

Re-Use Planung und Konstruktion im Holzhybridbau



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

RE-USE

Planung und Konstruktion im Holzhybridbau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

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

(E259-02 Forschungsbereich Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

MARTINA JANSSEN

11916891

Wien, im März 2024



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

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.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, 23.03.2024

Unterschrift

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza Fadai, für seine fachliche Expertise, das umfassende Input und die Betreuung.

Julia, für die gute Teamarbeit in einer intensiven Zeit.

Meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, für den Rückhalt und die Unterstützung in allen Bereichen.

Kostas, für alles.



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

Kurzfassung

Die Baubranche ist für rund 40% des globalen CO₂-Ausstoßes verantwortlich. Vor diesem Hintergrund steht die Bauindustrie vor der dringenden Notwendigkeit zu einer umfassenden Transformation. Es sind neue, innovative Konzepte gefordert, um ressourcenschonend zu bauen und Baumaterialien in geschlossenen Kreisläufen zu führen. Die Wiederverwendung von Baumaterialien bietet hierfür vielversprechende Lösungsansätze. Ist zirkuläres Bauen und insbesondere die Thematik der Wiederverwendung in der Praxis noch wenig etabliert, soll die vorliegende Diplomarbeit anhand von Theorie, Fallbeispielen und einem eigenen Entwurf die Rahmenbedingungen für das Planen mit wiederverwendeten Bauteilen analysieren und potenzielle Chancen sowie Herausforderungen aufzeigen. Dabei wird insbesondere auf den Holz-Hybridbau eingegangen. Im Rahmen der Arbeit werden fünf zentrale Einflussfaktoren für das Bauen mit wiederverwendeten Baumaterialien identifiziert: (1) Normen und Gesetze, (2) Zertifizierungen, (3) die Verfügbarkeit von Re-Use Materialien, (4) der Planungsprozess sowie (5) Tragwerk und Konstruktion. Im Hinblick auf die rechtlichen Rahmenbedingungen wird im Zuge der Diplomarbeit deutlich, dass die meisten Normen und Gesetze eindeutige Ziele für die Wiederverwendung vorgeben. Diese beinhalten jedoch keine spezifischen Vorgaben (z.B. Mindestanteil an Re-Use Materialien im Bauwerk). Ebenso thematisieren sie nicht die spezifischen Baustoffe, beispielsweise die Anerkennung von Prüfverfahren zur Kontrolle der statischen Eigenschaften von Holz. Die Rechtsunsicherheit, die sich daraus vor allem in Bezug auf Haftung und Gewährleistung ergibt, ist ein großes Hemmnis für den Einsatz von Re-Use Materialien. Betrachtet man die Zertifizierungen (2), so wirken sich diese im Allgemeinen förderlich auf die Wiederverwendung aus, indem sie die Zirkularität eines Gebäudes transparent und messbar darstellen. Verbesserungspotential gibt es hier in Form einer Vereinfachung und Standardisierung der Bewertungsmethoden und einer stärkeren Berücksichtigung der Lebenszeitverlängerung eines Bauteils dank Re-Use. Auch die Verfügbarkeit von Sekundärmaterialien (3) über Bauteilbörsen oder Hersteller stellt eine große Herausforderung dar. Vielversprechend ist, dass es zunehmend Plattformen für Sekundärmaterialien und Bauprodukthersteller gibt, die sich zu Rücknahmen und in einem zweiten Schritt zum Wiederangebot verpflichten. Ebenso ermöglicht die wachsende Digitalisierung eine transparente Dokumentation verbauter Materialien und deren Fügung. Zum aktuellen Zeitpunkt ist jedoch das Angebot, auch in Bezug auf wiederverwendbare Holzprodukte, wenig transparent und mengenmäßig unzureichend, um damit im größeren Umfang Bauwerke errichten zu können. Im Umkehrschluss wirkt sich die mangelnde Verfügbarkeit negativ auf den Planungsprozess (4) aus. Dieser ist aufgrund der Heterogenität und des geringen Angebots von Sekundärprodukten sehr ressourcenintensiv, komplex und erfordert Fachkenntnisse hinsichtlich Rückbaubarkeit, Wiedereinsatz usw. In Bezug auf Tragwerk und Konstruktion (5) veranschaulicht diese Arbeit, dass der Holzbau sehr gute Eigenschaften für die Wiederverwendung mit sich bringt. Hierzu zählen die hohe Festigkeit über den gesamten Lebenszyklus hinweg, sortenreine Konstruktionen, lösbare Bauteilfügungen, sowie der anhaltende CO₂-Speicher. Darüber hinaus eröffnet die Digitalisierung neue Potentiale in Bezug auf Vorfertigung und Bauteilfügungen. Vor allem der Holzrahmenbau ermöglicht es, die Konstruktion an die unterschiedlichen Eigenschaften der wiederverwendeten Bauteile zu adaptieren. Ist Holz aus tragwerkstechnischer Perspektive ein idealer Kandidat für Re-Use, so wird im Zuge der Arbeit deutlich, dass es zum aktuellen Zeitpunkt einige rechtliche, marktwirtschaftliche und planungsbezogene Herausforderungen für die Wiederverwendung von Bauteilen gibt. Indem sich Wiederverwendung in der Gesetzgebung, in Planungsprozessen und am Markt etabliert, kann sie mittelfristig ein zukunftsfähiges Konzept für ressourcenschonendes Bauen darstellen.

Abstract

Climate change is one of the greatest challenges of our time, posing huge pressure to both the environment, the society, and the economy. The construction industry is responsible for approximately 40% of the global CO₂-emissions. In this context, there is an urgent need to rethink the way we build today and in the future. Architects play a pivotal role in this, as they are the ones who define the load bearing structures, building materials, and energy concepts through their designs. Hence, they can effectively make a major contribution to reducing greenhouse gas emissions. New, innovative concepts are required to build in a resource-efficient manner and keep raw materials in closed loops. A promising solution, that could significantly help in this direction, is the re-use of building materials. As cradle-to-cradle and re-use concepts are not yet very well established, this thesis aims at defining the primary principles, challenges and opportunities when it comes to building with re-used materials. In particular, it lays focus on timber-hybrid construction.

There are five key influencing factors for building with re-used materials are identified: (1) standards and laws, (2) certifications, (3) the availability of re-use materials, (4) the planning process, and (5) the load bearing structure and construction. Regarding the legal framework, it becomes clear in the course of the thesis that most standards and laws set clear goals for re-use. However, they do not include specific requirements (e.g. minimum percentage of re-use materials applied in the building). They also do not address specific building materials, such as the recognition of testing methods to control the static properties of timber. The legal uncertainty that arises from this, especially in terms of liability and warranty, is a major obstacle for re-use. Looking at certifications (2), these generally have a positive impact on re-use by making a building's circularity transparent and measurable. However, there is room for improvement in terms of simplifying and standardizing evaluation methods and giving more consideration to extending the lifespan of a component through re-use. The availability of secondary materials (3) through digital market places or product manufacturers also poses a significant challenge. It is promising that there are increasingly platforms for secondary materials and building product manufacturers that commit to taking back and re-offering materials. Additionally, growing digitization allows for transparent documentation of installed materials and their assembly. However, at present, the supply in German-speaking countries, including reusable timber products, is not very transparent and insufficient in quantity to construct buildings on a larger scale. Conversely, the lack of availability has a negative impact on the planning process (4). Due to the heterogeneity and limited supply of re-use products, this process is very resource-intensive, complex, and requires expertise in terms of deconstruction, re-use, and so forth. In terms of load bearing structure and construction (5), this work illustrates that timber construction brings very good properties for reuse. These include high strength throughout the entire lifecycle, homogeneous constructions, detachable component connections, and long-term CO₂- storage. Furthermore, digitization opens up new potentials in terms of prefabrication and component connections. Especially timber frame construction allows for adapting the structure to the different properties of reused components. While wood is an ideal candidate for re-use from a structural perspective, it becomes clear in the course of this thesis that there are currently some legal, market-related, and planning-related challenges for the re-use of building materials. By establishing re-use in legislation, planning processes, and in the market, it can represent a sustainable concept for resource-efficient construction in the medium term.

Abkürzungsverzeichnis

ARRL	Abfallrahmenrichtlinie
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BIM	<i>Building Information Modeling</i> : digitale Bauwerksdatenmodellierung
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
BSH	Brettschichtholz
BSP	Brettspertholz
BSSR	Bundesinstitut für Bau,- Stadt- und Raumforschung
C2C	<i>Cradle to Cradle</i>
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EPDs	<i>Environmental Product Declarations</i> , Umwelt-Produktdeklarationen
IBO	Instituts für Baubiologie und -ökologie
KP	Kunstharzpressholz
KVH	Konstruktionsvollholz
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
TSC	Technischen Prüfkriterien:
PCR	Produktkategorieregeln
RHV	Recyclingholzverordnung
RVB	Recycling-Baustoffverordnung
TQB	Total Quality Building

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Zirkuläres Bauen	4
2.1. Strategien im zirkulären Bauen im Allgemeinen	7
2.2. Strategien im zirkulären Bauen mit Holz	10
3. Normen und Gesetze	12
3.1. Rahmenbedingungen und Anforderungen auf EU-Ebene	13
3.2. Rahmenbedingungen und Anforderungen in Österreich	14
3.3. Evaluierung der gesetzlichen Rahmenbedingungen im Allgemeinen	17
3.4. Evaluierung der gesetzlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf Holz- Hybridbau	18
4. Zertifizierungen	20
4.1. Überblick über die wichtigsten Zertifizierungen	21
4.2. Evaluierung der Zertifizierungen	22
5. Verfügbarkeit von wiederverwendbaren Materialien	25
5.1. Tools	26
5.2. Materialdatenbanken in Österreich	27
5.3. Hersteller	29
5.4. Evaluierung Materialangebot	29
6. Planung mit wiederverwendeten Materialien	32
6.1. Entwurfsprozess mit Wiederverwendung im Allgemeinen	33
6.2. Re-Use Planungsprozess in Bezug auf Holzbau	34
7. Tragwerk und Konstruktion mit wiederverwendeten Bauteilen	37
7.1. Designprinzipien für Tragwerksplanung mit Wiederverwendung	38
7.2. Für Wiederverwendung geeignete Bauteilfügungen im Holzbau	39
7.3. Für Wiederverwendung geeignete Konstruktionsarten	47

8. Fallstudien	60
8.1. Historische Torfremise Schechen, Deutschland	62
8.2. K.118 – Kopfbau Halle 118 Winterthur, Schweiz	72
8.3. The Cradle, Deutschland	81
	87
9. Entwurf	87
9.1. Allgemeine Projektbeschreibung	88
9.2. Wohnungstypen	91
9.3. Tragwerk	105
9.4. Bauphysik, Fassadenbegrünung, Energiekonzept	114
9.5. Einfluss der Wiederverwendung auf den Entwurf	117
9.6. Brandschutz, Barrierefreiheit, Modularität	125
9.7. Fazit	126
10. Conclusio	127
Literaturverzeichnis	131
Abbildungsverzeichnis	139

Einleitung

1. Einleitung

Der Klimawandel und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen gelten als eine der größten Herausforderungen unserer Zeit. Die Baubranche ist für rund 40% des globalen CO₂-Ausstoßes verantwortlich. Demzufolge steht die Bauwirtschaft vor einer umfassenden Transformation. Eine klimaschonende Bauweise trägt

maßgeblich zu einer Verringerung von CO₂-Emissionen bei. Je mehr die grauen Emissionen eines Gebäudes reduziert werden können, desto schneller können diese retrospektiv über einen klimapositiven Betrieb kompensiert werden.¹ Es bedarf neuer, innovativer Konzepte, um ressourcenschonend zu bauen und verwendete Baumaterialien möglichst ohne Qualitätseinbußen in geschlossenen Kreisläufen zu führen. Die Wiederverwendung von Bauteilen bietet hierfür vielversprechende Lösungsansätze.

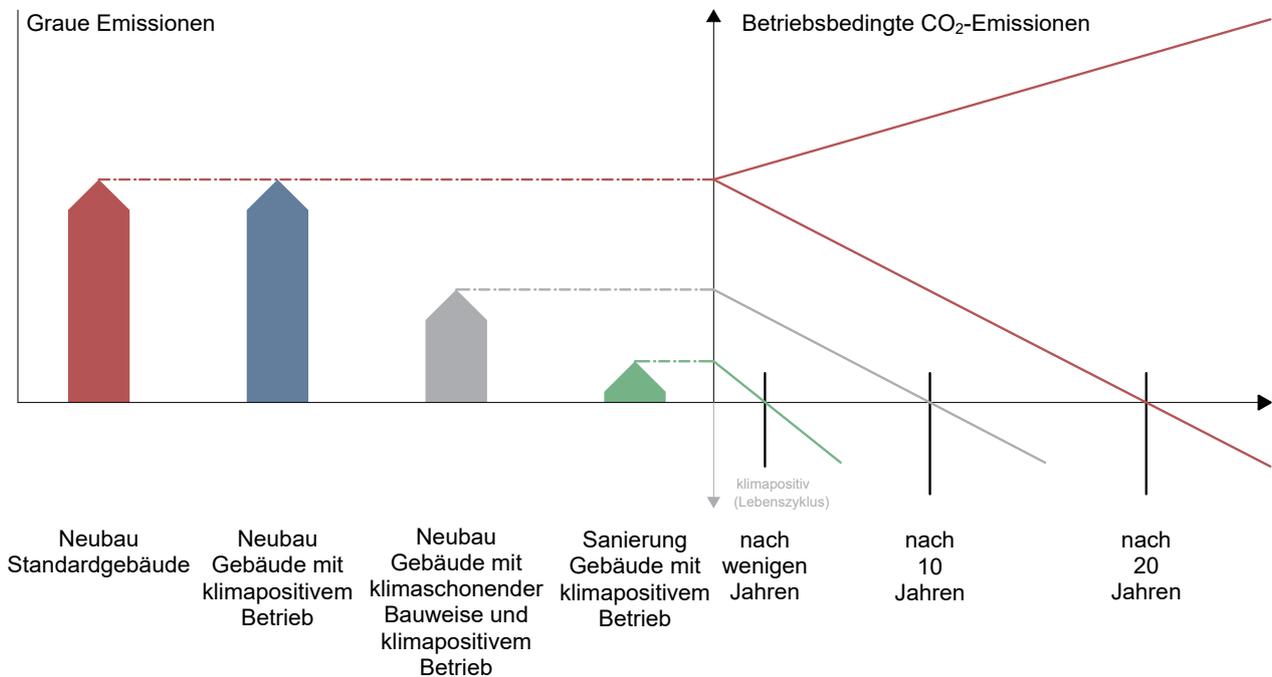


Abbildung 1: Darstellung grauer und betriebsbedingter CO₂-Emissionen im Kontext von Gebäuden¹

¹ <https://www.researchgate.net/publication/372335450>

Zirkulares Bauen in der Praxis Ein Status Quo;
abgerufen am 09.03.2024 um 20:10 Uhr

Auch wenn zirkuläres Bauen derzeit noch kein Standard in der Baubranche ist, könnte laut dem deutschen Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) das Wiederverwendungspotential im Bauwesen bis 2050 rund 20% betragen. Dabei wird der Ressourcenverbrauch sowie das Wiederverwendungspotenzial größtenteils von der Planung beeinflusst. Architekten definieren durch ihren Entwurf Tragwerk, Details und Baumaterialien. Zu den wichtigsten Einflussfaktoren für das Planen und Bauen mit Re-Use Bauteilen zählen rechtliche, konstruktive, planungsprozessbezogene und marktwirtschaftliche Aspekte. Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollen diese Faktoren im Detail beleuchtet werden. Holz gilt allgemein als besonders nachhaltiges Baumaterial, da er ein nachwachsender Rohstoff ist, der klimaneutral hergestellt werden kann und CO₂ langanhaltend speichert. Darüber hinaus gilt Holz als dank

der trockenen Fügung als gut rückbaubar und stellt ein dank seinem vergleichsweise leichten Gewicht eine gute Option für Nachverdichtungen in Form von Aufstockungen im innerstädtischen Raum dar. Daher geht diese Arbeit insbesondere auf die Wiederverwendungs-Potentiale und -Herausforderungen von Holzhybridbau ein. Hierzu wird einerseits die aktuelle Situation in Österreich analysiert, als auch auf potentielle Chancen und Herausforderungen für die einzelnen Einflussfaktoren eingegangen. Ferner werden unterschiedliche Ansätze und Fragestellungen beim Bauen mit wiederverwendeten Bauprodukten und insbesondere Holz im Rahmen von drei Fallstudien veranschaulicht. Abschließend sollen im Rahmen eines eigenen Entwurfs die dargelegten Thesen getestet und mögliche Lösungsansätze aufgezeigt werden.

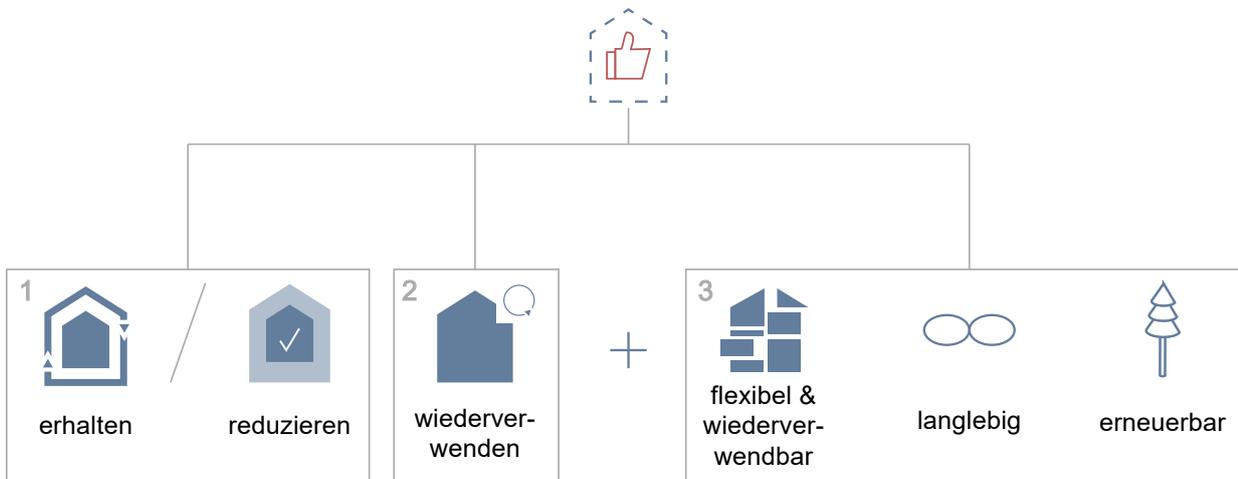


Abbildung 2: Grundlagen für ressourcenschonendes Bauen¹

Zirkuläres Bauen

2. Zirkuläres Bauen

Zirkuläres Bauen oder Re-Use (Wiederverwendung) werden sowohl in der Theorie, als auch in der Praxis häufig verwendet. Gleichzeitig scheinen die Bedeutung und die zeitliche Verortung der Thermen nicht einheitlich zu sein.² So z.B.

wird zirkuläres Bauen oft als Synonym für nachhaltiges Bauen verwendet. In anderen Fällen wird nicht oder nur unzureichend differenziert, ob es sich um einen Neubau oder den Bestand handelt. Im Folgendem möchte ich daher die für diese Arbeit wichtigsten Begriffe definieren, um eine einheitliche Verständnisgrundlage zu schaffen.

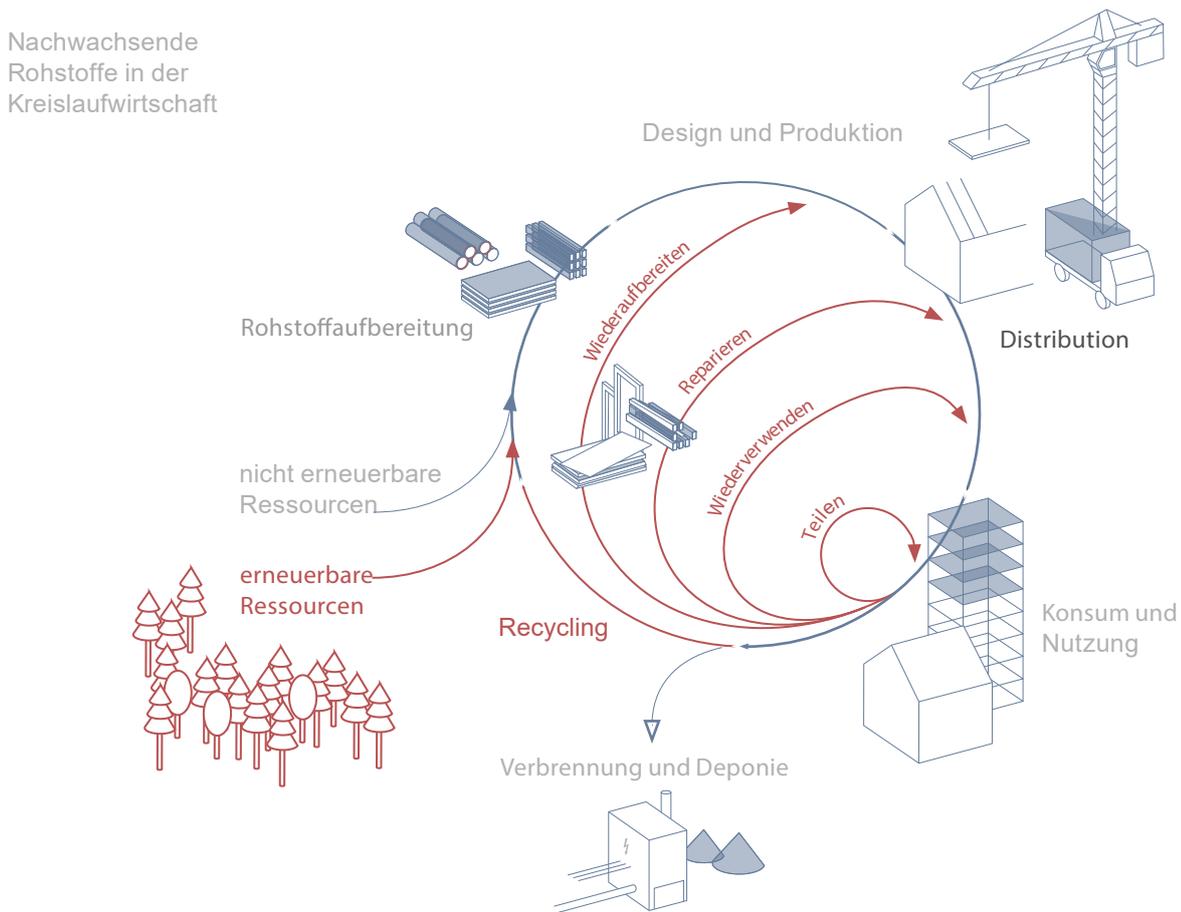


Abbildung 3: Prinzipien der Kreislaufwirtschaft³

2

https://www.researchgate.net/publication/372335450_Zirkulares_Bauen_in_der_Praxis_Ein_Status_Quo; abgerufen am 20.12.2023 um 11:32 Uhr

3

<https://www.proholz.at/zuschnitt/88/kreislaufnutzung-und-holzbau;> abgerufen am 20.12.2023 um 11:32 Uhr

Der DGNB definiert Zirkuläres Bauen wie folgt:

„Im Sinne des zirkulären Bauens setzen sich die Akteurinnen und Akteure der Bau- und Immobilienwirtschaft (1) mit dem Erhalt, der Aufwertung und der Aktivierung des Gebäudebestands auseinander und nehmen diesen als wertvolle Materialquelle und -lager wahr. Sie nutzen (2) heute vorhandene Materialströme und geschaffene Werte intensiv. Darüber hinaus (3) ermöglichen sie eine langfristige Nutzung und zukünftige Verwendung in geschlossenen Kreisläufen, so dass über den gesamten Lebenszyklus kein Abfall entsteht. Unter Berücksichtigung von

ökologischen und gesundheitlichen Aspekten fördern sie somit den Erhalt oder eine Steigerung der Qualitäten und der ökonomischen Werte von Quartieren, Gebäuden, Bauprodukten und Materialien.“⁴

Diese Definition ist sehr umfassend und betont die Verantwortung der Akteure in der Bau- und Immobilienwirtschaft. Im Rahmen dieser Arbeit möchte ich mich insbesondere auf das Handlungsfeld von Architekten und Planern fokussieren. Um zirkulär zu bauen, können diese folgende 10-Re Strategien verfolgen, die auch miteinander kombiniert werden können.⁵

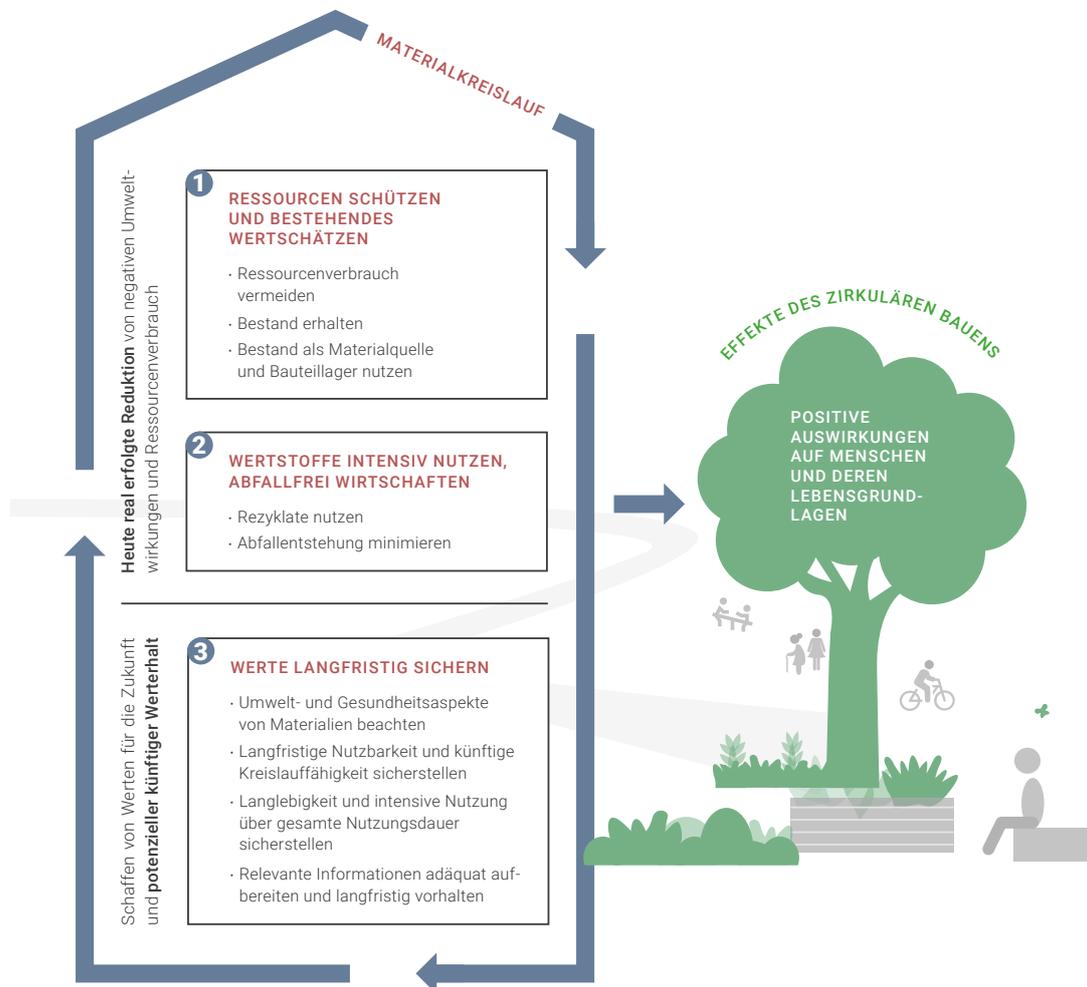


Abbildung 4: Zirkuläre Strategien mit dem Fokus auf Materialkreisläufe⁶

⁴ <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/zirkulaeres-bauen>; abgerufen am 20.12. um 12:07 Uhr

⁵ <https://proholz-bayern.de/uploads/2023/03/Zuschnitt88.pdf>; abgerufen am 20.12.2023 um 11:32 Uhr

⁶ https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/zirkulaeres-bauen/202210_ImFokus_Zirkulaeres_Bauen.pdf?m=1665562669&; abgerufen am 20.12. um 12:07 Uhr

2.1. Strategien im zirkulären Bauen im Allgemeinen

Intelligente Nutzung und Herstellung von Produkten und Infrastruktur

Refuse. Ablehnen. Produkte werden nicht eingesetzt. Anstelle eines Abbruchs und Neubaus werden vorhandene Strukturen erhalten (z.B. tragende Strukturen oder Rohbau).

Rethink. Neu denken, kreislauffähig entwerfen. Ein Gebäude sollte in erster Linie so konzipiert sein, dass der Baukörper in seiner Gestalt möglichst lange erhalten bleibt, ohne dass größere Umbauten notwendig sind. Dies ist dann der Fall, wenn Grundrisse und Tragstrukturen flexible Nutzungen ermöglichen. Beispiele hierfür sind die Zusammenlegung von Wohnungen, das Zuschalten von Räumen oder die Umnutzung von Büros zu Wohnungen. Ebenso schließt kreislauffähiges Entwerfen eine Tragswerkskonstruktion und Bauteilfügung ein, in der ein späterer Rückbau und eine Wiederverwendung der Materialien möglichst einfach und umfassend möglich ist.⁷

Reduce. Reduzieren. Der Ressourcenverbrauch wird reduziert z.B. aufgrund einer höheren Effizienz und Qualität bei Produktion.

Verlängerte Lebensdauer von Produkten und Infrastruktur

Re-Use. Wiederverwenden von sich bereits im Kreislauf befindenden Baustoffen, -materialien und -elementen.⁸ Dasselbe Bauprodukt wird wieder eingesetzt und genutzt, ohne dass es aufbereitet oder recycelt wurde.

Repair. Reparieren. Produkte werden wieder funktionsfähig gemacht.

Refurbish. Verbessern. Produkte werden aufgearbeitet und auf den neuesten Stand gebracht.

Remanufacture. Wiederaufbereiten. Funktionierende Teile aus alten oder defekten Produkten werden in neuen Produkten eingesetzt, die die gleiche Funktion haben.

Repurpose. Weiterverwendung von sich bereits im Kreislauf befindenden Baustoffen. Bei der Weiterverwendung wird das Produkt anders eingesetzt, als es bei der Erstnutzung der Fall war. In der Regel wurde die Funktion, die es bei der Weiterverwendung hat, in der Produktion nicht vorgesehen.⁹ Eine Weiterverwendung kann auch mit Hilfe von Recycling oder Aufbereitung wie z.B. R-Beton erfolgen.

Nützliche Wiederverwertung von Materialien

Recycle. Wiederverwertung. Aufbereiten von Materialien, um eine hohe Qualität zu erhalten und sie wieder in den Materialkreislauf zurückzuführen.

Recover. Thermische Verwertung mit Energierückgewinnung.

⁷ <https://www.uhrig-bau.eu/lexikon/zirkulaeres-bauen/>; abgerufen am 20.12.2023 um 14.16 Uhr

⁸ Für die Leserlichkeit der Arbeit werden alle Baustoffe, Baumaterialien und Bauteile unter dem Oberbegriff Bauprodukt subsumiert.

⁹

https://issuu.com/bcsss_vienna/docs/circular_insider_magazin_040423-final_low; abgerufen am 20.12.2023 um 15h35



Abbildung 5: Prinzipien der Kreislaufwirtschaft⁹

Auf Basis des Modells der 10 Re-Strategien ist Rethink bzw. Re-Use (Wiederverwendung) gegenüber anderen Strategien zu priorisieren. Ein kreislauffähiger Entwurf mit neuen, ressourcenschonenden und emissionsarmen Baumaterialien lässt sich in den bisher gängigen, linearen Planungsprozess vergleichsweise einfach integrieren.¹⁰ Jedoch basiert ein kreislauffähiger Entwurf auf neu in den Kreislauf gebrachten Ressourcen. Einsparungen ergeben sich erst in der

Zukunft. Dagegen hat das Bauen mit sich bereits im Kreislauf befindenden Materialien einen direkten, positiven Einfluss auf die Ökobilanz. Bestehende Baustrukturen werden zu Rohstofflagern für neu zu errichtende Gebäude. Somit trägt die Strategie der Wiederverwendung von existierenden Bauprodukten wesentlich zur Abfallvermeidung bei. Sie ist dem Recycling vorzuziehen, da diese Strategie einen gewissen zusätzlichen Ressourceneinsatz bzw. Abfallentstehung bedeutet.¹¹

¹⁰

<https://www.researchgate.net/publication/372335450>

Zirkulares Bauen in der Praxis Ein Status Quo;
abgerufen am 20.12.2023 um 11:32 Uhr

¹¹ Vgl. auch die Abfallpyramide im Kapitel 3.1.

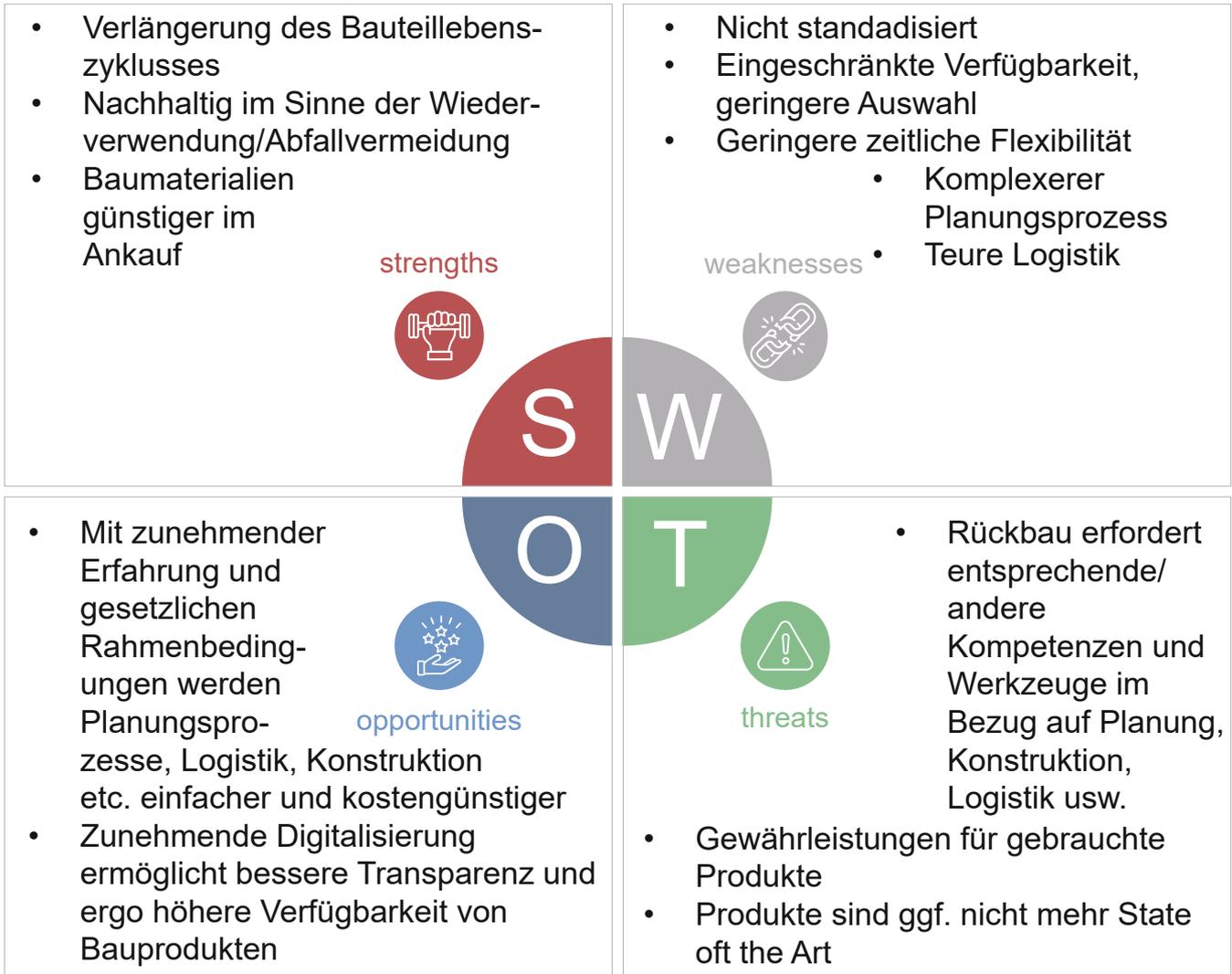


Abbildung 6: SWOT Zirkuläres Bauen im Allgemeinen

2.2. Strategien im zirkulären Bauen mit Holz

Grundsätzlich ist Holz aufgrund seiner vergleichsweise hohen Festigkeit und geringem Gewicht für alle der oben beschriebenen Strategien gut geeignet. Dies gilt vor allem für Konstruktionsholz, da es für eine lange Nutzungsdauer ausgelegt und oft durch die Schichten des Ausbaus vor Abnutzung geschützt ist. Mit einer Rückbau-Sammelrate von knapp 100 Prozent¹² ist Bauholz aus Vornutzung sehr gut verfügbar. Darüber hinaus punktet Altholz mit seiner anhaltenden CO₂ Speicherung und vergleichsweise leichtem Gewicht. Ein Faktor, der die Kreislauffähigkeit beeinflusst, ist die Sortenreinheit. Bei Holz unterscheidet man zwischen Vollholzprodukten (z.B. Konstruktionsvollholz), Holzwerkstoffen (z.B. OSB Platten) und hybriden Holzbauteilen (z.B. Holz-Beton-Verbunddecke). Abgesehen von Vollholz bestehen die meisten Holzprodukte auch aus anderen Stoffen wie Leim oder Metallen. Daher müssen sie im Falle einer Weiterverwendung entweder als Ganzes wiederverwendet oder stofflich getrennt werden. Auch die Behandlung mit Holzschutzmitteln beeinträchtigt die energetische und stoffliche Verwertung. Darüber hinaus setzen zirkuläres Bauen und insbesondere die Wiederverwendung eine maximale Rückbaufähigkeit des Bestandes voraus. Da Holz trocken gefügt wird, ist der zerstörungsfreie Rückbau im Vergleich zu anderen Konstruktionsarten gut und einfach möglich, sofern es lösbare Bauteilfügungen z.B. in Form von

zimmermannsmäßigen Verbindungen oder Dübeln gibt. Zirkuläres Bauen erfordert außerdem besondere Qualitätsansprüche und technische Anforderungen. Geschützt vor Feuchte verliert Holz über die Jahre kaum Festigkeit. Des Weiteren haben zahlreiche Holzarten eigene Inhaltsstoffe mit Abwehrwirkung, die es gegen Pilz- und Schädlingsbefall auch im eingebauten Zustand schützen. Daher sind Holzbauteile bzw. -stoffe grundsätzlich sehr gut für zirkuläres Bauen geeignet.¹³ Die Tragfähigkeit von Holzbauteilen kann beispielsweise visuell oder mittels zerstörungsfreier Prüfmethode getestet werden. Hierzu zählt die Bestimmung der Feuchte und der Festigkeitsklasse z.B. mit Hilfe der dynamischen Elastizitätsmodulmessung, Ultraschall oder Silvatests, oder bei kleineren Querschnitten die Anwendung von Scannern.¹⁴ Diese Verfahren müssen teilweise jedoch noch weiterentwickelt werden. Auch die Frage nach Emissionen von alten Holzbauprodukten im Innenraum ist bis dato nicht ausreichend geklärt. Aus diesen Gründen ist die Zerkleinerung von Altholz, die Nutzung in der Holzwerkstoffindustrie bzw. als Energieträger bis dato noch Stand der Technik.¹⁵ Auf Basis der guten konstruktiven Qualitäten von Holz und unter Berücksichtigung der Abfallhierarchie (vgl. Kapitel 3.1.) bedeutet das ein überproportionales Downcycling in der Nutzungskaskade. Einen Lösungsansatz bieten Hersteller, die sich zu einer Rücknahme nach Ablauf der Gebäudelebensdauer verpflichtet haben.¹⁶

¹² Hauke, B.; Kasai, B.; Kloft, H.; Tessmann, O. Jahrbuch INGENIEURBAUKUNST 2022, Verlag Ernst & Sohn; 1. Auflage 2022

¹³ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/nachgefragt-potenziale-holzbau-reuse-recycling>; abgerufen am 15.01.2024 um 17:15 Uhr

¹⁴ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/nachgefragt-potenziale-holzbau-reuse-recycling>; abgerufen am 26.01.2024 um 10:39 Uhr

¹⁵ <https://projekte.ffg.at/projekt/4695470>; abgerufen am 26.01.2024 um 18:33 Uhr

¹⁶ <https://www.holzbauaustria.at/technik/2021/06/kreislaufwirtschaft-im-holzbau-beginnt.html>; abgerufen am 26.01.2024 um 18:07 Uhr



Abbildung 7: SWOT Zirkuläres Bauen mit Holz

Normen und Gesetze

3. Normen und Gesetze

Stellt die Wiederverwendung von bestehenden Produkten die beste Alternative aus Umweltperspektive dar, so gibt es diverse Einflussfaktoren auf planungstechnischer, konstruktiver und gesetzlicher Ebene. Diese werden im Zuge dieser Arbeit dargestellt.

Die öffentliche Hand kann durch gesetzliche Rahmenbedingungen zirkuläres Bauen stimulieren. Auf Basis meiner Recherche gibt es aktuell jedoch kaum rechtsgültige Standards, Normen oder Richtlinien, die kreislauffähiges Bauen im Allgemeinen und die Wiederverwendung im Speziellen thematisieren. Auch Zertifizierungssysteme, die kreislauffähiges Bauen transparent und messbar machen, gibt es nur wenige. Nachfolgend möchte ich kurz auf die relevanten Regularien eingehen.

3.1. Rahmenbedingungen und Anforderungen auf EU-Ebene

Europäische Bauprodukten-verordnung, Grundanforderung 7 – Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen¹⁷

Die Verordnung definiert drei kreislaufwirtschaftliche Ziele:

Recyclingfähigkeit, Dauerhaftigkeit und den Einsatz von umweltverträglichen Rohstoffen und Sekundärbaustoffen:

Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes

¹⁷ www.eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R05-20140616; abgerufen am 25.12.2023 um 17:00 Uhr

¹⁸ Vgl. www.eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098; abgerufen am 25.12.2023 um 17:00 Uhr

gewährleistet ist:

- a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;
- b) das Bauwerk muss dauerhaft sein;
- c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.

Abfallrahmenrichtlinie (ARRL)¹⁸

Die ARRL hat die Abfallvermeidung als höchstes Ziel und definiert eine fünfstufige Abfallhierarchie. Sie regelt die rechtlichen Rahmenbedingungen im Bezug auf den Umgang mit Abfällen und die Förderung der Wiederverwendung von Produkten für die EU-Mitgliedsstaaten.¹⁹



Abbildung 8: Abfallpyramide²⁰

EU Taxonomie Verordnung

Die EU-Taxonomie wurde in Folge des Europäischen Grünen Deals entwickelt. Ziel ist es, das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung zu entkoppeln und bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu werden.

Die EU Taxonomie ist ein System, mit Hilfe dessen Wirtschaftstätigkeiten im Hinblick auf Ihre Nachhaltigkeit klassifiziert werden. Die Bewertung basiert auf sechs Zielen,

¹⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht>; abgerufen am 25.12.2023 um 17:00 Uhr

²⁰ https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/awsggrundsaeetze.html; abgerufen am 25.12.2023 um 17:00 Uhr

hierzu zählt auch die Kreislaufwirtschaft (vgl. Abbildung 9). Um von der EU Taxonomie als nachhaltig klassifiziert zu werden, muss ein wesentlicher Beitrag zu mindestens einem Umweltziel geleistet werden. Ebenso darf gegen keines der anderen Ziele verstoßen werden. In Folge dessen werden für Architekten und Planer der Einsatz von Produkten interessant, die über einen Materialpass verfügen.



Abbildung 9: Ziele der EU-Taxonomie²¹

Technical Screening Criteria (TSC) Part B

TSC wurde festgelegt, um die konkreten Grenzwerte bei der Renovierung von Büro- und Wohngebäuden zu definieren.²² Die TSC beinhalten Regeln und Maßstäbe, auf deren Basis Wirtschaftstätigkeiten hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit im Sinne der EU-Taxonomie bewertet werden. Die Kriterien basieren auf den Zielen der EU-Taxonomie (siehe 3.1.3) und thematisieren unter anderem den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft.

²¹ https://www.lbbw.de/perspektiven/themenspecials/fit-for-55/eu-taxonomie/eu-taxonomie_aepoiou3ap_d.html; abgerufen am 25.12. um 17:36 Uhr

²² <https://www.digitalfindetstadt.at/news/news/zirkulaere-sanierung-projektbericht>; abgerufen am 25.12.2023 um 16:40 Uhr

Level(s) Indicator

Bei Level(s) handelt es sich um eine Reihe von Kennzahlen zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden. Sie bezwecken eine Verbesserung der Leistung von Neubau- und größeren Renovierungsprojekten. Ebenso können Level(s) als Instrument der Berichterstattung verwendet werden.²³

3.2. Rahmenbedingungen und Anforderungen in Österreich

Recyclingholzverordnung (RHV)²⁴

Die RHV definiert Qualitätsstandards für das Recycling von Altholz. Ziele dieser Verordnung sind

- die Gewährleistung eines für Mensch und Umwelt schadlosen Recyclings von geeignetem Altholz in der Holzwerkstoffindustrie;
- die Sicherstellung, dass mit dem Einsatz des Altholzes kein höheres Umweltrisiko als bei einem vergleichbaren Primärrohstoff oder einem vergleichbaren Produkt aus Primärrohstoffen verbunden ist;
- eine Schadstoffanreicherung im Produktkreislauf zu vermeiden

Recycling-Baustoffverordnung (RBV)

In Paragraph 1 der RBV wird das Ziel der Verordnung wie folgt definiert.

Ziel dieser Verordnung ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz, insbesondere die Vorbereitung zur Wiederverwendung von Bauteilen und die Sicherstellung einer hohen Qualität von Recycling-Baustoffen, um das Recycling

²³ https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/UM1_ENV-2020-00021-02-00-DE-TRA-00.pdf; abgerufen am 25.12.2023 um 16:40 Uhr

²⁴ <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007830>; abgerufen am 25.12. um 17:36 Uhr

von Bau- oder Abbruchabfällen im Sinne unionsrechtlicher Zielvorgaben zu fördern.²⁵

Darüber hinaus heißt es in Paragraph 5:

„Es ist sicherzustellen, dass Bauteile, die einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden können, so ausgebaut und übergeben werden, dass die nachfolgende Wiederverwendung nicht erschwert oder unmöglich gemacht wird. [...] Der Bauherr und der Bauunternehmer sind verantwortlich, dass vor Beginn und während des Abbruchs eines Bauwerks die Dokumentation des Rückbaus gemäß Abs. 1 auf der Baustelle aufliegt und der Behörde auf Verlangen vorgelegt wird.“

OIB Richtlinie 7 Grundlagendokument

Aufbauend auf der Europäischen Bauproduktenverordnung, (vgl. Kapitel 3.1.) wurde ein Grundlagendokument zum Thema „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“²⁶ im Mai 2023 veröffentlicht. Hierin werden unter anderem die Themen Treibhauspotenzial im Lebenszyklus, Material- und Ressourcendokumentation, Bauabfälle und Abbruchmaterialien und Nutzungsdauer und Rückbau thematisiert. Insbesondere muss das *Bauwerk derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:*

- *Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;*
- *das Bauwerk muss dauerhaft sein*

- *für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.²⁷*

Die Veröffentlichung der OIB Richtlinie wird jedoch erst im Zuge der nächsten OIB Ausgabe in 2027 erwartet²⁸.

Abfallwirtschaftsgesetz (AWG)

Im Abfallwirtschaftsgesetz wurden die Vorgaben der europäischen Abfallrahmenrichtlinie umgesetzt. Insbesondere wurde die Abfallhierarchie (vgl. Kapitel 3.2.) gesetzlich verankert, die Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling und sonstige Verwertung und die Beseitigung von Abfällen betreffen.²⁹

Abfallnachweisverordnung

Die Verordnung beinhaltet die umweltgerechte Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung von Abfällen auf Basis §§ 17 bis 19 des Abfallwirtschaftsgesetzes. Darüber hinaus regelt sie die Art und Form der Aufzeichnungen, Meldungen und Nachweisführungen.³⁰

ÖNORM 15804, ÖNORM EN 15978-1, ÖNORM 15978

Die ÖNORMEN sind Teil einer Normenserie, die die Beschreibung und Beurteilung der Nachhaltigkeit von Bauwerken bezweckt. ÖNORM 15804 beinhaltet Produktkategorieregeln (PCR) für Umweltdeklarationen (EPD) für Bauprodukte und -leistungen. Die EPDs liefern dabei quantifizierbarer Indikatoren

²⁵

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20009212>; abgerufen am 25.12.2023 um 17:43 Uhr

²⁶ <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2023/oib-richtlinie-7-grundlagendokument>; abgerufen am 25.12.2023 um 16:40 Uhr

²⁷ https://www.oib.or.at/sites/default/files/oib-rl_7_grundlagendokument_ausgabe_mai_2023.pdf; abgerufen am 25.12.2023 um 16:41 Uhr

²⁸ <https://www.wko.at/oe/gewerbe-handwerk/bau/oib-richtlinien.pdf>; abgerufen am 25.12.2023 um 16:41 Uhr

²⁹

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002086>; abgerufen am 26.12.2023 um 12:56 Uhr

³⁰

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20008021>; abgerufen am 26.12.2023 um 13:01 Uhr

über den Umwelteinfluss der Bauprodukte und ihre Anwendungen.³¹

ÖNORM EN 15978 und EN 15978-1 definieren eine Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität eines Gebäudes und seines Standortes. Die Berechnungsmethode basiert auf der Ökobilanz und weiteren quantifizierten Umweltdaten. Die ÖNORM ist sowohl für neue und bereits bestehende Gebäude als auch für Modernisierungen anzuwenden.

