung von zwanzig Metern und einem dazwischenliegenden Treffpunkt erzeugt. Durch die gewählte Struktur kann jeweils eine vierköpfige Wohngemeinschaft ein Geschoss jedes Baukörpers beziehen. Bei einer zweigeschossigen Bauweise, welche mit der dörflichen Struktur gut harmoniert, kann hier Lebensraum für 16 weitere Mitglieder des Ortes geschaffen werden. Auch eine Mischnutzung aus Büro- und Wohnnutzung kann angedacht

³¹⁷ Dorfgemeinschaft Münzinghof; 2023; muenzinghof.de



werden, da mit Erweiterung der Produktpalette, als auch mit Erweiterung der Gemeinschaft neue verwalterische Aufgaben auf die Gemeinschaft zukommen. Eine Nutzfläche beziehungsweise Wohnfläche von 445 Quadratmetern kann so erzeugt werden. Balkone müssen hier aufgrund der Situierung nicht angebracht werden. Auch auf einen Laubengang kann verzichtet werden, da sich jeweils nur eine Wohnung pro Geschoss befindet. Diese kann durch eine Treppe oder bei Bedarf auch mit einer Rampe erschlossen werden.

Abschluss

| | |
|--|-----|
| Fazit | 221 |
| Danksagung | 225 |
| Disclaimer gendergerechte Sprache | 227 |
| Interviews | 229 |
| rematter Anna Hodel | 230 |
| TU Wien Andrea Rieger Jandl | 232 |
| Claytech Simon Breidenbach | 237 |
| Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr Frank Ruckdäschel | 252 |
| Abbildungsverzeichnis | 261 |
| Quellenverzeichnis | 265 |



Fazit

Diese Diplomarbeit soll so beendet werden, wie sie begonnen wurde. Die Eingangs gestellte wissenschaftliche Frage galt es zu beantworten.

„Ist es möglich, eine Nachverdichtung im suburbanen Raum, nach heutigem Stand der Technik, ökologisch und ökonomisch sinnvoll, aus nachhaltigen Materialien auszuführen?“

In der Analysephase wurden Konzepte zu Lebens,- und Wohnraum und Nachverdichtung recherchiert. Fragen der Nachhaltigkeit im architektonischen Kontext wurden erörtert und betrachtet. Baustoffe wurden auf ihre Potenziale untersucht und dementsprechend in den Entwurf implementiert – oder nicht. In den darauffolgenden Kapiteln wurden Themen der Energie und des Brandschutzes behandelt sowie Best-Practice-Beispiele aus dem europäischen In- und Ausland herangezogen, um von ihnen lernen zu können. Gespräche mit privatwirtschaftlichen Partnern aus der Baubranche, der ausbildenden Seite sowie politischen Stimmen wurden geführt, um aus dem Konglomerat an Informationen und Wissen ein Bausystem erzeugen zu können, welches den Spagat zwischen Praktikabilität, Suffizienz sowie architektonischem und nachhaltigem Anspruch bestmöglich erfüllen zu können. Das System ist von den Standpunkten der Ressourceneffizienz, Langlebigkeit sowie Rückbaubarkeit und Umnutzbarkeit soweit angepasst worden, dass alle Entwurfsziele bestmöglich erfüllt werden konnten. Anschlusspunkte sowie Bauabläufe wurden so effizient wie möglich gestaltet und können durch Bereitstellung von Datenpaketen und BIM-Modellen in einem Lizenzverfahren von diversen Unternehmen produziert werden. Somit können Lieferwege verkürzt und die damit einhergehende Ökobilanz des zu erzeugenden Bauwerks verbessert werden.

Um die Gesamteffizienz eines Bauwerks zu maximieren, ist es wichtig, bereits in der Planungsphase all diese Aspekte zu berücksichtigen und eine ganzheitliche, integrative Herangehensweise an hautechnische und energetische Anlange der Gebäudestruktur zu verfolgen.

Durch den Prototypen, welcher auf dem unter Anbetracht ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte ausgewählten Bauplatz umgesetzt wurde, durfte sich das System auf Einsatztauglichkeit

beweisen. Das Bauwerk ging sowohl eine Symbiose mit dem damit aufgewerteten Bestand ein, erzeugte hierbei jedoch einen ganz eigenen, zukunftsorientierten Charakter und neuen Treffpunkt des Quartiers. Die angestrebte Verdopplung bis Verdreifachung der Nutzfläche wurde nicht nur erreicht, sondern übertroffen. Dennoch wurde der Teil des Grünraums des Grundstücks, der bereits einen hochwertigen Bestand innehatte, nur minimalinvasiv eingeschränkt. Durch das Einbeziehen der Bäume in die Erzeugung der Gebäudekubatur konnte erreicht werden, dass kein Baum gefällt werden musste.

Durch Belichtungsstudien sowie Berechnungen bezüglich sommerlicher Überhitzung konnte das System beweisen, dass es auch hier seine Versprechen eines besseren Lebensraums halten kann. Ein Ausblick hat verdeutlicht, wie multifunktional ein zukünftiger Einsatz gestaltet werden kann und wie anpassbar das System sich darstellt. Ganz gleich, ob es sich um die Aufstockung oder Nachverdichtung im suburbanen Raum handelt, oder um die Füllung einer Baulücke im urbaneren Kontext oder als Rückzugsort im ländlichen Raum.

Im Kontext des Bauplatzes und der allgemeinen Richtlinien der LBO ist das Projekt in der Gänze wie auf dem Bauplatz dargestellt nur bedingt möglich. Sowohl offen liegende Holzoberflächen an Wänden als auch sichtbare Balken in der Deckenuntersicht widersprechen der Richtlinie des Kapselkriteriums K260.³¹⁸ Ebenso sind Dämmungen aus nachwachsenden Rohstoffen in der erzeugten Gebäudeklasse vier in raumabschließenden Bauteilen nicht zulässig, ungeachtet der Evidenz von Forschungsinstituten, welche belegten, dass solch ein Einsatz unter gewissen Gesichtspunkten problemlos umsetzbar wäre.³¹⁹ Da diese sich jeweils auf den Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, geschützt von einer Dickputzschicht beziehen, wurden im erschaffenen Bauwerk lediglich solche Bauteile mit Dämmung aus nachwachsenden Rohstoffen umgesetzt.

Im letzten Kapitel wird in einem Ausblick beschrieben, was das System erfüllen kann und welche spannenden Situationen erzeugt werden können, ab vom erzeugten Prototypen. So vielschichtig wie es einsetzbar ist, so breit gestreut sind auch die damit einhergehenden Nutzungsformen. Hier sind alle Nutzungsformen von kleineren Bauwerken der Gebäudeklassen eins und zwei, bis hin zu großen und umfassenden Umstrukturierungen von großen Bestandsgebäuden möglich. Der Ausblick beweist eindrücklich, dass eine Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse möglich und ist und verifiziert die Praxistauglichkeit des Bausystems.

Rechtliche Probleme, aber auch fragwürdige Entscheidungen in der politischen Landschaft Deutschlands erschaffen einen Raum der Unsicherheit ab von perfekt genormten Materialien wie Stahlbeton und Ziegeln. Es muss sich gewollt mit dem Möglichen und Unmöglichen auseinandergesetzt werden. Bekanntes muss in Frage gestellt werden. Traditionelle Bautechniken und handwerkliche Lösungen, welche seit jeher im Einsatz sind, müssen herangezogen werden, um Fragen einer nachhaltigen und rückbaubaren Architektur beant-

worten zu können.

Wir stehen am Anfang. Am Anfang einer Entwicklung in die mutmaßlich richtige Richtung. Wie weit diese Entwicklung fortgeschritten ist, unterscheidet sich stark, je nachdem wer als Referenzgröße herangezogen wird. Die Privatwirtschaft ist bereit, mit Produkten sowie Dienstleistungen, Architektur anders zu denken. Die aufgerufenen Preise sind jedoch meist über dem heutigen Standard, können sich jedoch durch Industrialisierung der Produktion senken lassen.³²⁰ Die Forschung und Ausbildung im Bereich der nachhaltigen Architektur schreitet voran.³²¹ Ein nachhaltigeres Denken und ein neuer Blick auf Lebensraum und Wohnqualität bahnen sich langsam ihren Weg in die Mitte der Gesellschaft. Lediglich der finanzielle Anreiz sowie der politische Wille, nicht nur viel Wohnraum zu schaffen, sondern hier auf Qualität zu setzen, ist noch in recht weiter Ferne.³²² Pilotprojekte werden als Aushängeschilder genutzt, um nachhaltige Entwicklung zu propagieren. Viel mehr als diese Vorreiter entstehen momentan vor allem im Kontext des Wohnbaus jedoch nicht. Hier hinkt Deutschland vor allem den skandinavischen Ländern hinterher, die deutlich mehr in die soziale Infrastruktur, auch in Form von Wohnungen, investieren. Insgesamt ist die soziale Komponente ein Faktor, welcher im deutschen Wohnbau weitestgehend keine Rolle spielt und von Flächenausnutzung und gewinngetriebene Interessen untergraben wird.³²³

Alles in allem soll der Entwurf hier ansetzen. Die momentane Baupraxis muss in Frage gestellt werden. Dies wird durch das System, aber auch durch den Prototypen und damit einhergehende Vorgehensweise kritisiert. Die eingangs gestellte Forschungsfrage lässt sich mit einem klaren Ja beantworten. Mit dem Willen ein solches Bauwerk zu schaffen, ist es möglich die Ideen in dieser Forum umzusetzen, einfach und unproblematisch ist es jedoch nicht. Hierfür fehlt ein allgemeineres Umdenken und ein erweiterter politischer Wille Grundlagen für solch ein Vorhaben zu schaffen.

Wer kann schon sagen, ob es sich beim entwickelten System lediglich um einen Prototypen handelt oder die dort behandelten Gedanken bald mehr in den Mittelpunkt der architektonischen Landschaft gelangen.

Wünschenswert wäre es. Für eine bessere Zukunft in der **mehr nicht immer gleich besser ist.**

³¹⁸ Persönliche Korrespondenz mit Andrea Rieger-Jandl; Technische Universität Wien; 27.09.2023; Interview in Kapitel 9

³¹⁹ Kampmeier; HolzBauSpezial Bauphysik & Gebäudetechnik, Brandsichere Holzfaserafassade für die Gebäudeklassen 4 und 5; 2019; Seite 6

³²⁰ Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

³²¹ Europäische Investitionsbank; Schweden, Finnland: Hemsö erhält EIB-Mittel für energieeffiziente soziale Infrastruktur; 2021; eib.org

Danksagung

Der erste Dank ist an meinen Betreuer Alireza Fadai gerichtet, welcher nicht nur mein Interesse an der nachhaltigen Architektur prägte, sondern mir durch sein umfangreiches Wissen und seine Expertise immer zur Seite stand. Auch für die Kritiken und zahlreichen Treffen zum Ideenaustausch sowie die schnelle Beantwortung aller meiner Fragen möchte ich mich an dieser Stelle herzlichst bedanken. Ohne ihn wäre ich heute nicht an dem Punkt, an dem ich als bewussterer Mensch auf die Welt nach dem universitären Leben blicke.

Ebenfalls danken möchte ich der Vielzahl an Personen, mit denen ich dank dieser Masterarbeit in Kontakt treten durfte, ungeachtet davon, ob diese nun als Interview oder lediglich als Hintergrundwissen in dieser Arbeit erscheinen. Durch ihr Wissen hat die Arbeit eine weitere Dimension an Wissen erhalten, die ich nur ungern missen würde.

Danken möchte ich ebenso meinen Studienfreud*innen, vor allem jedoch meinem Freund Daniel, welcher mir seit dem ersten und bis zum letzten Tag des Studiums ein treuer Begleiter war. Durch die gemeinsamen Tage und Nächte, in denen wir arbeiteten, entstand eine wundervolle Freundschaft.

Ein weiterer großer Dank geht an meine Eltern, welche mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen, und ohne deren emotionale, aber auch finanzielle Unterstützung dieses Studium niemals mit so wenigen Sorgen behaftet gewesen wäre, wie es im Endeffekt war. Euch habe ich einen Großteil davon zu verdanken, wie mein Lebensweg aussah und wo ich heute angelangt bin. Vielen Dank dafür.

Der größte Dank geht an meine wundervolle Lebensgefährtin Jessica, welche nicht nur meine Launen während dem Verfassen dieser Seiten ertragen musste, sondern mich dabei unterstützte und eine Vielzahl an Aufgaben übernahm, damit ich mich voll und ganz dieser Arbeit widmen konnte. Bedanken möchte ich mich auch für die Unmengen an Freizeit, in der Sie sich mit meiner durchaus frustrierenden Rechtschreibung auseinandergesetzt hat. Ohne sie wäre ich, aber auch diese Arbeit nicht das, was wir sind.

Ohne all diese besonderen Menschen wäre das Studium nicht das gewesen, auf das ich am Ende dieser Jahre voller Dankbarkeit und Freude zurückblicken kann und werde.

Disclaimer

gendergerechte Sprache

Sehr geehrte Leserinnen, sehr geehrte Leser sowie alle dazwischen und außerhalb. Vielen Dank, dass Sie diese Arbeit bis hier hin gelesen haben. Ich hoffe, sie hat Ihnen genauso viel Freude beim Lesen bereitet wie mir beim Verfassen.

Diese Arbeit wurde nach den Richtlinien der Technischen Universität Wien in gendergerechter Sprache verfasst. Diese umfasst die genuin männliche und weibliche Form. Darüber hinaus soll betont sein, dass die hier verwendete generische maskuline sowie feminine Form darüber hinaus alle Lesenden adressieren soll, unabhängig von deren Geschlecht, Zugehörigkeit oder Orientierung.

Interviews

Im Zuge der Erarbeitung dieser Arbeit wurden mehrere Interviews geführt. Das Anliegen war es, das Thema der Arbeit von verschiedenen Blickpunkten aus zu betrachten, was dazu führte, mit verschiedenen Parteien Gespräche zu führen, um deren Sichtweise zu verstehen, und zu lernen, inwieweit einzelne Institutionen im Thema sind und fortschrittlich dort gedacht wird. Um ein möglichst breites Spektrum abzudecken, wurden Gespräche mit Personen aus der Privatwirtschaft, institutionellen Einrichtungen, in diesem Fall der TU Wien, sowie dem Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr geführt. Ziel dieser Gespräche war es, herauszufinden, an welchen Punkten eine nachhaltigere Architektur momentan noch scheitert und inwieweit die Firmen und Institutionen, die hinter meinen Gesprächspartnern stehen, dies als Problem, Chance oder Hindernis betrachten. Die Gespräche sind hierbei unterschiedlicher in deren Wortlaut, als anfangs angenommen.

Die Gespräche wurden jeweils währenddessen aufgenommen und daraufhin transkribiert. Die Protokolle wurden von dem/der jeweiligen Gesprächspartner*in schriftlich freigegeben. Formulierungsänderungen wurden auf Wunsch durchgeführt, inhaltlichen Änderungenwünschen wurde nur bedingt stattgegeben, solange diese das ursprünglich Gesagte nicht verzerren.

Rematter | Deckensysteme aus Lehm und Holz

Anna Hodel

An Geschossdecken in der Gebäudeklasse 4 werden in Bayern die Anforderung REI60 und K230 bzw. K260 gestellt. Das System ist ja per se REI60 zertifiziert. Kann in Ihrem System diese geforderte Kapselung ebenfalls erreicht werden und ist diese zertifiziert?

Wie du bereits geschrieben hast, wird das Deckensystem mithilfe eines Brandschutzgutachtens für einen Feuerwiderstand von REI60 zertifiziert. Die Kapselung kann theoretisch durch das Einpacken der Decke von unten, also beispielsweise dem Anbringen von Gipskartonplatten erreicht werden. Leider verliert die Decke durch die Kapselung ihren positiven Einfluss auf das Raumklima (Feuchteregulierung, geruchsneutralisierend). Zudem kann die thermische Masse des Lehms in diesem Fall nicht mehr aktiviert werden. Trotzdem kann die Decke in einem solchen Gebäude eingesetzt werden mit den erforderlichen Maßnahmen zur Kapselung und hat im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetonflachdecke Vorteile hinsichtlich der Ökobilanz und Kreislauffähigkeit der Decke.

Wäre es möglich, das Deckensystem, selbstverständlich mit den für die Herstellung benötigten Maschinen, vor Ort herzustellen, um Lieferwege zu vermeiden?

Es ist gut möglich, die Decke vor Ort herzustellen, wenn die erforderlichen Maschinen auf die Baustelle geliefert werden. Es gilt jedoch zu erwähnen, dass dies jeweils projektspezifisch beurteilt werden sollte. Zum einen stellen beengte Platzverhältnisse vor Ort oft ein Problem dar. Zum anderen verursacht das Einrichten einer Feldfabrik ebenfalls Emissionen, daher sollte je nach Größe der Baustelle und abhängig vom Transportweg ein Urteil gefällt werden, ob die Produktion vor Ort sinnvoll ist.

Woher werden das Holz und der Lehm bezogen, welcher in den Produkten eingesetzt wird, die bei Ihnen hergestellt werden?

Das Holz beziehen wir zurzeit von einem Holzbauunternehmen aus der Schweiz. Das Holz, welches wir verwenden ist FSC zertifiziert. Auf Wunsch der Bauherrschaft können wir auch spezifisch Holz mit dem Label «Schweizer Holz» bestellen. Den Lehm beziehen wir zurzeit von einem Lehmbauunternehmen ebenfalls aus der Schweiz, welches nur Schweizer Lehm verwendet und den Lehm immer aus möglichst regionalen Vorkommen bezieht.

Aus welchem Holz werden die unverklebten Vollholzträger hergestellt?

Die Vollholzträger werden in der Regel aus Fichtenholz hergestellt.

Mit welchem Quadratmeterpreis ist zu rechnen, sollte eine Menge von etwa 400 m² abgenommen werden?

Die Kosten für die Deckenelemente (ohne Bodenaufbau) liegen bei ca. 300 CHF/m² (exkl. MwSt.), wobei der Preis je nach Projektgröße und Ausführungsvariante (Holzwahl, Anschlussdetails, etc.) abweichen kann.

Wie sind die Auflager ausgestaltet, um eine kraftschlüssige Verbindung sowohl mit den Wandelementen eingehen zu können als auch mit den flankierenden Deckenelementen?

Die Details werden jeweils projektspezifisch von uns in Zusammenarbeit mit den Fachplanern dimensioniert, um sowohl den vertikalen wie auch den horizontalen Lastabtrag zu garantieren. Die bestmögliche Variante für die Ausführung der Details muss von Projekt zu Projekt festgelegt werden. Die Decken können direkt auf Wände oder Unterzügen aufgelegt werden, wobei der Lastübertrag entweder über einen Randträger am Deckenelement selbst oder direkt über die Träger verläuft. Die Höhe des Details kann reduziert werden durch das Ausklinken der Träger am Ende des Deckenelementes. Auch ein Anschluss mithilfe von Holzverbindern ist denkbar. Um den horizontalen Lastabtrag zu gewährleisten, werden die Elemente miteinander über das Verbinden der Dreischichtplatte und der Randträger längs verschraubt. Bei grossen Einwirkungen können lokal auch Nagelplatten (Stahlplatten) zum Einsatz kommen. Wenn möglich, versuchen wir aber, den Anteil von Stahl zu reduzieren.

Bei den geplanten Räumen, welche aus 2-D-Elementen erstellt werden, handelt es sich um eine Abmessung eines jeden Raumes von 3,5×6,9 Metern im Innenmaß. In welchen Dimensionen und mit welcher Spannrichtung wäre es hier am effizientesten, die Deckenmodule einzusetzen?

Die Spannrichtung der Elemente über 3.5m erlaubt die Reduktion der Trägerabmessungen und somit kann der Anteil von Lehm zu Holz möglichst maximiert werden. Dies ist sowohl aus ökologischer wie auch aus ökonomischer Perspektive von Vorteil, da der Lehm eine geringere Ökobilanz und tiefere Kosten hat als das Holz. Eine Erhöhung des Lehmanteils ermöglicht zudem das Einsparen des wertvollen Rohstoffes Holz. Falls erforderlich, sind auch Spannweiten von 6.9m möglich, da würde man dann aber für die Holzträger von einem Vollholz auf ein verklebtes Holz (BSH) wechseln. Dies hat einerseits mit der Verfügbarkeit von Vollholz zu tun, dort ist man aufgrund der vorhandenen Stammlängen eingeschränkt. Ab ca. 5.2 m ist die Verfügbarkeit von Vollholzträgern mit größerem Aufwand, Vorlaufzeiten und Kosten verbunden oder bei größeren Abmessungen teilweise schlicht nicht möglich. Zudem kann bei großen Spannweiten mit geklebtem Holz eine Reduktion der Abmessungen ermöglicht werden, da BSH größere Festigkeiten und Steifigkeiten aufweist als Vollholz.

Technische Universität Wien

Ao. Univ. Prof. DI Dr. phil. Andrea Rieger-Jandl

Inwiefern ist die Gesetzgebung bezüglich Holz und Lehmbau den wissenschaftlichen Ergebnissen hinterher? Insbesondere natürlich in Bezug auf Brandverhalten und Festigkeit.

