

Diploma Thesis

Resource-efficient structural design using the example of an attic conversion

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Ressourceneffiziente Tragwerksplanung am Beispiel eines Dachgeschoßausbaues

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Andreas Foller, BSc

Matr.Nr.: 01426035

unter der Anleitung von

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

Institut für Architekturwissenschaften
Forschungsbereich für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/259-02, A-1040 Wien

Wien, im März 2023





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

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

D I P L O M A R B E I T

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

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

Wien, im März 2023



Unterschrift



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

Kurzfassung

Die Bevölkerung wächst und beansprucht immer mehr Ressourcen, darunter Baurohstoffe, Grünflächen und andere Konsumgüter. Die Erderwärmung ist gegenwärtig und die Bedingungen zu Erfüllung der Klimaneutralität werden immer schwieriger. Um diesen Herausforderungen zu trotzen, sind alternative Wege anzudenken. An den typischen Wiener Nachkriegsbauten zwischen den Jahren 1950 und 1970, wird gezeigt, wie die Verwendung von vorhandenen Ressourcen optimiert werden kann. Die serielle Nachverdichtung und das Bauen im Bestand gewinnen immer mehr an Bedeutung. Dabei sind die Synergieeffekte zu nutzen, die bei der thermischen Erneuerung des Gebäudes und der Aufstockung des Dachgeschoßes entstehen.

Im Kapitel 1 wird zu den Themen der Klimakrise, dem Bevölkerungswachstum und dem Konsum recherchiert. Aus diesem Wissen heraus werden Problemstellungen formuliert und Synergieeffekte identifiziert. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird auf die Möglichkeiten in der Tragwerksplanung eingegangen, um ein ressourceneffizientes Bauen zu erreichen. Der Zusammenhang zwischen gebauter Struktur, zur urbanen Dichte mit Bezug auf den Verbrauch von Rohstoffen wird dabei im Detail erläutert. Im Fokus steht die Bausubstanz, sowie die vertikalen und horizontalen Erschließungswege. Der Großteil der verbauten Materialien befindet sich in der Tragkonstruktion eines Gebäudes. Umso wichtiger ist es, mit diesen Massen sorgsam umzugehen. Die ganzheitliche Betrachtung ist dabei unumgänglich. Schwere Aufbauten oder massive Konstruktionen wirken sich negativ auf die Lastableitung und die darunter liegenden Geschoße aus. Der Aufwand für die Fundierung erhöht sich und der Ressourcenverbrauch steigt. Es sind leichte Baukonstruktionen und optimierte Strukturen notwendig.

Es werden weitere Strategien anhand einer Literaturrecherche identifiziert und auf die Themengebiete: Bauen im Bestand, Bauen im Übermaß, Ökobilanzierung, kreislauffähige Konstruktionen, optimierte Strukturen und die Vorfertigung von Bauteilen eingegrenzt. Ein Großteil der genannten Aspekte zielt darauf ab die Nutzung des Gebäudes und der Materialien zu verlängern. Die Emissionen, die durch den Bau der Strukturen entstehen, verteilen sich auf die Dauer und reduzieren langfristig die Einwirkungen auf die Umwelt. Die Voraussetzung hierfür ist, dass die Betriebsenergie des Gebäudes auf ein Minimum reduziert wird.

Mit dem vorhandenen Wissensstand werden gebaute Beispiele untersucht und einer Analyse unterzogen. Die Stärken und Schwächen der ausgewählten Bauten sind im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit dargestellt. Diese Hypothesen werden anhand des Fallbeispiels geprüft und liefern die Antwort auf die Forschungsfrage.

Im Werk gefertigte Holzmodule reduzieren den Baustellenaufwand und ermöglichen die serielle Sanierung der Nachkriegsbauten. Das Gebäude muss als vorhandene Ressource betrachtet werden, dabei ist der Hauptaspekt die Trennbarkeit der Konstruktionen. Weg von der Betrachtung in Abfallkategorien und hin zu der Verwendung der Bauten als Rohstoffzwischenlager. Der Materialzyklus darf nicht unterbrochen werden und die Wiederverwendung muss im Vordergrund stehen. Der flexible Grundriss ermöglicht eine individuelle Nutzung und verlängert den Gebäudezyklus. Die Ökobilanzierung der Außenwand zeigt in einem direkten Vergleich die ökologischen Vorteile zu einer konventionellen Bauweise.

Das ausgearbeitete Fallbeispiel soll aufzeigen, welche Möglichkeiten und Werkzeuge genutzt werden können, um eine ressourceneffiziente Tragwerksplanung zu erreichen. Es liefert einen bewussten Denkanstoß für die Zukunft und den damit verbundenen Herausforderungen.



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

Abstract

The population is growing and demanding more and more resources, including building raw materials, green spaces and other consumer goods. Global warming is present and the conditions for achieving climate neutrality are becoming increasingly difficult. Alternative ways to overcome these challenges need to be considered. Typical Viennese post-war buildings built between 1950 and 1970 are used to show how the use of resources can be optimised. Serial redensification and building in the existing structure are becoming more and more important. In this context, the synergy effects that result from the thermal renovation of the building and the conversion of an attic are to be used.

In chapter 1, research is conducted on the topics of the climate crisis, population growth and consumption. Based on this knowledge, issues are formulated and synergy effects are identified. In the further course of the paper, the possibilities in structural design are discussed in order to achieve resource-efficient construction. The connection between built structure and urban density with regard to the consumption of raw materials is explained in detail. The focus is on the building fabric, as well as the vertical and horizontal access routes. Most of the materials used are found in the supporting structure of a building. This makes it all the more important to handle these masses with care. A holistic approach is essential. Heavy structures or massive constructions have a negative effect on load transfer and the floors below. The effort for the foundation increases and the consumption of resources rises. Lightweight building designs and optimised structures are necessary.

Further strategies are identified on the basis of a literature research and are applied to the topics of: Building in Existing Structures, Building in Excess, Life Cycle Assessment, Recyclable Structures, Optimised Structures and Prefabrication of Building Components. A large part of the aspects mentioned aim to extend the use of the building and the materials. The emissions generated by the construction of the structures are distributed over time and reduce the impact on our environment in the long term. The condition for this is that the building's operating energy is reduced to a minimum.

Using the available knowledge, built examples are analysed and subjected to an analysis. The strengths and weaknesses of the selected buildings are presented in this thesis. These hypotheses are tested on the basis of the case study and provide the answer to the research question.

Timber modules manufactured in the factory reduce the construction site effort and enable the serial refurbishment of the post-war buildings. The building must be considered as an existing resource, with the main aspect being the separability of the constructions. Away from the consideration in waste categories and towards the use of the buildings as intermediate raw material storage. The material cycle should not be interrupted and the focus is on reuse. The flexible floor plan allows individual use and extends the building cycle. The life cycle assessment of the exterior wall reveals the ecological advantages in a direct comparison to a conventional construction method.

The elaborated project aims to show which possibilities and tools can be used to achieve a resource-efficient structural design. It provides a conscious thought-provoking impulse for the future and the associated challenges.



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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Klimakrise.....	1
1.1.1	Was sind die treibenden Kräfte?.....	1
1.1.2	Welche Zusammenhänge gibt es?.....	2
1.1.3	Welche Folgen sind zu erwarten?	4
1.1.4	Aktuelle Zahlen aus Österreich.....	5
1.2	Wachstum	7
1.3	Konsum, Verbrauch von Gütern	9
1.3.1	Boden	9
1.3.2	Baurohstoffe.....	9
1.3.3	Verbraucherverhalten.....	10
1.4	Zusammenfassung und Diskurs.....	11
2	Der Zusammenhang von urbanen Strukturen und Ressourcenverbrauch	13
2.1	Ressourcenverbrauch von urbanen Strukturen	13
2.1.1	Ressourcenverbrauch von Gebäuden	14
2.1.2	Ressourcenverbrauch von Verkehrsflächen.....	15
2.1.3	Städtebauliche Dichten	16
2.2	Ergebnisse und Diskurs.....	16
2.3	Maßnahmen im Wohnbau.....	19
3	Ressourceneffizienz in der Tragwerksplanung	21
3.1	Design Prinzipien und Strategien in der Tragwerksplanung	21
3.1.1	Bauen im Bestand	21
3.1.2	Bauen im Übermaß vermeiden	23
3.1.3	Ökobilanzierung	25
3.1.4	Bauen mit kreislauffähigen Konstruktionen.....	29
3.1.5	Strukturen optimieren.....	34
3.1.6	Vorfertigung von Bauteilen ermöglichen.....	41
3.2	Referenzobjekte.....	43
3.2.1	Wohn- und Geschäftshaus in Berlin	43
3.2.2	Wohn- und Geschäftshaus in Zürich.....	44
3.2.3	Wohnanlage in Jyväskylä	46
3.2.4	Dachaufstockung in Zürich.....	47
3.2.5	Thermische Sanierung in Augsburg	48
3.2.6	SWOT-Analyse der Referenzobjekte	50
4	Entwurf eines Dachgeschoßausbaues	55
4.1	Beschreibung des Bestandes in Wien.....	56
4.1.1	Vertikale Bauteile.....	56



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.

4.1.2	Horizontale Bauteile	60
4.2	Repetitives Gebäude	61
4.3	Gewähltes Tragsystem und Materialien.....	64
4.4	Problematiken der Nachkriegsbauten	66
4.5	Ertüchtigung des Bestandes	68
4.6	Energetische Sanierung des Bestandes	70
4.7	Abschätzen der Tragreserven.....	71
4.7.1	Lastaufstellung.....	72
4.7.2	Vertikale Lastableitung.....	75
4.7.3	Horizontale Lastableitung Erdbeben	76
4.7.4	Nachweise und Diskurs	78
4.8	Ausbau.....	82
4.8.1	Auftretende Probleme bei Ausbauten der Jahre 1880 bis 1918.....	82
4.8.2	Rahmenbedingungen für den Ausbau	83
4.8.3	Beschreibung der Tragstruktur des Ausbaues	87
4.8.4	Lastaufstellung.....	89
4.8.5	Vertikale Lastableitung.....	91
4.8.6	Horizontale Lastableitung	92
4.8.7	Nachweise und Diskurs	93
4.8.8	Konstruktionsdetails	101
4.8.9	Ökobilanz der Außenwand.....	106
5	Conclusio.....	111
	Literaturverzeichnis	115
	Abbildungsverzeichnis	118
	Tabellenverzeichnis.....	120
	Anhang.....	121



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

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird auf die aktuellen großen Herausforderungen, die Klimakrise, das Bevölkerungswachstum und den damit verbundenen Ressourcenverbrauch, eingegangen. Es wird auf die Dringlichkeit des Handelns aufmerksam gemacht und anhand von wissenschaftlichen Belegen soll die Existenz dieser Krisen veranschaulicht werden.

Wir werden immer mehr und wir wollen immer mehr. Welche Verantwortung haben Planerinnen und Planer gegenüber unserer Umwelt? Mithilfe eines ressourceneffizienten Einsatzes von Baustoffen wird die CO₂-Bilanz unserer Gebäude Schritt für Schritt verbessert. Nicht nur bei den neu gebauten Objekten, sondern auch bei den bestehenden Bauten, die einen großen Anteil am Materiallager in unseren Städten haben. Der Bedarf bestimmt im Allgemeinen die Summe der Ressourcen, dieser sollte genau hinterfragt werden und in verschiedenen Phasen eine Adaption bieten. Im großen Maßstab wird eine Struktur gesucht, die hinsichtlich des Materialverbrauches ein Optimum darstellt. Die geplante Aufstockung eines Wiener Nachkriegsbaues passt das Verhältnis von Ressourcenverbrauch und Wohnfläche an die vorgegebene Struktur an und beschränkt die weiteren Auswirkungen auf die Umwelt auf ein Minimum. Zusätzlich wird der systematische Wohnbau der Stadt Wien mithilfe der seriellen Sanierung einfach und schnell aufgewertet und die Nutzungsdauer der Wohngebäude verlängert.

1.1 Klimakrise

1.1.1 Was sind die treibenden Kräfte?

Die Erde erwärmt sich immer weiter, der Meeresspiegel steigt an und Extremwetterereignisse nehmen zu. Probleme, die der Mensch verursacht hat. Wieso ist der Mensch schuld? Industrie, Verkehr, Gebäude, Energie, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Florierte Gase. Das sind alles Sektoren, die Treibhausgase emittieren. Natürlich gab es auch vor der industriellen Revolution Kohlenstoffdioxid, Methan und Stickstoffoxide in der Atmosphäre. Jedoch hat der Planet, auf dem wir leben über Jahrtausende die Bilanz der schädlichen Gase selbst reguliert. Es gelang ihm mithilfe der Flora und Fauna Überschüsse zu kompensieren.

In der Atmosphäre sammeln sich verschiedene Gase an. Manche können sich länger halten, manche verflüchtigen sich sofort. Die einfallende kurzweilige Sonnenstrahlung trifft auf der Erdoberfläche auf und erwärmt Boden und Luft. Durch die Erwärmung werden langwellige Infrarotstrahlen emittiert, die im Normalfall wieder aus dem System austreten. Durch das Anhäufen von Gasen in der Atmosphäre kann die Infrarotstrahlung aber nicht entweichen. Wie in einem Glashaus, beginnt sich die Erde zu erwärmen.

Die Wissenschaft vermittelt mithilfe von Beobachtungen und Simulationen wie sich die Erwärmung der Erdoberfläche entwickelt hat. Zwei Modelle mit verschiedenen Ausgangspunkten sollen den Verlauf über die vergangenen Jahre repräsentieren. Das erste Klimamodell beschreibt den natürlichen Antrieb durch den Zyklus der Sonne und vulkanische Aktivitäten. Das zweite schließt, alle diese Betrachtungen mit ein und berücksichtigt zusätzlich die menschlichen Einflüsse. [1]

Mithilfe von Temperaturmessungen konnten die Simulationen kalibriert werden. Das Ergebnis zeigt, dass innerhalb der letzten 180 Jahren ein Anstieg zu erkennen ist. (siehe Abb. 1) Dieser ist auf den Antrieb des Menschen zurückzuführen.

Human influence has warmed the climate at a rate that is unprecedented in at least the last 2000 years

Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

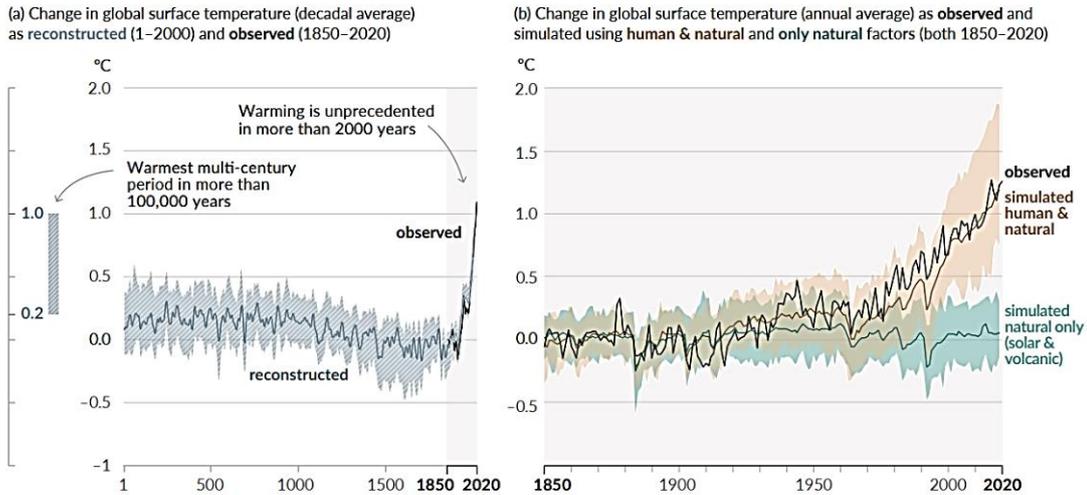


Abb. 1 – Geschichte der globalen Temperaturveränderung und Ursachen der jüngsten Erwärmung [1]

1.1.2 Welche Zusammenhänge gibt es?

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) untersucht fünf mögliche Emissionsszenarien in seinem Bericht. Dabei werden drei verschiedene Zeiträume betrachtet: die nahe Zukunft, eine mittelfristige und eine langfristige Betrachtung. [1] Die verschiedenen Szenarien zeigen welchen Einfluss die Emissionen auf das Klima haben. In der folgenden Abb. 2 sind die Emissionsverläufe für die wesentlichen Treibhausgase dargestellt.

Future emissions cause future additional warming, with total warming dominated by past and future CO₂ emissions

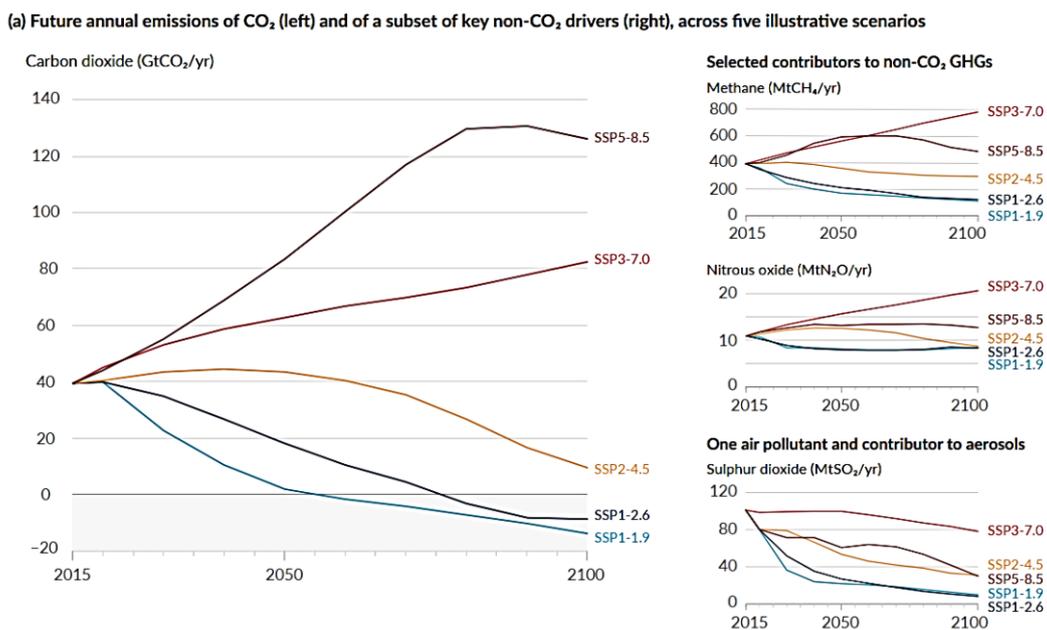


Abb. 2 – Jährliche anthropogene Emissionen prognostiziert im Zeitraum 2015-2100 [1]

Lediglich zwei der gezeigten Szenarien weisen eine negative CO₂-Bilanz auf und sind in der Lage nach einer gewissen Zeitspanne Emissionen zu kompensieren. Die restlichen Verläufe erreichen bis 2100 nicht die Kompensationsschwelle. Die Szenarien SSP5-8.5 und SSP3-7.0 zeigen sogar einen deutlichen Anstieg der Emissionen im Vergleich zum Referenzjahr 2015.

Der Zusammenhang zwischen Treibhausgas-Emissionen und Erderwärmung ist entscheidend. Anhand der durchgerechneten Szenarien lässt sich eine fast lineare Beziehung der CO₂-Emissionen und der globalen Erwärmung rekonstruieren. Es wird gezeigt, wenn wir Emissionen reduzieren, dann stoppen wir auch den Anstieg der oberflächennahen Temperaturen. (siehe Abb. 3)

Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850–1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)

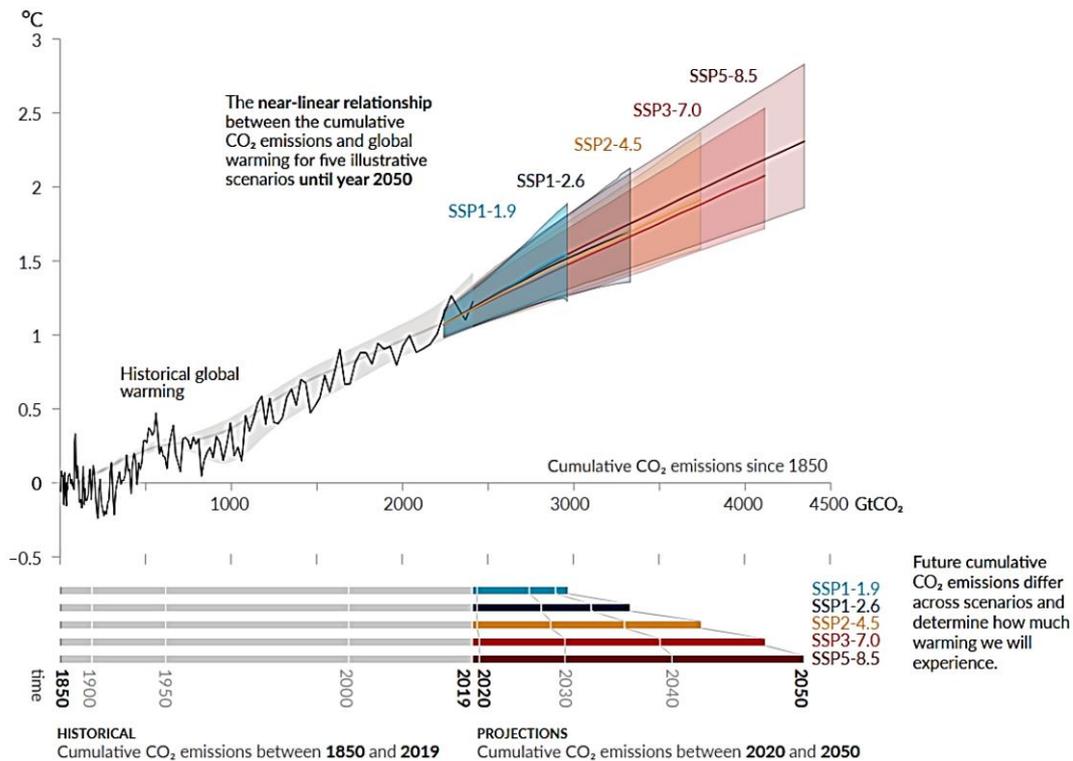


Abb. 3 – Nahezu lineare Beziehung zwischen den kumulativen CO₂-Emissionen und dem Anstieg der globalen Oberflächentemperatur [1]

Die Ergebnisse der Berechnungen werden als Differenz zwischen der globalen durchschnittlichen Oberflächentemperaturen und dem Mittelwert aus dem Zeitraum 1890 bis 1900 angegeben. Anhand dieser Werte können Absichten und mögliche Wege definiert werden. Ein politisches Bestreben ist das Zwei-Grad-Ziel. Es soll die globale Erwärmung auf weniger als 2 °C bis zum Jahr 2100 begrenzen. Es ist eine Grenze, die uns einen Ausweg aus diesem Dilemma bieten soll. Dabei ist zu beachten, dass es beim Überschreiten der Grenzwerte nicht zu einem sofortigen Kollaps kommt. Es bedeutet aber auch, dass beim Unterschreiten schwerwiegende Folgen nicht auszuschließen sind.

Szenario	Nahe Zukunft (2021–2040)		Mittelfristig, 2041–2060		Langfristig, 2081–2100	
	Bester Schätzwert (°C)	Sehr wahrscheinliche Bandbreite (°C)	Bester Schätzwert (°C)	Sehr wahrscheinliche Bandbreite (°C)	Bester Schätzwert (°C)	Sehr wahrscheinliche Bandbreite (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 bis 1,7	1,6	1,2 bis 2,0	1,4	1,0 bis 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 bis 1,8	1,7	1,3 bis 2,2	1,8	1,3 bis 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 bis 1,8	2,0	1,6 bis 2,5	2,7	2,1 bis 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 bis 1,8	2,1	1,7 bis 2,6	3,6	2,8 bis 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 bis 1,9	2,4	1,9 bis 3,0	4,4	3,3 bis 5,7

Tab. 1 – Änderung der globalen Oberflächentemperatur, bewertet auf der Grundlage von Belegen aus mehreren, unterschiedlichen Untersuchungsansätzen für ausgewählte 20-Jahres-Zeiträume und die fünf betrachteten illustrativen Emissionszenarien [1]

Aus Tab. 1 geht hervor, dass nur das Szenario SSP1-1.9 mit seiner sehr wahrscheinlichen Bandbreite das Zwei-Grad-Ziel erreichen wird. Das ist wiederum nur möglich, wenn ab den 2050er Jahren eine negative Bilanz geschrieben wird. (siehe Abb. 2) Das bedeutet, dass wir gewisse Prozesse, bei denen eine Netto-Null-Emission nicht möglich ist, kompensieren müssen.

Dies könnte zum Beispiel erreicht werden, wenn wir aktiv aus der Atmosphäre Kohlenstoffdioxid in natürliche Speicher verfrachten. Eine Senke stellt der Boden dar. Pflanzen nehmen Kohlenstoffdioxid auf und wandeln ihn mithilfe der Photosynthese in Zucker um. Das Abfallprodukt Sauerstoff wird dabei wieder freigesetzt. Der Kohlenstoff wird gebunden und verbleibt im Boden und in der Pflanze.

Es ist wichtig zu verstehen, dass eine reine Reduktion der Emissionen nicht ausreicht. Um unser gesetztes Ziel zu erreichen, müssen wir die Netto-Null-Emissionen innerhalb von 30 Jahren schaffen und zusätzlich Kompensationsmaßnahmen treffen.

Aus dieser Betrachtung heraus ergibt sich ein Budget, das bis zum Erreichen des Ziels ausgegeben werden kann. Das sogenannte CO₂-Budget. Je kleiner das Budget wird, desto größer werden die Folgen für das Klima. Kohlenstoffdioxid ist nicht das einzige Gas, das zur globalen Erwärmung beiträgt. Andere Treibhausgase wie Methan und Stickoxide, die in geringeren Mengen in der Atmosphäre vorhanden sind, aber länger verbleiben, werden auf ein CO₂-Äquivalent umgerechnet.

1.1.3 Welche Folgen sind zu erwarten?

Die Auswirkungen des Klimawandels sind von großer Bedeutung. Zukünftigen Generationen darf man kein Hindernis stellen, um diese Krise zu bewältigen. Taten, die heute begangen werden, sind in der Zukunft nur schwer rückgängig zu machen.