ÖNORM B 3151

Die ÖNORM B 3151 hat zum Ziel, bei Rückbauten möglichst sortenreine, schad- und störfreie Abfallfraktionen zu erhalten. Sie beinhaltet die bei der Projektierung und Ausführung erforderlichen Maßnahmen für einen Rückbau von Bauwerken. Ebenso definiert sie Prinzipien für die Trennung der einzelnen Materialien im Hinblick auf deren Verwertung oder Beseitigung. Demnach sind Abbruchmaterialien, sofern nicht unverhältnismäßige Kosten entstehen, einer Verwertung zuzuführen.

EU – Bauproduktverordnung bzw. Wiener Bauproduktengesetz

Laut der Verordnung muss jeder Hersteller für ein Bauprodukt, für das es eine harmonisierte Norm im Amtsblatt der EU gibt, eine sogenannte "Leistungserklärung" erstellen. Bauprodukte, für die eine Leistungserklärung erstellt wurde, müssen mit dem CE-Kennzeichen versehen werden.³²

Haftung und Gewährleistung

Haftung und Gewährleistung sind abhängig von der Art der Vertragspartner. Handelt es sich um einen Privaten und ein Unternehmen, fällt der Vertrag unter das Konsumentenschutzgesetz. Dieses legt als Gewährleistungsfrist für bewegliche Sachen zwei Jahre, für Immobilien drei Jahre fest. Im Einzelfall kann bei gebrauchten beweglichen Sachen die Frist auf ein Jahr reduziert werden. Sind die Vertragspartner zwei Unternehmern, gelten innerhalb der ersten zehn Jahre ab Inverkehrbringen Haftungs- und Gewährleistungsansprüche uneingeschränkt. Voraussetzung ist, dass ein Schaden innerhalb von drei Jahren ab Kenntnis des Schadens geltend gemacht wurde.

³¹ <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action?deliver=&dokkey=713349&selectedLocale=de>; abgerufen am 26.12.2023 um 12:03 Uhr

³² <https://www.oib.or.at/de/kennzeichnung-und-zulassung-von-bauprodukten/ce-kennzeichnung/bauproduktenverordnung>; abgerufen am 27.12.2023 um 15:23 Uhr

3.3. Evaluierung der gesetzlichen Rahmenbedingungen allgemeinen

Laut der oben erläuterten gesetzlichen Rahmenbedingungen ist, unabhängig von Material und Konstruktionsart, eine Wiederverwendung grundsätzlich dem Recycling bzw. anderen Arten der Verwertung vorzuziehen. Es gibt nicht wenige Verordnungen und Gesetze sowohl auf EU- als auch auf nationaler Basis, die die Identifikation von Re-Use-Potentialen fördern. Ebenso ist festzustellen, dass die gesetzlichen Rahmenbedingungen eindeutige Ziele zur Wiederverwendung von Bauprodukten definieren. Die österreichische Baustoffindustrie ist auf Rohstoffimporte angewiesen. Hieraus ergeben sich wirtschaftliche und politische Abhängigkeiten, die nur durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen und Recycling gelöst werden können.³³

Konkrete, durchsetzbare Maßnahmen oder im Einzelfall bindende Verpflichtungen werden in den rechtbildenden Rahmenbedingungen nicht festgelegt.³⁴ Dies resultiert unter anderem auch in einem gewissen Vertrauensmangel für die Wiederverwendung von Bauprodukten, sowohl bei den ausführenden Organen als auch bei Auftraggebern und Nutzern eines Gebäudes. Demzufolge wird in der Praxis der überwiegende Teil der verwertbaren Bau- und Abbruchabfälle nicht wiederverwendet sondern recycelt.³⁵ Fragen betreffen z.B. die Haftung und Gewährleistung. Diese kann

durch Verträge geregelt werden. Eine weitere Hürde betrifft die Bauproduktverordnung. Zwar gilt diese nicht nur für das erstmalige Inverkehrbringen, sondern gilt für alle Produkte, die auf dem Markt angeboten und in einem Gebäude eingebaut werden.³⁶ Gleichzeitig wird jedoch nur die Brauchbarkeit der Bauteile beim Inverkehrbringen garantiert, nicht aber bei der Wiederverwendung. In einer Publikation vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie wird angenommen, dass das CE-Kennzeichen auch beim Ausbau bzw. Wiederverwendung gültig bleibt. Kommt es zu Modifikationen, so gilt das Produkt jedoch als neues Bauprodukt, bei dem die frühere rechtmäßige Inverkehrbringen irrelevant ist.³⁷ Ferner müssen Bauteile, egal ob neu oder wiederverwendet, die entsprechenden bautechnischen Vorschriften der OIB Richtlinien und Bauordnungen der Länder erfüllen. Demnach bedarf ein wiederverwendetes tragendes Bauteil eines statischen Gutachtens. Lediglich Nieder- und Oberösterreich haben in ihren Gesetzestexten Passagen inkludiert, die die Verwendung wiederverwendeter Bauprodukte zulassen, sofern sie den Grundanforderungen an Bauwerken entsprechen.³⁸ Haftungs- und Gewährleistungsfragen sind ein entscheidender Faktor, die die Wiederverwendung von Bauprodukten hemmen.³⁹ Gegebenenfalls können statische Gutachten von Bauprodukten abschrecken.

³³

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bate.202100114>; abgerufen am 05.02.2024, um 23:24 Uhr

<https://www.dike.ch/media/productattachment/2/2235/978-3-03929-005->

[5_AbeggStreff_Die_Wiederverwendung_von_Bauteilen.pdf](#); abgerufen am 2.1.2024 um 12:22 Uhr

³⁵ [www.curem.uzh.ch/dam/jcr:48a090c4-e81c-4924-91faa-](http://www.curem.uzh.ch/dam/jcr:48a090c4-e81c-4924-91faa-f6ecbc5d39f/Homberger%20Joy%20AbAr%20Lg221-22.pdf)

[f6ecbc5d39f/Homberger%20Joy%20AbAr%20Lg221-22.pdf](#); abgerufen am 2.1.2024 um 12:22 Uhr

³⁶

<https://www.dike.ch/media/productattachment/2/2235/>

[/978-3-03929-005-](#)

[5_AbeggStreff_Die_Wiederverwendung_von_Bauteilen.pdf](#); abgerufen am 02.01.2024 um 13:34 Uhr

³⁷ <https://rewi.ch/wp-content/uploads/2020/05/Wiederverwendung-Bauen-2020.pdf>; abgerufen am 02.01.2024 um 13:34 Uhr

³⁸ <https://drive.google.com/file/d/149A19X0Vs6xpN8CnoW4hZNMUUhWDAfLK/view>; abgerufen am 02.01.2024 um 13:34 Uhr

³⁹ www.ig-architektur.at/news-detail/re-use-abfallwirtschaft-oder-architektur-356.html; abgerufen am 02.01.2024 um 13:34 Uhr

3.4. Evaluierung der gesetzlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf Holz-Hybridbau

Wie in 2.3 beschrieben eignet sich Holz grundsätzlich sehr gut für die Wiederverwendung. Gleichzeitig veranschaulicht die Auseinandersetzung mit den europäischen bzw. österreichischen Normen und Gesetzen in diesem Kapitel, dass das Thema Wiederverwendung und die damit verbundenen Fragestellungen nur sehr oberflächlich behandelt werden. Demzufolge gibt es, mit Ausnahme der Recyclingholzverordnung, keine rechtsbindenden Regelwerke, die im speziellen auf Bauprodukte aus Holz eingehen. Des Weiteren thematisiert die Recyclingholzverordnung lediglich die Verwertung von Holz im Sinne der Recycling Strategie (vgl. Kapitel 2.1). Rahmenbedingungen für eine Wiederverwendung von Holz z.B. hinsichtlich Haftung und Gewährleistung werden nicht behandelt. Lassen sich, wie in 2.3 beschrieben, die konstruktiven Eigenschaften von Altholz auf unterschiedliche Arten kontrollieren, so mangelt es offiziell an anerkannten Prüfverfahren, Normen und Richtlinien.⁴⁰ Diese Rechtslücke wird teilweise von Handwerkern oder Bauproduktherstellern geschlossen, welche die Haftung für tragende Holzbauteile übernehmen.⁴¹ Dies resultiert jedoch in höheren Kosten und Risiken, was das Angebot an Altholz zur Wiederverwendung hemmt. Laut des

Österreichischen Instituts für Baubiologie und -ökologie (IBO) und der Holzforschung Austria werden im Rahmen des Projektes Timberloop zusätzliche Kriterien für Normen und Verfahren, nach denen Holzprodukte für denselben Einsatz oder einen „niedrigeren Einsatzlevel“ wieder genutzt werden können, derzeit erarbeitet.⁴²

Ein weiteres Projekt von IBO und der Holzforschung Austria namens „Grade2New“ beabsichtigt ebenfalls, eine effizienten Kreislaufführung von Holz in großem Maßstab zu ermöglichen. Grade2New beschäftigt sich mit tragenden verklebten Holzbauprodukten, insbesondere mit Brettschichtholz. Dieses soll am Ende seiner Lebensdauer quer zur bestehenden Klebefuge zu Stablamellen variabler Breite aufgetrennt und erneut zu Brettschicht- oder Brettsperrholz verarbeitet werden. Um dies zu ermöglichen, müssen neben den technischen Herausforderungen neue Prozesse definiert und in die europäische Normung mit aufgenommen werden. Eine Herausforderung des Projektes ist, dass die Verwendung solcher Produkte aktuell unzulässig ist, da die Festigkeitssortierung von Altholz nicht normativ geregelt ist. Um den angestrebten Kreislaufprozess effizient und in der Breite etablieren zu können, hat Grade2New zum Ziel, die visuelle und maschinelle Festigkeitssortierung von Altholz, insbesondere Stablamellen aus Altholz zu definieren. In einem weiteren Schritt soll die Aufnahme dieser Sortiermethoden in die europäische Normung vorbereitet werden.⁴³

⁴⁰ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/nachgefragt-potenziale-holzbau-reuse-recycling>; abgerufen am 26.01.2024 um 10:39 Uhr

⁴¹ https://drive.google.com/file/d/149A19X0Vs6xpN8Cn_oW4hZNMUUhWDAfLK/view; abgerufen am 02.01.2024 um 13:34 Uhr

⁴² <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/ti>

[mberloop](https://www.holzforschung.at/forschung-entwicklung/projektliste/details/timberloop/); abgerufen am 27.01.2024 um 18:51 Uhr;
<https://www.holzforschung.at/forschung-entwicklung/projektliste/details/timberloop/>; abgerufen am 27.01.2024 um 18:51 Uhr

⁴³ https://www.dike.ch/media/productattachment/2/2235/978-3-03929-005-5_AbeggStreff_Die_Wiederverwendung_von_Bauteilen.pdf; abgerufen am 2.1.2024 um 12:22 Uhr

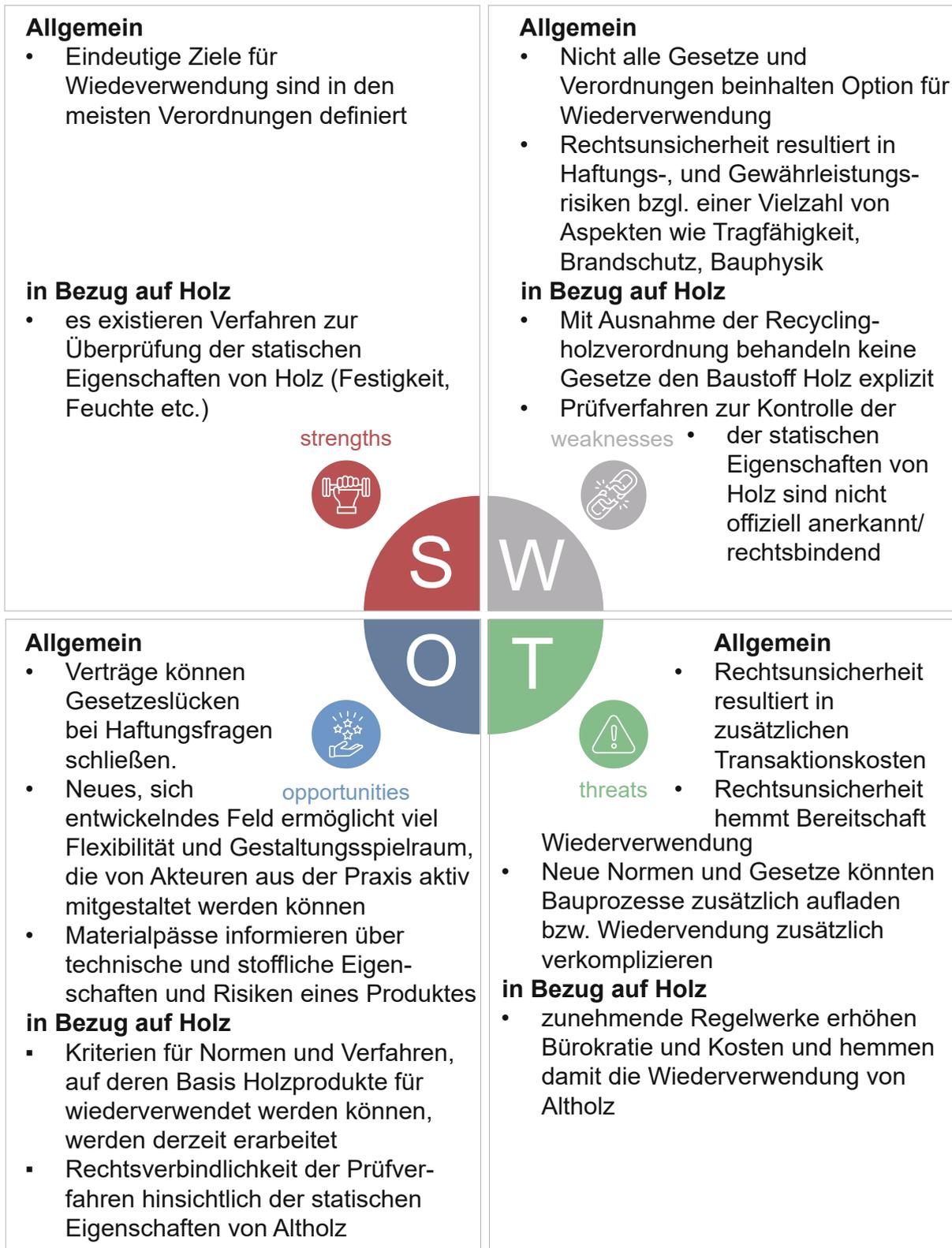


Abbildung 10: SWOT rechtliche Rahmenbedingungen, eigene Darstellung

Zertifizierungen

4. Zertifizierungen

Vor dem Hintergrund des Klimawandels kommt der Bewertung von Energie- und Stoffströmen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes eine wichtigere Rolle zu. Zertifizierungssysteme bieten hierfür einen detaillierten Leitfaden. Sie basieren auf der Ökobilanzierung, die den gesamten Lebenszyklus aller in der Konstruktion verwendeten Materialien evaluiert. Mit Hilfe von Zertifizierungssystemen kann die Nachhaltigkeit von Gebäuden transparent und vergleichbar quantifiziert werden. Sie stellen daher ein wichtiges Werkzeug für die Bewertung und Förderung von zirkulären Strategien wie der Wiederverwendung dar. Auch wenn es derzeit keine gesetzlichen Regelungen gibt, die eine Zertifizierung verbindlich regeln, werden diese zunehmend von Bauherren, Kreditgebern usw. nachgefragt. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, vertraglich zu vereinbaren, dass ein Bauwerk entsprechend einer bestimmten Zertifizierung errichtet werden muss.⁴⁴ In einem zweiten Schritt können entsprechende Zertifizierungen dabei helfen, gewisse Qualitätsstandards zu gewährleisten. Im Folgenden werden die relevantesten Zertifizierungssysteme im Allgemeinen und im Hinblick auf Holz erläutert.

44

https://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/shop_Publikationen/Fokus_Covers_und_pdf/Geba_ude_zertifizierung.pdf; abgerufen am 27.12.2023 um 14:22 Uhr

4.1. Überblick über die wichtigsten Zertifizierungen

DGNB



Das DGNB-Zertifizierungssystem basiert auf den Prinzipien der Lebenszyklusbetrachtung, der Ganzheitlichkeit und der Performanceorientierung. Es kann flexibel für Neubau, Bestand, Sanierung oder Gebäudebetrieb angewendet werden. Die Bewertung erfolgt anhand folgender Kriterien: Ökologie, Ökonomie, soziokulturelle und funktionale Qualität, Technik, Prozesse, Standort. Abhängig vom Gesamterfüllungsgrad der entsprechenden Kriterien und Nutzungsprofile wird das Zertifikat in Bronze, Silber oder Gold vergeben.

Das System ist das einzige, das allen Aspekten des nachhaltigen Bauens eine gleich große Bedeutung zumisst. Die DGNB-Zertifizierung, die in Deutschland entwickelt wurde, lässt sich an klimatische, bauliche, gesetzliche und kulturelle Besonderheiten in anderen Ländern adaptieren.⁴⁵

ÖGNI



ÖGNI ist eine Gebäude- und Quartierszertifizierung auf Basis des DGNB. Die Zertifizierung begleitet Bau- und Sanierungsprojekte von der Konzeptionsphase bis hin zur Fertigstellung.⁴⁶

klimaaktiv



Der klimaaktiv Gebäudestandard misst und vergleicht die Qualität von Neubauten und Sanierungen. Der Bewertungskatalog

⁴⁵ <https://www.dgnb.de/de/zertifizierung/das-wichtigste-zur-dgnb-zertifizierung>; abgerufen am 27.12.2023 um 14:11 Uhr

⁴⁶ <https://www.ogni.at/leistungen/zertifizierung/>; abgerufen am 27.12.2023 um 14:22 Uhr

beinhaltet die fünf Basiskriterien: Qualität der Infrastruktur, Energieeffizienz, Nutzung erneuerbarer Energieträger, Einsatz ökologischer Baustoffe und thermischer Komfort.

Der Gebäudestandard basiert auf den normierten Rechenverfahren und Nachweismethoden der Bauordnungen der Länder auf Basis der OIB-Richtlinie 6. Jedes Gebäude kann online kostenlos deklariert und bewertet werden.⁴⁷

ÖGNB (TQB)



Die Österreichische Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (ÖGNB) zertifiziert nach dem Total Quality Building (TQB) System. Die Bewertung fußt auf neun Bewertungskriterien: Ressourcenschonung, Verminderung der Belastungen für Mensch und Umwelt, Komfort für NutzerInnen, Langlebigkeit, Sicherheit, Planungsqualität, Errichtungsqualität, Infrastruktur, Ausstattung, und Kosten. TQB orientiert sich an dem britischen Zertifizierungssystem BREEAM.⁴⁸

Building Research Establishment Environmental Assessment Method – BREEAM



Die BREEAM-Zertifizierung wird im deutschsprachigen Raum exklusiv von TÜV SÜD erteilt. Das System bewertet Gebäude auf einer Skala von Null bis 100 Punkten, die wiederum in fünf Exzellenzgrade (Neubau) bzw. sechs Exzellenzgrade (Bestand) übersetzt werden. Die Bewertungskriterien beinhalten Energie, Wasser, Abfall, Landnutzung und Ökologie, Gesundheit und Wohlbefinden, Management und Transport.⁴⁹

⁴⁷ <https://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebaeudedeklaration.html>; abgerufen am 27.12.2023

⁴⁸

https://www.oegnb.net/tqb/upload/file/090901_TQB



LEED V4 Zertifizierung

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) wurde vom U.S. Green Building Council entwickelt. Es ist ein international anerkanntes Bewertungssystem für umweltfreundliche Gebäude.

Die Art der Nachweise unterstützt die ganzheitliche und energieeffiziente Planung des Gebäudes und seiner technischen Anlagen für Heizung, Kühlung, Lüftung und Licht. LEED® Zertifikate werden in den Qualitätsstufen Certified - Silver - Gold - Platinum vergeben. Die Zertifizierungsanforderungen basieren auf amerikanischen Standards und gelten weltweit in nahezu unveränderter Form. Daher können LEED® zertifizierte Gebäude über Ländergrenzen hinweg verglichen werden.

4.2. Evaluierung der Zertifizierungen

Im Allgemeinen

Die oben erläuterten Zertifizierungssysteme haben alle das Ziel, die Nachhaltigkeit von Bauwerken transparent messbar, nachvollziehbar und vergleichbar zu machen. Die Zertifizierungen stellen Anreizsysteme dar, die Nachhaltigkeit eines Bauwerks zu maximieren, in dem es so konzipiert wird, dass Rohstoffe im Kreislauf geführt, Recycling unterstützt und die zu entsorgenden Massen reduziert werden. In der Regel basieren die Zertifizierungssysteme auf einer Vielzahl von Bewertungskriterien, die je nach System unterschiedlich gewichtet werden. In der Vergangenheit wurde die

Basisbeschreibung Bewertungsverfahren 2002.pdf; abgerufen am 27.12.2023 um 14:39 Uhr

⁴⁹ <https://breeam.de/breeam/was-ist-breeam/>; abgerufen am 27.12.2023 um 14:47 Uhr

Wiederverwendung von den Zertifizierungssystemen vor allem in Zusammenhang mit Aushubmaterial und Betonkies verwendet.⁵⁰ Inzwischen haben die meisten Zertifizierungen die Wiederverwendung von Bauprodukten in ihren Kriterienkatalog integriert. Jedoch ist die Wiederverwendung kein eigenes Bewertungskriterium, sondern fließt indirekt z.B. als Teil des Zirkulären Bauens oder der Ökobilanz in die Bewertung mit ein.⁵¹ Während die verbauten Materialien zur Kostenoptimierung bereits in der Planung optimiert werden, wird die Nutzungsflexibilität und – dauer oft nur unzureichend von der Planung berücksichtigt.⁵²

Nachhaltigkeitszertifizierungen ermöglichen eine ganzheitliche Bewertung, die sowohl Bauprodukte erfasst, als auch Produktionsprozesse und Nutzungsdauer inklusive Rückbaubarkeit bewertet. Zusätzlich werden Konstruktionen oder der Einsatz von Materialien, die eine zukünftige Wiederverwendung erlauben, positiv berücksichtigt. Darüber hinaus können Zertifizierungen grundsätzlich einen wichtigen Beitrag zur Verbreitung von Wissen über und die Anwendung von nachhaltigem Bauen einschließlich Wiederverwendung leisten. In manchen Fällen werden Zertifizierungen auch bei der Vergabe von Subventionen oder Krediten positiv berücksichtigt. Da die Wiederverwendung von Bauprodukten vergleichsweise neu ist bzw. noch eine Ausnahme darstellt, nehme ich an, dass ihre Bewertung bis dato noch nicht sehr standardisiert ist. Darüber hinaus ist schwer festzustellen, in wie weit wiederverwendete Bauprodukte im Vergleich zu anderen nachhaltigen

Produkten gemessen werden. Laut einer gemeinsamen Studie von DGNB, ÖGNI, Green Building Council Espana, Swiss Sustainable Building Council, Climate Positive Europe Alliance und dem Dutch Green Building Council gibt es eine Reihe von Faktoren, die die Marktteilnehmer in Bezug auf die Zertifizierungen als Herausforderung betrachten. Hierzu zählen unter anderem ein Mangel an (digital verfügbaren) Informationen und Know-How, komplexe Bewertungsmethoden, sowie national und international variierende Standards.⁵³ Ebenfalls ist darauf zu achten, dass Zertifizierungen nicht zu einem reinen Marketinginstrument instrumentalisiert werden (green washing).

In Bezug auf Wiederverwendung und Holzbau

Zertifizierungen haben den Zweck, bestimmte Qualitäten transparent und messbar darzustellen. Geht es um die Nachhaltigkeit von Gebäuden, scheint es wenig sinnvoll, einzelne Bauweisen oder Konstruktionsmethoden separat zu betrachten. Im Gegenteil, es geht darum, Materialien und Bauweisen untereinander vergleichbar zu machen. Daher ist es zielführend, dass es keine auf Holzbau und/oder Wiederverwendung „spezialisierten“ Zertifizierungen gibt. Vielmehr sollte der Vergleich einer möglichst großen Bandbreite von Gebäuden ermöglicht werden, unabhängig von Materialien und Konstruktionsart. In diesem Rahmen fließen Holzbauprodukte als nachwachsende Ressource, die CO₂ bindet, positiv in die Bilanz mit ein.

⁵⁰ www.curem.uzh.ch/dam/jcr.48a090c4-e81c-4924-91faa-f6ecbc5d39f/Hombberger%20Joy%20AbAr%20Lg221-22.pdf; abgerufen am 2.1.2024 um 12:22 Uhr

⁵¹ <https://www.nbau.org/2023/10/18/wiederverwendung/>; abgerufen am 03.01.2024 um 11:10 Uhr

⁵² <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bate.202100110>; abgerufen am 06.02.2024 um 18:15 Uhr

⁵³ https://gbce.es/wp-content/uploads/2023/02/230203_2_CE-Studie_Report_2023.pdf; abgerufen am 03.01.2024 um 11:39 Uhr



Abbildung 11: SWOT Zertifizierungen, eigene Darstellung

Verfügbarkeit von wiederverwend- baren Materialien

5. Verfügbarkeit von wiederverwendbaren Materialien

Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen ist auch die Verfügbarkeit von gebrauchten Bauprodukten ein wesentlicher Einflussfaktor für die Wiederverwendung. Nur wenn genügend unterschiedliche Materialien in ausreichendem Maß zur Wiederverwendung am Markt erhältlich sind, werden sich Planer mit der Wiederverwendung als ressourcenschonende Bauweise auseinandersetzen. Re-Use Materialien können über Bauteilbörsen, Bauprodukthersteller oder direkt über die Identifikation von vom Abbruch gefährdeten bzw. rückzubauenden Gebäuden gesourced werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Bezugsoptionen für Sekundärmaterialien untersucht sowie Potentiale und Herausforderungen beschrieben.

5.1. Tools

BIM

BIM steht für Building Information Modelling. Mit Hilfe von BIM können digitale 3D-Modelle eines Gebäudes, sogenannte digitale Zwillinge, entwickelt werden, die seine physischen und funktionalen Eigenschaften genau abbilden. Das Tool ermöglicht disziplinenübergreifend zu planen, zu entwerfen, zu bauen und zu verwalten.⁵⁴ Darüber hinaus ermöglicht BIM die Erstellung materieller Gebäudepässe. Diese geben unter anderem Auskunft über Aufbauten, Materialien, deren Qualität und Menge in einem Gebäude. Die Gebäudepässe bilden eine wichtige Grundlage für die Erfassung eines Gebäudes als Rohstofflager.

⁵⁴ <https://buildingtwin.net/digitalerzwilling/>; abgerufen am 01.02.2024 um 20:52 Uhr

⁵⁵ <https://www.digitalfindetstadt.at/innovationspartner/madaster-austria-gmbh>;

Madaster

Madaster beschreibt sich selbst als ein „Kataster für Materialien mit dem Ziel, die Kreislaufwirtschaft für alle Seiten der Bau- und Immobilienindustrie zu ermöglichen“.⁵⁵ Über die Cloud-Plattform können Produktdaten wie z.B. Materialherkunft, Lebensdauer und Wiederverwertbarkeit abgerufen werden. Außerdem ermöglicht die Plattform die Erstellung von Materialpässen inklusive Informationen über Anschlüsse und Verbindungen für Gebäude, vor allem die aktuell geplant und gebaut werden. Ebenso unterstützt Madaster bei der Bewertung der Zirkularität und Trennbarkeit von Bauteilen und bei der Ermittlung von Kennzahlen zu Embodied Carbon und CO₂-Emissionen. Es beinhaltet Tools zur finanziellen Bewertung von verbauten Materialien. Ziel von Madaster ist die Ermittlung eines Rohstoffrestwerts einer Immobilie. Dieser gibt Auskunft über die Rückbaubarkeit und Nachhaltigkeit einer Immobilie, was sich wiederum positiv bei der Vergabe von Finanzierungskrediten auswirken könnte. Um sein Angebot zu professionalisieren, geht Madaster Kooperationspartnerschaften ein. Darüber hinaus ermöglicht Madaster die bessere Organisation von Stoffströmen und Planung mit wiederverwendeten Bauprodukten. In einigen Ländern bietet Madaster bereits die Funktion, die Verfügbarkeit von wiederverwendbaren Materialien innerhalb eines vom Anwender bestimmten Umkreises anzuzeigen. Diese Funktion ist zwar bis dato in Österreich jedoch (noch) nicht verfügbar.⁵⁶ Auch wenn es nationale Unterschiede in der Handhabung von wiederverwendbaren Bauprodukten gibt, kann man annehmen, dass es Synergieeffekte geben wird z.B. im Hinblick auf Verfügbarkeit/Angebot von Bauprodukten, Anbietern, und Datensätzen.

[daster-austria-gmbh](https://www.digitalfindetstadt.at/innovationspartner/madaster-austria-gmbh); abgerufen am 01.02.2024 um 20:52 Uhr

⁵⁶ <https://madaster.nl/en/>; abgerufen am 02.02.2024

Concular

Siehe Kapitel 5.2

5.2. Materialdatenbanken in Österreich

Der Markt für gebrauchte Bauprodukte scheint aktuell wenig transparent und stark fragmentiert. Im Folgenden werden die wichtigsten Materialdatenbanken für gebrauchte Bauprodukte in Österreich beschrieben und analysiert.

Materialnomaden

Materialnomaden haben sich auf die Beratung bei der Entwicklung und Umsetzung von Projekten mit wiederverwendeten Produkten spezialisiert. Ihr Ziel ist es, die Lebensdauer von Baumaterialien zu verlängern und Ressourcen einzusparen. Insbesondere

bieten sie Dienstleistungen zur Bewertung von Material und Gebäudekomponenten an. Darüber hinaus erstellen Materialnomaden Machbarkeitsstudien und Bauteilkataloge, um die Wiederverwendungsmöglichkeiten zu ermitteln. Sie unterstützen im Bereich Architektur, Stadtplanung, Baudurchführung und Restaurierung, Kunst und Design, sowie in Tragwerksplanung und angeleitetem Selbstbau. In 3.2.9 wurden bereits die Herausforderungen bezüglich Haftungs- und Gewährleistungsansprüchen beschrieben. Materialnomaden verweisen auf Ihrer Homepage darauf, dass Materialien Gebrauchsspuren aufweisen können und nicht der gesetzlichen Gewährleistung unterliegen.⁵⁷ Das Angebot wiederzuverwendender Bauprodukte wird über die Webseite <https://www.restore.or.at/store/> vermarktet.

re:use

re:design	13
re:furbished	5
re:use	53

13
5
53

Ansicht: Liste Karte

 Dachziegel €0,50 / Stk. 13 Stück	 Glastür €1.440,00 / 1 Stück	 Flügeltüre €1.900,00 / Stk 2 Stück
 Betonsockel €420,00 / Stk 10 Stück	 Warensicherung Gateway €480,00 / 2 Stück	 Metallschrank €480,00 / Stk. 4 Stück
 Streckmetallpaneel €60,00 / Stk. 10 Stück	 Metallschrank €720,00 / Stk. 5 Stück	 Metallschrank €720,00 / Stk. 1 Stück

Alle Ergebnisse wurden geladen.

Abbildung 12: Materialangebot von Materialnomaden⁵⁷

⁵⁷ <https://www.materialnomaden.at/about/>; abgerufen am 03.01.2024 um 14:52 Uhr

BauKarussell

BauKarussell hat sich auf „Social Urban Mining“, den verwertungsorientierten Rückbau mit sozialem Mehrwert spezialisiert.⁵⁸ Das Leistungsspektrum umfasst die Bestandserfassung, Potentialanalyse, Rückbaubegleitung und den Re-Use Verkauf. Zielgruppe sind Gebäudeeigentümer und Einrichtungen, die sich mit der Planung und Abwicklung von verwertungsorientiertem Rückbau befassen. Laut meiner Recherche liegt der Fokus von BauKarussell vor allem auf dem verwertungsorientierten Rückbau von Bauwerken. Die Vermarktung von gebrauchten Bauprodukten erfolgt fallspezifisch über diverse Vertriebskanäle. Dagegen scheint der sogenannte Re-Use-Bauteilkatalog vergleichsweise wenig bestückt. Für spezifische Anfragen wird auf direkte Kontaktanfragen verwiesen.

Concular

Concular ist eine digitale Plattform für ressourceneffizientes, zirkuläres Bauen. Über die Plattform lassen sich Materialien von Bestandsgebäuden erfassen und digitale Material- und Produktpässe generieren. Darüber hinaus beinhaltet Concular einen Marktplatz für rückzubauende Bauprodukte und koordiniert Rückbau, Logistik, und Wiedereinsatz. Ebenso ist die Berechnung von CO₂-Einsparungen und Ökobilanzierung über Concular möglich. Im Vergleich zu Materialnormaden oder Baukarussell ist das Angebot an wiederverwendbaren Baumaterialien vergleichsweise groß. Dies bezieht sich jedoch vor allem auf Fenster und Türen, Sanitärgegenstände, Bodenbelag und Haustechnik. Tragwerksbezogene Bauprodukte sind auf Concular derzeit nur in geringem Umfang abrufbar.⁵⁹



Abbildung 13: Materialangebot von Baukarussell⁵⁸

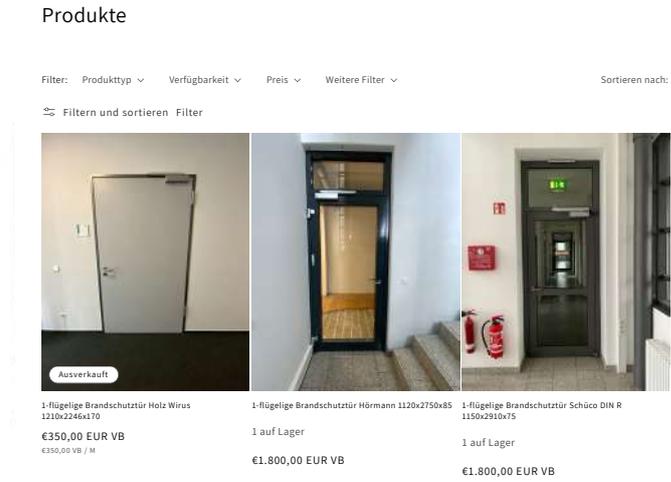


Abbildung 14: Materialangebot von Concular⁵⁹

⁵⁸ <https://www.baukarussell.at/mission/>; abgerufen am 03.01.2024 um 13:22 Uhr

⁵⁹ <https://shop.concular.de/>; abgerufen am 01.02.2024 um 20:52 Uhr

5.3. Hersteller

Neben Baustoffbörsen können auch Bauprodukthersteller die Verfügbarkeit von Bauprodukten maßgeblich mit beeinflussen. Hierzu müssen sich Konzepte etablieren, die weg von Besitz hin zur Nutzung gehen. Ein Modell basiert beispielsweise auf Rücknahmeverpflichtungen (und Wiederangebot nach evtl Aufbereitung) von Herstellern für ihre Bauprodukte. Dies ist wie z.B. bei dem Hersteller von Holzleimprodukten Derix der Fall. Es hat sich als eines der marktführenden Unternehmen im Holzbau verpflichtet, BSH- und CLT-Bauteile zurückzunehmen. Ein anderes Konzept könnte „pay per use“ darstellen, in dem Bauprodukte gegen eine Gebühr für eine gewisse Dauer zu Verfügung gestellt werden.

5.4. Evaluierung Materialangebot

Die Baubranche verbraucht eine große Menge an Ressourcen. Damit sich die Wiederverwendung von Bauprodukten etabliert, ist ein ausreichend großes und zugängliches Angebot erforderlich. Dies kann von Materialdatenbanken, von Herstellern, die Bauteile zurücknehmen und zur Wiederverwendung anbieten, oder direkt aus rückbaubaren Gebäuden genährt werden. Digitale Plattformen und Werkzeuge sind für die Erfassung von Gebäuden als Rohstofflager essentiell. Bis dato liegt hier der Fokus jedoch auf Neubauten. Ein zentraler Schritt wäre es, ein zentrales Register zu entwickeln, in welchem durch den Rückbau von Bestandsbauten die zur Verfügung stehenden Bauprodukte erfasst werden. Bis dato ist schwer zu beurteilen, welche und wie viele Bauprodukte in welcher Qualität für Re-Use zur Verfügung stehen.

⁶⁰ https://www.derix.de/data/Holz-Zentralblatt_R%C3%BCcknahme_20210625.pdf; abgerufen am 04.02.2024 um 10:45 Uhr

Indem zunehmend Hersteller Rücknahmeverpflichtungen eingehen, wird ein wichtiger Schritt in die Richtung gegangen, die Wiederverwendung von Holzbauteilen am Markt zu etablieren. Darüber hinaus stimuliert die Rücknahmeverpflichtung auch Architekten, Planer und ausführende Unternehmen, Holzbaukonstruktionen demontierbar und idealerweise sortenrein zu planen und auszuführen. Teilweise unterstützen die Hersteller, in dem sie digitale 3D Modelle oder Materialpässe zur Verfügung stellen.⁶⁰ Da die Rücknahmeverpflichtung erst kürzlich eingeführt wurde, sind aktuell nur wenige Bauteile in Rücknahme. Demzufolge ist die Klassifizierung der Rückläufer in digitaler Form noch nicht sehr fortgeschritten und das Angebot für Planer gering. Auch die monetäre Bewertung der rückgebauten Bauteile ist für Hersteller nicht umfassend geklärt, insbesondere weil sie von Qualität, Transport und Komplexität des Rückbaus und der Marktsituation abhängig ist. Laut Derix wird jedoch erwartet, dass neben Nachhaltigkeitsaspekten auch aufgrund der aktuellen Knappheit von Schnittholz und anderen Holzprodukten die Wiederverwendung von Holz großes Potential hat.⁶¹ Unklarheit gibt es derzeit vor allem aus rechtlicher Perspektive, wie die technischen Eigenschaften der Bauprodukte geprüft bzw. zertifiziert werden (vgl. Kapitel 3).

Die vorliegende Analyse der Bauteilbörsen in Österreich zeigt, dass diese bis dato nur wenig etabliert sind. Ich konnte drei Bauteilbörsen für den österreichischen Markt identifizieren. Dabei scheint die Vermarktung von wiederverwendbaren Baumaterialien nicht die Kernaktivität der Anbieter. Der Fokus scheint vielmehr auf der Beratung von hinsichtlich Rückbau, Urban Mining und Nachhaltigkeit zu liegen, nicht in der

⁶¹ https://www.derix.de/data/Holz-Zentralblatt_R%C3%BCcknahme_20210625.pdf; abgerufen am 04.02.2024 um 10:45 Uhr

Etablierung eines breitgefächerten Angebots. Von Nutzerseite stellt sich außerdem die Herausforderung, dass die Websites der Bauteilbörsen nicht sehr bedienungsfreundlich sind. So zum Beispiel wird man zunächst auf die Homepage der Anbieter geleitet, bevor man sich weiter zu den Bauteilbörsen „durchklickt“. Darüber hinaus sind die Bauteilkataloge wenig standardisiert. Dies liegt unter anderem daran, dass die potentiell wiederverwendbaren Bauteile in Bezug auf Maße, Qualität, Menge etc. sehr individuell und schwer zu klassifizieren sind. Ebenso setzt das Angebot zumindest einen Rückbau-Test voraus, um die Qualität, Demontierbarkeit, Transport usw. der Bauprodukte zu überprüfen. Weitere Herausforderungen liegen in Haftungs- und Gewährleistungsansprüchen, die wiederum in erheblichen Kosten resultieren können. Die Analyse des Materialangebots zeigt außerdem, dass die Verfügbarkeit von

wiederverwendbaren Bauprodukten, insbesondere im Hinblick auf konstruktive Elemente sehr gering ist und in jedem Fall unzureichend, hieraus ein neues Gebäude bzw. Bauwerksteil zu generieren.

Abbildung 12 gibt einen Überblick über die angebotenen Bauprodukte. Es wird deutlich, dass der Fokus im Wesentlichen auf Ein- und Ausbaukomponenten wie Türen, Fenster und Sanitärgegenständen liegt. Der Markt mit konstruktiven Sekundärressourcen ist bis dato noch nicht konkurrenzfähig. Dank der fortschreitenden Digitalisierung ist aber anzunehmen, dass sich zukünftig der Markt für wiederverwendbare Bauteile etablieren wird. Darüber hinaus sollte sich eine Professionalisierung und ein erweitertes Angebot der Bauteilbörsen, sowie eine wachsende Nachfrage, schärfere rechtliche Rahmenbedingungen und verbessertes Know-How andererseits positiv auf das Angebot an Re-Use Materialien auswirken.

		BauKarussell <small>Bau-Stakeholder-Dialog</small>	materialnomaden	Concular
Konstruktive Bauteile	Stahlträger	0	0	194
	Stahlstützen	0	0	39
	Sonstige Stahlbauteile*	12	0	85
	Holzbalken	0	0	36
	Betonfertigteile	0	0	97
	Wandbauteile	0	0	0
	Deckenbauteile	0	0	0
	Treppen	0	0	4
	Gesamt	12	0	455
	Nicht konstruktive Bauteile	Dämmmaterial	0	0
Fassade**		0	0	2.690
Türen, Fenster		10	3	3.993
Sanitär		0	0	184
Bodenbelag***		0	0	8.300
Sonstige		880	49	354
Gesamt		890	52	15.521
Gesamt		902	52	15.976

* Zugstäbe, Profilrohre; ** Fassadenplatten, -bleche; *** Bodenplatten

Abbildung 15: Auswertung Materialangebot

Abbildung 16: SWOT Materialangebot, eigene Darstellung

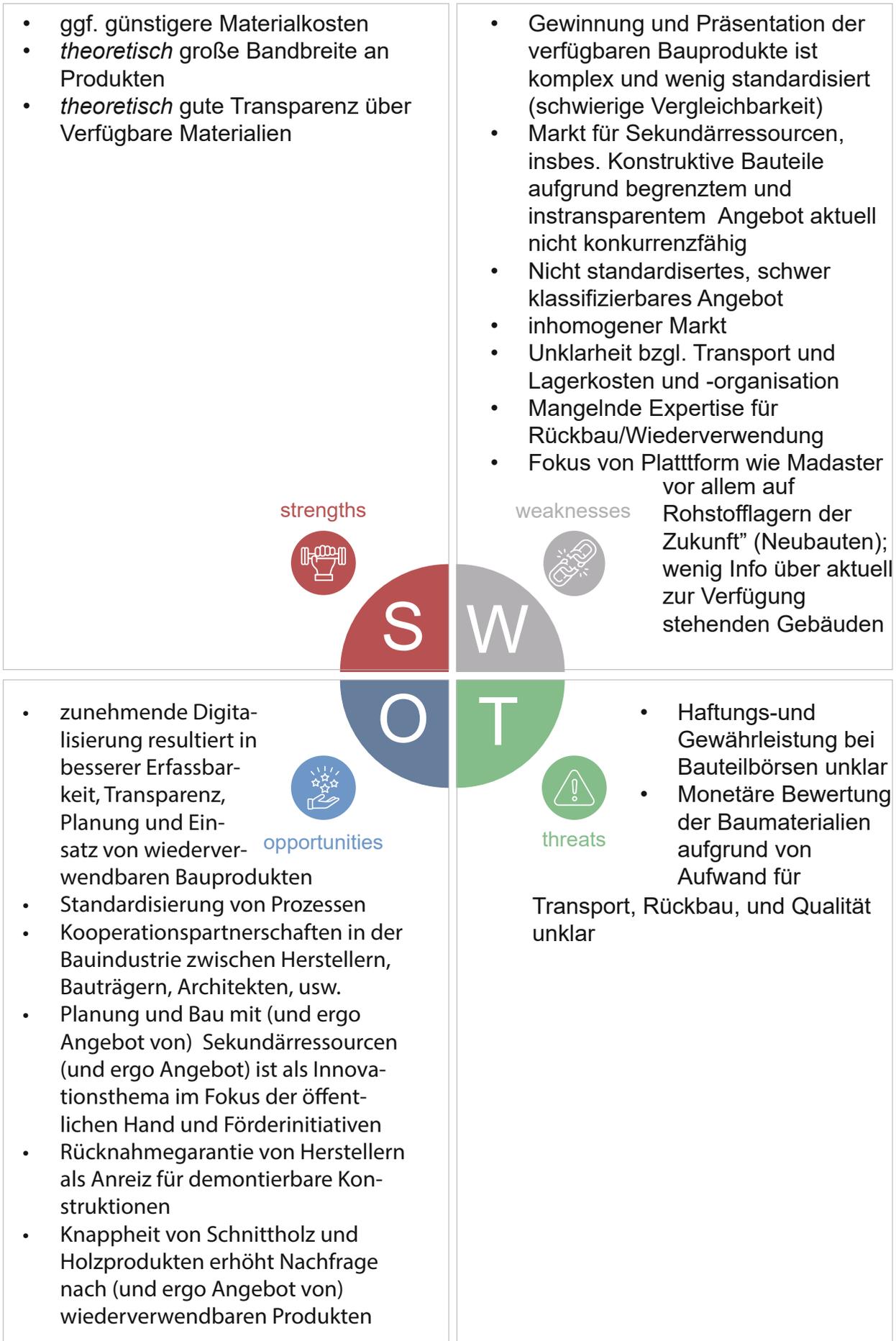


Abbildung 16: SWOT Materialangebot, eigene Darstellung

Planung mit wiederverwendeten Materialien

6. Planung mit wiederverwendeten Materialien

Der Planung ist das Werkzeug von Architekten, ihren Entwurf zu definieren und die einzelnen Aspekte wie Konstruktion und Tragwerk, Materialien usw. zu spezifizieren. Im Zuge des Planungsprozesses fungiert der Architekt als Schnittschnelle zwischen den unterschiedlichen Konsulenten und ausführenden Gewerken. Dabei erfolgt die Planung von „gewöhnlichen“ Gebäuden vergleichsweise linear und wird über die einzelnen Phasen hinweg zunehmend detaillierter. Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, gilt es bei der Planung mit Sekundärmaterialien eine Vielzahl zusätzlicher Faktoren wie rechtliche Rahmenbedingungen oder die Verfügbarkeit zu berücksichtigen. Nachfolgend wird beschrieben, wie sich ein Planungsprozess von Re-Use Projekten von der „traditionellen“ Planung unterscheidet. In einem zweiten Schritt wird auf die planungsspezifischen Aspekte bei der Wiederverwendung von Holzbauteilen eingegangen.

6.1. Entwurfsprozess mit Wiederverwendung im Allgemeinen

Der Entwurfs- und Planungsprozess mit wiederverwendeten Bauprodukten unterscheidet sich zu dem mit „gewöhnlichen“ Primärrohstoffen. Entweder überzeugt der Planer, der mit dem Bauvorhaben betraut wurde, seinen Bauherren, die Wiederverwendung von Bauprodukten als integralen Bestandteil des Entwurfs zu machen. Oder der Bauherr entscheidet sich zu Beginn des Bauvorhabens, in seinem Projekt mit Re-

Use-Bauprodukten zu arbeiten. Demzufolge beauftragt er dafür einen Architekten, der in der Regel mit Wiederverwendung Erfahrung hat. Laut einer Studie des Bundesinstituts für Bau-, Stadt und Raumforschung (BSSR) haben die Auftraggeber und Architekturschaffenden den größten Einfluss auf die Umsetzung von kreislauffähigem Bauen.⁶² Wird die Wiederverwendung nicht von Anfang des Projektes an als strategisches Ziel definiert, so ist es wahrscheinlich, dass es über die Projektphasen hinweg verwässert. Ein frühzeitiges Commitment zu nachhaltigen Projektzielen ist wichtig, damit Bauweise und -logistik, Tragstruktur und Material, Kosten und Zeit rechtzeitig abgewogen und eingeplant werden. Der „gewöhnliche“ Planungsprozess läuft vergleichsweise linear vom großen Maßstab ins Detail und wird durch städtebaulichen Kontext, der Volumetrie, dem Raumprogramm und dem Tragwerkskonzept bestimmt. Ein Re-Use Projekt ist zusätzlich von der Verfügbarkeit der Bauprodukte und dem spezifischen Know-How von Planern und ausführenden Gewerken abhängig. Der Re-Use Planungsprozess gestaltet sich daher weniger linear, sondern basiert auf iterativen Loops, in denen der Architekt und beteiligte Konsulenten und Gewerke auf die Verfügbarkeit und Qualität von Re-Use-Produkten im Rahmen von Umplanungen reagieren müssen. Architekturbüros, die als Pioniere mit Re-Use Projekten erste Erfahrung gesammelt haben, empfehlen bereits während des Vorentwurfs Materialien zu sourcen, die die Entwurfsplanung zu verkürzen, frühzeitig in die Ausführungs- und Detailplanung einzusteigen und Prototypen zu entwickeln.⁶³ Ebenso betonten sie, dass Re-Use einen erhöhten Koordinationsaufwand und

⁶²

https://www.researchgate.net/publication/375526002_circularWOOD_-_Paradigmenwechsel_fur_eine_Kreislaufwirtschaft_im_Holzbau; abgerufen am 11.02.2024 u 16:39 Uhr

⁶³

https://www.researchgate.net/publication/372335450_Zirkulares_Bauen_in_der_Praxis_Ein_Status_Quo; abgerufen am 04.02.2024 um 19:40 Uhr.

Komplexitätsgrad aufweisen. Der Planungs- und Bauprozess gestaltet sich sehr interdisziplinär, als partizipativer Prozess zwischen Planern, Handwerkern, Bauherrn, Fachplanern und Behörden. Infolge des iterativen Planungsprozesses verlagern sich die Ausgaben in der Wertschöpfungskette, weil vor allem regionale, mittelständische Handwerksbetriebe mit den entsprechenden Fachkräften den Rückbau durchführen. Dies bietet jedoch für die Baubranche auch die Möglichkeit, von internationalen Lieferketten unabhängig zu werden.⁶⁴ Nachdem die Materialien, die zum Einsatz kommen sollen, definiert wurden, müssen Suchprofile mit allen definierten Bauteilparametern und Ausschlusskriterien erstellt werden. Potentielle Bauteile aus Abbrüchen und Sanierungen müssen auf ihre Einsetzbarkeit geprüft und gegebenenfalls für die Beschaffung freigegeben werden. Das Architekturbüro in situ, welches ein Pionier in Bezug auf kreislauffähiges Bauen und Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen ist, hat den Beruf des Bauteiljägers ins Leben gerufen. Dieser ist für die Suche, Analyse und Dokumentation, sowie später die Demontage, mögliche Lagerung, Aufbereitung und Wiedereinbau verantwortlich.⁶⁵ Der Mehraufwand, der hierdurch und infolge der gesetzlichen Unklarheiten verursacht wird, ist in der aktuellen Honorarordnung der Architekten nicht abgebildet. Um den mit Re-Use Projekten verbundenen Kosten zu bewältigen, hat in situ darüber hinaus Vorschusszahlungen mit der Bauherrschaft verhandelt. Es wird deutlich, dass Projekte mit Wiederverwendung von allen Beteiligten eine Risikobereitschaft im Hinblick auf das

finale Aussehen, Konstruktionsart etc. voraussetzen.