Das muss man unterscheiden zwischen Holz und Lehmbau, da gibt es doch große Unterschiede. Der Holzbau ist auf jeden Fall bereits weiter fortgeschritten. Seit etwa zwei Jahrzehnten gibt es wirklich viele Forschungen in diese Richtung, proholz ist hier sicher als Wegbereiter zu nennen. Durch proholz wurde ein Bauteilkatalog geschaffen, welcher mit sehr vielen Prüfungen zertifiziert ist. Da hinkt der Lehmbau sicher hinterher. Der Lehmbau ist einfach noch nicht so lange im Gespräch wie Holz, vor allem natürlich für größere Bauprojekte. Im Selbstbau wird er zwar seit den siebziger Jahren wieder eingesetzt, aber im mehrgeschossigen Wohnbau kam das bisher wenig zur Sprache. Das hat sich erst in den letzten Jahren aufgebaut, dadurch kommen wir jetzt erst langsam zu den Themen wie Regulierungen und Testungen. Der Lehmbau war einfach sehr lange in der Selbstbaubewegung der ein- bis zweigeschossigen Wohnbauten, in der Testungen und Reglements nicht so wichtig sind. Da haben Bewilligungen im Einzelfall meist ausgereicht. Sobald man in den größeren Wohnbau oder in den öffentlichen Bau mit dem Material expandieren will, gibt es Bauträger und Verantwortliche, die Garantien und Gewährleistungen brauchen, um mit dem Material bauen zu können. Momentan tagt der erste Normungsausschuss bezüglich Normierung von Lehmbaustoffen in Österreich. Dieser wurde vom Netzwerk Lehm ins Leben gerufen und umfasst vierzehn Personen, die sich über das Jahr verteilt treffen und diskutieren. Bereits beschlossen wurde, dass als Erstes eine Lehmputznorm eingeführt werden muss. Danach wird diese Normierung auf Lehmbauplatten ausgeweitet und daraufhin auf Lehmestriche und Bodenfüllmaterialien. Erst danach werden Themen wie Aushub und dergleichen diskutiert, was bis heute auch in Deutschland noch kein Thema ist. Wir versuchen als Erstes nachzuziehen, aber auch Neues zu normieren und zu zertifizieren. In der Verbindung Holz-Lehm bedarf es mutmaßlich wiederum anderer Normen, das war auch in diesem Ausschuss groß Thema, da dies vor allem für Österreich starke Relevanz hat. Lehm in Fußböden oder als Estrich ist vor allem im Holzbau ein grandioses Speichermedium. In Deutschland gibt es bereits viele Lehmbaunormen, dasselbe gilt für die Testungen. Da ist Deutschland, aber auch die Schweiz, teilweise bereits uns voraus. Einzelne Firmen wie Claytech haben natürlich das Interesse, ihre Produkte zu verkaufen. Darum wird hier oft von den Firmen selbst ein Datenblatt erstellt, mit allen für den damit bauenden Unternehmer wichtigen Daten. Das wäre jetzt aber auch der nächste Schritt des Netzwerks Lehm, gemeinsam mit dem IBO, dort laufen ebenfalls momentan zwei Forschungsprojekte. Das Thema Brandschutz wird momentan behandelt und ist bereits eingereicht worden zur

Normierung, also da passiert schon einiges momentan.
Ist der Einsatz von Lehmbauprodukten und der damit einhergehende Einzelfallnachweis auch eine Preisfrage?

Ja. Brandschutztests sind mit Abstand am teuersten, vor allem großformatige Testungen. Es kommt natürlich auch darauf an, ob man auf einem Quadratmeter Wand testet, das kostet vielleicht ein paar tausend Euro pro Testung, oder ob man wirkliche ganze Räume oder räumliche Konstellationen testet und schaut, wie sich das im Brandfall verhält. Es muss erst ein ganzer Raum erzeugt werden, an dem Tests durchgeführt werden können. Oftmals muss der Raum auch öfter gebaut werden, da etliche Testungen vorgenommen werden müssen. Da sprechen wir dann von zehn- bis zwanzigtausend Euro pro Testung. Wenn man ein paar Testungen für ein großes Bauvorhaben und verschiedene Materialien durchführt, geht das schon ordentlich ins Geld. Da ist man schnell bei den hunderttausend, und das ohne Personalkosten für Auf- und Abbau. Das können Firmen oft schwer selbst stemmen und sind auf Forschungsförderungen angewiesen.

Gibt es aus Sicht des universitären Betriebs den Willen, in Zukunft den Einsatz von Holz und Lehm zu forcieren, und wie wird das angegangen?

Im Netzwerk Lehm sind einige Professor*innen, aber auch andere Lehrende vertreten. Da wären Karin Stildorf, Hubert Feiglisdorfer und ich zu nennen. In dem Sinn ist es sehr wichtig, dass diese Forschungspartner dabei sind, gerade diese angewandten Projekte, aber auch die angewandte Forschung, wie durch die FFG unterstützt, besteht meist aus einer Kooperation von Forschungseinrichtungen und Firmen. Firmenpartner sind allgemein vorgeschrieben, sonst müsste Grundlagenforschung von uns betrieben werden. Ob jetzt die anderen Partnerforschungseinrichtungen im Sinne einer Universität sind oder privat, ist hierbei egal. Darum ist es wichtig, dass es an den Universitäten verankert ist. Bei uns ist die Situation zugegebenermaßen ein wenig schwierig, da schwebt der Lehmbau irgendwo zwischen dem Institut Baugeschichte, Bauphysik und Hochbau. Dass der Schwerpunkt jetzt bei uns in der Baugeschichte liegt, ist also eher Zufall und durch mein Forschungsinteresse hier zu erklären. Ulrich Pont aus der Bauphysik beschäftigt sich am Rande damit, aber es liegt dort kein Forschungsschwerpunkt. Es geht ja im Endeffekt einfach nur darum, den Baustoff als sicheren Baustoff zu etablieren, um dort Sicherheiten geben zu können. Es muss natürlich die Firma, die damit baut, dafür haften. Wenn das laut der zu noch zu formulierenden Norm angeboten wurde, muss selbstverständlich die Firma für ihr Tun geradestehen. Solange die Norm noch nicht durch ist, hat der Auftraggeber natürlich ein gewisses Restrisiko. Anders als manch andere Firma, die momentan versucht, eine bauteilaktivierte Stampflehmwand zu zertifizieren, versuchen wir eine Basis zu schaffen. Wir sind momentan in den ersten Zügen, einen Bauteilkatalog zu erstellen, wie dies Dataholz beziehungsweise proholz für den Holzbau getan hat. Das ist eine wahnsinnig wichtige Basis für alle weiteren Schritte. Es gibt viele Aufbauten und es wurde auch

schon sehr viel publiziert, aber ein gesammeltes Nachschlagewerk mit geprüften Aufbauten fehlt einfach komplett. Ebenso wären hier natürlich online Tools zur Erstellung von Aufbauten wie baubook zu nennen, welche das Material in Gänze aus dem System gestrichen haben, da es nicht definierbar genug ist. Der Bauteilkatalog wird momentan im Zuge eines Forschungsprojektes namens „Erdbewegungen“ erstellt. Das läuft seit einem halben Jahr und wird noch weitere drei Jahre laufen. Danach sollten auf jeden Fall Ergebnisse verfügbar sein.

Wie fundieren wir Gebäude aus Lehm ohne Stahlbeton oder Folien?

Das müsste man eigentlich erst erforschen. Man kennt es natürlich aus der Baugeschichte, dass Lehmbauten bis auf den Boden mit Lehm gebaut wurden. Das Fundament war in diesem Fall ein stark verdichteter und fetter Lehm, der in davor ausgehobene Gräben gegeben und verdichtet wurde. Das Fundament war damit so gut wie wasserfest. Beispiele findet man viele in Österreich, wenn man sich in den kleineren Orten am Land um Wien herum die alte Baustruktur ansieht. Das ist natürlich eine Möglichkeit, diese ist auch durch etliche historische Beispiele weltweit belegt, dass sie funktioniert. Durch das Erzeugen eines solchen Lehmfundamentes hat man es geschafft, die Gebäude halbwegs trocken zu halten. Ein Sockel aus Steinen gegen Spritzwasser ist auch immer sehr hilfreich in wasserreichen Regionen. An sich hat man dann darauf mit Lehmziegeln begonnen, das Haus zu mauern. Es ist in diesem Fall aber das Fundament nicht unabhängig vom eigentlichen Gebäude zu sehen. Es ist natürlich dennoch eine gewisse Feuchte im Fundament, welche ausdiffundieren muss. Wenn man darauf die Wände dicht anschließt, könnte das zu Feuchtestau führen und das Fundament nachhaltig beschädigen. Es kann schon reichen, den Fußboden abzudichten, um solche Probleme hervorzurufen. Das Gebäude ist, wie gesagt, immer als Gesamtsystem zu sehen. Das wäre eine wirklich spannende Forschung, die bisher aber noch nicht durchgeführt wurde. Es wäre sehr spannend, verschiedene Fundamente über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Rein vom historischen Standpunkt aus sollte es funktionieren, wenn man diese Regeln einhält. Man kann aber Einzelmaßnahmen treffen, Andi Breuss beispielsweise verzichtet auf die XPS-Dämmung im Kellerbereich, bei der Renovierung seines Hauses. Er grub einen Graben um das Haus herum und füllte diesen mit sehr fettem Lehm. So kann schlichtweg von außen, aber auch von oben keine Feuchtigkeit ans Fundament herankommen. Der Lehm ist so dicht, dass er nicht das geringste bisschen Feuchtigkeit aufnimmt. Das wäre zumindest eine Kompensation der Abdichtung, auch wenn man vielleicht ein Betonfundament hat. Man muss ehrlich sagen, im Fundament ist der Beton schon sehr schwer zu ersetzen. Der Vorteil von Beton ist natürlich seine absolute Haltbarkeit und Wasserdichtheit, das ist schon eher einzigartig unter den Baustoffen. Diese Eigenschaft kommt im Fundament einfach grandios zur Geltung. Da kommt wieder zu tragen, dass wir die Baustoffe da einsetzen müssen, wo es Sinn macht und wo sie ihre Fähigkeiten ausspielen können. Im Fundament hat Beton, auf die gewisse Art und Weise, seine Daseinsberechtigung. Statisch kann er ersetzt werden durch Holz, das ist soweit kein Problem. Wandausfachungen

und dergleichen sind auch sehr schnell mit Lehmbaustoffen zu ersetzen. Steinfundamente wären natürlich grundsätzlich auch möglich, sind aber unleistbar, da bleibt einem wenig übrig an Wahl. Wenn kein Keller gewünscht ist, kann man natürlich wie im „Haus ohne Beton“ auch Schraubfundamente nehmen, die sind aber auch nur bis zu einem gewissen Maß belastbar. Bis drei oder vier Stockwerke denke ich aber schon, dass das System funktionieren sollte, wenn man darüber einen Holz-Leichtbau hat. Lehmfundamente wären echte Forschung, mir würde kein einziges Beispiel moderner Architektur einfallen, in dem das eingesetzt wurde. Ersatz für Abdichtungen und dergleichen gibt es schon ein paar, aber einen richtigen Fundamentersatz gibt es keinen. Das kommt dann sehr stark auf die Verdichtung an, da sich bei egal welcher Belastung das Fundament auf keinen Fall setzen darf.

Besonders Flachdächer sind im nachhaltigen Bauen ein großes Problem. Gibt es da eine Lösung?

Ich kenne hier kein Beispiel, egal welcher Baukultur oder Epoche, die es geschafft hätte, Flachdächer mit Lehm auszuführen, die wirklich dicht waren. Da musste jedes Jahr nachgearbeitet werden, neuer fetter Lehm aufgetragen werden, sonst hat man da absolut keine Chance, ein dichtes Dach zu bekommen. Dichte Lehmdächer ohne Folienabdichtung würden mir, auch aus der modernen Lehmarchitektur, kein Beispiel einfallen. Man hat dann die Wahl, nicht nachhaltige Materialien zu nehmen, oder kein Flachdach, wobei das Dach mit Neigung auch mit gebrannten Ziegeln gedeckt ist, welche klimaschädlich sein können. Das sind dann wirklich Sonderkonstruktionen, Dächer so zu erzeugen. Jetzt sollte der Lehm erstmal dort eingesetzt werden, wo er mit Leichtigkeit andere Materialien ablösen kann. Im Gebäude gibt es unendlich Potential, Lehm einzusetzen, Dach und Fundament sind da wohl eher weniger geeignet für einen Einsatz. Mir würde jetzt nur eine Firma aus der Schweiz einfallen, die bei der IG Lehm in der Schweiz einen Vortrag gehalten hat. Die haben sich auf die Produktion von Stampflehm-Deckenfertigteilen spezialisiert. Das wird durch ein leichtes Gewölbe realisiert innerhalb der Elemente. Sonst ist das ein recht unsicheres Unterfangen.

Auf was ist bei seriellem Holz-Lehmbau besonders zu achten und wo stößt man auf Probleme?

Tatsächlich ist es die Dichtheit, die vor allem bei der Lehmarchitektur die Probleme macht. In vielen Punkten wäre hier Andi Breuss eine gute Ansprechperson. Er baut momentan, und seine selbst gestellte Herausforderung für das aktuelle Projekt ist es, auf alle Arten von Dichtungsbahnen zu verzichten und dies mit verschiedenen Lehmischungen zu ersetzen. Er hat dies mit einer Mischung aus Holz und einer Art Lehmschlemme geschafft. Aber auch Flachs- und Hanffließ können getränkt in Schlemme eine gute Abdichtung herstellen. In einem Seminar vor vielen Jahren haben wir auch mit Flachswolle, getränkt in flüssigem Lehm, Bauteilfugen, die normalerweise ausgeschäumt werden würden, abgedichtet. Ob das jetzt industriell bereits verwendet wird oder verwendet werden kann, ist wohl eher

fragwürdig. Der Vorteil, wenn man solche Fugen mit einem Hanfflies auskleidet ist, dass so viele Fasern in dem Baustoff vorhanden sind, dass Risse sehr unwahrscheinlich sind. Lehm ist ein plastisches Material und verbindet, dafür kann man ihn sehr gut einsetzen.

Glauben Sie, dass Holz in Kombination mit Lehm mehr Anwendung im Mehrgeschossbau findet? Speziell im Hinblick auf die Verwendung des Materials im urbanen und suburbanen Raum, um damit Neubauten zu Nachverdichtungszwecken zu erzeugen?

Ja, davon bin ich überzeugt. Grundsätzlich wird die Taxonomie der EU viel in diese Richtung leiten und immer schärfer auch gegen stark Ressourcen verbrauchende Materialien vorgehen. Vor allem größere, energieintensive Firmen, die viel mit Zement oder gebrannten Ziegeln arbeiten, werden vermutlich schnell Probleme durch die CO₂-Bepreisung haben. Diese Firmen sind zum Teil schon auf der Suche nach Alternativen, um ihren CO₂-Fußabdruck abschwächen zu können, um massiven Ausgleichszahlungen entgegenzuwirken. Meine Hoffnung ist, dass sich dadurch Lehm im größeren Maßstab etablieren wird, da diese Firmen sich am leichtesten tun, parallel mit der vorhandenen Technik Produkte aus Lehm zu produzieren und diese Sparte dann gegebenenfalls hochfahren zu können. Damit können die Firmen ihren CO₂-Ausstoß ein wenig nivellieren und gleichzeitig bringen sie Lehm in die Masse. Die Lehmbauunternehmen sind alle winzig klein, meist Familienbetriebe, die auch keine großen Ambitionen haben, groß zu werden. Hiervon wäre als einzige Ausnahme Claytech zu nennen. Ich setze meine Hoffnung nicht bei diesen Firmen an, sondern bei anderen, etablierten Konzernen für Baustoffe. Wir, als Netzwerk Lehm, bekommen momentan deutlich vermehrt Anfragen von großen Firmen, erst letztens von einer Bewehrungsfirma, die anfragte, ob es Sinn machen würde, Lehm mit Stahlbewehrung zu versehen. Auch Themen, mit denen wir uns noch nie befasst haben, werden auf einmal aktuell. Man sieht also, da tut sich etwas, zumindest bei manchen. Das sind ja teilweise spannende Ideen, das große Problem des Lehms ist die Zugfestigkeit, also warum nicht mit eingelegter Bewehrung Versuche starten. Man muss meiner Meinung nach ein wenig wegkommen vom starren Lehm als reine Ökoarchitektur, hin zu Lehm in jedes Gebäude, wo es eben geht, und nur das unbedingt notwendige Konventionell umsetzen. Wichtig ist es, dass die Materialien trennbar sind. Da ist Lehm mit einem eingelegten Eisen einfach deutlich besser als mit Zement versetzter Lehm, der beim Rückbau schlichtweg Abfall ist. Diese Produkte, aber auch der sogenannte Erdbeton, sind leider die Produkte, die momentan massiv in Indien, Pakistan, aber auch in Afrika eingesetzt werden und dort als nachhaltiger Lehm beworben werden, aber dies in keinsten Weise sind. Nicht zu vergessen, dass auch in unseren Breitengraden getrickelt wird. Die meisten Lehm-Wandaufbauten haben eine Glasfaserbewehrung, wobei man sich natürlich fragen kann, ob die beim Rückbau wirklich aus der Wand entfernt wird. In den meisten Lehm-Platten ist ebenfalls ein Glasfasergewebe eingearbeitet. Da muss man sich wirklich fragen, ob das sein muss.

In einem kurzen Satz: Wie schätzen Sie die Potenziale einer komplett wiederverwendbaren Architektur aus einem Holz-Lehm-Modulsystem ein.

Gegenüber anderen Baustoffen schätze ich dieses Potenzial der Wiederverwendbarkeit besonders bei Holz und Lehm in Kombination extrem hoch ein, da beide Materialien die besten Voraussetzungen dafür mitbringen. Lehm und Holz können im Bau so eingesetzt werden, wie sie auch in der Natur vorkommen, und darum auch wieder vollends rückgeführt werden.

Claytech | Lehmbaustoffe

Simon Breidenbach

Sehen Sie eine Entwicklung im Markt hin zu nachhaltigen Baustoffen, in Ihrem Fall vor allem für den Innenausbau, wie in etwa für Putze oder Trockenbauplatten?

Ich spreche grundsätzlich von Lehmbaustoffen, und damit meine ich explizit nicht den Lehm im allgemeinen Sinn, denn damit verbindet man meist Stampflehm oder andere Arten des Lehmbaus, die kaum bis keine Anwendung in der breiten Masse finden. Des Weiteren spreche ich hier explizit über Westeuropa. Wir haben zwar durch Social Media etwas mehr Zugriff auf das, was weltweit mit dem Material gemacht wird, was man aber sagen muss, ist, dass Deutschland, vor allem was die Professionalisierung des Baustoffes angeht, weltweit Marktführer ist. Es gibt einige Ecken, die sich mit Stampflehm und dergleichen gut auskennen, es kippt aber immer schnell in die Richtung, dass Zement beigemischt wird, und das hat in meinen Augen nichts mehr mit Lehmbaustoffen zu tun, da die Rückbaubarkeit und CO₂-Neutralität dann hinüber ist. Ich beziehe mich also hauptsächlich auf Westeuropa, vor allem auf Deutschland, Österreich, die Schweiz und Benelux. Wenn man es auf das Volumen des Umsatzes der Baustoffe umrechnet, liegt hier der Anteil des Lehmbaus bei 0,003%. Das ist wirklich wenig, selbst würde sich der Umsatz spontan verzehnfachen, wären wir immer noch bei 0,03% und bei einer Verhundertfachen sind wir bei 0,3%, das ist irre wenig. Von der Sache her sind Lehmbaustoffe, trotz der hohen Wahrnehmung und Präsenz in Medien, die der Baustoff hat und auch verdient, völlig irrelevant für die Baubranche. Uns, als auch Lehmbaustoffe in diesem Sinne, gibt es seit gut 40 Jahren, wir waren damals das erste Unternehmen, das solche Produkte in Deutschland hergestellt und professionalisiert hat und alleine in den letzten 5 Jahren hat sich schon einiges getan, sowohl in der Tonnage, als auch umsatztechnisch. Das ist schon eine ziemlich gute Kurve, die jedoch durch Faktoren wieder gebremst wird und, so ehrlich muss man sein, momentan auch ganz leicht rückläufig ist. Die Strukturen sind so, dass man als Kunde zum Baustoffhandel oder zum Handwerker

geht und da ist momentan einfach eine Delle in der Auftragslage. Davon ist auch ein ökologischer Baustoff nicht befreit.

Ist es schwierig, Personen im Handwerk zu finden, welche die Produkte kennen und wissen, wie man diese verarbeitet? Wie sieht es in diesem Kontext mit Ausbildung im Handwerk aus?