Als Beispiel kann man das Meer nehmen. Durch den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur beginnen Gletscher und das Eis auf den Polkappen zu schmelzen. In den Sommermonaten schmilzt ein Teil des Eises und in den Wintermonaten gefriert es wieder. Im Durchschnitt ist aber eine Abnahme zu erkennen, wie der aktuelle IPCC-Bericht verdeutlicht. [1] Das Schmelzwasser sammelt sich in den Weltmeeren und der Meeresspiegel beginnt zu steigen. Dieser Prozess ist langwierig, erst über Jahre hinweg lassen sich die Auswirkungen erkennen. So zeigen aktuelle Prognosen einen Meeresspiegelanstieg bis 2100 zwischen 30 cm und 100 cm. [1] Genauere Aussagen können nicht getroffen werden, da es sich hierbei um verschiedene Szenarien handelt, die eintreten können.

In den Prognosen nicht mitinbegriffen sind sogenannte Kipppunkte. Das sind Ereignisse, die plötzlich auftreten und deren Wirkung unumkehrbar ist. So fördert beispielsweise die Erhöhung der globalen Temperaturen die Instabilitäten des antarktischen Landeises. Riesige Massen an Eis könnten in das Meer rutschen und den Anstieg des Wasserspiegels drastisch erhöhen.

Das Schmelzen des Eises bringt auch noch einen anderen negativen Effekt mit sich. Je heller eine Fläche ist, desto geringer ist ihr Rückstrahlvermögen, dunkle Flächen absorbieren somit mehr Sonnenstrahlung. Das Maß des Rückstrahlvermögens wird in Albedo angegeben. [2] Durch das Schmelzen der vielen weißen Eisflächen steigt das Potential einer weiteren Erwärmung.

Ein Verlust an Landmasse oder Eismasse bedeutet auch das Verschwinden von Ökosystemen. Lebewesen sind gezwungen unter extremen Bedingungen zu leben und werden mit der Zeit aussterben, wenn sie nicht mehr die Möglichkeit haben sich anzupassen. Die natürlichen Kohlenstoffspeicher der Ozeane werden überstrapaziert und führen zu einem Anstieg des PH-Wertes im Wasser. Meereslebewesen verlieren ihre Habitate.

Auch der Mensch wird seinen Lebensraum einschränken müssen. Am stärksten betroffen werden die verwundbarsten Systeme sein. [3] Die Häufung von Extremwetterereignissen wird zu mehr Trockenheit und einem größeren Risiko für Brände führen. Auf der anderen Seite wird es durch die hydrophobierten Böden und stärkeren Niederschlagsereignisse zu Überschwemmungen kommen. Viele dieser Prozesse werden den Anbau von Lebensmitteln und die Versorgung ganzer Städte mit Trinkwasser erschweren.

1.1.4 Aktuelle Zahlen aus Österreich

Mithilfe von klimadashboard.at [4] werden aktuelle Zahlen zu Emissionswerten graphisch veranschaulicht und in die einzelnen Sektoren aufgeteilt. Die Datenquellen zu den Emissionen stammen aus dem Umweltbundesamt aus dem Jahr 2019. Die Aufteilung auf die einzelnen Bundesländer erfolgte mithilfe der Bevölkerungsdaten von Statistik Austria.

In der Abb. 4 ist zu erkennen, dass die Sektoren Industrie, Energie und Verkehr in fast allen Bundesländern den größten Impact haben. Der Klimaschutzbericht von Österreich aus dem Jahr 2021 [5] hat alle Emissionen der Sektoren aufgeschlüsselt und eine sektorale Trendevaluierung durchgeführt. Es wird kurz auf die vorher genannten Sektoren und deren Hauptverursacher eingegangen.

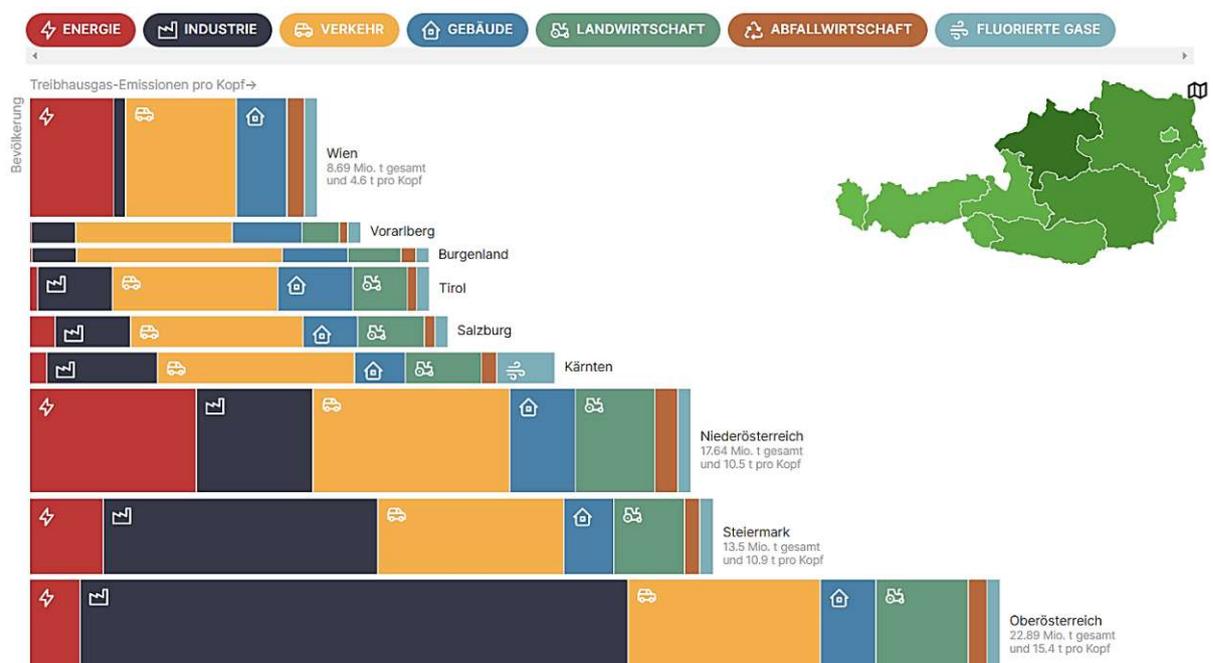


Abb. 4 – Emissionen der Bundesländer im Vergleich, Anteile der verschiedenen Sektoren [4]

Die Energie und die Industrie werden im Klimabericht des Bundesministeriums gemeinsam betrachtet. Mithilfe einer Komponentenzerlegung konnten die Bereiche untersucht werden, welche den größten Einfluss auf die Erzeugung von Treibhausgasen haben. Einen maßgebenden Teil hierbei bildet die Produktion von Eisen und Stahl. Dieser ist mit einem Anteil von 15,2 % der nationalen THG-Emissionen von 2019 am größten. Mit einem etwas geringeren Beitrag von 7,7 % folgt die öffentliche Strom- und Wärmeproduktion. Der Sektor Energie und Industrie hat einen Gesamtanteil der THG-Emissionen von 43,8 %. (siehe Abb. 5) [5]

Der Bereich Verkehr ist jener Sektor, der seit 1990 die größte Zunahme zu verzeichnen hat. (siehe Abb. 5) Grund dafür ist der Anstieg der Fahrleistung. Weniger Personen pro PKW, mehr Personenkilometer und mehr Tonnenkilometer. Insgesamt ein Anteil von 30,1 % der gesamten THG-Emissionen von 2019. Hauptverursacher ist der Straßenverkehr, der 99 % der Emissionen des Verkehrssektors ausmacht. Den restlichen Prozentsatz teilt sich Bahn-, Schiff- und nationaler Flugverkehr. [5]

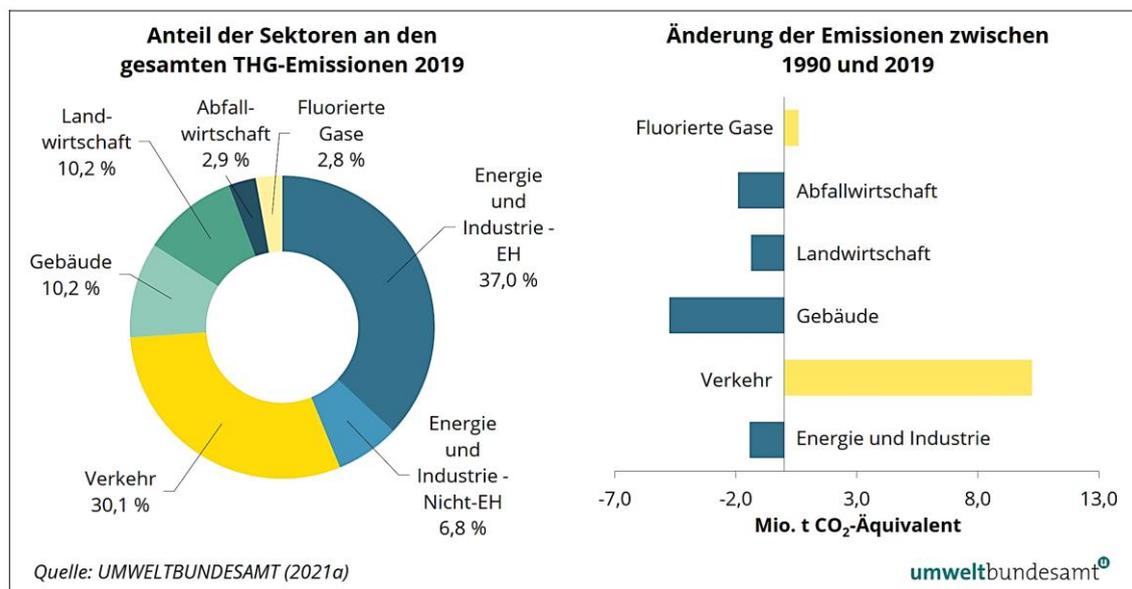


Abb. 5 – Anteil der Sektoren an den Treibhausgas-Emissionen 2019 (inklusive Emissionshandel) und Änderung der Emissionen zwischen 1990 und 2019 [5]

Bei den gebäudebedingten Treibhausgasen werden lediglich die Emissionen für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser bilanziert. Der Einsatz von Strom und Fernwärme wird dem Sektor Energie und Industrie zugeschrieben. Der Rückgang seit dem Jahr 1990 ist der thermischen Sanierung von Gebäuden und der Verdrängung von Kohl- und Erdölheizungen hin zu Erdgas, Biomasse, Fernwärme und Wärmepumpen zu verdanken. Im Weiteren wird auf die anderen Sektoren nicht mehr eingegangen.

1.2 Wachstum

Global gesehen gibt es einen Anstieg der Weltbevölkerung. Die Geburtenrate steigt und das Durchschnittsalter bzw. die Lebenserwartung eines Menschen nimmt zu. Ein Begriff, der damit verbunden ist, ist die Urbanisierung. Der Zuzug der urbanen Lebensräume aus den ruralen Gebieten. Immer mehr Menschen wollen einen besseren Zugang zu Versorgungssystemen und mehr Chancen am Arbeitsmarkt. Damit werden neue Herausforderungen an die Städte gestellt.

Die Stadt Wien hat im Jahr 2018 eine kleinräumige Bevölkerungsprognose für eine bedarfsrechte Planung erstellt. [6] Um eine hohe Lebensqualität zu gewährleisten ist es wichtig, vorsorglich den Bedarf von öffentlicher Infrastruktur, Dienstleitungen, Wohnraum und weiterer systemerhaltender Betriebe zu klären. Basis für die Prognosen sind Voranalysen und Workshops mit Expertinnen und Experten aus den Bereichen der Demographie und der Stadtplanung. [6]

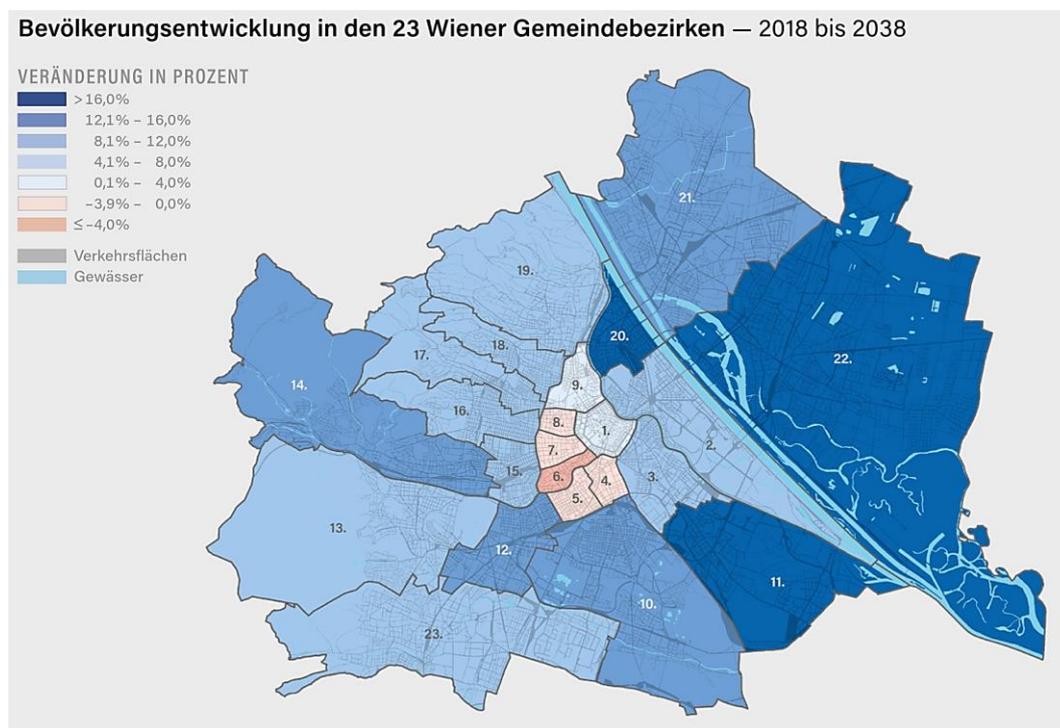


Abb. 6 – Bevölkerungsentwicklung Wien von 2018 bis 2038 [6]

Die Abb. 6 zeigt die Bevölkerungsentwicklung in den 23 Wiener Gemeindebezirken von 2018 bis 2038. Augenscheinlich ist zu erkennen, dass in den beiden inneren Bezirken 1 und 9 ein geringer Zuwachs vonstattengeht. In den Bezirken 4 bis 8 ist sogar mit einer Abnahme zu rechnen. In den anderen Bezirken ist überall ein Zuwachs zu erwarten. Besonders stark fällt dieser im 11., 20., und 22. Bezirk aus.

Um eine quantitative Aussage über die bauliche Dichte einer Stadt zu treffen, bedient sich die Raumplanung der Nettogeschoßflächenanzahl (NGFZ). [7] Sie ist das Verhältnis zwischen der Bruttogeschoßfläche (BGF) und dem Nettobauland. Die Bruttogeschoßfläche ergibt sich wie der Name schon sagt aus der Geschoßanzahl und der Fläche der Geschoße. Unter dem Nettobauland ist die Summe aller bebauten und zur Bebauung freigegebenen Flächen zu verstehen. Je höher die NGFZ, desto größer die bauliche Dichte.

Vergleicht man Abb. 6 mit Abb. 7 erkennt man, dass die Flächen einer dichten Bebauung mit einem geringen Zuwachs prognostiziert sind, also die Ressourcen an Wohnraum erschöpft sind. Diese Hypothese entzieht sich jedem Beweis und lässt sich nicht allgemein auf das Stadtbild übertragen. Als Beispiel kann man hier den 20. Bezirk genauer betrachten, trotz der dichten Bebauung ist ein Zuwachs bis 2038 von über 16 % vorhergesagt. Möglicherweise werden die Prognosen auf der Grundlage erstellt, dass ein Zuwachs nur möglich ist, wo auch ein neuer Baugrund erschlossen werden kann.

Nichtsdestotrotz lässt sich sagen, dass der Hauptteil des Zuwachses der Bevölkerung mit einer Versiegelung von zusätzlichen Flächen einhergeht. Unter einer versiegelten Fläche versteht man die Abdeckung des Bodens mit einer wasserundurchlässigen Schicht, wodurch die natürliche Funktion des Bodens beeinträchtigt oder verloren geht. Flächen für Siedlungen, Verkehr, Gewerbe oder ähnliches zählen dazu.

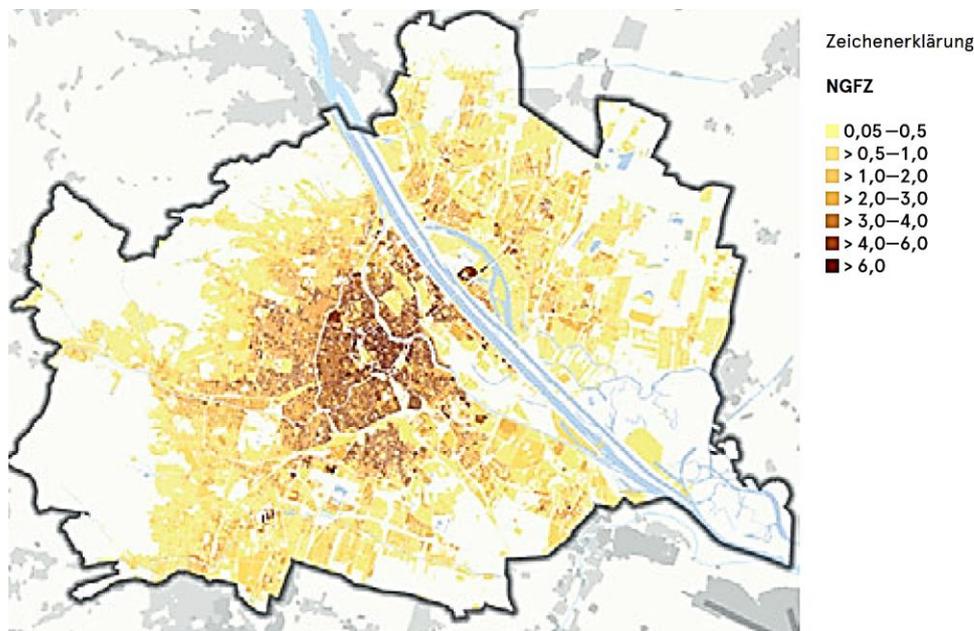


Abb. 7 – Nettogeschossflächenanzahl (NGFZ) Wien aus dem Jahr 2014 [7]

Die Aufgaben des Bodens sind vielseitig. Neben dem Binden von CO₂ (wie bereits im Kapitel 1.1.2 erwähnt) bietet der Boden einen kühlenden Effekt und vermindert im urbanen Raum Hitzeeinseln und Tropennächte. Regenwasser versickert und wird in tieferen Schichten für trockene Zeiten gespeichert. Schadstoffe bleiben in den obersten Bodenschichten zurück und das Grundwasser behält seine hohe Qualität.

1.3 Konsum, Verbrauch von Gütern

1.3.1 Boden

Im Jahr 2020 verringerten sich Österreichs produktive Böden um etwa 42 km², das entspricht einer Fläche von Eisenstadt. Davon sind 56 % Wohn- und Geschäftsgebiete, 26 % Betriebsflächen, 13 % Straßen und 5 % Erholungs- und Abbauf Flächen. [8]

Mit dem Verlust dieser Flächen gehen einige ökologische und ökonomische Vorteile verloren. Das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie [8] listet einige dieser auf:

- Die biologischen Funktionen des Bodens gehen verloren. Dies ist ein fast unumkehrbarer Vorgang, da die Bodenbildung ein langwieriger Prozess ist.
- Die Flächen, die versiegelt werden, sind meist Ackerflächen. Durch den Verlust wird die Produktivität der Landwirtschaft geschwächt.
- Der Straßenbau ist meist linienförmig und wird durch die ganze Landschaft gezogen. Die Zerschneidung dieser Ökosysteme führt oft zu einer Gefährdung der biologischen Vielfalt. Es kann zur Abwanderung oder auch zum Aussterben von Tierarten führen.
- Durch das Versiegeln von Bodenflächen ist das Speichern von Niederschlagswässern ausgeschlossen. Die Retention des Regenwassers ist nicht mehr möglich und das Risiko von Hochwässern steigt.
- Verschmutzte Luft kann durch umliegende Böden gereinigt werden, indem Staubpartikel zurückgehalten werden.

Die Ressource Boden ist begrenzt. Umso wichtiger ist es, sorgsam mit der Fläche umzugehen und eine Versiegelung möglichst zu vermeiden.

1.3.2 Baurohstoffe

Die Hälfte des Materialverbrauches in Österreich ist auf Baurohstoffe, in diesem Falle auf nicht-metallische Mineralstoffe, zurückzuführen. [9] Eng verbunden mit dem Verbrauch von Rohstoffen sind die Treibhausgasemissionen. Jedes Material braucht zur Erzeugung Energie. Mit einem geringeren Verbrauch an Rohstoffen sinkt auch der Einsatz von Energie für die Herstellung jener. Dabei unterscheiden sich die Emissionen der einzelnen Baustoffe immens. Einen Überblick schafft dabei die Baustoffpyramide. [10]

In der Abb. 8 ist das Treibhauspotential der einzelnen Baustoffe pro Kilogramm angegeben. Involviert in die Berechnung sind die Module A1 bis A3 laut EN 15978 [11], also von der Rohstoffgewinnung über den Transport ins Werk bis hin zu der Herstellung des Baustoffes. Dabei werden die Emissionen aus der Errichtungsphase (A4 und A5) sowie die grauen Emissionen (Nutzungsphase, B1 bis B5 und End of life phase, C1 bis C4) nicht berücksichtigt.

Es ist ersichtlich, dass in der Spitze dieser Pyramide hauptsächlich metallische und kunststoffbasierte Baustoffe angeordnet sind. (siehe Abb. 8) Das ist dem Fakt gewidmet, dass die Herstellung sehr energieintensiv ist und die Baustoffe ein relativ geringes Gewicht aufweisen. Im mittleren Bereich befinden sich die mineralischen Baustoffe und Natursteine. Und am Ende der Pyramide sind holzbasierte Baustoffe. Je geringer die Verarbeitung, desto geringer ist das Treibhauspotential. Teilweise fallen die Werte in den negativen Bereich, das hat den Grund, dass Holz ein Kohlenstoffspeicher ist und dass dieser Speicher in der Rohstoffgewinnungsphase (A1) gegen gerechnet wird.

Neben dem *Global Warming Potential* (GWP) existieren noch weitere Maßzahlen für die Wirkungsabschätzung in der Ökobilanz. Um die Komplexität dieser Arbeit nicht weiter zu beanspruchen, wird vereinfacht das Treibhauspotential als maßgebender Faktor angesehen. Bei einer vollständigen Ökobilanzierung dürfen jedoch die restlichen Wirkungskategorien nicht vernachlässigt werden.



Abb. 8 – Die Baustoffpyramide, sortiert nach dem Treibhauspotential (GWP) [10]

1.3.3 Verbraucherverhalten

Mit dem Fortschritt der Digitalisierung hat sich das Verhalten der Konsumenten verändert. Als Konsument werden Personen bezeichnet, die mehrere Waren oder Dienstleistungen zu den eigenen, privaten Bedürfnissen käuflich erwerben. [12] Dies können Güter des alltäglichen Bedarfs, Güter des Sach- und Vergleichskaufs und Sonderprodukte sein. All jene haben das gemeinsam, das sie verbraucht werden.

Der Lebenszyklus einer Ware beginnt bei der Rohstoffgewinnung und endet bei der Entsorgung. In der heutigen Wegwerfgesellschaft bedient man sich einer unerschöpflichen Rohstoffkette. Eine Ware wandert von der Produktion in den Verkauf zum Konsumenten und anschließend nach der Nutzung bzw. nach Auftreten eines Defektes in den Müll. Reparaturen oder Instandsetzungsmaßnahmen dauern oft lange oder rentieren sich nicht. Die Ware wird durch eine

neue ersetzt, ein neuer Lebenszyklus hat begonnen. In früheren Jahren waren Reparaturen sinnvoll, weil sie oft einfacher und leichter vonstattengingen. Heutzutage ist es oftmals schwierig, die komplexen Gegenstände auseinanderzunehmen, den Ursprung des Gebrechens zu finden und wieder zusammensetzen.

Im Europäischen Raum hat man nicht das Gefühl, dass man auf gewisse Güter verzichten müsste. Durch den Wohlstand der Gesellschaft und den Druck von Marketingfirmen wird ein Übermaß an Gütern angehäuft, unabhängig der Frage, ob man diese benötigt oder nicht. Jeder Mensch sollte in der Lage sein, den eigenen Konsum zu steuern. Egal ob das der Verbrauch an Sachgütern oder des benötigten Wohnraumes ist, man sollte in der Lage sein, selbst zu entscheiden und nicht unterbewusst beeinflusst oder unter Druck zu einem Kauf genötigt zu werden.

Man lebt, um zu konsumieren. Viele arbeiten hart, um sich das Objekt der Begierde leisten zu können. Damit verbunden ist ein ständiger Leistungsdruck und ein Gefühl der Unruhe. Das sind keine Dinge, die beim Kauf einer Ware vermittelt werden. Jedoch streben wir nach ihnen, um uns diesen Luxus beschaffen zu können. Es ist nicht notwendig, mit einem überproportionalen Verkehrsmittel durch die ganze Stadt zu fahren, um den eigenen Wohlstand zu präsentieren, oder eine Wohnfläche von 300 m² zu besitzen, die mit einer 100 m² Doppelgarage und drei Autos ausgestattet ist. Es wird hier nicht von Verzicht oder Minimalismus gesprochen, sondern von Notwendigkeit.

Ein einfacher Lebensstil, kein Leben im Übermaß. Es stellt sich jedoch die Frage wie man so ein Leben anstreben sollte. Das richtige Maß muss gelernt sein. Mit Verboten wird man nicht sehr weit kommen. Eine Diktatur ins Leben zu rufen, scheint keine dauerhafte Lösung zu sein. Man müsse neue Dinge ermöglichen und nichts verbieten.