6.2. Re-Use Planungsprozess in Bezug auf Holzbau

Wird ein Gebäude mit Sekundär-Bauprodukten geplant, scheint es ebenso logisch und konsequent, auch hier eine möglichst hohe Nutzungsflexibilität und den potentiellen Rückbau und Wiedereinbau mitzudenken. Holz bietet hierfür eine Vielzahl von Möglichkeiten und ist anderen Konstruktionsarten dank gängiger Planungsabläufen, Fertigungs- und Montageprozessen in der Regel überlegen.⁶⁶ Standardisierte Fertigungsprozesse ermöglichen eine gute Qualitätssicherung, Materialeffizienz und Detailgenauigkeit. Dank dem hohen Digitalisierungsgrad können zudem Baustoffeinsatz, Bauteilaufbau und -menge sehr präzise und zeitnah bestimmt werden. Des Weiteren kann der Rückbau vergleichsweise einfach bereits mitgedacht werden. Ebenso wird beim Holzbau das Tragwerk gewöhnlich als ein 3D Gebäudemodell erstellt und macht Informationen über Materialien, Mengen, Qualität und Verbindungsmittel transparent und leicht zugänglich. Es ist unabdingbar, dass die Holzindustrie den Rückbau, die Wiederverwendung und Verwertung von Bauprodukten in Herstellung, Angebot und Ausführung proaktiv begleitet. So zum Beispiel stellt die Trennbarkeit von Decken und Wänden bei gleichzeitig möglichst emissionsfreier Produktion und hoher Materialgüte Entwicklungspotential dar. Hierbei ist es notwendig, insbesondere Statiker, Bauphysiker, Brand- und Schallschutzplaner früh in den Planungsprozess zu integrieren und beim

⁶⁴

<https://www.proholz.at/fileadmin/flippingbooks/Zuschnitt88/zuschnitt88.pdf>; abgerufen am 22.02.2024 um 16:38 Uhr

⁶⁵

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_1

⁶⁶ [18_Winterthur_CH-3662981.html](https://www.proholz.at/winterthur/18-Winterthur_CH-3662981.html); abgerufen am 19.02.2024 um 18:27 Uhr

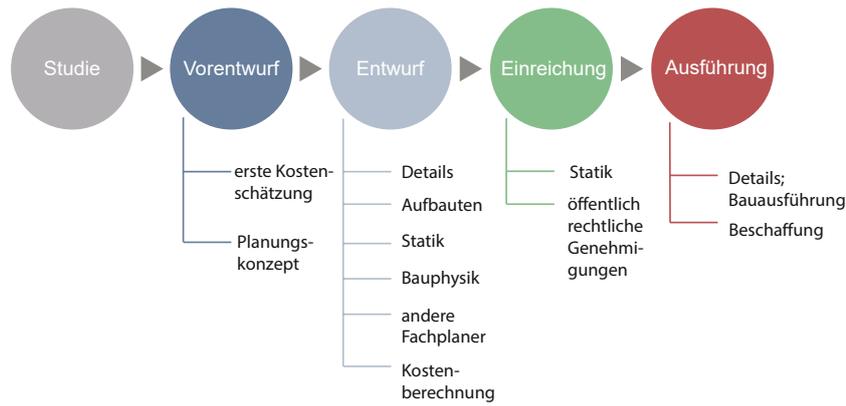
⁶⁶ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/nachgefragt-potenziale-holzbau-reuse-recycling>; abgerufen am 04.02.2024 um 19:40 Uhr.

Rückbau und der Wiederverwendung detailliert zu berücksichtigen.⁶⁷ Auch wenn es aktuell keine in Gänze funktionierende Standards hinsichtlich Datenübergabe bzw. -format gibt, sind die zunehmende Weiterentwicklung und Etablierung von BIM-Systemen sehr vielversprechend.

⁶⁷

<https://www.proholz.at/fileadmin/flippingbooks/Zusch>

Traditioneller Planungsprozess



Planung mit Wiederverwendung



Abbildung 17: Traditionelle Planung vs. Planung mit Wiederverwendung

Tragwerk und Konstruktion mit wiederverwendeten Bauteilen

7. Tragwerk und Konstruktion mit wiederverwendeten Bauteilen

Beim Thema Reduktion von Energieverbrauch und Schadstoffen stand lange die energetische Optimierung von Gebäudehülle und Anlagentechnik im Vordergrund. Da das Einsparpotential im Hinblick auf Energieeffizienz und Dämmstandards weitgehend erschöpft ist, und die Klimaziele weitaus größere Maßnahmen erfordern, rückt zunehmend auch der ökologische Fußabdruck von Herstellung und Instandhaltung der Konstruktion in den Vordergrund. Hierzu werden zunächst allgemeine Designprinzipien für Re-Use Projekte erläutert. In einem zweiten Schritt wird genauer auf die Potentiale für die Wiederverwendung in Holzbauweisen und Bauteilfügungen eingegangen.

7.1. Designprinzipien für Tragwerksplanung mit Wiederverwendung

Wie Abbildung 18 zeigt, liegt eine maßgebliche Stellschraube für die CO₂-Reduktion eines Bauwerks im Tragwerk. So zum Beispiel verursachen Deckenplatten durchschnittlich rund 60% der CO₂-Bilanz.⁶⁸ Daher leisten langlebige, wartungsarme und flexibel nutzbare Gebäudeträgerwerke einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung und Materialoptimierung. Tragwerke haben eine Lebensdauer von weit mehr als 100 Jahren.

Dagegen müssen Gebäudehülle und -technik im Laufe des Lebenszyklus wiederholt erneuert werden.⁶⁹ Infolgedessen sollte bei der Fassade und Gebäudetechnik vor allem der Rückbau und die Wiederverwendung priorisiert werden. Im Gegensatz dazu spielen beim Tragwerk auch die Langlebigkeit und Adaptierbarkeit eine wichtige Rolle. Im Hinblick auf Deckenspannweiten und Stützraster gilt es die Nutzungsflexibilität mit den stärkeren Deckenplatten infolge höherer Verformungen abzuwägen. Grundsätzlich sollte das Tragwerk möglichst einfach und direkt die Lasten über alle Geschosse ableiten, um zu vermeiden, dass zusätzliche Abfangungskonstruktionen notwendig werden. Laut einer Studie von Arup können sich verringerte Nutzlasten positiv auf die CO₂-Bilanz auswirken. Sind statisch hoch ausgenutzte Bauteile effizient und ressourcenschonend, ist es zum Zwecke der langen Nutzungsdauer möglicherweise sinnvoll, Tragreserven für eventuelle Nutzungsänderungen in der Planung mit zu berücksichtigen. Auch wenn Holz grundsätzlich als ein sehr nachhaltiger Rohstoff gilt, sollten Planer einen ganzheitlichen Ansatz verfolgen und über hybride Lösungsansätze nachdenken, in denen die einzelnen Materialien möglichst im Hinblick auf ihre Stärken eingesetzt werden (Beton bei Druckbelastung, Stahl bei Zugbelastung, Holz gutes Verhältnis von Tragfähigkeit zu Gewicht). Darüber hinaus können Planer im Rahmen der Entwurfs- und Ausführungsplanung z.B. mittels Vorfertigung einen positiven Beitrag für einen ressourcenschonenden Bauprozess leisten.

68

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bate.202100114>; abgerufen am 06.02.2025 um 19:22 Uhr

69

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bate.202100114>; abgerufen am 06.02.2025 um 19:22 Uhr

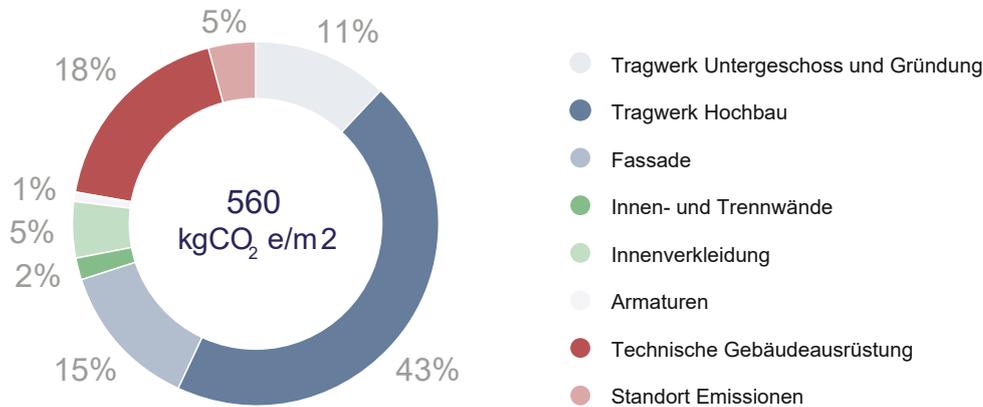


Abbildung 18: CO₂-Emissionen im Gebäude⁷⁰

7.2. Für Wiederverwendung geeignete Bauteilfügungen im Holzbau

Eine Wiederverwendung von Bauteilen am Ende des Gebäudelebenszyklusses setzt voraus, dass ein Rückbau des Altbestandes möglich ist. Laut einer Studie des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) schätzen Holzbauunternehmen, Holzbauingenieure und -planende die Fügetechnik und Verbindungsmitteltechnologie als einen der wichtigsten Einflussfaktor für die Umsetzung von zirkulärem Bauen ein.⁷¹ Bei den Verbindungsarten von Holz mit Holz bzw. von anderen Bauteilen mit anderen Materialien sind die folgenden Verbindungsarten am geläufigsten:⁷²

- Zimmermannsverbindungen (Zapfen, Kammverbindungen, Stoß- und Blattverbindungen, Verkeilen, Klauung,

Nut und Feder, hölzerne oder eiserne Nägel etc.)

- Anschlüsse mit Stahlprofilen/-verbindungen
- Stifförmige Verbindungen: Schraubverbindungen, Dübel, Bolzen
- Kammnagelverbindungen
- Laschen, Lochbleche, Nagelplatten
- Nagel- und Klammerverbindungen
- Verklebungen, Verleimungen

Verbindungen sind dann reversibel, wenn die Kraftübertragung formschlüssig auf Abscheren oder auf Druck bzw. reinen Zug erfolgt. Eine weitere Möglichkeit ist die Kraftübertragung auf Zug durch Vorspannung der Verbindung. Eine Schädigung des Verbindungsbereiches in Folge von plastischen Verformungen kann durch formstabile Verbindungen vermieden werden.⁷³ Zimmermannsverbindungen und stiftförmige Verbindungen gelten aufgrund ihrer guten Reversibilität als besonders

⁷⁰ <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/net-zero-buildings-where-dostand>; abgerufen am 11.02.2024 um 16:39 Uhr

⁷¹ https://www.researchgate.net/publication/375526002_circularWOOD_-_Paradigmenwechsel_fur_eine_Kreislaufwirtschaft_im_Holzbau; abgerufen am 11.02.2024 um 16:39 Uhr

⁷² https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_93_2015_wiederverwertung_von_bauteilen_0.pdf; abgerufen am 11.02.2024 um 14:09 Uhr

⁷³ https://www.arc.ed.tum.de/fileadmin/w00cgv/klima/my_direct_uploads/HOLZHYBRID_Abschlussbericht.pdf; abgerufen am 11.02.2024 um 16:16 Uhr

geeignet für den zerstörungsfreien Rückbau bzw. die Wiederverwendung von Holzbauteilen. Daher möchte ich auf diese beiden Fügetechniken nachfolgend genauer eingehen.

Zimmermannsverbindungen

Zimmermannsverbindungen haben eine lange Tradition im Holzbau. Zimmermannsverbindungen sind Stecksysteme mit Versätzen, Zapfen- oder Blattverbindungen (vgl. Abbildung 19-21).⁷⁴

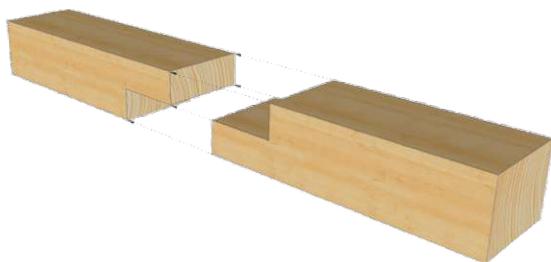


Abbildung 19: Beispiel Gerades Blatt⁷⁴

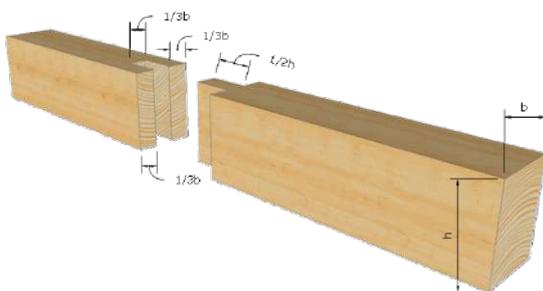


Abbildung 20: Beispiel Zapfenstoß⁷⁴

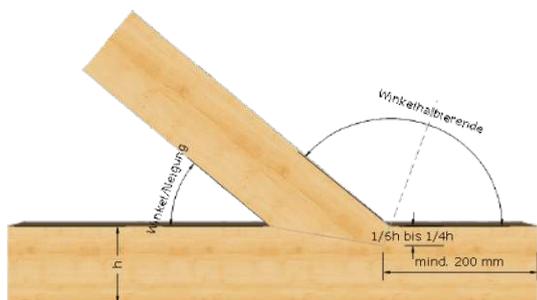


Abbildung 21: Beispiel Stirnversatz⁷⁴

Sie basieren auf Formschluss, was das lückenlose Ineinandergreifen der Holzbauteile bezeichnet. Hierdurch werden stabile und feste Verbindung ermöglicht, ohne dass zusätzliche Befestigungsmittel wie Schrauben oder Nägel notwendig sind. Sie zeichnen sich durch eine hohe Tragfähigkeit, Langlebigkeit und Ästhetik aus. Zimmermannsverbindungen haben in den letzten Jahren eine Renaissance erfahren.⁷⁵ Eindrucksvolle Beispiele sind das frei geformte Dachtragwerk des Clubhauses im Nine Bridges Golf Resort im südkoreanischen Yeosu nach einem Entwurf von Shigeru Ban Architects und KACI International.



Abbildung 22: Dachtragwerk des Golfclubhauses in Yeosu, Shigeru Ban Architect⁷⁵

⁷⁴ <https://baubeaver.de/zimmermannsmaessige-holzverbindungen/>; abgerufen am 11.02.2025 um 18:29 Uhr

⁷⁵ https://www.proholz.at/fileadmin/flippingbooks/zuschnitt81/zuschnitt_81.pdf; abgerufen am 11.02.2025 um 18:29 Uhr

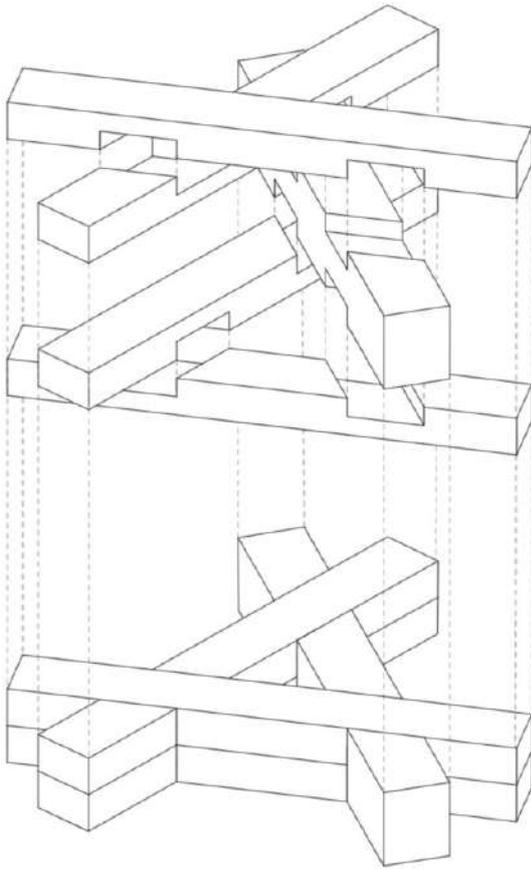


Abbildung 23: Dachtragwerk des Golfclubhauses in Yeosu, Shigeru Ban Architects⁷⁵

Grund hierfür war einerseits der zunehmende Fokus auf kreislauffähiges Bauen und das In-den-Vordergrund-Rücken von zerstörungsfrei demontierbaren Verbindungsarten - auch wenn Untersuchungen gezeigt haben, dass Schwalbenschwanzverbindungen aufgrund von Quell- und Schwindverformungen nur bedingt reversibel sind.⁷⁶ Außerdem werden dank der Digitalisierung der Fertigungsprozesse und des Ingenieurholzbaus die Planung und Herstellung von zimmermannsmäßigen Verbindungen zunehmend effizienter, effektiver und wirtschaftlicher. CNC Maschinen sind in der Lage zu hobeln, zu falzen, zu bohren, zu

⁷⁶

https://www.researchgate.net/publication/364737458_Wandelbarer_Holzhybrid_fur_differenzierte_Ausb_austufen; abgerufen am 11.02.2024 um 15:59 Uhr

nuten, zu kehlen, zu sägen, zu schleifen und zu fräsen. Dadurch eröffnet sich ein vielversprechendes Potential für eine große Bandbreite an hochbelastbaren, komplexen und präzisen Holz-Holz-Verbindungen. Diese verfügen über eine hohe Stabilität und Belastbarkeit. Jedes Bauteil kann unabhängig von individuellen Maßen ohne zusätzliche Kosten hergestellt werden. Dabei gibt es kaum Einschränkungen in Bezug auf die Ausrichtung und Form der Anschnitte, Aussparungen, Zapfen oder Löcher bzw. des Werkstücks selbst. Zusätzlich verknüpfen die CNC gesteuerten Bearbeitungszentren Informationen über die genaue Lage in der Konstruktion und in Relation zu angrenzenden Bauteilen.⁷⁷ Bei der Montage fallen die Teile automatisch wie Puzzleteile in die richtige Position. Gleichzeitig ist es wichtig, die Einschränkungen der Maschinen zu kennen und in der Planung zu berücksichtigen. Da rotierende Fräser z.B. keine scharfkantigen Löcher erzeugen können, wird stattdessen der Zapfen rund gefräst. Auch im Hinblick auf frei geformte, komplexe Tragwerksgeometrien mit einer Vielzahl unterschiedlich geformter Träger wie Gitternetzschalen eröffnen den Entwicklungen der CNC-Technologie vollkommen neue, wirtschaftliche Perspektiven. Haben traditionell gefertigte Tragwerke eine Spannweite von ca. 40m erreicht, überspannen die Holzkuppeln der Schweizer Rheinsalinen bis zu 120 Metern.⁷⁸ Andere eindrucksvolle Beispiele sind frei geformte, zweifach gekrümmte Gitternetzschalen wie beim Vogelobservatorium Tij, welches ausschließlich aus individuell geformten Rippen mit unterschiedlichen Krümmungsradien besteht.

⁷⁷ <https://www.proholz.at/zuschnitt/81/cnc-fertigung-im-holzbau> ; abgerufen am 11.02.2024 um 15:59 Uhr

⁷⁸ <https://www.proholz.at/zuschnitt/81/cnc-fertigung-im-holzbau>; abgerufen am 11.02.2024 um 15:59 Uhr



Abbildung 24: Tragwerk der Rheinsalinen⁷⁸

Stiftförmige Verbindungen

Im Holzbau werden viele der statisch wirksamen Verbindungen mit Hilfe von Schraubverbindungen ausgeführt. Klassische stiftförmige Verbindungsmittel kommen auch in hochbeanspruchten Tragwerken zum Einsatz. Effizienz, Tragverhalten, -widerstand lassen sich optimieren, indem die Verbindungsmittel quer zur Schaftrichtung beansprucht und die Kräfte im Holz und Biegung in das Verbindungsmittel übertragen werden. Auch eine entsprechende Anordnung der Scherfugen mit eingeschlitzten Blechen wirkt sich positiv aus.⁷⁹ Stiftförmigen Verbindungen gelten darüber hinaus als reversibel. Inwieweit diese Verbindungsarten am Ende des Gebäudelebenszyklus zerstörungsfrei lösbar

sind, ist bis dato jedoch nur in Teilen analysiert worden.⁸⁰ Schraubverbindungen haben den Nachteil, dass sie auf Abscherung beansprucht werden. Dies verursacht plastische Fließgelenke in den Stiften oder Lochleibungsverformungen im umliegenden Holz und beeinträchtigt somit die Wiederverwendbarkeit. Kriechlasten, Schwinden, Quellen, usw. können sich ebenfalls auf die Lösbarkeit der Verbindungsmittel negativ auswirken. Die Verbindungen sind vor allem dann nicht zerstörungsfrei lösbar, wenn die Verbindungsmittel plastisch verformt wurden oder der Verwitterung ausgesetzt waren.⁸¹ Darüber hinaus können Bohrlöcher das Wiederverwendungspotential beeinträchtigen. Auch der notwendige Zeitaufwand, der für das Lösen vieler

⁷⁹

https://www.proholz.at/fileadmin/flippingbooks/zuschnitt81/zuschnitt_81.pdf; abgerufen am 11.02.2024 um 15:59 Uhr

⁸⁰

<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-15-2023->

[dl.pdf?_blob=publicationFile&v=3](#); abgerufen am 11.02.2025 um 18:29 Uhr

⁸¹

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823025394>; abgerufen am 11.02.2024 um 15:20 Uhr

Verschraubungen notwendig ist, macht den Rückbau mit derartigen Verbindungsarten unwirtschaftlich. Insbesondere im Hinblick auf den aktuell vorherrschenden Bau mit Holzfertigteilen gilt die Reversibilität der Verbindungsarten und eine Re-Use gerechte Trennung der Bauteile bzw. Materialien (konstruktive Hölzer, Beplankung, Füllung) als eine der größten Herausforderungen für die Wiederverwendung.

Gleichzeitig gibt es diverse Forschungsprojekte und Initiativen, die sich mit der Entwicklung von neuartigen Verbindungsmittel und Bauteilfügungen beschäftigen, um die zukünftige zerstörungsfreie Wiederverwendbarkeit von Bauteilen zu gewährleisten. Ein Beispiel sind Verbindungsmittel aus Kunstharzpressholz (KP). Diese bestehen aus KP-Scheibendübeln und KP-Konusdübeln und bilden eine reversible Verbindung für die Kraftübertragung bei Abscherung.⁸² Stählerne Verbindungskomponenten wie z.B. metrische Schrauben in Einschubmuttern lagefixieren den KP-Konusdübel und den KP-Scheibendübel. Indem die Schrauben und Einschraubmutter lediglich axial auf Zug beansprucht werden, wird eine plastische Verformung verhindert und eine dauerhafte Rückbaubarkeit gewährleistet. Die Konus-Adapter können größere Lasten übernehmen und daher in geringerer Anzahl eingesetzt werden. Gleichzeitig muss die Anzahl und Lage in der Fertigung genau definiert sein. Auch wenn es hier noch Forschungsbedarf gibt, gelten sie skalierbar und als vielversprechender Lösungsansatz.⁸³

⁸²

<https://www.researchgate.net/publication/36473745>

8 Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausb
austufen; abgerufen am 11.02.2024 um 15:59 Uhr

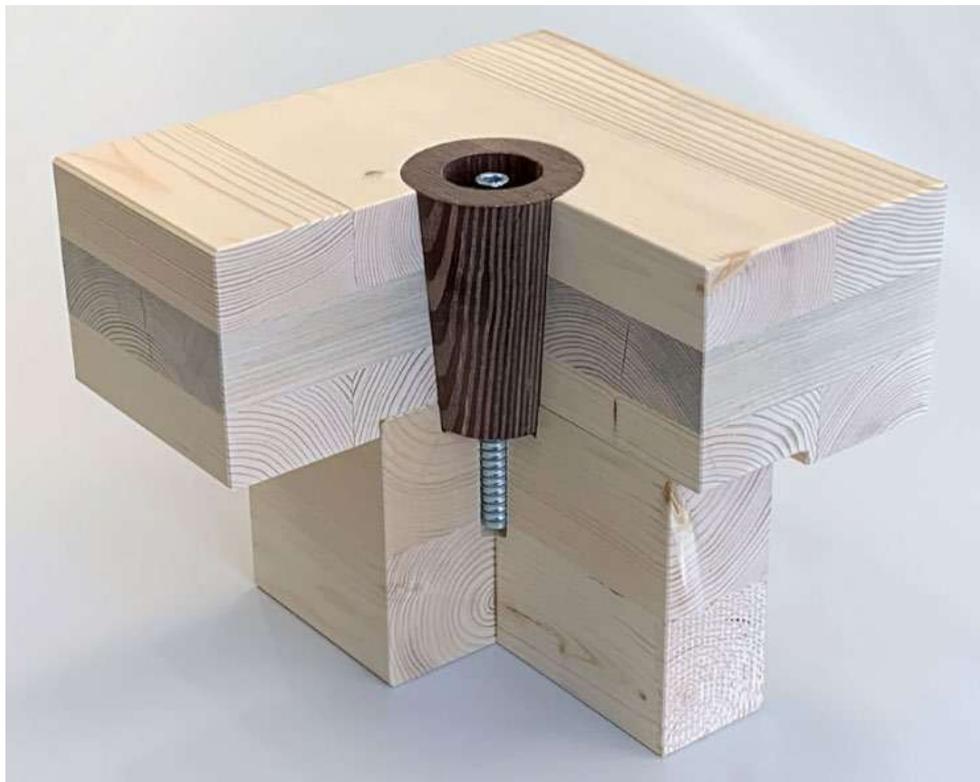
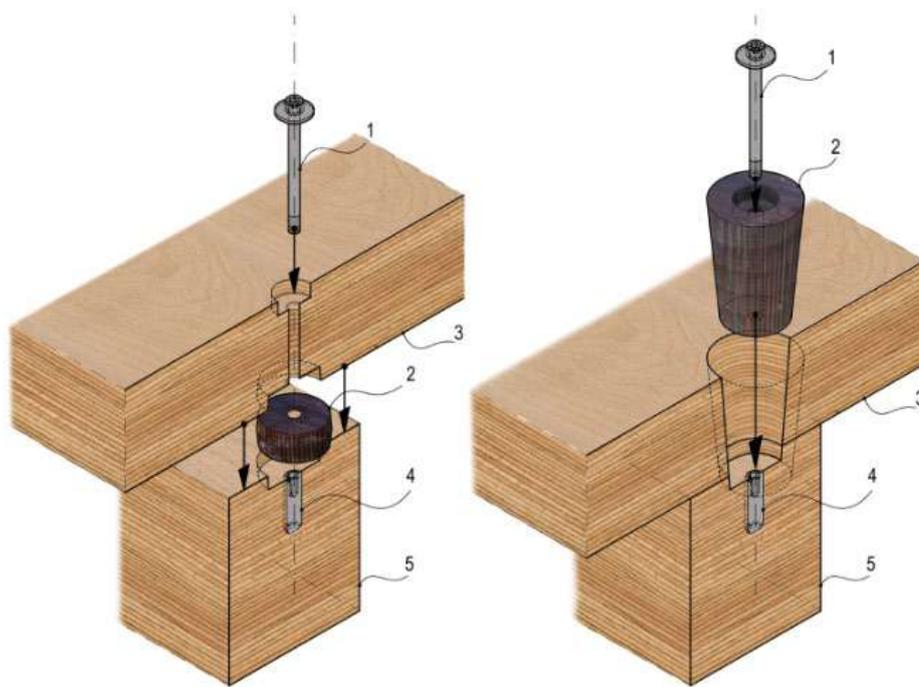


Abbildung 25 & 26: Konusdübel ⁸³

Andere Innovative Verbindungsarten

Im Rahmen des Umdenkens hinzu zirkulärem Bauen gibt es eine Vielzahl an Bemühungen, innovative Verbindungsarten zu entwickeln. Wie bereits in 6.2.1 erläutert, ermöglichen digitale Vorfertigungsprozesse große Potentiale für den Holzbau. Ein Beispiel für innovative Holz-Holz Verbindungssysteme hat die Firma Hasslacher unter dem Namen x-fix entwickelt.⁸³ X-fix verbindet Decken- und Wandelemente aus Brettsperrholz kraft- und formschlüssig, ohne dass zusätzliche Verbindungsmittel wie Schrauben oder Leim notwendig sind. Stufenfalz oder Falzbrett entfallen. Unter den Namen X-fix C fallen Verbindungssysteme von Brettsperrholz-Deckenelementen untereinander bzw. mit Brettsperrholz-Wandelementen als eine

doppelte Schwalbenschwanzverbindung. Diese ist keilförmig geschnitten. Die Montage erfolgt durch Einschlagen der Elemente. Sie ist effizient und selbstspannend. X-fix-L ist ein Verbindungssystem für Brettsperrholz-Wandelemente, sowie T- und L-Stößen. Die Montage kann von der Rauminnenseite erfolgen. Beide Verbindungssysteme bestehen aus Buchen- oder Birkenfurniersperrholz. Durch Einschlagen der Kopplungsknoten (X-fix C) bzw. Kopplungsleisten (X-fix L) wird Form- und Kraftschluss erzielt. Die Verbindungssysteme sind damit selbstspannend. Ein weiterer Vorteil sind die hohen mechanischen Eigenschaften durch Anwendung von Buchen- oder Birkenfurniersperrholz

X-fix L

Beanspruchung/ Anwendung	Tragfähigkeit R_k [kN/m]	Steifigkeit [(kN/mm)/m]
Zug-T-Stoß	15,0	14,5
Zug-Eckstoß 45°	14,0	8,3
Schub-Eckstoß 45°	8,0	6,5



X-fix C

Beanspruchung/ Anwendung	Tragfähigkeit R_k [kN/m]	Steifigkeit [(kN/mm)/m]	K_{ser}
Zug	X-fix Cm: 28,0 X-fix Cs: 14,0	20,0	20,0
Abscheren	X-fix Cm: 28,0 X-fix Cs: 14,0	20,0	20,0



Abbildung 27 & 28: x-fix Verbindungen⁸⁴

⁸³ <https://www.hasslacher.com/x-fix>; abgerufen am 03.03.2024 um 20:10 Uhr

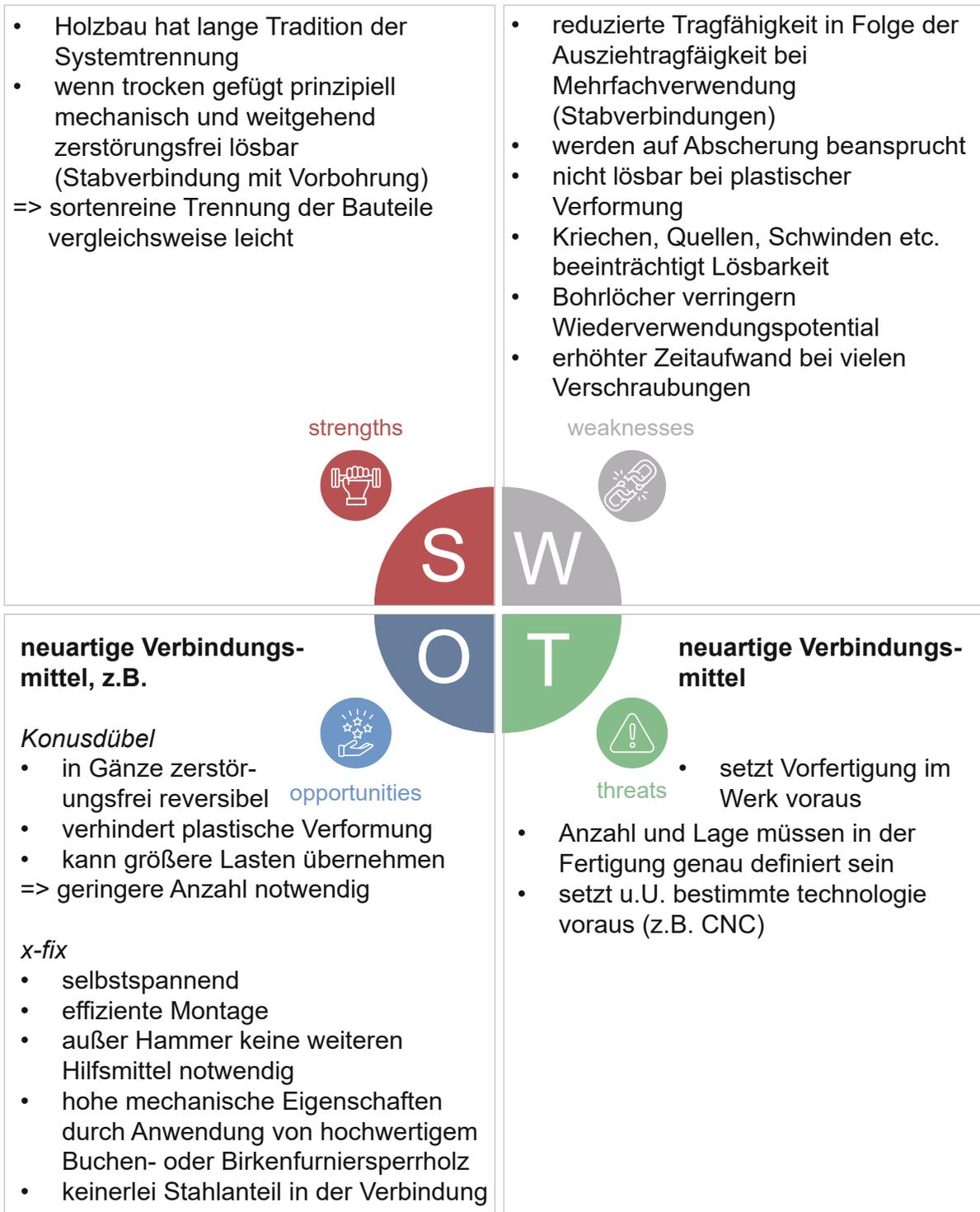


Abbildung 29: SWOT Holz Verbindungen

7.3. Für Wiederverwendung geeignete Konstruktionsarten

Für die Wiederverwendung gelten vor allem folgende drei Prämissen: Adaptierbarkeit, Sortenreinheit, Demontierbarkeit. Denn je unabhängiger Aufbauten und Verbindungen voneinander

sind, desto leichter kann auf die vielfältigen Eigenschaften der Re-Use Bauprodukte losgelöst vom Zeitpunkt des Planungsprozesses eingegangen werden.

Um Konstruktionen im Hinblick auf das Wiederverwendungspotential zu beurteilen, muss man zunächst zwischen Bauelement, Komponenten und Bauteil unterscheiden (vgl. Abbildung 30).^{84,85}

Gliederung auf Bauteilebene

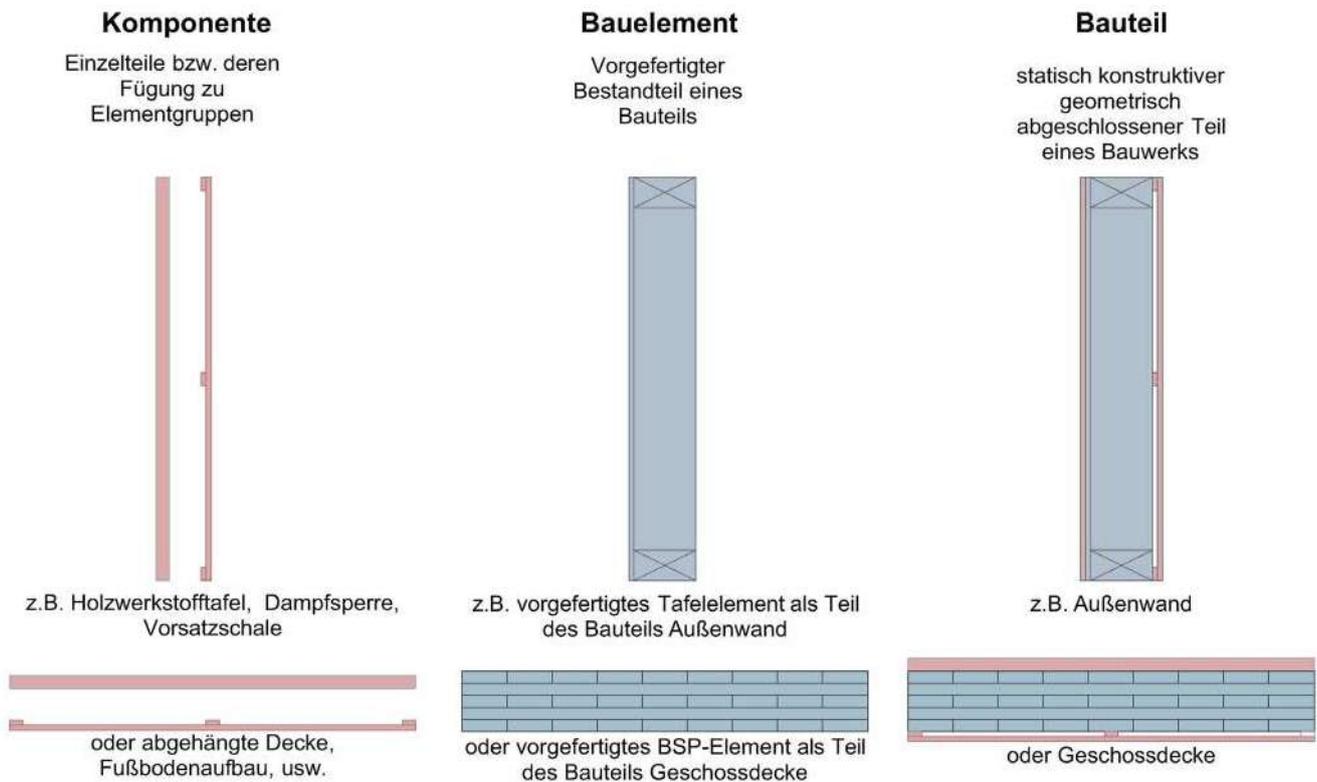


Abbildung 30: Gliederung auf Bauteilebene

Baukomponenten: Unter Komponenten versteht man Einzelteile wie Lattung, Dampfsperren oder Werkstoffplatten. Baukomponenten unterliegen, insbesondere wenn sie nicht konstruktiv sind (Fassadenbekleidung), einem regelmäßigen Austausch. Die Dauerhaftigkeit der Komponenten wirkt sich unmittelbar auf die Beständigkeit der Bauelemente und -teile aus. Die Wiederverwendung von Komponenten setzt zerstörungsfrei lösbare Verbindungen der Komponenten voraus. Lösbare Verbindungen ermöglichen auch, die Lebensdauer einer Konstruktion durch den Austausch von Verschleißschichten zu verlängern.

Bauelemente: Mit Bauelementen bezeichnet man den konstruktiven, vorgefertigten Teil eines Bauteils. Um Bauelemente wiederzuverwenden, müssen die Elemente zerstörungsfrei lösbare Verbindungen (keine Verleimung) haben.

Bauteil: Bauteile setzen sich aus Einzelkomponenten oder vorgefertigten Bauelementen zusammen. Sie sind statisch-konstruktiv und geometrisch-abgeschlossene Teile eines Bauwerks.⁸⁶ Um Bauteile wiederverwenden zu können, müssen diese zum Einen als Ganzes zerstörungsfrei reversibel sein und an anderer Stelle mit den vorhandenen Dimensionen eingebaut werden können.

Im Holzbau unterscheidet man einerseits zwischen Holzmassivbau und Holzleichtbauweise, welche sich weiter differenzieren lassen (vgl. Abbildung 31).⁸⁷ Im Folgenden möchte ich ausführlicher auf zwei Konstruktionsweisen, den Holzmassivbau und den Rahmenbau eingehen. Diese werden sowohl in der Literatur als auch in Praxisbeispielen hinsichtlich ihres Wiederverwendungspotentials untersucht.

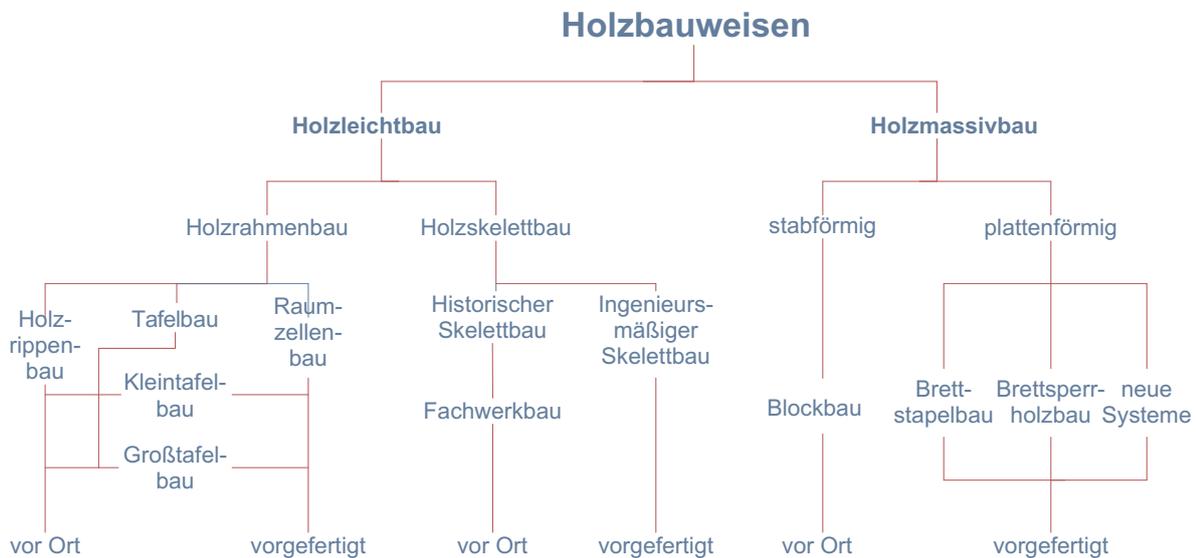


Abbildung 31: Holzbauweisen

⁸⁶ <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-15-2023-dl.pdf?blob=publicationFile&v=3>; abgerufen am 21.02.2024 um 20:30 Uhr

⁸⁷ <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-15-2023-dl.pdf?blob=publicationFile&v=3>; abgerufen am 21.02.2024 um 20:30 Uhr

Holzmassivbau

Der moderne Holzmassivbau besteht aus großformatigen, tafelförmigen Vollholzelementen, welche mehrlagig parallel oder mehrlagig gekreuzt miteinander zu Brettsperrholz (BSP) oder Brettstapelholz (BSH) oder anderen massiven Bauteilen verbunden werden.⁸⁸ Diese haben sowohl tragende als auch raumabschließende Funktion. Beim Holzmassivbau ist die Tragstruktur von der Dämmebene getrennt. Die massiven

Holzbauteile können je nach Konstruktion vertikale und horizontale Lasten aufnehmen und aussteifende Wirkung haben. Zur Sicherstellung der statischen Stabilität der Außenhaut können Ständer auf der Brettsperrholzplatte angebracht werden. Abbildung 28 veranschaulicht beispielhafte Aufbauten für Massivholzwände. Die Maßangaben in der Darstellung dienen als Referenz.⁸⁹



Abbildung 32 & 33 : Beispiel Holzmassivbau⁹⁰

⁸⁸

<https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a7665e6f63&location=browse>; abgerufen am 24.02.2024 um 14:35 Uhr

⁸⁹ https://www.leidorf.com/wp-content/uploads/2022/05/R_ckbau_und_Wiederver

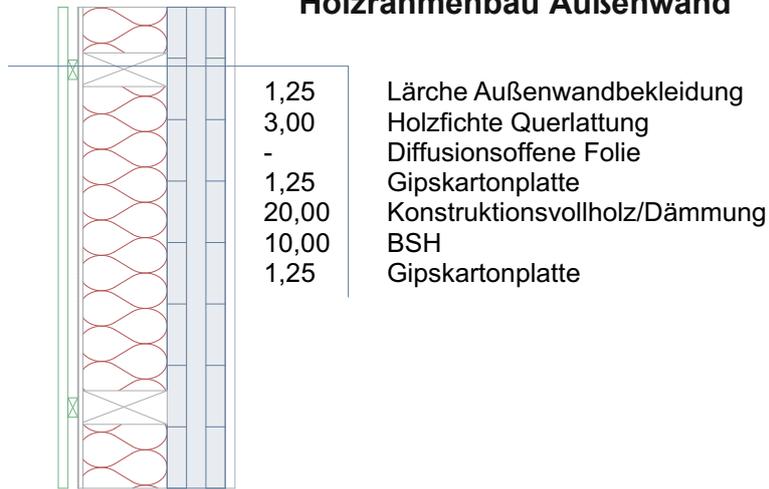
[wendung_von_Holzbauten_1651460319.pdf](#);

abgerufen am 25.02.2025 um 12:56 Uhr

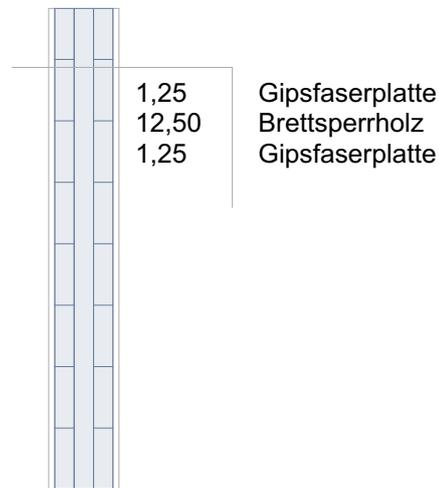
⁹⁰ <https://www.holzbau-mei.de/massivholzbau/>;

abgerufen am 25.02.2025 um 12:56 Uhr

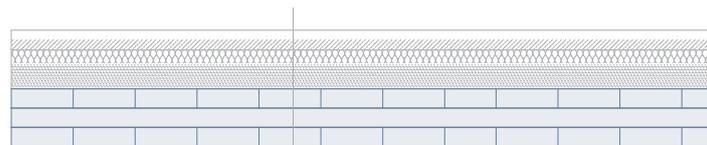
Holzrahmenbau Außenwand



Holzmassivbau Innenwand



Holzmassivbau Geschossdecke



2,00	Bodenbelag
2,50	Trockenestrich
3,00	Trittschalldämmung
5,00	Schüttung
-	Trennschicht
14,0	Brettspertholz

- Konstruktion
- Wärmedämmung
- innere Verkleidung/
Fußbodenaufbau
- äußere
Verkleidung

Abbildung 34: Beispiele für Aufbauten in Holzmassivbau ⁹¹

⁹¹ <https://www.dataholz.eu/bauteile/bauteil-geschossdecke/detail/kz/gdmnxn02.htm>;
 abgerufen am 25.02.2025 um 12:56 Uhr

Der Holzmassivbau bringt die folgenden positiven Eigenschaften mit sich:

- Hohe Tragfähigkeit: dank der massiven Elemente können hohe Lasten aufgenommen werden
- Platten- und Scheibenwirkung (BSP): Dank der hohen Steifigkeit sind vergleichsweise wenige und kürzere aussteifenden Wandscheiben nötig
- Raumabschließende Funktion
- einfache Anschlussdetails
- Speicherfähigkeit: die massiven Wände verfügen über eine Speichermasse und fördern die thermische Behaglichkeit
- Industrielle Vorfertigung ermöglicht eine schnelle und präzise Montage
- Schallschutz, Luftdichtheit, geringe Wärmebrücken
- Brandschutz: massives Holz hat eine natürliche Brandschutzwirkung und bietet somit einen besseren Schutz vor Feuer im Vergleich zum Holzrahmenbau
- Ästhetik Massivholz kann in Sichtqualität ausgeführt werden

zusätzlich bei Massivholzdecken:

- geringe Deckenstärke und dadurch optimierte Geschoss- bzw. Gebäudehöhe
- sofort begehbare und belastbare Deckenkonstruktion

Für Re-Use eignet sich der Holzmassivbau darüber hinaus insbesondere im Bezug auf folgende Aspekte:

- Langlebigkeit & Robustheit: Massive Bauteile haben eine hohe Dauerhaftigkeit
- Gute Rückbaubarkeit: Holzmassivbauteile sind aufgrund ihres großen Formats in der Regel gut demontier- und ergo wiederverwendbar
- Individualität: Durch die Verwendung von massiven Holzelementen ergeben

sich individuelle Lösungen für den Rückbau und die Wiederverwendung

- Hohe CO₂-Speichermasse

Die wesentlichen Nachteile von Holzmassivbau ergeben sich aus den unten aufgelisteten Punkten:⁹²

- Hoher Materialeinsatz und hohes Gewicht: Aufgrund der massiven Bauweise sind die Holzmassivbauteile vergleichsweise schwer. Dies kann wiederum zu hohen Fundament- und Traglasten führen
- Kosten: Massive Holzelemente sind auch aufgrund der größeren Masse teurer als Holzrahmenelemente
- Schallübertragung: Obwohl der Holzmassivbau generell einen besseren Schallschutz bietet, sind zur Vermeidung von Schallübertragungen entsprechende Maßnahmen notwendig
- Brandschutz: Obwohl massives Holz eine natürliche Brandschutzwirkung hat, können abhängig vom Brandschutzkonzept zusätzliche Brandschutzmaßnahmen erforderlich sein

Geht es um die Wiederverwendung von Holzmassivbauteilen, kommen zusätzliche Problemstellungen hinzu:

- Hohes Gewicht erschwert Rückbaubarkeit
- Geringere Flexibilität hinsichtlich Integration anderer Bauteile: Im Vergleich zum Holzrahmenbau sind Holzmassivbauteile schwieriger adaptierbar, wenn es zum Beispiel um die Integration von wiederverwendeten Fenstern, Türen usw. geht
- Schwierigere Transportfähigkeit: Infolge der größeren Dimensionen und dem höheren Gewicht sind Transport und Lagerung beim Holzmassivbau im Vergleich zum Holzrahmenbau aufwendiger

⁹²

<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-15-2023->

[dl.pdf?_blob=publicationFile&v=3](#); abgerufen am 21.02.2024 um 20:30 Uhr

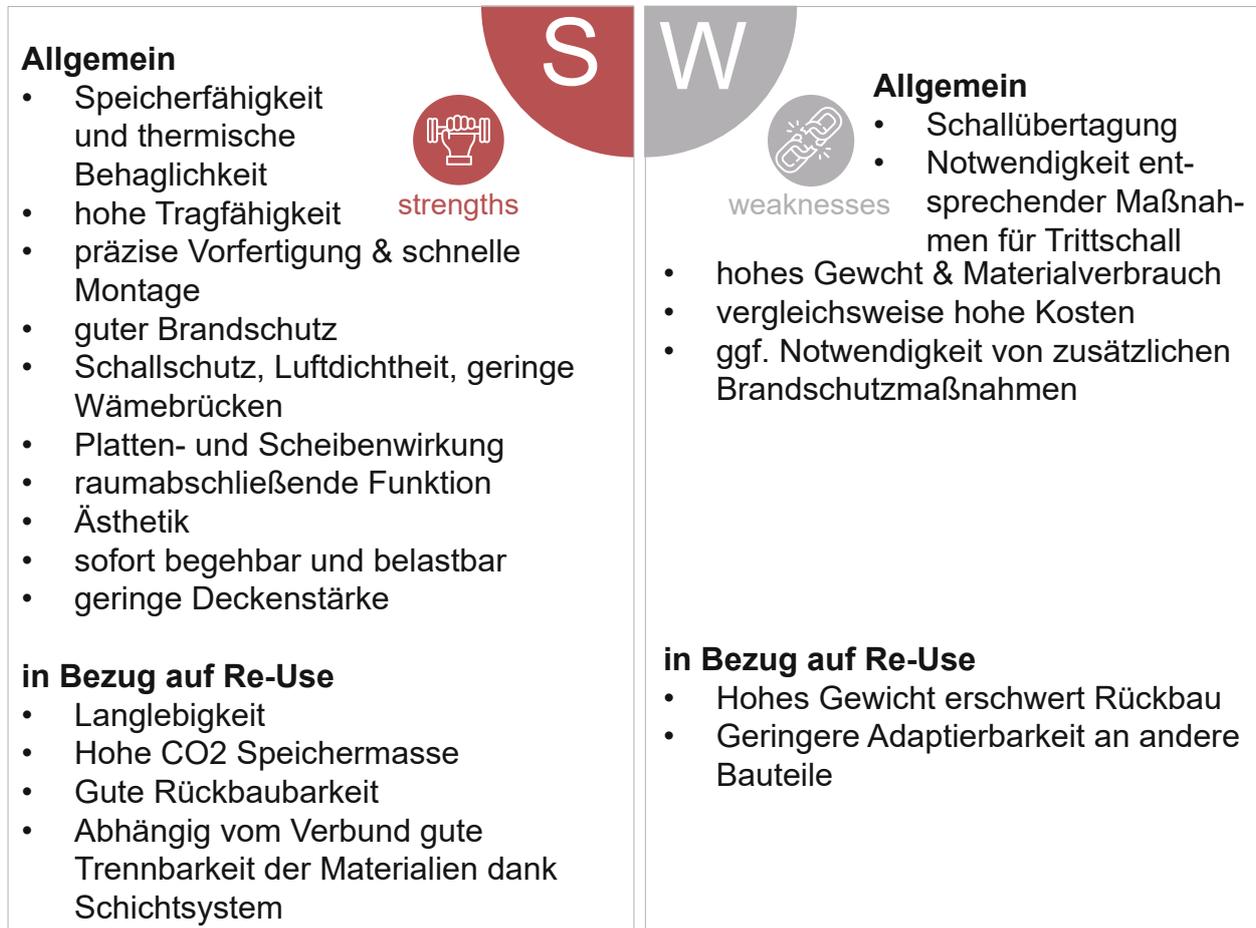


Abbildung 35: Beurteilung Holzmassivbau hinsichtlich Wiederverwendbarkeit

Holzrahmenbau

Die Holzrahmenbauweise ist eine Bauweise, bei der ein tragendes Skelett aus Holzständern und -riegeln (bei Wänden) bzw. Rippen und Balken (bei Decken) zu einem Rahmen zusammengefügt wird. Dieser besteht in der Regel aus Konstruktionsvollholz oder Brettschichtholz und wird mit verschiedenen Bauelementen wie z.B. Dämmmaterial, Beplankung und Verkleidung versehen. Die Dämmebene befindet sich innerhalb der Tragstruktur. Dämmmaterial, Beplankung und Verkleidung können flexibel bzw. in Abhängigkeit von gestalterischen, bauphy-

sikalischen und statischen Anforderungen mit unterschiedlichen Materialien verkleidet werden. Holztafelbauelemente werden in der Regel vorgefertigt und können sowohl einseitig als auch beidseitig geschlossen sein. Abhängig vom Werkstoff werden die Beplankungen geheftet, genagelt oder auch verschraubt. Beispielhafte Aufbauten sind in Abbildung²⁹ dargestellt. Die Maßangaben dienen als Referenz.⁹⁴ Die Montagemöglichkeiten für die Bekleidung ähneln stark den Details des Holzmassivbaus.