Es ist ein langer Weg. Die Baubranche ist, egal wen man fragt, eine sehr träge Branche und nicht für seine Progressivität bekannt. Von der Architektur, über Hersteller bis hin zum Handwerk. Es gibt gute Zahlen dazu, an welchen man sieht, dass die Baubranche eine der am wenigstens digitalisierten Branchen überhaupt ist. Da ist die Agrarbranche mit ihren automatisierten Maschinen Lichtjahre weiter vorne, aber man muss zugeben, die letzten Jahre haben eine starke Verbesserung gebracht. Mit dem Stuckateurzentrum Rutesheim haben wir das größte Ausbildungszentrum Südwest Deutschlands, welches nach ganz Deutschland strahlt, mit denen wir Kooperationen haben. Hier bieten wir das Wahlmodul Kalk und Lehm an. Das Wichtigste in unseren Augen, wenn man mit dem Baustoff in die Breite gehen will, ist, dass man in die Institutionen geht, die es in die Breite bringen. Dabei sind natürlich solche bereits bestehenden und erweiterbaren Ausbildungen super wichtig. Wir haben durch den Mauerwerksbau und dessen DIN-Normierung einen großen Zugang beim Lehmbaumauerwerk bekommen. Viele Ausbildungszentren für Maurer wollen jetzt unsere Materialien, vor allem den Mauermörtel, weil es sich dabei um ein rückbaubares Produkt handelt. Genau diese Eigenschaft des Lehms, seine Rückbaubarkeit, ist einfach grandios. Die Auszubildenden bauen eine Mauer mit ihren Lehrlingen, und wenn das mit Kalk-Zement-Mörtel gemacht wird, kann man die Wand danach mit dem Vorschlaghammer klein machen und man hat einen Haufen Bauschutt. Danach braucht man neue Steine, neuen Mörtel, das ist nicht gerade sinnvoll oder nachhaltig. Mit dem Lehmörtel fällt das Staubproblem weg, die Steine sind wiederverwendbar und der abgeschlagene Lehm ist aufbereitet wieder genauso wie davor und kann erneut genutzt werden. Viele Leute kommen so, ohne sich speziell mit dem Thema Lehm zu beschäftigen, in die Berührung damit und lernen, dass das ein cooler Baustoff ist, der sich toll verarbeiten lässt. Es kommt natürlich ein wenig aufs Gewerk an, im Holzbau spielt es ebenso eine große Rolle. Da sind wir in Biberach im Ausbildungszentrum vertreten. Es klingt ein wenig blöd, aber es geht hier um die Qualität des Handwerks. Trockenbauer ist nicht der wahnsinnige Ausbildungsberuf, da kommen günstige Bautrupps, die deinen Trockenbau schnell erledigt haben. Das Bedarf keinen Ausbildungsbetrieb. Diese Bautrupps machen einfach, was ausgeschrieben ist, und denen ist es im Endeffekt gleich, ob sie Lehm- oder Gipskartonplatten an die Wand schrauben. Parallel gibt es dazu noch die Fachkraft Lehm, die sich in Deutschland vor etwa 20 Jahren gegründet hat. Die Fachkraft Lehm ist eine Zusatzausbildung, die man nach abgeschlossener Lehre im Handwerk, einem Studium in diesem Bereich oder nach genügend Berufserfahrung in der Branche machen kann. Mittlerweile eine sehr gefragte Zusatzqualifikation, aber auch eher kostspielig und zeitintensiv. Das Konzept des mit Lehm Bauens wird meiner Meinung nach ein wenig zu hoch gehängt. Die paar tausend Baustellen, die

mit Lehm gebaut werden, werden zu über 95% von normalen Handwerksbetrieben ausgeführt. Man kann mit der Fachkraft Lehm, die vielleicht 50 Personen im Jahr schult, niemals den geringen, aber doch vorhandenen Bedarf decken. Mit jeder Sonderausbildung setzt man die Hürde des Materials natürlich höher. Anstatt einfach zu sagen, der Stuckateur kann klassisch mit Kalk-Zement arbeiten und man sollte sich ein gutes Lehmprodukt kaufen, um das für einen Kunden zu nutzen, verarbeitet man das absolut genauso gut, denn einen wirklichen Unterschied gibt es nicht. Was vielleicht noch spannend ist, die Handwerksbetriebe, die in den letzten Jahren mit ihrer Arbeit überfordert waren, haben momentan Zeit, sich mit solchen Themen zu beschäftigen, um auch ein Alleinstellungsmerkmal aufweisen zu können und somit den Terminkalender wieder voll zu bekommen. Unsere Veranstaltungen sind voll, wir machen Schulungen, in den meisten Fällen in Kooperation mit Handelsbetrieben zusammen, und greifen so auf deren Netzwerk zu. Mit diesen Personen machen wir dann Veranstaltungen, Praxisschulungen oder Handwerkerfrühstücke. In nahezu allen Fällen reicht ein Erstkontakt mit dem Baustoff, um zu sehen, was die Vorteile sind. Hier wären natürlich zu nennen, der Wegfall der Staubbelastung auf der Baustelle und der Wegfall der zum Putzen der Geräte gebrauchten Arbeitszeit, da ich das Material einfach abgedeckt über Nacht stehen lassen kann. Das reicht meist aus, um viele Menschen zu überzeugen, das Material in Betracht zu ziehen.

Welche Art von Kunde interessiert sich für Ihre Produkte und wo sehen Sie die größten Potenziale an Zuwachs?

Das ist eine sehr gute und wichtige Frage. Man muss sagen, wir haben uns in Österreich zwar nicht ganz, aber vor allem in Deutschland dem klassischen mehrstufigen Baustoffvertrieb untergeordnet oder eher unterwerfen müssen, muss man ehrlicherweise sagen. Da gibt es marktführende Unternehmen, wie die Hagebaugruppe oder Eurobaustoff, und jeder Baustoffhändler in Deutschland ist in einer Einkaufskooperation, vergleichbar mit Rewe oder Edeka im Lebensmittelbereich. Die haben es in der Hand, ob man bei den großen mitspielen darf oder nicht und wenn ja, mit welcher Kooperation und Konditionen man in den Handel kommt. Das heißt, in Deutschland läuft eigentlich alles über den Baustofffachhandel. Dazu kommt dann ein kleiner Anteil noch im Direktvertrieb an Endkunden, in dem Fall über Baumärkte. Das heißt, primär ist derjenige, welcher uns für unsere Produkte bezahlt, nicht der Endkunde, sondern der Baustoffhändler. Für uns natürlich super, da die Zahlungsausfälle gleich Null sind. Der Baustoffhändler fällt aber natürlich in keiner Weise die Entscheidung, welcher Baustoff eingesetzt wird. Da dahinter kommen dann die Handwerksbetriebe, die dort ihre Produkte kaufen, und im kleinsten Teil auch Endkunden, die es nach dem Konzept Do it Yourself angehen. Es gibt aber auch Bauträger, Architekten sowie Genossenschaften, da ist die Entscheidungsfindung natürlich sehr unterschiedlich. Es kann in jede Richtung passieren, es kann sein, dass der Handwerker, weil er mit dem Baustoff nicht vertraut ist, es dem Bauträger kaputt redet und dann konventionell ausgebaut wird. Es gibt aber auch den Architekten, der große Unwissen-

heit hat und darum niemals mit solch einem Material planen würde. Ich würde da auch eine Generationenfrage daraus machen: Ihr in eurem Alter seid leider noch nicht so weit im Job, dass ihr in der Entscheidungsfunktion seid. Die neue Generation Architekten hat schon verstanden, wo es lang gehen muss. Einem 60-jährigen Architekten, der sein Leben lang mit Stahlbeton gebaut hat, wird sich nicht eingestehen, dass er sein Leben lang falsch gebaut hat. Wenn der Endkunde überzeugt ist, kann es leider passieren, dass sowohl Handwerk als auch Architekten das noch zerschließen können. Da ist es unserer Aufgabe, zu begleiten und Kontakte zu vermitteln. Wir führen beispielsweise eine Datenbank mit Handwerkern, die sich mit dem Baustoff bereits auseinandergesetzt haben, die wir gerne auch weitergeben. Man muss irgendwie die gesamte Kette ein wenig im Griff haben, und das ist mit dem Baustoff momentan noch sehr schwierig, denn die Kunden können einem viel zu schnell und viel zu oft verloren gehen. Große institutionelle Bauträger oder Immobilienentwickler sind derweilen noch zurückhaltend, was das Thema mit Lehm bauen betrifft. Viel spielt sich im Einfamilienhausbau und teilweise auch im Mehrfamilienhausbau ab. Ein wichtiger Faktor, den man nicht außer Acht lassen darf, sind die öffentlichen Auftraggeber wie Städte oder Kommunen. Wir betreuen momentan viele Verwaltungsgebäude, Feuerwachen, ect., weil dort das Geld nicht das größte Thema ist. Vor allem ist es für die Kommunen natürlich auch ein Vorzeigeprojekt, das sich immer ganz gut vermarkten lässt. Witzig hier ist beispielsweise der Kreis Viersen, der Kreis, wo die Firma ursprünglich herkommt, gilt als Vorzeigekommune für nachhaltiges Bauen und wird unter anderem immer wieder nach Berlin eingeladen. Die Krempeln alle öffentlichen Gebäude um, mit Architekturwettbewerben und überall kommen unsere Baustoffe rein. Das hat jetzt nichts mit uns oder irgendwelchen Verbandlungen zu tun, sondern damit, dass sie sich wirklich Mühe geben.

Verglichen mit einem Stahlbetongebäude, welches im Innenraum mit konventionellen Materialien ausgestattet wurde, wie viel höher liegt der Preis, wenn dieselbe Ausstattung mit Lehmprodukten ausgeführt wird?

Letzendes ist ja so, früher war der Baustoffpreis das, was teuer war und somit ins Gewicht gefallen ist. Heute sind die Baustoffe viel zu billig, aber vor allem ist die Handwerksleistung deutlich teurer geworden. Wir haben Fachkräftemangel und zu wenig Leute, die auf dem Bau arbeiten wollen. Darum ist alles, was die Vorfabrikation angeht, so wichtig, weil es faktisch die Ressourcen, Objekte vor Ort zu bauen, einfach nicht mehr gibt. Wenn man wirklich ohne Arbeitsleistung Produkt neben Produkt sieht, dann kauft man für 20€ pro Quadratmeter eine Lehmbauplatte und für 3€ eine Gipskartonplatte. Rein auf den Produktpreis bezogen, ist das ein sehr großer Unterschied. Wenn man jedoch die Arbeitszeit und alles, was noch dazu kommt, inkludiert, ist es maximal das Doppelte. Wenn man jetzt das Ganze aber auf das gesamte Bauvorhaben rechnet, sieht das schon wieder anders aus. Ein Beispiel: Eine stattliche private Villa in Tirol mit 2,5 Mio. Euro Baukosten. Die Basis ist ein Holzmassivbau, ausgekleidet mit feinstem Lehm Trockenbau und Lehm designputz.

Der gesamte Innenausbau mit Handwerksleistung und Material lag bei unter 20.000€ in Summe, somit sind nicht einmal 1% der Gesamtbaukosten in den Lehm Innenausbau geflossen. Keine Frage, ein extremes Beispiel, aber vom Verhältnis her dennoch sehr spannend. Das in Relation zu setzen funktioniert mittlerweile bei denen, die es interessiert, ganz gut.

Sollte ein Umschwung kommen und der CO₂-Preis in den Produktpreis mit eingerechnet werden, würden Beton und zement- bzw. gipsbasierte Produkte mutmaßlich teurer werden als Lehm Bauprodukte. Inwieweit wäre es möglich, die Produktion hochzufahren, und wann sind die Grenzen erreicht?

Ich weiß nicht, wie genau das in Zukunft dargestellt werden kann und soll. Der hohe Preis der Lehm Baustoffe ist ja nicht damit zu begründen, dass die in der Herstellung so teuer sind. Sie sind momentan natürlich deutlich teurer, das liegt aber eher an der kleinen Produktionsmenge, als am Basismaterial. Die Gipskartonplatte ist ja so gesehen nicht rentabel, das sind ein paar wenige Cent, die da auf den Quadratmeter verdient werden, das geht ausschließlich über die Masse. Auch der Handel verdient nichts mit diesen Platten, wirklich niemand verdient da wirklich etwas dran. Das Problem ist aber hinten heraus auch, dass diese Platten so schlecht verarbeitet sind, dass sie in der Sekunde des Einbaus bereits Müll sind. Darum ist es durchaus okay, dass die Lehm Bauplatten eine gewisse Wertigkeit haben, vor allem über einen längeren Zeitraum hinweg. Ich sehe auf lange Sicht gar nicht nur den CO₂-Preis als das spannende Thema, sondern die Wertstabilität und die Werthaltigkeit der Baustoffe. Dies dann so zu bilanzieren, dass man kein Gebäude hat, das man nach ein paar Jahren abgeschrieben hat, sondern dass ein tatsächlicher materieller Wert der Immobilie durch die eingebrachten Baustoffe mit eingepreist wird. Sozusagen den Restwert, welcher ja nicht verfällt oder weniger wird, ist ein sehr spannender Ansatz in der Finanzierungsthematik. Wie das alles in Zukunft dargestellt werden kann, können wir noch nicht genau sagen, aber es gibt bereits interessante Ideen diesbezüglich. Wenn man dann am Ende das Delta ausrechnet und Banken sowie Investierende sehen, was da hinten noch für eine Summe steht und nicht nur die Kosten für den Abriss, sondern was bringt mir der Rückbau an geldwerten Einnahmen mit sich bringt, wird das schon spannend. Eine Skalierung wird man meiner Meinung nach nur über die wirtschaftlichen Aspekte hinbekommen. Wenn man momentan in der Architekturszene in Berlin unterwegs ist oder bei Cradle to Cradle-Veranstaltungen dabei ist, ist das das große Thema. Es geht um Rückbaubarkeit, Wiederverwendbarkeit und die Darstellung eines Gegenwertes des Objektes. Wenn das die Banken irgendwann mittragen und das so in deren Systemen auch bilanziert werden kann, wird es interessant. Ich glaube nicht, dass es über eine Verteuerung der Massenbaustoffe geht.

Ich habe in einem Vortrag von Calytech gehört, dass die Tone für die Design Putze aus dem Westerwald stammen. Woher beziehen Sie den Lehm, Sand und Beiprodukte für Ihre Produkte, insbeson-

dere für die Innenputze und Trockenbauplatten, da wir hier ja doch von recht großen zu bewegendenden Massen sprechen?

Für viele ist es eine immense Masse, vergleicht man dies beispielsweise einmal mit der Tonnage, die Baumit durch die Gegend transportiert, ist es nicht mal der Rede wert. Insgesamt produzieren wir 60.000 Tonnen Lehmbaustoffe pro Jahr, das ist weniger, als man vielleicht erwarten würde. Keine Frage, es sind natürlich 60.000 Tonnen, die mit einem LKW von einem Ort in die Werke gebracht werden müssen und dann wieder raus zur Baustelle. Das muss man auch überhaupt nicht verschweigen, das ist so. Die Wege, die unsere LKW heute zurücklegen müssen, sind aktuell noch zu lang, das liegt aber wiederum daran, dass unsere Werke eine gewisse Tonnage brauchen, um die Anlagentechnik wirtschaftlich betreiben zu können. Wir arbeiten momentan mit den kleinsten Mengen in der kleinsten Anlage, die unser Anlagenlieferant, welcher sonst dieser Maschinen für Beton- und Mörtelverarbeitende Betriebe zur Verfügung stellt, liefern kann. Wir haben jetzt unser zweites Erdfeuchtwerk eröffnet, zwischen Ulm und Augsburg, auf der bayrischen Seite. Damit verdoppeln wir unsere jährliche Kapazität. Diese Fabrik ist jedoch nicht ausgelastet, weil dieses Werk momentan erst über mehrere Jahre hochgefahren werden muss. Wenn man es so betrachtet, ist das vier bis fünf mal so viel Kapazität wie die Nummer zwei am Markt. Wenn man jetzt überall anfängt in Deutschland solche Produkte herzustellen, natürlich hätten wir gerne in jedem Bundesland ein Werk, ist das momentan wirtschaftlich bei der Absatzmenge, die wir umsetzen, einfach nicht darzustellen. Die Pläne, das Ganze hoch zu skalieren, liegen in der Schublade und warten nur darauf, dass der Markt danach verlangt. Diese Anlage können wir ohne Probleme noch fünfzehnmal bestellen, das ist nach dem einmaligen Entwickeln der Produktionsstraße kein Hexenwerk mehr. Wir wollen so regional wie nur möglich sein, das hat nicht einmal nur ökologische Gründe, auch ökonomisch ist es natürlich das Beste, so kurze Wege wie möglich zu haben. Jeder Transport kostet Geld, vor allem bei so schweren Produkten. Im Versand sind die Produkte auch kein Leichtgewicht. Für uns ist natürlich der Zuweg zur Produktion mit Kosten verbunden, die wir so gering wie möglich halten wollen, aber das wirkliche Problem sind die langen Transportwege zum Kunden. Das macht am Ende das Produkt für den Kunden teurer, weil das mit eingepreist werden muss und das will auch niemand. Bei manchen Produktkombinationen auf dem Sattelzug macht die Fracht ein Drittel bis die Hälfte des Wertes der Produkte aus-dann macht das einfach keinen Sinn und das Produkt wird unnötig teuer. Wir versuchen bei den Grundprodukten, sie so nah wie möglich am Werk zu beziehen. In Viersen, wo die erdfeuchten Produkte hergestellt werden, kommt das alles direkt aus der Umgebung. Der Sand hat einen Weg von 5 km, das Stroh für den Unterputz kommt vom Nachbarfeld, der Lehm kommt aus 15 km Entfernung. Das ist ein super Radius und funktioniert auch soweit ganz gut, das liegt aber auch daran, dass wir vor Ort Lehm haben, der sich für unsere Produkte super eignet. In Ulm ist die ganze Geschichte deutlich komplizierter. Wir befinden uns mit unseren Produkten zum Glück in einem genormten Bereich und wollen die einzigartige Produktqualität, die wir in Viersen produzieren, selbstverständlich auch dort

anbieten können. Logistisch müsste es eigentlich so sein, dass unserer Lehmputze und Platten, egal aus welchem Werk sie kommen, immer so ähnlich sind, dass sie zumindest die gleiche Farbe und Verarbeitbarkeit haben. Es ist mit Lehm ganz klar nicht möglich, das exakt selbe Produkt an zwei verschiedenen Standorten herzustellen, keine Chance. Der Lehm hier unterscheidet sich bereits zu dem in zwanzig Kilometern Entfernung, was Tonanteil, Sande oder andere Beistoffe angeht. Auch das Aussehen unterscheidet sich dadurch immens, da muss man schon Glück haben, sollte es zumindest in die selbe Richtung gehen. Wir orientieren uns also an bautechnischen Eigenschaften, das Produkt muss am Ende die gleichen bautechnischen Eigenschaften haben: Oberflächenfestigkeit, Bruchfestigkeit und dergleichen wären hier zu nennen. Damit erfüllen wir unsere Pflicht, die DIN zu erfüllen, die der Baustoff hat, wobei wir uns hierbei immer am obersten Rand der Beanspruchungen orientieren. Wir haben beispielsweise in Ulm bereits kleinere Schwierigkeiten, was die Rohstoffbeschaffung angeht, weil die Infrastruktur für einen Lehmlieferanten da noch nicht gegeben ist. Niemand wird für uns ein Loch graben. Lehm ist in diesen Fällen immer eine Deckschicht über Kiesgruben. Die Menschen wollen an den Kies, dafür müssen der Lehm und die Erde weg. Sonst wird das einfach die Seite gekippt und eine Halde gebildet und nach dem Abtragen des Kieses wieder eingebracht, das nehmen wir den Firmen jetzt ab. Was wir abnehmen, ist aber immer noch immer nur ein sehr geringer Bruchteil von dem, was da herumliegt und weggekippt wird. Wir haben am Anfang auch mit Aushub aus Baustellen gearbeitet, das ist aber absolut nicht praxistauglich. Angefangen damit, dass es bei Aushubbaustellen auf einmal immer viel zu viel Material gibt: Entweder man nimmt nur einen Bruchteil davon und muss sich immer wieder nach neuen Baustellen umschauen, oder man nimmt alles, und bildet eine eigene Halde bei der Fabrik und das Material liegt da dann im Weg herum. Oft wachsen dann Pflanzen darauf oder er trocknet aus. Außerdem muss nach jeder Baustelle das gesamte Rezept erneuert werden, da sich Lehm wirklich so stark unterscheidet. Das heißt aber auch, dass für jeden einzelnen Aushub ein neuer Normungsprozess angestoßen werden muss. In Ulm haben wir ein halbes Jahr für dieses neue Rezept gebraucht, ein halbes Jahr, um daraus ein top Produkt zu machen. Wir haben verschiedene Lehme aus der Region austesten müssen, Sand und Stroh waren relativ gut gesichert. Es ist also nicht so, dass man mal schnell ein paar Produkte zusammenschüttet, überhaupt nicht. Das ist natürlich auf der einen Seite erstmal schwierig, weil man natürlich gerne früher angefangen hätte zu produzieren, auf der anderen Seite ist es natürlich sehr schön zu sehen, dass trotz dieser theoretisch drei Zutaten das Ganze ein ziemlich schwieriges Unterfangen ist. Der Lehm in Ulm ist komplett anders, das Basismaterial ist viel fetter, das macht auch einen großen Unterschied in der Verarbeitung mit unserer Maschinenteknik, als ein magerer Lößlehm oben in Nordrein-Wesfahlen. Es ist und war eine ganz schöne Herausforderung für alle Beteiligten. Man darf natürlich nicht vergessen, dass wir als Unternehmen sehr hohe Vorinvestitionen tätigen müssen, um so etwas überhaupt stemmen zu können. An sich steht die Anlage in Ulm seit eineinhalb Jahren und wir haben noch nichts produziert.

Wie ist es als Lehmproduzent, Investierende zu finden oder Finanzierungen für solche Anlagen zu erhalten, wenn es keine vergleichbaren Firmen gibt?

Obwohl es uns seit 40 Jahren am Markt gibt, haben wir große Schwierigkeiten. Es gibt immer die Benchmarks einer Branche, an denen sich Banken orientieren, je nach Größe der Branche, Wachstumsrate und vielen mehr Faktoren. Zu Lehmbauern und vor allem zu Claytech gibt es so etwas nicht, weil wir die einzigen sind, die in dieser Größenordnung agieren. Deshalb ist für Kreditinstitute das Benchmarking sehr schwierig, das bringt Unsicherheit mit sich und das mögen Finanziere absolut gar nicht. Finanzierung von solcher Anlagentechnik oder allgemein für den Betrieb sind für Kreditinstitute ein schwieriges Unterfangen. Das sind die kleinen oder etwas größeren Steinchen, die einem da in den Weg gelegt werden.

In vielen Texten und Videos von Claytech wird sich stark der Nachhaltigkeit verschrieben. Dennoch fallen ein paar Produkte auf, die nach der Zutatenliste nicht ganz so nachhaltig sind, wie es die Firma gerne wäre. Gibt es Lehmprodukte wie beispielsweise Putze, in denen nicht recycelbare Substanzen wie Zement oder Silikate untergemischt sind, und wenn ja, warum?