Eine Möglichkeit, um die Bedürfnisse zu befriedigen, wäre das Konzept der Miete. Jeder hat in den verschiedensten Lebenslagen verschiedene Anforderungen, die sich mit der Zeit verändern. Es ist deshalb sinnvoll, die Gegebenheiten an die Bedürfnisse anzupassen und nicht umgekehrt. Anstatt sich dauerhaft mit einem Kredit an eine Lebenslage zu binden, könnte man sich mit einer monatlichen Vorschreibung die Gegebenheiten ermöglichen, die man gerade benötigt. Dieses Konzept lässt sich auch auf Büroräumlichkeiten oder auf Gewerbeflächen umlegen. Auch bei Möbelstücken oder einzelnen Bauteilen eines Gebäudes könnte es vermehrt zur Anwendung gebracht werden. Wenn sich die Nutzung eines Gebäudes verändert, ist es meist auch erforderlich, die umgebenden Teile anzupassen. Hier bieten sich flexible Grundrisse mit austauschbaren Elementen an, die angemietet werden können, um die verschiedenen Bedürfnisse der Nutzer zu erfüllen.

1.4 Zusammenfassung und Diskurs

Es wurde die Existenz des Klimawandels und deren Verursacher gezeigt. Der unmittelbare Zusammenhang der Erderwärmung und der Treibhausgase. Die Sektoren die am Klimawandel aktuell gerade am meisten beteiligt sind. Überdies wurden Trendanalysen gezeigt und mögliche Ziele zu einem Abschwächen der Klimafolgen definiert. Eine reine Reduktion der Emissionen ist nicht ausreichend, in Zukunft müssen Kompensationsmaßnahmen gesetzt werden. Es wurde auf einige Folgen der Klimakrise hingewiesen und deren kritische Kippunkte erläutert. Anhand von Daten des Klimaministeriums wurden die einzelnen Sektoren gruppiert und deren Emissionswerte gezeigt. Dabei ist der Sektor Energie und Industrie am größten. Die meisten Emissionen dieses Sektors werden durch die Produktion von Eisen und Stahl emittiert.

Im Kapitel 1.2 werden Bevölkerungsstatistiken der Stadt Wien gezeigt und welche zukünftigen Herausforderungen zur Bewältigung des Bevölkerungswachstums an die Stadt gestellt werden. Die Lösung der Stadt deutet daraufhin, dass zusätzlicher Boden versiegelt werden sollte, um die Urbanisierung zu stemmen. Jedoch wird es mit jedem Verlust an Boden schwieriger oder gar unmöglich, die gesetzten Klimaziele zu erreichen. Es werden die vielseitigen Funktionen des Bodens angesprochen und darauf aufmerksam gemacht, dass diese Fläche nicht endlos verfügbar ist.

Im Anschluss wird auf das Verbraucherverhalten aufmerksam gemacht. Einerseits wird durch die steigende Bevölkerung die Notwendigkeit einer Versiegelung bestätigt. Andererseits muss damit sehr vorsichtig umgegangen werden. Bestehende Strukturen sind bereits an Versorgungsstränge angeschlossen und sollten genutzt werden. Die Baurohstoffe, die damit eingespart werden können, wirken sich positiv auf das CO₂ Budget aus. Weiteres wird im folgenden Kapitel gezeigt, welche Baustoffe welchen Impact auf die Emissionen haben. Den größten Anteil haben metallische, kunststoffbasierte und mineralische Baustoffe. Es ist wichtig zu erwähnen, dass es sich hier rein um den Baustoff und dessen Produktion handelt. Emission aus der Errichtung, Nutzung und Wiederverwendung werden hier nicht dargestellt. Im letzten Teil wird auf die verschwenderische Lebenseinstellung hingewiesen. Zudem werden die Wegwerfgesellschaft und der kurze Kreislauf einer Ware, sowie die Notwendigkeit von Besitz und die zeitlich veränderlichen Bedürfnisse thematisiert.

Aus diesen Überlegungen heraus werden Problemstellungen und Herausforderungen formuliert, auf die der Autor im weiteren Verlauf dieser Arbeit zurückgreifen wird.

- * Oberstes Ziel ist es den CO₂ Verbrauch zu senken und der Erderwärmung entgegenzuwirken. Es besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen CO₂ Emissionen und Erderwärmung. Die Folgen bei einem ausbleibenden Einschreiten sind verheerend.
- * Die aktuelle Urbanisierung zu nutzen und ein möglichst dichtes Netz an Bevölkerung mit maximaler Lebensqualität zu schaffen soll ein weiteres Ziel darstellen. Infrastruktur- und Versorgungsstränge sind bereits vorhanden und müssen nicht neu gebaut werden.
- * Den Verbrauch von Boden stoppen und Flächen nicht weiter versiegeln, bestehende Strukturen nutzen. Ressourcen und Materialien sparsam einsetzen. Auf den CO₂-Fußabdruck von Materialien achten. Metalle, Kunststoffe und Beton haben einen großen Emissionswert und sollten nur dort verwendet werden, wo Holz nicht wirtschaftlich ist.
- * Durch eine verlängerte Nutzung können Ressourcen und Materialien eingespart werden. Die Recyclingfähigkeit ist abhängig von der Verbindung der einzelnen Komponenten. Durch das Trennen der Tragstruktur mit den einzelnen Komponenten ist eine flexible Grundrissgestaltung möglich, die zu einer längeren Nutzungsdauer beiträgt.

2 Der Zusammenhang von urbanen Strukturen und Ressourcenverbrauch

Die ressourceneffiziente Tragwerksplanung beginnt bereits bei der Formfindung des Gebäudes. Ziel ist es, so wenig Material wie möglich für den Bau eines Bauwerkes zu veranschlagen. Es stellt sich die Frage, ob ein Hochhaus, ein Wohnblock oder ein Einfamilienhaus pro m^2 Wohnfläche am wenigsten Ressourcen verbraucht.

Je mehr Geschosse ein Gebäude besitzt, desto mehr Wohnfläche ist vorhanden. Daraus ergibt sich ein höheres Gesamtgewicht und somit auch ein höherer Aufwand für die Fundierung. Zusätzlich wachsen die Lasten aus Wind- und Erdbebenbeanspruchung mit der Höhe. Bis zu welchem Stockwerk ist ein optimaler Einsatz der Ressourcen gegeben?

Wieviel Fläche an Boden werden für die Infrastruktur benötigt? Je weitläufiger das System, desto mehr Straßen, desto mehr Material wird verbraucht. Im vorhergehenden Kapitel wurde behauptet, dass jeder weitere versiegelte m^2 Boden zu einer Entfernung der Klimaziele führt. Im nachfolgenden Unterkapitel wird gezeigt, dass der Verbrauch von Boden in einem Spannungsfeld mit dem Ressourcenverbrauch steht und dass das Stapeln von Wohnfläche aktuell nur begrenzt sinnvoll ist.

2.1 Ressourcenverbrauch von urbanen Strukturen

Die Architektin Stefanie Weidner stellt sich in ihrer Dissertation [13] die Frage, wie für mehr Menschen mit weniger Material gebaut werden kann. Sie identifiziert die Parameter, die für eine ressourcenspezifische Betrachtung urbaner Strukturen relevant sind und untersucht die Veränderung des Ressourcen- und Flächenverbrauchs in Abhängigkeit der Bebauungsstruktur. Mithilfe von fünf Gebäudetypologien (siehe Abb. 9) und drei verschiedenen Städtebaulichen Dichten (siehe Kapitel 2.1.3), wurden 15 unterschiedliche Szenarien erstellt und deren Ergebnisse in Beziehung gesetzt.

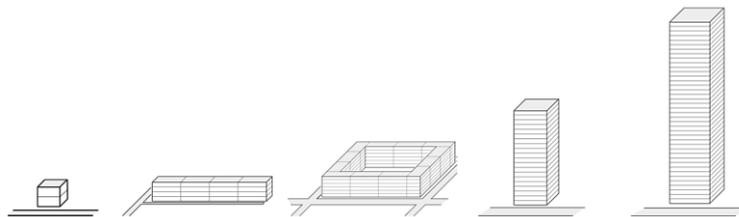


Abb. 9 – Übersicht der fünf unterschiedlichen Baukörper (BK) [13]

Die Materialzusammensetzungen der einzelnen Gebäudetypologien variieren. In Tab. 2 und Tab. 3 sind die prozentuellen Werte der Materialien angegeben, die für die Gebäude angenommen wurden. Für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) sind die Hauptbestandteile des Gebäudes auf mineralische Baustoffe wie Beton und Mauerwerk zurückzuführen. Bei den Hochhäusern ist der Beton mit 94,5 % und der Bewehrungsstahl mit 3,5 % der Hauptverursacher für den Materialverbrauch. [13] In der Analyse wurden folgende Tragwerksteile und umschließende Gebäudeelemente berücksichtigt:

- * Fundamente
- * Bodenplatten
- * Horizontale Tragelemente (Decken, Unter-, Überzüge)
- * Vertikale Tragelemente (Stützen, Wände, Aussteifungselemente)
- * Dach
- * Fassade

Im Untersuchungsrahmen nicht enthalten sind Tragwerksteile aus Holz. Es wurden also nur Massivbauten berücksichtigt. Grund dafür ist der Aspekt, dass es aktuell einen geringen Anteil an Holzbauten gibt. Somit ist noch keine aussagekräftige Menge an Projekten für eine statistische Auswertung vorhanden.

2.1.1 Ressourcenverbrauch von Gebäuden

Die Werte ergeben sich aus verschiedensten Referenzprojekten. In Abb. 10 und Abb. 11 sind die Ergebnisse in Abhängigkeit der Geschoße angegeben. Bei genauerer Betrachtung von Abb. 10 ist ein Knick des Graphen bei drei Geschoßen zu erkennen. Im weiteren Verlauf ist eine lineare Abnahme des Materialverbrauches pro m^2 Bruttogeschosßfläche (BGF) mit zunehmenden Geschoßen ersichtlich. Ein Korridor mit einer Bandbreite von $\pm 20\%$ soll die Variabilität der Gebäudegeometrie und der Ressourceneffizienz widerspiegeln. Die zwei Referenzwerte bei zwei Geschoßen und einem Materialverbrauch von ca. $1,25 \text{ t/m}^2$ BGF entsprechen dem nordamerikanischen Standard, der vom Leichtbau geprägt ist und im Europäischen Raum keine Anwendung findet. [13]

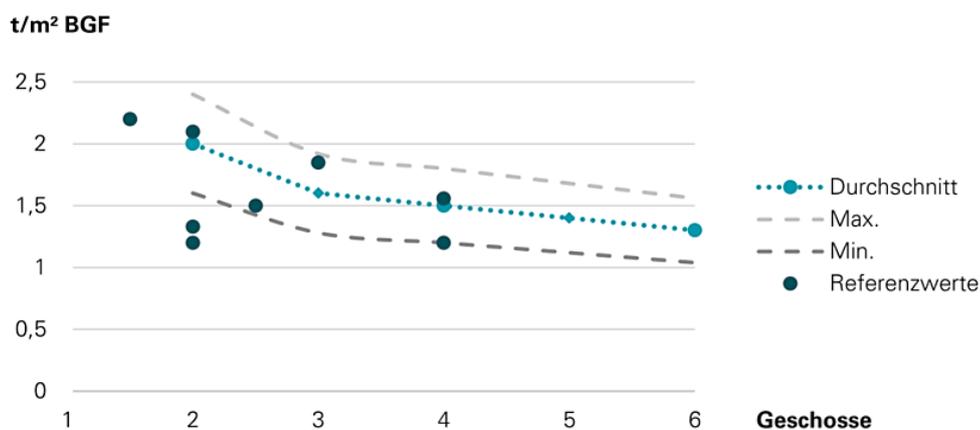


Abb. 10 – Korridor für EFH und MFH 2-6 Geschoße $\pm 20\%$ von den festgelegten Ausgangswerten [13]

In der These *Premium for height* beschreibt Fazlur Khan, Architekt und Bauingenieur, den Zusammenhang von Stahl, Gewicht und Geschoßanzahl. [14] Zwei Fälle werden unterschieden: der erste Fall ist jener, in der das Gebäude nur sein Eigengewicht und die aus der Nutzung resultierenden Lasten trägt. Der zweite Fall beschreibt alle Lasten aus dem ersten Fall, zuzüglich der Belastung des Windes auf das Gebäude.

Beton	Mauerwerk	Holz	Metalle	Sonstiges
57,0 %	34,9 %	3,5 %	2,2 %	2,4 %

Tab. 2 – Materialzusammensetzung von EFH/MFH [13]

Stellt man sich ein Diagramm vor, in dem sich auf der X-Achse die Geschoßanzahl befindet und auf der Y-Achse das Gewicht des Stahls angegeben wird, werden die beiden Fälle beschrieben. Im ersten Fall ist mit einer linearen Zunahme des Gewichtes mit der Anzahl der Geschoße zu rechnen. Die Lastabtragung funktioniert nur in vertikaler Richtung und die Last nimmt mit der Höhe des Gebäudes linear zu. Bei einer zusätzlichen Belastung in horizontaler Richtung, in diesem Fall aus der Windlast, ist eine Umlagerung des Systems zu erwarten. Es erfolgt eine Einspannung am Gebäudefuß und es werden zu den Normalkräften auch Querkräfte übertragen. Der Anstieg des Graphen im Diagramm erfolgt exponentiell.

Mithilfe dieses Zusammenhanges lässt sich das Gewicht der Konstruktion von Gebäuden, die mit einer Stahlrahmenkonstruktion errichtet worden sind, abschätzen. Im Hochhausbau wird heutzutage jedoch das Material Stahlbeton verwendet. Es wurde eine Formel entwickelt, die für die Abschätzung des Gewichtes von Stahlbetonbauten Verwendung findet. *DAR's Formula* beschreibt einen linearen Zusammenhang zwischen Betonverbrauch und Gebäudehöhe. [13] In der Formel nicht berücksichtigt sind das Gewicht der Fundamente und Fassadenelemente, die in Summe jedoch eine erwähnenswerte Größe haben.

Die Massenabschätzung der Fundamente von Hochhäusern ist im Wesentlichen von der Bodenbeschaffenheit abhängig. Hierbei ergibt sich ein Anteil von 5-20 % des Gesamtbetonbedarfs. [13] Das Gewicht der Fassade ist abhängig von der Massivität der Elemente. Es wird unterschieden zwischen gedämmten Außenwandelementen, die einen Beitrag zur Lastableitung haben, und transparenten Fassadenbereichen, die nicht zum Tragwerk zählen. In der Analyse wurde für die Fundamente ein Anteil von 15 % angenommen und für die Fassade 1,5 % des Gesamtgewichtes. [13] In Abb. 11 ist der lineare Verlauf von *DAR's Formula* mit den prozentuellen Anteilen für die Fundamente und die Fassade abgebildet.

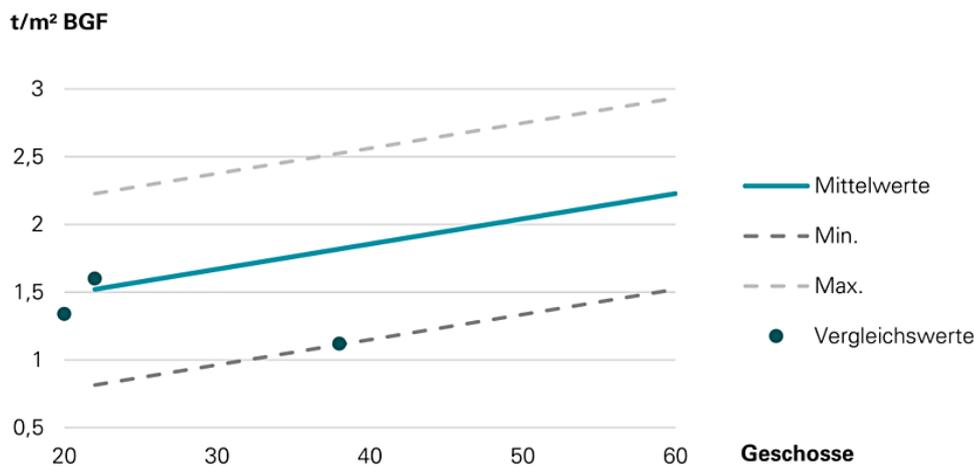


Abb. 11 – Gesamtgewichtsverlauf für Hochhäuser in t/m²BGF [13]

Beton	Stahl	Sonstiges
94,5 %	3,5 %	2,0 %

Tab. 3 – Materialaufstellung 20- und 40-geschoßiges Hochhaus [13]

2.1.2 Ressourcenverbrauch von Verkehrsflächen

Ein Großteil des Ressourcenverbrauches ist auf das Gebäude zurückzuführen. Der andere Teil ist für die Erschließung der Strukturen notwendig. In der Untersuchung begrenzt man sich auf die Straßen der infrastrukturellen Erschließung. [13] Im Straßenbau bedient man sich unterschiedlicher Deckschichten. Im innerstädtischen Bereich kommen oft Pflastersteine zum Einsatz. Für mittelschwere Belastungen und Frequenzen des KFZ-Verkehrs verwendet man Asphalt und Betonplatten für schwere Belastungen wie zum Beispiel auf der Autobahn oder in Busbuchten. Für den vorliegenden Fall beschränkt man sich auf Asphaltstraßen.

Aus den einzelnen Anforderungen an die Straße ergeben sich Bauklassen, die wiederum Anforderungen an das verwendete Material und Dicke der einzelnen Schichten stellen. Die hier gezeigten Bauklassen sind aus den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO) für Deutschland. Für die Ermittlung der Massen wurde die Gesteinskörnung

mit einem prozentuellen Anteil von 95 % abgeschätzt und die restlichen 5 % für das Straßenbaubitumen angenommen. In der nachfolgenden Tab. 4 werden die Gewichte der einzelnen Bestandteile abhängig von der Bauklasse dargestellt.

Bauklasse	Gesteinskörnung		Gesteinskörnung Frostschuttschicht	Gesamt
	Asphalt	Bitumen		
Bk _{3,2}	0,50 t/m ²	0,03 t/m ²	0,56 t/m ²	1,09 t/m ²
Bk _{1,8}	0,46 t/m ²	0,02 t/m ²	0,60 t/m ²	1,08 t/m ²
Bk _{1,0}	0,41 t/m ²	0,02 t/m ²	0,64 t/m ²	1,07 t/m ²
Bk _{0,3}	0,32 t/m ²	0,02 t/m ²	0,52 t/m ²	0,86 t/m ²

Tab. 4 – Ressourcenaufwand nach Bauklasse je m² Straßenfläche [13]

2.1.3 Städtebauliche Dichten

Es wurde ein Betrachtungsrahmen von 1 km² gewählt. In diesem quadratischen Baufeld wurden die Strukturen in einem gleichmäßigen Raster angeordnet und linienförmige Erschließungsflächen generiert.

Zur Anwendung kamen drei verschiedene Städtebauliche Dichten. Die niedrigste mit 400 Einwohner pro km², ist vergleichbar mit der burgenländischen Hauptstadt Eisenstadt, die etwa 350 EW/km² hat. [15] Die zweite Dichte mit 4000 EW/km² ist dem flächenmäßig zweitgrößten Wiener Gemeindebezirk Floridsdorf ähnlich. Mit 20000 EW/km² kann man den 7. Bezirk in Wien identifizieren. [15] Ein direkter Vergleich der Zahlenwerte ist nicht möglich, da natürlich gewachsene Städte in der Regel keine gleichmäßigen Raster aufweisen.

Für die Betrachtung wurde nur die Funktion Wohnen berücksichtigt. Es wurden keine gewerblich genutzten Flächen in den Erdgeschoßzonen untersucht. Ebenfalls wurden keine Reihenhäuser oder Doppelhäuser bei den Ein- und Mehrfamilienhäusern in Erwägung gezogen. Die Geschoßhöhe wurde anders als bei den Altbauten in Wien mit 3,5 m angenommen.

2.2 Ergebnisse und Diskurs

In Abb. 12 ist der Ressourcenverbrauch von Gebäuden und Verkehrsflächen in Abhängigkeit der drei verschiedenen Dichten in Tonnen pro Person dargestellt. Der größte Ressourcenverbrauch ist bei einer geringen Städtebaulichen Dichte und bei der Typologie des Einfamilienhauses zu erkennen. Der geringste Verbrauch pro Person ist bei der Blockbebauung und der größten Städtebaulichen Dichte vorhanden. Bei den Hochhäusern ist mit der steigenden Geschoßzahl auch mit einem Anstieg der verbauten Materialien zu rechnen.

Abb. 13 zeigt den dazugehörigen Flächenverbrauch von Gebäuden und deren Erschließungsflächen durch Straßen. Durch die gestapelten Geschoße der Hochhäuser ist der Flächenverbrauch der Gebäude sehr gering. Ebenfalls begünstigt sind die Erschließungsflächen, die gezielt die einzelnen Gebäude ansteuern und somit verhältnismäßig einen relativ geringen Beitrag leisten. Anders ist es bei den Einfamilienhäusern, die Straßenfläche und die Fläche des Baukörpers pro Person nehmen mehr als alle anderen Typologien ein. Ein klarer Trend ist aus der Abb. 12 und Abb. 13 zu entnehmen, je größer die Dichte, desto geringer das Gewicht der Materialien und die Fläche pro Person.

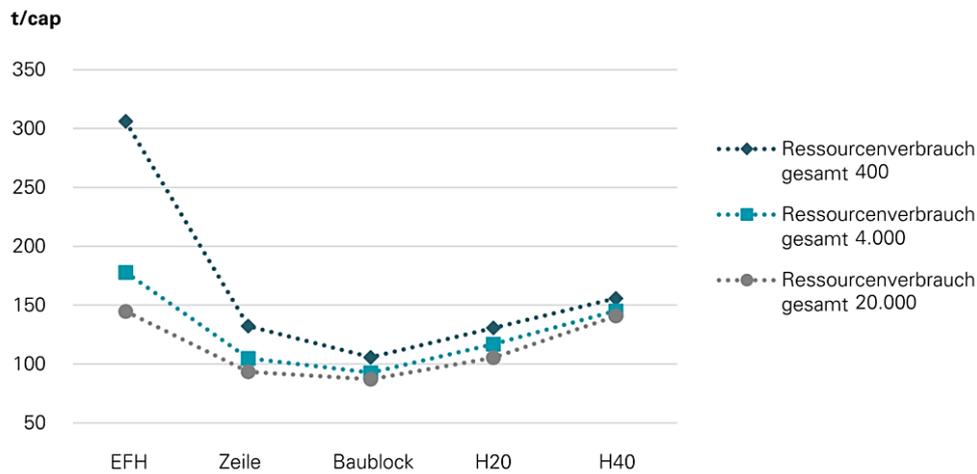


Abb. 12 – Ressourcenverbrauch der drei untersuchten urbanen Dichten [13]

Ein Vergleich von Flächen- und Ressourcennutzung am Beispiel der Dichte von 20000 EW/km² zeigt die Abb. 14. In allen verschiedenen Szenarien stellt die Typologie des Baublockes mit sechs Geschossen die Ressourcenschonendste Variante dar. Der vergleichsmäßig geringe Ressourcenverbrauch der Straße bei den Hochhauszenarien birgt keine erwähnenswerte Einsparung, denn der Materialverbrauch des Gebäudes ist um ein Vielfaches größer als der der Straße. Der Graph des Flächenverbrauchs zeigt ein klares Bild, je größer die Anzahl der Geschosse, desto weniger Fläche pro Person wird benötigt. Bei dem 40-geschoßigen Hochhaus ist der Wert am geringsten.

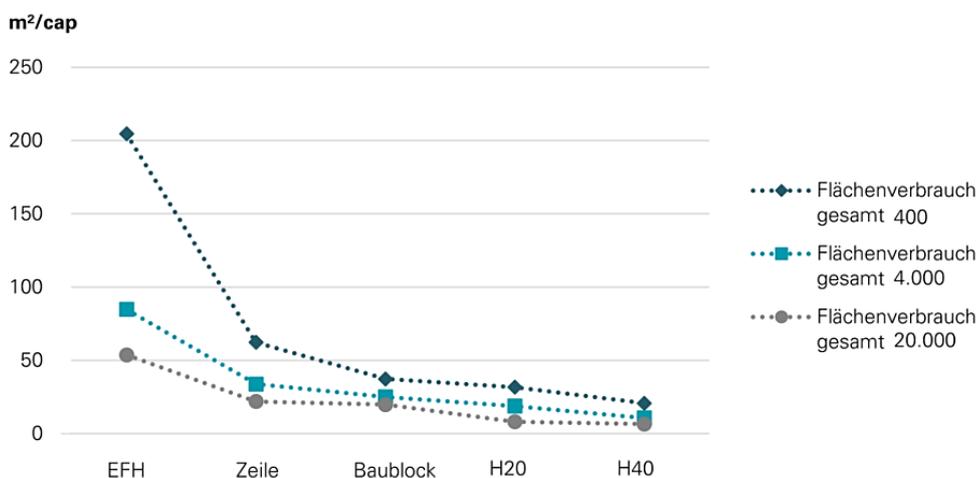


Abb. 13 – Flächenverbrauch der drei untersuchten urbanen Dichten [13]

Das Hochhaus ist durch seinen geringen Flächenbedarf, hinsichtlich der Erschließung und des Baukörpers selbst, am effizientesten. Jedoch ist es auch jene Typologie, die bei dem Ressourcenverbrauch weit oben liegt. Die Gebäudeeffizienz, also das Verhältnis von vermietbarer Fläche und der Bruttogeschoßfläche, nimmt natürlich mit der Höhe des Gebäudes ebenfalls ab. Das Einfamilienhaus ist durch seinen großen Flächenverbrauch und Materialverbrauch pro Person am ineffizientesten. Die Erschließungsflächen und Wohnflächen schlagen sich auf den Ressourcenverbrauch aus. Als gutes Mittel wurde in der Dissertation von Stefanie Weidner [13] das Mehrfamilienhaus mit sechs Geschossen in der Topologie eines Baublockes identifiziert. Der Flächenverbrauch ist höher als der der Hochhäuser, jedoch hat das MFH einen geringeren Verbrauch an Ressourcen.