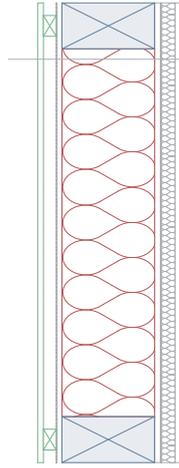
Abbildung 36 & 37: Beispiele Holztafelbau ⁹³

⁹³ <http://eversheim-architektur.de/index.php/2017/02/01/>; abgerufen am 21.02.2024 um 20:30 Uhr

⁹⁴ https://www.leidorf.com/wp-content/uploads/2022/05/R_ckbau_und_Wiederver

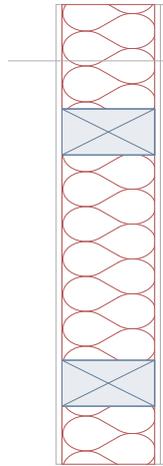
[wendung von Holzbauten_1651460319.pdf](#);
abgerufen am 22.02.2024
um 17:15 Uhr

Holzrahmenbau Außenwand



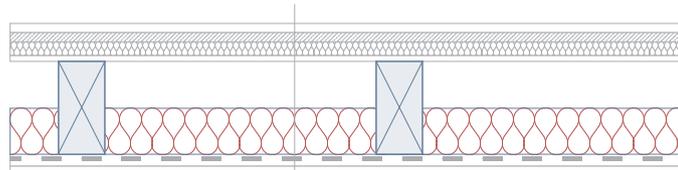
1,25	Lärche Außenwandbekleidung
3,00	Holzfichte Querlattung
-	winddichte Folie (diffusionsoffen)
1,25	Gipsfaserplatte
16,0	Konstruktionsvollholz/ Dämmung
1,25	Gipsfaserplatte
-	Dampfbremse
3,00	Holzfichte Querlattung/ Dämmstoff
1,25	Gipsfaserplatte

Holzrahmenbau Innenwand



1,25	Gipskartonplatte
12,50	Konstruktionsvollholz/Dämmung
1,25	Gipskartonplatte
1,25	Gipskartonplatte

Holzrahmenbau Geschossdecke



2,00	Bodenbelag
2,50	Trockenestrich
3,00	Trittschalldämmung
1,80	OSB
20,0	Konstruktionsvollholz/
10,0	Dämmung zw. Konstruktionsvollholz
2,70	Sparschalung/Federschiene
1,25	OSB

- Konstruktion
- Wärmedämmung (in Konstruktionsebene)
- innere Verkleidung/ Fußbodenauflage
- äußere Verkleidung

Abbildung 38: Beispiele für Aufbauten in Holzmassivbau

Die Tragstruktur des Holzrahmenbaus basiert auf der Wechselwirkung zwischen dem Rahmen (Stabwerk) und der Beplankung. Die vertikale Last wird von den Ständern abgeleitet. Die Beplankung schützt die Ständer vor seitlichem Knicken in der Scheibenebene.⁹⁵ Die Beplankung dient zusätzlich zur horizontalen Aussteifung.⁹⁶

Den Holzrahmenbau zeichnen im Allgemeinen vor allem folgende Qualitäten aus:⁹⁷

- Leichtbauweise: Dank des Holzrahmens, der mit „leichtem“ Dämmmaterial befüllt wird, ist diese Konstruktionsart wirtschaftlich und ressourcensparend. Aufgrund des vergleichsweise leichten Gewichtes eignet es sich gut für z.B. Aufstockungen.
- Flexibilität in der Gestaltung: Bauelemente können in verschiedenen Formen und Größen vorgefertigt werden. Hierdurch ergibt sich eine große Gestaltungsfreiheit und ermöglicht den Einsatz bei architektonisch komplexen Anforderungen.
- Hohes Maß an Vorfertigung & Präzision: Die Holzrahmenelemente und -bauteile können mit hoher Präzision und Qualität vorgefertigt werden. Dies führt zu einer schnelleren und effizienteren Montage vor Ort
- Gute Wärmedämmung: Dank der Integration von Dämmstoffen zwischen den Komponenten verfügen Holzrahmen-Konstruktionen über eine gute Wärmedämmung und Energieeffizienz.
- Trockener Innenausbau: Da die Bauteile vorgefertigt sind und auf der Baustelle nur noch montiert werden müssen, kann

ein trockener Innenausbau gewährleistet werden. Das Dämmmaterial ist flexibel wählbar und kann z.B. aus Stein- oder Mineralwolle, Holzfaser, Zellulose usw. bestehen.

- Integration von Installationen: Der Holzrahmen ermöglicht die Führung von Leitungen in der Tragebene und ermöglicht daher eine schlanke Bauweise

Zusätzlich bei Rippen- und Hohlkastendecken:

- Einfache Scheibenausbildung dank der großformatige Bauteilelemente
- Verbesserter Schallschutz: Hohlräume können mit Beschwerungen befüllt werden und den Schallschutz verbessern
- gute Steifigkeit und Tragfähigkeit

Im Hinblick auf die Wiederverwendung bringen Holzrahmenelemente außerdem folgende Vorteile mit sich:⁹⁸

- Leichte Demontierbarkeit, Transport und Lagerung der Komponenten: Die einzelnen Komponenten lassen sich dank der mechanischen Fügung in der Regel leicht zurückbauen und folglich ebenso transportieren und lagern.
- Flexibilität in der Herstellung: Holzrahmenelemente und -bauteile können vergleichsweise leicht mit wiederverwendeten Bauprodukten erstellt werden, da auf die individuellen Maße der wiederverwendbaren Materialien eingegangen werden kann. Durch die Vorfertigung können Bauteile gezielt für den Wiedereinsatz angepasst werden. Das Füllmaterial in Form von Mineralwolle, Stroh, Holzfaser oder ähnlichem kann sich dabei leicht an die

⁹⁵ <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a7665e6f63&location=browse>; abgerufen a, 24.02.2024 um 14:35 Uhr

⁹⁶ <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a7665e6f63&location=browse>; abgerufen a, 24.02.2024 um 14:35 Uhr

⁹⁷ <https://informationsdienst-holz.de/urbaner-holzbau/kapitel-4-der-zeitgenoessische-holzbau/holzbausysteme-eine-uebersicht>; abgerufen a, 24.02.2024 um 14:35 Uhr;

⁹⁸ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/bauteile-und-elemente-aus-holz-weiterverwenden>; abgerufen am 21.02.2024 um 20:30 Uhr

Maße des mit wiederverwendeten Holzbauteilen erstellten Rahmen anpassen.

- Leichte Instandhaltung: Die modulare Bauweise des Holzrahmens ermöglicht es, einzelne Komponenten leicht auszutauschen oder zu ergänzen.
- Kombinierbarkeit mit anderen wiederverwendeten Bauteilen: Dank der Struktur aus Rahmen und plastischer Füllung kann auch kurzfristig und flexibel auf Änderungen in der Bauteildimensionierung zum Beispiel von Fenstern, Türen etc. eingegangen werden, ohne dass dabei Planungsflexibilität eingebüßt wird.⁹⁹
- Vergleichsweise gute Transportierbarkeit dank guter Dimensionen und leichtem Gewicht. Spielt insbesondere die Flexibilität beim Bauen mit wiederverwendeten Baumaterialien eine

große Rolle, bringt der Holzrahmenbau jedoch auch einige Herausforderungen mit sich:¹⁰⁰

- Begrenzte Tragfähigkeit: Holzrahmenkonstruktionen verfügen im Vergleich zu massiven Baustoffen wie Stahlbeton eine begrenzte Tragfähigkeit. Dadurch ist die Aufnahme von höheren Lasten bzw. größeren Spannweiten nur bedingt möglich.
- Verformungsanfälligkeit: Infolge der begrenzten Tragfähigkeit und der Leichtbauweise besteht vor allem bei höheren Gebäuden oder -spannweiten ein Risiko für Verformungen oder Durchbiegungen
- Transportbeschränkungen: Infolge der Vorfertigung sind Dimensionen von der Transport- und Hebefähigkeit zur bzw. auf der Baustelle abhängig

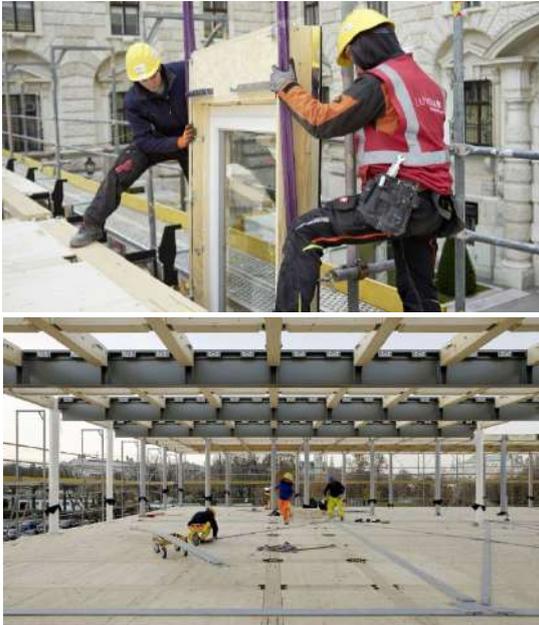


Abbildung 39-42: Temporäres Parlamentsgebäude (System Lukas Lang)¹⁰¹

⁹⁹ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/form-follows-availability>; abgerufen am 21.02.2024 um 20:30 Uhr

¹⁰⁰ <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a7665e6f63&location=browse>; abgerufen am 22.02.2024 um 18:48 Uhr

¹⁰¹

<https://www.lukaslang.com/de/references/temporaere-parlamentsgebaeude/>; abgerufen am 21.02.2024 um 20:30 Uhr

- Erfordernis von zusätzlichen Verstärkungsmaßnahmen: Stahlverbindungen, Kreuzverbände oder andere Verstärkungsmaßnahmen können notwendig sein, um die Tragfähigkeit und Steifigkeit der Holzrahmenkonstruktion zu verbessern. Dies kann zu komplexeren und teureren Konstruktionen führen.
- Brandschutzanforderungen: Um die Feuerbeständigkeit der Holzrahmenkonstruktion zu gewährleisten, sind spezielle Brandschutzmaßnahmen notwendig. Dies kann zusätzliche Kosten verursachen und die Gestaltungsfreiheit einschränken.
- Gefahren durch Feuchtigkeit: Feuchte kann sich negativ auf die Tragfähigkeit von Holz auswirken sowie zu bauphysikalischen Mängeln wie Schimmel, Pilzen usw. führen. Eine sorgfältige Planung und Ausführung der Baukonstruktion in Kombination mit entsprechenden Schutzmaßnahmen kann dazu beitragen, Feuchteschäden zu verhindern und die Langlebigkeit der Konstruktion sicherzustellen.

Im Bezug auf die Wiederverwendung der Holzrahmenelemente ergeben sich weitere Fragestellungen:

- Kompatibilitätsprobleme: Die „alten“ Bauteildimensionen müssen passgenau mit dem Tragwerksraster des Neubaus übereinstimmen: Eine Lösung könnte die Standardisierung von Bauteilprodukten oder sogar Raummodulen darstellen. Diese kamen z.B. beim Ersatzquartier des österreichischen Parlaments zum Einsatz. Das von der Firma Lukas Lang entwickelte modulare Baukastensystem basiert auf sich wiederholenden

Abmessungen, die innerhalb eines bestimmten Grundrasters leicht miteinander kombinierbar sind.¹⁰² Die vorgefertigten Holzrahmenbauwände lassen sich innerhalb des Baukastens universell einsetzen. Dadurch kann man mit ihnen eine Vielzahl unterschiedlicher Gebäudetypen realisieren.

- Einschränkung der Gestaltungsfreiheit: Die Verwendung von wiederverwendeten Holzrahmenelementen kann die Gestaltungsfreiheit einschränken, da bestimmte Einschränkungen hinsichtlich Form, Größe und Material vorhanden sind. Dies kann die Flexibilität bei der Planung und Umsetzung des Bauprojekts beeinträchtigen.
- Qualitätsprobleme: Wiederverwendete Holzrahmenelemente variieren hinsichtlich Qualität und Festigkeit. Dies beeinträchtigt die Tragfähigkeit und Stabilität der Konstruktion. Ebenso entsprechen sie möglicherweise nicht den aktuellen Baustandards.
- Versteckte Schäden: Versteckte Schäden wie Risse, Feuchtigkeitsschäden oder Insektenbefall sind bei Holzrahmenelementen möglicherweise erst nach Öffnung der Elemente ersichtlich. Dies birgt ein Risiko für die Langlebigkeit und Stabilität der Konstruktion. Gleichzeitig können die Elemente aufgrund der mechanischen Fügung in der Regel leicht geöffnet und überprüft werden

Zusätzlich bei Hohlkastendecken:

- Bei Schraubpressklebungen ist kein zerstörungsfreier Rückbau einzelner Elemente möglich, so dass die Decke nur als gesamtes Element wiederverwendet werden kann.

¹⁰²

<https://www.handwerkundbau.at/holzbau/ersatzparla>

[ment-aus-dem-baukasten-526](#); abgerufen am 22.02.2024 um 18:48 Uhr

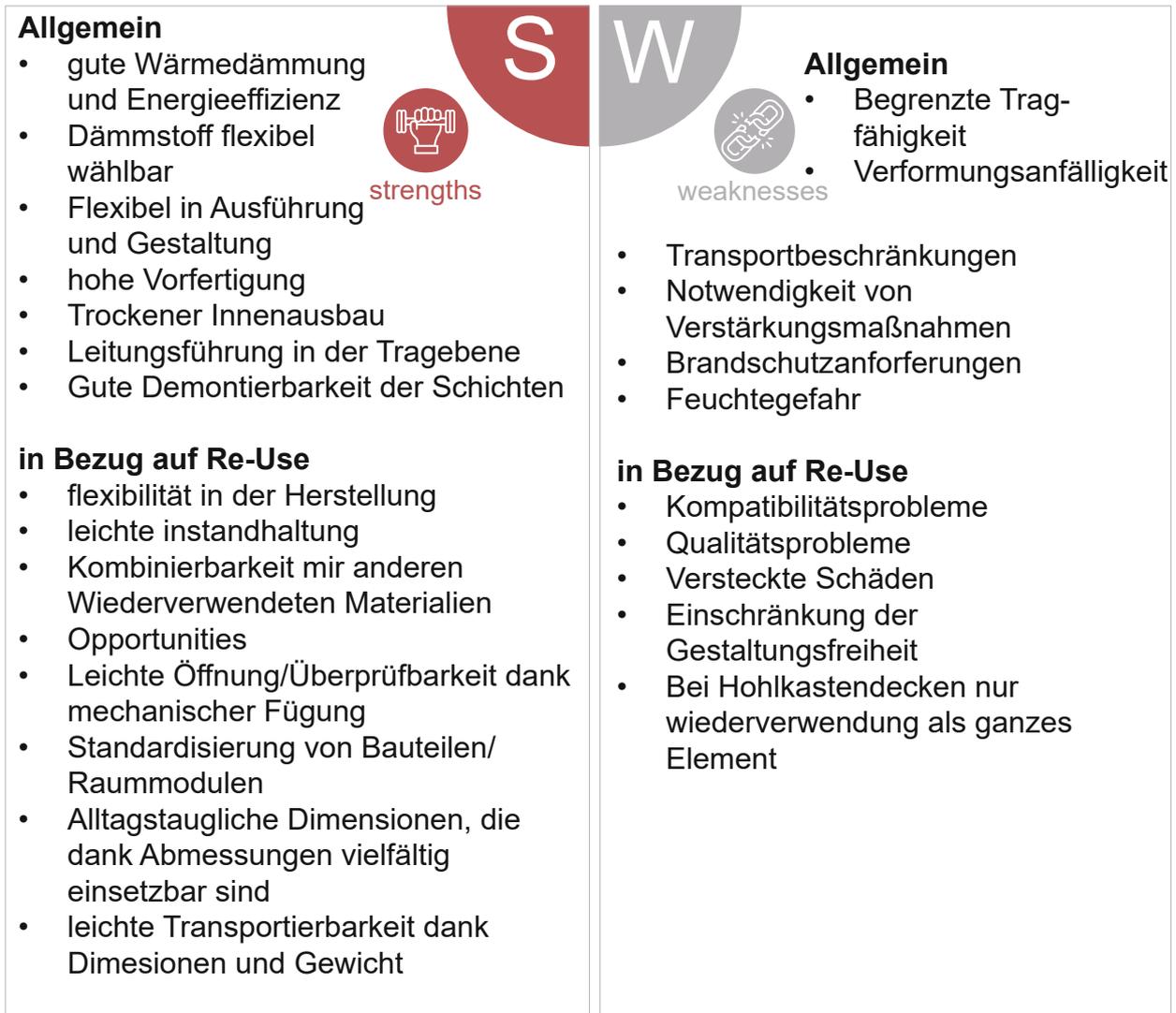


Abbildung 43: Beurteilung Holzrahmenbau hinsichtlich Lösbarkeit

Fazit

Die Analyse in 7.3.1 und 7.3.2 zeigt, dass aus konstruktiver Perspektive sowohl der Holzmassivbau als auch der Holzrahmenbau für den Bau mit wiederverwendeten Bauteilen gut geeignet sind. Die Wahl der Konstruktionsweise leitet sich von den spezifischen Anforderungen des Re-Use Projektes ab. Hier spielen einerseits statische Aspekte wie Spannweiten, Tragfähigkeit und Flexibilität eine Rolle. Ebenso sollten bauphysikalische Aspekte wie die Übertragung von Schall bei der Wahl der Konstruktionsmethode berücksichtigt werden.

Auch wenn grundsätzlich die Wahl des Tragwerks auf Basis der statischen und bauphysikalischen Anforderungen getroffen werden sollte, so spielt bei der Wiederverwendung auch die Verfügbarkeit entsprechender Bauteile eine entscheidende Rolle bei der Realisierbarkeit (vgl. Kapitel 5). Insbesondere im österreichischen Markt ist die Beschaffung von rückgebauten Materialien wegen schwierig. Darüber hinaus gilt es beim ressourcenschonenden, kreislauffähigen Bauen auch Aspekte wie Transport und Lagerung mitzuberücksichtigen. Hier hat der Holzrahmenbau aufgrund seiner Zerlegbarkeit in Komponenten und des Gewichts einen Vorteil gegenüber der Holzmassivbauweise. Daher sollte die Entscheidung für eine Konstruktionsweise nicht nur auf statischen und bauphysikalischen (sowie wirtschaftlichen) Aspekten basieren, sondern bei Re-Use Projekten auch das Angebot und emissionsabhängige Faktoren mit einbeziehen.

Fallstudien

8. Fallstudien

In den folgenden drei Referenzprojekten hat die Wiederverwendung von Bauteilen auf unterschiedliche Art und Weise eine zentrale Rolle gespielt. Das erste Beispiel, die Torfschmiede Schechen, stellt die reinste Form der Wiederverwendung dar, in dem die Holzkonstruktion eines alten Stadls nahezu unverändert an einem anderen Ort wieder aufgebaut wurde. Das zweite Projekt, die Halle K.1118, hat dagegen rückgebaute Bauprodukte aus anderen Gebäuden in den Entwurf integriert. Bei dem dritten Gebäude unter dem Namen *The Cradle* stand die Rückbaubarkeit, d.h. die zukünftige Wiederverwendung im Fokus. Anhand der drei Referenzprojekte sollen die in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Aspekte in der Praxis analysiert und überprüft werden. Insbesondere dienen die Fallstudien dazu, Vor- und Nachteile der Wiederverwendung zu veranschaulichen, konstruktive und architektonische Herausforderungen und deren Lösungsansätze zu beleuchten. Diese dienen als Grundlage für den Entwurf in Kapitel 9.

8.1. Historische Torfremise Schechen, Deutschland

Die Torfremise auf einen Blick

Baujahr: 2016

Standort: Schechen

Architektur: Roswag Architekten mit G. Jankowski

Tragwerksplanung, Fachplanung Lehm- und Holzbau: Ziegert | Seiler Ingenieure

Nutzfläche: 259² (beheizt), 229 m² (unbeheizt)

Bauweise: historischer Holzstadel in Ständerbauweise, in den hochgedämmte Bauteile aus Holz und Lehm integriert wurden

Energiekonzept: Zentrale Stückholzheizung und Solarthermie

Jahresprimärenergiebedarf 38% des EnEV (2009) Referenzgebäudes



Abbildung 44: Torfremise, wiederaufgebaut¹⁰³

Architektonische Projektbeschreibung

Bei dem Gebäude handelt es sich um eine ehemalige Torfremise¹⁰⁴ in Kolbermoor (Bayern, Deutschland), die von Abbruch und Entsorgung bedroht war. Das Gebäude war Teil einer früheren Baumwollspinnerei. Die heutigen Bauherren, von Beruf Zimmermann bzw. Goldschmiedin, waren mit der Torfremise und den lokalen Bedingungen bekannt. Sie sahen Transformationspotential in der Remise und beauftragten ZRS Architekten und Ingenieure, den Entwurf eines Gebäudes mit wiederverwendeten Bauteilen an einem neuen Standort 10km entfernt zu erstellen. Der neue Baukörper integriert sich harmonisch in den städtebaulichen Kontext des alten Bahnhofsviertels.



Abbildung 45: „Alte“ Torfremise¹⁰³

Ebenso wirkt es der Zersiedlung von Dörfern durch Brachflächennutzung vor. Der Entwurf von ZRS Architekten sah die Ergänzung mit einem zweigeschossigen Wohn- und Werkstattgebäude vor. Die „alte“ Skelettkonstruktion des über die Zeit dunkel gewordenen Holzes wird durch den Kontrast zu dem in Weiß gehaltenen Neubau visuell und konstruktiv erlebbar. Darüber hinaus ist die funktionale und zeitliche Trennung der historischen Konstruktion und des neuen Wohn- und Werksgebäudes von Innen und an der Fassade ablesbar, in dem es sich im Osten und an der Dachfläche gut sichtbar vor den Altbau schiebt.¹⁰⁵



Abbildung 46: Neue Fassade Torfremise¹⁰³

¹⁰³ <https://www.zrs.berlin/project/wohnen-und-arbeiten-in-der-torfremise/>; abgerufen am 08.02.2024 um 22:05 Uhr

¹⁰⁴ Gebäude zum Trocknen von Torf

¹⁰⁵ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/historische-torfremise-in-schechen>; abgerufen am 08.02.2024 um 21:09 Uhr

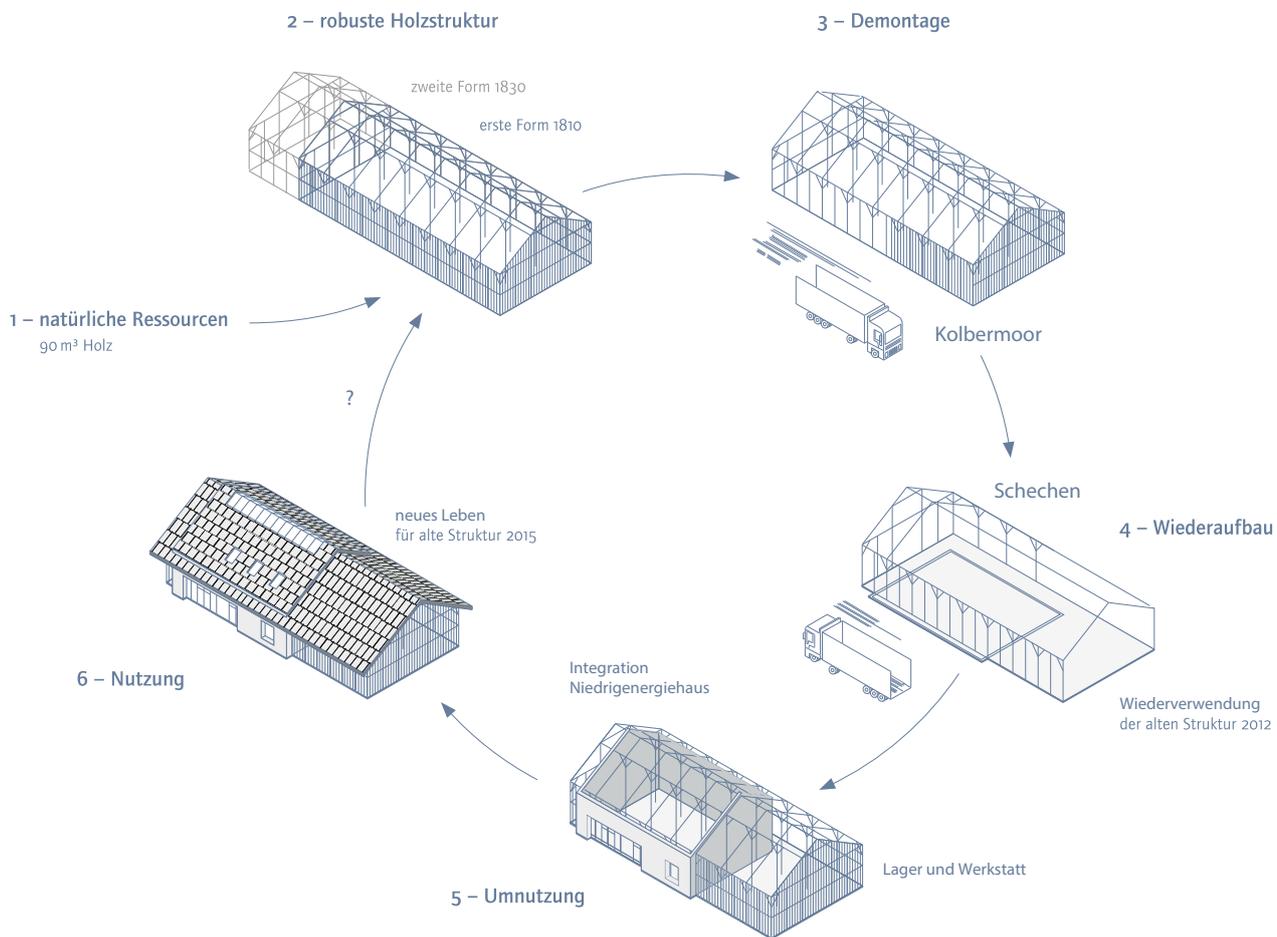


Abbildung 47: Re-Use Konzept der Torfremise¹⁰³

In der neuen Torfremise sind 2 Wohnungen und eine Werkstatt untergebracht. Die Wohnungen werden von einer großen Wohnküche geprägt. Zusätzlich bieten sie ein Schlaf- und ein Gästezimmer, sowie ein

Bad. Die natürliche Belichtung des zentralen Wohnraums erfolgt über großzügige Glasflächen an der Südseite. Darüber hinaus gibt es eine Firstverglasung und Dachfenster.

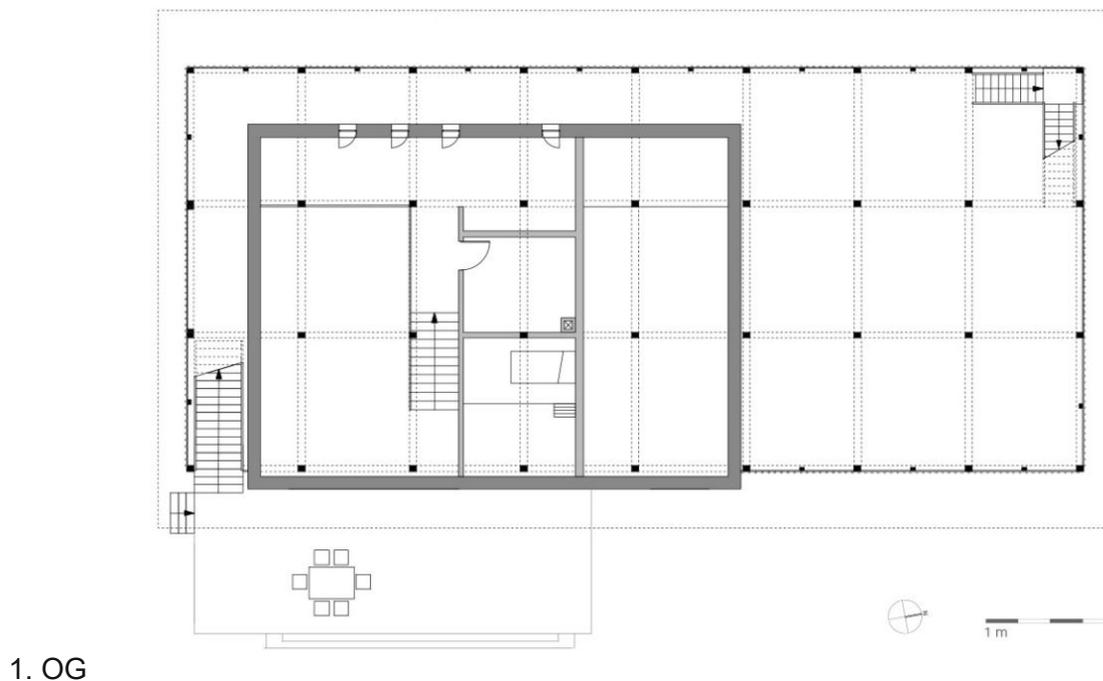
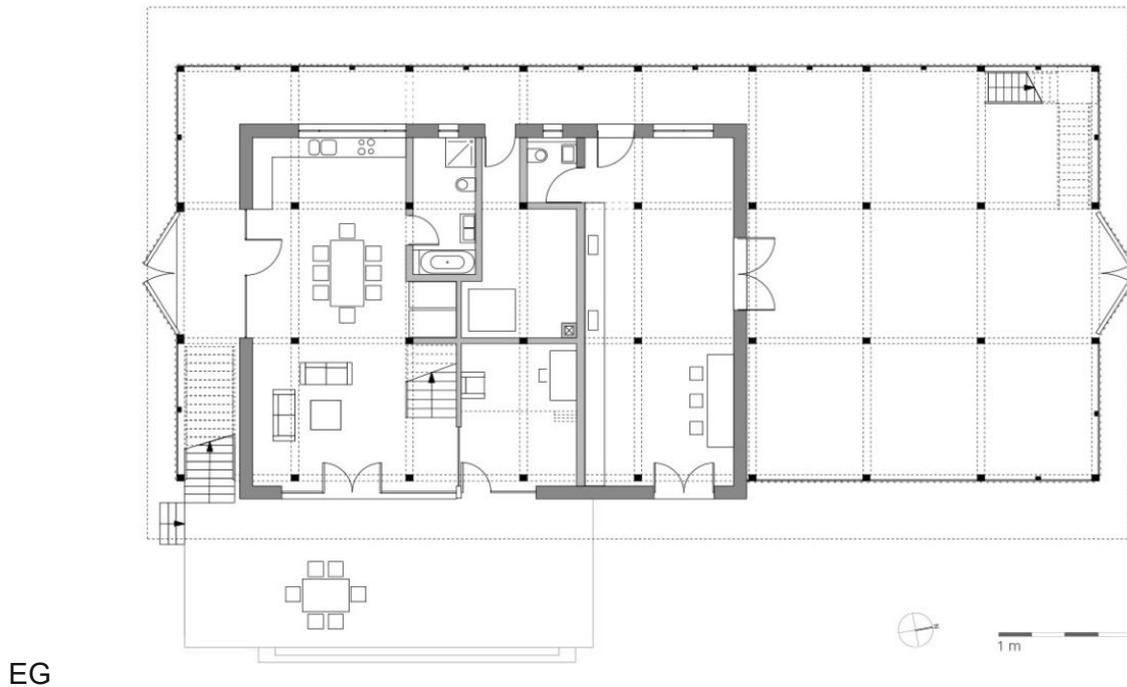


Abbildung 48, 49: Grundrisse Torfremise ¹⁰⁶

¹⁰⁶ <https://www.baunetz-campus.de/people/wie-koennen-wir-bestand-wertschaetzen-und-um-und-weiterbauen-sodass-wir-die-planetaren-grenzen-8261147>; abgerufen am 08.02.2024 um 21:09 Uhr

ANSICHT OST/SÜD/NORD/WEST



Abbildung 50: Ansichten Torfremise ¹⁰⁷

¹⁰⁷ <https://www.baunetz-campus.de/people/wie-koennen-wir-bestand-wertschaetzen-und-um-und-weiterbauen-sodass-wir-die-planetaren-grenzen-8261147>; abgerufen am 08.02.2024 um 21:09 Uhr

Tragende Konstruktion

Bei dem ursprünglichen Bauwerk handelte es sich um eine offene Fichtenkonstruktion. Diese wurde mit reversiblen Zimmermannsverbindungen gefügt. Infolgedessen gestaltete sich der Rückbau wenig komplex und effizient. Beim Rückbau wurden sämtliche Bauteile mit Nummern auf einem Plan vermerkt, so dass ein Wiederaufbau leicht möglich war. Auch die neue Konstruktion wurde reversibel am neuen Bauplatz gefügt. Die Holzkonstruktion wurde am neuen Standort mit zwei Geschossen in Selbstbau wieder aufgebaut. Die Gebäudehülle steht versetzt zu den tragenden Achsen der Remise. In dem dadurch entstandenen Zwischenraum sind Balken, Kopfbänder und Stützen der ursprünglichen Torfremise mit einem Ausmaß von 27,50 Metern sichtbar. Neue, in traditioneller Weise gefertigte Bauteile ergänzen beschädigte oder fehlende Bauteile. Die Wände wurden

in Holzständerbauweise und größtenteils demontier- und wiederverwendbar ausgeführt.¹⁰⁹ So zum Beispiel können Lehmputz und Mörtel problemlos wieder eingesumpft und anderswo wiederverwendet werden. Ebenso ist das Konstruktionsholz dank überwiegend zimmermannsmäßiger Fügungen oder im Ausnahmefall dank verwendeter Schraubverbindungen leicht und vollständig demontierbar.



Abbildung 51: Holzkonstruktion im Wiederaufbau ¹⁰⁸



Abbildung 52: Holzkonstruktion im Wiederaufbau Torfremise ¹⁰⁸

¹⁰⁸ <https://www.baunetz-campus.de/people/wie-koennen-wir-bestand-wertschaetzen-und-um-und-weiterbauen-sodass-wir-die-planetaren-grenzen-8261147>; abgerufen am 08.02.2024 um 21:09 Uhr

¹⁰⁹ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/historische-torfremise-in-schechen>; abgerufen am 08.02.2024 um 22:05 Uhr

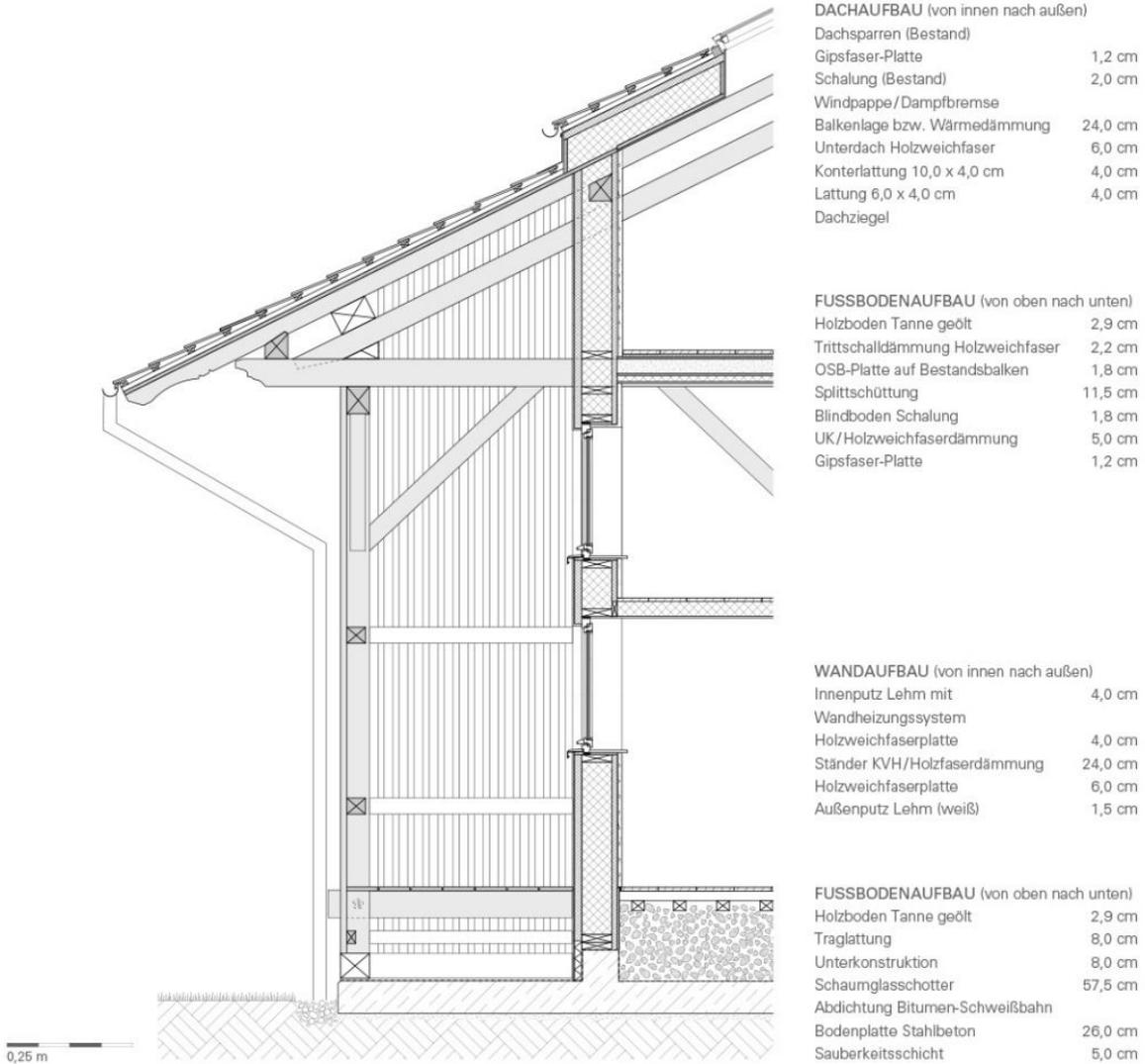


Abbildung 53: Fassadenschnitt Torfremise ¹⁰³

Materialien, Bauphysik

Nachhaltigkeit ist nicht nur bei der tragenden Konstruktion das Leitmotiv. Die Bauherren haben überwiegend CO₂ neutrale Baustoffe für den Neubau verwendet. Die in Holständerbau gefertigten Wände wurden mit sorptionsfähigem Lehmputz – und steinen ausgefacht. Mit Hilfe von regenerativen Rohstoffen wie Zellulose und Holzfasereinblasdämmung wird eine hochwärmedämmende diffusionsoffene Gebäudehülle ergänzt, die das Gebäude bewohnbar machen. Der für die Außenwand erzielte U-Wert liegt hier bei 0,14W/m²K. Der insgesamt 32 Tonnen schwere Lehmputz dient als Speichermasse. Die diffusionsoffene Holzbauweise steht in einem ausgewogenen Verhältnis zum Glasbauanteil (U-Wert 1/m²K) und trägt zu einer natürlichen Regulierung des Raumklimas bei.

Die Wärmeversorgung ist ebenfalls regenerativ. Sie besteht aus einem Warmwasserkollektor, Schichtenspeicher, einer zentralen Stückholzheizung und einer Flächenheizung zur Wärmeverteilung. Die Aufdopplung des Daches resultiert in einem U-Wert von 0,15W/m²K. Die Heizungen werden regenerativ betrieben, so dass das neue Gebäude die Vorgaben eines Niedrigenergiegebäudes erfüllt (EnEV 2009 -30%).