Das ist eine überaus wichtige Frage. Ja, leider gibt es ein paar wenige Produkte, bei denen schwer recyclebare Stoffe zugefügt werden mussten. Grundsätzlich muss man einmal festhalten, dass gewisse Produktbereiche gewissen Normen entsprechen müssen, die sehen genau vor, was da drin ist, sein kann und muss. Dann gibt es Produktbereiche, bei denen das nicht so ist, Lehmstriche oder Grundierungen zum Beispiel. Vor allem die Lehmfarbe Verarbeitungsfertig war auch ein in der Familie und Firma heiß diskutiertes Thema. Immer im Hinblick, was tun wir und wofür stehen wir als Unternehmen. Letzten Endes ist es so, dass ein gewisser Dispersionsanteil in einer Grundierung wie zum Beispiel „die Weisse“ und „die Rote“ sein muss, damit sie auf allen Untergründen funktioniert. Wichtig ist es zu erwähnen, dass anders als andere Hersteller, wir alles immer voll deklarieren, auch wenn wir aufgrund des extrem geringen Anteils es rechtlich nicht angeben müssten. Grundsätzlich ist es aber einfach so, dass ein Produkt funktionieren muss, und zwar nicht nur auf hundert Quadratmetern, sondern eben auch auf Hunderttausend. Man hat natürliche Alternativen, bei Grundierungen beispielsweise kaseinbasierte Produkte, da ist aber die Ausfallwahrscheinlichkeit wahnsinnig hoch. Dabei muss man immer im Hinterkopf behalten, Grundierungen sind ein Problemlöser. Das Problem in diesem Fall ist schwer haftender Untergrund, also Gipskarton, Fermazellplatten oder glatter Beton. Schlichtweg nicht saugende Untergründe, ohne raue Oberfläche. Da legen wir einen gewissen Pragmatismus an den Tag und sagen, wenn zumindest darauf dann Lehm kommt, ist es ein Schritt in die richtige Richtung. Da muss man jetzt nicht diskutieren, das ist nur eine Grundierung, wenn der Untergrund darunter aus unpassendem Material ist, sollte man sich um den Anstrich darauf keine Sorge machen. Dafür hat man danach einen tollen Innen-

raum und wir haben uns dafür entschlossen, das ist für uns als Firma Claytech okay.

Bei der „Lehmfarbe Verarbeitungsfertig“ ist es so, dass momentan die schon deutlich verbesserte neue Version im Handel ist. Die Version davor hatte sogar noch Konservierungsmittel in der Rezeptur, sogenannte Topfkonservierer. Wir haben alle Rezepte immer von E.C.O. Institut zertifizieren lassen, das Institut, welches sich unter anderem mit den Ausdünstungen der Farbe beschäftigt. Lehmbaumstoffe kommen teilweise an ihre Grenzen, da gibt es nichts zu beschönigen. Die bautechnischen Grenzen wollen wir auch klar kommunizieren, denn Lehm muss nicht alles können, das wäre unrealistisch. Beim Anstrich und der Farbe war es tatsächlich im Endeffekt eine verteilliche Entscheidung. Die neue Version hat endlich keine Konservierungsmittel mehr dabei, und so ehrlich muss man sein, der Lehmanteil in der Farbe ist auch nicht immens groß. Es ist aber im Gegensatz zu allen anderen Dingen ein Do-It-Yourself Produkt, was unser Bauportfolio abrundet, gemeinsam mit Feinputz und Grobputz. Das ist wird und bleibt ein heißes Diskussionsthema, auch firmenintern. Ich würde mich auch aus dem Fenster lehnen und sagen, dass das die absolute Grenze ist, weiter wollen wir nicht gehen, sondern uns stetig verbessern. Bei diesen Produkten müssen wir einfach kompromissbereit sein, einen gewissen Pragmatismus an den Tag legen, um es für den Endanwender, der das Produkt so kauft, wie jedes andere Baumarktprodukt gut nutzbar ist. Die Farbe in Pulverform beispielsweise ist aufgrund ihrer Struktur nicht mit der Rolle aufbringbar. Der Endkunde wird die Farbe nicht tünchen oder pinseln, er wird die Farbe rollen und wenn das nicht geht, fliegt das Produkt durch. Um auch diese Kunden zu erreichen und ihnen eine nachhaltige Alternative bieten zu können, müssen wir es eben so machen, bevor die Kunden irgendeine wirklich schlechte Farbe kaufen, nur weil unsere nicht sauber verarbeitbar ist. Es ist unser Anspruch, weiter zu optimieren, es war auch unser Anspruch, so schnell wie möglich das Konservierungsmittel zu streichen, was wir bereits geschafft haben, aber wir werden nicht aufhören, unsere Produkte weiter zu entwickeln.

Sprechen wir über moderne Gebäude, kommt das Thema Heizung und Kühlung auf, das Modulsystem wird auf Wärmepumpen setzen und somit ist eine Flächenheizung anzudenken. Nach meinen Informationen stellt Claytech in Kooperation mit WEM Heizplatten her. Welche Erfahrungen gibt es in diesem Bereich?

Wir sprechen natürlich über Systeme, die wir verkaufen. Das wäre dann der klassische Aufbau mit Schläuchen, die an der Wand montiert werden und unter mehreren Putzschichten liegen und so eine Wand bilden. Die Heizplatten von WEM setzen aber auch auf unseren Unterputz. Wir sind die Zulieferer und WEM produziert daraus eigene Platten, es ist also schon eine Art Kooperation. Man ist bei dieser Art von Produkten immer sehr schnell im Sanitärbereich, wo man begonnen werden muss, Heizlasten zu berechnen und dauerhaftes Wasser ist natürlich auch ein Thema und wir sind einfach kein

Heizungs- und Sanitärbetrieb, sondern Lehmbaustoffproduzenten. Deshalb arbeiten wir mit vielen Firmen zusammen, geben Tipps und Aufbauempfehlungen, aber so wie es momentan aussieht, werden wir unser eigenes Produktportfolio dahingehend nicht erweitern.

Solange Lehm vor direktem Spritzwasser geschützt wird, ist er aber doch ideal für den Einsatz in Santierräumen geeignet?

Ja, dafür ist er optimal. Das klassische Argument, ohne beschlagenen Spiegel aus der Dusche zu kommen, da ist schon was dran. Das funktioniert super.

Lehm ist ein natürlicher Baustoff und damit etwas empfindlicher bezüglich lang anhaltender Feuchtelasten. Gibt es bereits Projekte, bei denen Lehmbauteile wiederverwendet wurden oder zwischendurch gelagert wurden, und mit welchen Herausforderungen ist zu rechnen? Gibt es bereits rückgebaute Projekte, wo so etwas passierte?

Man muss da tatsächlich nicht so sehr aufpassen, wie viele denken. Eine trockene Lagerhalle reicht vollkommen aus, eine kontrollierte Raumlufüberwachung ist fast schon übertrieben. Solange das sauber in einer trockenen Halle gelagert wird, passiert da absolut nichts. Wir hatten mal ein Problem mit einem Baustoffhändler in Innsbruck. Dieser hat die Platten draußen, aber unter einem kleinen Vordach gelagert. Kann man hinterfragen, die Platten sind dann leicht gequollen, das war schon ein Problem. Aber fertige Module oder Wandscheiben in einer trockenen Halle, da passiert nichts.

Wenn bereits fertig vorinstallierte Lehm/Holzmodule per LKW an die Baustelle geliefert werden, muss ein besonderes Angemerkt auf etwas Bestimmtes gelegt werden? Wie sieht es mit der Transportfähigkeit der Produkte im bereits verbauten Zustand aus, bezüglich Bruchstellen oder Widerstandsfähigkeit während des Transportes?

Jetzt sind wir beim Thema angekommen, inwieweit wir im Modulbau mit Lehm sind und gehen können. Man muss sich überlegen, dass auch Stampflehm-Fertigteile durch die Gegend gefahren werden können. Da ist eine Rissthematik eher das Problem. Ich würde da vielleicht ein Beispiel nennen, das Solar Decathlon. Das ist ein weltweiter studentischer Wettbewerb, letztes Jahr war erstmals Deutschland das Austragungsland, besonders hier sind hauptsächlich Fachhochschulen beteiligt, nicht nur Universitäten. Das Thema war natürlich nachhaltiges Bauen. Die Top 10 der eingereichten Wettbewerbsunterlagen weltweit, soweit ich mich erinnern kann, werden dann ins Austragungsland eingeladen und bauen diese Projekte im realen Maßstab. Da ist einfach der eine Punkt, dass die Fachhochschulen einen weniger theoretischen Zugang haben als die Unis, und die Studierenden tatsächlich in der Lage sind, das Gebäude selbst zu errichten. Und dazu kommt die Lehmquote: 8 von 10 dieser Projekte haben mit unseren Produkten gebaut, was uns natürlich extrem stolz macht. Natürlich waren alle diese Projekte im Vorfertigungsgrad extrem hoch. Bei diesen Projekten haben auch wir tatsächlich auch das erste Mal, bis hin zur fertigen Yosi-Oberfläche, bei der Firma Kaufmann im Vorarlberg vorgefer-

tigt. Die haben das fertige Teil oder die fertigen Teile dann auf dem LKW von dort bis nach Wuppertal gefahren, ohne jegliche Probleme. Es ist natürlich immer sehr stark abhängig davon, wie eine Verfertigung in den Bauprozess integrierbar ist, und welche Gewerke wie ineinander greifen können. Darüber hinaus ist es natürlich wichtig, wie etwas ausgeschrieben wurde. Auch da ist es meistens so gesplittet, dass man nicht bis zum letzten Oberflächenfinish alles in eine Hand gibt. Ganz oft ist es so, dass der Holzbauer den Rahmen- oder Massivbau macht und dann noch die Lehmbauplatte drauf schraubt, das macht zum Beispiel die Zimmerei Hansmann in der Steiermark so. Dann wird das Ganze an die Baustelle geliefert, dann kommt der Stuckateur und verlegt die Armierung und verputzt das auf der Baustelle. Da spielt auch die Anschlussproblematik immer eine Rolle, es wird selten so genau geplant, dass im Nachhinein keine Steckdosen mehr hinmüssen, weil sie schon an den perfekten Platz geplant wurden. Dann sind da natürlich Übergänge der Bauteile, die danach sowieso bearbeitet werden müssen. Da stellt man sich natürlich die Frage, inwieweit ist die Vorfertigung sinnvoll. Zum heutigen Zeitpunkt lässt sich sagen, dass Anstrich und der letzten Feinputz am besten auf der Baustelle aufzutragen sind. Das ist aber im Fertighausbereich mit konventionellen Materialien grundsätzlich nicht anders.

Wie sieht das dann mit dem Ablauf aus? Die Lehmbauplatte ohne fertige Oberfläche kommt auf der Baustelle an. Was wäre ein richtiger Ablauf und Aufbau, um Fehler zu vermeiden?

Ja, da kommt noch ein kleiner Punkt dazu, der vielleicht auf den ersten Blick nicht allzu nachhaltig ist. Das Armierungsgewebe muss bei solchen Vorhaben aus Glasfaser sein. Flachs ist ein Naturfasergewebe, das kann auf solche Flächen die Zugfestigkeit nicht aufnehmen. Auf hundert Quadratmetern kann man Glück haben und es funktioniert, aber das ist nie garantiert und Ausfälle kommen vor. Des Weiteren muss man so ehrlich sein und sagen, dass das Naturgewebe das Vierfache kostet und somit bei 4€ pro Quadratmeter liegt, das ist im Trockenbau echt ausschlaggebend. Das letzte Bauvorhaben, welches wir mit Flachsgewebe und Lehmbauplatten im größeren Maßstab gemacht haben, war Meinklang in Pamhagen, das Weingut. Exponierte Lage, viel Wind, darunter ein Holzbau und viel Bewegung, das hat nicht so lange gehalten. Danach haben wir einfach beschlossen, dass wir dieses Produkt in solch einem Maßstab nicht mehr empfehlen können, das geht einfach nicht. Natürlich gibt es auf dieser Welt einige Architekten wie Andi Breuss, die sagen, dass das natürlich geht, aber wenn man alle paar Jahre mal ein Haus baut, und das in doch sehr kleinem Maßstab, dann kann das schon sein, dass das gut geht, aber das ist beim besten Willen nicht die Regel.

Auf wie viel Quadratmeter kann man dann das Naturgewebe verbauen, bis die Grenze der Zugfestigkeit erreicht ist?

Das gilt ab dem ersten Quadratmeter. Es geht da nicht um die Fläche, sondern um die Gewährleistung, die wir erbringen müssen und

wollen. Ich kann einfach nicht garantieren, dass das hält. Natürlich könnte man sagen, bis zu einer gewissen Größe lässt man es zu, die Regressansprüche auf hundert Quadratmetern sind natürlich nicht so groß wie auf ein paar tausend. Wir können das Flachgewebe nicht gut Gewissens freigeben, wir argumentieren damit, dass die Glasfaserbahnen beim Abbau wieder sortenrein getrennt werden können, da sie einfach aus der Wand herausgerissen werden können. Da Lehm wasserlöslich ist, kann man das Gitter abwaschen und so wie es ist beim nächsten Projekt wieder einsetzen. Dazu kommt die Dauer, welche für die Einarbeitung benötigt wird. Das Flachgewebe einzuarbeiten dauert im Vergleich zum Glasfasergewebe mindestens doppelt so lange, und das, was richtig teuer ist auf der Baustelle, ist die Arbeitszeit. Wenn es möglich ist, das Flachgewebe praxistauglich anbieten zu können, sind wir die ersten, die da wieder dabei sind, aber das sehe ich zum momentanen Zeitpunkt noch nicht.

Bezüglich des Themas der Decken, Boden und Dachfüllung. Da gibt es kaum Produkte am Markt, die den dortigen Einsatz von Zement ersetzen. Habt ihr was im Produktportfolio oder Empfehlungen?

Da gibt es wirklich nicht viel, das stimmt. Was wir ein wenig haben, sind Schüttungen, die beispielsweise bei Zwischendecken genutzt werden können. Lastabtragende sowie druckfeste Produkte hierfür haben wir jedoch nicht. Das ist ein Thema, dem wir uns dringend widmen müssen und werden. Das Thema ist tatsächlich schwierig, es gibt ein paar Produkte, welche aber sehr unerprobt sind. Um Flüssigestrich aus Lehm zu machen, muss da irgendein Fliesmittel beigefügt werden, sonst geht das gar nicht. Wir sind da solange dabei, solange es am Ende zu hundert Prozent trennbar ist, und das sind viele dieser Produkte einfach nicht. Bei Boden- und Deckenfüllungen stößt man tatsächlich an seine Grenzen, besonders bei Flüssigestrichen. Um solche Produkte voran zu bringen, braucht es zuallererst mal einen Markt, und dann Ressourcen, also Personal und Geld. Wir reden von meist sehr kleinen Firmen, die das nicht einfach mal so stemmen, so etwas zu entwickeln. So ein Trockenbauleitfaden kostet nun man seinen sechsstelligen Betrag, und der muss sich am Ende auch irgendwie rechnen. Das wäre gar nicht mal so ein schwieriges Thema, hätten wir die Zeit und die Kapazitäten, uns damit zu beschäftigen. Da sind einfach momentan so viele Dinge auf einmal, um die wir uns kümmern müssen.

Sieht man allgemein eine große Diskrepanz zwischen Deutschland und Österreich, was Baustoffe und Normierung angeht?

Ja, das ist wirklich eine problematische Geschichte. Deutschland ist nun einmal weltweit führend, was Praxistauglichkeit angeht. Das gilt auch für die Normierung neuer Baustoffe etc. Wir sind damit in Österreich, würde ich sagen, gute fünfzehn Jahre hinterher. Da müssen wir jetzt echt flott aufholen, weil gerade vor allem die Schweiz momentan riesige Schritte geht. Es gibt den Dachverband Lehm in Deutschland, der wurde damals mit einigen Firmen und uns gegrün-

det, als Verband, der die Interessen der Baustoffhersteller und des Baustoffes vertreten soll. Durch die Vielzahl der Handwerksbetriebe hat es sich dazu entwickelt, dass es sich mittlerweile dabei eher um einen Handverbund handelt. Das heißt, der Dachverband Lehm kümmert sich um das Handwerk, Schulungsthematiken und dergleichen, und der Industrieverband Lehmbaustoffe, der momentan genau aus drei Unternehmen besteht, kümmert sich um den ganzen Bereich des Einflussnehmens der Politik oder anders gesagt um die Lobbyarbeit. Weder das eine, noch das andere existiert in Österreich. Die Normen haben für einen riesigen Schub in Deutschland gesorgt, es geht hier nicht darum, irgendwen zu exkludieren, was immer die Befürchtung war in Deutschland, aber auch in Österreich. Es wurde befürchtet, dass die kleinen Unternehmen die Normen nicht erfüllen können. Das ist alles nicht eingetreten, ganz im Gegenteil sogar. Es hat lediglich dafür gesorgt, dass Planer und Handwerker Sicherheit haben in der Gewährleistung der Baustoffe. Hier in Österreich gibt es immer Ängste von irgendwelchen Beteiligten, dass der Lehm zu kommerzialisiert wird und das bremst einfach vieles aus.

Wie sieht es mit der Gewährleistung aus bei mehrmaligem Einbau, wer muss dafür haften, dass das Produkt auch bei mehrmaligem Einsatz noch voll funktionsfähig ist?

Das ist eine super spannende Frage, wie das am Ende ausgeht. Der grundsätzliche Baustoff Lehm dreht sich tausende Male im Kreis und wird weder besser noch schlechter, egal wie oft er eingesetzt wurde. Da muss aber auf jeden Fall diskutiert werden, inwieweit das praxistauglich ist. Ist das gewünschte die Wiederverwendung des Materials, oder ist es die Wiederverwertung des Materials zu hundert Prozent und das ohne Energieeinsatz. Das letztere ist an sich bei Lehm auch kein schlechter Ansatz. Mit Wasser kann alles getrennt werden und an der Luft getrocknet werden und schon kann ein neuer Baustoff daraus entstehen. Wir haben das jetzt ein paar Mal mit Versuchen getestet, das ein und dasselbe Produkt immer wieder auf- und abzubauen. Dazwischen wurde es mit Wasser wieder neu angerührt und wieder aufgetragen. Wir wollten herausfinden, inwieweit das in Bauprozesse integrierbar ist, sind hierbei aber noch nicht allzu weit. Rückbau und Rücknahme der Produkte sind immer eine große Diskussionsfrage. Wir haben Pilotprojekte mit einigen Unis gemacht, die haben uns den Lehm in Big Bags zurück geschickt, da sind dann irgendwo 10 Zigarettenstummel untergemischt. Ein einzelner Zigarettenstummel verseucht 500 Liter Wasser - warum sollte es dann nicht auch eine gewisse Menge Lehmbaustoffe verseuchen? Das kannst du mit Wasser nicht mehr rauswaschen. Das sind einige Fragen noch nicht ganz beantwortet.

Ein Thema, das für den Entwurf vielleicht noch wichtig ist: Man schraubt eine Lehmbauplatte an und verputzt diese danach. Heutzutage ist es noch etwas illosiersch anzunehmen, die Lehmbauplatte wieder rauszuschrauben und im nächsten Projekt wieder neu anzubringen. Das wird, wenn dann nur als fertiges Wandmodul funktionieren, als sortenreine Trennung und Rückführung als Baustoff, das

sehe ich momentan noch nicht ganz. Das ist aber nicht nur bei Lehm so, Gipskartonplatten kann man auch in keiner Weise wieder neu einbauen, das ist danach einfach Müll bzw. Gipsabfall. Jeder, der im Baubereich tätig ist, muss tunlichst darauf achten, wie er sein gesamtes Geschäftsmodell der zukünftigen Bauweise anpassen kann. Das Nachhaltigste ist ja im Endeffekt, nicht das dauernde Umbauen und Neubauen in nachhaltiger Bauweise, sondern das Gebäude, welches gut und wertig gebaut wurde, zu schaffen. Das steht dann einfach mal 300 Jahre und ist immer noch in top Zustand. Das ist alles noch sehr theoretisch, wir wissen nicht, was in 30 Jahren ist und auf uns zukommt. Alleine wenn man sich die Rücknahmegarantien anschaut, dann sind die auf Jahrzehnte geschlossen, aber wie lange hält sich überhaupt eine Firma, und wer nimmt das Zeug zurück, wenn es die Firma nicht mehr gibt, da sind viele Fragen offen. Wir haben in unseren Rücknahmegarantien die Preise des Rohstoffes runtergebrochen vom jeweiligen Tonnagenpreis, damit kann man wenig falsch machen. Aber es stimmt, da sind so viele Fragen unbeantwortet. Das wird letztendendes nur über eine Bilanzierung der Baustoffe und eine gewisse eingebrachte Wertigkeit wirtschaftlich rechenbar sein.

Es wurde im Gespräch eine neue Lehmbauplatte erwähnt, die momentan am Beginn der Marktreife ist und in Vorserie produziert wird, was kann man darüber bereits sagen?

Da muss ich einmal kurz ausholen: Wir haben 1996 die erste Lehm- bauplatte auf den weltweiten Markt gebracht. Eine recht leichte Lehm- bauplatte mit Schilfkern und Gewebe auf beiden Seiten, gar nicht so unkompliziert herzustellen. Die Platte wurde von der deutschen Bundesstiftung für Umwelt gefördert, und sie wird in Ko- operation mit einem Ziegelwerk hergestellt, um auf deren Infra- struktur zurückgreifen zu können. Als damals noch extrem kleines Unternehmen war das damals nicht anders umsetzbar. Wie man es damals eben gemacht hat, Ende der 90er Jahre. Klar haben wir ökologische Baustoffe hergestellt, aber damals war das gar keine Frage, dass die Platte mit Gas und Feuer trocken geblasen wird mit einem zehn Meter langen Ofen, in dem die Platte gebacken wird. Da kommt dann nach einer Minute Backzeit und aus einer sehr flüs- sigen Lehmmischung am Ende eine feste Platte raus. Kann man sich so grob vorstellen, wie viel Energie da eingesteckt werden muss. Die Platte wurde geliebt und gut verkauft, wir brauchten aber von der Nachhaltigkeit, aber auch Wirtschaftlichkeit nach den ganzen Krisen und dem momentanen Gaspreis ein Umdenken. Vor drei Jah- ren war uns als Firma klar, auch aufgrund der Zuverlässigkeit des Partnerbetriebs, wir brauchen dafür eine eigene Anlage. Wir müs- sen einfach mehr Produkte selber herstellen, da muss stark an der Kontrolle der Lieferketten gearbeitet werden, und wir können uns nun einmal am besten auf uns selbst verlassen, weil wir da die volle Kontrolle haben. Deswegen haben wir uns vor ein paar Jahren da- ran gemacht, eine neue und perfekte Platte herzustellen, die CO₂- technisch hervorragend ist und die von der Verarbeitung perfekt ist. All dies führte uns zur neuen Platte, die gesagt momentan in Vorserie produziert wird. Das Projekt ist ebenso von der Bundesstiftung für

Umwelt gefördert. Das Projekt hat natürlich wie jedes andere völlig die Kostenschätzung gesprengt, aber dafür haben wir etwas Tolles geschaffen. Wir verkaufen momentan die Vorserie, das sind etwa viertausend Quadratmeter. Nach den ersten EPD-Schätzungen kön- nen wir etwa 350g CO₂ binden (Quadratmeter oder Kubikmeter?), die Platte ist also aktiv klimapositiv. Aufgebaut ist die neue Platte mit einer Schicht Recyclingpappe auf der Rückseite, auf die der Lehm aufgebracht wird, gemischt mit verschiedenen Lehmgesteinskörnun- gen und Pflanzenfasern. Dann werden die Platten solar getrocknet. Danach werden sie geschliffen und zugeschnitten, palettiert und sind bereit für ihren Einsatz. Das ist ein extrem spannendes Produkt, das hoffentlich bald auch an die breite Masse herangetragen wer- den kann.