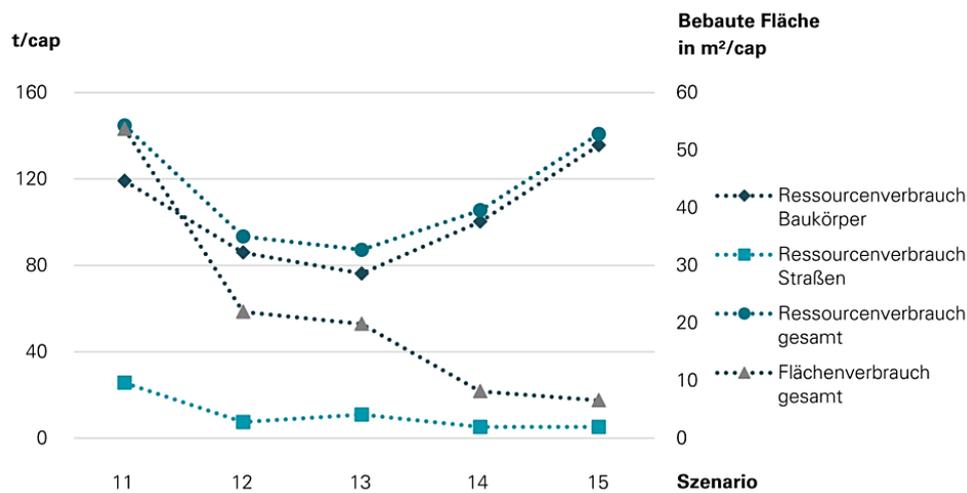


Abb. 14 – Ressourcenverbrauch für Gebäude und Straßen der Dichte 20.000 pro Person [13]

Eine dichte Bebauung hat die Folge der Schonung von Ressourcen. Dies zeigt sich bis zu einer Größe von einem sechsgeschoßigen Wohnblock. Bei einer weiteren Erhöhung der Geschoßanzahl steigt der Ressourcenverbrauch an und mögliche Einsparungen durch den geringen Verbrauch an Bodenfläche sind hinfällig. Um das Potential des Hochhauses nutzen zu können sind Optimierungsansätze gefragt, die auf eine Reduktion der Ressourcen abzielen.

In [16] werden zwei unterschiedliche Maßnahmen gezeigt. Im ersten Fall wird mithilfe von Hohlkörpern das Gewicht der Stahlbetondecken massiv reduziert. Dies hat die Folge, dass Bewehrungsstahl eingespart werden kann. Alternativ gibt es die Möglichkeit, die Decken mit dem Baustoff Holz in Hybridkonstruktionen zu verwandeln und so weiteres Gewicht einzusparen.

Es stellt sich die Frage in welchem Zusammenhang der Verbrauch von Ressourcen mit den Emissionen von Bauteilen steht. Die Entwicklung der Erderwärmung und der Treibhausgase, sowie die Gewichtung der Emissionen der einzelnen Baustoffe wurden im Kapitel 1 behandelt. Welche Folgen bzw. welche Emissionen besitzt ein Material, das in einem gewissen Umfeld einem Nutzen zugeordnet wird? Wie ist es möglich die Zusammenhänge zu beschreiben, die für die Erfüllung des definierten Nutzens notwendig sind? Diese Fragen lassen sich mithilfe einer Lebenszyklusbetrachtung und der Ökobilanz eines Gebäudes beantworten. Dazu mehr im Kapitel 3.1.3. In diesem Fall wurden lediglich Massen aus den Materialien Beton und Stahl aus empirischem Ansetzen generiert, die nur den Verbrauch einer Ressource beschreiben und nicht die ökologische Wirkung.

Im nächsten Kapitel wird eine andere Vorgehensweise beschrieben. Sie soll die Wirkung von Maßnahmen darstellen. Es wird die Frage gestellt, welche weiteren Einflüsse es auf den Ressourcenverbrauch im Wohnbau gibt.

2.3 Maßnahmen im Wohnbau

In einer Studie des Klimaschutzministeriums wurde mithilfe von Materialflussdaten ein Modell erstellt, dass die Synergie zwischen nachhaltiger Ressourcennutzung und Klimaschutz untersucht. [9] Dabei wurden verschiedene Szenarien erstellt und die Maßnahmen bewertet. Eines dieser Szenarien wurde dem Bereich Wohngebäude gewidmet. Die Maßnahmen wurden wie folgt definiert:

- * Eine Reduktion der Wohnnutzfläche pro Kopf bis 2040 um 15 %. Das hat die Folge, dass der Materialverbrauch pro Person sinkt.
- * Eine Steigerung der Lebensdauer von Gebäuden bis 2040 um 90 %. Dies ist durch einen qualitativen Neubau oder einer Bestandssanierung zu bewerkstelligen.
- * Eine Steigerung der Recyclingrate von anfallendem Abbruchmaterial auf 85 %, dabei ist die sinkende Verfügbarkeit von Abbruchmaterialien aufgrund der Steigerung der Lebensdauer der Gebäude berücksichtigt.

Um die Maßnahmen bewerten zu können, wurde ein sogenanntes Baseline Szenario entwickelt. Es stellt den Status quo dar und dient als Referenzgröße. Die Differenz des betrachteten Szenarios und dem Baseline Szenario spiegelt die Wirkung der Maßnahmen.

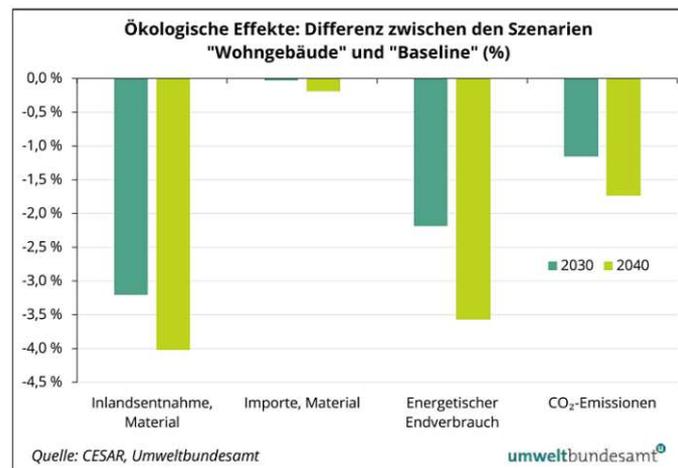


Abb. 15 – Maßnahmenwirkung im Bereich Wohngebäude, je Jahr [9]

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden. Die Ausgaben für Mieten sinken und der Überschuss des Haushaltsbudgets fließt in Gebrauchsgüter. Ein sogenannter Rebound-Effekt stellt sich ein. Die Maßnahmen, die eigentlich den Ressourcenverbrauch senken sollten, führen zu einer Steigerung in einem anderen Bereich. Durch die geringe Nachfrage an Baurohstoffen sinkt der Materialverbrauch im Inland und bei den Importen. Durch die verkleinerte Wohnnutzfläche und den geringeren Heizwärmebedarf sinkt der Verbrauch an fossilen Energieträgern wie Erdöl und Erdgas. Die genannten Maßnahmen verringern im Allgemeinen die CO₂-Emissionen, ein größerer Effekt kann durch das Abfangen des Rebound-Effekts erzielt werden. In der Abb. 15 sind die Ökologischen Effekte dargestellt.

Im dargestellten Diagramm bewegen sich die Differenzen bis zum Jahr 2040 im einstelligen Prozentbereich. Um einen Wandel herbeizuführen bzw. die Klimaziele zu erreichen sind radikalere Methoden von Nöten. Dem Autor ist bewusst, dass in der Simulation nur Annahmen getroffen worden sind und nur ein Teilbereich des Bauwesens abgebildet ist. Der Verlauf in der Realität kann immer noch zum Guten gewandt werden, benötigt aber Verständnis für die Materie und ein allgemeines Pflichtbewusstsein gegenüber den folgenden Generationen.

3 Ressourceneffizienz in der Tragwerksplanung

Das Kapitel 3 soll für die genannten Thematiken aus dem Kapitel 1 und 2 Anforderungen für den Bereich der Tragwerksplanung definieren. Werner Sobek ist Architekt, Bauingenieur und Gründer des Leichtbau Institut der Universität Stuttgart. Er macht mit seinen *17 Thesen zur Nachhaltigkeit* [17] auf den dringend notwendigen Wandel im Bauwesen aufmerksam. In seiner 12. These schreibt er:

„Wir können den Ressourcenverbrauch, den Energieverbrauch und die Emissionen im Bauwesen nur dann radikal reduzieren, wenn wir unsere Art zu bauen vollkommen verändern. Ressourcenarmes Bauen bedeutet konsequenten Leichtbau, bedeutet recyclinggerechtes Bauen, bedeutet Bauen mit Rezyklaten. Es bedeutet aber auch, pro Kopf weniger zu bauen. Unsere Gebäude emissionsfrei zu betreiben bedeutet eine völlige Abkehr von bisherigen Konzepten. Sollten wir nicht endlich eine Bautechnik entwickeln, die sich in den Rahmen des durch die Natur Gegebenen einordnet – anstatt ihn zu sprengen? Eine Bautechnik, die für viele Generationen gültige Lösungen schafft?“ [17]

Mithilfe der Prinzipien *Vermeidung, Reduzierung, Wiederverwendung und Optimierung* sollen Strategien entwickelt werden, die für eine ressourceneffiziente Tragwerksplanung notwendig sind.

3.1 Design Prinzipien und Strategien in der Tragwerksplanung

Die Struktur dieses Kapitels orientiert sich ganz im Sinne der Pyramide von der Tragwerksplanerin Elbers. [18] Sie zeigt am Fuße den Grundstein einer ressourcenschonenden Tragwerksplanung, das Bauen im Bestand. Auf diesem wird sukzessiv mit den Bausteinen eine Pyramide geformt. Diese beinhaltet die Strategien: weniger Bauen, Materialien wiederverwenden, Lasten minimieren und die Vorfertigung von Bauteilen ermöglichen.

3.1.1 Bauen im Bestand

Der Bestand ist ein riesiger Speicher von Ressourcen. Warum diesen nicht nutzen? Es gibt die Möglichkeit, die Tragstruktur beizubehalten und dem Gebäude eine neue Nutzung zu geben. Die anfallenden Abbruchmaterialien werden wiederverwendet und direkt auf der Baustelle zu Sekundärbaumaterial verarbeitet. Sekundärbaumaterialien sind Baumaterialien, die rezykliert worden sind, also Materialien, die eine sekundäre Nutzung nach ihrem Abbruch bekommen. Es ist kein Bauen mit Abfall, sondern ein Bauen im Kreislauf.

So einfach es auch klingt, müssen für die Erfüllung dieser Maßnahmen einige Punkte gegeben sein. Um die bestehende Tragstruktur nutzen zu können muss die Tragfähigkeit der einzelnen Bauteile und der Gesamtstruktur erfüllt sein. Ist das nicht der Fall, dann sollten mögliche Sanierungs- und Verstärkungskonzepte ausgearbeitet werden. Die Dauerhaftigkeit eines Bauwerkes spielt dabei ebenfalls eine Rolle, das Gebäude sollte nicht nur standhaft sein, sondern auch genutzt werden können. Für die nachträgliche Nutzung sollte es Maßnahmen geben, die eine Anpassung der Raumstruktur ermöglichen, ohne weitere große Eingriffe in das Tragwerk vornehmen zu müssen. Von Vorteil wäre eine flexible Grundrissgestaltung, um die Wünsche der Bewohner und Nutzer des Gebäudes zu erfüllen und den Lebenszyklus des Gebäudes zu verlängern. Solche Vorhaben scheitern in der heutigen Zeit an der Wirtschaftlichkeit. Das Potential der Sanierung und den Bestand als Materiallager anzusehen, wird oftmals in den Hintergrund gedrängt. [18] Wir müssen an unser Ziel denken, wir müssen radikal unsere CO₂-Bilanz verbessern. Jedes weitere Material, das wir zusätzlich verbauen, führt zu einem Anstieg der THG-Emissionen. Es sollten die Aspekte der Nachhaltigkeit mehr gewichtet werden und Lebenszyklusanalysen, die die Emissionen eines Bauwerkes ganzheitlich darstellen durchgeführt werden. Mehr dazu im Kapitel 3.1.4.

Bereits in der BPV (europäische Bauproduktenverordnung) in der Grundanforderung 7 ist die *nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen* beschrieben. [19] Sie stellt Anforderungen an die Vermarktung von Bauprodukten im europäischen Raum – anders als die OIB-Richtlinien, die zur Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften in Österreich dienen. Die OIB-Richtlinien gliedern sich nach den Grundanforderungen der europäischen Bauproduktenverordnung und sind in der Bauordnung der einzelnen Bundesländer für verbindlich erklärt worden. Die Grundanforderung 7 der BPV ist die Einzige, die noch nicht in den OIB-Richtlinien aufgenommen wurde. In der BPV wird beschrieben, welche Anforderungen ein Bauwerk hinsichtlich der Nachhaltigkeit erfüllen muss:

„Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere folgendes 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.“ [19]

Im Jahr 2021 wurde die Arbeit zur *OIB-Richtlinie 7: nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen* aufgenommen und bis 2023 sollte ein unverbindlicher Leitfaden für die Bundesländer zum Thema Nachhaltigkeit veröffentlicht werden. [20]

Oft sind Sanierungen mit einem erheblichen Aufwand in der Planungs- und Ausführungsphase verbunden. Die Unkenntnis der Materialien, die Abweichungen der Geometrie und eine mangelnde Dokumentation der Bauarbeiten erschweren das Vorhaben.

Abhilfe schafft hier der digitale Zwilling oder auch BIM, *Building Information Modelling* genannt. Bestandsdaten werden mithilfe von modernen Vermessungsprogrammen und Scanverfahren in das digitale Medium übertragen. [18] Somit kann der Fokus auf die Planung und Koordination gelegt werden und zeitintensive Bestandaufnahmen der Technik überlassen werden.

So wurde auch bei der Sanierung des Kaiser Franz Joseph Bahnhofes in Wien ein digitaler Zwilling erstellt. Mithilfe der dreidimensionalen Bestandsaufnahme konnten vorab Konfliktpunkte identifiziert werden und die Problemstellen noch in der Planungsphase gelöst werden. Das bestehende Gebäude wurde bis auf das Stahlbetonskelett rückgebaut und das Abbruchmaterial wurde recycelt. Die Sanierung des Bestandes und die Aufstockung des Gebäudes gingen dabei Hand in Hand. Die Werner Sobek AG hat im Auftrag des Immobilienentwickler Büro 6B47 vorab eine Nachhaltigkeitsstudie erstellt, die Ergebnisse wurden am 08.10.2021 in einer Pressekonferenz verkündet. [21] In dieser wird das fiktive Szenario des Abbruchs mit dem tatsächlichen Szenario des Rückbaues bis zum Gebäudeskelett und anschließenden Neubau verglichen. Es wurden die Massen der einzelnen Materialien ermittelt und mithilfe der ÖKOBAUDAT [22] die spezifischen CO₂ Äquivalenzwerte für die Ökobilanzierung bestimmt. Die ÖKOBAUDAT [22] ist eine öffentlich zugängliche Datenbank, die Informationen zu Umweltauswirkungen von Bauprodukten und Bauelementen bereitstellt. Die Datenbank enthält Ökobilanzen und weitere Umweltinformationen, die auf einer standardisierten Methodik basieren. Ziel ist es, eine umweltbewusste Bauweise zu fördern und eine Basis für eine ökologische Bewertung von Gebäuden zu schaffen. [22]

Im Anschluss wurden die grauen Emissionen der beiden Szenarien über den Lebenszyklus des Gebäudes verglichen. Graue Emissionen sind jene, die bei Rohstoffgewinnung, Herstellung, Transport, Wartung, Abriss und Entsorgung entstehen. Sie werden auch verbaute Treibhausgasemissionen genannt. Die rote Linie in Abb. 16 zeigt das fiktive Szenario des Abbruchs des bestehenden Gebäudes sowie den vollständigen Neubau. Zum Vergleich stellt die gelbe Linie den Rückbau bis

zur Tragstruktur dar und die Sanierung und Aufstockung. Die Differenz der beiden Szenarien beträgt 18625 t CO₂. Denselben CO₂ Ausstoß haben 12000 Autos in einem Jahr. [21]

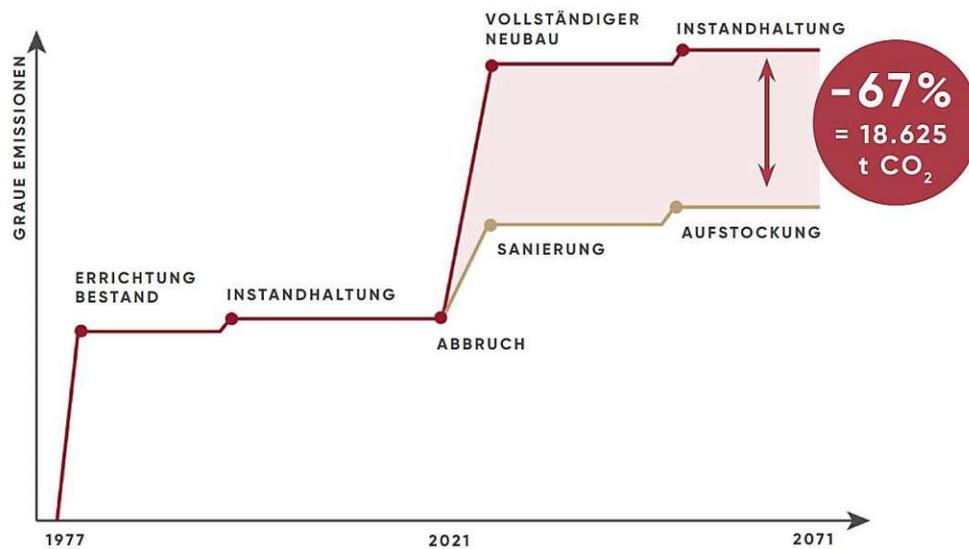


Abb. 16 – Ergebnis der Nachhaltigkeitsstudie, Vergleich vollständiger Neubau mit Sanierung [21]

3.1.2 Bauen im Übermaß vermeiden

Der Diderot-Effekt beschreibt das Ereignis, dass, nachdem ein Mensch einen Gegenstand erworben hat, dieser in den Zwang kommt, weitere Güter zu erwerben, um ein passendes Gesamtbild zu erhalten. [23] Dieser Effekt lässt sich auf verschiedene Teilbereiche im Leben anwenden. Das könnte der Kauf eines Kleidungsstückes sein, bei dem man im Anschluss realisiert, dass keine passenden Schuhe im Kleiderschrank vorhanden sind. Der Kauf einer Immobilie regt in weiterer Folge zum Kauf von Möbel an. Der Kauf eines weiteren Autos regt zum Bau einer größeren Garage an. Ein Konsumrausch, der sich nicht leicht bremsen lässt.

Im Kapitel 1.3.3 wurde bereits auf das Verbraucherverhalten aufmerksam gemacht. Im Bauwesen gibt es gerade einen ähnlichen Wandel. Überall wird gebaut, bestehende Gebäude müssen weichen, um neuwertigen Betonstrukturen Platz zu schaffen. Ist es einmal gelungen, die entstandene Baulücke mit einem Neubau zu füllen, folgt schon der nächste. Das Bauschaffen verbraucht viel zu viele Ressourcen und damit verbunden entstehen zu viele gasförmige Abfälle. Im Folgenden wird auf diese beiden Problempunkte eingegangen.

Die Mehrheit der heutigen Gesellschaft wünscht sich ein großes Haus, einen Garten mit schönem Ausblick und ein Grundstück möglichst in der Nähe einer Großstadt, um schnell mit dem Auto ein- und auszupendeln. Dies beansprucht sehr viel Platz, jedem einzelnen diesen Wunsch zu erfüllen. Das Kapitel 2 beschäftigt sich ausführlich mit dem Materialverbrauch von urbanen Strukturen und deren Verkehrsflächen. Dazu kommt, dass die Menschheit im Schnitt um 2,6 Personen pro Sekunde wächst. [17] Man müsste für immer mehr Menschen mehr bauen. Das ist nicht möglich. Wir haben zu wenig Ressourcen, um jedem einzelnen diesen Wunsch zu erfüllen.

Das Bauschaffen verbraucht zu viele Ressourcen. Weltweit ist das Bauwesen für 60 % des Verbrauches an Ressourcen verantwortlich. [17] Die Fällung von Bäumen in Wäldern für Bauholz, das Abtransportieren von Sand an Stränden oder das Absaugen des Sandes am Meeresgrund für die Produktion von Beton. Die Ressourcen sind begrenzt in ihrer Nachfrage.

Warum gibt es eine Sandknappheit? In der Wüste sind genug Sandkörner. Der Wüstensand ist fein, rund und glatt. Um gemeinsam mit dem Zement eine feste heterogene Masse zu schaffen, sind

große Bindekapazitäten notwendig. Der Zement bildet in der Hydratationsphase langfaserige CSH-Kristalle, die an den groben scharfkantigen Gesteinszuschlägen haften. Dies ist bei den kleinen, vom Wind abgeschliffenen Körnern aus der Wüste nicht möglich. Lediglich 5 % des vorkommenden Sandes ist für die Betonherstellung geeignet. [24]

Die geringe Energie, die bei der Produktion von Bauholz benötigt wird, und eine nachhaltige Forstwirtschaft tragen zu einer Reduzierung der Treibhausgase bei. Jedoch können sie allein nicht die aktuelle Nachfrage an Baumaterialien abdecken. Der Wald hat mehr als eine Aufgabe, er ist keine Baustofffabrik. Um eine nachhaltige Forstwirtschaft aufrecht zu erhalten, müssen mehr Bäume gepflanzt werden. Es ist dafür zu sorgen, dass genügend Vorrat vorhanden bleibt, um die Bindung von CO₂ zu ermöglichen. Steigen die Temperaturen, steigt auch die Wahrscheinlichkeit der Verletzbarkeit des Waldes. Schädlinge, Waldbrände und weitere Ereignisse können den Baumbestand dezimieren. Der Wald ist auf die Reduzierung der CO₂-Emissionen und die Einhaltung der Klimaziele angewiesen.

Das Bauschaffen produziert zu viel gasförmigen Abfall in der Errichtung, im Betrieb und auch im Rückbau. Bereits im Kapitel 1.3.2 wurden die einzelnen Treibhauspotentiale (GWP) der Baurohstoffe verglichen. Materialien, deren Herstellungsverfahren energieintensiv sind, haben einen großen Beitrag bei der CO₂ Bilanz. Gemeinsam mit den Emissionen, die aus dem Transport und dem Einbau auf der Baustelle resultieren, ergeben sie den Beitrag der Errichtung eines Gebäudes. Die Treibhausgase aus dem Betrieb werden in den Energie- und Wasserverbrauch, sowie in die Maßnahmen aus Instandhaltung und Instandsetzung geteilt. Nach der Nutzung werden die einzelnen Bauteile abgebrochen, wegtransportiert und recycelt oder entsorgt. In Summe haben alle diese Beiträge einen nicht unwesentlichen Anteil an der CO₂-Bilanz. Genauere Werte für Österreich sind dem Kapitel 1.1.4 zu entnehmen.

Einsparungsmöglichkeiten im energetischen Teil gibt es mit dem Umstieg auf emissionsfreie Energiequellen. Das ist beispielweise der solare Beitrag der Sonne, eine unerschöpfliche Energiequelle, die mit verschiedenen Speichermöglichkeiten rund um die Uhr verfügbar ist.

Der Emissionsbeitrag des stofflichen Teiles kann durch eine Wiederverwendung reduziert werden, indem man die Bilanz aufrechterhält und keine Abfälle produziert. Nach dem Ende der Nutzungsphase können die Bauteile vom Gebäude getrennt, aufgewertet und nach dem neuesten Stand der Technik wieder mit dem Tragwerk verbunden werden. Dies ist nur möglich, wenn in der Planung vorab eine zerstörungsfreie Verbindung berücksichtigt worden ist. Ein kompletter Austausch der thermischen Hülle wäre so ohne weitere Eingriffe in die Gebäudestruktur möglich. Im Kapitel 3.1.4 wird genauer auf die Anforderungen einer kreislauffähigen Konstruktion eingegangen. Durch eine flexible Grundrissgestaltung und versetzbare Trennwände wird die Nutzungsphase des Gebäudes erheblich verlängert.

3.1.3 Ökobilanzierung

In den vorhergehenden Kapiteln wurde bereits die Ökobilanzierung und der damit verbundene Begriff nachhaltig Bauen erwähnt. Aber was bedeutet das? Wann ist ein Bauwerk nachhaltig und welche Aspekte sind dafür ausschlaggebend?

Bei der Ökobilanzierung werden Material- und Energieflüsse berechnet. Über den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes entstehen Input-Flüsse, das sind die verwendeten Rohstoffe und Energiemengen. Auf der Gegenseite stehen die Output-Flüsse, die aus den resultierenden Abfällen und Emissionen bestehen. Alle Flüsse werden in ihre jeweilige Funktion unterteilt und potenziellen Umweltauswirkungen zugeordnet. [25] Um die Auswirkungen vergleichbar zu machen, werden sie in eine funktionelle Einheit umschrieben, das kann z.B. *1 Lebensjahr und 1 m² eines Gebäudes, die die zuvor definierte Funktion erfüllt* sein. Laut [25] lässt sich die Bilanzierung in vier Phasen einteilen:

- * Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
- * Sachbilanz
- * Wirkungsabschätzung
- * Auswertung

Im ersten Schritt wird das Ziel einer Ökobilanzierung definiert. Das könnte zum Beispiel die Optimierung eines Neubaus hinsichtlich des Treibhauspotenzials sein. Parallel dazu muss man sich den zu untersuchenden Teil der Bilanzierung überlegen. Wo setze ich meine Grenze? Welche Phasen der Herstellung, Nutzung und Entsorgung beziehe ich mit ein? Wie detailliert betrachte ich die Phasen? Oftmals dient die Ökobilanzierung der Entscheidungsfindung in einem frühen Planungsstadium. [25] Konkrete Angaben in dieser Phase sind Mangelware, weshalb es in diesem Stadium zu vielen Annahmen kommt. Nichtsdestotrotz sollte bei allen Typen, die miteinander verglichen werden, dieselben Grenzen abgesteckt sein, um einen wahrheitsgetreuen Vergleich zu ermöglichen.