- | | |
|-----|---|
| 1 | Bestand vor der Demontage |
| 1.1 | Fundamente |
| 1.2 | Historischer Holzbau |
| 2 | Wiedererrichtung am neuen Standort |
| 2.1 | Neue Gründung und Bodenplatte (Stahlbeton) |
| 2.2 | Neues Gelände |
| 2.3 | Wiedererrichtung historischer Holzbau |
| 3 | Integration Niedrigenergiehaus |
| | Hochdämmende diffusionsoffen Gebäudehülle aus regenerativen Rohstoffen (Holz, Holzfaser-Einblasdämmung, Lehm) |
| 3.1 | Aufdopplung Dach U-Wert: 0,15 W/m ² K |
| 3.2 | Außenwand U-Wert: 0,13 W/m ² K |
| 3.3 | Holzfenster Dreifachverglasung U-Wert: 1,0 W/m ² K |
| 3.4 | Bodenaufbau gedämmt, U-Wert: 0,1 W/m ² K |
| 4 | Regenerative Wärmeversorgung |
| 4.1 | Warmwasserkollektor |
| 4.2 | Schichtenspeicher |
| 4.3 | Stückholzheizung |
| 4.4 | Flächenheizung zur Wärmeverteilung |

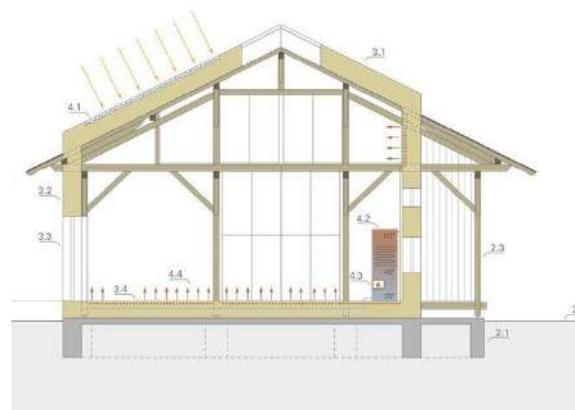
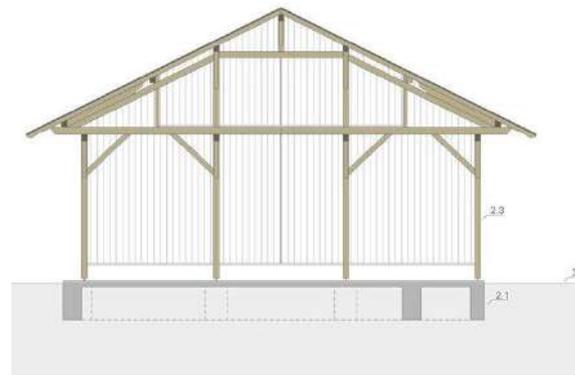
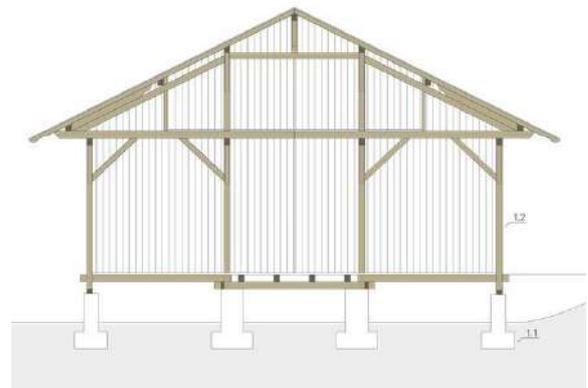


Abbildung 54: Bau Prozess¹⁰³

Fazit

Der Bau der „neuen“ Torfremise war aufgrund bauphysikalischer, technologischer, rechtlicher, und funktionsprogrammbezogener Bedürfnisse wesentlich komplexer als das ursprüngliche Gebäude. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt wurde, ist ein entsprechendes Know-How sowohl hinsichtlich der rechtlichen Bedingungen als auch in Bezug auf die lokale Infrastruktur und Rückbau/Konstruktion ein wichtiger Erfolgsfaktor für das Gelingen von Re-Use Projekten. Zum Einen haben die Bauherren ein Planungsbüro beauftragt, dass auf ressourcenschonenden Bauen spezialisiert ist. Zusätzlich brachten die Planer eine breite Expertise im Bereich Tragwerksplanung, Gebäudezertifizierungen, Lebenszyklusanalyse und Energieberatung mit. Das Know-How des Planungsbüros wurde durch das eigene Fachwissen der Bauherren hinsichtlich Holzbau und Tragwerksfügungen komplementiert. Förderlich war ebenso, dass die Bauherren den lokalen Markt kannten und ein berufliches Netzwerk vorweisen konnten, was bei Rückbau, Transport usw. unterstützt hat. Auch wenn die Torfremise ein Pionierprojekt im Hinblick auf die Wiederverwendung von Bauteilen ist, beweist das Projekt dennoch die Umsetzbarkeit von Re-Use Projekten sowohl in Hinblick auf konstruktive als auch ästhetische Aspekte. Ebenso verdeutlichen die Fortschreibung und Umnutzung des historischen Bauwerks die Zukunftsfähigkeit der (historischen) Holzkonstruktionen.¹¹⁰

¹¹⁰ <https://www.zrs.berlin/project/wohnen-und-arbeiten-in-der-torfremise/>; abgerufen am 08.02.2024 um 22:05 Uhr

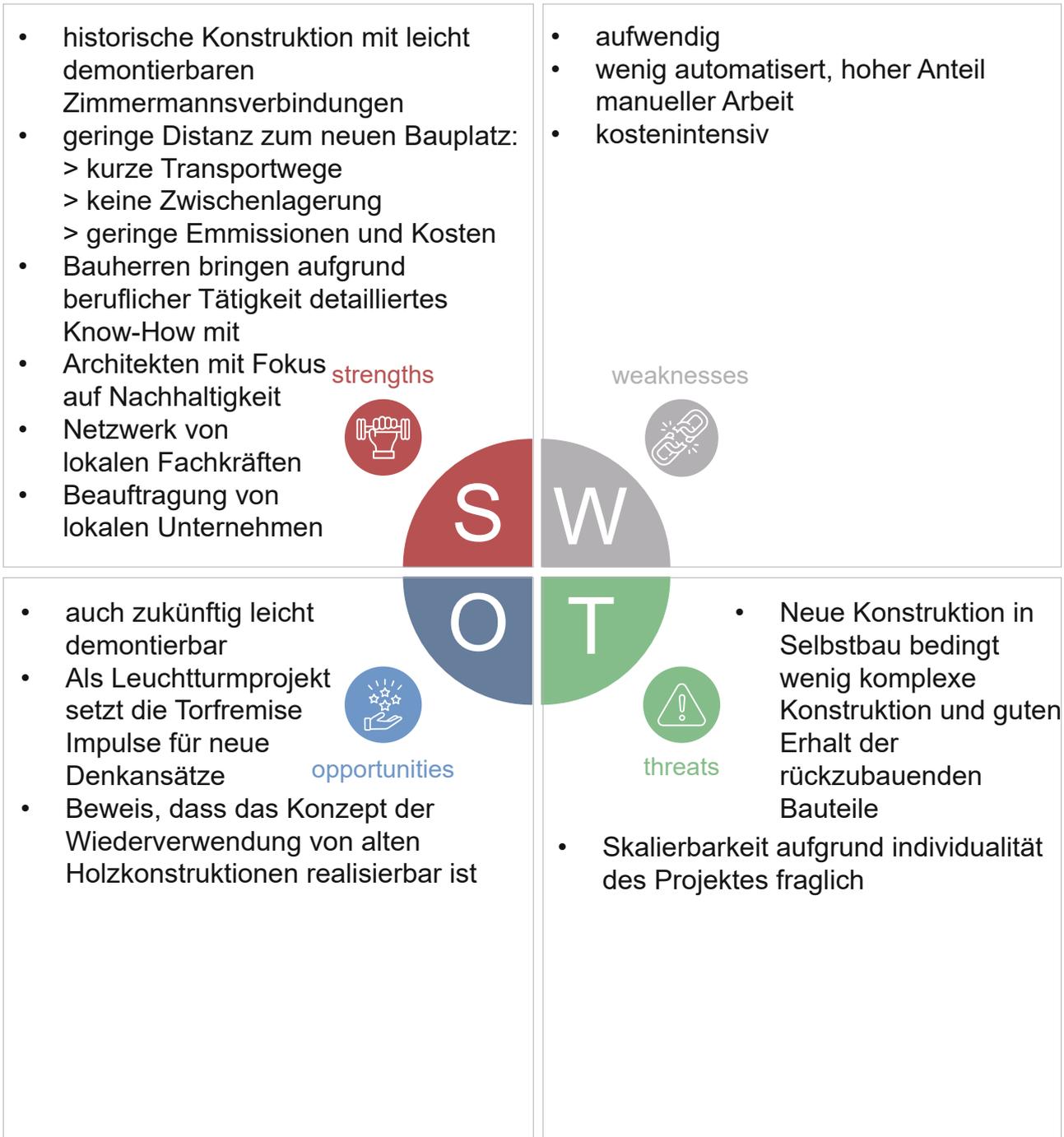


Abbildung 56: SWOT Torfremise, eigene Darstellung

8.2. K.118 – Kopfbau Halle 118 Winterthur, Schweiz

K.118 – Kopfbau Halle 118 auf einen *Blick*

Fertigstellung: 2021

Standort: Winterthur, Schweiz

Architektur: baubüro in situ ag, Zürich

Statik: B3 Kolb AG; Oberli Ingenieurbüro AG

Holzbau: Zehnder Holz und Bau AG

Gebäudevolumen SIA 416: 1 534 m² GF bzw. 1 168 m² HNF

Energie-Standard: SIA 2040 Effizienzpfad Energie

Wärmeerzeugung: Fernwärme Stadtwerke Winterthur/CH

Anteil wiederverwendete Bauteile an Baukosten (Bauteilbeschaffung): 12 %



Abbildung 56: K.118, Außenperspektive¹¹¹

Architektonische Projektbeschreibung

Das Projekt K.118 ist eine dreigeschossige Aufstockung einer ehemaligen Halle der Sulzer Modellschreinerei in Winterthur, Schweiz. Der Bauherr ist die Stiftung Abendrot, eine Pensionskasse, die ihre Anlagestrategie an Nachhaltigkeit orientiert und ein klimagerechtes, kreislauforientiertes Gebäude errichten wollte. Zusätzlich war eine Prämisse der Auftraggeber, dass die Aufstockung finanziell wettbewerbsfähig mit einem Ersatzneubau sei.¹¹¹ In diesem Rahmen haben sie das Architekturbüro insitu, das bereits vor zwanzig Jahren die erste Bauteilbörse für die Schweiz gegründet hat, mit der Nachverdichtung auf dem Areal beauftragt. Das langgestreckte, gemauerte Bestandsgebäude wurde mit zusätzlichen Sanitärräumen, Küchenzeilen und Heizungen sowie um drei Etagen ergänzt. Die Aufstockung umfasst insgesamt 1200m² Nutzfläche, Ateliers und Büros, Gemeinschaftsküchen, ein Tüftel-Labor, die sich um den Kern mit Sanitärräumen gruppieren.¹¹² Die Erschließung erfolgt über einem im Gebäudeinneren liegenden Lift oder die außenliegende Stahltreppe. Indem die Architekten einen Großteil der verwendeten Baumaterialien aus Abbruchprojekten gesourced haben, basiert das Konzept für K.118 auf den Re-Use und Recycle Prinzipien. Dank der leuchtend orangeroten Fassade aus wiederverwendeten Aluminiumplatten wird das Gebäude auch optisch zu einem Landmark, das von weitem gut erkennbar ist. Das Projekt wurde mit dem Prix Acier 2021 sowie dem Holcim Award for Sustainable Construction ausgezeichnet.¹¹⁸



Abbildung 57 & 58: K.118, außenliegendes Stiegenhaus (oben) und Innenraum (unten)¹¹²

¹¹¹ <https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Ateliergebäude-in-Winterthur-von-baubuero-in-si-tu-7780504.html>; abgerufen am 17.02.2024 um 19:42 Uhr

¹¹²

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_1

[18_Winterthur_CH-3662981.html](https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Ateliergebäude-in-Winterthur-von-baubuero-in-si-tu-7780504.html); abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr;
<https://www.baunetzwissen.de/fenster-und-tueren/objekte/sonderbauten/aufstockung-k118-in-winterthur-7848543>; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr



Abbildung 59 & 60: Grundriss 1. OG der Aufstockung (oben) und Schnitt (unten) von K.118¹¹³

¹¹³ <https://www.archdaily.com/968958/k118-kopfbau-halle-118-hauburo-in-situ/614bd1379f45c901646de2a2-k118-kopfbau->

halle-118-hauburo-in-situ-photo; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

Tragende Konstruktion und Planungsprozess

Das Tragwerk der Aufstockung basiert auf einem Stahlskelett. Das ursprüngliche Bestandsgebäude war für eine dreigeschossige Aufstockung statisch unterdimensioniert. Daher werden die Lasten nach dem Haus-in-Haus-Prinzip innerhalb des Bestands abgeleitet. Ursprünglich hatte insitu geplant, die Konturen des bestehenden Baukörpers in die Höhe zu extrudieren. Im Laufe der Planung und mit der Prämisse für Wiederverwendung wurde ein rückbaubares Stahlskelett identifiziert, welches aus einer ehemaligen Verteilerzentrale einer Supermarktkette in Basel stammt. Dieses verfügte mit einem Ausmaß von 16 x 16 Metern sehr ähnliche

Dimensionen wie das Bestandsgebäude.¹¹⁴ Nach Rücksprache mit den verantwortlichen Tragwerksplanern entschied man sich, das gefundene Stahlskelett in seiner unveränderten Form wiederzuverwenden. Infolgedessen krägt das Tragwerk ab der 4. Etage aus. Architektonisch setzt die Aufstockung eine arealinterne Flucht fort, welche das Bestandsgebäude aufgrund von Industriegleisen nicht einhalten konnte. Die außenliegende Erschließungstreppe aus Stahl wurde aus einem ehemaligen Bürogebäude in Zürich gesourced. In diesem Rahmen wurden die Raumhöhen vergrößert, um der Größe der Stahltreppe zu entsprechen. Ebenso entstand durch die Stahltreppe eine kleine Terrasse, die den sechsgeschossigen Baukörper abschließt.



Abbildung 61: Wiederverwendungskonzept K.118¹¹⁵

114

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_18_Winterthur_CH-3662981.html; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

115

<https://www.proholz.at/holzbauten/architektur/k118-in-winterthur>; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

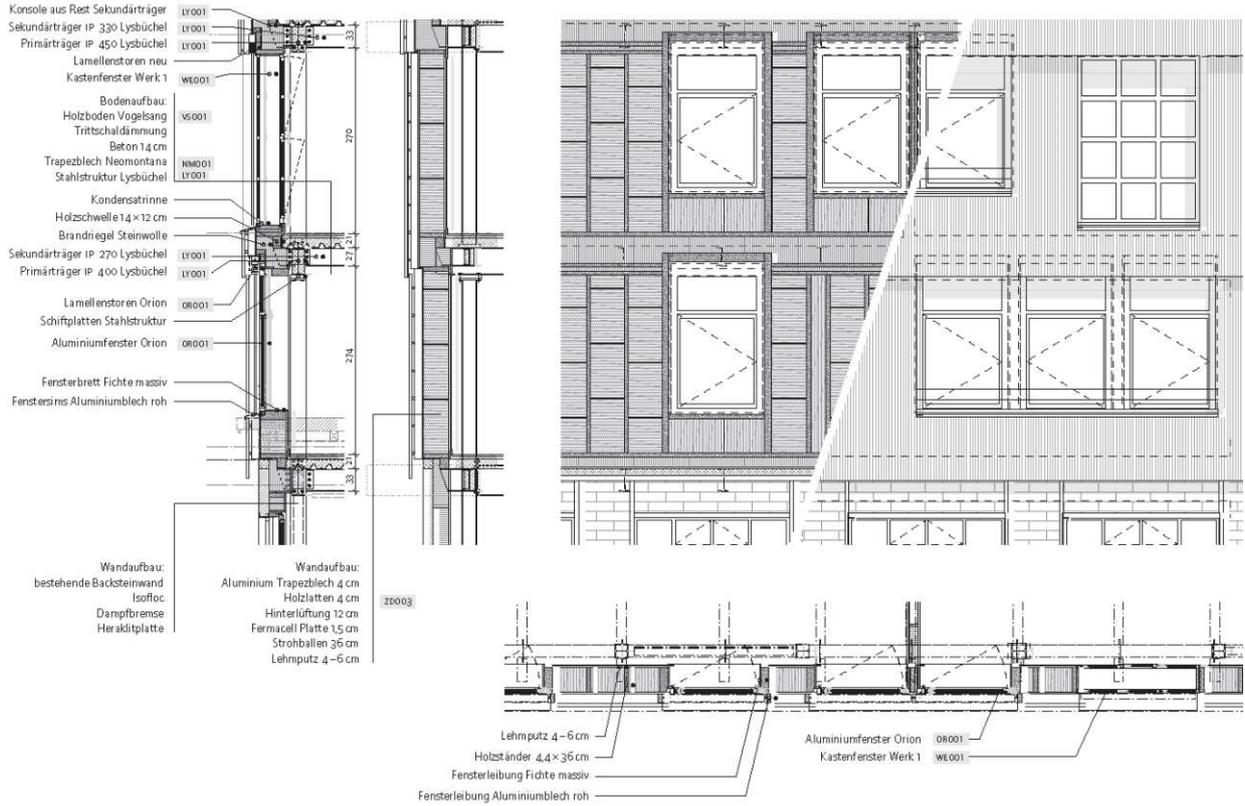
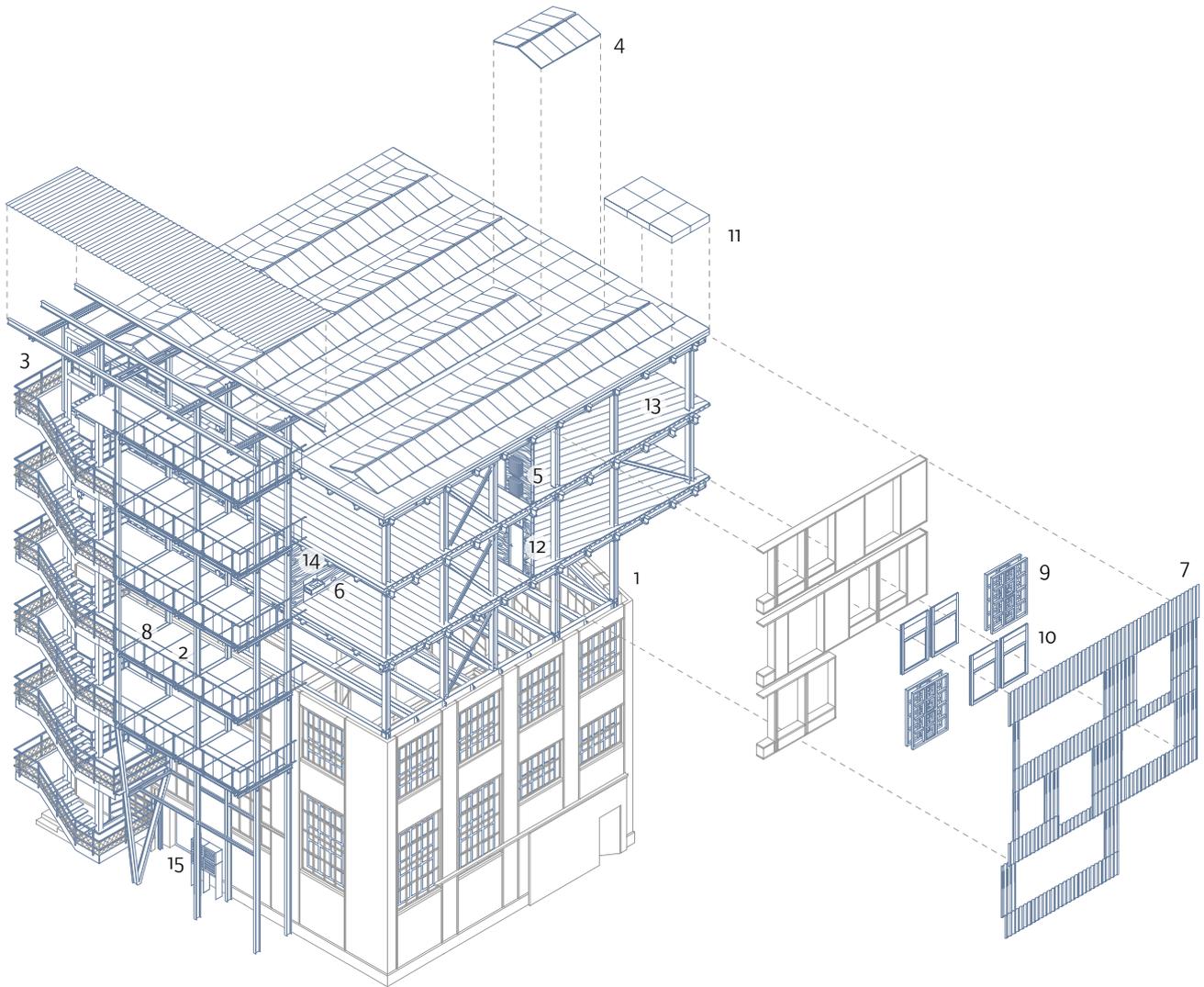


Abbildung 62: Wiederverwendungskonzept K.118¹¹⁶

¹¹⁶ <https://www.proholz.at/holzbauten/architektur/k118-in-winterthur>; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr



— Wiederverwendet
 — Bestand und Neu

- 1 Stahltragwerk Lysbüchel
- 2 Stahlprofil Zellweger
- 3 Außentreppe Orion
- 4 Photovoltaikanlage Siemens
- 5 Heizkörper Vogelsang
- 6 Waschtisch Bauteilladen
- 7 Fassadenblech Ziegler
- 8 Fassadenplatte Orion
- 9 Kastenfenster Werk 1
- 10 Aluminiumfenster Orion
- 11 Dämmplatte Ziegler
- 12 Innentür Zellweger
- 13 Holzboden Vogelsang
- 14 Zeltbodenplatte Eventbau
- 15 Briefkästen Letziggraben

Abbildung 63: Wiederverwendungskonzept K.118¹¹⁵

Materialien, Bauphysik

Ähnlich wie das Tragwerk stammt ein Großteil der verwendeten Bauprodukte für den Innenausbau ebenfalls aus rückgebauten Bauwerken. Hierzu zählen die Heizkörper und der Riemenboden aus Massivholz aus einer in der Nähe gelegenen Genossenschaftssiedlung. Auch HKLS-Komponenten wie Kabeltrassen, Elektroverteilerkasten und Lüftungsgerät wurden wiederverwendet.¹¹⁷ Ein weiteres Beispiel sind Granitfassadenplatten, die im Neubau als Plattenbeläge für Küche, WC und die Balkonlauben eingesetzt wurden. Die Aluminiumfenster stammen aus drei unterschiedlichen Gebäuden. Um den vorgeschriebenen Dämmwerten zu entsprechen, wurden die raumhohen Industriefenster nach dem Doppelfenstersystem in Kastenfenster umgewandelt.¹¹⁸

Für alle Bauprodukte, die nicht durch Bestandsrückbau gesourced werden konnten, kamen kreislaufgerechte Naturbaustoffe wie Holz, Lehm und Stroh zum Einsatz. Die Ausnahme bilden lediglich ein paar wenige Betonelemente, die aus Brand-, Schallschutz oder statischen Gründen notwendig waren. Zur Ausfachung des Stahlskeletts wurden unbehandelte Strohballen aus konventioneller Getreideernte eingesetzt. Die Strohballen fungieren im Gebäudeinneren zugleich als Putzträger für den Lehmputz aus einer regionalen Baugrube. Gleichzeitig

ermöglicht die Ausfachung mit Stroh, sich verschnittfrei an die unterschiedlichen Fensterformate anzupassen. Die Gebäudehülle besteht aus Holzrahmenelementen und orangefarbenen Aluminiumblechen einer ausgedienten Druckerei aus Winterthur. Deren Profilewaren waren in drei Arten ausgeführt. Um zu einem passgenauen Zuschnitt der Trapezbleche auf die Fassade zu gelangen, wurden die Fassadenbleche geschuppt montiert. Dank der Innenwände aus Holz können die heterogenen Türen aus unterschiedlichen Altbeständen problemlos eingebaut werden.

Eine Photovoltaik-Anlage auf dem Dach, die ebenfalls aus einem Altbestand kommt, wirkt sich darüber hinaus positiv auf die Ökobilanz aus. 70 Prozent der Bauteile, die bei K.118 verbaut wurden, wurden wiederverwendet. Die übrigen Baumaterialien sind natürliche, nachwachsende Baustoffe wie Holz, Stroh und Lehm. Dies wirkt sich positiv auf die Ökobilanz und die Raumklimateigenschaften aus. Zusammen mit dem Architektur-Departement der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften hat in situ die CO₂-Bilanz von K.118 mit einem konventionellen, identisch materialisierten neuen Bau verglichen: Die Öko-Bilanz des realisierten Projektes fällt um etwa zwei Drittel besser aus, ohne dass Mehrkosten entstanden sind.

¹¹⁷ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/kopfbau-halle-118>; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

¹¹⁸ <https://www.baunetzwissen.de/fenster-und-tueren/objekte/sonderbauten/aufstockung-k118-in->

winterthur-7848543; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

Fazit

Das Projekt verdeutlicht, dass bei Re-Use Projekten kreative und unkonventionelle Lösungsansätze eine wichtige Voraussetzung sind, um auf die vielfältigen Dimensionen und Bedingungen einzugehen, die rückgebaute Bauteile mit sich bringen, wenn man nach dem Re-Use-Prinzip plant und baut.

Bei der Aufstockung wurden im Zuge der Re-Use-Prämisse insbesondere folgende Konstruktionsprinzipien zugrunde gelegt:

- Beim Planen mit wiederverwendeten Bauteilen ist es einfacher, den Entwurf an das vorhandene Bauteil anzupassen, als andersherum.¹¹⁹
- Können Bauprodukte nicht durch Bestandsrückbau gewonnen werden, werden möglichst kreislauffähige Bauteile verwendet, die einerseits eine Zusatzfunktion erfüllen wie z.B. ein passgenauer Öffnungsflügel in einer Vorsatzschale aus starr fixierten Second-Hand-Fenstern¹²⁰
- Andererseits werden starre, schwer adaptierbare Bauteile wie Fenster oder Tragwerk mit flexiblen, kreislauffähigen Naturbaustoffe wie Lehm oder Stroh verwendet, welche ohne Materialverlust an die starren Strukturen angepasst werden können und zu einem guten Raumklima beitragen.¹²¹
- Ein weiteres Prinzip basiert darauf, möglichst Bauprodukte für Re-Use zu verwenden, die ohne aufwendige Weiterbearbeitung in die Konstruktion integriert werden können und einen hohen Fertigungsgrad haben.

- Ebenso ist das Schichten und Entkoppeln, wie es zum Beispiel bei der Fassade zum Einsatz kam, ein wichtiges Konstruktionsprinzip bei Re-Use. Die Verwendung von gebrauchten Bauprodukten ist umso vielfältiger und effizienter, je einfacher die Schichtentrennung in Aufbauten ist.

Das Projekt K.118 verdeutlicht außerdem, dass Holz ein ideales Material für das Bauen mit wiederverwendeten Bauprodukten ist, da es sich flexibel und vor Ort an unterschiedliche Einbaumaße anpassen lässt. Darüber hinaus veranschaulicht das Projekt, dass der Planungsprozess mit Re-Use wie bei K.118 im Vergleich zu „gewöhnlichen“ Projekten als eine rollende Planung funktioniert, „die sich gegenseitig bedingt“.¹²² Die Planung wird einerseits durch fixe Rahmenbedingungen wie z.B. Raumprogramm, rechtliche Bestimmungen wie Abstände, maximale Gebäudehöhe usw. definiert. Andererseits nimmt die Suche, Katalogisierung, Zuordnung und Beschaffung inklusive Rückbau, Aufbereitung und Wiedereinbau der Bauteile eine sehr wichtige Rolle und die längste Zeit des Projektes in Anspruch.¹²³ Da Dimensionen, Tragfähigkeit, Material, Verfügbarkeit etc. der wiederverwendeten Bauteile schwer bestimm- bzw. vorhersehbar sind, orientiert sich der Entwurf an dem gefundenen Bauprodukten. So z.B. wurde der Baukörper an die Dimensionen des Stahlskeletttragwerks und die Raumhöhen an die Außentreppe angepasst. Demzufolge sind Tragwerkskonzept und

¹¹⁹

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_1_18_Winterthur_CH-3662981.html; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

¹²⁰

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_1_18_Winterthur_CH-3662981.html; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

¹²¹

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_1

[18_Winterthur_CH-3662981.html](https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_1_18_Winterthur_CH-3662981.html); abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

¹²²

https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_1_18_Winterthur_CH-3662981.html; abgerufen am 17.02.2024 um 19:39 Uhr

¹²³

https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Ateliiergebaeude_in_Winterthur_von_baubuero_in_si_tu_7780504.html; abgerufen am 19.02.2024 um 19:36 Uhr

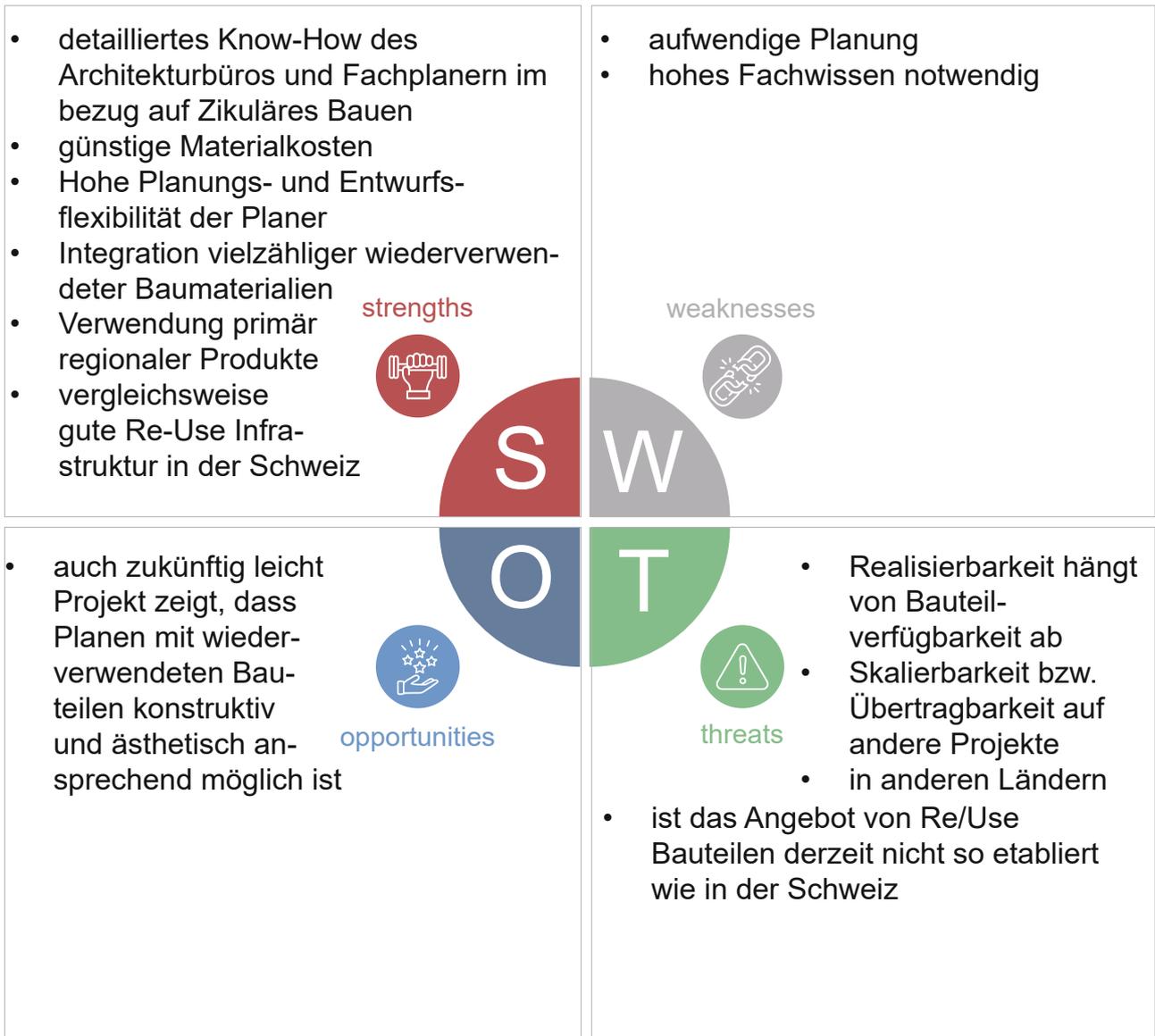


Abbildung 64: SWOT K.118

¹²⁴ <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/kopfbau-halle-118>; abgerufen am 19.02.2024 um 20:29 Uhr

7.3 The Cradle, Deutschland

The Cradle auf einen Blick

Fertigstellung: 2023

Standort: Düsseldorf

Architektur & Nachhaltigkeitskonzept: HPP Architekten

Tragwerksplanung: Knippers Helbig

Nutzfläche: 6,600 m² Büro, 600 m² Gastronomie

Bauweise: Holzhybridbau

Energiekonzept: Fernwärme, Photovoltaik, Grauwasseraufbereitung, Retentionsbecken

CO₂- Fußabdruck (GWP): 41,17 kg CO₂/m²NGF über einen Nutzungszeitraum von 50 Jahren



Abbildung 65: Rendering *The Cradle*¹²⁵

¹²⁵ <https://www.the-cradle.de/>; abgerufen a, 03.03.2024 um 16:48 Uhr

Architektonische Projektbeschreibung

The Cradle ist ein Bürogebäude in Holzhybrid-Bauweise in Düsseldorf. Das Projekt wurde mehrfach ausgezeichnet, unter anderem mit dem Heinze Architekten Award 2020, iconic awards 2018 und Future Project Award 2018. Der Name the Cradle ist an das Cradle-to-Cradle Prinzip angelehnt, welches einen idealisierten, geschlossenen Kreislauf ohne Abfall beschreibt. Auf die Baubranche übertragen bedeutet Cradle-to-Cradle, dass die eingesetzten Baumaterialien nachhaltig und so konzipiert sind, dass sie am Ende des Gebäudelebenszyklus anderweitig eingesetzt werden können. Auch die Verwendung von nachhaltig erzeugter Energie ist ein fundamentaler Grundgedanke des Cradle-to-Cradle-Prinzips.

Bei der Konzeption des Gebäudes war es HPP Architekten wichtig, anstelle dem oftmals mit Nachhaltigkeit verbundenen Gedanken an Reduktion die positive Wirkungsweise und Effektivität der Dinge in den Vordergrund zu stellen.¹²⁶ Dabei

wurden die Kreislaufprinzipien holistisch und entlang der gesamten Wertschöpfungskette bzw. des Lebenszyklus gedacht. So wurde z.B. vor Baubeginn der Bauplatz temporär als Blumenwiese genutzt und ein Mehrwert für das Quartier erzeugt. Ebenso beinhaltet *The Cradle* einen Co-Working Space und stationsgebundenen Mobility Hub. Dieser bietet Gebäudenutzern und Nachbarn beispielsweise E-Car- und E-Bikesharing oder Ladestationen an.

Die Gebäudeform wurde aus den Gegebenheiten des Ortes (Himmelsrichtung, städtebauliches Umfeld, Verschattung usw.) abgeleitet. Die rautenförmige Fassadenstruktur aus Glas und Holz variiert in der Tiefe und gibt dem Gebäude dadurch nicht nur ein markantes Erscheinungsbild, sondern dient auch der Verschattung. Ebenso entstehen durch die Ausprägung der Fassadenelemente nutzbare Loggien. Das Gebäude besteht insgesamt aus acht Geschossen.

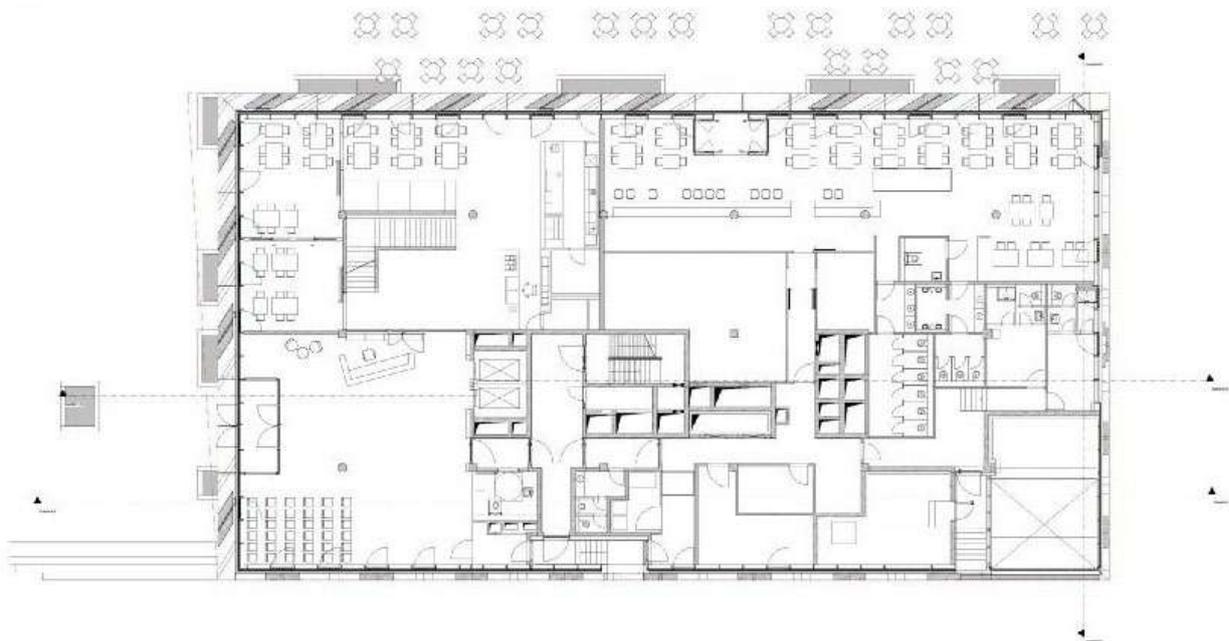


Abbildung 66: Grundriss EG *The Cradle*¹²⁵

¹²⁶ <https://www.hpp.com/projekte/fallstudien/the-cradle/>; abgerufen a, 03.03.2024 um 16:48 Uhr

Tragwerk

Das Tragwerk ist eine Holz-Beton-Konstruktion. Es wurde parametrisch in 3D entworfen. Das Erdgeschoss, der Kern und die drei Untergeschosse bestehen aus Recycling-Beton, die fünf Vollgeschosse und das Staffelgeschoss wurden in Holzelementbauweise entworfen. Die Tragstruktur basiert auf einer außenliegenden, als Fachwerkträger konzipierten Fassade in Massivbauweise sowie einem Skelettbau im Inneren. Unter der Prämisse, ein kreislauffähiges Gebäude zu entwerfen, wurden die komplexen Holzverbindungen mit Hilfe der CNC Technik gefertigt. (siehe Abbildung 61.) Die massiven V-Stützen aus Brettschichtholz werden auf die CNC gefertigten Knotenpunkte gesteckt. Sie verbinden die Stützelemente miteinander, ohne dass

zusätzlich Leim oder andere Verbindungsmittel zum Einsatz kommen. Damit ist das Holztragwerk in Gänze reversibel. Bei der Bauteilfügung machte man sich das Eigengewicht der Fassadenbauteile zunutze.

Bei der Tragwerksplanung wurden außerdem mit Hilfe von parametrischen 3D Modellen Licht- und Wärmeeintrag optimiert. Indem die massiven Holzfassadenelemente abhängig nach dem Sonneneinfall ausgerichtet wurden, ergibt sich ein teils geschlossen, teils offen wirkendes Fassadensystem. Dieses reguliert den Lichteintrag der dahinterliegenden Glasfassade sowie die natürliche Belüftung auch in der Nacht.¹²⁷ Der Gebäudelebenszyklus soll zudem durch ein flexibles Ausbauraster und modularem Innenausbau verlängert werden.

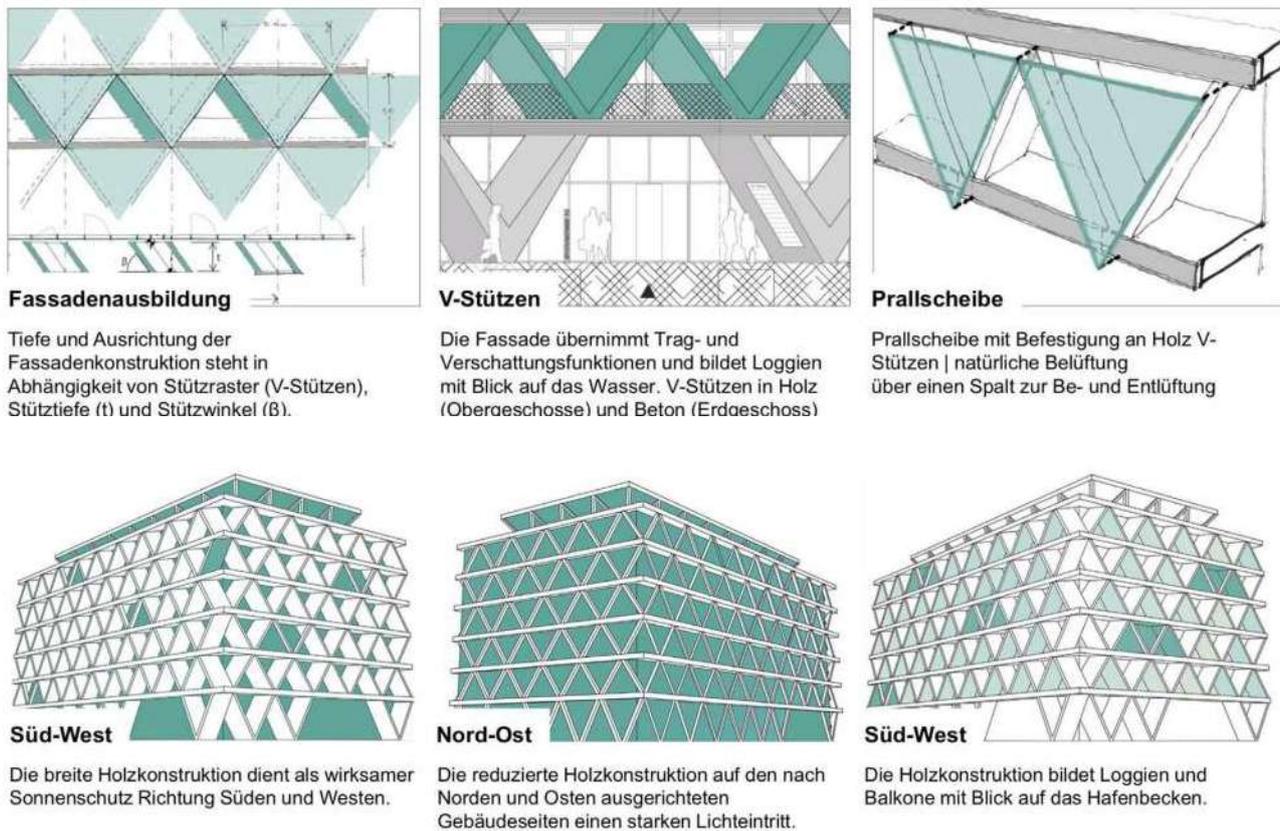


Abbildung 67: Konzept integrierte Fassade *The Cradle*¹²⁵

¹²⁷ <https://www.baunetzwissen.de/integrales-planen/objekte/buero-verwaltung/bueroegebaeude->

[the-cradle-in-duesseldorf-7450135](https://www.baunetzwissen.de/integrales-planen/objekte/buero-verwaltung/bueroegebaeude-the-cradle-in-duesseldorf-7450135); abgerufen a, 03.03.2024 um 16H48 Uhr



Abbildung 68-71: Fotos Konstruktion *The Cradle*¹²⁵

Materialität und Bauphysik

Mit dem Ziel der Kreislaufwirtschaft haben HPP Architekten *The Cradle* als Materiallager konzipiert. Die eingesetzten Baumaterialien und -teile sind sortenrein, trennbar und rückbaubar. Dadurch können sie am Ende des Gebäudelebenszyklusses demontiert und anderweitig wiederverwendet werden. Außerdem wurden alle Materialien mit Hilfe des 3D Modells in einem Gebäudematerialpass dokumentiert. Hierdurch kann einerseits die Materialauswahl während der Planung optimiert werden. Andererseits kann *The Cradle* in Bezug auf CO₂ Emissionen, Trennbarkeit und Rezyklierbarkeit der Materialien usw. evaluiert werden. Zusätzlich stehen im Falle eines Rückbaus präzise Informationen über die Demontierbarkeit zur Verfügung. Diese wurden in die Madaster-Datenbank (vgl. Kapitel 5.2.) eingespeist. Die Madaster-Plattform verlinkt die Werte von Material, Rohstoff und Immobilien mit einander. Langfristig macht es die Nutzung des Gebäudes als Rohstoffdepot möglich. Der Einsatz von Holz hat abgesehen von der Wiederverwendbarkeit noch weitere positive Eigenschaften. Es reguliert das Raumklima und die Luftfeuchtigkeit und unterstützt die Vermeidung von Hitzeinseln. Grüne Wände im Gebäudeinneren sollen darüber hinaus aus der Luft Schadstoffe filtern und zum Raumklima beitragen. Auch das Dach ist begrünt und beherbergt Insektenhotels und Nistkästen zur Förderung der städtischen Biodiversität.¹²⁸ Die nachhaltige Bewässerung der Grünflächen wird mit Hilfe des Retentionsdaches bzw. dem lokalen Regenwasserspeicher sichergestellt. Das Retentionsdach verbessert außerdem den Wärmeschutz dank der Nutzung der

Verdunstungskälte. Eine Grauwasseraufbereitungsanlage, die die WCs versorgt, sowie wassersparende Sanitärelemente tragen zur Reduktion des Wasserverbrauchs bei.

Fazit

The Cradle zeigt, „dass Architektur mehr leisten muss, als nur schön auszusehen.“¹²⁹ Es ist die Aufgabe von Architekturschaffenden, gewohnte Bauprinzipien zu hinterfragen und Mehrwerte für Mensch und Umwelt zu schaffen. Diese wurden einerseits durch das Engagement aller Beteiligten generiert. Bereits bei der Ausschreibung des Wettbewerbs hat der Bauherr Interboden ein Gebäude gefordert, welches über die zu dem Zeitpunkt üblichen Nachhaltigkeitsstandards hinaus ging, auf Cradle-to-Cradle Prinzipien basiert und gleichzeitig vermarktbar ist.¹³⁰ Dies kann sicherlich als entscheidender Wegbereiter für den Entwurf gewertet werden. Bei der Planung des Gebäudes spielte außerdem die Zusammenarbeit zwischen den Architekten, Tragwerks- und Energieplanern sowie anderen Konsulenten eine entscheidende Rolle für die Kreislauffähigkeit. So wurden zum Beispiel HPP Architekten während der Planung und Bauausführung von EPEA unterstützt, ein Forschungs- und Beratungsinstitut, welches auf Cradle-to-Cradle Lösungen spezialisiert ist. Darüber hinaus ermöglichte der parametrische 3D Entwurf auf Basis von BIM (Building Information Modelling), modellbasierte, innovative Lösungen interdisziplinär mit Tragwerksplanern und anderen Konsulenten zu entwickeln.

Andererseits wurden Mehrwerte für Nutzer und Umwelt erzeugt, in dem die einzelnen Gebäudeelemente mehrere Funktionen

¹²⁸ <https://www.hpp.com/projekte/fallstudien/the-cradle/>; abgerufen am 03.03.2024 um 17:46

¹²⁹ Zitat von Gerhard Feldmeyer, Managing Director bei HPP Architekten im Video: <https://www.interboden.de/projekte/the-cradle-duesseldorf/>; abgerufen am 03.03.2025 um 18:53 Ur

¹³⁰ <https://www.baunetzwissen.de/integrales-planen/objekte/buero-verwaltung/buerogebäude-the-cradle-in-duesseldorf-7450135/>; abgerufen am 03.03.2024 um 18:45 Uhr

übernehmen. Spielen bei der Fassadengestaltung zum Beispiel häufig vor allem Ästhetik bzw. Materialität eine entscheidende Rolle, veranschaulicht Abbildung 66 die unterschiedlichen Aufgaben, die die Fassade von *The Cradle* übernimmt: Belichtung, Verschattung, Freiraumangebot, städtebauliche Prägung. In diesem Rahmen ermöglicht es die Fassade, den Inhalten des Gebäudes ein Gesicht zu geben.

Gilt die Zirkularität des Gebäudes als entscheidendes Entwurfskriterium, so könnte kritisch bewertet werden, dass *The Cradle* ausschließlich mit neu aus dem Kreislauf genommenen Materialien gebaut wurde. Ebenso ist fraglich, in wie weit die aufwendig entwickelten Fassadenstrukturen ein realistisches Potential auf Wiederverwendung haben, da Form und Tragstruktur sehr speziell sind. Auch die Übertragbarkeit der Konstruktionsprinzipien auf andere Gebäude wirkt aufgrund der sehr individuellen Lösungsansätze schwierig.

Insbesondere für Wohnbauten scheint eine Fassade mit vergleichsweise hohem Glasanteil nicht übertragbar.

Nichts desto trotz veranschaulicht *The Cradle*, wie ein holistischer Planungsansatz und die enge Kooperation zwischen Bauherren, Architekten und Fachplanern Synergieeffekte von Konstruktion, Bauphysik und Architektur generieren können. *The Cradle* kann als ein Leuchtturm-Projekt angesehen werden, das die Machbarkeit von innovativen, kreislauffähigen Gebäuden unter Beweis stellt.



Abbildung 72: Fassade Close-Up *The Cradle*¹²⁵

Entwurf

9. Entwurf

Ziel des Projektes ist ein nachhaltiger Entwurf im innerstädtischen Bereich am Beispiel einer mehrgeschossigen Gebäudeaufstockung in Kombination mit einer Aufwertung des Bestands. Aufstockungen von Gebäuden bieten in dicht bebauten Innenstädten einen ressourcenschonenden Lösungsansatz, zusätzlichen Raum ohne weiteren Verbrauch an Grund und Boden zur Verfügung zu stellen. Holz ist dank seines vergleichsweise geringen Gewichts und seiner hohen statischen Festigkeit ein ideales Material für Aufstockungen. Im Zuge des Entwurfs sollen die in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Aspekte des Bauens mit wiederverwendeten Bauteilen veranschaulicht werden. Hierbei wird zusätzlich zu architektonischen Aspekten insbesondere auf Tragwerk und Konstruktion, Planungsprozess, gesetzliche Rahmenbedingungen und Verfügbarkeit der wiederverwendbaren Materialien sowie den

Einfluss der Digitalisierung eingegangen. Die vorab erläuterten Faktoren hinsichtlich Zertifizierungen würden den Rahmen dieser Arbeit sprengen und werden daher im Rahmen des Entwurfs nicht spezifisch thematisiert.

9.1. Allgemeine Projektbeschreibung

Das Projekt befindet sich im 10. Wiener Gemeindebezirk. Zum Zwecke der innerstädtischen Nachverdichtung soll das bestehende Gebäude einer zu Beginn des 20. Jahrhunderts errichteten, ehemaligen Tabakhülsenfabrik der Firma „Société des Papiers Abadie“ um zwei Geschosse aufgestockt werden. Heute wird das Gebäude hauptsächlich vom Berufsförderungsinstitut BFI-Wien als betriebene Fortbildungseinrichtung genutzt. Im Erdgeschoss befinden sich außerdem ein Nahversorger und ein Imbissrestaurant.



Abbildung 73, 74: Fotos Bauplatz¹³¹

¹³¹ <https://www.proholz.at/student-trophy/bauplatz-3>; abgerufen am 16.03.2023 um 14:17 Uhr

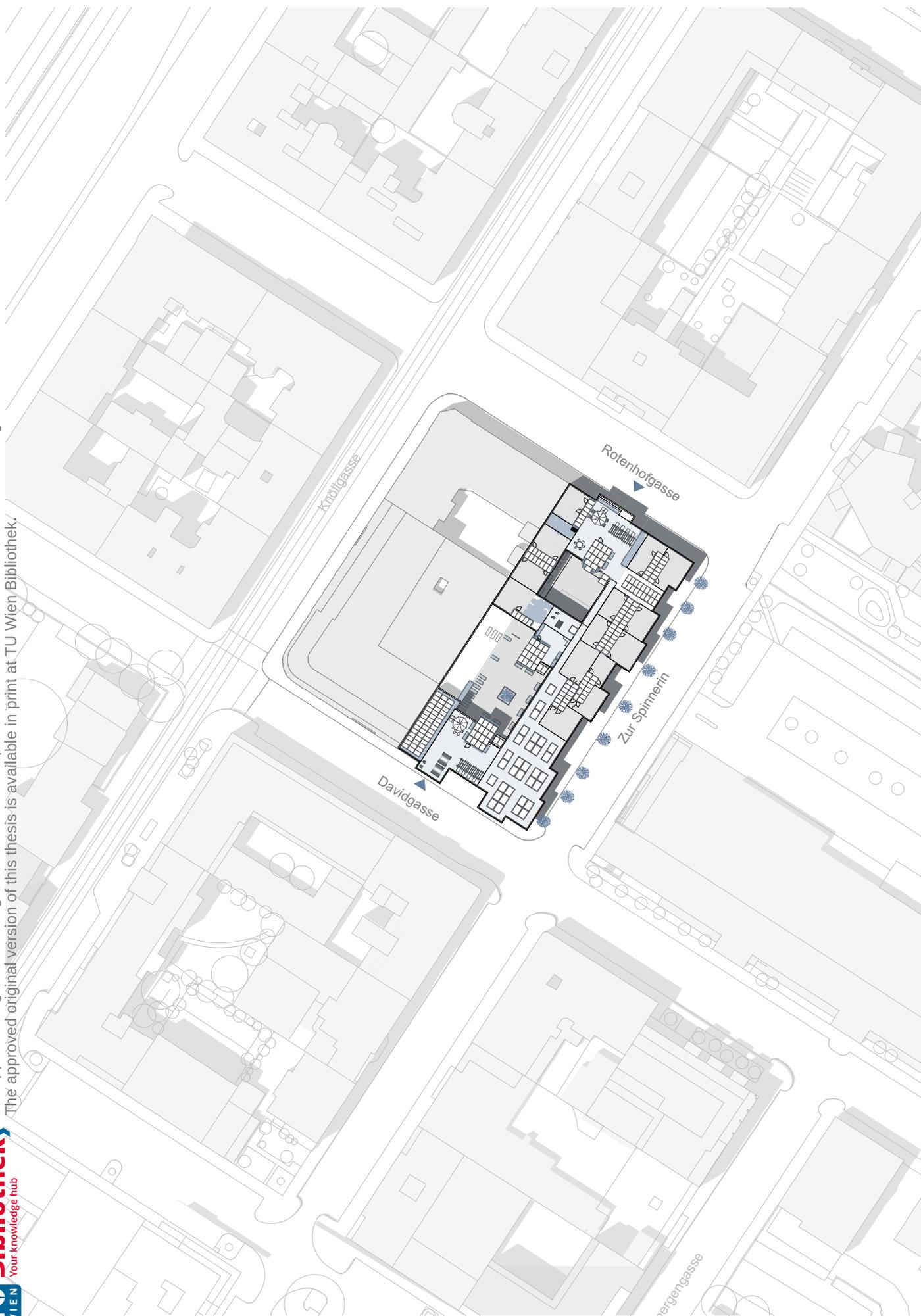


Abbildung 75: Lageplan
M 1:1000



Abbildung 76: Rendering Straßenansicht

Es entsteht ein hybrider Mischtypus aus Cluster- und Atelierwohnungen mit insgesamt 2432 m² Nutzfläche und fast ebenso viel privater bzw. gemeinschaftlich genutzter Freifläche. Diese sind über drei Stiegenhäuser bzw. zusätzlich erbaute Lifte barrierefrei für alle Bewohner erreichbar. Indem die Aufstockung auf einem 2,2m hohen Rost aus rückgebauten Fachwerkträgern steht, werden mehre Vorteile generiert: die Aufstockung setzt sich konstruktiv und optisch vom Bestand ab, das bestehende Tragwerk und Dach bleiben mit Ausnahme der Stiegenhäuser in Gänze erhalten und im Zwischengeschoss entsteht Platz für üppige Begrünung sowie drei Luftwärmepumpen. Eine weitere Besonderheit des Projektes sind die verschränkten Atelier-Maisonette-wohnungen, die Wiederverwendung von

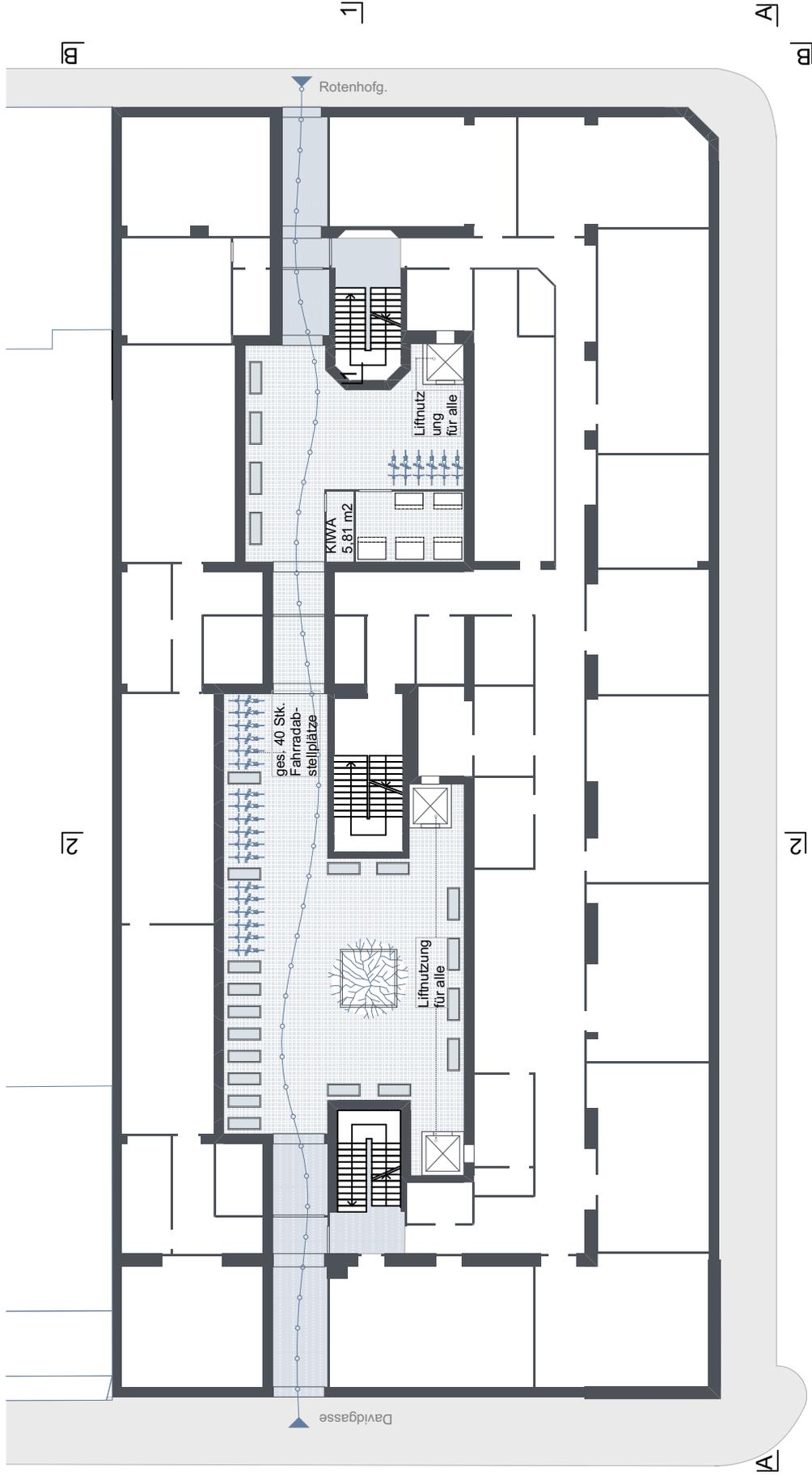
Materialien bzw. die Rückbaufähigkeit der Konstruktion, sowie die Aufwertung des Bestands für alle Bewohner. Diese Aspekte werden nachfolgend ausführlicher beschrieben.