Bei welchem CO₂-Fußabdruck liegt denn die momentan produzier- te Platte?

Wir haben das nie erhoben, weil das vermutlich nicht allzu gut aus- gehen würde. Sie wurde bis vor kurzem gebacken, jetzt stellt sich uns die Frage, ob das Produkt nicht ganz eingestellt werden sollte. Die Nachfrage war nach wie vor da. Sie ist aufgrund der Ukrai- ne-Krise und dem damit einhergehenden Anstieg des Gaspreises einfach im Preis explodiert. Sie ist darum preislich, als auch von der Klimabilanz her nicht mehr marktauglich, und aufgrund unseres ökologischen Gewissens ist es auch nicht mehr wirklich vertretbar, so produziert zu werden. Alleine auf Grund des Energieeinsatzes liegen wir da bei vierzig bis fünfzig Euro pro Quadratmeter. Das ist zwar auf den ersten Blick echt ungünstig, andererseits zeigt es, dass energieintensive Baustoffe einfach nicht mehr zukunftsfähig sind; das ist doch eigentlich eine sehr schöne Erkenntnis. Außer na- türlich, man fördert das wieder immens und hält etwas am Leben, das längst tot geweiht ist und sein sollte. Es ist grundsätzlich recht einfach, man muss sich nur aus den sehr festen Fängen der Zement- und Ziegellobby befreien. Die Baubranche ist, um das abschließend festzuhalten, ein extrem politisches Thema, vor allem, da es immer so einen starken regionalen Fokus hat. Das Schließen dieser Betriebe, weil die Energiekosten zu unberechenbar sind, ist im Endeffekt nichts anderes, als Ausübung extremen politischen Drucks.

Das Konzept soll so gestaltet werden, dass es im österreichischen Kontext, aber auch im deutschen Kontext angewendet werden kann. Gibt es aus Ihrer Sicht da Probleme oder gravierende Unterschiede?

Wir haben Österreich immer ein wenig als Spielfeld genommen, um herausfinden zu können, was neues im Holzbau gemacht wird, insbesondere natürlich dann auch mit Holzfasernplatten im Innen- ausbau. Die Verbindung zu Holz, aber auch zu Holz-Lehmbau, ist einfach viel direkter und näher als in Deutschland. Es ist aber auch vieles möglich, da das Konzept öffentlicher Ausschreibungen in Österreich teilweise nicht so ernst genommen wird, wie es dies in Deutschland beispielsweise wird. Wir haben gerade erst ein gro- ßes Projekt verloren, für das extra noch Brechungsgrundlagen be-

schaffen wurden und ein Gutachten bezüglich Schallschutz ect. geschrieben wurde, weil ein polnischer Bauträger, der sich nicht mit der Ausschreibung beschäftigt hat und einfach nur billig war, sich nicht für die Gewährleistung interessiert oder für das, was in der Ausschreibung gefordert wurde. Wenn es in Deutschland bei einer Ausschreibungseinreichung keinerlei Zahlen zu den Produkten gibt, dann hat man damit schlichtweg keine Chance.

Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (Abteilung Bauforschung, Konstruktive Bauwerkssicherheit, Bau-normung)

Frank Ruckdäschel

Wohnungen sind knapp, und das vor allem in bayrischen Städten. Es wird jedoch weniger Wohnbau geschaffen, als gebraucht werden würde. Laut Bayrischem Landesamt für Statik liegt in den Städten München und Nürnberg der Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern so niedrig wie sonst nirgendwo in Bayern und dennoch sind es 80-85%. Ist das noch zeitgemäß, bzw. was halten Sie als Ministerium vom Konzept der Nachverdichtung im suburbanen Raum und in wie weit schmälert dies die Wohnqualität vor Ort ?

Das Thema ist ein irre weites Feld. Wenn man über Nachverdichtung nachdenkt, hat man einmal die Problematik mit den Eigentumsverhältnissen, heißt auf Grund von Dritten kann schlecht gebaut werden. Dazu kommt das Planungsrecht, welches regelt, wo gebaut werden darf. Die Hoheit der Bebauungspläne liegt bei der jeweiligen Gemeinde und Kommune. Diese sind dafür verantwortlich, dass entsprechende Baurecht zu schaffen. Als dritter Punkt wäre zu nennen, wie gebaut werden darf, hinsichtlich Themen von Brandschutz, Gesundheitsschutz, ausreichende Belichtungsverhältnisse und Abstandsflächen. Dies wird im Bauordnungsrecht geregelt. Allgemeine Lösungen dafür kann es schlecht geben. Als Beispiel wäre hier ein Neubau in München, am mittleren Ring, zu nennen. Hier wurde parallel zum Mittleren Ring ein neues Gebäude errichtet, wobei darauf geachtet wurde, dass lärmempfindliche Räume ausschließlich in denen, der Straße abgewandelten Zimmern geplant wurden. Dazu wurden Gebäudelücken geschlossen, sodass im Endeffekt weniger Schall in die ruhigen Gebiete dahinter eindringen kann. Konzepte wie diese können natürlich auf andere Gebiete, als auch Maßstäbe heruntergebrochen werden. Zu sagen Konzepte der Nachverdichtung funktionieren überall, ist jedoch ein schweres Argument.

Gibt es aus Sicht ihres Ministeriums bzw. des Bundeslandes Bayern den Willen in Zukunft den Einsatz von Holz und Lehm zu forcieren?

Es gibt diverse Förderprogramme, insbesondere für den Wohnungsbau, diese Förderungen gelten auch für Holzbauten. Holz und Nachhaltigkeit gleichzusetzen ist für uns schwierig zu vertreten. Das Thema, welches Gebäude das Nachhaltigste ist, kann ewig diskutiert werden. Wenn ich weaternutze, anstatt anzureißen und neu zu bauen, spart man große Mengen Emissionen ein. Um dies zu erleichtern, wurden im Bauordnungsrecht Erleichterungen dahingehend eingeführt. Wenn beispielsweise eine Tragstruktur weitergenutzt wird, und diese zu Wohnraum umgebaut wird, gibt es einige Erleichterungen. In unserem Sinne ist dies Förderung von Nachhaltigkeit, ohne dies mit einer expliziten Förderungen so zu bewerben. Wie bereits gesagt, die Frage welcher Baustoff der nachhaltigste ist, kann ewig diskutiert werden und es gibt keine klar definierte Antwort darauf. Es kommt immer darauf an, wie ein Baustoff verwendet wird. Wenn ich einen Stahlträger erneut als Träger einbaue, ist dies nachhaltiger, als einen neuen Stahlträger zu erzeugen oder den alten einzuschmelzen. Bei jedem Baustoff muss betrachtet werden, wie und an welcher Stelle dieser eingesetzt wird. Wir sprechen jetzt aber nur von der Herstellung des Bauwerks, es sind natürlich auch die Betriebskosten, also die Nachhaltigkeit des Betriebs, sowie die Umnutzbarkeit eines Gebäudes entscheidend, für dessen Nachhaltigkeit. Das nachhaltigste Gebäude, welches nach 20 Jahren wieder abgerissen werden muss, ist auch nicht nachhaltig. Durch das Ministerium soll Langlebigkeit und lange Nutzbarkeit von Bauwerken gefördert werden. Wir tun uns jedoch schwer zu sagen, dass Nachhaltigkeit als solches gefördert wird, da dafür der nicht wirklich klare Begriff der Nachhaltigkeit einer genaueren Definition bedürfen würde.

Laut Bayrischem Staatsministerium für Wirtschaft, Landentwicklung und Energie gibt es in Bayern etwa 6,6 Millionen Wohnungen. Jedes Jahr kommen im Schnitt 20.000 hinzu. So ist aber der Holzbauteil der Wohnungen von 2006 mit 14% auf 2021 24,1% angestiegen. Stahlbeton ist im selben Zeitraum ebenso um mehr als 2% gewachsen. Der Großteil der Gebäude wird mit 56% jedoch weiterhin aus Ziegeln gebaut. Wie bewerten Sie diese Entwicklung in Hinblick auf das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 ?

Die Betrachtungsweise ob Ziegel nachhaltig sind, ist vielschichtig. Ob ein Ziegel nachhaltig ist oder nicht, kommt stark darauf an, wer die Betrachtung anstellt.

Der Einsatz von grauer Energie, sowie der Ausstoß des CO₂, welche bei der Produktion von Ziegeln emittiert wird, ist aber doch unbestreitbar höher, als bei der Herstellung vieler andere Materialien, wie zum Beispiel Holz. Auch wenn der Ziegel eine recht lange Lebenszyklusdauer hat, wird bei der Produktion deutlich mehr CO₂ ausgestoßen, als bei andere Baustoffen mit der selben Lebensdauer. Es ist inzwischen auch öffentlich kommuniziert worden, dass einige Ziegelhersteller bereits Kraft-Wärme-Kopplung einsetzen. Einige

Ziegelhersteller produzieren ihre Energie so, dass diese als CO₂-neutral betrachtet oder deklariert werden kann. Auf diesem Weg wird von den Ziegel herstellenden Firmen versucht, das Produkt nachhaltig zu machen. Den Ziegel als Produkt zu verteufeln, nur weil nicht alle Hersteller jetzt so agieren, würde ich mit großer Vorsicht betrachten. Allgemein einen Baustoff als nachhaltig einzustufen, ihn als solches zu betrachten und darüber Aussagen zu treffen, damit sind wir sehr vorsichtig. Es kommt hier immer sehr auf die individuellen Einzelfälle an. Auch wenn das Argument gebracht wurde, die Masse der Neubauten wäre aus Ziegel und Ziegel wäre schlecht; dieses Argument empfinde ich anders, Ziegel muss nicht schlecht sein.

Ich habe mir viele Studien bezüglich Wohnbau, sowie vermeidlich nachhaltigem Bauen, als auch Ihre Konzepte für experimentellen Wohnbau durchgesehen. Ein Thema, welches meiner Meinung nach sehr wenig angesprochen wird ist die Um- und Weiternutzung von Systemen oder der mehrmalige Aufbau in verschiedenen Konstellationen. Von Vergaberecht bis hin zu rechtlicher Haftung sind bei mehrmaligem Aufbau viele Dinge anders zu betrachten. Ist dieses Thema ein Diskussionspunkt in ihrem Ministerium ?

Ja, aber noch nichts was bereits spruchreif wäre. Das Thema ist wichtig, und selbstverständlich haben wir das auf dem Schirm. Es gibt bauvertraglichen Aspekt, gerade wichtig im öffentlichen Bau, dass Baustoffe als neu gelten, auch wenn sie gebraucht sind, wenn sie für den jeweiligen Einsatzzweck noch geeignet sind. Die Frage ist ja, kann jemand der ein Bauwerk mit gebrauchten Materialien herstellt, guten Gewissens schlafen dahingehend, ob er damit auch ein sicheres Bauwerk hergestellt hat. Das andere Thema ist natürlich der Einkauf. Wenn ich etwas kaufe, gehe ich ganz grundsätzlich davon aus, dass es sich um neue Ware handelt und nicht um gebrauchtes. Das wäre eine zivilrechtliche Frage.

Es gibt sehr diverse Regeln, je nachdem in welchem Bundesland gebaut werden soll. Nach meinen Informationen, sind Holzhäuser über 13 Meter Höhe lediglich in Berlin, Hamburg und Baden Württemberg erlaubt. Wie kommt es zu so einer Schieflage und ist es nicht im Endeffekt irrelevant wo das Gebäude sich befindet, brennt das Holz dort anders ? Beispielsweise ist in der Baden-Württembergischen LBO das „Kapselkriterium“ für mehrgeschossige Holzbauten seit 2015 keine zwingende Anforderung mehr. Unter bestimmten Umständen müssen tragende und aussteifende Holzoberflächen nicht mehr „gekapselt“ werden – sie können also sichtbar bleiben. Möglich wird das, durch moderne Holz-Bauteile für Wand und Decke, die auch ohne nicht brennbare Bekleidung die geforderte Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten erfüllen. Wie kann es zu diesen Unterschieden kommen und ist in Bayern eine Gesetzesanpassung geplant, vor allem insofern Kompensationsmaßnahmen geplant werden ?

Nein, das Holz brennt dort natürlich nicht anders. Wenn Sie sagen

Ihr Konzept soll in Nürnberg umgesetzt werden, ist das ein wunderschönes Beispiel für Holzbau, da dort ein neuer Holzbau eines Kindergartens in der Bauphase abgebrannt ist. Wenn man es mit etwas Humor betrachtet, wurden nach dem Löschen die Trümmer des nachhaltigen Holzbaus auf die Deponie gefahren, da die Schwelbrände in den Holzbauteilen nicht vor Ort löscher waren. Wie gebaut werden darf, also das gesamte Bauordnungsrecht, ist Ländersache. Wir haben aus gutem Grund in Deutschland einen Föderalismus, dieser bewirkt, dass alle Länder sich regelmäßig zusammensetzen, um sich möglichst anzupassen, dies ist aber eben nicht verpflichtend. Gleichzeitig gibt es hier natürlich schlichtweg politische Unterschiede in der Mehrheitsverteilung. Das bedeutet auch, es regieren unterschiedliche Parteien, mit unterschiedlichen Interessen und Schwerpunkten. Dementsprechend wird vermutlich Holzbau in Ländern wie Baden-Württemberg mehr zugelassen oder eben in anderen Bundesländern nicht. Wenn man sich in die Regelung, die für Baden-Württemberg gilt einliest, findet man aber ebenso die Fußnote, das sollte so gebaut werden, hinsichtlich Lösbarkeit und Rauchentwicklung, Probleme auftauchen können. Wenn es um das Thema Rauch geht, ist man schnell beim Thema Gefährdung von Gesundheit und Leben. Dazu kommt das Thema der Lösbarkeit und natürlich politische Überzeugung auf der einen Seite und die Interessen und Belange der Feuerwehrleute auf der anderen Seite. Entsprechend der Lautstärke dieser jeweiligen Stimmen, entstehen gewisse Unterschiede.

Das beutet daraus Schlussfolgernd, sollte der Holzbau gekapselt werden, also nicht dem Baden-Württembergischem Vorbild folgend, sondern den zulässigen Richtlinien Bayerns, und das Holz durch nicht brennbare Stoffe von einer direkten Brandeinwirkung abgehalten werden, kann dennoch ein gefährlicher Schwelbrand in der Wand entstehen ?

Das was in Fall in Nürnberg passierte, war ein Gebäude im Bau. Von daher war da sehr viel Holz, aber kein Brandschutz. Von daher möchte ich das Beispiel Nürnbergs nicht als Standard Szenario heranziehen. Das, was Baden-Württemberg derzeit zulässt ist ein Weg, den wir momentan in Bayern nicht mitgehen wollen, vor allem aus den bereits genannten Brandschutzproblemen.

Ich bin bei der Recherche über die Muster-Richtlinie für brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise bezüglich Gebäudeklasse vier gestolpert. Das zu erzeugende Gebäude wird sich bis hin zur Gebäudeklasse vier abspielen. Laut dieser Richtlinie, sind hochfeuerhemmende Decken an ihrer Unterseite mit einer Brandschutzbekleidung nach Abschnitt 3.2 herzustellen. Dies gilt als erfüllt, bei Verwendung eines auf mindestens 20 mm dicken, nichtbrennbaren Dämmstoffen verlegten, mindestens 30 mm dicken schwimmenden Estrich aus nichtbrennbaren Baustoffen oder mehrlagigen Trockenestrichelementen aus insgesamt mindestens 25 mm Dicke. Explizit werden hier auch Gipsfaser und Gipskartonplatten erwähnt. Durch meinen letztjährigen Be-

such in der schwarzen Pumpe, einem Kohlekraftwerk in der Lausitz, wurde mir die enge Korrelation zwischen Gips, und dem Preis den man dafür zahlt, bewusst. Das es sich ja in diesem Fall um ein Abfallprodukt des Verbrennungsprozesses handelt, wird, sobald diese Werke nicht mehr benötigt werden, der Gips mutmaßlich knapper und deutlich teuer. Gibt es ein nachhaltiges Material, dass diese Funktion erfüllen kann ?

Was immer infrage kommt, ist Zement, mit den damit einhergehenden Schwierigkeiten. Momentan würde mir hier spontan kein Material einfallen, welches dafür geeignet ist. Der Problematik des Gips bin ich mir bewusst, aber wenn ich etwas Kapseln möchte und benötige dafür einen nichtbrennbaren Stoff, hilft mir auch nichts was einen hohen Feuerwiderstand hat, sondern es darf schlichtweg nicht brennbar sein.

Zu Wänden und Wandscheiben: hochfeuerhemmende Wände und Wandscheiben sind mit allseitiger Brandschutzbekleidung nach Abschnitt 3.2 herzustellen. Sie sind mit umlaufenden Rahmenhölzern und einer formschlüssig verlegten, hohlraumfüllenden Dämmung aus Dämmstoffen nach Abschnitt 3.1.2 (also REI60) auszuführen. Das heißt aber auch, das in Wänden auf keinen Fall brennbaren Dämmungen, wie etwa Holzfaserplatten verwendet werden darf ?

Da geht es wieder um das Thema, was darf man in welchem Bundesland. Bei uns ist dies nicht erlaubt, da wird es von der Seite der Löschmöglichkeit her betrachtet. Wenn ich durch die Holzwolle Dämmung verursachte Schwelbrände habe, innerhalb der Wände, tue ich mir schwer diese in irgendeiner Art unter Kontrolle zu bringen oder gelöscht zu bekommen. Die Versicherungssummen für Holzbauten sind auch andere und höher, als die für nicht mit Holz gebauten Gebäude, und das nicht ohne Grund. Sollte beispielsweise ein Ziegelbau in Brand geraten, kann man oftmals viele der Ziegel und die Substanz nach dem Brand noch verwenden, bei Holz sieht das nicht ganz so günstig aus. Wenn man jetzt hier noch brennbare Dämmungen zulassen würde, wird man dem Feuer noch schlechter her.

Ich stelle diese Frage, da ich bei der Recherche über den Neubau der Förderschule in Viersen, als auch über den, in den 2000er Jahren in Bonn errichteten UN Sitz, gestolpert bin. Beide wurden im Innenraum großflächig mit Homatherm-Zellulose-Dämmplatten gedämmt.

Dämmung kann auch mit brennbaren Stoffen ausgeführt werden, jedoch keine Raum abschließenden Wandscheiben oder dergleichen. Ich bekomme sicher einen Raumabschluss auch mit einer brennbaren Dämmung hin, aber rein rechtlich und von der Löscharkeit her, ist es einfach nicht realistisch.

Unter Punkt 3.3.4 Stützen und Träger wird erklärt, dass Stützen und Träger mit allseitiger Brandschutzbekleidung der Klasse hochfeuer-

hemmend nach Abschnitt 3.2 herzustellen sind. In diesem Zusammenhang stellt sich natürlich die Frage, sind Lehmbauplatten ein hochfeuerhemmendes Material, und somit ein Ersatz für die Kapselung mit Gipskartonplatten ?

Mir würde spontan kein Fall in den Sinn kommen, bei dem es so ausgeführt wurde. Wir realisieren im Endeffekt über eine vorhabengebundene Baugenehmigung alles, was vertretbar ist. Im Zweifelsfall wird so etwas als Prototyp gebaut und im Ofen, beziehungsweise unter Brandeinwirkung, getestet. Dann wird geschaut, wie es bei solch einer Beflammung mit genormter Temperaturkurve reagiert. Wenn bei diesem Einzelnachweis herauskommen würde, dass der Lehm die erforderlichen Grenzwerte einhält, dann kann das im Einzelfall so durchgeführt werden.

Das bedeutet, sollte ein Lehmwerkstoff die geforderten Grenzwerte einhalten, stellt dessen Einsatz kein Problem dar ?

Ich würde nicht so weit gehen wollen, dass ich sagen würde, es sei kein Problem das Gebäude dann so zu bauen. Im Endeffekt ist es ja so, wenn eine Regel sagt, es muss so gemacht werden und Sie wollen es Partout anders machen, geht das alles, zur Not über eine vorhabenbezogene Baugenehmigung. Jetzt müssen Sie mich nur noch überzeugen, dass das von Ihnen vorgeschlagene Material das, was in der Regel gefordert ist, auch erfüllen kann. Wenn es keinen allgemeinen Nachweis gibt, geht es immer über einen Einzelnachweis.

Glauben Sie, dass Holz in Kombination mit Lehm mehr Anwendung im Mehrgeschossbau findet? Speziell im Hinblick auf die Verwendung des Materials im urbanen und suburbanen Raum um damit Neubauten zu Nachverdichtungszwecken zu erzeugen ?