Schritt zwei beinhaltet die Sachbilanz. Es werden die einzelnen Material- und Energieflüsse ermittelt. Sowohl die Menge als auch deren Allokation (Zuweisung) zu den einzelnen Funktionen. Dabei wird eine geeignete Methode zur Zuordnung der Daten benötigt. Einen Überblick schafft die ISO-Norm 14044. [26] Ein reiner Massenvergleich von zwei Baustoffen ist nicht zielführend. Besser ist es, wenn man für die statische Anforderung einer Decke (Funktion) mehrere Konstruktionen und Materialvariationen vergleicht. In manchen Fällen macht es auch Sinn, die Auswirkung der Anforderung zu überprüfen. [25] Nicht immer ist bei der Dimensionierung einer Decke die Spannweite der maßgebende Faktor. Im Holzbau sind oftmals Einflüsse aus Schall- und Brandschutz entscheidend.

Ein weiterer Aspekt ist, dass die Wahl der funktionellen Einheit maßgeblich die Ökobilanz beeinflusst. So ergeben sich bei 1 m² Energiebezugsfläche höhere Ergebnisse als bei 1 m² Geschoßfläche, da die Energiebezugsfläche ein Teil der Geschoßfläche ist. Bei einem Vergleich von Bilanzen, in denen dieselbe Bezugsfläche gewählt wird, heben sich die Unterschiede jedoch wieder auf.

Ebenfalls spielt die Energieversorgung eine Rolle. Vergleicht man in Abb. 17 die ersten beiden Szenarien so erkennt man, dass der Energieaufwand für den Gebäudebetrieb mit einer Wärmepumpe und einer PV-Anlage geringer ist als jener mit einer Gas- und Solarthermie Anlage. Die PV-Anlage speist den überschüssigen Strom ins Netz und kann der Bilanz gutgeschrieben werden.

Die Ökobilanzierung ist trotz detaillierter Beschreibung der einzelnen Phasen des gesamten Lebenszyklus mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Faktoren, die nicht definiert sind, sind mit Annahmen abzuschätzen. Die Dauerhaftigkeit von Materialien, Transportdistanzen von Baustoffen, Leerfahrten von LKWs etc. jeder dieser Annahmen ist genau zu dokumentieren und zu beschreiben. [25] Nur dadurch ist ein Vergleich der einzelnen Szenarien möglich.

Bei den Wirkungskategorien haben sich der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf und das Treibhauspotential als Hauptindikatoren bewährt. Der Primärenergiebedarf ist jener Bedarf, der für die Herstellung eines Produktes benötigt wird und wird in MJ angegeben. Das Treibhauspotential bezieht sich auf die anthropogenen Emissionen und die damit verbundenen Auswirkungen in der Erdatmosphäre. [25] Auf die anderen Wirkungskategorien wird in weiterer Folge nicht genauer eingegangen.

Wurden die Wirkungskategorien bestimmt erfolgt die Klassifizierung der Sachbilanzwerte. Treibhausgase wie beispielsweise CO₂ und Methan werden der Wirkungskategorie Treibhauspotential zugeordnet. Mithilfe der Charakterisierungsfaktoren wird die Wirkung von Methan und andere Emissionen in Bezug zur Referenzeinheit gesetzt. Das Ergebnis zeigt Abb. 17.

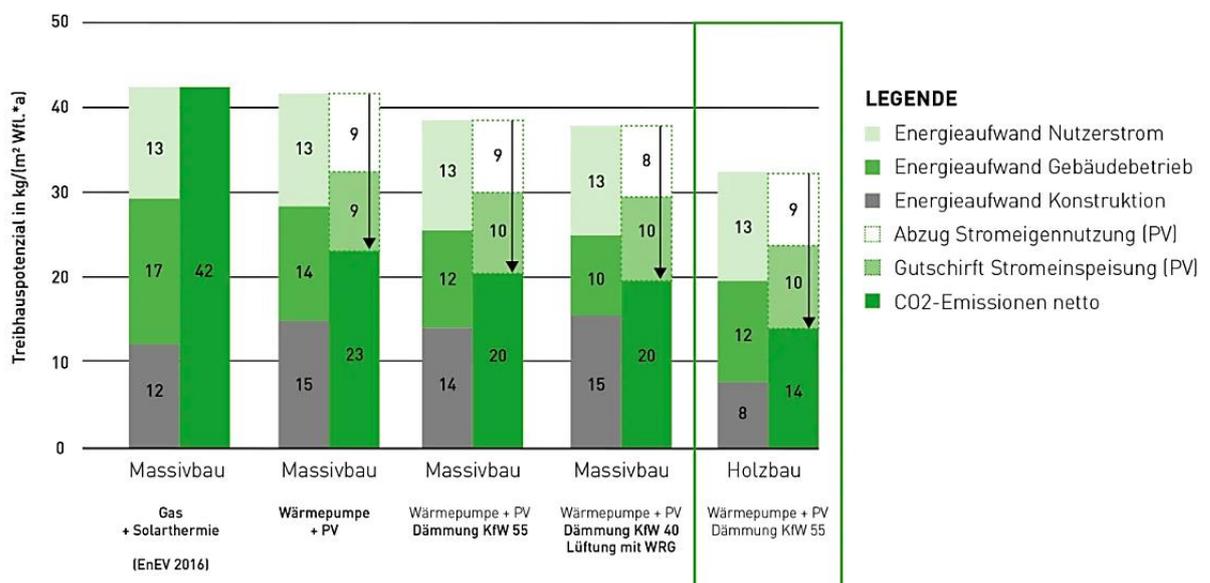


Abb. 17 – Ökobilanz von Gebäudekonzepten am Beispiel Neubau Mehrfamilienhaus [27]

Insgesamt wurden von fünf Mehrfamilienhäusern, die eine idente Geometrie aufweisen, das Treibhauspotential berechnet. Mithilfe einer Adaption des Energiekonzeptes, einer Optimierung der Dämmstärke und eines Wechsels des Konstruktionsmaterials auf Holz, konnte das Treibhauspotential von $42 \text{ kg pro m}^2 \text{ und Wohnfläche im Jahr}$ auf Netto $14 \text{ kg pro m}^2 \text{ und Wohnfläche im Jahr}$ reduziert werden. Zwei Drittel der CO₂-Emissionen eines Mehrfamilienhauses könnten allein durch die Anpassung dieser drei Parameter eingespart werden. [27] Dies ist wiederum nur möglich, wenn eine holistische Denkweise in die Planung von Gebäuden einfließt. Ein Zusammenspielen von bauphysikalischen Eigenschaften mit der Energieversorgung bis hin zur statischen Konstruktion des Gebäudes - in allen Bereichen wurden die Emissionen auf ein Minimum gebracht.

Ab wann ist ein Gebäude nachhaltig? Der Begriff Nachhaltigkeit kann verschiedene Bereiche abdecken. Das könnte eine regionale Produktion sein, Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, Materialien mit geringen Primärenergiegehalt oder langlebige gut recycelbare Werkstoffe. Das sind alles Aspekte, die zu einem nachhaltigen Gebäude beitragen. In diesem Kapitel wurde die Ökobilanzierung und deren Wirkung vorgestellt. Als Beispiel wurde die Steinbeis-Studie [27]

gezeigt, die die Optimierung eines Mehrfamilienhauses hinsichtlich des Treibhauspotenzials beschreibt. Sie besagt auch, dass wenn pro Person eine durchschnittliche Wohnfläche von 40 m^2 angenommen wird, sich ein CO_2 -Zielwert für ein klimaneutrales Gebäude zwischen *12 und 17 kg pro m^2 und Wohnfläche im Jahr* ableiten lässt. [27] Anders formuliert, wenn wir bis zum Jahr 2050 Wohngebäude bauen und umrüsten, die als Ziel ein Treibhauspotential von *12 bis 17 kg pro m^2 und Wohnfläche im Jahr* haben, lässt sich das Zwei-Grad-Ziel bis 2050 im Bereich Wohnen erreichen. Das ist die Definition eines nachhaltigen Gebäudes. Erreichen wir dieses Ziel haben wir ein klimaneutrales Gebäude geschaffen.

Die Stadt Wien hat die Ziele des klimaresilienten Bauens und der Ressourcenschonung in ihrem städtebaulichen Konzept bereits verankert. Bauteile und Materialien von Abrissgebäuden und bei Großumbauten werden bis 2050 zu 80 % wiederverwendet oder -verwertet. [28] Ebenfalls festgehalten werden die Ziele für die Treibhausgasemissionen der Sektoren Verkehr und Gebäude in Wien. Die Formulierung der Ziele lässt noch viel Interpretationsspielraum im Bereich der Gebäude und der Tragwerksplanung offen. Somit hat Frederic Waimer, Büroleiter von Werner Sobek in Wien, eine Beurteilungsskala entwickelt, die das Emissionsbudget eines Gebäudes im Verlauf der Jahre bis zur Klimaneutralität widerspiegelt. (siehe Abb. 18) Der Bereich Tragwerk wurde mit zwei Drittel und der Bereich Ausbau mit einem Drittel abgeschätzt. [29]

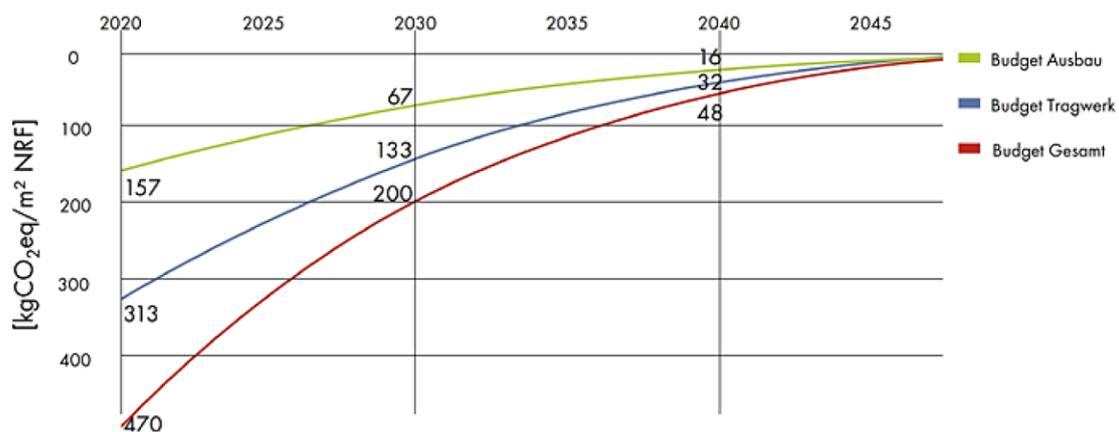


Abb. 18 – Beurteilung des Treibhausgasbudgets bis 2040 [29]

Die identifizierten Potentiale, für die Reduzierung der grauen Emissionen des Tragwerkes, wurden von Waimer [29] in die Materialsubstitution und in die konstruktiven Maßnahmen unterteilt. Er nannte unter anderem die Skelettbauweise sowie leichte Trennwände in Holz- oder Leimbauweise als Aspekt zur Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen. Weiteres ist die Verwendung von Decken, Wände oder Stützen in Holz notwendig. Jedoch stellt die prognostizierte Verfügbarkeit der Holzprodukte für das zukünftige Bauschaffen ein Problem dar. Waimer berechnet, dass knapp das 2,4-Fache im Jahr an Holz geschlagen werden müsse, um die klassische Stahlbetondecke in Zukunft mit einer Holzbetonverbunddecke (HBV-Decke) zu ersetzen. [29] Der übermäßige Verbrauch an Holzprodukten steht nicht im Sinne einer nachhaltigen Forstwirtschaft und müsse der zusätzliche Maßnahmen kompensiert werden.

3.1.3.1 Einflussparameter der Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung ist trotz aller berücksichtigten Faktoren mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. In erster Linie sollte sie nur als Vergleich zwischen zwei Varianten dienen, die dieselben Ausgangsparameter haben.

Bei der Erstellung einer Ökobilanz mit neuartigen Produkten sind oftmals nicht alle umweltbezogenen Daten verfügbar. So müssen Annahmen getroffen werden, die die Genauigkeit der Bilanzierung in Frage stellen könnten. Ein Problem ist auch oft die Varianz zwischen verschiedenen Datenbanken. [30] Produkte desselben Herstellers können verschiedene Werte und Lebenszyklusphasen beinhalten. Der Transport vom Werk bis hin zur Baustelle ist in der Lebenszyklusphase A4 in der Errichtung enthalten. Die Umweltproduktdeklaration enthält oftmals nur eine Schätzung der Transportdistanz. Es ist zu prüfen, ob der Transportweg der Baumaterialien einen Impact auf die Ökobilanzierung hat. Im besseren Fall ist die richtige Distanz in der Bilanzierung zu berücksichtigen. Das Transportmittel und die Ladungskapazität können ebenfalls einen Einfluss auf die Berechnung haben.

Neben den Einflussparametern in der Berechnung gibt es auch qualitative Aspekte, die einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Bilanzierung haben können. Das ist unter anderem die Nutzungsflexibilität. Um eine große Bandbreite an Nutzungen abzudecken, müssen die Bestandteile des Tragwerkes verschiedenen Nutzlasten standhalten. Um die Tragfähigkeit der Bauteile gewährleisten zu können erfolgt eine Bemessung nach der maximalen Lastfallkombination. Ist in der Phase der Nutzung das Bauteil nicht optimal ausgenutzt liegt eine Überdimensionierung vor. Der erhöhte Materialverbrauch schlägt sich auf die Ökobilanzierung nieder. Im fortgeschrittenen Alter des Bauwerkes ist oftmals Umnutzung ein Thema. Sollten sich die Tragwerksteile ohne weitere Maßnahmen der Nutzung fügen, wirkt sich dies positiv auf die Lebenszykluskosten des Gebäudes aus. In der Bewertung der Bilanzierung ist es schwierig, den Faktor der Nutzungsflexibilität zu berücksichtigen.

Im Holzmassivbau ist die statische Anforderung für die Deckenstärke oftmals nicht maßgebend. Durch die Homogenisierung des Baustoffes Holz sowie kurze Spannweiten ist die Tragfähigkeit einer Kreuzlagenholzplatte sehr hoch. In diesem Fall sind das Schwingungskriterium und das Schallschuttkriterium die treibenden Faktoren. Die Folge ist eine statisch überdimensionierte Deckenplatte. Um eine Ressourceneffiziente Planung und die Schalltechnischen Anforderungen zu gewährleisten, sind Ausgleichsmaßnahmen wie zum Beispiel Deckensegel anzubringen. [25]

Um die Abhängigkeit von Bauteilen abzubilden ist der komplexe Zusammenhang der einzelnen Vorgänge zu verstehen. Als Beispiel kann man eine Flachdecke betrachten. Die dünne Decke benötigt im Feldbereich nur wenig Material, im Auflagerbereich müssen jedoch aufwendige Durchstanzkonstruktionen entwickelt werden, um einen Kollaps der Decke zu vermeiden. [25] Die Reduzierung der Deckenstärke wirkt sich positiv auf die Bilanzierung aus, jedoch nur solange es sich mit der Durchstanzkonstruktion vereinbaren lässt. Eine Deckenkonstruktion mit einer großen Aufbauhöhe hat eine starke Abhängigkeit mit der Fassadenfläche, erhöht sich die Deckenhöhe erhöht sich der Materialaufwand der Fassade. Diese Zusammenhänge sind in der Berechnung zu berücksichtigen.

3.1.4 Bauen mit kreislauffähigen Konstruktionen

Die Energieeffizienz von Gebäuden war lange Zeit der entscheidende Faktor bei der Neuentwicklung von Baustoffen. [25] Die damalige Intention war es, weniger Energie und somit auch weniger Emissionen in der Nutzerphase zu generieren. Kapitel 1.1.4 hat die Treibhausgas Emittenten der einzelnen Bundesländer von Österreich zusammengefasst. Dabei wurde festgestellt, dass nur ein geringer Teil für die gebäudebedingten Treibhausgase verantwortlich ist und fast die Hälfte der Emissionen der Gruppe Energie und Industrie zuzuordnen ist. Der Betrieb ist ein Teil des Lebenszyklus eines Gebäudes. Jedoch sind die grauen Emissionen die treibende Kraft im Wohnbau und müssen reduziert werden. [17]

Die Reduktion der grauen Emissionen, betrachtet auf die Lebenszeit eines Gebäudes, ist prinzipiell durch die Verlängerung der Nutzung möglich. Je länger das Bauwerk genutzt wird, desto geringer wird der Impact der Herstellung. Es gibt die Möglichkeit bestehende Materiallager weiter zu nutzen oder neue Materiallager mit der Intention einer verlängerten Lebensdauer zu errichten. Das Kapitel 3.1.1 und 3.1.2 hat sich bereits dem Thema Bauen im Bestand und dem Nutzen von bestehenden Strukturen angenähert. Im Folgenden wird auf die Errichtung neuer Strukturen eingegangen sowie auf die Möglichkeiten, die es in der Planung für die Verlängerung der Lebenszeit eines Gebäudes gibt.

Die Nutzungsflexibilität kann ebenfalls zu einer Verlängerung der Lebensdauer des Gebäudes führen. Schlanke vertikale Bauteile und weitgespannte Decken tragen zu einer maximalen Nutzungseffizienz bei. Durch punktuelle lastabtragende Bauteile können Räume und Nutzungsflächen individuell aufgeteilt werden. Dabei wird die Tragstruktur des Bauwerkes nicht verändert und große Umbaumaßnahmen entfallen. Um eine eventuelle Erhöhung bei der Nutzlast zu berücksichtigen, sollten Tragreserven eingeplant werden. [31]

Das Trennen der Gebäudehülle von der Tragkonstruktion ermöglicht einen Austausch der Fassadenelemente. So könnte beispielsweise die thermische Hülle des Gebäudes im Nachhinein verbessert oder der Stand der Technik angepasst werden. Defekte Fassadenteile können ohne Probleme und weiteren Aufwand ersetzt werden. Der Austausch der Teile setzt eine demontagegerechte Konstruktion voraus. So ist es sinnvoll die einzelnen Schichten nach ihrer Lebensdauer zu gliedern und einen Austausch zu ermöglichen. Benedikt Krist, Absolvent an der TU-Wien, hat sich in seiner Diplomarbeit [32] intensiv mit der Entwicklung von Konstruktionsregeln für die Kreislauffähigkeit von Bauteilen beschäftigt. Er unterscheidet zwischen drei Kreislaufstrategien:

- * Direkte Wiederverwendung (DW)
- * Wiederverwendung nach Aufbereitung (WA)
- * Materialverwertung (MV)

Standardisierte Module bieten hierbei eine gute Möglichkeit, die Fertigungskosten und Montagezeiten gering zu halten. Das beschädigte Modul könnte demontiert werden und durch ein neues Modul ersetzt werden. Im Werk oder direkt auf der Baustelle wird es gereinigt, geprüft und an einem Gebäude wieder montiert. Sollte das Bauteil nicht im einwandfreien Zustand sein, erfolgt eine Aufbereitung oder eine Materialverwertung. Krist hat hierzu folgende neun Konstruktionsregeln für die verschiedenen Kreislaufstrategien entwickelt: [32]

- * Standardisierte und austauschbare Module in entsprechender Produktstruktur verwenden (DW, WA, MV)
- * Bauteile mit langer Lebensdauer gestalten (DW, WA)
- * Einfach und zerstörungsfreie Demontage ermöglichen (DW, WA)
- * Einfache Transportierbarkeit auch nach der ersten Nutzung ermöglichen (DW, WA)

- * Prüfkriterien festlegen und Prüfungen ermöglichen (DW, WA)
- * Reinigungsverfahren wählen und mit Bauteil abstimmen (DW, WA)
- * Aufbereitungsverfahren wählen und mit Bauteil abstimmen (WA)
- * Verwertbare Materialien wählen und aufeinander abstimmen (MV)
- * Auch bei kreislauffähigen Bauteilen Umweltfaktoren berücksichtigen (DW, WA, MV)

Die Kürzel am Ende zeigen die Anwendung der Regel für die Kreislaufstrategie. Krist bezieht sich hier allgemein auf alle Bauteile eines Bauwerkes. Bei der Wiederverwendung von Tragwerksteilen ist es etwas problematischer. Es muss durch eine Eignungsprüfung gewährleistet werden, dass die geforderten Eigenschaften gegeben sind. Weiteres muss eine gewisse Stückzahl vorhanden sein, um die Prüfung durchführen zu können. [18]

Die Trennbarkeit einer Verbindung lässt sich anhand des Grades der Beschädigung der anliegenden Bauteile messen. So können Schrauben für eine Holzverbindung lösbar sein, beschädigen aber die Bauteile beim Einschrauben. [32] Im Holzbau haben sich historische Steckverbindungen und Dübel-Verbindungen bewährt. Durch die sortenreine Verbindung ergeben sich keine zusätzlichen Maßnahmen beim Rückbau der Konstruktion und die Verbindung kann direkt in den Kreislauf zurückgeführt werden.

Um eine Verbindung im Nachhinein lösen zu können muss diese sichtbar und zugänglich sein. Je einfacher die Verbindung, desto schneller und unkomplizierter geht die Trennung der Bauteile vonstatten. Dies ist bei Konstruktionen, die nach der Nutzung wieder getrennt werden sollen von Vorteil, da sich über den Zeitraum der Nutzung Zwänge aufgebaut haben und das Lösen nur mit mechanischen Hilfsmitteln möglich ist.

Sollte eine Aufbereitung des Bauteiles nicht mehr möglich sein, dann sind die Einzelteile dem Stoffkreislauf wieder zurückzuführen. Um die Materialien wiederverwenden zu können müssen sie sortenrein getrennt werden können. Der Architekt Sebastian El khouli hat hierzu eine Verträglichkeitsmatrix der unterschiedliche Baustoffgruppen erstellt. [25] Dabei erfolgt eine Abstufung in drei Kategorien. Eine Verträglichkeit gegenüber der Baustoffgruppen und eine gute recyclebare Eigenschaft. Eine eingeschränkte Verträglichkeit, mit der Option eines Downcyclings und eine Unverträglichkeit bei dieser kein Recycling möglich ist. Hierbei ist zu erwähnen, dass nur unbehandelte Baustoffe betrachtet werden. Oberflächenbeschichtungen, wie zum Beispiel Lacke und Lackuren können die Recyclingfähigkeit vermindern oder gar verhindern.

		Hauptbestandteil (Überschusskomponente)						
Nebenbestandteil	Beton	Stahl	Flachglas	Gips	Holz (unbehandelt)	Kunststoff (Schaum)		
Beton	Monostoffbauteil	gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Beton vorhanden	kaum separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden	kaum separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden	schwer separierbar, Downcyclingtechnologien vorhanden	schwer separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden		
Stahl	gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Beton vorhanden	Monostoffbauteil	gut separierbar, Glas rezyklierbar (nur eingeschränkt wieder als Flachglas)	separierbar, Recyclingtechnologie für Gips und Stahl vorhanden	gut separierbar, Recyclingtechnologien vorhanden	separierbar, kaum Recyclingtechnologien vorhanden		
Flachglas	schwer separierbar, nur Downcycling möglich	gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Glas vorhanden	Monostoffbauteil	kaum separierbar	separierbar, eingeschränkt Downcyclingtechnologien vorhanden	separierbar, kaum Recyclingtechnologie vorhanden		
Gips	Gips ist ein Störstoff im Betonabbruch, nur sehr geringe Mengen zulässig wegen Sulfattreiben	gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Gips vorhanden	kaum separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden	Monostoffbauteil	schwer separierbar, Gips stört stoffliches Recycling und Verbrennen	schwer separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden		
Holz (unbehandelt)	kleine, stark verschmutzte Holzteile sind mitunter schwer trennbar; großformatige Holzreste unproblematisch	gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Holz vorhanden	teilweise separierbar, Holz ist Störstoff in Glasproduktion, Downcycling möglich	schwer separierbar, eingeschränkte Technologien vorhanden	Monostoffbauteil	separierbar, kaum Recyclingtechnologie vorhanden		
Kunststoff (Schaum)	schwer separierbar, bei sehr geringem Kunststoffanteil Downcycling möglich	teilweise trennbar, Kunststoff verbrennt beim Einschmelzen	teilweise separierbar, Kunststoff schmilzt im Produktionsprozess, Downcycling möglich	schwer separierbar, keine Technologien zum Recycling vorhanden	schwer separierbar, Kunststoff stört stoffliches Recycling, nur Verbrennen möglich	Monostoffbauteil (technisch rezyklierbar, kaum realisiert)		

■ verträglich, gut rezyklierbar ■ eingeschränkt verträglich, Downcycling möglich ■ unverträglich, kein Recycling möglich

Abb. 19 – Verträglichkeitsmatrix nach El khouli [25]

Das internationale Forschungsprojekt *REuse and REcycling of CDW materials and structures in energy efficient pREfabricated elements for building REfurbishment and construction (RE4)* hat sich mit dem Thema Kaskadennutzung auseinandergesetzt. [33] Eine Kaskadennutzung soll die mehrfache Verwendung eines Rohstoffes vor der Entsorgung ermöglichen. Anders formuliert, wie kann man die Nutzung von Altholz maximieren? Es wurde ein Rückbaukonzept für einen Holzdachstuhl entwickelt. Ziel ist es, die Ressource Altholz für vielseitige Zwecke zu nutzen und wieder in den Materialkreislauf einzubringen. In einem ersten Schritt wird das Altholz einer Schadstoffuntersuchung unterzogen, um abzuklären ob Teile des Holzes entfernt werden müssen, die Oberfläche abgeschliffen werden muss oder eine Weiterverwendung ohne Aufbereitung möglich ist. Metall-detektoren untersuchen das Holz auf Rückstände, die die Maschinen beeinträchtigen können. Die gewonnenen Baumaterialien werden in weiterer Folge dann ihrer Geometrie entsprechend zu weiteren Werkstoffen verarbeitet. Einen Überblick schafft die Abb. 20. Um das Prinzip der Wiederverwendung weiterzuführen, wird auf Industriekleber verzichtet und die Teile mittels Holzdübel oder -füllungen verbunden. [33] Somit ist eine Mehrfachnutzung für verschiedenste Nutzungsphasen gewährleistet.