9.2. Wohnungstypen

Sowohl Cluster- als auch Atelierwohnungen verfügen über großzügige Gemeinschaftsbereiche. Diese sind an den Erschließungskernen angesiedelt und dienen gleichzeitig als Verteilerraum. Dadurch wird die Erschließungsfläche minimiert. Dank des gewählten Rasters sind unterschiedliche Wohnungsgrößen leicht realisier- und kombinierbar. Durch Vor- und Rücksprünge der Fassadenebene entstehen private Freibereiche. Gleichzeitig ist die Fassade Ausdruck der inneren Organisation.

Typ	Funktion	m ² pro Geschoss			m ² gesamt	% gesamt
		3	4	5		
Atelier	11 Wohnungen	832	629		1.461	27%
	Gemeinschaftsfläche	155	131		286	5%
	Wohnfläche gesamt	987	760		1.748	32%
	individuelle Freiflächen	50	71	425	546	10%
	gemeinschaftl. Freiflächen		12		12	0%
	Freifläche gesamt	50	83		558	10%
	Atelier gesamt	1.037	843	425	2.306	42%
Cluster	24 Wohnungen	269	280		549	10%
	Gemeinschaftsfläche	126	99		225	4%
	Wohnfläche gesamt	395	379		774	14%
	individuelle Freiflächen	56	48		103	2%
	gemeinschaftl. Freiflächen		28		28	1%
	Freifläche gesamt	56	75		131	2%
	Cluster gesamt	451	454		905	17%
WEG	Gemeinschaftsterrasse	114		926	1.040	19%
	Gründach mit PV Anlage			769	769	14%
	Urban Gardening			313	313	6%
	WEG gesamt			2.008	2.122	39%
Erschließung		51	46		97	2%
Gesamt		1.539	1.343	2.433	5.429	100%

Abbildung 77: Flächenaufstellung



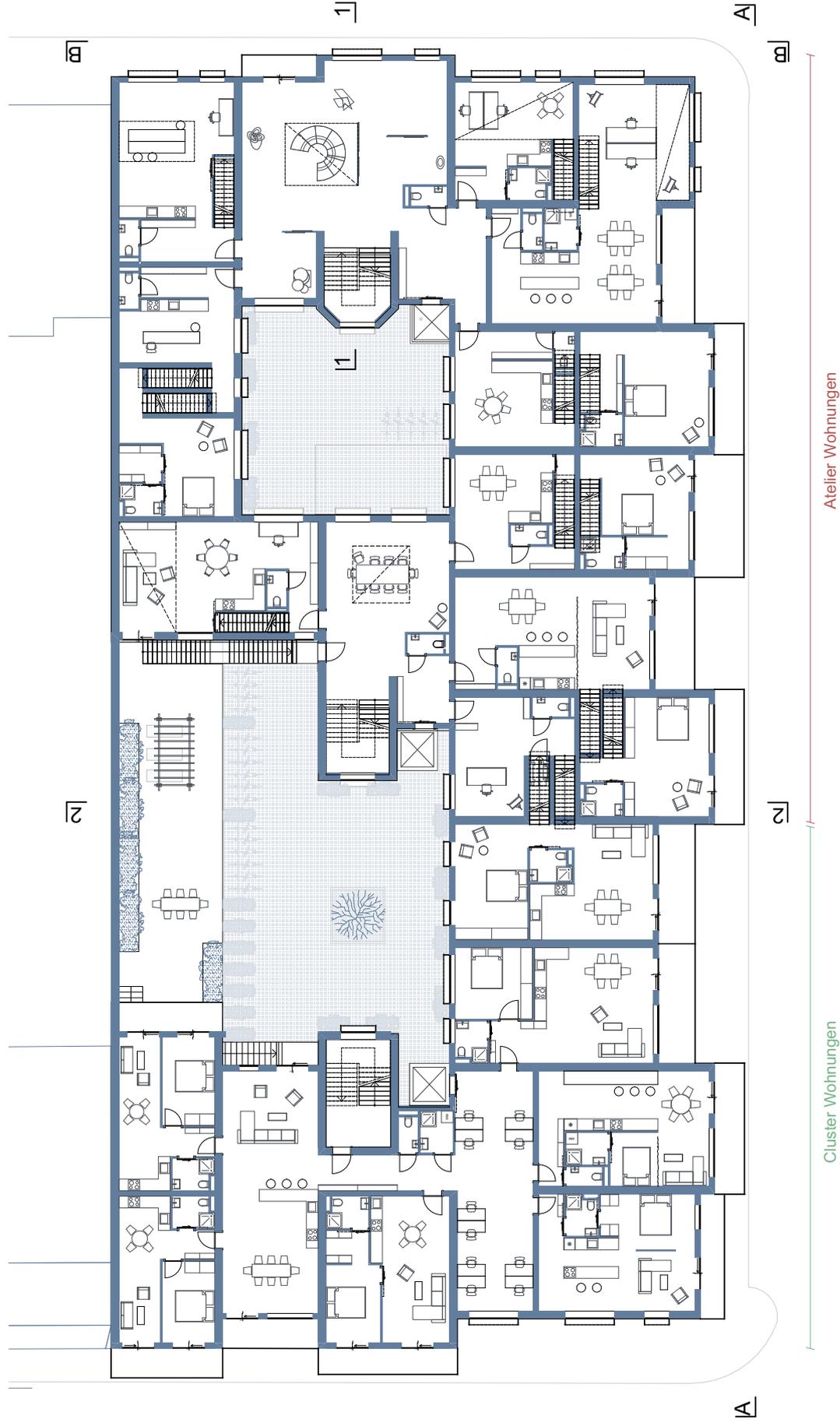


Abbildung 79: Grundriss 3. OG
M 1:300

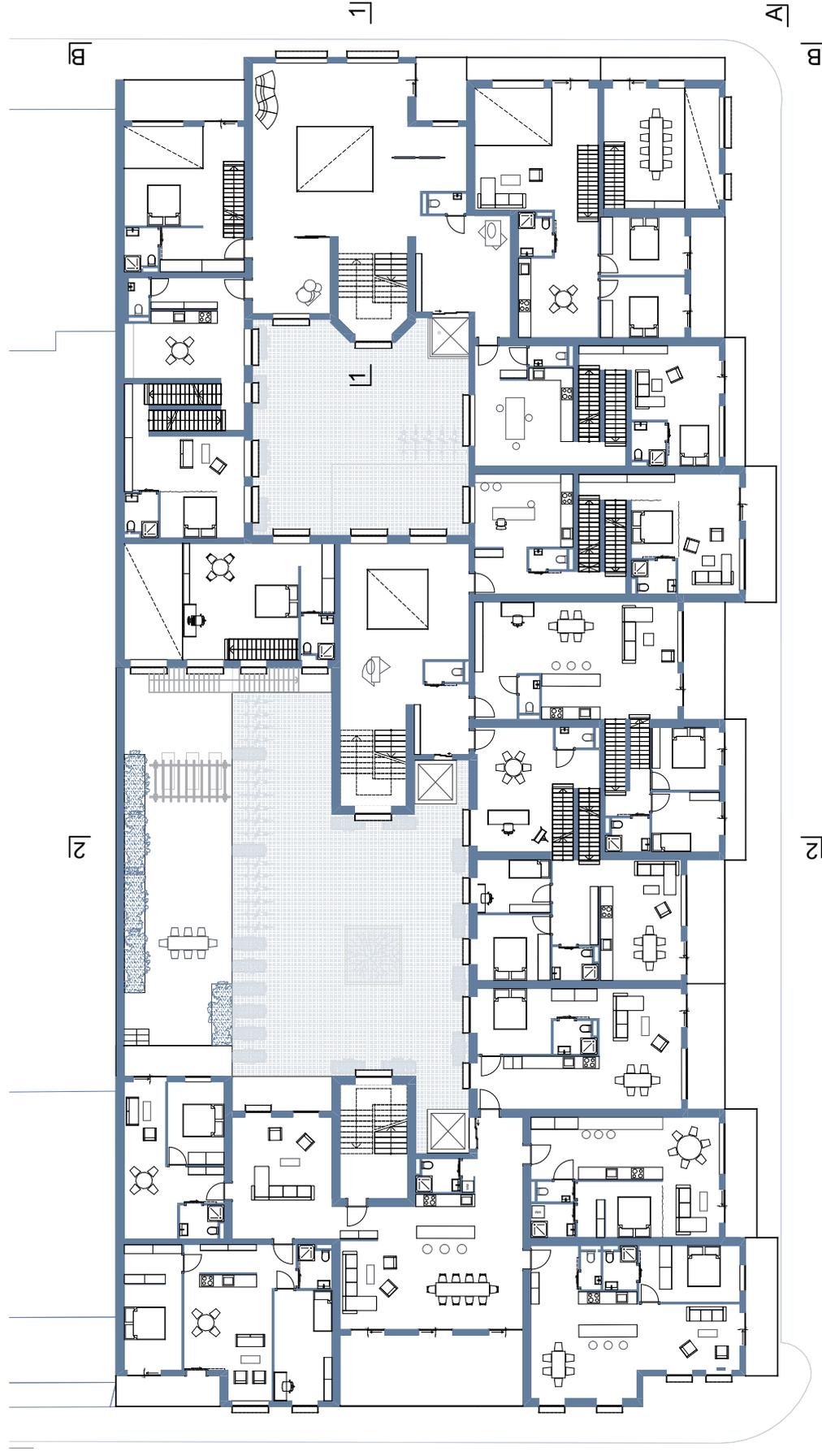


Abbildung 80: Grundriss 4. OG
M 1:300

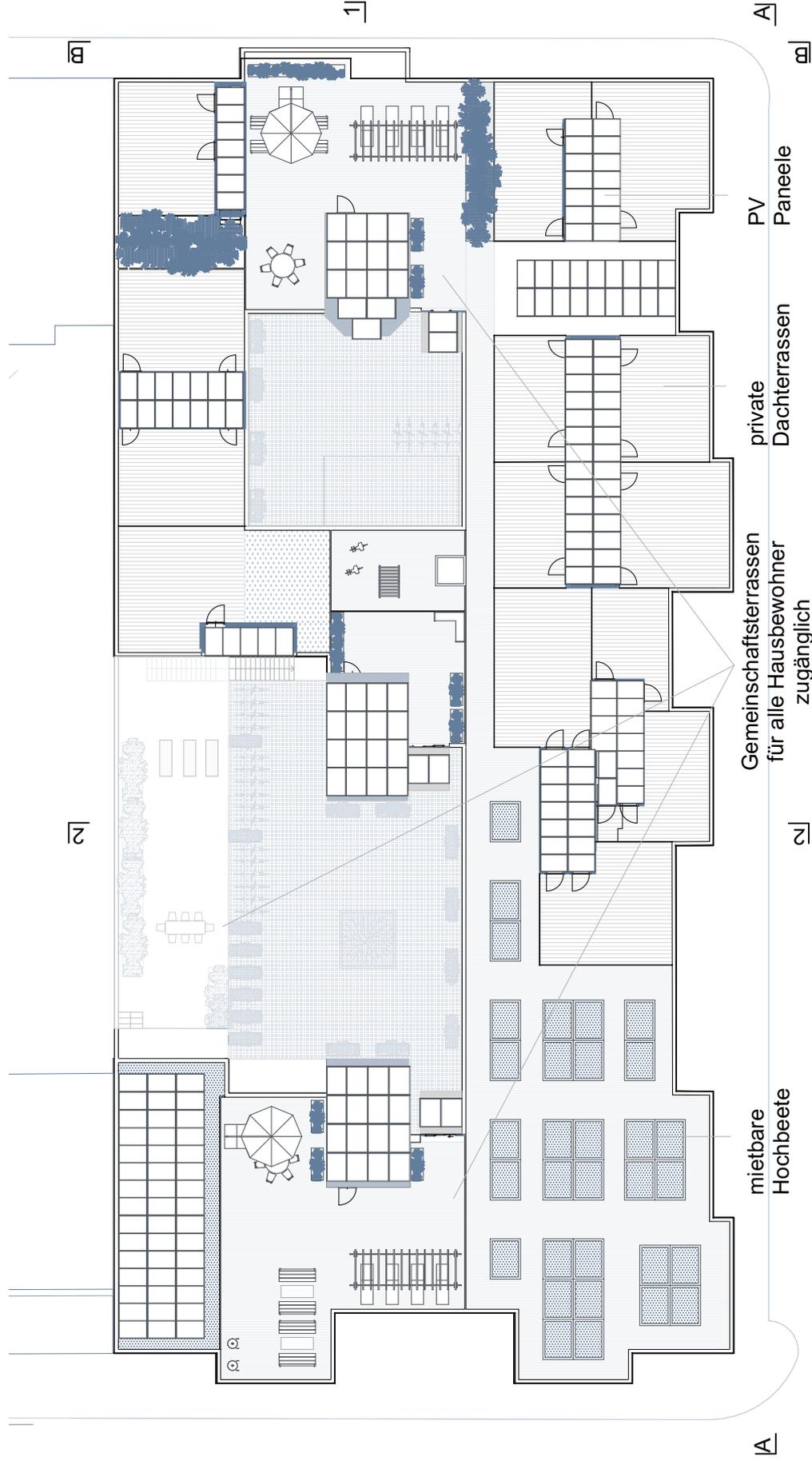


Abbildung 81: Grundriss Dachdraufsicht
M 1:300



Abbildung 82: Ansicht A - A
M 1:300



Abbildung 83: Ansicht B - B
M 1:300

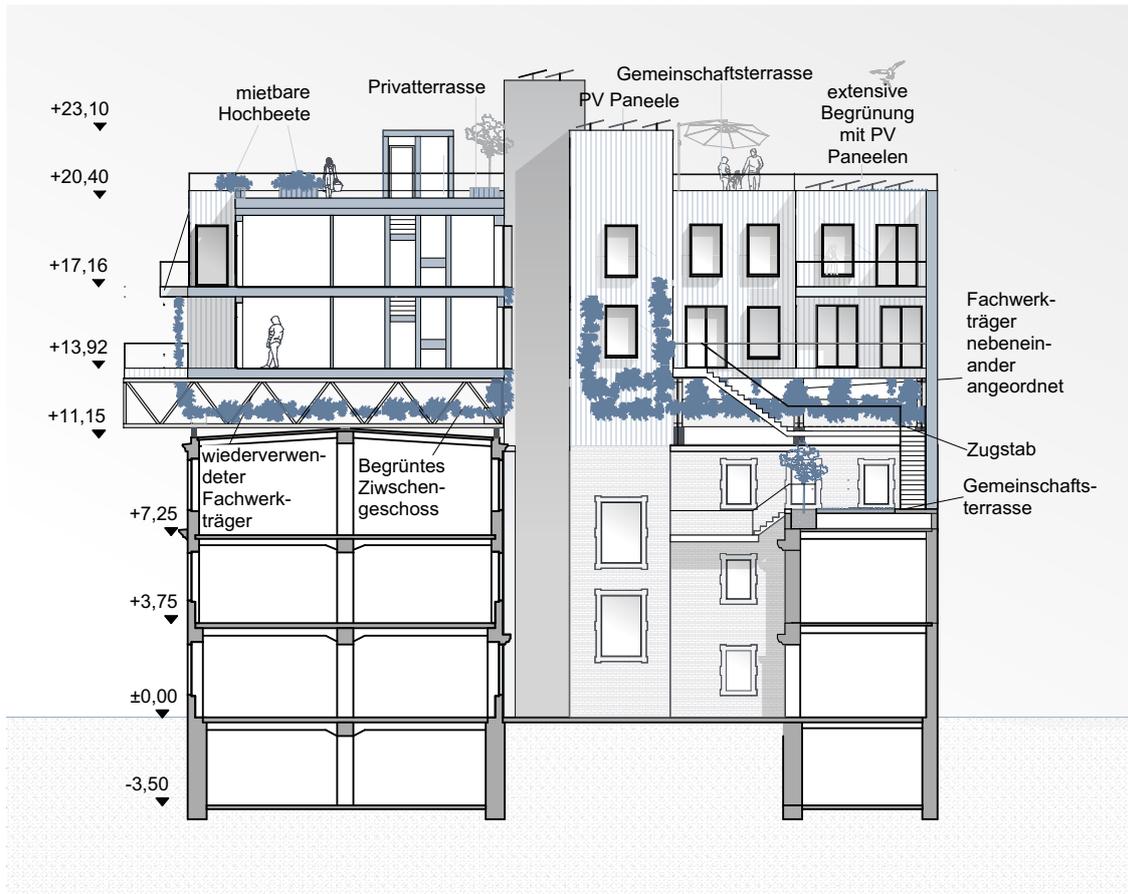


Abbildung 84: Schnitt 2 - 2
M 1:300

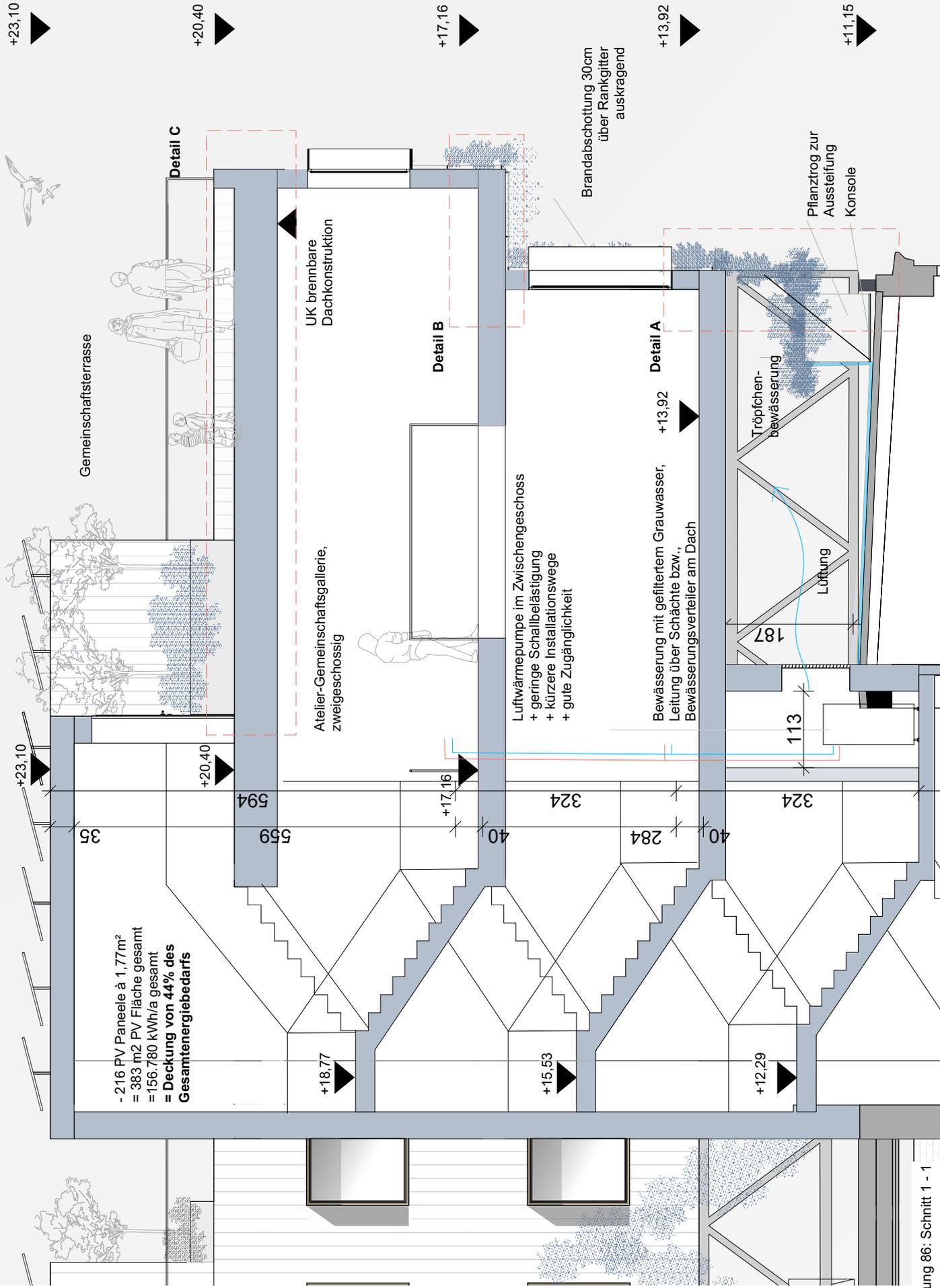


Abbildung 86: Schnitt 1 - 1
M 1:75

Clusterwohnungen

Die Clusterwohnungen nehmen ca. ein Drittel der Nutzfläche ein und befinden sich im westlichen Flügel der Aufstockung. Die 24 Clusterwohnungen haben großzügige Gemeinschaftsflächen mit Ess-, Wohn- und Arbeitsbereichen, Gemeinschaftsbad und Garderobe. Die privaten Bereiche verfügen über ein offenes Wohn-Esszimmer, Garderobe und Bad. Die Schlafbereiche können mit mobilen Elementen oder Wänden vom Wohnbereich getrennt werden.

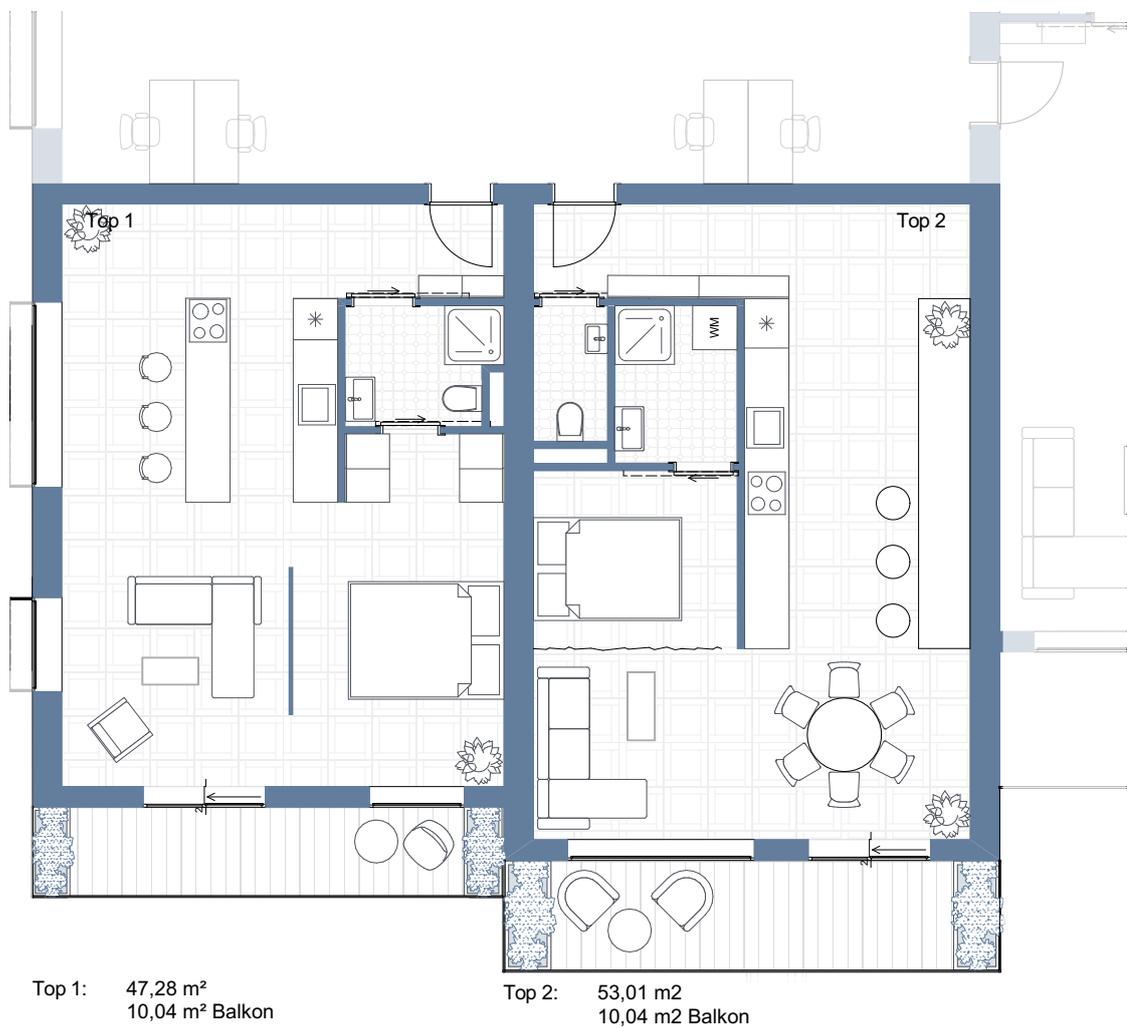
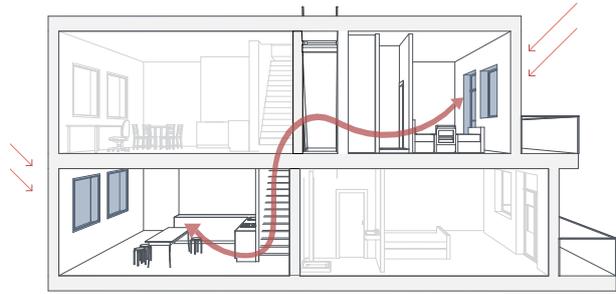


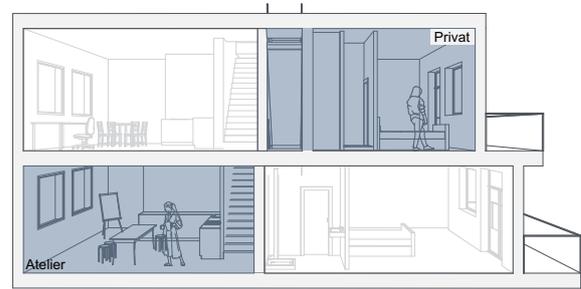
Abbildung 86: Beispiel Grundriss Cluster

Atelierwohnungen

Die Atelierwohnungen mit insgesamt 1747m² Nutzfläche befinden sich im östlichen Bereich. Die Atelierwohnungen sind als untereinander verschränkte Maisonnetten konzipiert. Dadurch entstehen durchgesteckte Wohnungen mit optimaler natürlicher Belichtung und Belüftung, straßenlärmabgewandte Räume, eine räumliche Trennung von Arbeits- und privaten Bereichen sowie individuelle Zugänge zu der Dachterrasse. Die Gemeinschaftsbereiche der Atelierwohnungen sind als Ausstellungs-, Veranstaltungs- oder Arbeitsbereich konzipiert und mit einem 2-geschossigen Galeriebereich, WC und Garderobe ausgestattet.



Durchgesteckte Wohnungen, beidseitig belichtet, lichte 2,84m Raumhöhe

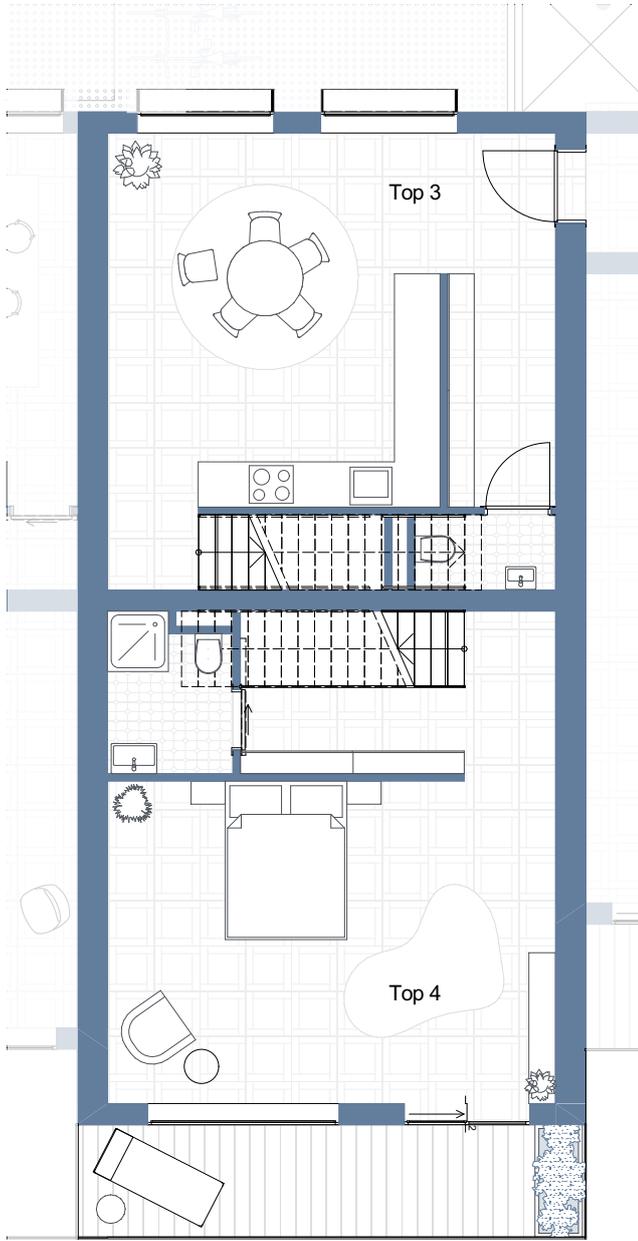


Räumliche Trennung von Atelier und privaten Bereichen

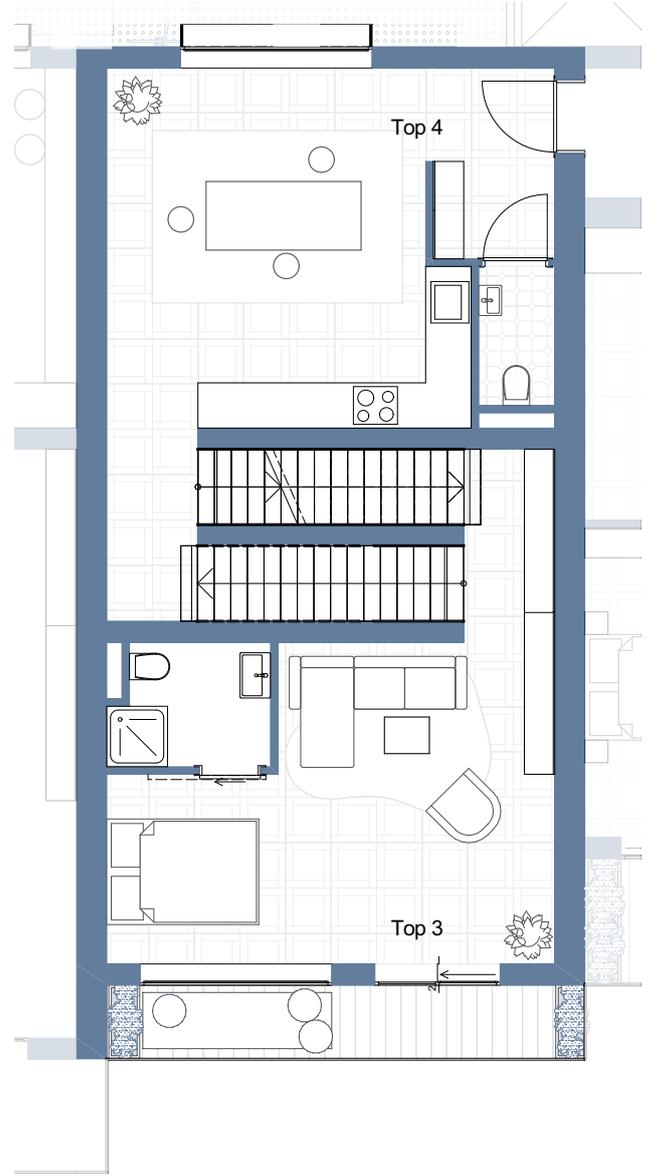


Jede Wohnung mit privatem Zugang zum Dachgeschoss

Abbildung 87: Konzept Atelier- Maisonnettewohnungen



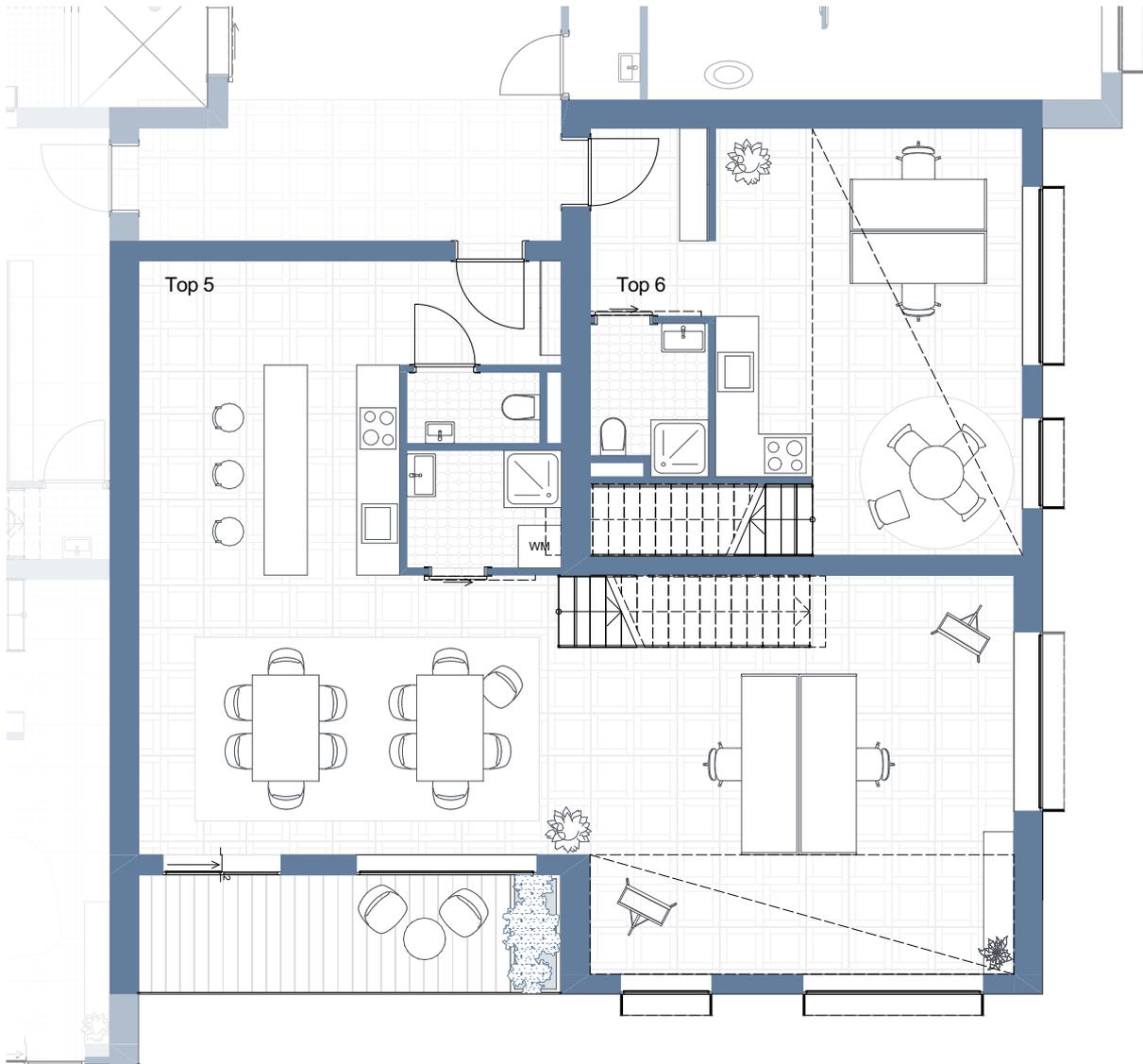
3. OG



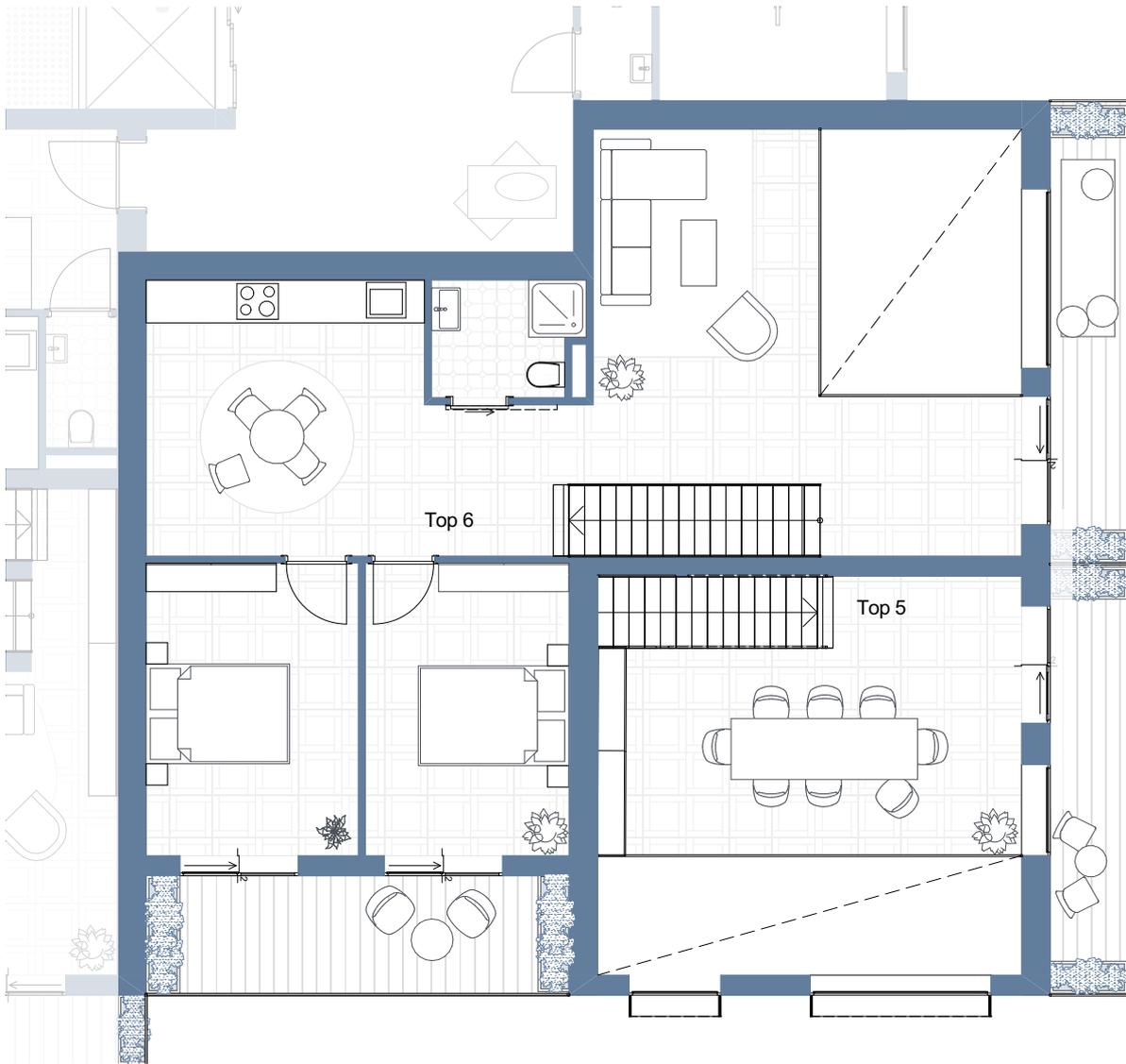
4. OG

- Top 3: 59,11 m²
 10,04 m² Balkon
 22,34 m² Dachterrasse (optional)
- Top 4: 60,07 m²
 6,14 m² Balkon
 27,05 m² Dachterrasse (optional)

Abbildung 88: Beispiel Grundrisse Atelierwohnungen
 M 1:100



- Top 5: 103,11 m²
16,99 m² Balkon
213,57 m² Dachterrasse (optional)
- Top 6: 90,13 m²
16,43 m² Balkon
22,03 m² Dachterrasse (optional)



- Top 5: 103,11 m²
16,99 m² Balkon
213,57 m² Dachterrasse (optional)
- Top 6: 90,13 m²
16,43 m² Balkon
22,03 m² Dachterrasse (optional)

9.3. Tragwerk

Bestand und Tragwerkskonzept

Die statische Struktur des Bestands, eines Fabrik-Ziegelbauwerks vom Anfang des 20. Jahrhunderts, folgt der eines klassischen Wiener Gründerzeitgebäudes. Die vertikalen Lasten werden auf die zwei tragenden Außenwände und die tragende Mittelwand aufgeteilt und ins Fundament abgeleitet. Für die Aufstockung wurde Holz aufgrund seines niedrigen spezifischen Gewichts aber im Verhältnis dazu hohen Festigkeiten gewählt. Darüber hinaus hat Holz im Vergleich zu anderen Baumaterialien eine sehr gute Treibhausgasbilanz. Weitere, für den Tragwerksentwurf wichtige Parameter waren die sortenreine und zerstörungsfrei mögliche Trennung der Baustoffe zum Ende der Lebensdauer, der Einsatz möglichst vieler wiederverwendeter Materialien, sowie ein schonender, möglichst eingriffsfreier Umgang mit dem Bestand. Die Holzkonstruktion der Wohnungen baut auf einem Stahlrost auf. Dieser Stahlrost leitet die Lasten der Aufstockung in den Bestand ein und öffnet eine Fuge, die für Begrünung und Energie genutzt werden soll.

Holzbau

Die vertikale Lastableitung des Holzbaus übernehmen Holztafelwände, die alle 6m in den Achsen der Fachwerkträger des Stahlrosts angeordnet sind.

Alle Wände sind in Holzrahmenbauweise ausgeführt. Auch die Deckenkonstruktion besteht aus einer Holzrahmenbauweise.

Die Wände übernehmen außerdem die Aussteifung in Gebäudequerrichtung. Hierzu werden Rippen und Beplankung kontinuierlich über mechanische Verbindungsmittel zum Beispiel in Form von Klammern miteinander verbunden. Die Kräfte, die in der Ebene der Holztafel

wirken, werden entlang von Latten, Rand- oder Innenrippen kontinuierlich in die Beplankung eingeleitet. Ebenso wird jede aussteifende Holztafel mit umlaufenden, zug- und druckfesten Randgurten (Randrippen) versehen. Dadurch wird eine gleichmäßige Beanspruchung des Verbundes und der Lasteinleitung sichergestellt.¹³²

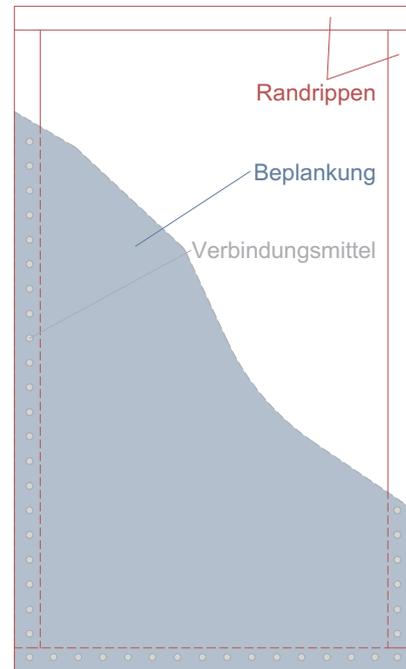


Abbildung 91: Prinzip aussteifende Wandtafel

Die Balkone werden von der Fassade abgehängt. Hierzu werden an den Stellen, wo sich Balkone befinden, die Holztafelwände durch massive Wandscheiben aus BSP als tragende Wandelemente ersetzt. Die Balkone werden an diesen Wandscheiben verankert und über einen auf Zug belasteten Rundstab mit aufgeschweißtem Flachstahl von der Wand abgespannt. Der Stahlrahmen mit Hohlprofilen und einer Stahlbetonplatte wird an dem Zugstab und einer Wandverankerung befestigt. Diese ist erhöht, um eine spätere Wartung zu ermöglichen.

¹³² <https://www.hs-augsburg.de/homes/colling/holzbau-colling/pdf/2018->

[mikadoplus.pdf](#); abgerufen am 03.03.2024 um 17:19 Uhr

Stahlrost

Der Stahlrost setzt sich aus Fachwerkträgern, Stützen und Zugstäben zusammen. Die Lasten des Holzbaus werden in die die 12,5 bzw. im Falle der Auskragungen 15 Meter langen Fachwerkträger eingeleitet. Diese verlaufen alle 6m quer zur Gebäudeachse und liegen auf einer aufgemörtelten Ausgleichsschicht auf dem Giebel des Bestandsdaches sowie am Rand auf Stahlstützen auf. Die Stahlstützen des Rostes werden auf Ebene des Bestandsdaches mithilfe von Zugankern an die Mauerwerkspfeiler des Bestands in einem Abstand von ca. 2,27m (im Rhythmus der Bestandsfassadenfenster) angeschlossen. Dazu wird eine Ausgleichsschicht aufgemörtelt und ein

Futterblech festgeankert, an dem die Stützen angeschweißt werden. Bei den auf den Außenwänden befestigten 35cm hohen Stützen kommen kaltgeformte, HEA-Profile 240 S235 zum Einsatz. Die Aussteifung in Gebäudelängsrichtung wird durch die Scheibenwirkung der Pflanzentröge, die zwischen den Außenstützen angeordnet sind, gewährleistet. In Gebäudelängsrichtung gibt es Zugstäbe zwischen den Fachwerkträgern. Die Geschossdecken des 1. Aufstockungsgeschosses werden auf die Fachwerkträger aufgelegt und mechanisch mit diesen verbunden. Alle Geschossdecken und das Dach spannen einachsrig zwischen Fachwerkträger bzw. tragenden Wänden.