Es ist nichts gegen den Einsatz von Lehm einzuwenden, wenn man weiß wie damit gebaut werden sollte. Es gibt in diesem Kontext ja einige Aktivitäten, bis zur Normung und Ablösung der alten Lehmbauregel. In dieser neuen Regel stehen dann auch die Anwendungsfälle drinnen, wie und wo und vor allem unter welchen Bedingungen das Material eingesetzt werden darf. Mit besonderem Hinblick auf problematische Feuchtigkeitssituationen ist dies natürlich interessant. Die andere Geschichte ist, hat man einen Bauherren der den Willen und das nötige Budget hat, so etwas auszuprobieren. Ein Bauherr, der vielleicht öfter baut und der ein gewisses Maß an Erfahrung an den Tag legt, dann gerne. Eine weitere Frage ist natürlich, für wen gebaut wird. Wenn man an einen Gemeindebau denkt, könnte es vielleicht sein, dass man die ein oder andere Kundschaft mit dabei hat, die mit dem Baustoff nicht vertraut ist, und nicht weiß wie damit umzugehen ist. Wenn es um kirchliche Bauherren geht, die das Ganze vielleicht für ein Seminargebäude nutzen, dann sehr gerne. Das ist aber eher eine persönliche Meinung, bei uns werden alle Bauträger und Bauanträge gleich gestellt, wir können es nicht dem einen erlauben und dem anderen nicht. Niemand darf hier ohne

Grund ungleich behandelt werden. Die Entscheidung wie gebaut wird, trifft immer noch der Bauherr. Wenn man sich in seine private Situation hineindenkt, ich möchte mir meinen Wohnraum realisieren, kommt man wahrscheinlich deutlich schneller zur konventionellen Wahl, weil damit bereits viele Menschen glücklich geworden sind. Das Geld, welches für mich ein Vermögen darstellt, muss in diesem Fall natürlich seinen Zweck erfüllen und mich mein Leben lang behausen. In diesem Fall dann zu experimentieren, ist oft nicht das, was gewollt ist. Hier geht es aber wiederum nicht darum, dass der Staat sagen würde, dass dies nicht erlaubt ist.

Wenn man jedoch für diese Experimentierfreudigkeit mit den Umkosten für diverse Einzelnachweise bestraft wird, schmälert das natürlich die Attraktivität des Baustoffes oder sehen Sie das anders ?

Einerseits ist ein Einzelnachweis nichts, was in einem Baubudget wirklich ins Gewicht fällt. Andererseits kommt dazu dann die druckfrische Norm, die als technische Regel für den Baubetrieb eingesetzt werden wird, und sich in den technischen Baubestimmungen wiederfinden wird. Hierdurch wird das ganze Thema noch einmal stark vereinfacht. Ich würde den Lehmbau nicht als etwas beschreiben, was durch staatliche Vorgaben irre teuer wird. Man muss beim Lehm einfach wissen was man tut, daran scheitert es leider zu oft.

Können Sie abschätzen wie oft Projekte zur Einreichung gelangen, welche aus Holz bzw. Lehm gebaut sind?

Beim Holz ist es schon einiges, beim Lehm ist es noch sehr überschaubar. Wobei da gerade durch die neue Lehmbauregeln, viel im Umschwung ist. Man konnte schon lange bis zu zwei Geschosse mit Lehm errichten, ohne dass es überhaupt durch unser Amt durchmusste. Meine persönliche Beobachtung ist, dass Lehm vor allem auch durch verstärkte Medienpräsenz einen höheren Bekanntheitsgrad erreicht. Damit wird das Interesse bei gewissem Bauherren mit der Ideologie des natürlichen Wohnens, auf jeden Fall geweckt.

Die neue Regelung zu Lehmbauten ist, so wie ich Sie verstanden habe, jedoch noch nicht in Kraft ?

Es gibt Normen, und es gibt bayrische technische Baubestimmungen. Die bayrischen technischen Baubestimmungen basieren auf Musterbaubestimmungen des Bundes. Wenn eine neue Norm veröffentlicht wird, liegt das beim Deutschen Institut für Bautechnik. Die machen dann einen Entwurf für die Fortschreibung der Musterverwaltungsvorschrift, welche wiederum bei der EU vorgelegt werden muss. Dann wird diese in Deutschland allgemein eingeführt. Jedoch haben wir, wie bereits erwähnt, in Deutschland den Föderalismus. Sobald sich also alle Bundesländer damit befasst haben und das bei der EU geprüft wurde, geht einiges an Zeit ins Land. Zulasten der Geschwindigkeit, aber zugunsten der Anpassung der Bundesländer untereinander, dauert das seine Zeit.

Aber betrachtet man den Holzbau, sind hier die Regeln auch in jedem Bundesland teils gravierend unterschiedlich. Ich gehe eher davon aus, dass die Lehmbauregeln nicht in jedem Bundesland anders sein werden. Dazu steht der Lehmbau politisch nicht genügend im Licht, wie es beim Holzbau der Fall ist. Anders gesagt, die Politik hat die Scheinwerfer noch nicht auf den Lehmbau gerichtet und es ist weit weniger politisiert.

In einem kurzen Satz: Wie schätzen Sie die Potenziale einer komplett wiederverwendbaren Architektur aus einem Holz-Lehm Modulsystem ein.

Bauordnungsrechtlich bis zu einer gewissen Größe beherrschbar, möglicherweise für ausgewählte Anwendungsfälle interessant.

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 **Suffizient bauen**
<https://www.postwachstum.de/suffizienz-im-gebäudebereich-20230517> [aufgerufen am 01.02.2024]
- Abbildung 2 **Die Entwicklung des Anthropozäns 1 von 2**
Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; Jovis Verlag; 2021; Seite 16: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 3 **Die Entwicklung des Anthropozäns 2 von 2**
Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; Jovis Verlag; 2021; Seite 16: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 4 **Fertiggestellte Wohnungen**
https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/_inhalt.html [aufgerufen am 12.09.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 5 **Entwicklung der Wohnpraxis und Haushaltsgröße**
Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; Jovis Verlag; 2021; Seite 30: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 6 **Verteilung der Körperhöhe erwachsener Männer**
Jocher, Thomas, et al. Raumpilot : Grundlagen / [Konzeption, Inhalt u. Gestaltung] Thomas Jocher ; Sigrid Loch. 3., unveränd. Aufl., Krämer, 2014, Seite 14: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 7 **Barrierfreie Bewegungsflächen nach DIN 18040**
Jocher, Thomas, et al. Raumpilot : Grundlagen / [Konzeption, Inhalt u. Gestaltung] Thomas Jocher ; Sigrid Loch. 3., unveränd. Aufl., Krämer, 2014, Seite 46: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 8 **Urbane und ländliche Weltbevölkerung mit Prognose bis 2050**
Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; Jovis Verlag; 2021; Seite 23: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 9 **Arten der Nachverdichtung**
Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 34 [online] available: https://www.tu-darmstadt.de/media/daa_responsive_design/01_die_universitaet_medien/aktuelles_6/pressemitteilungen/2019_3/Tichelmann_Deutschlandstudie_2019.pdf [aufgerufen am 11.12.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 10 **Bevölkerungswachstum und Wohnungsbauprogramme**
proholz; Zuschnitt 71; 2018; Seite 3 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-71> [aufgerufen am 10.09.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak

- Abbildung 11 **1 Tonne CO₂**
proholz; Zuschnitt 24; 2009; Seite 2 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-24> [aufgerufen am 03.08.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 12 **CO₂-Konzentration**
proholz; Zuschnitt 24; 2009; Seite 5 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-24> [aufgerufen am 03.08.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 13 **Nachhaltige Entwicklung**
proholz; Zuschnitt 24; 2009; Seite 4 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-24> [aufgerufen am 03.08.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 14 **Entwicklung der Treibhausgasemissionen**
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands#nationale-treibhausgasminderungsziele-und-deren-umsetzung> [aufgerufen am 04.12.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 15 **Bauabfälle auf Gipsbasis**
<https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-13.pdf> [aufgerufen am 06.12.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 16 **biotischer und technischer Kreislauf**
Hillebrandt, Annette, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021. Seite 60: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 17 **Urban Mining Prinzip**
<https://urban-mining-index.de> [aufgerufen am 09.10.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 18 **Größenvergleich RFID-Chip mit Münze**
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03772063.2019.1691061> [aufgerufen am 10.11.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 19 **Holzvorrat in Deutschland**
Kaufmann, Hermann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage, Detail Business Information, 2022. Seite 16: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 20 **Holzwachstum**
Steiger, Ludwig, et al. Holzbau. 3. Auflage, Birkhäuser, 2020, Seite 11: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 21 **Holzfeuchte**
Steiger, Ludwig, et al. Holzbau. 3. Auflage, Birkhäuser, 2020, Seite 11: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 22 **Holzfaserrichtungen**
Steiger, Ludwig, et al. Holzbau. 3. Auflage, Birkhäuser, 2020, Seite 10: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 23 **Schnittarten**
Steiger, Ludwig, et al. Holzbau. 3. Auflage, Birkhäuser, 2020, Seite 13: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 24 **Einschnittarten bei Konstruktionsvollholz**
Lückmann, Rudolf. Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, WEKA, 2018, Seite 22: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 25 **Brettschichtholzquerschnitte**
Lückmann, Rudolf. Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, WEKA, 2018, Seite 24: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 26 **Strukturholzbauteile**
Kaufmann, Hermann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage, Detail Business Information, 2022. Seite 44: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 27 **Verwendung von Lehmstoffen**
Dachverband Lehm e.V.; Verbraucherinformation; 2014; Seite 6 [online] available: https://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_verbraucherinfo_de.pdf [aufgerufen am 22.01.2024]: überarbeitet von Maximilian Flassak

- Abbildung 28 **Erzeugung einer Stampflehmwand**
<https://www.dachverband-lehm.de/lehmbau/techniken-tragende-waende-aus-lehm> [aufgerufen am 09.12.2023]: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 29 **Geprüfte Innenwandaufbauten**
Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 38 [online] available: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleifaden_Online-Export_12-2023_web.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 30 **Brandschutzanforderung Dämmung**
<https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/baustoffe-bauteile/waerme-daemmverbundsysteme-4538025> [aufgerufen am 13.12.2023]: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 31 **Brandschutz in Gebäudeklasse vier**
<https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/brandschutz/gebäudeklassen-4392547> [aufgerufen am 17.11.2023]: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 32 **Brandschutzanforderungen diverser Länder**
proholz; Zuschnitt 23; 2009; Seite 20 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-33> [aufgerufen am 05.01.2024]: überarbeitet von Maximilian Flassak
- Abbildung 33 **Collegium Academicum Außenansicht**
dgi2023; Press Kit Info zu dgi223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler
- Abbildung 34 **Collegium Academicum Hofansicht**
dgi2023; Press Kit Info zu dgi223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler
- Abbildung 35 **Collegium Academicum Innenansicht**
dgi2023; Press Kit Info zu dgi223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler
- Abbildung 36 **Collegium Academicum Grundriss 2.OG**
dgi2023; Press Kit Info zu dgi223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler
- Abbildung 37 **Erdgeschosszone Holzwohnhaus Hummelkaserne**
<https://www.sps-architekten.at/projekte.html> [aufgerufen am 10.12.2023]
- Abbildung 38 **Außenansicht Holzwohnhaus Hummelkaserne**
<https://www.sps-architekten.at/projekte.html> [aufgerufen am 10.12.2023]
- Abbildung 39 **Schnitt Holzwohnhaus Hummelkaserne**
<https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]
- Abbildung 40 **Regelgeschoss Holzwohnhaus Hummelkaserne**
<https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]
- Abbildung 41 **Außenansicht Green Solution House 2.0**
<https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]
- Abbildung 42 **Dachdraufsicht Green Solution House 2.0**
<https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]
- Abbildung 43 **Ansicht und Schnitt Green Solution House 2.0**
<https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]
- Abbildung 44 **Grundriss 2.OG Green Solution House 2.0**
<https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]
- Abbildung 45 **Hortus Rendering Außenansicht**
<https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/#bibliography> [aufgerufen am 20.12.2023]
- Abbildung 46 **Hortus Rendering Innenhof**
<https://www.hochparterre.ch/nachrichten/themenfokus/biodiversitaet-messen> [aufgerufen am 21.12.2023]

Abbildung 47 **Hortus Stützenraster mitsamt Kernen und Innenhof**
<https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/#bibliography> [aufgerufen am 20.12.2023]

Abbildung 48 **Hortus Schnitt**
<https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/#bibliography> [aufgerufen am 20.12.2023]

Abbildung 49 **Hortus Schnittdetail**
<https://constructive-disobedience.com/die-holz-lehm-decke-und-hortus/> [aufgerufen am 21.12.2023]

Abbildung 50 **Stufen des Transports von Bauteilen**
Kaufmann, Hermann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage, Detail Business Information, 2022: überarbeitet von Maximilian Flassak

Abbildung 51 **Mögliche Freiflächen im Holzbau**
proholz; Zuschnitt 86; 2018; Seite 7 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-24> [aufgerufen am 23.11.2023] überarbeitet von Maximilian Flassak

Abbildung 52 **Sonnenstunden pro Jahr**
Jocher, Thomas, Thomas Jocher ; Sigrid Loch et al. Raumpilot : Grundlagen / [Konzeption, Inhalt u. Gestaltung]. 3., unveränd. Aufl., Krämer, 2014, Seite 144, überarbeitet von Maximilian Flassak

Abbildung 53 **Tageslicht in Innenräumen nach DIN EN 17037**
<https://www.dabonline.de/2021/01/28/tageslicht-in-gebaeuden-innenraeume-neue-norm-din-en-17037/> [aufgerufen am 23.01.2024] überarbeitet von Maximilian Flassak

Abbildung 54 **Belichtungsberechnung**
<https://www.velux.com/what-we-do/digital-tools/daylight-visualizer> [aufgerufen am 18.01.2024] überarbeitet von Maximilian Flassak

Abbildung 55 **Temperaturverläufe**
<http://www.thesim.at/3d/thesim.html?v=1.10> [aufgerufen am 20.02.2024] überarbeitet von Maximilian Flassak

Abbildung 56 **3D Darstellung kritischer Raum**
<http://www.thesim.at/3d/thesim.html?v=1.10> [aufgerufen am 20.02.2024] überarbeitet von Maximilian Flassak

Quellenverzeichnis

- 1 Fest, Schneider, Zirkuläres Bauen – Status quo und Perspektiven; 2023 [online] available: <https://www.nbau.org/2023/10/18/zirkulaeres-bauen-status-quo-und-perspektiven/> [aufgerufen am 04.12.2023]
- 2 Bundesamt für Umweltschutz; Holzbau vs. Massivbau - Ein umfassender Vergleich zweier Bauweisen im Zusammenhang mit dem SNBS Standard; 2015 [online] available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_10_29_texte_192_2020_potenziale_von_bauen_mit_holz_aktualisiert.pdf [aufgerufen am 12.07.2023]
- 3 Umweltbundesamt; Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen, Klimaanpassung in der räumlichen Planung; 2020; Seite 166
- 4 Umweltbundesamt; Abfallaufkommen im Bauwesen; 2023 [online] available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfall> [aufgerufen am 12.07.2023]
- 5 Bleasdale; Immer besser, immer schneller, immer mehr; 2023 [online] available: <https://www.geo.de/magazine/geo-kompakt/1628-rtkl-burnout-leseprobe-immer-besser-immer-schneller-immer-mehr> [aufgerufen am 01.12.2023]
- 6 Wortbedeutung Leben und Leben lassen; 2023 [online] available: https://www.wortbedeutung.info/leben_und_leben_lassen/ [aufgerufen am 14.11.2023]
- 7 Umweltbundesamt, Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen, Klimaanpassung in der räumlichen Planung; 2020; Seite 167 [online] available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/klimaanpassung_in_der_raeumlichen_planung_praxishilfe_02-2020.pdf [aufgerufen am 03.12.2023]
- 8 Umweltbundesamt, Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen, Klimaanpassung in der räumlichen Planung; 2020; Seite 166 [online] available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/klimaanpassung_in_der_raeumlichen_planung_praxishilfe_02-2020.pdf [aufgerufen am 03.12.2023]
- 9 Hans Böckler Stiftung, Wohnungsnot in Deutschland; 2023 [online] available: <https://www.boeckler.de/de/auf-einen-blick-17945-20782.htm> [aufgerufen am 11.11.2023]
- 10 Tagesschau; So schwer ist die Wohnungskrise; 2023 [online] available: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/immobilienmarkt-ueberblick-wohngipfel-100.html> [aufgerufen am 11.11.2023]
- 11 Statistisches Bundesamt; Pressemitteilung Nr. 041; 2023 [online] available: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/06/PD23_N041_31.html#:~:text=WIESBADEN-In der Bundesrepublik Deutschland,der Jahre 1950 bis 2022 [aufgerufen am 11.11.2023]
- 12 Umweltbundesamt; Wohnfläche; 2023 [online] available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche#zahl-der-wohnungen-gestiegen> [aufgerufen am 08.09.2023]
- 13 Statistisches Bundesamt; Pressemitteilung Nr. 259; 2022 [online] available: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_259_227.html#:~:text=Bezogen auf die Gesamtbevölkerung zum,49,7 % waren Frauen.&text=Behinderungen bestehen vergleichsweise selten seit,meist erst im fortgeschrittenen Alter [aufgerufen am 07.12.2023]
- 14 Bundestag; Grundgesetze; 2023; [online] available: <https://www.bundestag.de/parlament/aufgaben/rechtsgrundlagen/grundgesetz> [aufgerufen am 07.12.2023]

- 15 Jocher, Thomas, Thomas Jocher ; Sigrid Loch et al. Raumpilot : Grundlagen / [Konzeption, Inhalt u. Gestaltung]. 3., unveränd. Aufl., Krämer, 2014, Seite 36
- 16 Jocher, Thomas, Thomas Jocher ; Sigrid Loch et al. Raumpilot : Grundlagen / [Konzeption, Inhalt u. Gestaltung]. 3., unveränd. Aufl., Krämer, 2014, Seite 13
- 17 Jocher, Thomas, Thomas Jocher ; Sigrid Loch et al. Raumpilot : Grundlagen / [Konzeption, Inhalt u. Gestaltung]. 3., unveränd. Aufl., Krämer, 2014, Seite 14
- 18 Deutsches Institut für Normung; Körpermaße des Menschen; Werte; Anwendung von Körpermaßen in der Praxis; DIN 33402-2 Beiblatt 1:1984-10; Seite 1
- 19 Jocher, Thomas, Thomas Jocher ; Sigrid Loch et al. Raumpilot : Grundlagen / [Konzeption, Inhalt u. Gestaltung]. 3., unveränd. Aufl., Krämer, 2014, Seite 39
- 20 Deutsches Institut für Normung; DIN 18025 Teil 1; 1992 [online] available: <https://nullbarriere.de/din18024-2.htm> [aufgerufen am 13.12.2023]
- 21 Deutsches Institut für Normung; Barrierefreies Bauen – Öffentlich zugängliche Gebäude und Arbeitsstätten – Planungsgrundlagen; DIN 18024-2; 1996; Seite 3 [online] available: <https://nullbarriere.de/din18024-2.htm> [aufgerufen am 13.12.2023]
- 22 Deutsches Institut für Normung; DIN 18025 Teil 2; 1996 [online] available: https://www.umwelt-online.de/recht/bau/din/18025_2ges.htm [aufgerufen am 02.01.2024]
- 23 Deutsches Institut für Normung; DIN 18024-2; 1992[online] available: <https://www.beuth.de/de/norm/din-18024-2/2859764>[aufgerufen am 02.01.2024]
- 24 United Nations; Ziele für nachhaltige Entwicklung; 2023; Seite 34 [online] available: https://www.un.org/Depts/german/millennium/SDG_Bericht_2023.pdf [aufgerufen am 12.10.2023]
- 25 Statistisches Bundesamt; Urbanisierung in Deutschland; 2023 [online] available:<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/662560/umfrage/urbanisierung-in-deutschland/> [aufgerufen am 07.09.2023]
- 26 Baunetz Wissen; Nachverdichtung; 2023 [online] available: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/n/nachverdichtung-1097483> [aufgerufen am 07.09.2023]
- 27 Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 33 [online] available: https://www.tu-darmstadt.de/media/daa_responsives_design/01_die_universitaet_medien/aktuelles_6/pressemeldungen/2019_3/Tichelmann_Deutschlandstudie_2019.pdf [aufgerufen am 11.12.2023]
- 28 Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 34 [online] available: https://www.tu-darmstadt.de/media/daa_responsives_design/01_die_universitaet_medien/aktuelles_6/pressemeldungen/2019_3/Tichelmann_Deutschlandstudie_2019.pdf [aufgerufen am 11.12.2023]
- 29 Baunetz Wissen; Nachverdichtung; 2023 [online] available: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/n/nachverdichtung-1097483> [aufgerufen am 07.09.2023]
- 30 Drexler; Khouli; Edition Detail Nachhaltige Wohnkonzepte; 2017; Seite 100 [online] available: <https://issuu.com/detail-magazine/docs/978-3-920034-77-5-bk-de-nachhaltige> [aufgerufen am 03.08.2023]
- 31 Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung; Nachhaltigkeit (nachhaltige Entwicklung); 2023 [online] available: [https://www.bmz.de/de/service/lexikon/nachhaltigkeit-nachhaltige-entwicklung-14700#:~:text=Nachhaltigkeit oder nachhaltige Entwicklung bedeutet,zukünftiger Generationen nicht eingeschränkt werden](https://www.bmz.de/de/service/lexikon/nachhaltigkeit-nachhaltige-entwicklung-14700#:~:text=Nachhaltigkeit%20oder%20nachhaltige%20Entwicklung%20bedeutet,zukünftiger%20Generationen%20nicht%20eingeschränkt%20werden) [aufgerufen am 22.08.2023]
- 32 Stadtwerke Böblingen; Was ist eine Tonne CO₂; 2023 [online] available: <https://www.stadtwerke-boeblingen.de/magazin/nachhaltigkeit-klimaschutz/artikel/was-ist-eigentlich-eine-tonne-co2#:~:text=Ein%20großer%20Teil%20bleibt%20in,Das%20muss%20weniger%20werden.> [aufgerufen am 11.03.2024]
- 33 Hardtke, Prehn, Perspektiven der Nachhaltigkeit, 2001, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Seite 58
- 34 Spindler; Geschichte der Nachhaltigkeit Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes; 2021 [online] available: <https://www.nachhaltigkeit.info/media/1326279587phei-PyvC.pdf> [aufgerufen am 07.09.2023]
- 35 Reidel, Johannes, Erfolgreich oder ruinös? Transnationale Unternehmen und nachhaltige Entwicklung – kritische Reflexion aus menschenrechtlicher Perspektive; 2010; oekom Verlag; Seite 96
- 36 Lexikon der Nachhaltigkeit; Nachhaltigkeit Definitionen; 2015 [online] available: <https://www.nachhaltigkeit.info/media/1326279587pheiPyvC.pdf> [aufgerufen am 08.12.2023]
- 37 Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 63 [online] available: https://www.tu-darmstadt.de/media/daa_responsives_design/01_die_universitaet_medien/aktuelles_6/pressemeldungen/2019_3/Tichelmann_Deutschlandstudie_2019.pdf [aufgerufen am 11.12.2023]
- 38 KfW; Was ist ein klimafreundliches Wohngebäude?; 2023 [online] available: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Klimafreundlicher-Neubau/> [aufgerufen am 04.12.2023]
- 39 Süddeutsche Zeitung; Habeck will schärfere Energiestandards für Neubauten aussetzen; 2023 [online] available: <https://www.sueddeutsche.de/politik/bundesregierung-bauen-wohnen-eh-40-1.6253506>[aufgerufen am 04.12.2023]
- 40 Tagesschau; Habeck rückt von stärkerer Dämmung neuer Häuser ab; 2023 [online] available: <https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/habeck-daemmung-haeuser-bundesbaugipfel-100.html> [aufgerufen am 01.12.2023]
- 41 Tagesschau; Keine Luft nach oben; 2022 [online] available: <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/klimaziele-verkehr-bau-101.html> [aufgerufen am 04.12.2023]
- 42 Umweltbundesamt; Treibhausgasminderungsziele Deutschlands; 2023 [online] available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands#internationale-vereinbarungen-weisen-den-weg> [aufgerufen am 04.12.2023]
- 43 Umweltbundesamt; Mineralische Bauabfälle; 2023 [online] available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#mineralische-bauabfaelle> [aufgerufen am 01.11.2023]
- 44 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 60
- 45 proholz; Bauteilbörsen und Materialdatenbanken; 2023 [online] available: <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/bauteilboersen-und-materialdatenbanken> [aufgerufen am 01.11.2023]
- 46 Bauteilnetz; Die Idee; 2023 [online] available: http://www.bauteilnetz.de/bauteilnetz/website/stdws_thema/bauteilnetz.html [aufgerufen am 01.11.2023]
- 47 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 12
- 48 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021. Seite 11
- 49 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 11
- 50 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 60
- 51 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 60
- 52 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 61
- 53 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 21