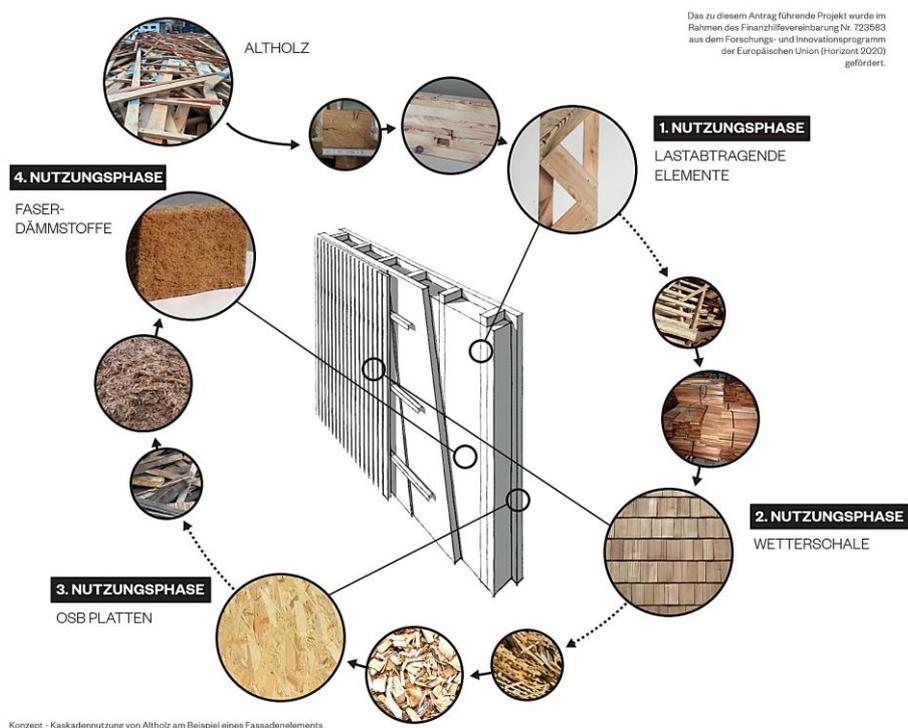


Abb. 20 – Kaskadennutzung von Altholz am Beispiel eines Fassadenelements [33]

Das übergeordnete Ziel der hier angeführten Vorhaben ist es, Abfall zu reduzieren oder wenn möglich erst gar nicht zu produzieren. Dabei wird zwischen materiellem und gasförmigem Abfall unterschieden. Ein Bauen mit kreislauffähigen Materialien und Konstruktionen minimiert den materiellen Abfall und verbessert die Umweltbilanz bezüglich des gasförmigen Abfalles. Dieser liegt nicht bei null, im Kapitel 3.1.3 wurde bereits der CO_2 -Zielwert für ein klimaneutrales Gebäude zwischen 12 und 17 kg pro m^2 und $\text{Wohnfläche im Jahr}$ abgesteckt. Das Verwenden von CO_2 reduzierten Materialien, also Werkstoffe, bei deren Herstellung eine geringer CO_2 Ausstoß vorhanden ist, ist Grundvoraussetzung für das Erreichen dieser Ziele.

Holzwerkstoffe bieten hierbei einen weiteren Vorteil, der Baum bindet das CO_2 aus der Atmosphäre und wandelt ihn in Sauerstoff um. Dieser Prozess ist Voraussetzung für das Wachstum des Baumes. Die Aufnahmefähigkeit ist abhängig von der Größe, dem Standort, der Bodenqualität und dem vorherrschenden Klima. Beim Verwerten des Baumes zu Holzwerkstoffen können der Ökobilanz des Gebäudes die umgewandelten Mengen an CO_2 gutgeschrieben werden. Jedoch macht das nur Sinn, wenn nach dem Erreichen des Lebenszyklus die Holzwerkstoffe wiederverwendet

werden und nicht thermisch verwertet werden oder verrotten. Bei dem Verbrennen von Holz oder bei dem Zersetzen der Holzbestandteile durch Bodenorganismen wird wieder CO₂ in die Atmosphäre ausgeschieden. Es handelt sich also nur um einen indirekten temporären Speicher an Kohlenstoffdioxid in den Holzwerkstoffen. Der arbeitende Faktor gegen die Klimaerwärmung ist das Ersetzen der fossilen Materialien und der CO₂-Senkenwirkung des Waldes. [34] Die Bäume fangen die CO₂ Belastung kurzzeitig auf und geben sie nach ihrer Lebensdauer wieder ab. Darum ist eine Aufforstung, sowie ein stabiles Klima für die Wälder und die darin wachsenden Bäume notwendig.

In der nachfolgenden Abb. 21 ist der Lebenszyklus eines Materials und eines Gebäudes zur Erläuterung dieses Vorganges dargestellt. Der Materiallebenszyklus beschreibt einen biologischen und einen technischen Kreislauf. Der Vollständigkeit halber wird hier die Wiederverwendung ebenfalls dargestellt. Der biologische Kreislauf endet entweder mit der Zersetzung oder mit der thermischen Verwertung des Rohstoffes. Die Phase beginnt erneut mit dem Rohstoffwachstum. Der technische Kreislauf hingegen bezieht als Ausgangsstoff den Sekundärrohstoff aus der Produktnutzung. Nach einer Aufbereitung kann dieser als neuer Baustoff verwendet werden.

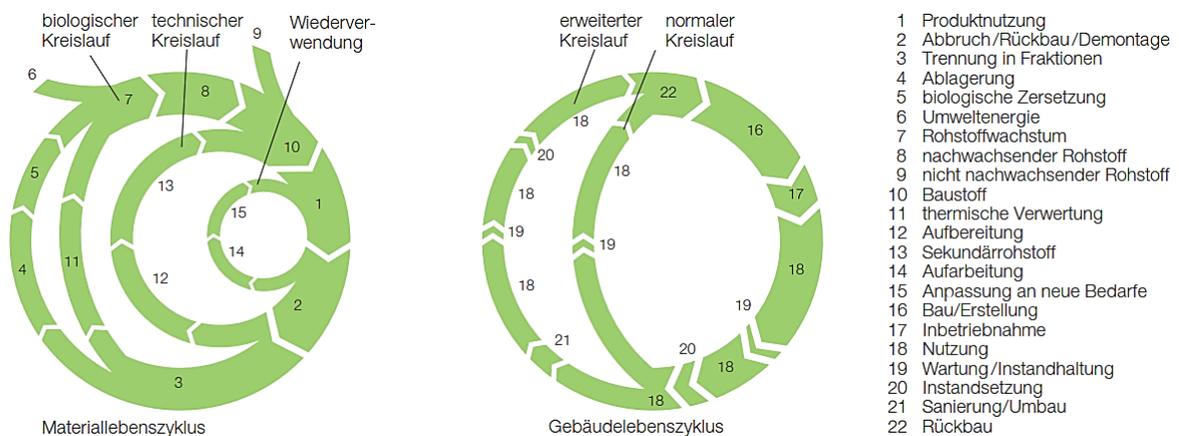


Abb. 21 – Schematische Darstellung von Material- und Gebäudelebenszyklus im Bauwesen [25]

Das Bauen mit kreislauffähigen Konstruktionen sollte hinsichtlich des Designs und der Ästhetik eines Gebäudes ebenfalls berücksichtigt werden, denn die Idee kann nur akzeptiert werden, wenn es auch optisch ansprechend ist. Hierbei sollte der Nutzen und die Intention dahinter nicht verloren gehen. Planerinnen und Planer müssen aus dieser Sicht vorausdenken können. Eine Publikation [19] des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie hat die Schlüsselbereiche der Kreislaufbauwirtschaft zusammengefasst:

- * Neue Geschäftsmodelle, Rücknahme durch Hersteller
- * Gebäude als Materiallager
- * Gesamthafte Lebenszyklusanalyse
- * Baustoffwahl, nachwachsende Rohstoffe
- * Ressourcenschonung, Sanieren statt Neubau, Lebensdauer verlängern, Vorfertigung
- * Rückbaubarkeit, trennbare Verbindungen, ökonomische Betrachtung
- * Wissensvermittlung
- * Stoffströme auf der Baustelle
- * Integrale Planung, Building Information Modelling
- * Rechtlicher Rahmen, Anreize und Förderungen

Einige dieser Punkte wurden bereits angesprochen. Weiterführend wird der Autor auf die einzelnen Punkte nicht mehr eingehen.

3.1.5 Strukturen optimieren

In der Literatur werden immer wieder drei verschiedene Ansätze der Optimierung von Strukturen angegeben. Im Folgenden werden die Begriffe vorgestellt und anhand ihrer Definition erläutert, wie sie zu einem ressourcenschonenden Bauen beitragen können.

Die *Suffizienz* beschreibt im Allgemeinen einen geringeren Verbrauch. Das könnte der Verbrauch an Material, an Energie oder ähnlichem sein. Anders, als bei einer Einsparung geht es nicht um den Verzicht, sondern um das Hinterfragen der Notwendigkeit selbst. Also wird die Frage gestellt: Welchen Bedarf hat der Mensch? Wieviel Raum wird benötigt? Welche Ausstattungsqualität ist notwendig? Viele dieser Fragen werden erneut gestellt. Bei der *Konsistenz* wird versucht auf andere Möglichkeiten umzusteigen. Es werden Alternativen getestet, die denselben Effekt haben, jedoch nicht so schädlich oder keine negative Auswirkung auf unsere Umwelt haben. Es wird Wert auf einen vermehrten Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen und erneuerbarer Energie gelegt. Die *Effizienz* beruht auf technischen Innovationen. Mithilfe neuer Technologien kann eine Leistungssteigerung erreicht werden. Prozesse benötigen weniger Energie, werden schneller und leistungsfähiger, produzieren weniger Abfälle und verbessern das Produkt.

Die naheliegendste Optimierung liegt in der Reduzierung der anfallenden Baumassen. Das Kapitel 2 hat sich umfangreich mit dem Vergleich der verschiedenen Bebauungsstrukturen und dem damit verbundenen Ressourcenverbrauch beschäftigt. Der große Maßstab wurde dabei berücksichtigt. Betrachtet man jedes Gebäude individuell, so lässt sich feststellen, dass bei der Herstellung jener noch Optimierungsbedarf besteht. Durch eine materialgerechte Konzeption der Bauteile könnten weitere Massen eingespart werden. Hierbei sollten die Grundsätze angewendet werden: Beton für Druckbeanspruchte Bauteile, Stahl für Zugbeanspruchte Bauteile und, für den Fall, dass keine Kräfte angetroffen werden, so sollten auch keine Materialien verbaut werden. Hohlkörperdecken, die mit Luft gefüllten Elementen versehen sind, bieten eine Einsparung von bis zu 33 %. [35] Jedoch wird durch den Materialmix die sortenreine Trennung der einzelnen Komponenten beim Abbruch des Bauwerkes erschwert.

Rippendecken verbessern die Tragfähigkeit der Decke mit nur einer geringen Erhöhung des Ressourcenverbrauches. Die Hohlräume zwischen den Rippen können für Installationszwecke genutzt werden. Erste Überlegungen hinsichtlich einer Rippen-Filigrandecke werden zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Diplomarbeit im NEST (Next Evolution in Sustainable Building Technologies) in der Unit STEP2 gemacht. Hierbei wird eine zweiachsig gespannte Geschoßdecke mithilfe von 3D-gedruckten Schalungselementen betoniert. Die Decke wird dabei in ihre tragenden Unterzüge aufgelöst und ausgedünnte Zwischenbereiche verbessern die Materialeffizienz. [36]

Durch einfache und direkte Lastpfade können bereits in der Planung aufwendige Abfangkonstruktionen eingespart und die Ressourceneffizienz verbessert werden. [31]

Eine sinnvolle Reduktion der Massen führt in weiterer Folge zur Reduktion der CO₂ Emissionen. Bereits bei der Materialwahl können viele Emissionen eingespart werden. Dazu mehr im Kapitel 3.1.5.2. Deckenplatten haben mit 60 % der CO₂ Bilanz des Tragwerkes die größte Auswirkung und somit auch das größte Optimierungspotential. [18] Es können also mit effizienten Tragwerksformen und kleineren Stützenrastern das Deckengewicht positiv beeinflusst und ein relativ großer Beitrag zur Optimierung der CO₂ Bilanz beigetragen werden.

Eine weitere Einsparungsmöglichkeit bietet das Minimieren der Nutzlasten bzw. das Definieren genauerer Anforderungen für die Nutzung des Tragwerkes. Bereits eine Reduzierung von 100 kg/m² Nutzlast zieht eine Einsparung von 10 kg CO₂e/m² nach sich. [18]

Im Folgenden wird zwischen der Optimierung im Gebäudelebenszyklus und der Optimierung im Materiallebenszyklus unterschieden. Beide sind zu berücksichtigen und miteinander abzustimmen, ob sich die Effekte gegenseitig verstärken oder verloren gehen.

3.1.5.1 Optimierung des Gebäudezyklus

Bei der Optimierung im Gebäudezyklus ist die Nutzung an sich der Leitindikator. [25] Sebastian El khouli stellt hierbei das Spannungsfeld der ökologischen Optimierung zwischen der Anzahl der Nutzungswechsel und dem Betriebsenergiebedarf dar.

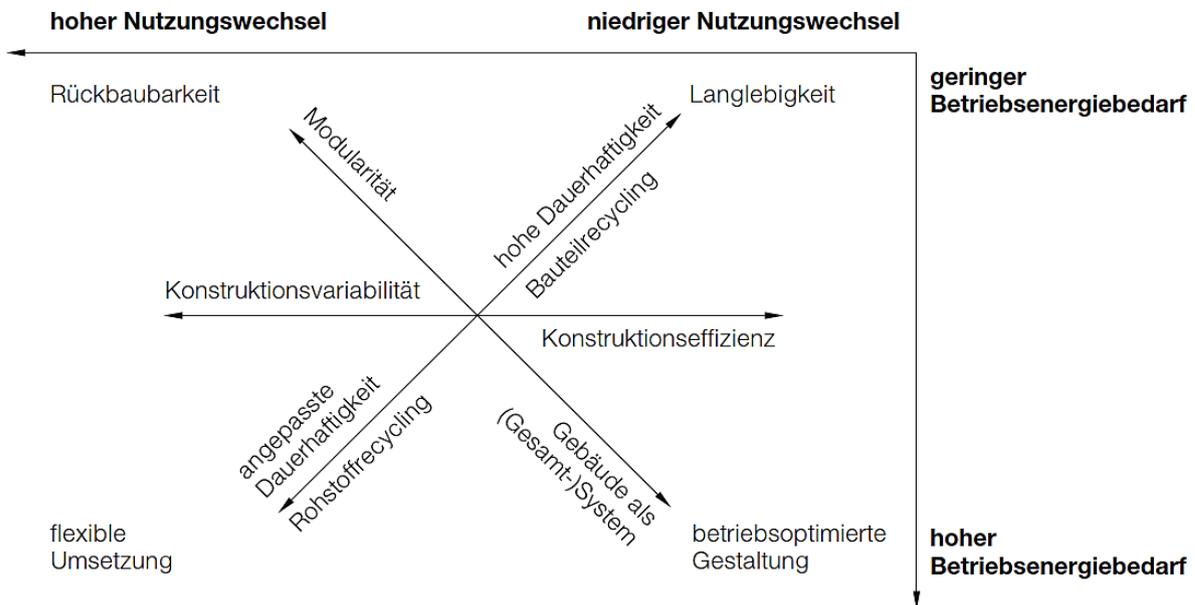


Abb. 22 – Möglichkeiten zur ökologischen Optimierung von Baukonstruktionen abhängig vom Betriebsenergiebedarf und dem Nutzungswechsel von Gebäuden [25]

Je höher der Energieaufwand für den Gebäudebetrieb, desto mehr sollte die Gebäudekonstruktion zur Senkung der Betriebsenergie beitragen. Das bedeutet wiederum einen höheren Ressourcenaufwand. Je geringer die Anzahl der Nutzungswechsel, bestimmt über den Lebenszyklus eines Gebäudes, desto besser sollte die Konstruktion auf die Langlebigkeit abgestimmt werden. Der Fokus der Rückbaubarkeit und der Variabilität der Konstruktion fällt in den Hintergrund. [25] Im Folgenden werden die Extreme verglichen, um die Grafik hinsichtlich der Tragwerkrelevanten Themen genauer zu analysieren.

Gebäude mit einem hohen Betriebsenergiebedarf und niedrigem Nutzerwechsel: In der Grafik wird eine betrieboptimierte Gestaltung dargestellt. Der Energieverbrauch für den Betrieb übersteigt jenen für den Bau und Rückbau der Konstruktion. Es erscheint sinnvoll, die Konstruktion an den Betrieb anzupassen und mithilfe der richtigen Materialien den Energiefluss zu optimieren. [25]

Gebäude mit einer langen Lebensdauer und geringem Betriebsenergiebedarf (Wohnen u. Büro): Eine lange Lebensdauer resultiert aus einem geringen Nutzungswechsel. Die Optimierung des Materialeinsatzes unter Berücksichtigung der Umwelteinwirkungen und der Dauerhaftigkeit des Gebäudes ist der Hauptfokus in der Planung. Dabei ist die Herstellungsenergie sowie die Langlebigkeit des Bauteiles zu berücksichtigen. Eine zeitlose Gestaltung reduziert Umbaumaßnahmen innerhalb und um das Gebäude und trägt zur Langlebigkeit bei. [25]

Gebäude mit kurzer Lebensdauer: Die Rückführung der Materialien stellt hier den wichtigsten Aspekt dar. Temporäre Bauten profitieren von einer modularen Gestaltung und einem reduzierten Aufwand von Materialien, um die Recyclingfähigkeit zu fördern. Der Betrieb der Gebäude fällt nicht ins Gewicht und kann vorerst vernachlässigt werden. [25]

Gebäude mit einem hohen Betriebsenergiebedarf und hohem Nutzungswechsel: Diese stellen den größten Ökologischen Verbrauch dar und somit auch das größte Optimierungspotential. Um eine Nutzungsänderung zu ermöglichen, benötigt es gewisse Reserven bei der Planung von Tragwerk und Gebäudetechnik. Diese Reserven wirken sich negativ auf die Ökologische Bewertung des Gebäudes aus. Nutzungsneutrale Raumhöhen ab 2,75m, ein leichter Innenausbau und eine gute Belastbarkeit der Nutzeroberflächen tragen zur Steigerung des Nutzungspotentiales bei. [25]

Unabhängig von der Nutzung, haben Gebäude weitere Optimierungspotentiale im Gebäudelebenszyklus. Wie bereits erwähnt führt eine sinnvolle Einsparung der Massen zu einer besseren Ökobilanz. Wird in der Planung zusätzlich die Baustoffvielfalt reduziert, birgt diese auch einige Vorteile. Die Vielzahl der Anschlussdetails wird auf ein Minimum gebracht, das in weitere Folge einen reduzierten Planungs- und Herstellungsaufwand mit sich bringt. Die wiederkehrenden Anschlüsse verringern den Verschnitt an Material und verursachen weniger Abfälle. Die Qualität des Gebäudes verbessert sich im Allgemeinen durch die konstruktive Reduktion. [25] In der Planung sollten ebenfalls die Instandhaltungsprozesse berücksichtigt werden. Das zerstörungsfreie Trennen, die leichte Zugänglichkeit und die Einsicht in die Verbindung der Bauteile fördern eine leichte Austauschbarkeit der beschädigten Elemente. [32]

3.1.5.2 Optimierung des Materiallebenszyklus

Die effiziente Nutzung von Materialien ist sowohl in der Planungsphase als auch in der Herstellungsphase der Baustoffe zu berücksichtigen. Um die ökologische Optimierung voranzutreiben ist ein Umstieg von mineralischen Baustoffen auf den Werkstoff Holz zu ermöglichen. Der geringe Primärenergiebedarf und das wesentlich geringe Treibhauspotential tragen zur Optimierung bei.

Der Werkstoff Stahl hat in seiner Herstellung ein großes Treibhauspotential, siehe zum Vergleich Abb. 8. Dies ist auf die energieintensive Herstellung mit nicht erneuerbaren Energieträgern zurückzuführen. Überlegungen hinsichtlich der Reduzierung der CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Stahl hat bereits die Firma *greentec steel*, eine Tochterfirma der voestalpine AG, angestellt. Es werden ab dem Jahr 2027 zwei Elektrolichtbogenöfen an den Standorten Linz und Donawitz errichtet. [37] Diese sollen schrittweise den Hochofen, der mit Kohle und Koks befeuert wird, ersetzen. Somit wird sich eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 30 % erhofft. Weitere Überlegungen hinsichtlich der Herstellung mit Wasserstoff werden bis 2050 angestrebt. [37] Konsistenz und Effizienz sind Möglichkeiten, die Strukturen zu optimieren. Sebastian El khouli hat eine Vergleichsrechnung aufgestellt, in der er die Stahlfestigkeiten eines Deckenträgers in einem Parkhaus variiert hat. Das Ergebnis ist in Tab. 5 abgebildet. Es wird eine Kostenreduktion von 17 % und eine Gewichtsreduktion von 24 % erzielt. [25] Betrachtet wurde hier nur der Träger, die positiven Effekte der Gewichtsreduktion wie beispielsweise die geringer dimensionierten Fundamente oder die Einsparung der Transportkosten wurden nicht berücksichtigt.

Der treibende Faktor beim Beton in der Ökobilanz ist der Zement. Abfallstoffe wie Flugasche und Hüttensande können der Zementmischung beigefügt werden und erreichen eine Treibhauspotential Reduktion von bis zu 65 %. [25] Die Beimischung sollte bereits in der Planung von Betonteilen berücksichtigt werden, so verlängert sich die Aushärtezeit des Bauteiles und Bauabläufe sollten daran angepasst werden. Positiv wirkt sich die Aushärtezeit auf die Rissbildung aus, eine geringe Wärmeentwicklung des Bauteiles kann die Rissinduzierte Bewehrung reduzieren. Ebenfalls sollte auf die lokale Verfügbarkeit der Zuschlagstoffe geachtet werden. Aufwendige Transporte von Abfallstoffen können die Einsparungen zu Nichte machen. [31]

Alternativ zur Zementeinsparung werden Recycling Betone (RC-Beton) verwendet. Es werden bauliche Restmassen genutzt, um die Zuschläge des Betons zu verringern. Die Zerstörung des Landschaftsbildes durch riesige Steinbrüche wird eingedämmt. Bauschutthalten und

Baustoffrestmassen werden reduziert. Jedoch erfordert die Nutzung von RC-Beton einen erhöhten Verbrauch von Zement. [25] Die Einsparung der Primärenergie durch die Verwendung von RC-Beton im Vergleich zu herkömmlichem Beton wird in Abb. 23 gezeigt. Auch hier gilt die Berücksichtigung von regionalen Produkten. Müssen Recyclingprodukte einen weiten Transportweg zurücklegen, können sie einen negativen Einfluss auf die Ökobilanz haben.

Deckenträger in Parkhaus	Variante 1	Variante 2
Stahlsorte	S235 JR+M gem. DIN EN 10025	S460 M gem. DIN EN 10025
Profil	IPE 600	IPE 500
Streckgrenze	235 N/mm ²	460 N/mm ²
Zugfestigkeit	360–510 N/mm ²	540–720 N/mm ²
Bauhöhe	600 mm	500 mm
Bauteilgewicht ¹⁾	2,12 t 100%	1,61 t 76%
Kosten ¹⁾	100%	83%
Gesamttonnage Deckenträger	530 t	403 t

¹⁾ Kosten- und Gewichtsangaben für einen einbaufertigen 16 m langen Träger einschl. Überhöhung, Knaggen, Kopfbolzendübeln, ganzen Kopfplatten und Feuerverzinkung, Stand August 2008

Tab. 5 – Vergleichende Dimensionierung einer Parkhausdeckenkonstruktion in unterschiedlichen Stahlsorten [25]

Um die Auswirkung von ressourcenschonenden Baustoffen zu veranschaulichen ist die Unterscheidung zwischen der Primärenergie (PEI), diese unterteilt sich in einen erneuerbaren, einen nicht erneuerbaren und einem Anteil Heizwert auf, und dem Treibhauspotenzial (GWP) notwendig. Umgangssprachlich zeigt der PEI die Energie, die notwendig ist, um das Gebäude zu errichten. Dabei wird Energie aus erneuerbaren, nicht erneuerbaren und dem verbauten Holz, das thermisch verwertet werden kann, bezogen. Das Treibhauspotential hingegen bezieht sich direkt auf die Umweltauswirkungen und beschreibt die Menge an Kohlenstoffdioxid äquivalent pro gewählte Einheit.

Vergleicht man eine Geschoßdecke aus Brettschichtholz mit einer Betonfiligrandecke, also einer optimierten Stahlbetondecke dessen Haupttragrichtungen in Rippen aufgelöst ist, erkennt man beim Treibhauspotential und bei der erneuerbaren Primärenergie wesentliche Unterschiede. Die Stoffmasse, das Versauerungspotential und die nicht erneuerbare Primärenergie sind im Wesentlichen prozentuell ähnlich. Das Treibhauspotential bei der Brettschichtholzdecke ist hier um 40 % geringer als bei der Betondecke. Grund dafür ist jener, dass bei der Ökobilanzierung von Holz das CO₂ nach der Nutzungsphase durch thermisches Recycling wieder in den natürlichen Stoffkreislauf abgegeben wird. Man geht also davon aus, dass beim Abbruch eines Gebäudes das Altholz sortenrein getrennt und in eine Verwertungsanlage gebracht wird und schließlich als Energielieferant für weitere Gebäude dienen soll. Das verbrannte Holz substituiert damit die Energieerzeugung durch fossile Brennstoffe. Dieser Vorgang wird immer mehr an Bedeutung verlieren, da die Energiebereitstellung effizienter wird. Deshalb sollte man das Recycling von Holzwerkstoffen in Zukunft in den Vordergrund bringen. [25] Die Verluste im Stoffkreislauf sind geringer als die im Energiekreislauf. Es sollte somit das Recycling im Stoffkreislauf vorgezogen werden. Ebenfalls hervorzuheben ist, dass die erneuerbare Primärenergie bei der Geschoßdecke aus Brettschichtholz größer als jene der Betonfiligrandecke ist. Einen negativen Einfluss auf die Ökobilanz hat dies nicht, da der Primärenergiebedarf mit erneuerbaren Energieformen abgedeckt wird.