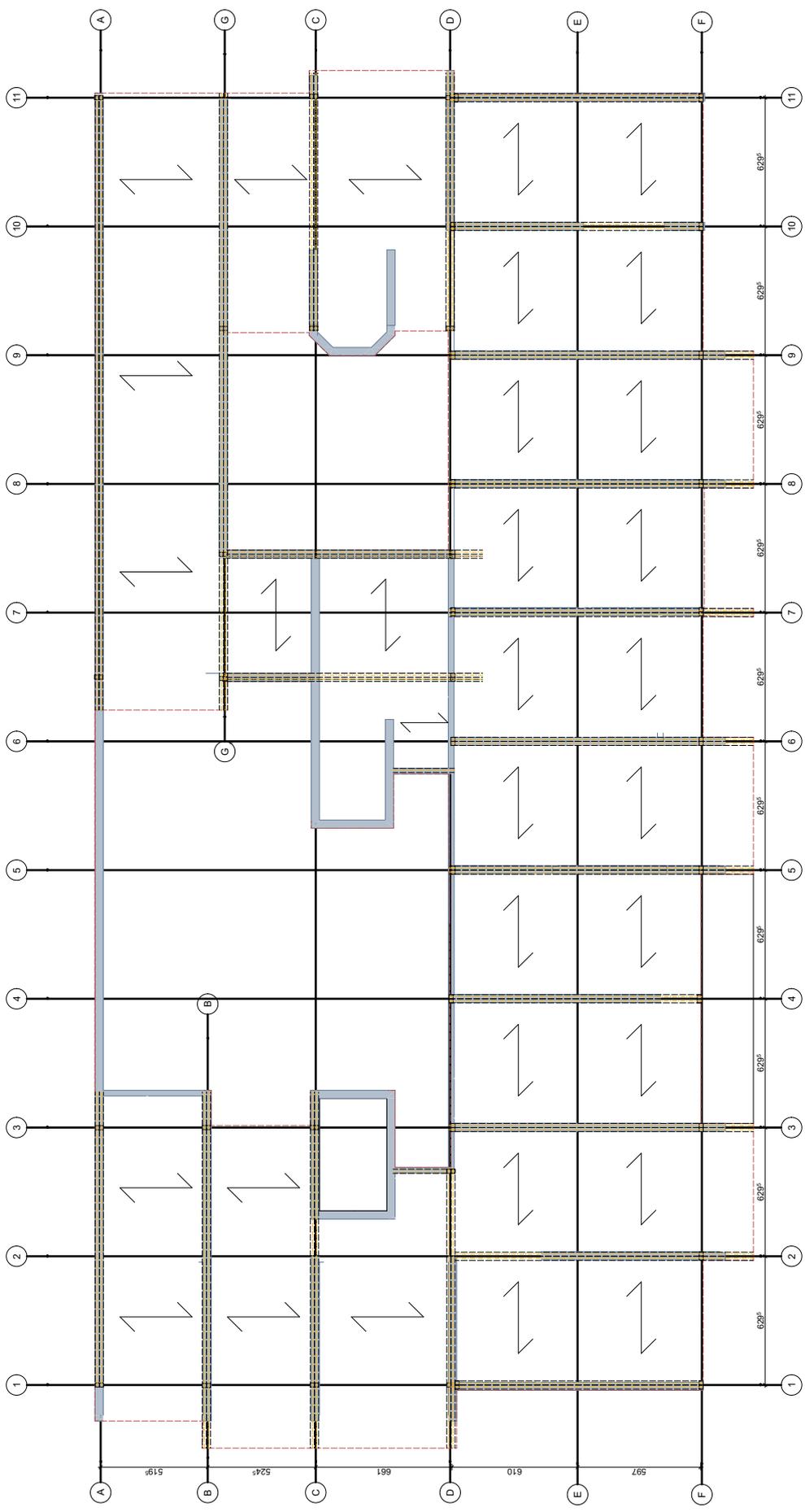


Abbildung 92: Tragwerksraster

M 1:300

- Stützen
- Hauptträger
- Tragende Holztafelwände
- Decke

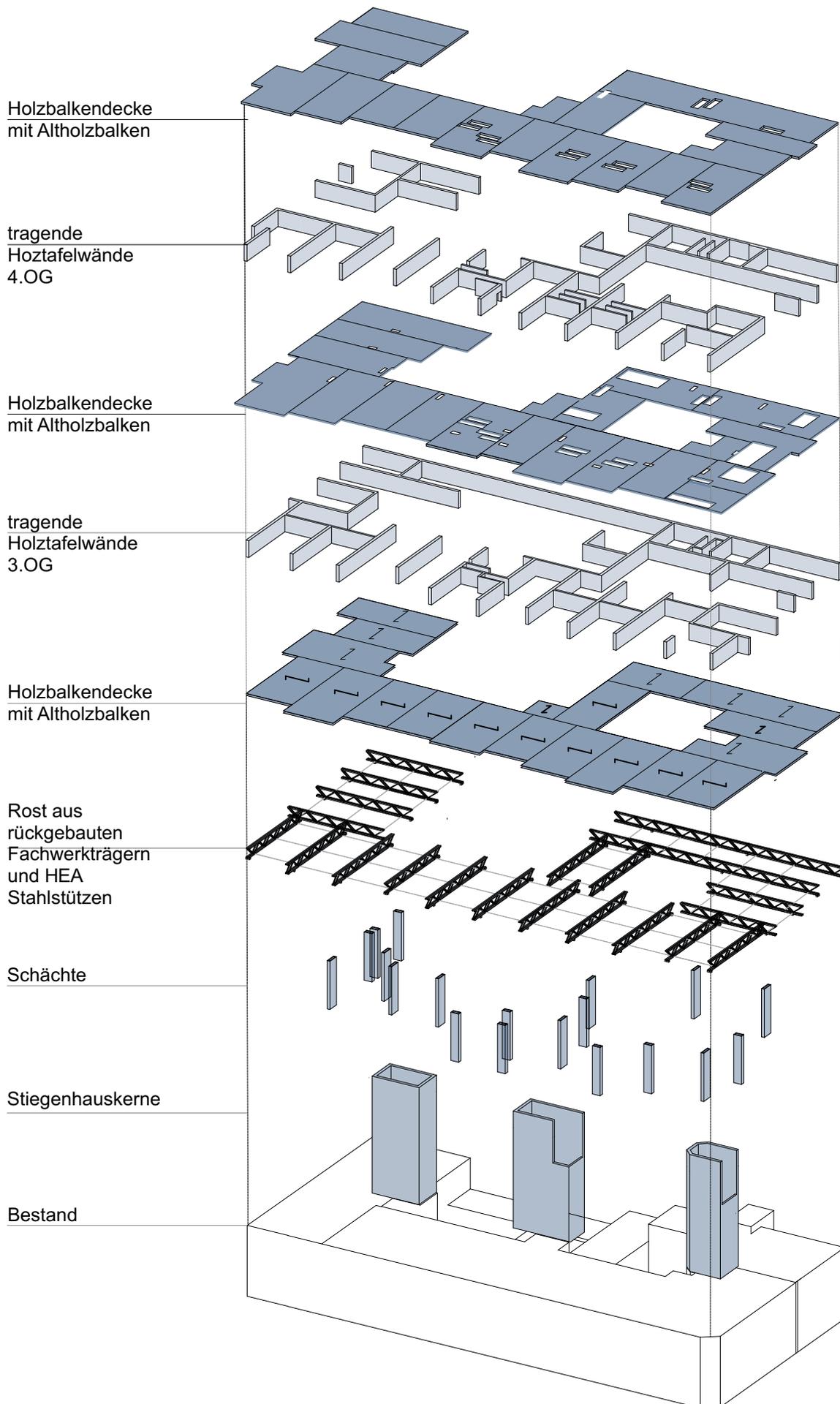


Abbildung 93: Traxwerksaxonometrie

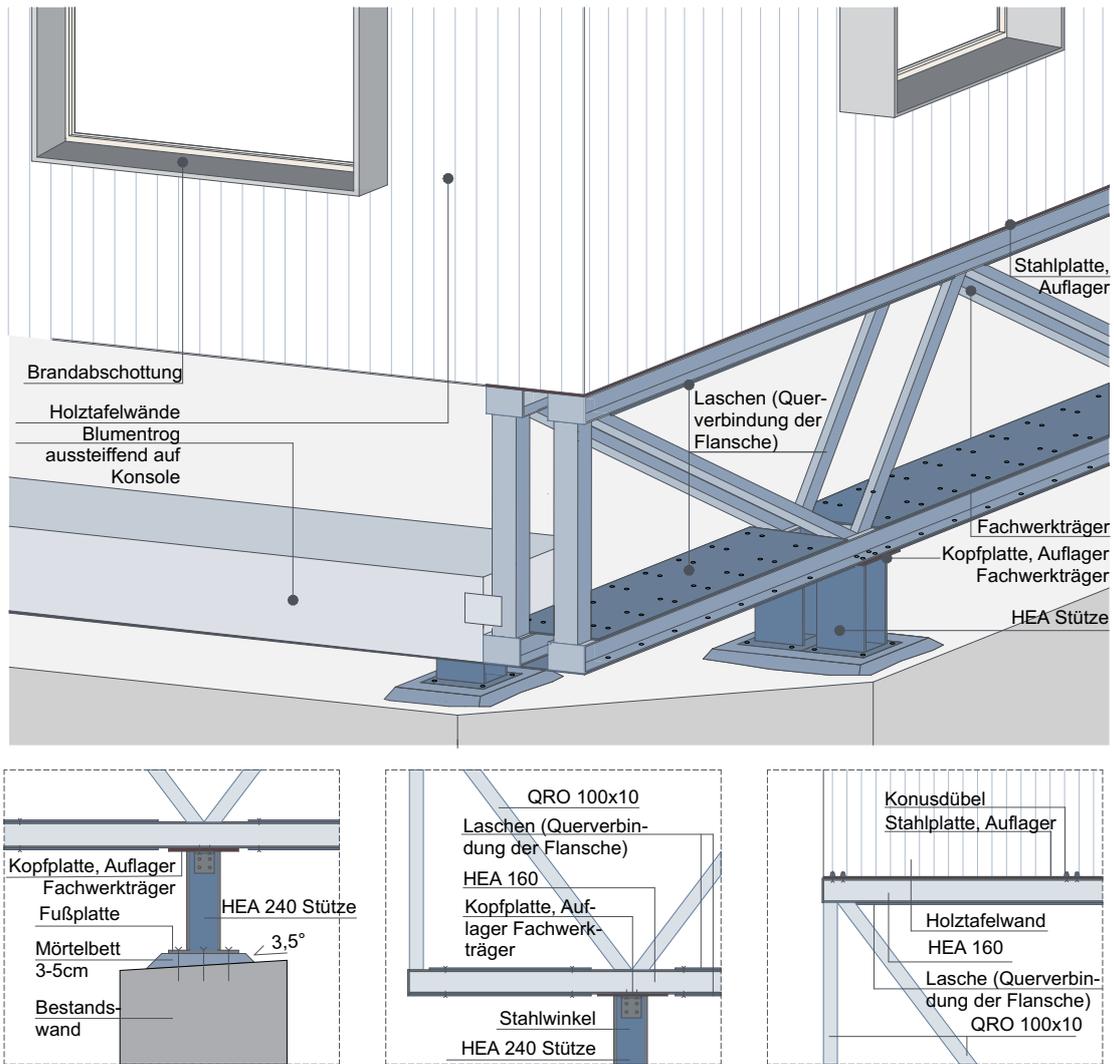
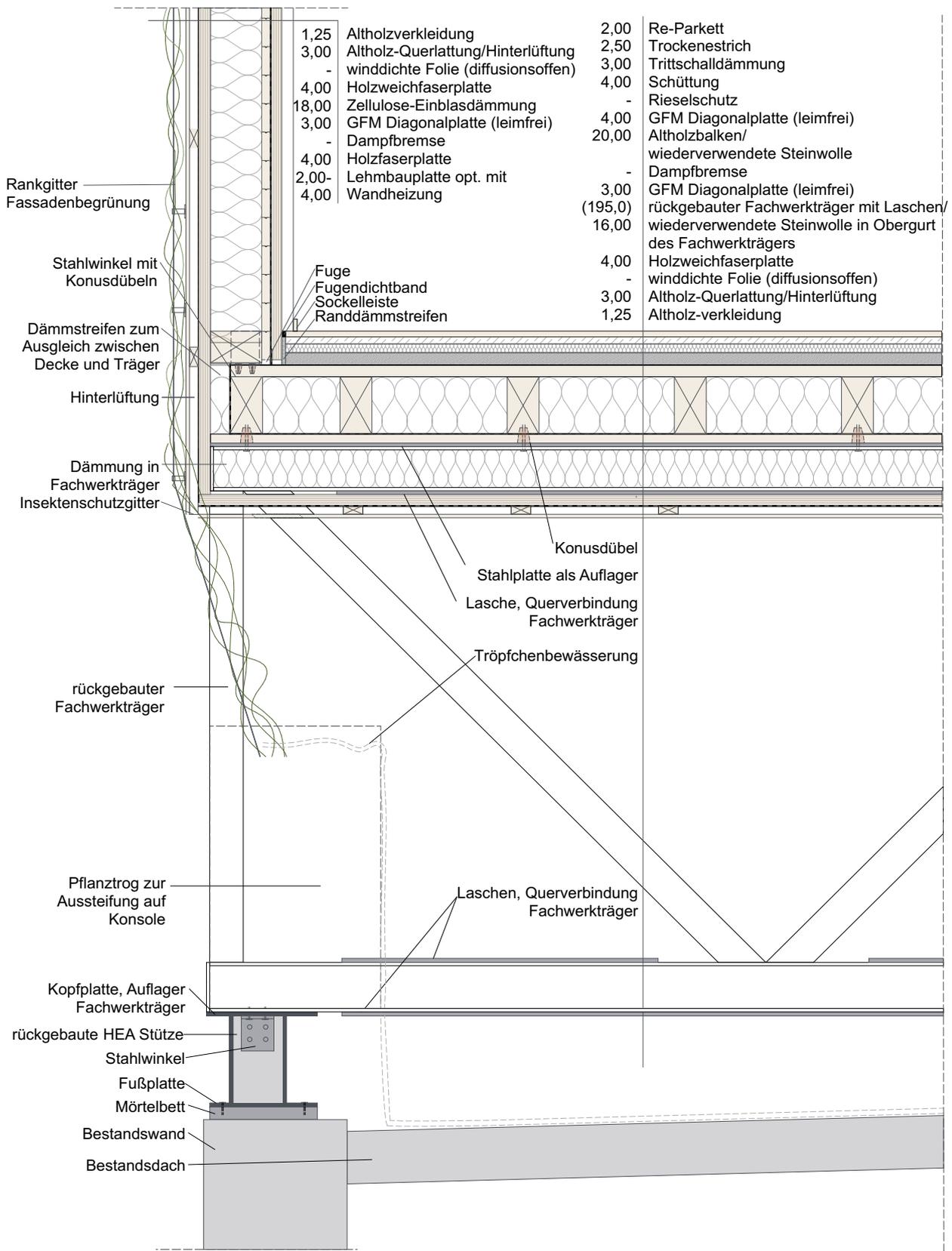


Abbildung 94: Ausführung Gebäudeecke, Verbindungen



Re-Use Materialien



HEA Stütze, Concular



Fachwerkträger, Concular



Steinwolleplatten, Salza



Altholzplatten, Brenners Altholz



Altholzbalken, Brenners Altholz



Re-Parkett, Weitzer

Re-Use Materialien



Altholzbalken,
Brenners Altholz



Altholzplatten,
Brenners Altholz



Steinwolleplatten,
Salza



Re-Parkett,
Weitzer



Konusdübel



Lehmputz,
Prolehm

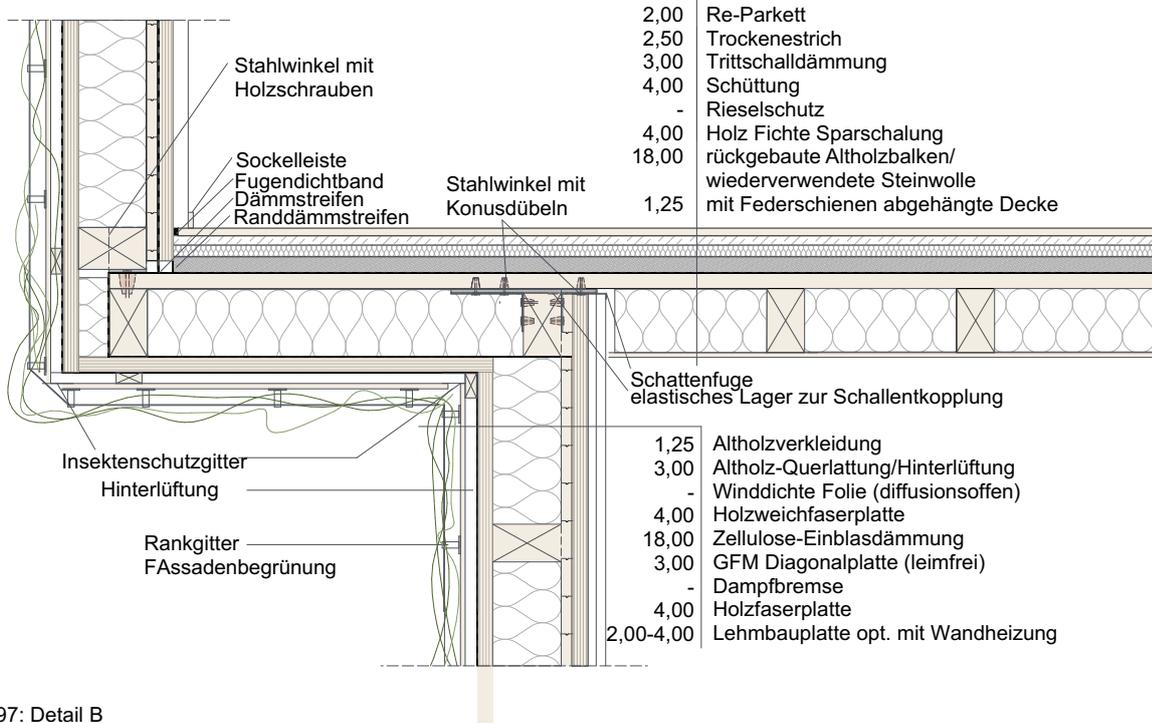


Abbildung 97: Detail B
1:20

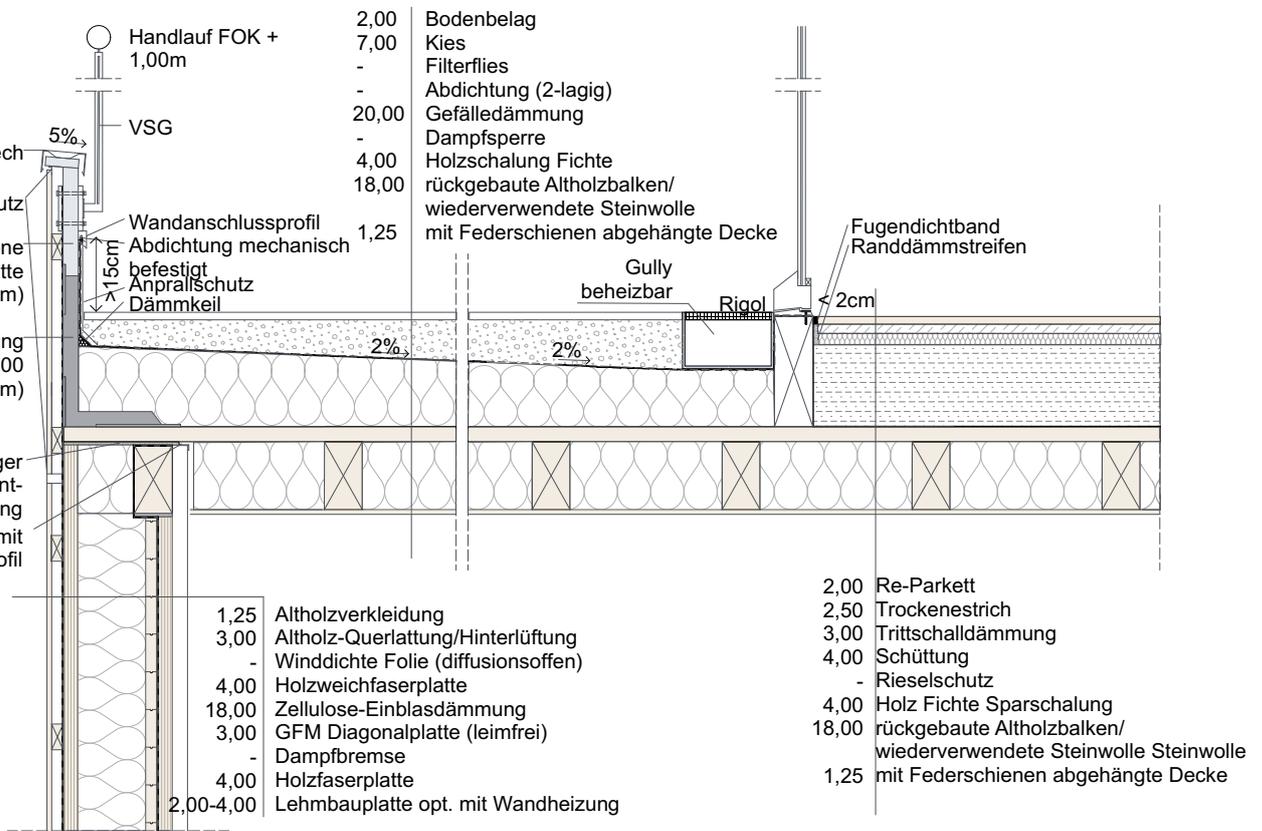


Abbildung 97: Detail C
M 1:20

Re-Use Materialien



Altholzbalken, Brenners Altholz



Altholzplatten, Brenners Altholz



Steinwolleplatten, Salza



Re-Parkett, Weitzer



Geländer, Salza



Schüttung, Concular

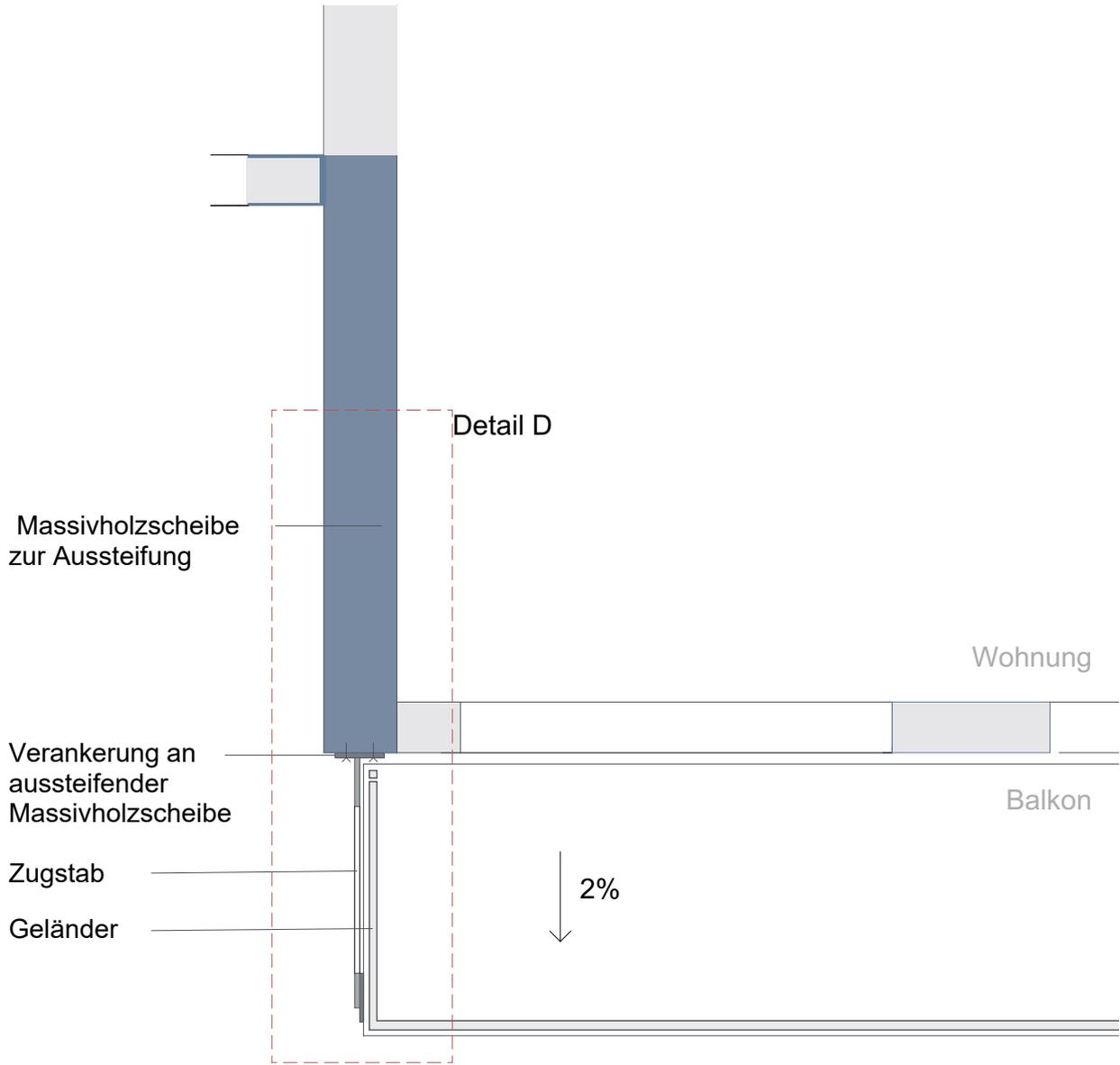
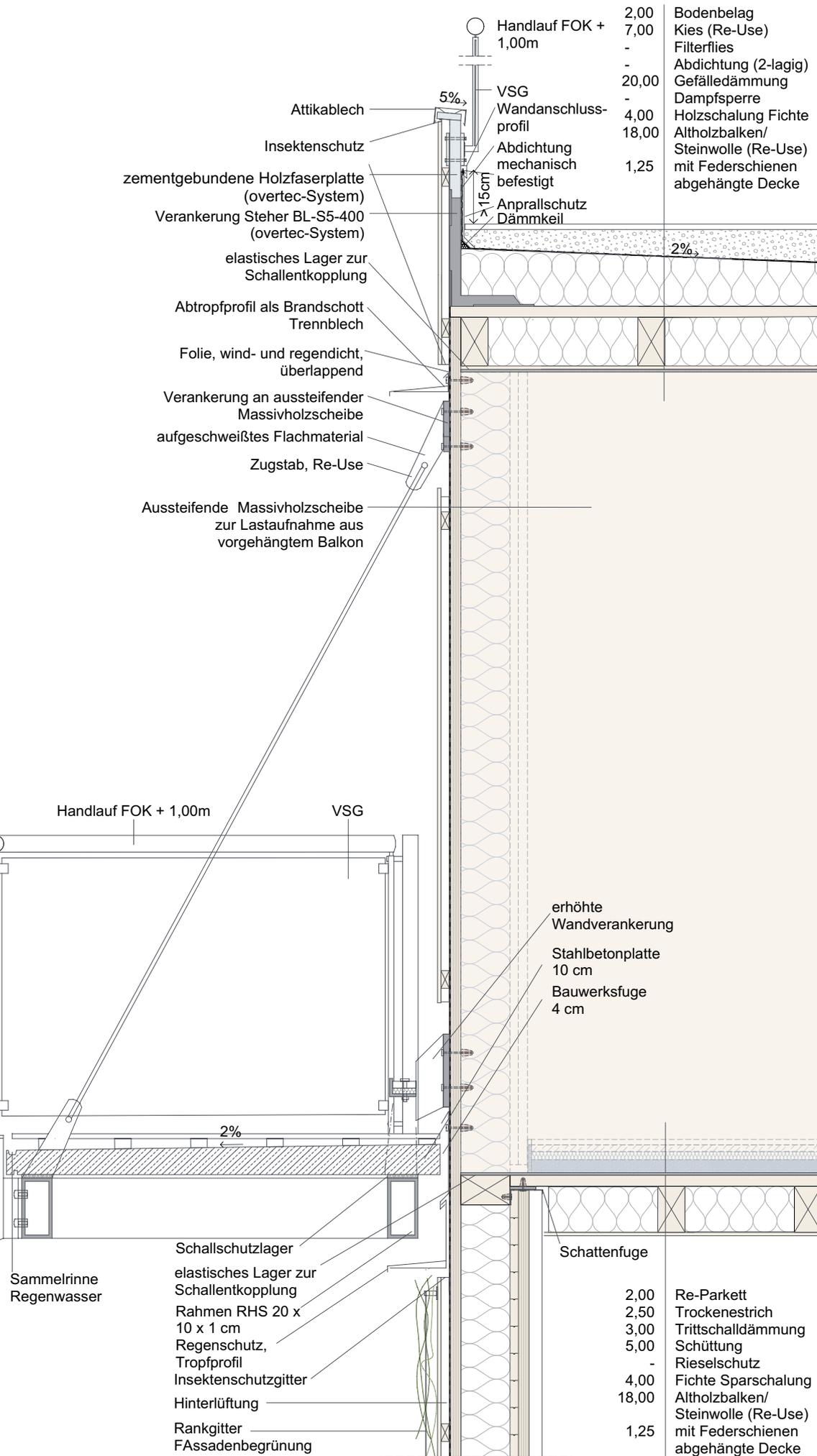


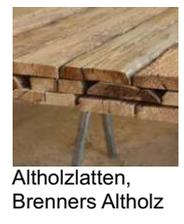
Abbildung 98: Prinzipskizze Balkon

Abbildung 99: Detail D
 M 1:20



Handlauf FOK + 1,00m
 5%
 Attikablech
 Insektenschutz
 zementgebundene Holzfaserverplatte (overtec-System)
 Verankerung Steher BL-S5-400 (overtec-System)
 elastisches Lager zur Schallentkopplung
 Abtropfprofil als Brandschott Trennblech
 Folie, wind- und regendicht, überlappend
 Verankerung an aussteifender Massivholzscheibe
 aufgeschweißtes Flachmaterial
 Zugstab, Re-Use
 Aussteifende Massivholzscheibe zur Lastaufnahme aus vorgehängtem Balkon

2,00	Bodenbelag
7,00	Kies (Re-Use)
-	Filterflies
-	Abdichtung (2-lagig)
20,00	Gefälledämmung
-	Dampfsperre
4,00	Holzschalung Fichte
18,00	Altholzbalken/Steinwolle (Re-Use)
1,25	mit Federschiene abgehängte Decke



2,00	Re-Parkett
2,50	Trockenestrich
3,00	Trittschalldämmung
5,00	Schüttung
-	Rieselschutz
4,00	Fichte Sparschalung
18,00	Altholzbalken/Steinwolle (Re-Use)
1,25	mit Federschiene abgehängte Decke

9.4. Bauphysik, Fassadenbegrünung und Energie

Begrünung

Die Bepflanzung basiert auf einem Ranksystem aus Edelstahlletzen, das mit Schlingern begrünt wird. Die Schlinger greifen die Fassade nicht an und wachsen nicht über die Rankhilfen hinaus. Dadurch können die Brandschutzvorgaben eingehalten werden. Zusätzlichen Schutz bieten die umläufigen Brandabschottungen der Fenster. Die Tröge werden mit gefiltertem Grauwasser bewässert. Die Begrünung fördert die Biodiversität, bietet Schutz vor Witterung, Staub und Lärm.

Energie

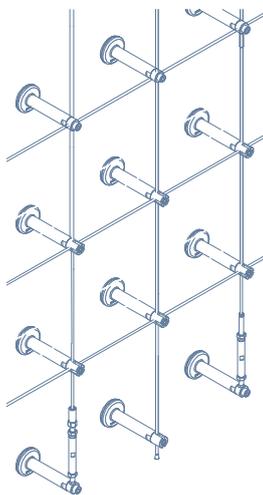
Der Zwischenraum zwischen Bestand und Aufstockung dient unter anderem der

Begrünung und Unterbringung von 3 Luftwärmepumpen. Dank deren Lage im Zwischengeschoss wird die Lärmbelastung minimiert und die Belüftung gesichert. 180 Photovoltaikmodule am Dach komplementieren die Wärmepumpen und erzeugen bis zu 148.579 kWh/a. Die Energie wird in den Lehmplatten im Wandaufbau gespeichert.

Anzahl PV Module	205,00
Modulfläche m ²	1,77
PV Fläche gesamt m ²	362,39
Neigung der PV Paneele	32°
Nennleistung pro Modul (kWp)	0,41
Nennleistung gesamt (kWp)	148,58
Energieertrag (kWh/a)	148.579
Anzahl Haushalte	25,00
Durchschnittl. kWh/HH pro Jahr	14400,00
Gesamtenergiebedarf (kWh/a)	360.000
Gedeckter Energiebedarf PV	41%

Abbildung 100: Berechnung Energiepotential

Fassadenbegrünung: Troggebundene Begrünung mit Ranksystemm aus senkrecht & waagrecht gespannten Edelstahlletzen



Schlingknöterich



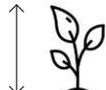
Weißer Goldregen



Winterjasmin



Belaubung mind.
3/4 Jahr



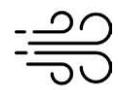
Wuchshöhe
6-12m



winterhart



geringer
Unterhalt



Bindung von
Schadstoffen



Verschattung
(Sommer),
Dämmung
(Winter)



bis zu 5 dB
Schallabsorption



Witterungs-
schutz



Akzeptanz:
Aufwertung
Stadtraum

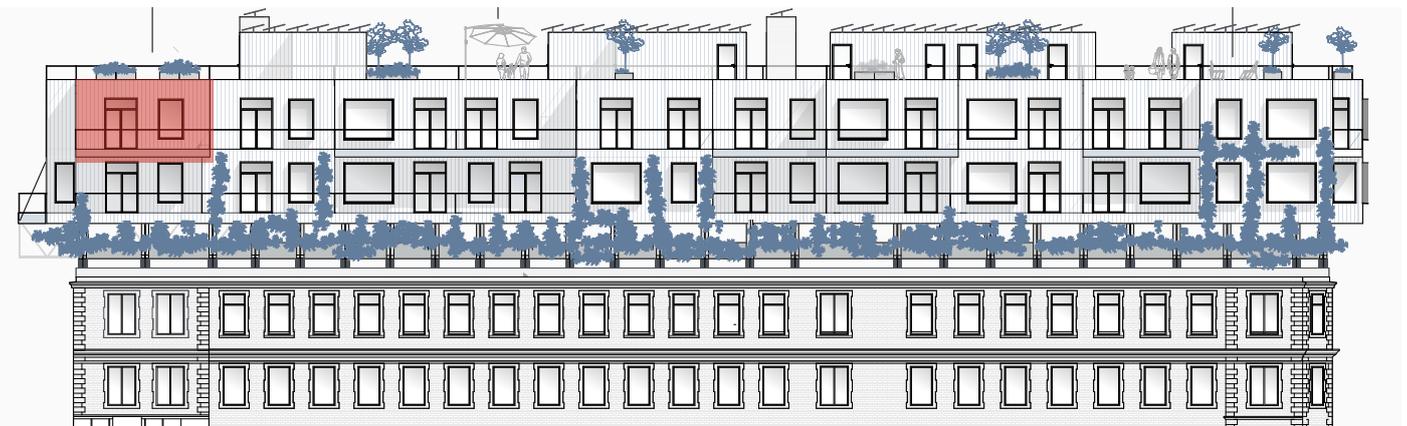


Biodiversität

Sommerliche Überhitzung

Sommerliche Überhitzung ist insbesondere in innerstädtischen Bereichen eine besondere Herausforderung. Dies gilt ganz besonders für Aufstockungen. Um sicherzustellen, dass es in dem Entwurf nicht zu unzumutbaren Raumtemperaturen kommt, wurde die sommerliche Überhitzung mit Hilfe von Thesim3D¹³³ simuliert. Beispielhaft wurde der kritischste Raum des Gebäudes im obersten Geschoss mit Süd-West Ausrichtung analysiert. Der Raum hat vier Fenster an der Westfassade und zwei

an der Südfassade. Die entsprechenden Aufbauten wurden in dem Tool simuliert. Ebenfalls wurde angenommen, dass die Fenster und Balkontüren mit einem außenliegenden Sonnenschutz ausgestattet werden und eine Lüftung während der Nacht erfolgt. Die Analyse zeigt, dass die Temperaturen auch im Hochsommer unterhalb 27° bleiben. Somit ist Schutz vor sommerlicher Überhitzung gegeben.



Bauweise: Holzleichtbau, Operative Raum- und Außentemperatur 15. Juli , W-Inzersdorf Stadt

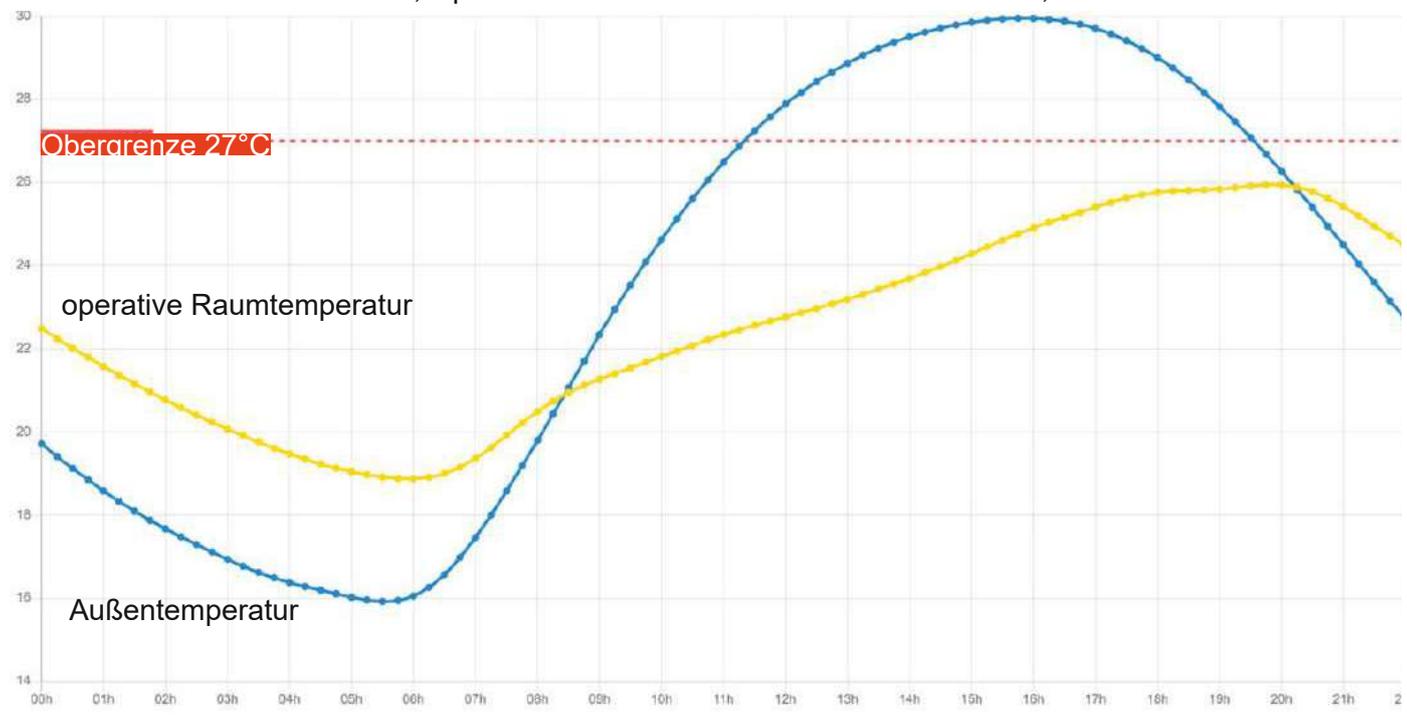


Abbildung 102: Analyse Sommerliche Überhitzung

¹³³ <http://www.thesim.at/3d/>; abgerufen am 27.03.2024 um 22:09 Uhr

9.5. Einfluss der Wiederverwendung auf den Entwurf¹³⁴

Planungsprozess

Der Planungsprozess begann mit der Entwicklung eines Tragwerkkonzepts für eine Aufstockung des Bestandsgebäudes. Hierbei wurde die Verfügbarkeit potentieller Re-Use Materialien zunächst vernachlässigt. Mit der Prämisse der Ressourcenschonung entstand in Zusammenarbeit mit einem Bauingenieurstudenten und einer anderen Architekturstudentin die Idee, die Aufstockung auf einen Stahlrost zu setzen, auf dem ein Tragwerk aus Holzmassivbau aufsetzt. Dies hat den Vorteil, dass das Bestandsgebäude möglichst unberührt bleibt. Anschließend wurden Raster, Baukörperkubatur Raumprogramm und Grundrisse definiert. Parallel begann die Suche nach potentiellen Re-Use Materialien auf Bauteilbörsen und bei Bauproduktherstellern in Österreich. Da die mehrmonatige Recherche hier wenig erfolgreich war, wurde sie auf europäische Länder ausgeweitet, auch wenn grundsätzlich das Ziel sein sollte, die Sekundärmaterialien möglichst regional zu beschaffen. Über Concular konnte eine rückzubauende Fabrikhalle mit Fachwerkträgern, Stahlstützen und Zugstäben in Berlin identifiziert werden, welche von den Dimensionen her mit Glück der geplanten Aufstockung sehr ähnlich war. In Kapitel 8.2 wurde anhand der Erfahrungen von insitu veranschaulicht, dass es leichter ist, die Konstruktion an die gefundenen Bauteile anzupassen, als umgekehrt. Daher wurde das ursprüngliche Tragwerkkonzept und die Grundrisse in enger Abstimmung mit dem Bauingenieur

und in intensivem Austausch mit Concular an die Dimensionen und Eigenschaften der zur Wiederverwendung zur Verfügung stehenden Bauteile angepasst. Hierfür war auch die Entwicklung ungewöhnlicher Details wie das Nebeneinanderstellen zweier Fachwerkträger, die nicht statisch gelenkig auf Stützen gelagert sind, notwendig. Dies führte zu erhöhter Komplexität und überdurchschnittlichem Koordinationsbedarf zwischen Planer, Bauingenieur, Diplomarbeitbetreuer und Bauteilbörse. Anstelle des üblicherweise linearen Planungsprozesses, der bei einem großen Maßstab beginnt und dann ins Detail geht, war die Auseinandersetzung mit dem Tragwerk, Bauteilverbindungen usw. bereits zu einem frühen Zeitpunkt notwendig. Ein anderes Beispiel sind die unterschiedlichen verbauten Fenstermaße. Um an den Fassaden ein möglichst einheitliches Bild abzugeben, wurden Straßenfassade und Innenhoffassade individuell geplant. So kommen anstatt der ursprünglich geplanten 1,8 Meter breiten und 1,5 Meter hohen Fenster an der Straßenfassade 2,5m breite und 2,0 Meter hohe Fenster zum Einsatz, die zu Sitzfenstern umkonzipiert werden. An den Fassaden zum Innenhof wurden dagegen schlankere, teilweise bodentiefe Fensterelemente vorgesehen. Dies veranschaulicht, dass die Planung mit Re-Use ein höheres Maß Flexibilität und Kreativität erfordert, um auf sich ändernde Rahmenbedingungen einzugehen und die Sekundärmaterialien entsprechend im Entwurf integrieren zu können.

Verfügbarkeit von Re-Use Materialien

Wie die Beispiele der Torfremise und der Halle K.118 zeigen, ist es grundsätzlich vorteilhaft, Sekundärmaterialien möglichst regional zu beschaffen. Dies hat den Vorteil, dass Kosten und Emissionen für den Transport minimiert werden. Außerdem

entwickelt worden. In einem zweiten Schritt wurde er auf das Re-Use Konzept angepasst.

¹³⁴ Ein Entwurf mit „neuen“ Baumaterialien ist in Zusammenarbeit mit Julia Parzer und Valentin Donath

können die Sekundärmaterialien vor der Beschaffung hinsichtlich Qualität, Zustand und Rückbaubarkeit vor Ort überprüft werden. Vor diesem Hintergrund wurde zunächst der österreichische Markt nach Re-Use Materialien durchsucht. Das Angebot der Sekundärmaterialien, vor allem in Bezug auf die Konstruktionsbauteile, fiel jedoch sehr gering aus (vgl. Abbildung 15). Daher wurde die Recherche auf andere europäische Länder, die als vergleichsweise fortgeschritten beim Thema Wiederverwendung gelten wie der Schweiz oder Holland, ausgeweitet. Auch wenn hieraus längere Transportwege entstehen, soll dadurch veranschaulicht werden, welche Potentiale es allgemein für Re-Use gibt und welche Entwicklungsmöglichkeiten für den österreichischen Markt bestehen. Concular verfügte während des Untersuchungszeitraums über das größte Angebot. Hier wurde eine rückzubauende Fabrikshalle mit angeschlossenem Bürogebäude identifiziert, die als Rohstofflager für das Stahltragwerk, einen Großteil der Fenster, Außentreppen, und Geländer dienen. Dies hat den Vorteil, dass beim Rückbau und Transport Synergieeffekte genutzt werden können. Weitere Fenster, Sanitäreinrichtungen, Wohnungseingangs-, und Innentüren sowie zwei Lifte wurden ebenfalls über Concular, jedoch von anderen Rückbauprojekten gesourced. Als Altholz konnten keine intakten massiven Holzelemente gefunden werden. Dafür gab es ein breitgefächertes und umfassendes Angebot an Altholzbalken und -latten, die von Bauproduktherstellern angeboten werden. Hierbei ist anzumerken, dass es sich vor allem um Anbieter handelt, die ein hochpreisiges Segment bedienen, in dem die Kunden eine bestimmte Optik wünschen (z.B. Ski Chalets etc.). Bauteilbörsen hatten zwar Altholz im Angebot, jedoch nicht in

einem ausreichenden Maße. Da es in dem vorliegenden Entwurf darum geht, die Realisierbarkeit von Re-Use Konzepten zu untersuchen, wurde eine Beschaffung über die „Premium“- Altholzanbieter angenommen, auch wenn dies realistisch betrachtet wahrscheinlich wenig wirtschaftlich ist. Auf der anderen Seite ist positiv anzumerken, dass das Altholz regional beschaffen werden kann. Auch der Bodenbelag, sogenanntes Re-Parkett der Wohnungen ist regional über re.store verfügbar. Weitere Sekundärmaterialien betreffen den Bodenbelag der Sanitär- und Außenbereiche, die von Restado stammen, sowie Steinwolle für die Dämmung der Geschosdecken, die über die Bauteilbörse Salka in der Schweiz gefunden wurden. Für Materialien, die nicht auf dem Sekundärmarkt beschaffen werden konnten, wurde der Abfallpyramide folgend nach recycelten Bauteilen gesucht, welche eine Stufe unter der Wiederverwendung angeordnet sind. Gedämmt werden kann mit recycelter Zellulose-Einblasdämmung, und als Schüttung eignet sich Blähglasgranulat. Als Beplankung der Holztafelelemente lassen sich entweder OSB Platten aus größtenteils recycelten Holzspänen z.B. von der Firma Kronospan¹³⁵ oder leimfreie GFM-Platten¹³⁶ empfehlen. Der Lehmputz ist zwar nicht recycelt, ist jedoch als natürliche Ressource äußerst nachhaltig und kann aus regionaler Produktion beschaffen werden.¹³⁷

Normen und Gesetze

Die wichtigsten Aspekte hinsichtlich Normen und Gesetze betreffen vor allem die Haftung und Gewährleistung. Concular verkauft alle Produkte auf Basis der gesetzlichen Gewährleistung. Diese beträgt zwei Jahre. Zusätzlich bestätigt Concular auf seiner

¹³⁵

https://kronospan.com/de_AT/company/nachhaltigkeit; abgerufen am 09.03.2024 um 13:59 Uhr

¹³⁶ <https://www.gfm-system.com/gfm-platte/>; abgerufen am 09.03.2024 um 13:59 Uhr

¹³⁷ Z.B. <https://www.prolehm.at/>; abgerufen am 09.03.2024 um 13:59 Uhr

Webseite, dass alle Produkte im Augenschein von Experten geprüft worden sind. Die Angaben der angebotenen Produkte sind sehr generell gehalten und enthalten nur grobe Informationen bezüglich Material und Dimensionen, Ähnliches gilt für den Altholzanbieter Brenner, der keinerlei Auskunft hinsichtlich Haftung und Gewährleistung auf seiner Homepage gibt, in seinen Allgemeinen Geschäftsbedingungen jedoch die gesetzliche Gewährleistung einräumt, Ungeklärt bleiben sämtliche Fragen hinsichtlich Tragfähigkeit und Güte. Kontaktforderungen an Concular hinsichtlich Haftung und Gewährleistung blieben bis dato unbeantwortet. Käme es zu einer tatsächlichen Umsetzung des Projektes, könnten individuelle Verträge diese Unsicherheiten ausräumen. Im Gegenteil dazu sind die Haftung und Gewährleistung bei nicht tragenden Bauteilen wie dem Re-Parkett von Materialnomaden/der Fa. Weitzer umfassend erläutert und abgesichert. Es ist nachvollziehbar, dass rechtsverbindliche Nachweise, die das Tragwerk betreffen im Vergleich zu anderen Komponenten komplex und risikobehaftet sind. Gleichzeitig wird dies in der Praxis ein zentrales Hemmnis für die Umsetzung von Re-Use Projekten darstellen.

Tragwerk

In Zusammenarbeit mit dem Bauingenieur wurde daher zunächst ein 6 x 6 großes Konstruktionsraster entwickelt, welches aus Hauptträgern aus HEA 400 Profilen sowie quadratischen Hohlprofilstützen bestand. Nach Fund der Fabrikshalle wurden Tragwerk und Raster so modifiziert, dass die Hauptträger durch jeweils zwei nebeneinander stehende Fachwerkträger ersetzt wurden. Die ursprüngliche Idee war es, die tragenden Wände der Aufstockung als Holzmassivbau zu gestalten. In Bezug auf die Decken sah der ursprüngliche Entwurf vor, umgekehrte Rippendecken z.B. von der Firma LignoTrend einzusetzen.

Vorteile dieser Massivholzdecke sind die Dämmung und Unterbringung der Installationen in den Hohlbereichen. Ebenso sah der ursprüngliche Entwurf vor, die Rippendecken in die HEA400 Träger einzuschieben. Dies hätte den Vorteil, dass der Deckenaufbau vergleichsweise schlank ist. Dies war so nicht umsetzbar, da keine massiven Bauteile auf dem Sekundärmarkt gefunden werden konnten. Dank des umfassenden Angebots an Altholzbalken entstand die Idee, die Aufstockung in Gänze in Holzrahmenbauweise auszuführen. Dies hat nicht nur den Vorteil, dass Altholz zum Einsatz kommt, zusätzlich ermöglicht der Holzrahmenbau, dass die unterschiedlichen Dimensionen von z.B. Re-Use Fenstern und -Türen leicht integriert werden konnten. Zusätzlich hat der Holzrahmenbau den Vorzug, dass er eine Vielzahl unterschiedlicher potentieller Re-Use-Dämmmaterialien aufnehmen kann. Hierzu zählt zum Beispiel die über die Schweizer Materialdatenbank Salza gesourceten Steinwolleplatten, die als Dämmung zwischen den Holzbalken in der Decke verwendet werden.