- 54 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 22
- 55 Baunetz Wissen; Cradle-to-Cradle-Prinzip; 2023 [online] available: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/cradle-to-cradle-prinzip-748225> [aufgerufen am 12.12.2023]
- 56 Hebel, et al. Sortenrein Bauen : Methode, Material, Konstruktion. Erste Auflage, Edition Detail, 2023. Seite 59
- 57 Cradle-to-Cradle; Get Certified; 2023 [online] available: <https://c2ccertified.org/get-certified> [aufgerufen am 12.12.2023]
- 58 Rosen; Urban Mining Index, Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung; Fraunhofer IRB Verlag; 2020; Seite 12
- 59 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 116
- 60 Rosen; Urban Mining Index, Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung; Fraunhofer IRB Verlag; 2020; Seite 239
- 61 Persönliche Korrespondenz mit Lukas Lang, 27.06.2023, Gespräch beim sich in der Demontage befindlichen Parlaments
- 62 Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Fachbereich Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung; Ökodesign Richtlinie; 2005; Seite 1 [online] available: <https://www.bundestag.de/resource/blob/191782/b01c1b0976921f84fb6d636edc047761/Oekodesign-Richtlinie-data.pdf> [aufgerufen am 10.11.2023]
- 63 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Digitalisierungsindex 2021; 2021; Seite 8 [online] available: https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Digitalisierungsindex/Publikationen/publikation-download-Langfassung-digitalisierungsindex-2021.pdf?__blob=publication-file&v=1 [aufgerufen am 03.11.2023]
- 64 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 32
- 65 Edition Detail; Digitale Prozesse; 2021; Seite 105 [online] available: https://issuu.com/detail-magazine/docs/bk-det-2021-11-digitaleprozesse_issn2627-2598 [aufgerufen am 24.01.2023]
- 66 Bayerischer Rundfunk; Forstwirtschaft: Zwischen Borkenkäfer und Preisschwankungen; 2023 [online] available: <https://www.br.de/nachrichten/bayern/forstwirtschaft-zwischen-borkenkaefer-und-preisschwankungen,TphkOZH> [aufgerufen am 10.10.2023]
- 67 Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 14
- 68 Kaufmann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 14
- 69 FAO; Global Forest Resources Assessment; 2020; Seite 18 [online] available: <https://www.fao.org/3/ca9825en/CA9825EN.pdf> [aufgerufen am 10.10.2023]
- 70 Kaufmann, et al. Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele; 4. Auflage, Detail Business Information; 2022. Seite 16
- 71 Kaufmann, et al; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 12
- 72 Baunetzwissen; Geschichte des Holzbaus; 2023 [online] available: <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/einfuehrung/geschichte-des-holzbaus-6640622> [aufgerufen am 07.12.2023]
- 73 Kaufmann, et al; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 9

- 74 Kaufmann, et al; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 10
- 75 Kaufmann, et al; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 12
- 76 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 15
- 77 proholz; Zuschnitt 23; 2006; Seite 4 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-23> [aufgerufen am 22.01.2024]
- 78 Steiger, et al; Holzbau. 3. Auflage; Birkhäuser; 2020; Seite 9
- 79 Steiger, et al; Holzbau. 3. Auflage; Birkhäuser; 2020; Seite 13
- 80 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 15
- 81 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 15
- 82 Steiger, et al; Holzbau. 3. Auflage; Birkhäuser; 2020; Seite 9
- 83 Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 18
- 84 Hebel, et al. Sortenrein Bauen : Methode, Material, Konstruktion. Erste Auflage, Edition Detail, 2023. Seite 21
- 85 Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 18
- 86 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 19
- 87 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 21
- 88 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 21
- 89 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 22
- 90 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 24
- 91 Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 18
- 92 Hebel, et al. Sortenrein Bauen : Methode, Material, Konstruktion. Erste Auflage, Edition Detail, 2023. Seite 21
- 93 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 25
- 94 Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 42
- 95 Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 45
- 96 Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 50
- 97 Schroeder; Lehm bau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 2
- 98 Dachverband Lehm e.V.; Verbraucherinformation; 2014; Seite 2 [online] available: https://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_verbraucherinfo_de.pdf [aufgerufen am 22.01.2024]

- 99 Minke; Handbuch Lehm : Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur; 10. überarbeitete und erweiterte Auflage; Ökobuch Verlag; 2022; Seite 8
- 100 Schroeder; Lehm : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 2
- 101 Minke; Handbuch Lehm : Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur; 10. überarbeitete und erweiterte Auflage; Ökobuch Verlag; 2022; Seite 7
- 102 Schroeder; Lehm : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 13
- 103 Schroeder; Lehm : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 15
- 104 Schroeder; Lehm : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 18
- 105 Minke; Handbuch Lehm : Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur; 10. überarbeitete und erweiterte Auflage; Ökobuch Verlag; 2022; Seite 11
- 106 Schroeder; Lehm : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 14
- 107 Minke; Handbuch Lehm : Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur; 10. überarbeitete und erweiterte Auflage; Ökobuch Verlag; 2022; Seite 7
- 108 Dachverband Lehm e.V.; Verbraucherinformation; 2014; Seite 3 [online] available: https://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_verbraucherinfo_de.pdf [aufgerufen am 22.01.2024]
- 109 Persönliche Korrespondenz mit Simon Breitenbach; Claytech; 12.09.2023; Interview in Kapitel 9
- 110 Dachverband Lehm e.V.; Verbraucherinformation; 2014; Seite 7 [online] available: https://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_verbraucherinfo_de.pdf [aufgerufen am 22.01.2024]
- 111 Schroeder; Lehm : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 205
- 112 Claytech; Lehmsteine Anwendungsklasse II; 2023; Seite 2 [online] available: https://shop.claytec.at/wp-content/uploads/2019/09/2021-10_06-010.pdf [aufgerufen am 13.12.2023]
- 113 Schroeder; Lehm : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 378
- 114 Schroeder; Lehm : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 184
- 115 Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 5 [online] available: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleitfa-den_Online-Export_12-2023_web.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]
- 116 Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 9 [online] available: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleitfa-den_Online-Export_12-2023_web.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]
- 117 Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 33 [online] available: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleitfa-den_Online-Export_12-2023_web.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]
- 118 Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 38 [online] available: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleitfa-den_Online-Export_12-2023_web.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]
- 119 Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 39 [online] available: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleitfa-den_Online-Export_12-2023_web.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]
- 120 Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 42 [online] available: [den_Online-Export_12-2023_web.pdf \[aufgerufen am 09.12.2023\]](https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleitfa-</p></div><div data-bbox=)

- 121 rigips; Baustellenbedingungen und entsprechende Baustellensicherung im Trockenbau mit rigips; 2023 [online] available: <https://www.rigips.de/mein-rigips/baustellenbedingungen#:~:text=Ill.&text=Bei der Verarbeitung von Gipsplatten,Gipsplatten nicht mehr durchgeföhrt werden> [aufgerufen am 19.12.2023]
- 122 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 86
- 123 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 87
- 124 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 87
- 125 Baunetzwissen; Wärmedämmverbundsysteme; 2023 [online] available: <https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/baustoffe-bauteile/waermedaemmverbundsysteme-4538025> [aufgerufen am 03.10.2023]
- 126 Kampmeier; HolzBauSpezial Bauphysik & Gebäudetechnik, Brandsichere Holzfaserfassade für die Gebäudeklassen 4 und 5; 2019; Seite 7 [online] available: https://www.forum-holzbau.com/pdf/21_HBS2019_Kampmeier.pdf [aufgerufen am 07.10.2023]
- 127 Kampmeier; HolzBauSpezial Bauphysik & Gebäudetechnik, Brandsichere Holzfaserfassade für die Gebäudeklassen 4 und 5; 2019; Seite 8 [online] available: https://www.forum-holzbau.com/pdf/21_HBS2019_Kampmeier.pdf [aufgerufen am 07.10.2023]
- 128 Kampmeier; HolzBauSpezial Bauphysik & Gebäudetechnik, Brandsichere Holzfaserfassade für die Gebäudeklassen 4 und 5; 2019; Seite 6 [online] available: https://www.forum-holzbau.com/pdf/21_HBS2019_Kampmeier.pdf [aufgerufen am 07.10.2023]
- 129 Deutsches Institut für Normung; DIN 4102-1 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1; 2023 [online] available: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/normen/din-4102-brandverhalten-von-baustoffen-und-bauteilen-152328> [aufgerufen am 11.10.2023]
- 130 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 90
- 131 Rockwool; Vorgehängte hinterlüftete Fassade; 2023 [online] available: <https://www.rockwool.com/de/produkte/produktuebersicht/fixrock-033-vs/#Produktinfo> [aufgerufen am 13.12.2023]
- 132 Rockwool; Abfallrücknahme-Service Rockcycle; 2023 [online] available: <https://www.rockwool.com/de/downloads-und-services/steinwolle-entsorgen/> [aufgerufen am 13.12.2023]
- 133 Calytech; Wandheizsysteme mit dicklagigen Lehmputzen – WEM Flächenheizung & CLAY-TEC; 2022 [online] available: <https://www.youtube.com/watch?v=9xnUQ6Q6K2s> [aufgerufen am 19.09.2023]
- 134 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 13
- 135 Stadt Wien; Schwammstadt-Prinzip macht Bäume für den Klimawandel fit; 2023 [online] available: <https://www.wien.gv.at/umwelt/parks/schwammstadt.html> [aufgerufen am 06.11.2023]
- 136 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 13
- 137 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 13
- 138 ÖAMTC; Überschussladen mit Photovoltaik; 2023 [online] available: <https://www.oeamtc.at/thema/elektromobilitaet/ueberschussladen-mit-photovoltaik-47647516> [aufgerufen am 06.11.2023]
- 139 Knauf, Trockenbau: Basis, Verarbeitung; Gestaltungsmöglichkeiten; 2023 [online] available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEwimpJ-p_PGDAXM-gIHhQPDSwQFnoECBQQAQ&url=https://www.knauf.

at/media/modules/snippets/display_pdf.php?type=md&l=at&p=g&action=download&a=1187931&c=29e814f8bff47732caf7110e545b0ed0&usg=AOvVaw3f_jTdwfDFQEHnKqB-_eMI&opi=89978449 [aufgerufen am 10.10.2023]

140 MBO Musterbauordnung; Abweichungen; 2023; [online] available: <https://www.arbeitsicherheit.de/schriften/dokument/bbba5a49-4295-30b4-b92d-caa75f074329.html> [aufgerufen am 10.10.2023]

141 Deutsches Institut für Bautechnik; Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL); 2021; Seite 8 [online] available: <https://www.dibt.de/aktuelles/meldungen/nachricht-detail/meldung/muster-richtlinie-ueber-brandschutztechnische-anforderungen-an-bauteile-und-aussenwandbekleidungen-in-holzbauweise-mholzbaurl> [aufgerufen am 09.11.2023]

142 Schroeder; Lehmbau : Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 3. Aufl. 2019; Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg; 2019; Seite 175

143 Bayerische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023 [online] available: <https://www.byak.de/data/pdfs/Recht/Merkblaetter/M03-BayBO-Baulicher-Brandschutz.pdf> [aufgerufen am 10.10.2023]

144 Baunetzwissen; Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, Baden-Württemberg; 2023 [online] available: <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/regelwerke/verwaltungsvorschrift-technische-baubestimmungen--baden-wuerttemberg-8162075> [aufgerufen am 11.01.2024]

145 Persönliche Korrespondenz mit Frank Ruckdäschel; Baudirektor Bauforschung, Konstruktive Bauwerkssicherheit, Baunormung, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr; 14.09.2023; Interview in Kapitel 9

146 Wikipedia; Landesregierung (Deutschland); 2023 [online] available: [https://de.wikipedia.org/wiki/Landesregierung_\(Deutschland\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Landesregierung_(Deutschland)) [aufgerufen am 11.01.2024]

147 proholz; Zuschnitt 23; 2009; Seite 20 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-33> [aufgerufen am 05.01.2024]

148 proholz; Zuschnitt 23; 2009; Seite 20 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-33> [aufgerufen am 05.01.2024]

149 Harvard Business Review; Are You Doing the SWOT Analysis Backwards?; 2021 [online] available: <https://hbr.org/2021/02/are-you-doing-the-swot-analysis-backwards> [aufgerufen am 19.11.2023]

150 Collegium Academicum; Unser Gebäude; 2023 [online] available: <https://collegiumacademicum.de/gebaeude/> [aufgerufen am 10.12.2023]

151 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

152 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

153 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

154 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

155 Holzbau Offensive; Studierendenwohnheim in modularer Element-Holzbauweise; 2023 [online] available: <https://www.holzbauoffensivebw.de/de/frontend/product/detail?productId=25> [aufgerufen am 10.12.2023]

156 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

157 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

158 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

159 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

160 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

161 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

162 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

163 Holzbau Offensive; Studierendenwohnheim in modularer Element-Holzbauweise; 2023 [online] available: <https://www.holzbauoffensivebw.de/de/frontend/product/detail?productId=25> [aufgerufen am 10.12.2023]

164 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

165 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

166 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

167 holzbau austria; Von der Studentenidee zum 18 Mio. €-Projekt; 2020 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/news/2020/05/collegium-academicum-im-holzbau.html> [aufgerufen am 10.12.2023]

168 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

169 dgj2023; Press Kit Info zu dgj223 IBA Heidelberg Collegium Academicum; Stand: September 2023; zur Verfügung gestellt von Dr. Isabelle Drexler

170 dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019 [online] available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]

171 dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019 [online] available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]

172 Kaufmann Bausysteme; Wohnanlage Hummelkaserne; 2018 [online] available: <https://kaufmannbausysteme.at/de/specials-test-1> [aufgerufen am 10.12.2023]

173 sps+architekten; Wohnanlage Hummelkaserne; 2023 [online] available: <https://www.sps-architekten.at/projekte.html> [aufgerufen am 10.12.2023]

174 merz kley partner; Hummelkaserne Graz; 2016 [online] available: <https://www.mkp-ing.com/projekt/hummelkaserne> [aufgerufen am 10.12.2023]

175 Mayr Melnhof Holz; Innovativer Wohnbau; 2016 [online] available: <https://www.mm-holz.com/referenzen/hummelkaserne> [aufgerufen am 10.12.2023]

176 dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019 [online] available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]

177 dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019 [online] available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]

178 dbz; Wohnbau Hummelkaserne, Graz/AT; 2016 [online] available: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Wohnbau_Hummelkaserne_Graz_AT-3458240.html [aufgerufen am 10.12.2023]

179 dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019 [online] available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]

180 dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019 [online] available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]

am 10.12.2023]

181 Mayr Melnhof Holz; Innovativer Wohnbau; 2016 [online] available: <https://www.mm-holz.com/referenzen/hummelkaserne> [aufgerufen am 10.12.2023]

182 dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019 [online] available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]

183 dbz; Wohnbau Hummelkaserne, Graz/AT; 2016 [online] available: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Wohnbau_Hummelkaserne_Graz_AT-3458240.html [aufgerufen am 10.12.2023]

184 dbz; Wohnbau Hummelkaserne, Graz/AT; 2016 [online] available: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Wohnbau_Hummelkaserne_Graz_AT-3458240.html [aufgerufen am 10.12.2023]

185 dataholz; Holzwohnbau Hummelkaserne; 2019 [online] available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at> [aufgerufen am 10.12.2023]

186 holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/03/hotel-green-solution-house-2-0.html> [aufgerufen am 11.12.2023]

187 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022; [online] available: <https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]

188 holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/03/hotel-green-solution-house-2-0.html> [aufgerufen am 11.12.2023]

189 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022; [online] available: <https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]

190 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022; [online] available: <https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]

191 holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/03/hotel-green-solution-house-2-0.html> [aufgerufen am 11.12.2023]

192 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022; [online] available: <https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]

193 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022; [online] available: <https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]

194 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022; [online] available: <https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]

195 holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/03/hotel-green-solution-house-2-0.html> [aufgerufen am 11.12.2023]

196 holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/03/hotel-green-solution-house-2-0.html> [aufgerufen am 11.12.2023]

197 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022; [online] available: <https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]

198 holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/03/hotel-green-solution-house-2-0.html> [aufgerufen am 11.12.2023]

199 holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/03/hotel-green-solution-house-2-0.html> [aufgerufen am 11.12.2023]

200 3XN, Fact Sheet zu „Green Solution house 2.0“; 2022; [online] available: <https://www.skyfish.com/p/3xngxn/gsh2> [aufgerufen am 12.12.2023]

201 holzbau austria; „Resteverwertung“ auf Dänisch; 2023 [online] available: <https://www.holzbauaustria.at/architektur/2023/03/hotel-green-solution-house-2-0.html> [aufgerufen am 11.12.2023]

202 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/> [aufgerufen am 20.12.2023]

203 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/> [aufgerufen am 20.12.2023]

204 Senn Vermarktung, Aktuelle Projekte; 2023 [online] available: <https://senn.com/vermarktung/> [aufgerufen am 20.12.2023]

205 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/> [aufgerufen am 20.12.2023]

206 zpf Ingenieure; HORTUS.;2023 [online] available: <https://www.zpfing.ch/de/projekte/projektliste/4193-hortus-a2.html> [aufgerufen am 20.12.2023]

207 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/> [aufgerufen am 20.12.2023]

208 zpf Ingenieure; HORTUS.;2023 [online] available: <https://www.zpfing.ch/de/projekte/projektliste/4193-hortus-a2.html> [aufgerufen am 20.12.2023]

209 zpf Ingenieure; HORTUS.;2023 [online] available: <https://www.zpfing.ch/de/projekte/projektliste/4193-hortus-a2.html> [aufgerufen am 20.12.2023]

210 Herzog de Meuron; 543 Hortus lightbox; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/lightbox/11/> [aufgerufen am 20.12.2023]

211 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/> [aufgerufen am 20.12.2023]

212 Hochparterre; Biodiversität messen; 2022 [online] available: <https://www.hochparterre.ch/nachrichten/themenfokus/biodiversitaet-messen> [aufgerufen am 21.12.2023]

213 Constructive Disobedience, Die Holz-Lehm-Decke und HORTUS; 2022 [online] available: <https://constructive-disobedience.com/die-holz-lehm-decke-und-hortus/> [aufgerufen am 21.12.2023]

214 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/#bibliography> [aufgerufen am 20.12.2023]

215 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/#bibliography> [aufgerufen am 20.12.2023]

216 Factsheet Hortus Nachhaltigkeit; 2023; Seite 1 [online] available: <https://hortus.ch/rent> [aufgerufen am 20.12.2023]

217 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/#bibliography> [aufgerufen am 20.12.2023]

218 Herzog de Meuron; 543 Hortus; 2020 [online] available: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/543-hortus/> [aufgerufen am 20.12.2023]

219 Bayerische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023 [online] available: <https://www.byak.de/data/pdfs/Recht/Merkblaetter/M03-BayBO-Baulicher-Brandschutz.pdf> [aufgerufen am 10.10.2023]