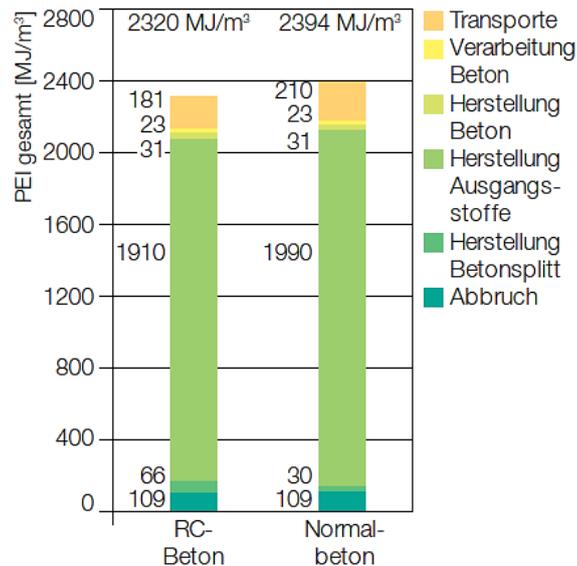


Abb. 23 – Vergleich des kumulierten Energieaufwands (KEA) von Recyclingbeton mit Normalbeton [25]

Der Rohbau beansprucht 80 % der Baumasse und 50 % der gebundenen Primärenergie. [25] Eine Optimierung bezüglich der ökologischen Betrachtung gestaltet sich hier mehr als sinnvoll. Der vorhergehende Absatz hat schon erste Überlegung hinsichtlich des Vergleiches der einzelnen Materialien mit sich gebracht. Hier wurden zwei verschiedene Bauteile, die denselben Nutzen erfüllen, verglichen. Ein direkter Vergleich wurde möglich gemacht, indem die stoffliche Masse skaliert worden ist und die Materialien Holz und Beton einen annähernd gleichen Ausgangswert haben. Vergleicht man eine Leichtbaukonstruktion mit einem Massivbau, so bildet sich eine Kluft zwischen den beiden Massen der Konstruktion. Betrachtet man jedoch den nicht erneuerbaren Energieaufwand (KEA_{ne}), so unterscheidet sich dieser um nur 35 %. Der Energieaufwand für einen Leichtbau ist dabei geringer. Je komplexer die Anforderungen, desto ähnlicher werden die beiden zufolge des nicht erneuerbaren Energieaufwandes. [25] Es lässt sich nicht allgemein beurteilen welcher der beiden Formen bzw. welcher der beiden Baustoffe einen geringeren Einfluss, bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche, auf den KEA_{ne} hat.

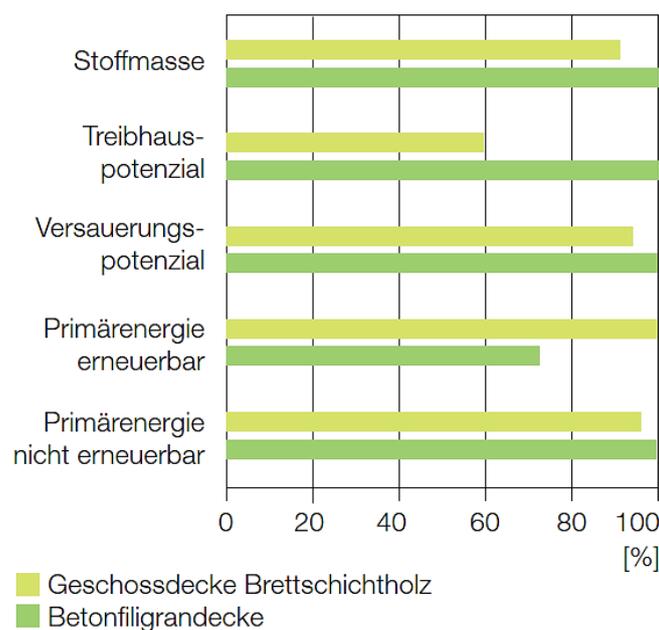


Abb. 24 – Beispielhafter Vergleich der Umweltwirkungen einer Geschoßdecke im Bürobau in Holz- und Betonbauweise [25]

Um ein optimales Ergebnis zu erreichen, ist die Betrachtung der konstruktiven Effizienz von Nöten. Hier wird das Zusammenspiel von Materialqualität und Einsatzzweck miteinander verglichen. [25] Bezieht man die PEI auf die vorwiegende Beanspruchung eines Werkstoffes, so lässt sich schnell die konstruktive Effizienz abschätzen. Als Beispiel könnte man den Werkstoff Beton nennen, er besitzt eine hohe Druckfestigkeit und einen relativ großen Primärenergieinhalt. Konstruktionsvollholz (KVH) besitzt in Faserrichtung eine geringere Druckfestigkeit und einen geringeren PEI. Vergleicht man die beiden in der Tab. 6 so erkennt man, dass der PEI pro Druckeinheit bei Beton geringer ist, also effizienter als beim Konstruktionsvollholz. Daraus kann man schließen, dass vorwiegend druckbeanspruchte Bauteile aus Beton hergestellt werden sollen, trotz ihres hohen Primärenergieinhaltes.

Werkstoff	PEI [MJ/m ³]	PEI/Druck [J/kNm]	[%]	PEI/Zug [J/kNm]	[%]	PEI/E-Modul [J/kNm]	[%]
Beton							
C 35/40 Beton	1764	50	83 %	551	100 %	0,05	76 %
Stahlbeton (2 % Stahlanteil)	4098	60	100 %	551	100 %	0,07	100 %
Ziegel, Werksteine							
Kalksandstein	2030	169	280 %	–	–	–	–
Mauerziegel	1663	139	229 %	–	–	–	–
Holz							
Konstruktionsholz, Kiefer	609	72	118 %	87	16 %	0,06	80 %
Brettschichtholz	3578	358	592 %	421	76 %	0,33	469 %
Metalle							
Stahl (FE 360 B)	188400	554	916 %	554	101 %	0,89	1281 %
wetterfester Stahl (WT St27-2)	204100	454	750 %	498	90 %	0,96	1388 %
Edelstahl (V2A)	411840	824	1362 %	824	149 %	1,96	2827 %
Aluminium (EN AW-7022)	753380	1838	3038 %	1838	333 %	10,76	15513 %
Floatglas	35000	50	83 %	1167	212 %	0,50	721 %

Tab. 6 – Primärenergieinhalt von Konstruktionswerkstoffen
in Abhängigkeit unterschiedlicher Lastfälle [25]

Ein Werkstoff bildet noch nicht das gesamte Bauteil ab, meistens besteht ein Bauteil aus mehreren Werkstoffen, die miteinander verbunden werden. Die Verbindung der Werkstoffe ist ein Faktor, der in dieser Berechnung nicht miteinbezogen wurde. Es gibt viele Faktoren, die bei der Baustoffwahl eine Rolle spielen. Diese können die Traglast, das Tragsystem, die Eigenlast und wie bereits erwähnt das Material und die Fügetechnik sein. [25]

Ein großes Optimierungspotential weist die Konstruktionshöhe auf. Hier können laut [25] einige Beispiele genannt werden. Die Profilierung von Flächen bietet eine einachsige Versteifung von Plattenelementen. Im Werk ist es möglich, die Elemente mit einer seriellen Fertigung herzustellen. Diese kann bei verschiedenen Materialien angewendet werden. Durch die Profilierung der Oberflächen entstehen Hohlräume, die sich wiederum positiv auf das Konstruktionsgewicht auswirken. Im Stahlbau haben sich Trapez-, Wellblech und andere profilierte Bauteile bereits bewährt.

Rippenkonstruktionen können Bauteile einachsig oder auch zweiachsig verstärken. Durch eine geringe Zunahme des Eigengewichtes besteht die Möglichkeit, die Eigenschaften der Decke gezielt an den Lastverlauf anzupassen. Rippenhöhe und -abstände können variiert werden, um einen optimalen Ressourcenverbrauch zu erreichen.

Mithilfe von Fachwerkkonstruktionen können die auftretenden Kräfte in Druck- und Zugstäbe aufgelöst werden. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Konstruktionshöhe. Die Tragweite kann, bei annähernd gleichbleibendem Konstruktionsgewicht, maßgeblich erhöht werden. Holz- und Stahlfachwerke sind hier beliebt. Im Stahlbetonbau werden meistens dünne Scheiben herangezogen und die Bewehrungsführung in der Scheibe orientiert sich an einem Fachwerkmodell. Durch die vollflächige Scheibe werden zusätzliche Gewichte des Betons aktiviert.

Sandwichkonstruktionen haben eine glatte Unter- und Obersicht. Je größer der Abstand zwischen den Außenschalen, desto größer ist die Tragfähigkeit. Verdoppelt man die Höhe, so steigt diese um das 3,5-fache. Im Holzbau sind aktuell sogenannte Kielstegplatten erhältlich. Diese besitzen einen Ober- und Untergurt aus KVH und einen Steg aus Sperrholz oder OSB-Platten. Sie werden im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle direkt montiert.

Ähnlich wie Stabtragwerke werden die Kräfte bei gekrümmten dreidimensionalen Flächen in ihre Druck- und Zugkräfte aufgelöst. Dies könnten beispielsweise formaktive Tragwerke, wie Membrankonstruktionen, sein. Stahlseile nehmen die großen Zugkräfte auf und leiten sie in die massiven Betonfundamente.

Das Beispiel der Membrankonstruktionen zeigt gut das Zusammenspiel eines gesamten Tragwerkes. An der Oberfläche befinden sich filigrane Elemente, die unter Vorspannung stehen und nur einen Bruchteil der Gesamtmasse ausmachen. Im Erdreich jedoch stehen massive Betonfundamente, die die Zugkräfte aufnehmen und in den Untergrund leiten. Es ist eine ganzheitliche Betrachtung der Bauteile notwendig, sonst erfolgt lediglich eine Verschiebung der ökologischen Wirkung und keine Entlastung. [25]

Um eine Optimierung im System zu erreichen sind die Kräfte, die durch das Tragsystem entstehen, entgegengesetzt bzw. kurzzuschließen. Fachwerkskonstruktionen bieten hier ein in sich geschlossenes System, die die Kräfte direkt über die Knoten in die einzelnen Stäbe zu den Auflagern leiten. Schließt man die Vertikalstäbe mit den Diagonalen eines Fachwerkes zusammen, so erspart man sich teilweise eine Überleitung der Kräfte im Gurt.

Eine andere Möglichkeit wäre das sogenannte Überdrücken von Knoten. Mithilfe des Gewichts einer Konstruktion können Reibungskräfte aktiviert werden. Diese Kräfte können genutzt werden, um Zugkräfte zu übertragen.

Fundamente, Decken und Dächer verteilen die Kräfte in der Horizontalen. Je weiter die Kräfte verteilt werden müssen, desto größer werden die vertikalen lastableitenden Bauteile beansprucht. Es ist ein Optimum zwischen Spannweite und Ressourcenverbrauch zu finden. Mischkonstruktionen sind hier immer wieder öfter gefragt. Leichte Holzdecken und massive Stahlbetonkerne, die das Gebäude aussteifen und die Erdbeben- und Windkräfte ableiten, reduzieren die Umweltbelastungen. [25] Der Ausbau des Gebäudes hat wesentlichen Einfluss auf den Rohbau. Es sind die Fußbodenaufbauten und die Gebäudehülle mit dem Tragsystem abzustimmen. Dabei sind die Synergien der einzelnen Baustoffe zu verwenden und nicht gegenseitig auszuspielen. So können etwa elastische Bodenbeläge den Trittschall reduzieren oder die Unterkonstruktion der Gebäudehülle vereinfacht werden indem geschoßhohe Plattenwerkstoffe verwendet werden. [25]

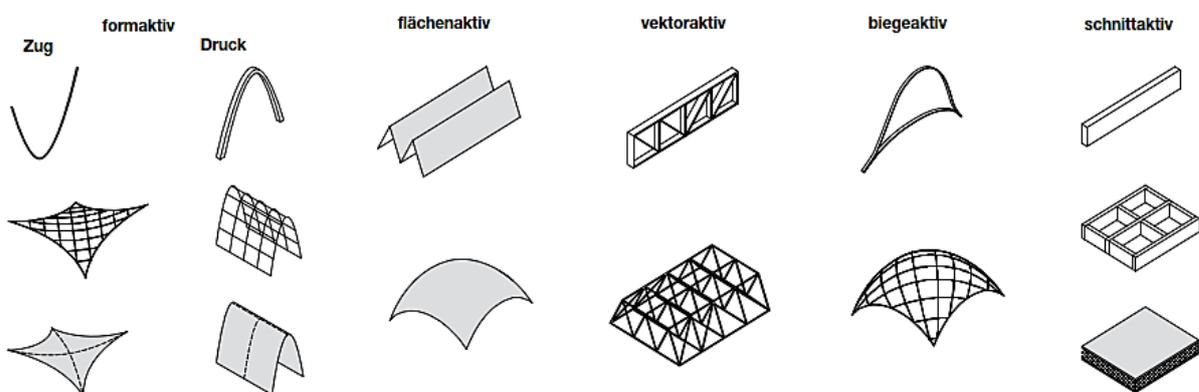


Abb. 25 – Exemplarische, effiziente Tragwerkstypen gegliedert nach Lastabtragung und Kraftfluss [25]

Es ist grundsätzlich wichtig, die Komplexität eines Gebäudes zu reduzieren und die Probleme bei der Ursache und nicht den Symptomen zu behandeln. So können die Unsicherheiten, die zu einer Überdimensionierung der Konstruktion führen, vorab beispielsweise durch das Abklären der Nutzlasten und der Aufbauten minimiert werden. In weiterer Folge könnten durch Offenlegung der Einflüsse auf die Decken die Spannweiten optimiert und ein effizientes Tragwerk und Raster definiert werden. Anhand dieses Rasters könnte dann die Grundrissgestaltung weiterentwickelt werden. Die Folge sollte ein optimiertes System sein, das der Anforderung der Planung entspricht und aus Sicht der Ökologie verträglich ist.

3.1.6 Vorfertigung von Bauteilen ermöglichen

Im vorhergehenden Kapitel 3.1.5.1 wurde die Aussage getroffen, dass im Wohnungsbau bzw. bei einem geringen Nutzungswechsel die Modularität der Konstruktion in den Hintergrund fällt. Jedoch stützt sich dieses Argument nur auf eine Sichtweise. Die Modularität und die Vorfertigung haben im Bauwesen hinsichtlich der Kosten und der Bauzeit große Vorteile. Im Folgenden wird auf einige dieser eingegangen.

Eine schnelle Errichtung und eine kurze Vorort Bauzeit reduzieren die Arbeitszeit und die Kosten für die Baustelleneinrichtung wesentlich. So werden fertige Bauteile mit dem LKW zur Baustelle geliefert und entweder gleich mittels einer Hebeeinrichtung versetzt oder möglichst im Schwenkbereich des Kranes platziert. Vertikale Bauteile werden mittels Schrägstützen gesichert und für die Lage richtig justiert. Horizontale Bauteile werden anschließend direkt auf den vertikalen Bauteilen gelagert und miteinander verschraubt, verbunden oder mittels Hilfskonstruktion gesichert. Um einen reibungslosen Betrieb der Baustelle zu garantieren, ist die Anlieferung mit dem Werk abzustimmen und gegebenenfalls ein Zwischenlagerplatz auf der Baustelle (sofern die Platzbedingungen auf der Baustelle dies zulassen) oder auf dem Werksgelände einzurichten.

Anwohner profitieren ebenfalls von der kurzen Bauzeit. Lärmbeeinträchtigungen und Verschmutzungen halten sich in Grenzen. Durch das schnelle Versetzen der Bauteile kann ebenfalls das Risiko von Bauschäden reduziert werden. [38] So ist bei einem Dachgeschoßausbau, nach dem Abbruch des Dachstuhles, der Bestand vorerst den Witterungen ausgesetzt. Mithilfe der werksfertigen Elemente kann die Gebäudehülle schnell ohne provisorische Abdichtungsmaßnahmen, die die Baukosten wieder in die Höhe treiben, hergestellt werden.

Eine gewerkeübergreifende Planung ist Voraussetzung für die Herstellung im Werk. Dabei können auch Kosten- und Ablaufoptimierungen durchgeführt werden. Bei horizontalen Bauelementen bietet sich die Integration von Technik an. [25] Hier kann das Beispiel vom Lifecycle Tower (LCT) in Dornbirn genannt werden.

Bei modularen Bauteilen wiederum ist es sinnvoller, eine Trennung von Gebäudetechnik, Ausbau und Hülle durchzuführen, um möglichst wenig verschiedene Module herzustellen. Dem Berliner Start Up *Urban Beta* ist es gelungen, einen *Mobility Hub* zu entwickeln, dessen Tragwerk aus einzelnen stabförmigen Elementen besteht. Diese Elemente formen einen Würfel, der mit Fassaden- und Deckenelementen ausgekleidet wird. Weiteres haben sie eine *Charging Bar* designed, die sich in den modularen Bau integriert und Strom liefert. [39] Somit haben sie Gebäudetechnik und Rohbau miteinander verbunden. Die provisorischen Mobilitätszentren lassen sich beliebig erweitern, ohne schweres Gerät abbauen und an einem neuen Standort wieder aufbauen.

Der modulare Bau bietet wie bereits erwähnt die Vorteile einer leichten Rückbaubarkeit, einer leichten Umnutzung und einer guten Revisionierbarkeit. Stehen Instandhaltungsarbeiten an, können beschädigte Bauteile vor Ort durch neue ersetzt werden. Es kommt zu keiner Beeinträchtigung der Anwohner und der Mangel ist in kurzer Zeit behoben. Das Element wird im Anschluss vom Hersteller erneuert, in seine Bestandteile zerlegt oder verwertet. Durch eine genaue

Erfassung der verbauten Elemente können die beschädigten Areale noch schneller und einfacher ausgetauscht oder erneuert werden. Ebenfalls sollte die Erfassung als Materialdatenbank angesehen werden, die in späterer Folge beim Rückbau und bei der Wiederverwendung der Bauteile oder Materialien als Erleichterung dienen soll.

Im Werk vorgefertigte Bauteile profitieren von einer hohen Fertigungsqualität und vermindern so das Risiko eines Bauschadens. Besonders im Holzbau bietet die witterungsunabhängige Vorfertigung Vorteile. Die Elemente können mit einer Einbaufeuchte von maximal 16 % problemlos eingebaut werden und ermöglichen ein schnelles Verschließen der Gebäudehülle. Sollte im Schadensfall Feuchtigkeit eindringen, so kann die Fehlstelle schnell lokalisiert werden und eine weitere Verteilung zwischen den einzelnen Elementen verhindert werden. [40]

Schlanke Elemente mit geringen Bautoleranzen sind das Ergebnis einer genauen und optimierten Planung und Herstellung im Werk. [25] Durch die Verwendung von hochspezialisierten Maschinen können Schnittabfälle reduziert und gleich im Werk weiterverwendet werden. Je größer der Vorfertigungsgrad, desto weniger Abfälle fallen auf der Baustelle an. Es erfolgt eine Einsparung der materiellen und zeitlichen Ressourcen. Für die Vorfertigung ist ein Abschluss der Planung von Nöten, nachträgliche Änderungen oder Adaptationen sind nur beschränkt möglich.

3.2 Referenzobjekte

Im folgenden Kapitel werden bereits umgesetzte Projekte analysiert. Sie wurden in einer Holz- und Holzmischbauweise errichtet. Die Bauten haben unterschiedliche Randbedingungen. Es werden Aufstockungen, Neubauten und Sanierungen gezeigt, alle mit der Gemeinsamkeit der Wohnnutzung. Mithilfe einer SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der unterschiedlichen Objekte betrachtet. Der Autor hat versucht, die wichtigsten Aspekte hinsichtlich des Lebenszyklus, des Modulbaues, der Tragwerksplanung und der Bautechnik aufzuzählen. Es wird mit der vorhandenen Information ein grober Überblick über die Projekte gegeben. Die daraus entwickelte Analyse umfasst die zu dem Zeitpunkt verfügbaren Daten. Abschließend wird mithilfe einer Skala eine subjektive Bewertung der Referenzobjekte und deren einzelnen Disziplinen abgegeben.

3.2.1 Wohn- und Geschäftshaus in Berlin

Eine 46 m lange Baulücke wurde in Berlin mit einer Holzmischbauweise aufgewertet. Das Gebäude besteht aus einem siebengeschoßigen Vorderhaus, einer rückwertigen Bebauung mit fünf Geschoßen und zwei freistehenden Treppenhäusern, die die Blöcke erschließen. Es wurde – trotz der strikten Konstruktionsvorgaben des Holzbaues – eine gemischte Nutzung geschaffen. [41] Sie umfasst Flächen mit einem Bistro, einer Begegnungsstätte, einem Kindergarten, einem Familienzentrum, Arztpraxen, Büros und Wohnungen.

Geschaffen wurde dies mit einer für den Holzbau verhältnismäßig großen Spannweite. Ein Skelettbau, der mit Holzstützen und Stahlträgern ausgeführt ist, bildet die primäre Konstruktion. Im Erdgeschoß sind die Stützen aus Stahlbeton gefertigt worden. Zwischen den Feldern spannen Holz-Betonverbund Decken mit einer einheitlichen Spannweite von fünf Metern. Die 14 cm dicken Brettstapelelemente wurden mit 12 cm bewehrten Aufbeton zu einer schubsteifen Platte geformt. [41] Der obere Flansch der Stahlträger schließt mit der Oberkante der Betonschicht ab, die Unterseite der Träger ist mit Gipskartonplatten bedeckt. Die Brettstapelelemente liegen auf dem unteren Flansch auf und bilden in Summe eine ebene Unter- und Obersicht.

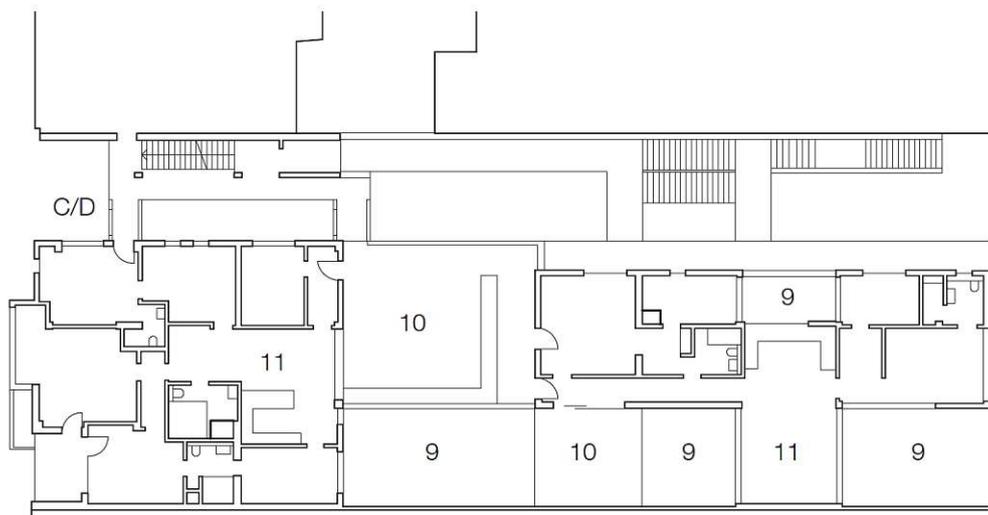


Abb. 26 – Grundriss OG, Wohnhaus Berlin [41]

BrettspertholzWände dienen der Aussteifung des Gebäudes. Sie wurden unterseitig mit Kerfen ausgeführt, um zwischen Decke und Wand eine schubsteife Verbindung herzustellen. Das Treppenhaus wurde vollständig aus Stahlbeton hergestellt, der Verbindungssteg zu dem Gebäudekomplex und die Tragkonstruktion ist in Abb. 27 dargestellt.

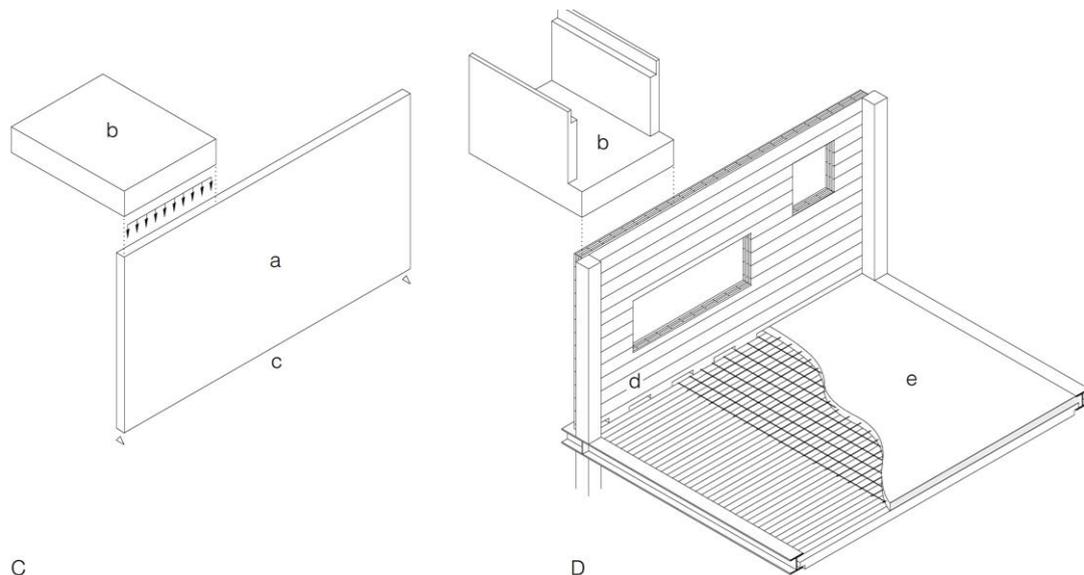


Abb. 27 – Statisches System, Wohnhaus Berlin [41]

Das Brandschutzkonzept lebt von der Flucht ins Freie. Damit ist gemeint, dass die Bewohnerinnen und Bewohner in einem Brandfall direkt aus ihren Privaträumen in das offene eigenstehende Treppenhaus flüchten können. Es erfordert keine Rauchgasabluftanlage oder zusätzliche Sprinkler. Die Holzkonstruktion des Gebäudes ist mit Gipsfaserplatten vor dem Brand geschützt. Lediglich die Untersicht der Decken ist mit einem transparenten Brandschutzanstrich versehen.