Die Verwendung von wiederverwendeten Baumaterialien steht im Fokus dieser Diplomarbeit und des Entwurfs. Gleichzeitig hat die Analyse ergeben, dass das Hauptproblem im Bauen mit Re-Use Bauteilen im Angebot von Sekundärmaterialien liegt. Um dieses zu verbessern, ist eine weiterer Fokus des Entwurfs, die Demontierbarkeit der Bauteile und somit eine Wiederverwendung am Ende des Gebäudelebenszyklusses zu gewährleisten. Demzufolge wurden alle Bauteilverbindungen rückbaubar (mechanisch lösbar) konzipiert. Wie vorab erläutert kann es bei Holz insbesondere im Bereich der Verbindungspunkte Probleme beim Rückbau z.B. aufgrund plastischer Fließgelenke in den Stiften, Lochleibungsverformungen im umliegenden Holz, usw. (vgl. Kapitel 7.2) geben. Um dies

zu vermeiden, wurden möglichst Konusdübel als Verbindungselemente eingesetzt. Hierdurch wird ein zerstörungsfreier Rückbau weitgehend gewährleistet. Darüber hinaus beinhaltet der Entwurf eine möglichst große Zahl sortenreiner, demontierbarer Bauteile (z.B. geschichteter Deckenaufbau mit Trockenestrich).

Digitalisierung

Wie schon in den vorigen Kapiteln angedeutet ist die Digitalisierung z.B. in Form von Materialpässen oder der Vorfertigung komplexer, lösbarer Bauteilfügungen ein entscheidender Einflussfaktor für eine praxistaugliche und wirtschaftliche Umsetzung von Re-Use Konzepten. Dass die Erfassung von Produkteigenschaften in Materialpässen weitestgehend noch nicht etabliert ist, zeigen auch die in diesem Entwurf zum Einsatz kommenden Materialien. Eigenschaften, Zustand und Qualität wurden lediglich mit Fotos erfasst. Darüber hinaus gibt es nur eine oberflächliche Produktbeschreibung und grobe Bemaßung. Statische Eigenschaften der Fachwerkträger (z.B. welcher Stahl, welches Profil), oder bei den Fenstern (z.B. Flügelabmessung, Verglasung) werden nicht beschrieben. Teilweise konnten diese nach Anfrage über das Kontaktformular der Bauteilbörsen beantwortet werden. Auch die Verbindungsarten z.B. zwischen Fachwerkträgern und Stützen sind nicht dokumentiert. Die Altholzbalken waren ebenfalls nur grob erfasst. Aufgrund dessen ist einerseits ein erhöhter Koordinationsbedarf notwendig. Andererseits kommt es zu Risiken hinsichtlich Rückbau und Planung mit Re-Use. Eine Erfassung der Baumaterialien bei Neubauten mittels BIM und Plattformen wie Concular und Madaster wird zukünftig dazu führen, dass sehr genaue und umfassende Information wie Bauteilabmessungen, -

fügungen, Festigkeit, und parametrisierte Berechnungsmodelle verfügbar sind. Dies wird sich auf die Effizienz und Realisierbarkeit von Re-Use Projekten entscheidend auswirken. Ein weiterer Faktor der Digitalisierung betrifft die Vorfertigung und Bauteilfügungen. Hierdurch sind einerseits effiziente Konstruktionsprozesse möglich. Andererseits können komplexere, leistungsstarke und lösbare Verbindungen realisiert werden. Inspiriert von den CNC-gefrästen Bauteilfügungen bei The Cradle sollen bei dem vorliegenden Entwurf Konusdübel zum Einsatz kommen, für die die Öffnungen vorgefertigt werden können. In der Theorie ist eine Vorfertigung mit Altholzbalken sehr gut möglich, da sich der Fertigungsprozess nur wenig von dem mit Frischholz unterscheidet. Zum aktuellen Zeitpunkt sind die Anbieter von Altholz jedoch nicht mit den modernen Tischlereien integriert, so dass es auch hier zu erhöhten Transaktionskosten kommt. Auch dies sollte sich in Zukunft massiv verbessern, da Firmen wie Derix bereits mit Rücknahmeverpflichtungen begonnen haben.



1 Fachwerkträger



5 Steinwolle



9 diverse Sanitäreinr.



13 Re-Parkett



2 Stütze



6 Aufzug



10 Treppen



14 Terrazzopl. (Sanitär)



3 Zugstab



7 Altholzlatten



11 Kies



15 Stahl/Glas-Geländer



4 Altholzbalken



8 diverse Türen



12 Fenster (Schüco, 3fach verglast)



16 Lehmputz (kein Re-Use)

Bauteil	Menge	Anbieter	Distanz	km
Fachwerkträger 15,0 m	37	Concular	Berlin	685
Fachwerkträger 12,5 m	16	Concular	Berlin	685
	53 Stck, ca.			
HEA 240 Stützen	52lfm	Concular	Berlin	685
Rundstäbe (Balkon)	34	Concular	Berlin	685
Altholzbalken für Holzdecken	61 m ³	Willhaben Brenner's	Neunkirch en	68
Altholzbalken für Holztafelwände	63 m ³	Altholz Brenner's	Moosdorf	320
Altholzbalken, Unterkonstruktion	10 m ³	Altholz Brenner's	Moosdorf	320
Altholz Latten Verssadenbekleidung	775 m ³	Altholz	Moosdorf	320
Dämmung Holzrahmenbau	401 m ³	Salza	Basel	827
Kiesschüttung	3125 m ³	Concular	Berlin	685
Schüco-Fenster groß (3fach verglast)	47	Concular	Berlin	685
Holzfenster (3fach verglast)	23	Concular	Berlin	685
Holzfenster (2fach verglast)	26	Concular	Karlsruhe	687
Kies-Schüttung	625 m ²	Concular	Freiburg	721
Altholz für nicht tragende Innenwände	21 m ³	Willhaben	Iztal	146
Re-Parkett	2125 m ²	Re-Store	Wien	0
Terrazzoplatten		Restado	Passau	281
Lehmputz	3280 m ²	ProLehm	Fehring	162
Außentreppen für Gemeinschaftsterrasse	3	Concular	Berlin	685
Geländer	1890 lfm.	Concular	Berlin	685
Terrassenbelag	2197 m ²	Restado	Passau	281
Waschbecken	28	Concular	Berlin	685

Abbildung 104: Wiederverwendete Materialien

9.6. Brandschutz, Modularität, Barrierefreiheit

Die Aufstockung ist in zwei Brandabschnitte gegliedert, die jeweils den Stiegenhäusern zugeordnet sind. Der 2. Rettungsweg erfolgt über die Straßenfassade bzw. den Innenhof. Bei einer späteren Umnutzung können bei Bedarf zusätzliche Außentreppen als 2. Fluchtweg angebaut werden. Außerdem wurden unter der Prämisse der Ressourcenschonung alle Bäder (14), WCs (17) und Treppen (14) als modulare

Bauteile konzipiert. Dies ermöglicht eine effiziente und ressourcenschonende Vorfertigung im Werk. Alle Wohnungen sind barrierefrei über die Liftreife erreichbar. Die Badmodule sind ebenfalls barrierefrei. Während die Clusterwohnungen vollkommen barrierefrei sind, könnte für eine barrierefreie Erschließung der Atelierwohnungen anstelle der Maisonettewohnung der gleiche Grundriss auf einem Geschoss oder ein Treppenlift ausgeführt werden.

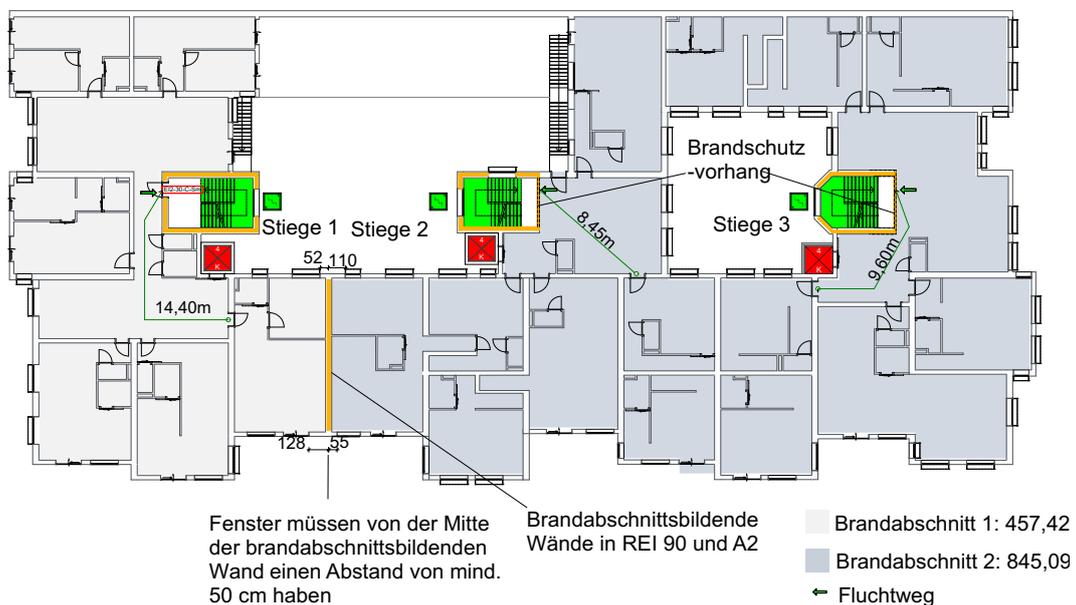


Abbildung 105: Brandschutz

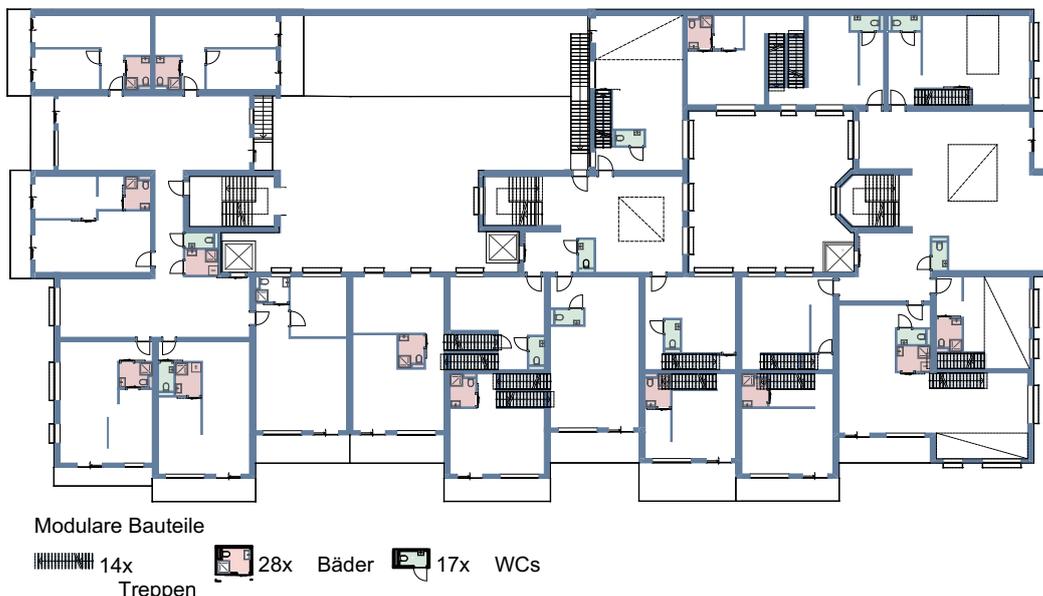


Abbildung 106: Modulare Bauteile



Abbildung 104: Rendering Aufstockung



Abbildung 105: Rendering Aufstckung

9.4. Fazit

Wie in Abbildung 15 veranschaulicht, tragen vor allem Konstruktionsbauteile zum CO₂ Fußabdruck bei. Das volle Potential der Ressourcenschonung durch die Wiederverwendung von Bauteilen konnte in diesem Entwurf jedoch nur bedingt erreicht werden. Der wesentliche Einflussfaktor hierfür war das mangelnde Angebot an Re-Use Bauteilen während der Planungsphase (es wurde bereits zu Beginn dieser Arbeit die Verfügbarkeit von wiederverwendbaren Bauteilen laufend überprüft. Diese blieb weitestgehend unverändert. Lediglich die rückzubauende Fabrikhalle kam gegen Ende des Entwurfs neu auf den Markt). Eine Schlussfolgerung ist, dass es für den Bau mit wiederverwendeten Bauteilen sinnvoll ist, frühestmöglich mit der Suche nach potentiellen Re-Use Bauprodukten zu beginnen und diese gegebenenfalls zwischenzulagern. Ebenso kann es förderlich sein, ein Netzwerk mit Abbruchfirmen, Bauträgern und Urban Mining Firmen aufzubauen. Dies könnte den Zugang zu wiederverwendbaren Bauteilen ermöglichen, die nicht über die gängigen Marktplätze angeboten werden. Vielversprechend ist die zunehmende digitale und daher transparente Erfassung von Rückbauprojekten einerseits sowie neugebauter Projekte über Materialpässe. Da der Fokus vor allem auf konstruktiven und architektonischen Aspekten der Wiederverwendung in diesem Entwurf lag, wurden rechtliche Punkte z.B. hinsichtlich der Haftung oder Gewährleistung der Tragfähigkeit nur oberflächlich betrachtet. Da die rückgebauten Bauteile jedoch über etablierte Marktteilnehmer bezogen werden, gilt die Annahme, dass die Tragfähigkeit und

bauphysikalische Anforderungen erfüllt werden.

Tragwerkstechnisch beweist das Projekt, dass es mit einer gewissen Flexibilität konzipiert ist und sich an die gefundenen rückgebauten Konstruktionsbauteile anpassen kann. Auch aus architektonischer Perspektive weist das Projekt eine Adaptierbarkeit auf. So wurden z.B. die Grundrisse an die Dimensionen der Fachwerkträger angepasst. Ebenso wurden die Re-Use Fenster in die Fassadengestaltung integriert. Ein entscheidender Unterschied zwischen einem „uneingeschränkten“ Entwurf mit neuen Bauteilen und dem mit wiederverwendbaren Baumaterialien betrifft die Ästhetik. Der ursprünglich geplante Stahlrost war nur dezent an der Außenfassade ablesbar. Dagegen sind die Fachwerkträger aufgrund ihrer Dimensionen und, da nicht mit der Geschosdecke integriert, eindeutig im Stadtraum zu erkennen. Es ist offen, ob das Motiv der Wiederverwendung eine interessante Ergänzung im industriell geprägten 10. Bezirk in Wien darstellt. In wie weit das urbane Umfeld den individuellen Baukörper harmonisch aufnimmt, bleibt dem Betrachter überlassen. Dank des üppig begrünten Zwischengeschosses wird der Kontrast zwischen Aufstockung und Bestand bzw. städtischem Umfeld jedoch abgefedert. Die üppig rankende Begrünung fungiert als Pufferzone, die die dominant und industriell wirkenden Stahlträger verkleidet und zugleich zahlreiche Zusatzfunktionen (Schallabsorption, Biodiversität, Unterbringung der Wärmepumpen usw.) übernimmt.

Conclusio

10. Conclusio

Die Planung mit wiederverwendeten Bauteilen kann einen entscheidenden Beitrag zur Ressourcenschonung leisten. Bei der Wiederverwendung bleibt die Wertschöpfung erhalten, Energie und natürliche Ressourcen, die zur Erzeugung neuer Baumaterialien notwendig sind, werden eingespart und dadurch der Treibhausgasausstoß reduziert. Daher ist Re-Use qualitativ die höchstwertigste Verwertungsoption. Dennoch ist die Wiederverwendung von Bauteilen derzeit zumindest im deutschsprachigen Raum noch wenig etabliert.

Diese Arbeit veranschaulicht die wichtigsten Einflussfaktoren und Fragestellungen im Bezug auf Re-Use. Hierzu zählen rechtliche, konstruktive, marktwirtschaftliche, zertifizierungs- und planungsbezogene Aspekte. Derzeit werden diverse Normen und Gesetze in Bezug auf Wiederverwendung erarbeitet z.B. im Rahmen des Green Deals oder des EU Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft. Aktuell gibt es jedoch viele rechtliche Fragestellungen z.B. hinsichtlich Haftung und Gewährleistung, die zu einer Unsicherheit und zu erhöhten Transaktionskosten der einzelnen Akteure führen. Positiv ist, dass es gewisse Gestaltungsspielräume gibt, die den Beteiligten flexible und kreative Lösungen ermöglichen. Wie diese Arbeit zeigt, bringt Holz viele Eigenschaften mit sich, die es zu einem idealen Kandidaten für die Wiederverwendung machen. So zum Beispiel verfügt es über eine hohe Festigkeit und einem vergleichsweise geringen Gewicht. Geschützt vor Feuchte bleibt die Festigkeit von Holz über Jahre erhalten, außerdem dient es als anhaltender CO₂-Speicher. Im Bezug auf die Konstruktionsweisen bringt Holz ebenfalls eine Vielzahl positiver Eigenschaften mit sich. Vor allem der Holzrahmenbau lässt sich flexibel an Tragwerkskonzepte und

andere wiederverwendete Bauteile anpassen. Auch ein sortenreines Bauen ist im Holzbau leicht möglich. Darüber hinaus hat Holz eine lange Historie an demontierbaren Füge-techniken. Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor für die Realisierung von Re-Use Projekten ist die Planung. Der Planungsprozess gestaltet sich z.B. aufgrund erhöhtem Koordinationsbedarf, oder der Integration von Rückbau und Logistik der Re-Use Materialien komplexer als bei „gewöhnlichen“ Projekten. Ebenso ist mehr Flexibilität und Fachwissen der Akteure gefordert. Darüber hinaus zeigt die Analyse des Sekundärmarktes in Kapitel 5 ebenso wie der Entwurf, dass eine der größten Herausforderung im mangelnden Angebot an Re-Use Bauteilen. Dieses ist sowohl intransparent als auch unzureichend und betrifft sowohl Bauteilbörsen als auch Holzproduzenten. Die Holzbaubranche ist auf eine großvolumige Kreislaufwirtschaft aktuell nicht ausgelegt. Dies schließt sowohl die Herstellung, als auch Transport, Infrastruktur, oder Technologie mit ein. Solange es kein angemessenes Angebot an wiederverwendbaren Bauteilen gibt, werden Gebäude mit Sekundärbauteilen die Ausnahme bleiben. Gleichzeitig können Planer und ausführende Gewerke kein Know-How aufbauen, was sich wiederum negativ auf die Transaktionskosten auswirkt. Umgekehrt lässt sich argumentieren, dass es ohne eine ausreichende Nachfrage nach Re-Use Bauteilen nicht wirtschaftlich ist, ein entsprechendes Angebot an wiederverwendbaren Bauteilen zu etablieren.

Es wird deutlich, dass sich die Planung mit Re-Use Materialien infolge der vielen offenen Fragen und Risiken, sowie mangelndem Fachwissen und Verfügbarkeit komplex, aufwendig und wenig wirtschaftlich darstellt. Gleichzeitig birgt das

Konzept der Wiederverwendung viele unausgeschöpfte Potentiale. Aus rechtlicher Perspektive zählen hierzu Gesetze oder Ausschreibungen, die spezifisch auf die Wiederverwendung der einzelnen Baustoffe eingehen. Beispiele sind eine normative Vorgabe eines Mindesteinsatzes an Re-Use Materialien oder höhere Entsorgungskosten. Des Weiteren kann man davon ausgehen, dass sich die zunehmende Etablierung von Zertifizierungen positiv auf die Zirkularität von Gebäuden und folglich die Verwendung von Re-Use Materialien, insbesondere im Holzbau auswirkt. Ebenfalls ist zu erwarten, dass die wachsende Digitalisierung die Umsetzung von Re-Use Konzepten bzw. Angebot und Nachfrage an wiederverwendbaren Materialien stimulieren wird. So z.B. können dank der Digitalisierung z.B. in Form von CNC-Frästechnologie zunehmend komplexe, hocheffiziente, rückbaubare Verbindungstechniken wirtschaftlich realisiert werden. Was sich in einem zweiten Schritt auch positiv auf die Verfügbarkeit von Sekundärmaterialien auswirken wird. Ebenso ermöglichen BIM und digitale Materialpässe eine transparente und international zugängliche Erfassung eines Gebäudes als Rohstofflager. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass eine zunehmende Digitalisierung die Transparenz und Fachwissen hinsichtlich Verfügbarkeit, Rückbaubarkeit usw. verbessert und effizientere Prozesse ermöglicht.

In der vorliegenden Diplomarbeit wird deutlich, dass das Konzept der Wiederverwendung von Baumaterialien noch in den Kinderschuhen steckt. Pioniere wie insitu, ZRS oder HPP Architekten haben mit ihren Re-Use basierten Projekten die Attraktivität und Machbarkeit von Re-Use Konzepten bewiesen. Es liegt in der Verantwortung von Architekten, im Rahmen ihrer Planung Tragwerk und Prozesse Re-Use-fähig zu machen und in ihrer Funktion

als Schnittstelle zwischen sämtlichen Stakeholdern die Wiederverwendung von Bauteilen maßgeblich mit zu beeinflussen.

Literaturverzeichnis

- [01], [02], [10], [63] **Weismann, Markus. Herget, Marcus. Funck, Nadine. Dietz, Raphael.** 2021. Zirkuläres Bauen in der Praxis. Ein Status Quo. https://www.researchgate.net/publication/372335450_Zirkulaeres_Bauen_in_der_Praxis_Ein_Status_Quo
- [03] **Zuschnitt 88.** Kreislaufnutzung und Holzbau © Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/kreislaufnutzung-und-holzbau>
- [04] **DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.** 2024. Zirkuläres Bauen. [online] <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/zirkulaeres-bauen>
- [05], [64], [66], [67] **Zuschnitt 88.** 2023. Reuse und Recycling. [online] <https://proholz-bayern.de/uploads/2023/03/Zuschnitt88.pdf>
- [06] **DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.** 2022. IM FOKUS Zirkuläres Bauen. [online] https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/zirkulaeres-bauen/202210_ImFokus_Zirkulaeres_Bauen.pdf?m=1665562669&
- [07] **Uhrig Gruppe.** 2024. Kreislaufwirtschaft beim Errichten von Gebäuden. [online] <https://www.uhrig-bau.eu/lexikon/zirkulaeres-bauen/>
- [09] **Circular Insider Austria.** Auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft. 2023. [online] https://issuu.com/bcsss_vienna/docs/circular_insider_magazin_040423-final_low
- [12] **Hauke, Bernhard. Kasal, Bo. Kloft, Harald. Tessmann, Oliver.** 2021. Perspektiven zirkulären Bauens – Wiederverwendung von tragenden Bauteilen Holz, Stahl und Beton. Jahrbuch INGENIEURBAUKUNST 2022, Verlag Ernst & Sohn
- [14], [40] **pro:Holz.** Nachgefragt- Welche Potenziale bietet der Holzbau für Reuse und Recycling?. 2023. [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/nachgefragt-potenziale-holzbau-reuse-recycling>
- [15] **Projekt TimberLoop, THINK.WOOD.Innovation.** 2022. Aus dem Bauwesen, für das Bauwesen – Grundlagen zur Kreislauffähigkeit von Holz. [online] <https://projekte.ffg.at/projekt/4695470>
- [16] **Birgit Gruber.** 2021. Deutsches Unternehmen startet Bauwende – DERIX-Gruppe macht Rücknahme gebrauchter Bauteile zum Standard. [online] <https://www.holzbauaustria.at/technik/2021/06/kreislaufwirtschaft-im-holzbau-beginnt.html>

- [17] **VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011.** 2011. [online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R0305-20140616>
- [18] **RICHTLINIE (EU) 2008/98/EG.** 2008. [online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098>
- [19] **Umweltbundesamt (DE).** 2022. Abfallrecht. [online] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht>
- [20] **Bundesministerium, Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation, Technologie.** Ohne Datum. [online] https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/aws/awsgrundsaeetze.html
- [21] **LBBW - Landesbank Baden-Württemberg (DE).** 2023. Was bedeutet die EU-Taxonomie für Unternehmen? [online] https://www.lbbw.de/perspektiven/themenspecials/fit-for-55/eu-taxonomie/eu-taxonomie_aepoiou3ap_d.html
- [22] **Gebetsroither, Michaela. Robbi, Steffen. Grassauer, Simone. Ivic, Nino.** 2023. Zirkuläre Sanierung - Projektbericht. [online] <https://www.digitalfindetstadt.at/news/news/zirkulaere-sanierung-projektbericht>
- [23] **Dodd, Nicholas. Donatello, Shane. Cordella, Mauro.** 2021. Level(s) - Ein gemeinsamer EU-Rahmen von Kernindikatoren für die Nachhaltigkeit von Büro- und Wohngebäuden [online] <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/UM1.ENV-2020-00021-02-00-DE-TRA-00.pdf>
- [24] **Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.** 2024. Verordnung über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (Recyclingholzverordnung – RHV) [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007830>
- [25] **Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.** 2024. Verordnung über die Pflichten bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen (Recycling-Baustoffverordnung - RBV) [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20009212>
- [26], [27] **Österreichisches Institut für Bautechnik.** 2023. Grundlegendokument zur Ausarbeitung einer OIB-Richtlinie 7 Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen. [online] https://www.oib.or.at/sites/default/files/oibr7grundlegendokumentausgabe_mai_2023.pdf

- [28] **Rosenberger, Robert - WKO, Geschäftsstelle Bau.** 2023. OIB-Richtlinien 2023. [online] <https://www.wko.at/oe/gewerbe-handwerk/bau/oib-richtlinien.pdf>
- [29] **Abfallwirtschaftsgesetz.** 2002. Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002). [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002086>
- [30] **Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.** 2012. Verordnung über die Nachweispflicht über Abfälle (Abfallnachweisverordnung 2012 – ANV 2012). <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20008021>
- [31] **Europäisches Komitee für Normung - EN15804.** 2022. Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. [online] <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action?deliver=&dokkey=713349&selectedLocale=de>
- [32] **Österreichisches Institut für Bautechnik.** 2013. Bauproduktenverordnung. [online] <https://www.oib.or.at/de/kennzeichnung-und-zulassung-von-bauprodukten/ce-kennzeichnung/bauproduktenverordnung>
- [33], [52], [68], [69], [135] **Fouad, Nabil A. (Hrsg.).** 2024. Bauphysik-Kalender 2024
Schwerpunkte: Klimagerechtes Bauen; Brandschutz. [online] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bate.202100114>
- [34], [36], [43] **Abegg, Andreas. Streiff, Oliver (Hrsg.).** 2021. Die Wiederverwendung von Bauteilen - Ein Überblick aus rechtlicher Perspektive. [online] https://www.dike.ch/media/productattachment/2/2235/978-3-03929-005-5_AbeggStreiff_Die_Wiederverwendung_von_Bauteilen.pdf
- [35], [50] **Homberger, Joy.** 2022. Analyse der Wiederverwendung von Bauteilen und Empfehlung für eine zielführende Informationsbereitstellung. [online] <https://www.curem.uzh.ch/dam/jcr:48a090c4-e81c-4924-91fa-f6ecbc5bd29f/Homberger%20Joy%20AbAr%20Lq21-22.pdf>
- [37] **de Perrot. Olivier - Salza. Friat-Massard, Maude - Matériuum.** 2020. Wiederverwendung Bauen - Aktuelle Situation und Perspektiven: Der Fahrplan.[online] <https://rerwi.ch/wp-content/uploads/2020/05/Wiederverwendung-Bauen-2020.pdf>

- [38], [41] **Meissner, Markus. Borszki, Roman. Romm, Thomas. Schanda, Irene. Neitsch, Matthias.** 2021. FAQs zum Re-Use von Gebäudekomponenten - Re-Use und Vorbereitung zur Wiederverwendung. [online]
<https://drive.google.com/file/d/149A19X0Vs6xpN8CnoW4hZNMUUhWDAfLK/view>
- [39] **Kneidinger, Peter. Kessler, Andrea.** 2020. Re-Use - Abfallwirtschaft oder Architektur. Vortrag bei der IG Architektur, Wien. [online]
<https://www.ig-architektur.at/news-detail/reuse-abfallwirtschaft-oder-architektur-356.html>
- [40] **Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie.** 2022. Aus dem Bauwesen, für das Bauwesen - Grundlagen zur Kreislauffähigkeit von Holz. [online]
<https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/timberloop> und
<https://www.holzforschung.at/forschung-entwicklung/projektliste/details/timberloop/>
- [44] **Proholz.** 2010. att.Zuschnitt. Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoff und Holzbau [online]
https://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/shop_Publikationen/Fokus_Covers_und_pdf/Geba_udezertifizierung.pdf; abgerufen am 27.12.2023 um 14:22 Uhr
- [45] **DGNB - Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen.** 2024. Das Wichtigste zur DGNB-Zertifizierung. [online]
<https://www.dgnb.de/de/zertifizierung/das-wichtigste-zur-dgnb-zertifizierung>
- [46] **ÖGNI - Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft.** 2024. Zertifizierung. [online]
<https://www.ogni.at/leistungen/zertifizierung/>
- [47] **klimaaktiv - Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).** 2022. [online] Gebäudedeklaration - Die Kriterien. [online] <https://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebaeudedeklaration.html>
- [48] **Österreichisches Ökologie-Institut und Kanzlei Dr. Bruck.** 2002. TQ - Total Quality Planung und Bewertung – Bewertungsmethode [online]
https://www.oegnb.net/tqb/upload/file/090901_TQB_Basisbeschreibung_Bewertungsverfahren_2002.pdf
- [49] **TÜV SÜD Industrie Service GmbH.** 2024. Was ist BREEAM?. [online]
<https://breeam.de/breeam/was-ist-breeam/>
- [51] **nbau - Nachhaltig Bauen.** 2023. Glossar - Wiederverwendung [online]
<https://www.nbau.org/2023/10/18/wiederverwendung/>

- [53] **Study Consortium: DGNB, GBCe, RFBB, ÖGNI, CPEA, SGNI, DGBC. 2023.** Circular Economy Taxonomy Study - Assessing the market-readiness of the proposed Circular Economy / EU Taxonomy criteria for buildings. [online] https://www.ogni.at/wp-content/uploads/230208_Taxonomy_CE-Studie_2023_WEB.pdf
- [54] **buildingTwin.at.** 2024. Digitaler Zwilling [online] <https://buildingtwin.net/digitalerzwillig/>
- [55] **Digital Findet Statt.** 2024 Madaster Austria GmbH [online] <https://www.digitalfindetstadt.at/innovationspartner/madaster-austria-gmbh>
- [56] **madaster.nl.** 2024. Increasing the value of materials - Circular construction starts with Madaster [online] <https://madaster.nl/en/>
- [57] **materialnomaden.at.** 2024 Circular Design & Architecture [online] <https://www.materialnomaden.at/about/>
- [58] **baukarussell.net.** 2024. Unsere Mission. [online] <https://www.baukarussell.at/mission/>
- [59] **conclular.de.** 2024. Aktuelle zirkuläre Rückbauprojekte. [online] <https://shop.conclular.de/>
- [60], [61] **Holz-Zentralblatt.** 2021. Ein Schritt in Richtung Kreislaufwirtschaft. [online] https://www.derix.de/data/Holz-Zentralblatt_R%C3%BCcknahme_20210625.pdf
- [62], [71] **Schuster, Sandra. Geier, Sonja.** 2023. circularWOOD - Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau. [online] [https://www.researchgate.net/publication/375526002_circularWOOD -
_Paradigmenwechsel_fur_eine_Kreislaufwirtschaft_im_Holzbau](https://www.researchgate.net/publication/375526002_circularWOOD_-_Paradigmenwechsel_fur_eine_Kreislaufwirtschaft_im_Holzbau)
- [65], [112], [114] **Cielsik, Tina.** 2021. Besser getrennt - Aufstockung Halle 118, Winterthur/CH. [online] https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_118_Winterthur_CH-3662981.html
- [70] **World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), supported by Arup.** 2021. Net zero buildings: where do we stand?. [online] <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/net-zero-buildings-where-do-we-stand>
- [72] **Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.** 2015. Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Baustoffen. [online] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_93_2015_wiederverwertung_von_bauteilen_0.pdf

- [73] **Waldklimafonds (Hrsg.).** 2022. Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen. [online]
https://www.arc.ed.tum.de/fileadmin/w00cgv/klima/my_direct_uploads/HOLZHYBRID_Abschlussbericht.pdf
- [74] **Schneider, Samuel.** 2024. Über 34 zimmermannsmäßige Holzverbindungen. [online]
<https://baubeaver.de/zimmermannsmaessige-holzverbindungen/>
- [75], [79] **Zuschnitt Zeitschrift 81.** 2021. Knoten und Verbindungen. [online]
https://www.proholz.at/fileadmin/flippingbooks/zuschnitt81/zuschnitt_81.pdf
- [76], [82] **Graf, Jürgen. Birk, Stephan. Winter, Stefan. Auer, Thomas.** 2022. Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen. [online]
https://www.researchgate.net/publication/364737458_Wandelbarer_Holzhybrid_fur_differenzierte_Ausbaustufen
- [77], [78] **Zuschnitt Zeitschrift 81.** 2021. CNC-Fertigung im Holzbau - Von der Renaissance traditioneller Holzkonstruktionen und Verbindungen. [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/81/cnc-fertigung-im-holzbau>
- [80], [85], [86], [87], [92] **circularWOOD.** Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau. [online]
https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-15-2023-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [81] **Ottenhaus, Lisa-Mareike. Yan, Zidi. Brandner, Reinhard. Leardini, Paola. Fink, Gerald. Jockwer, Robert.** 2023. Design for adaptability, disassembly and reuse - A review of reversible timber connection systems. [online]
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823025394>
- [83] **HASSLACHER NORICA TIMBER.** 2024. X-fix - Das Holz-Holz-Verbindungssystem. [online] <https://www.hasslacher.com/x-fix>
- [84] **Schneider, Ursula. Böck, Margit. Mötzi, Hildegund.** 2010. recyclingfähig konstruieren - Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“. [online]
https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_11_21_recyclingfaehig_konstruieren.pdf
- [88], [95], [96], [100] **Zügner, David.** 2013. Die Holz-Massivbauweise im Mehrgeschossigen Wohnbau - Ein kalkulatorischer Vergleich zur Mineralischen Massivbauweise. [online]
<https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a7665e6f63&location=browse>
- [89], [94] **Müller, Daniel. Moser, Dan. – PIRMIN JUNG Schweiz AG.** 2022. Rückbau und Wiederverwendung von Holzbauten. [online]
https://www.leidorf.com/wp-content/uploads/2022/05/R_ckbau_und_Wiederverwendung_von_Holzbauten_1651460319.pdf

- [90] **Holzbau Mei GmbH.** 2024. Der Massivholzbau. [online] <https://www.holzbau-mei.de/massivholzbau/>
- [91] **dataholz.eu.** 2024. Geschossdecke gdmnxn02 [online] <https://www.dataholz.eu/bauteile/bauteil-geschossdecke/detail/kz/gdmnxn02.htm>
- [93] **Eversheim-Architektur.** 2017. Einfach bauen mit Stroh, FRAGEN? - ANTWORTEN!. [online] <http://eversheim-architektur.de/index.php/2017/02/01/>
- [97] **Cheret, Peter. Schwaner, Kurt.** 2013. Holzbausysteme - eine Übersicht. [online] <https://informationsdienst-holz.de/urbaner-holzbau/kapitel-4-der-zeitgenoessische-holzbau/holzbausysteme-eine-uebersicht>
- [98] **Zuschnitt 88.** 2023. Bauteile und Elemente aus Holz weiterverwenden - Vier Beispiele für temporären, reversiblen Holzbau. [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/bauteile-und-elemente-aus-holz-weiterverwenden>
- [99] **Zuschnitt 88.** 2023. Form follows availability - Kreislauffähiges Entwerfen heißt Bauen mit dem, was besteht. [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/form-follows-availability>
- [101] **Lukas Lang Building Technologies GmbH.** 2016. Temporäre Bürogebäude. [online] <https://www.lukaslang.com/de/references/temporaere-parlamentsgebaeude/>
- [102] **handwerkundbau.at.** 2017. Ersatzparlament aus dem Baukasten. [online] <https://www.handwerkundbau.at/holzbau/ersatzparlament-aus-dem-baukasten-526>
- [103], [110] **ZRS Architekten Ingenieure.** 2016. Wohnen und Arbeiten in der Torfremise. [online] <https://www.zrs.berlin/project/wohnen-und-arbeiten-in-der-torfremise/>
- [105], [109] **Zuschnitt 88.** 2023. Historische Torfremise in Schechen. [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/historische-torfremise-in-schechen>
- [106], [107], [108] **baunetz CAMPUS, People@CAMPUS.** 2023. Wie können wir Bestand wertschätzen und um- und weiterbauen, sodass wir die planetaren Grenzen respektieren?. [online] <https://www.baunetz-campus.de/people/wie-koennen-wir-bestand-wertschaetzen-und-um-und-weiterbauen-sodass-wir-die-planetaren-grenzen-8261147>
- [111] **baunetz.de.** 2021. Erfolgreiche Bauteiljagd - Ateliergebäude in Winterthur von baubüro in situ [online] <https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Ateliergebaeude-in-Winterthur-von-baubuero-in-situ-7780504.html>

- [112], [115], [119], [120], [121], [122] **Deutsche Bauzeitung**. Ohne Datum. Aufstockung Halle 118, Winterthur/CH [online] https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_118_Winterthur_CH-3662981.html
- [116] **proholz.at**. 2021. Gemischte Nutzung - K.118 Kopfbau Halle 118 [online] <https://www.proholz.at/holzbauten/architektur/k118-in-winterthur>
- [118], [123] **baunetzwissen.de**. 2021. Aufstockung K.118 in Winterthur - Re-Use par excellence. [online] <https://www.baunetzwissen.de/fenster-und-tueren/objekte/sonderbauten/aufstockung-k118-in-winterthur-7848543>
- [113] **archdaily.com**. 2021. K118 Kopfbau Halle 118 - baubüro in situ. [online] <https://www.archdaily.com/968958/k118-kopfbau-halle-118-hauburo-in-situ>
- [117], [124] **Zuschnitt 88**. 2023. K.118 - Kopfbau Halle 118. [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/kopfbau-halle-118>
- [125] **the-cradle.de**. 2023. Für die Zukunft unserer Kinder: Ein Bürogebäude aus Holz. [online] <https://www.the-cradle.de/>
- [126], [128] **HPP Architekten**. 2023. The Cradle. [online] <https://www.hpp.com/en/projects/fallstudien/the-cradle/>
- [127], [130] **baunetzwissen.de**. 2022. Bürogebäude The Cradle in Düsseldorf - Gesamtlebenszyklusbetrachtung und BIM erstmals vereint. [online] <https://www.baunetzwissen.de/integrales-planen/objekte/buero-verwaltung/bueroegebaeude-the-cradle-in-duesseldorf-7450135>
- [129] **INTERBODEN**. 2023. The Cradle - Die Zukunft baut im Kreislauf. [online] <https://www.interboden.de/projekte/the-cradle-duesseldorf>
- [131] **pro:Holz**. Student Trophy [online] <https://www.proholz.at/student-trophy/bauplatz-3>
- [132] **MIKADOpus**. 2018. Holztafelbau - Gebäudeaussteifung. [online] <https://www.hs-augsburg.de/homes/colling/holzbau-colling/pdf/2018-mikadoplus.pdf>
- [135] **Kronospan**. 2024. Nachhaltigkeit. [online] https://kronospan.com/de_AT/company/nachhaltigkeit
- [136] **GFM-Massivholz GmbH**. 2024. Ökologisches Bauen mit der GFM-Platte. [online] <https://www.gfm-system.com/gfm-platte/>
- [137] **pro Lehm Frauwallner GmbH & Co KG**. 2024. Ihr Produzent und Verarbeiter für Lehmputze in Österreich. [online] <https://www.prolehm.at/>

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1, 2:** Zirkuläres Bauen in der Praxis. S. 72. © DGNB. [online]
<https://www.researchgate.net/publication/372335450> Zirkulares Bauen in der Praxis Ein Status Quo
- Abbildung 3:** Zuschnitt 88 - Kreislaufnutzung und Holzbau © Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz [online]
<https://www.proholz.at/zuschnitt/88/kreislaufnutzung-und-holzbau>
- Abbildung 4:** IM FOKUS Zirkuläres Bauen. S. 3. © DGNB. [online]
https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/zirkulaeres-bauen/202210_ImFokus_Zirkulaeres_Bauen.pdf?m=166556269&
- Abbildung 5:** Circular Insider Austria. Auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft [online]
https://issuu.com/bcsss_vienna/docs/circular_insider_magazin_040423-final_low
- Abbildung 6:** SWOT Zirkuläres Bauen allgemein. Eigene Darstellung
- Abbildung 7:** SWOT Zirkuläres Bauen mit Holz. Eigene Darstellung
- Abbildung 8:** Bundesministerium, Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation, Technologie. [online]
https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/aws/awsgrundsaeetze.html
- Abbildung 9:** lbbw.de [online] https://www.lbbw.de/perspektiven/themenspecials/fit-for-55/eu-taxonomie/eu-taxonomie_aepoiou3ap_d.html
- Abbildung 10:** SWOT rechtliche Rahmenbedingungen. Eigene Darstellung
- Abbildung 11:** SWOT Zertifizierungen. Eigene Darstellung
- Abbildung 12:** materialnomaden.at [online]
<https://www.materialnomaden.at/about/> -
<https://www.restore.or.at/product-category/reuse/>
- Abbildung 13:** baukarussell.at [online] <https://www.baukarussell.at/mission/>
- Abbildung 14:** concular.de [online] <https://shop.concular.de/>
- Abbildung 15:** Auswertung Materialangebot. Eigene Darstellung
- Abbildung 16:** SWOT Materialangebot. Eigene Darstellung
- Abbildung 17:** Traditionelle Planung vs. Planung mit Wiederverwendung. Eigene Darstellung
- Abbildung 18:** World Business Council for Sustainable Development. Net zero buildings: where do we stand? [online]
<https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/net-zero-buildings-where-do-we-stand>

- Abbildung 19 - 21:** baubeaver.de © Schneider, Samuel [online]
<https://baubeaver.de/zimmermannsmaessige-holzverbindungen/>
- Abbildung 22:** Zuschnitt 81 - CNC-Fertigung im Holzbau © Kim, Jong-Oh [online]
<https://www.proholz.at/zuschnitt/81/cnc-fertigung-im-holzbau>
- Abbildung 23:** Zuschnitt 81 - CNC-Fertigung im Holzbau © Design-to-Production
[www.designtoproduction.com](https://www.proholz.at/zuschnitt/81/cnc-fertigung-im-holzbau) [online]
<https://www.proholz.at/zuschnitt/81/cnc-fertigung-im-holzbau>
- Abbildung 24:** haring.ch © Häring AG [online] <https://www.haring.ch/haering-geschichte/>
- Abbildung 25 & 26:** Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen. S. 120. © Waldklimafonds [online]
https://www.researchgate.net/publication/364737458_Wandelbarer_Holz_hybrid_fur_differenzierte_Ausbaustufen
- Abbildung 27 & 28:** hasslacher.com © HASSLACHER Gruppe [online]
https://www.hasslacher.com/data/dateimanager/broschuere/HNT_News_XFix_DE_WEB.pdf
- Abbildung 29:** SWOT Holz Verbindungen. Eigene Darstellung
- Abbildung 30:** circularWOOD - Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau. © BBSR [online]
<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-15-2023-dl.pdf?blob=publicationFile&v=3>
- Abbildung 31:** Die Holz-Massivbauweise im Mehrgeschossigen Wohnbau. S. 45. © Zügner, David [online]
<https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a7665e6f63&location=browse>
- Abbildung 32 & 33 :** holzbau-mei.de © Holzbau Mei [online] <https://www.holzbau-mei.de/massivholzbau/>
- Abbildung 34:** dataholz.eu [online] <https://www.dataholz.eu/bauteile/bauteil-geschossdecke/detail/kz/gdmnxn02.htm>
- Abbildung 35:** Beurteilung Holzmassivbau hinsichtlich Lösbarkeit. Eigene Darstellung
- Abbildung 36 & 37:** eversheim-architektur.de © Eversheim-Architektur [online]
<http://eversheim-architektur.de/>
- Abbildung 38:** dataholz.eu [online] <https://www.dataholz.eu/bauteile/bauteil-geschossdecke/detail/kz/gdmnxn02.htm>
- Abbildung 39-42:** lukaslang.com © Lukas Lang Building Technologies [online]
<https://www.lukaslang.com/de/references/temporaere-parlamentsgebaeude/>
- Abbildung 43:** Beurteilung Holzrahmenbau hinsichtlich Lösbarkeit. Eigene Darstellung
- Abbildung 44:** zrs.berlin © ZRS Architekten Ingenieure [online]
<https://www.zrs.berlin/project/wohnen-und-arbeiten-in-der-torfremise/>

- Abbildung 45:** dach-holzbau.de © Heringer, Emmanuel [online] https://www.dach-holzbau.de/artikel/bhw_2017-03_Haus-im-Haus_Neubau_in_200_Jahre_alter_Remise_in_Kolbermoor-2783375.html
- Abbildung 46:** zrs.berlin © ZRS Architekten Ingenieure [online] <https://www.zrs.berlin/project/wohnen-und-arbeiten-in-der-torfremise/>
- Abbildung 47:** Zuschnitt 88 - Historische Torfremise in Schechen [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/historische-torfremise-in-schechen>
- Abbildung 48, 49, 50, 53, 54:** heinze.de © ZRS Architekten Ingenieure [online] <https://www.heinze.de/architekturobjekt/wohnen-und-arbeiten-in-der-torfremise-bauen-mit-holz-und-lehm-im-lebenszyklus/12639390/>
- Abbildung 51, 52:** Zuschnitt 88 - Historische Torfremise in Schechen © ZRS Architekten Ingenieure [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/historische-torfremise-in-schechen>
- Abbildung 55:** SWOT Torfremise. Eigene Darstellung
- Abbildung 56:** dbz.de © Zeller, Martin [online] https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_118_Winterthur_C_H-3662981.html
- Abbildung 57, 58, 61:** proholz.at © Zeller, Martin [online] <https://www.proholz.at/holzbauten/architektur/k118-in-winterthur>
- Abbildung 59:** dbz.de [online] https://www.dbz.de/artikel/dbz_Aufstockung_Halle_118_Winterthur_C_H-3662981.html
- Abbildung 60:** archdaily.com [online] https://www.archdaily.com/968958/k118-kopfbau-halle-118-hauburo-in-situ/614bd13f5bec4f01656ff6db-k118-kopfbau-halle-118-hauburo-in-situ-section?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev
- Abbildung 62, 63:** proholz.at © ZHAW Institut Konstruktives Entwerfen, baubüro in situ ag/Schepping, Annina. Balland, Ludovic [online] <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/kopfbau-halle-118>
- Abbildung 64:** SWOT K.118. Eigene Darstellung
- Abbildung 65:** the-cradle.de [online] <https://www.the-cradle.de/>
- Abbildung 66:** heinze.de © HPP Architekten [online] <https://www.heinze.de/architekturobjekt/zoom/12818682/>
- Abbildung 67:** baunetzwissen.de © HPP Architekten [online] <https://www.baunetzwissen.de/integrales-planen/objekte/buero-verwaltung/buerogebäude-the-cradle-in-duesseldorf-7450135>
- Abbildung 68-72:** hpp.com © HPP Architekten [online] <https://www.hpp.com/en/projects/fallstudien/the-cradle/>

- Abbildung 73, 74:** proholz.at © Klomfar, Bruno [online] <https://www.proholz.at/student-trophy/bauplatz-3>
- Abbildung 75:** Lageplan Entwurf. Eigene Darstellung
- Abbildung 76:** Rendering Straßenansicht. Eigene Darstellung
- Abbildung 77:** Flächenaufstellung. Eigene Darstellung
- Abbildung 78:** Grundriss EG 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 79:** Grundriss 3. OG 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 80:** Grundriss 4. OG 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 81:** Grundriss DG 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 82:** Ansicht Süd 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 83:** Ansicht Ost 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 84:** Querschnitt 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 85:** Fassadenschnitt 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 86:** Beispiel Grundriss Clusterwohnung 1:100. Eigene Darstellung
- Abbildung 87:** Konzept Atelier Maisonette Wohnungen. Eigene Darstellung
- Abbildung 88:** Grundriss Atelierwohnung klein, 3. & 4. OG 1:100. Eigene Darstellung
- Abbildung 89:** Grundriss Atelierwohnung groß 3. OG 1:100. Eigene Darstellung
- Abbildung 90:** Grundriss Atelierwohnung groß 4. OG 1:100. Eigene Darstellung
- Abbildung 91:** Aussteifung von Gebäuden in Holztafelbauweise © MIKADOpus [online] <https://www.hs-augsburg.de/homes/colling/holzbau-colling/pdf/2018-mikadoplus.pdf>
- Abbildung 92:** Raster, M 1:300. Eigene Darstellung
- Abbildung 93:** Tragwerksaxonometrie. Eigene Darstellung
- Abbildung 94:** Ausführung Gebäudeecke. Eigene Darstellung
- Abbildung 95:** Detail A. Eigene Darstellung
- Abbildung 96:** Detail B. Eigene Darstellung
- Abbildung 97:** Detail C. Eigene Darstellung
- Abbildung 98:** Ausführung Balkon Prinzipskizze
- Abbildung 99:** Detail C. Eigene Darstellung
- Abbildung 100:** Berechnung Energiepotential. Eigene Darstellung

- Abbildung 101:** Konzept Fassadenbegrünung. Eigene Darstellung
- Abbildung 102:** Simulation der sommerlichen Überhitzung. Eigene Darstellung unter Bezugnahme des Thesim3D Tools
- Abbildung 103:** Wiederverwendete Materialien - Konzept. Eigene Darstellung
- Abbildung 104:** Wiederverwendete Materialien. Eigene Darstellung
- Abbildung 105:** Brandschutz. Eigene Darstellung
- Abbildung 103:** Modulare Bauteile. Eigene Darstellung
- Abbildung 104:** Rendering Aufstockung (I). Eigene Darstellung
- Abbildung 105:** Rendering Aufstockung (II). Eigene Darstellung