220 Persönliche Korrespondenz mit Simon Breitenbach; Claytech; 12.09.2023; Interview in Kapitel 9

221 Bundesministerium für Justiz, Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)§ 22 Ladung; 2023 [online] available: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/_22.html#:~:text=Strassenverkehrs-Ordnung%20\(StVO\),%20%2422%20Ladung&text=Fahrzeuge, die für land- oder, breiter als 3 m sein.](https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/_22.html#:~:text=Strassenverkehrs-Ordnung%20(StVO),%20%2422%20Ladung&text=Fahrzeuge, die für land- oder, breiter als 3 m sein.) [aufgerufen am 07.01.2024]

222 Diez Spedition; Sattelzüge; 2023 [online] available: <https://www.diez-spedition.de/>

index.php/fuhrpark/9-fuhrpark/sattelzuege/122-offener-sattelzug-3 [aufgerufen am 22.12.2023]

223 Institute for employment research; European Labour Market Barometer; 2023; [online] available: <https://iab.de/en/daten/european-labour-market-barometer/> [aufgerufen am 08.11.2023]

224 Schneider, Till; Flexible Housing. Architectural Press; 2007; Seite 143 [online] available: <https://jeremytill.s3.amazonaws.com/uploads/post/attachment/9/flexi20.pdf> [aufgerufen am 09.11.2023]

225 Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; Jovis Verlag; 2021; Seite 145

226 Umweltbundesamt; Wohnfläche; 2023 [online] available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche#zahl-der-wohnungen-gestiegen> [aufgerufen am 08.09.2023]

227 Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; Jovis Verlag; 2021; Seite 155

228 Drexler; Open Architecture : nachhaltiger Holzbau mit System; Jovis Verlag; 2021; Seite 157

229 Niedersächsisches Ministerialblatt Nummer 37a; 2012; Seite 174 [online] available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjVktrop2DAxXKDuwKHUtMA2MQFnoECCsQAQ&url=https://www.niedersachsen.de/download/80784/Nds._MBL._Nr._37_2012_vom_30.10.2012_Anlagenband_37a.pdf&usq=AOvVaw2t2wgEiOZQg-M0BG61Jibc&opi=89978449 [aufgerufen am 20.12.2023]

230 Kaufmann, et al.; Atlas mehrgeschossiger Holzbau : Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 4. Auflage; Detail Business Information; 2022; Seite 50

231 Steinhaus Treppen; Stahlrahmen Podest mit DIN Stahlgitter Belag; 2023 [online] available: <https://www.steinhaus-treppen.de/aussentreppen/treppen-podeste/?p=1> [aufgerufen am 12.01.2024]

232 Hillebrandt, et al. Atlas Recycling : Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage, Detail Business Information GmbH, 2021; Seite 46

233 Oxara; Purpose; 2023 [online] available: <https://oxara.earth/purpose> [aufgerufen am 18.12.2023]

234 Forbes; Pioneer Fellow, ETH Zürich, 30 Under 30 in der Kategorie „Tech“; 2019 [online] available: <https://www.forbes.at/artikel/gnanli-landrou.html> [aufgerufen am 18.12.2023]

235 Oxacrete Produktblatt; 2023; Seite 1 [online] available: <https://oxara.earth/products/oxacrete-oulesse> [aufgerufen am 18.12.2023]

236 Holz 100; Thoma Planungshandbuch; 2024 [online] available: <https://www.thoma.at/broschueren/thoma-planungshandbuch/> [aufgerufen am 12.01.2024]

237 Longin; Massivholz-Wände LONDYB; 2024 [online] available: <https://www.longin.at/holzbau-mit-system/londyb> [aufgerufen am 12.01.2024]

238 Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 44 [online] available: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleitfaden_Online-Export_12-2023_web.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]

239 Bayerische Ingenieurekammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 34 [online] available: https://www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/beratung-und-service/download/0043_bayika_geg-gebaudeenergiegesetz-leitfaden-bauherren-anwender.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]

240 Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021 [online] available: <https://www.planradar.com/at/passivhaus-nullenergiehaus-plusenergiehaus/> [aufgerufen am 16.01.2023]

241 Bayerische Ingenieurekammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 34 [online] available: https://www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/beratung-und-service/download/0043_bayika_geg-ge

baudeenergiegesetz-leitfaden-bauherren-anwender.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]

242 Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021 [online] available: <https://www.planradar.com/at/passivhaus-nullenergiehaus-plusenergiehaus/> [aufgerufen am 16.01.2023]

243 Knauf; Wandsysteme; 2023 [online] available: <https://www.knauf.at/sortiment/systeme/wand-systeme/> [aufgerufen am 19.12.2023]

244 Claytech; Ökologische Trockenbauwände im System; 2023; Seite 44 [online] available: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/01/23_002_01_Trockenbauleitfaden_Online-Export_12-2023_web.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]

245 Steico; Steico internal- Innendämmung aus Holzfasern; 2023 [online] available: <https://www.steico.com/de/produkte/daemmung/innenausbau/innendaemmung/steicointernal> [aufgerufen am 12.01.2024]

246 Persönliche Korrespondenz mit Simon Breitenbach; Claytech; 12.09.2023; Interview in Kapitel 9

247 Holz Haus Werft; Die unbehandelte Holzfassade; 2024 [online] available: <https://holzhauswerft.de/blog/ratgeber/unbehandelte-holzfassade> [aufgerufen am 16.01.2023]

248 LWF; Bäume für die Zukunft; 2024 [online] available: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/a60_baeume_fuer_die_zukunft.pdf [aufgerufen am 22.01.2024]

249 Bayerische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023 [online] available: <https://www.byak.de/data/pdfs/Recht/Merkblaetter/M03-BayBO-Baulicher-Brandschutz.pdf> [aufgerufen am 10.10.2023]

250 rematter; Holz-Lehm Decke; Factsheet; 2022; Seite 4 [online] available: https://rematter.earth/wp-content/uploads/2023/03/Rematter_Factsheet_230330.pdf [aufgerufen am 28.11.2023]

251 Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

252 Steico; Steico internal- Innendämmung aus Holzfasern; 2023 [online] available: <https://www.steico.com/de/produkte/daemmung/innenausbau/trittschalldaemmung/steicot-herm-sd> [aufgerufen am 12.01.2024]

253 Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

254 rematter; Holz-Lehm Decke; Factsheet; 2022; Seite 4 [online] available: https://rematter.earth/wp-content/uploads/2023/03/Rematter_Factsheet_230330.pdf [aufgerufen am 28.11.2023]

255 Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

256 Deutsches Institut für Bautechnik; Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL); 2021; Seite 8 [online] available: <https://www.dibt.de/aktuelles/meldungen/nachricht-detail/meldung/muster-richtlinie-ueber-brandschutztechnische-anforderungen-an-bauteile-und-aussenwandbekleidungen-in-holzbauweise-mholzbaurl> [aufgerufen am 12.12.2023]

257 Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9

258 Bayerische Ingenieurekammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 8 [online] available: https://www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/beratung-und-service/download/0043_bayika_geg-gebaudeenergiegesetz-leitfaden-bauherren-anwender.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]

259 Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021 [online] available: <https://www.planradar.com/at/passivhaus-nullenergiehaus-plusenergiehaus/> [aufgerufen am 16.01.2023]

260 Bayerische Ingenieurekammer-Bau GEG 2020 und Änderungen GEG 2023, Leitfaden für Bauherren und Anwender; 2022; Seite 8 [online] available: https://www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/beratung-und-service/download/0043_bayika_geg-gebaudeenergiegesetz-leitfaden-bauherren-anwender.pdf [aufgerufen am 09.12.2023]

261 Planradar; Leitfaden: Passivhaus, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus; 2021 [online] avai-

- lable: <https://www.planradar.com/at/passivhaus-nullenergiehaus-plusenergiehaus/> [aufgerufen am 16.01.2023]
- 262 Lückmann; Holzbau : Konstruktion - Bauphysik - Projekte. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage; WEKA; 2018; Seite 37
- 263 Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); Kompetenzzentrum der Initiative Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen; 2009; Seite 2 [online] available: https://holzhauswerft.de/images/05_BLOG/pdfs/PDF_DATEIEN/18_blatt_4-2_lebensdauer-von-bauteilen.pdf [aufgerufen am 18.01.2024]
- 264 Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); Kompetenzzentrum der Initiative Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen; 2009; Seite 7 [online] available: https://holzhauswerft.de/images/05_BLOG/pdfs/PDF_DATEIEN/18_blatt_4-2_lebensdauer-von-bauteilen.pdf [aufgerufen am 18.01.2024]
- 265 Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); Kompetenzzentrum der Initiative Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen; 2009; Seite 3 [online] available: https://holzhauswerft.de/images/05_BLOG/pdfs/PDF_DATEIEN/18_blatt_4-2_lebensdauer-von-bauteilen.pdf [aufgerufen am 18.01.2024]
- 266 Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestages; Sachstand WD7-3000-102/17; 2017; Seite 4 [online] available: <https://www.bundestag.de/resource/blob/526488/a00597c5c5fec573345433ca31afddece/wd-7-102-17-pdf-data.pdf> [aufgerufen am 04.01.2024]
- 267 proholz; Zuschnitt 86; 2022; Seite 7 [online] available: <https://www.proholz.at/publikationen/zuschnitt-86> [aufgerufen am 22.01.2024]
- 268 Stadt Nürnberg; Stadtgeschichte; 2023 [online] available: <https://www.nuernberg.de/internet/stadtarchiv/stadtgeschichte.html> [aufgerufen am 19.10.2023]
- 269 Stadt Regensburg; 2000 Jahre auf einen Blick; 2023 [online] available: <https://www.regensburg.de/buergerservice/stadtgeschichte/2000-jahre-auf-einen-blick#:~:text=179n.,Auftrag von Kaiser Marc Aurel> [aufgerufen am 20.10.2023]
- 270 Stadt Nürnberg; Stadtgeschichte; 2023 [online] available: <https://www.nuernberg.de/internet/stadtarchiv/stadtgeschichte.html> [aufgerufen am 19.10.2023]
- 271 Stadt Nürnberg; Daten und Fakten; 2023 [online] available: https://www.nuernberg.de/internet/stadtportal/daten_und_fakten.html [aufgerufen am 19.10.2023]
- 272 Stadt Nürnberg; Daten und Fakten; 2023 [online] available: https://www.nuernberg.de/internet/stadtportal/daten_und_fakten.html [aufgerufen am 19.10.2023]
- 273 Norddeutscher Rundfunk; Gekommen - und geblieben: Die „Gastarbeiter“; 2022 [online] available: <https://www.ndr.de/geschichte/chronologie/Gastarbeiter-in-Deutschland-Gekommen-und-geblieben,gastarbeiter258.html> [aufgerufen am 19.10.2023]
- 274 Stadt Nürnberg; Entwicklung der Nettokaltmieten je Quadratmeter Wohnfläche nach Baujahr und Wohnflächengröße der bewohnten Mietwohnungen (in EUR/qm); 2021 [online] available: https://online-service2.nuernberg.de/asw/aswn.dll?aw=GMS_J01 [aufgerufen am 19.10.2023]
- 275 Stadt Nürnberg; Daten und Fakten; 2023 [online] available: https://www.nuernberg.de/internet/stadtportal/daten_und_fakten.html [aufgerufen am 19.10.2023]
- 276 Immoscout24; Preisatlas Metropolregion Nürnberg; 2023 [online] available: https://www.immobilienscout24.de/Suche/de/bayern/nuernberg/wohnung-mieten?price=-1000.0&livingspace=40.0-&pricetype=rentpermonth&enteredFrom=one_step_search&viewMode=PRICE_INSIGHTS&mapCenter=49.454859,11.089769,11 [aufgerufen am 01.06.2023/12.08.2023/12.11.2023/27.12.2023/23.01.2024]
- 277 Stadt Nürnberg; Amt für Stadtforschung und Statistik; Statistisches Jahrbuch 2022; 2022 Seite 141 [online] available: https://www.nuernberg.de/imperia/md/statistik/dokumente/veroeffentlichungen/tabellenwerke/jahrbuch_nuernberg/2004_2025/jahrbuch_2022.pdf [aufgerufen am 23.10.2023]
- 278 Wikipedia; Laufamholz; 2023 [online] available: https://de.wikipedia.org/wiki/Laufamholz_20.10.2023 [aufgerufen am 20.10.2023]
- 279 Demografie Portal; Bevölkerungsdichte; 2020 [online] available: [279](https://www.demografie-portal.de/DE/Fakten/bevoelkerungsdichte.html#:~:text=Die höchste Bevölkerungs-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- dichte aller Gemeinden, einige gemeindefreie Gebiete menschenleer sind [aufgerufen am 20.10.2023]
- 280 Stadt Wien; Bevölkerungsstand, Statistiken; 2023 [online] available: <https://www.wien.gv.at/statistik/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/> [aufgerufen am 20.10.2023]
- 281 Tichelmann, Blome, Ringwald; Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen; 2019; Seite 62 [online] available: https://www.tu-darmstadt.de/media/daa_responsives_design/01_die_universitaet_medien/aktuelles_6/pressemeldungen/2019_3/Tichelmann_Deutschlandstudie_2019.pdf [aufgerufen am 11.12.2023]
- 282 ImmoPartner; Immobilienpreise in Nürnberg- Laufamholz; 2023 [online] available: <https://www.immopartner.de/eigentuerer/immobilienpreise/nuernberg-laufamholz/#Preise> [aufgerufen am 11.12.2023]
- 283 Stadt Nürnberg; Erläuterung des Bebauungsplan Nr. 3620 vom 16.06.1965; 2023 [online] available: <https://geoportal.nuernberg.de/masterportal/bebauungsplaene/> [aufgerufen am 09.10.2023]
- 284 Persönliche Korrespondenz mit der Planungsrechtlichen Beratung der Stadt Nürnberg, 10.11.2023
- 285 Bayerische Staatskanzlei; BayBO in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007; 2007 [online] available: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayBO> [aufgerufen am 10.11.2023]
- 286 Baunutzungsverordnung, 1. Abschnitt - Art der baulichen Nutzung; §4 Allgemeines Wohngebiet; 2017 [online] available: <https://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/BjNR004290962.html> [aufgerufen am 10.11.2023]
- 287 Stadt Nürnberg; Erläuterung des Bebauungsplan Nr. 3620 vom 16.06.1965; 2023; Seite 2 [online] available: <https://geoportal.nuernberg.de/masterportal/bebauungsplaene/> [aufgerufen am 09.10.2023]
- 288 Bayerische Staatskanzlei; BayBO in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007; 2007 [online] available: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayBO> [aufgerufen am 07.11.2023]
- 289 Stadt Nürnberg; Masterportal Stadtplan; 2023 [online] available: <https://geoportal.nuernberg.de/masterportal/stadtplan> [aufgerufen am 04.11.2023]
- 290 Persönliche Korrespondenz mit der Planungsrechtlichen Beratung der Stadt Nürnberg, 10.11.2023
- 291 Persönliche Korrespondenz mit Andrew Schneider; Head of Building Departement; 12.01.2024
- 292 Bayerische Staatskanzlei; BayBO in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007; 2007 [online] available: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayBO> [aufgerufen am 08.11.2023]
- 293 Stadt Nürnberg; StellplatzS 630.746 Anlage, Richtzahlenliste (Anlage zu § 2 Abs. 1 StS); 2016; Anlage 1 [online] available: https://www.nuernberg.de/imperia/md/stadtrecht/dokumente/6/630/630_746a.pdf [aufgerufen am 17.11.2023]
- 294 Stadt Nürnberg; Satzung über die Herstellung und Bereithaltung von Kraftfahrzeugstellplätzen und Fahrradabstellplätzen (StellplatzS – StS); 2007; Seite 7 [online] available: https://www.nuernberg.de/imperia/md/stadtrecht/dokumente/6/630/630_746.pdf [aufgerufen am 24.11.2023]
- 295 Sonnenverlauf; Nürnberg; 2024; [online] available: <https://www.sonnenverlauf.de/#/49.4632,11.1681,19/2024.06.05/15:45/1/3> [aufgerufen am 07.01.2024]
- 296 Baubook; Rechner für Bauteile; 2024 [online] available: <https://www.baubook.at/btr/> [aufgerufen am 10.01.2024]
- 297 Rockwool; Coverrock 2; 2024 [online] available: <https://www.rockwool.com/de/produkte/produkteuebersicht/coverrock-ii/> [aufgerufen am 01.01.2024]
- 298 Baubook; Rechner für Bauteile; 2024 [online] available: <https://www.baubook.at/btr/> [aufgerufen am 10.01.2023]
- 299 Bevölkerungsbestand mit Hauptwohnung - Altersgruppen (BSDB_01); 2024; [online] avai-

- lable: https://online-service2.nuernberg.de/asw/aswn.dll?aw=BSDB_01_bv [aufgerufen am 10.01.2024]
- 300 Stadt Nürnberg; Erläuterung des Bebauungsplan Nr. 3620 vom 16.06.1965; 2023; Seite 3 [online] available: <https://geoportal.nuernberg.de/masterportal/bebauungsplaene/> [aufgerufen am 09.10.2023]
- 301 Umweltbundesamt; Was ist ein Smart-Grid ?; 2024 [online] available: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-ein-smart-grid> [aufgerufen am 19.01.2024]
- 302 Vaillant; Luft-Wasser-Wärmepumpen ohne Außengerät; 2023 [online] available: <https://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/innen-aufgestellte-luft-wasser-warmepumpe-recocompact-exclusive-76097.html> [aufgerufen am 19.01.2024]
- 303 Luxor; ECO Linie N-Type HJT Glas-Glas Bifacial M144; 2023 [online] available: https://www.luxor.solar/files/luxor/download/datasheets/LX_EL_HJT_GG_BiF_SW_EST_M144_570-590W_182_DE.pdf [aufgerufen am 22.11.2023]
- 304 Baunetzwissen; Nullenergiehaus; 2024 [online] available: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/glossar-a-z/nullenergiehaus-678684> [aufgerufen am 16.01.2024]
- 305 Persönliche Korrespondenz mit Andrew Schneider; Head of Building Departement; 12.01.2024
- 306 Bayrische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023 [online] available: <https://www.byak.de/data/pdfs/Recht/Merkblaetter/M03-BayBO-Baulicher-Brandschutz.pdf> [aufgerufen am 10.10.2023]
- 307 Bayrische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023 [online] available: <https://www.byak.de/data/pdfs/Recht/Merkblaetter/M03-BayBO-Baulicher-Brandschutz.pdf> [aufgerufen am 10.10.2023]
- 308 Berufsgenossenschaft Holz und Metall; Fluchtwege; 2023; [online] available: <https://www.bghm.de/arbeitsschuetzer/fach-themen/fluchtwege> [aufgerufen am 23.01.2024]
- 309 Deutsches Architektenblatt; Tageslicht in Innenräumen: die neue Norm DIN EN 17037; 2021; dabonline.de
- 309 Deutsches Architektenblatt; Tageslicht in Innenräumen: die neue Norm DIN EN 17037; 2021; [online] available: <https://www.dabonline.de/2021/01/28/tageslicht-in-gebauten-innenraeume-neue-norm-din-en-17037/> [aufgerufen am 10.12.2023]
- 310 Velux; Daylight Visualizer; 2024; [online] available: <https://www.velux.com/what-we-do/digital-tools/daylight-visualizer> [aufgerufen am 18.01.2024]
- 311 Calytech; Wandheizsysteme mit dicklagigen Lehmputzen – WEM Flächenheizung & CLAY-TEC; 2022 [online] available: <https://www.youtube.com/watch?v=9xnUQ6Q6K2s> [aufgerufen am 19.09.2023]
- 312 Thesim [online] available: <http://www.thesim.at/3d/thesim.html?v=1.10> [aufgerufen am 20.02.2024]
- 313 Urlaub auf dem Bauernhof; 2023 [online] available: <https://www.urlaubambauernhof.de> [aufgerufen am 02.02.2024]
- 314 Stadt Nürnberg; Quelle Areal; 2023; [online] available: https://www.nuernberg.de/internet/stadtportal/quelle_areal.html#:~:text=Flächen,derzeitige Nutzfläche beträgt 250.000 Quadratmeter [aufgerufen am 02.02.2024]
- 315 Quellkollektiv, 2022; [online] available: <https://heizhaus.org/quellkollektiv-e-v-satzung/> [aufgerufen am 04.02.2024]
- 316 Stadt Nürnberg; Masterportal Stadtplan; 2023; [online] available: <https://geoportal.nuernberg.de/masterportal/stadtplan/> [aufgerufen am 02.02.2024]
- 317 Dorfgemeinschaft Münzinhof; 2023; [online] available: <https://www.muenzinhof.de/geschichte.aspx> [aufgerufen am 23.01.2024]
- 318 Bayrische Architektenkammer; Merkblatt BayBO baulicher Brandschutz; 2023 [online] available: <https://www.byak.de/data/pdfs/Recht/Merkblaetter/M03-BayBO-Baulicher-Brandschutz.pdf> [aufgerufen am 10.10.2023]

- 319 Kampmeier; HolzBauSpezial Bauphysik & Gebäudetechnik, Brandsichere Holzfaserfassade für die Gebäudeklassen 4 und 5; 2019; Seite 6 [online] available: https://www.forum-holzbau.com/pdf/21_HBS2019_Kampmeier.pdf [aufgerufen am 07.10.2023]
- 320 Persönliche Korrespondenz mit Anna Hodel; Rematter; 22.12.2023; Interview in Kapitel 9
- 321 Persönliche Korrespondenz mit Andrea Rieger-Jandl; Technische Universität Wien; 27.09.2023; Interview in Kapitel 9
- 322 Persönliche Korrespondenz mit Frank Ruckdäschel; Baudirektor Bauforschung, Konstruktive Bauwerkssicherheit, Baunormung, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr; 14.09.2023; Interview in Kapitel 9
- 323 Europäische Investitionsbank; Schweden, Finnland: Hemsö erhält EIB-Mittel für energieeffiziente soziale Infrastruktur; 2021; [online] available: <https://www.eib.org/de/press/all/2021-367-hemso-uses-eib-financing-for-energy-efficient-social-infrastructure> [aufgerufen am 17.02.2024]