3.2.2 Wohn- und Geschäftshaus in Zürich

Das Konzept ist, dass alle Bewohnerinnen und Bewohner mit jeweils 2000 Watt und 1 t CO₂ pro Jahr auskommen sollen. Der Holzbau ist hier eine gute Voraussetzung für die Erfüllung der Vorgaben. Gebaut wurden sechs Gebäude die zueinander versetzt abwechselnd vier und sechs Geschosse aufweisen. [41] Durch die Vor- und Rücksprünge soll eine gute Belichtung und Belüftung der Wohnräume erreicht werden. Die Räume sind Richtung Park, südlich des Gebäudes, ausgerichtet. Im Norden befindet sich eine stark befahrene Straße.

Im Erdgeschoß ist ein Supermarkt, der in einem Stützenraster aufgelöst worden ist. Die Geschosse darüber folgen dem strikten Raster der Wohnräume. Die Wände bestehen aus aneinander gereihten raumhohen Fichtenbohlen. Sie werden mithilfe von Hartholzdübeln auf Schwellenhölzern gesteckt. Mittig der Bohle ist ein Querdübel, der sie in der Lage ausrichtet. Der Rückbau ist ohne Beschädigung möglich und die einzelnen Elemente können ohne Maschinen versetzt werden.

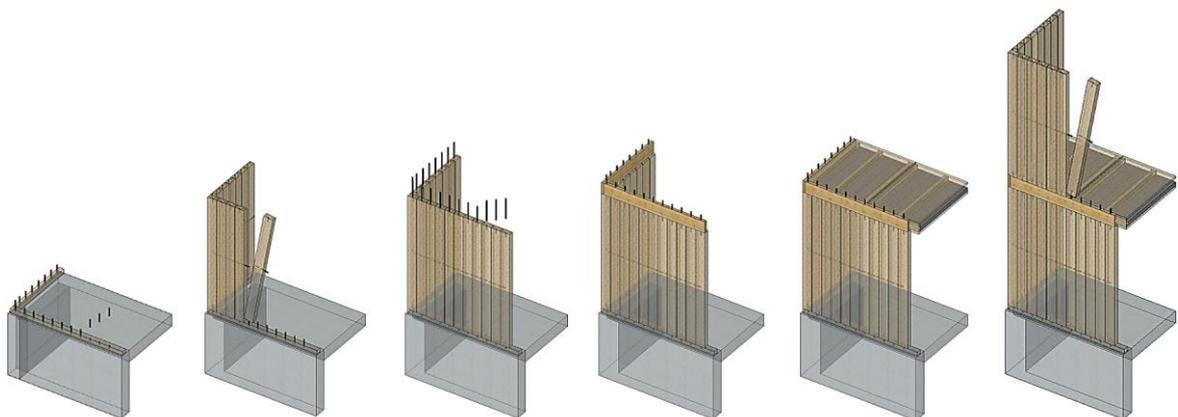


Abb. 28 – Aufbau der Bohlenwand, Wohnhaus Zürich [41]

Verkleidet ist die Wand mit einer vorgehängten Fassade aus Glasfaserbetonelementen, die ebenfalls ohne Beschädigung gelöst werden können. [41] Die Gebäudeaussteifung wird durch die Stahlbeton-Erschließungskerne realisiert. Das Sockelgeschoß ist ebenfalls aus Stahlbeton. Die Decken sind linear auf den Schwellen gelagert und führen zu keinem Querdruckproblem. Sie bestehen aus vorgefertigten Kastenträgern und bilden eine Scheibe, die die horizontalen Lasten zu den Aussteifungskernen leiten. Das geringe Gewicht der Kastelemente ist nicht ausreichend für den geforderten Schallschutz und wird mit einer Schlackenschüttung befüllt. Alle Holzoberflächen werden aus Brandschutzgründen mit Gipskarton beplankt.

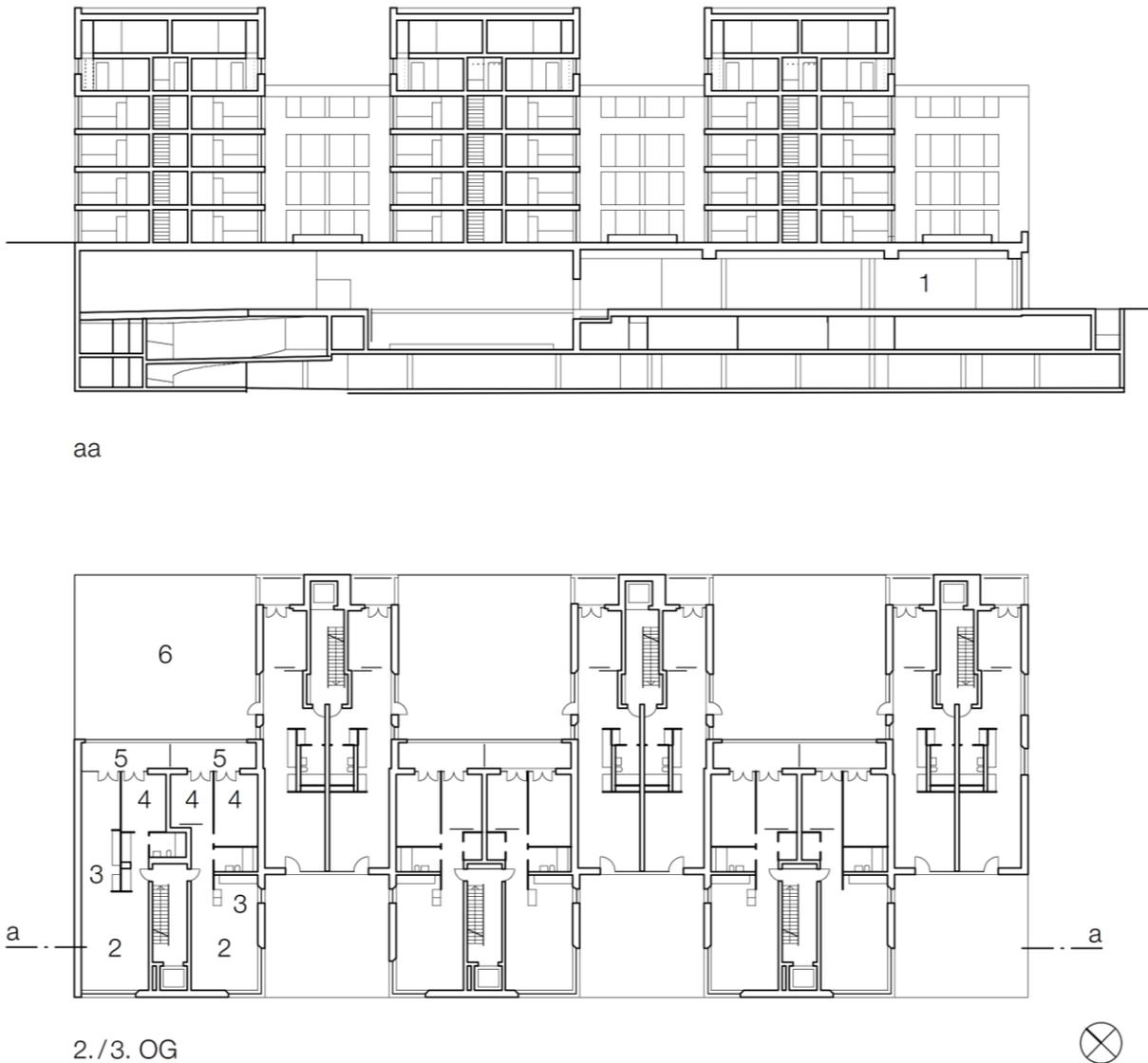


Abb. 29 – Grundriss und Schnitt, Wohnhaus Zürich [41]

Es sind dezentrale Einzelraumlüfter in die Fenster der Wohnungen integriert. Es wird auf die aufwendige Montage der Lüftungskanäle und brandschutztechnische Verkleidung verzichtet. Die Wärme wird durch die Abwärme der Kühlaggregate im Supermarkt und über eine Grundwasserpumpe erzeugt. Photovoltaikmodule auf dem Dach versorgen die Haustechnik mit Strom. [41]

3.2.3 Wohnanlage in Jyväskylä

In Finnland wurde ein achtgeschoßiges Gebäude aus Raummodeln errichtet. Der Sockel und die Fundamente wurden aus Stahlbeton errichtet, die restliche Tragstruktur besteht aus Brettsperrholzplatten. 150 Wohnungen wurden in drei Baukörpern untergebracht. Die Abb. 30 zeigt eines der drei Gebäude und einen Grundriss der Wohnung.

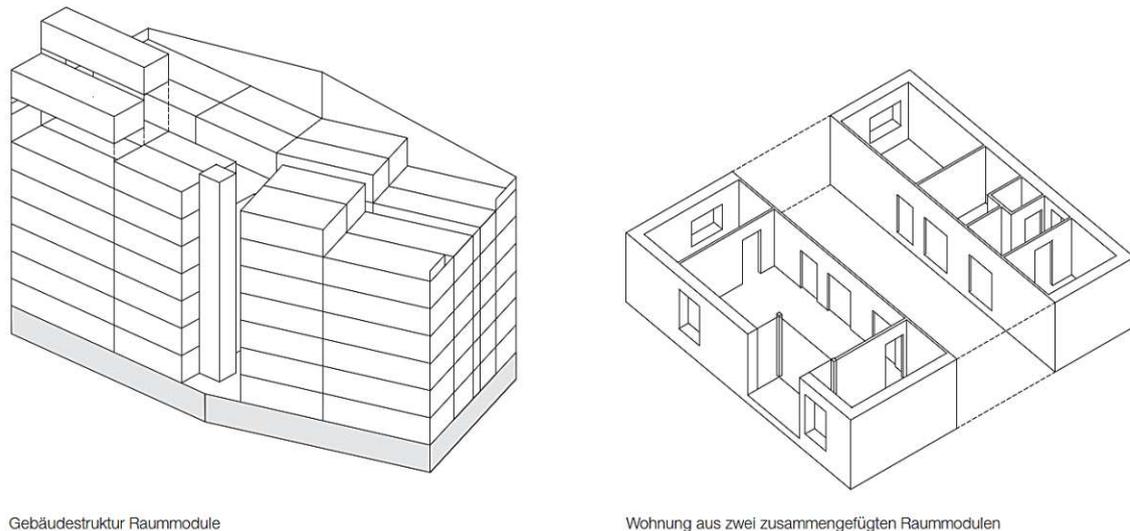


Abb. 30 – Übersicht Raummodule, Wohnanlage Jyväskylä [41]

Sie besteht aus zwei Raummodulen, die mittig mit einer zweischaligen Konstruktion verbunden wird. Fassadenseitig sind Schlafzimmer, Wohnzimmer und Loggia. Das zweite Modul nach innen gerichtet beinhaltet Bad, Küche und eventuell ein weiteres Zimmer. Die Wohnungen werden von einem Mittelgang getrennt, dessen Decke auf den Modulen aufliegt. Die Module bestehen aus Fichtensperrholzplatten und tragen horizontale und vertikale Lasten ab. Der Innenausbau und der Fassadenaufbau inklusiver Winddichtbahn sind bereits integriert. Auf der Baustelle wird nur die Holzverkleidung der Fassade angebracht. [41]

Die Module stehen auf einem Sockelgeschoß, gefertigt aus Hohldielendecken, die die PKW-Abstellplätze von den Wohnungen trennen. Der Brandschutz der Wände wird mit Gipsfaserplatten gewährleistet, die Holzoberfläche der Decken bleibt sichtbar. Eine integrierte Sprinkleranlage ist im ganzen Gebäude installiert.

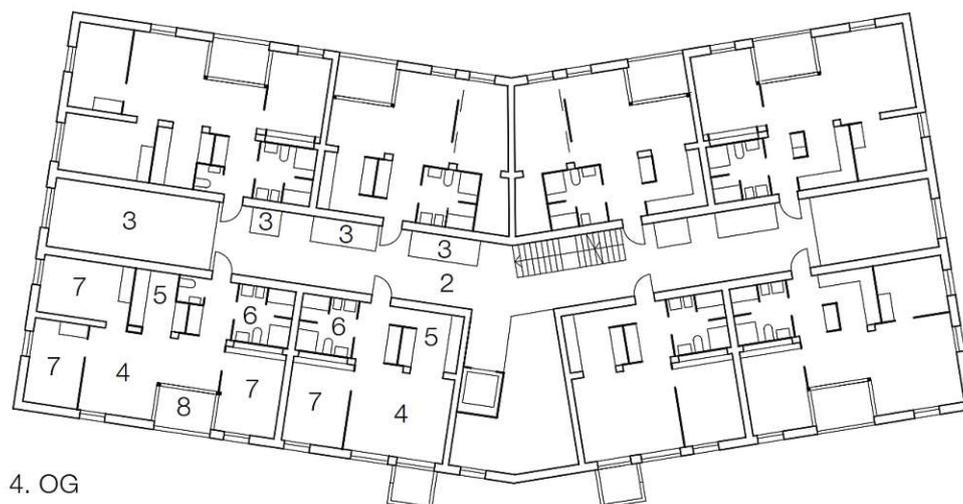


Abb. 31 – Grundriss OG, Wohnanlage Jyväskylä [41]

3.2.4 Dachaufstockung in Zürich

Ein ehemaliges Fabrikgebäude eines Lüftungsherstellers aus dem Jahre 1948 wurde saniert und aufgestockt. Es wurde bereits eine Revitalisierung und eine Umnutzung des Dachgeschosses in früheren Jahren durchgeführt. Die zwischenzeitige Nutzung beinhaltete eine Büro- und Laborfläche. Die neue Planung umfasste einen Abbruch des Attika- und des obersten Vollgeschosses. Drei neue Stockwerke wurden im Anschluss aufgesetzt, somit konnte das Gebäude um insgesamt eine Ebene erweitert werden.

Die neuen Geschosse wurden in einer Holzleichtbauweise errichtet, da sich das Gebäude bereits an der Belastbarkeitsgrenze befand. [41] Die Einleitung der Kräfte aus der neuen Struktur musste gleichmäßig in den Bestand eingeleitet werden. Ein vorhandener Unterzug, der in der Gebäudemitte liegt, wurde ertüchtigt und in diesen wurden die Kräfte eingeleitet. Um die verschachtelte Struktur des Obergeschosses abzufangen, wurden Stahlträger eingezogen, die von der Mittelwand bis zur Außenfassade spannen. Über den filigranen Stützen der Fassade wurde ein lastverteilender Stahlträger, gebettet auf einem Neoprenlager, zur Verteilung der punktuellen Lasten aus den Abfangträgern verlegt.

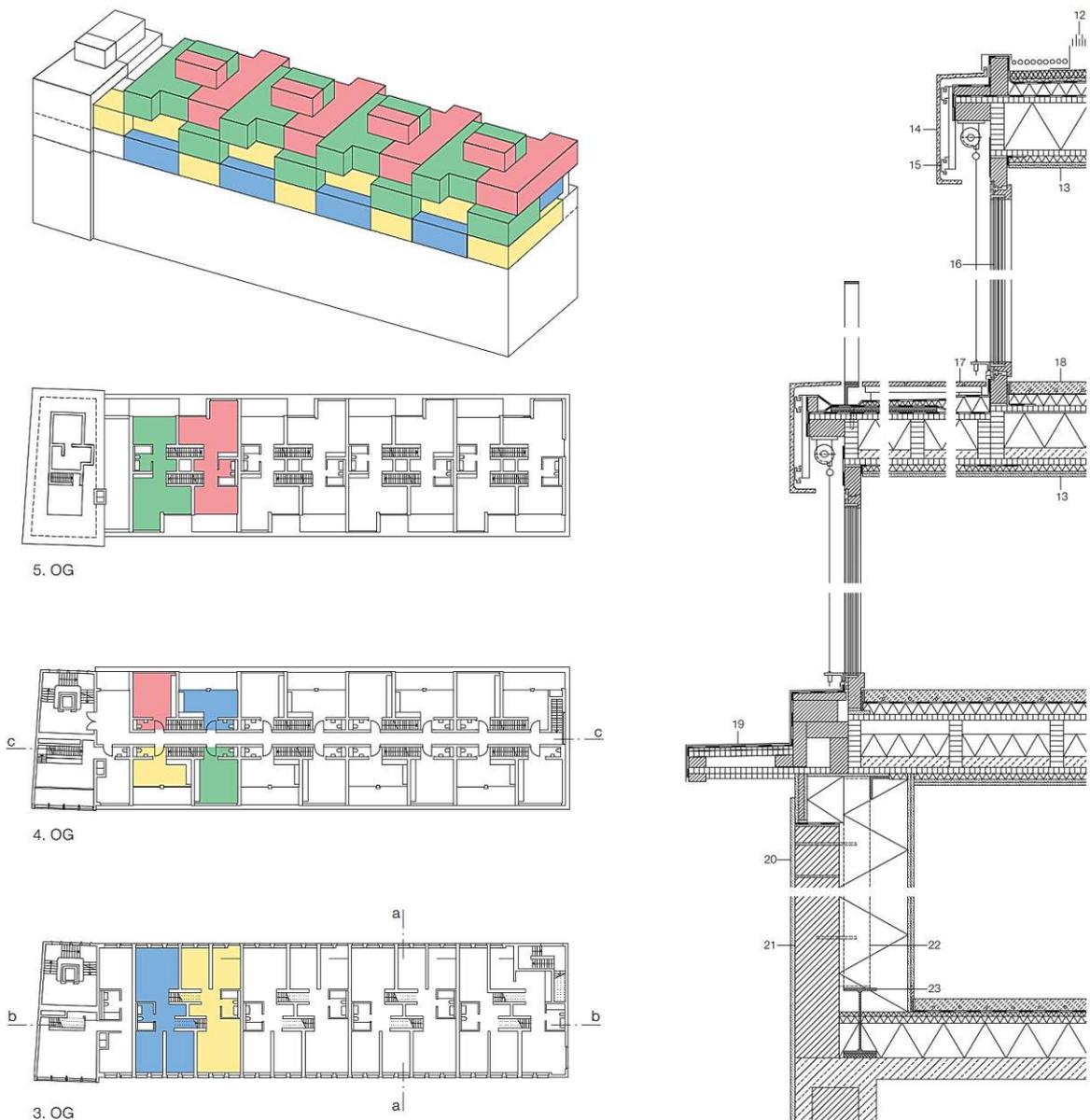


Abb. 32 – Übersicht Aufstockung, Dachaufstockung Zürich [41]

Die Holzkonstruktion der Aufstockung besteht aus Holzrahmen- und Massivholzelementen. Die Geschößdecken aus Hohlkastenelementen sind mit Zementplatten beschwert, um die Schallschutzanforderungen zu erfüllen. Die Holzelemente wurden vorgefertigt und auf die Baustelle transportiert. Die Fenster und Fassadenelemente wurden vor Ort eingebaut. Das Holztragwerk wurde mit zwei Lagen Gipskartonplatten verkleidet.

3.2.5 Thermische Sanierung in Augsburg

Es wurden 60 Wohnungen in bewohntem Zustand modernisiert. Das Ziel war es, einen energieeffizienten Wohnbau mit barrierefreiem Zugang zu errichten. Ein reibungsloser, zügiger Bauablauf war die Voraussetzung für die Erneuerungen. Die Arbeiten umfassten die Renovierung der Badezimmer und die energetische Sanierung der Gebäudehülle. Es wurde ein neuer Aufzug errichtet, der die Aus- und Einstiegsmöglichkeit in der Laubengangebene hat.

Die Gebäudehülle wurde mit vorgefertigten, großformatigen Holztafelbauelementen gedämmt. Diese sind selbsttragend und stehen auf einem Fundament, das vor dem bestehenden Kellerfundament betoniert wurde. Die Druck- und Sogkräfte, die aus der Windeinwirkung entstehen, werden geschößweise in die Decken eingeleitet. Die Fenster wurden auf der Baustelle von innen nach außen eingesetzt. Die neuen Fassadenelemente sind nichttragende Außenwände, die weder zur Aussteifung noch zur Lastabtragung herangezogen werden. Der geforderte Feuerwiderstand liegt somit bei 30 Minuten. [41] Der Hohlraum zwischen Mauerwerk und Elementen wurde mit Zellolosefaserdämmung ausgeblasen. Die hinterlüftete Fassade wurde mit 24 mm dicken Brettern und einem Brandschutzblech in jedem Geschöß ausgestattet.

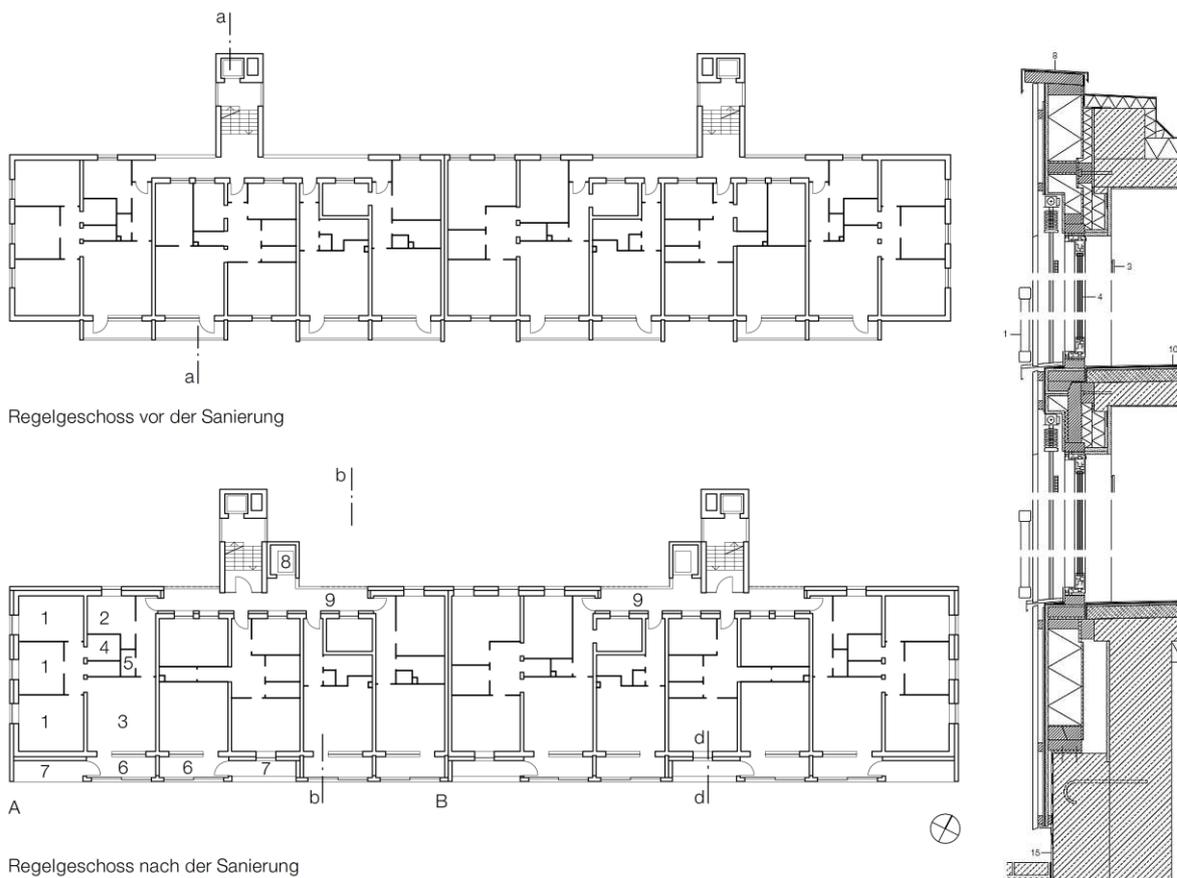


Abb. 33 – Übersicht Sanierung, Thermische Sanierung Augsburg [41]

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



3.2.6 SWOT-Analyse der Referenzobjekte

	Strengths & Weaknesses	Sanierung der Gebäudehülle	Aufstockung
		Thermische Sanierung, Augsburg 2012	Dachaufstockung, Zürich 2015
Lebenszyklus	Ökobilanz des Gebäudes	(+) Nutzungsdauer Tragstruktur verlängern (+) Fassadenelemente aus Holz (-) neue Stahlbetonfundamente	(+) Nutzungsdauer Tragstruktur verlängern (+) 30% mehr Nutzfläche (+) Aufstockung mit Holz (-) Ertüchtigung notwendig
	Materiallebenszyklus	(~) Module in technischen Kreislauf führen (-) Material biologischen Kreislauf rückführen	(~) Module in technischen Kreislauf führen (-) Material biologischen Kreislauf rückführen
	Gebäudelebenszyklus	(+) erweiterter Kreislauf erreicht	(+) erweiterter Kreislauf erreicht (+) im Bestand Nutzungsänderung möglich
	Flexibilität des Grundriss und Nutzungsänderungspotential	(-) nur auf eine Nutzung ausgerichtet	(-) nur auf eine Nutzung ausgerichtet
	Trennbarkeit und Rückbaubarkeit der Bauteile	(+) Holzstaffel mit Mauerwerk verdübelt (+) zerstörungsfrei Trennung möglich (-) Schrauben schwer auffindbar	(+) BSP mit Stahlträger verschraubt (+) zerstörungsfrei Trennung möglich (-) Schrauben schwer auffindbar
	Zugänglichkeit und Rückstände der Verbindungen	(+) mit wenig Aufwand lösbar (~) Schraubverbindung hinterlässt Löcher (-) nicht sichtbare Verbindungen	(+) mit wenig Aufwand lösbar (~) Schraubverbindung hinterlässt Löcher (-) nicht sichtbare Verbindungen (-) speziell angefertigte Stahleinbauteile
	Recyclingfähigkeit der Bauteile	(+) sortenreine Trennung (+) Wiederverwendung nach Aufbereitung	(+) Stahl gut separierbar (+) sortenreine Trennung (+) Wiederverwendung nach Aufbereitung (+) Zementplatten in Kastenträger
	Nachnutzungspotential und Rückbauaufwand der Bauteile	(+) Rückbauaufwand der Fassade gering (~) Nachnutzung der Fassade möglich, jedoch mit einer Aufbereitung verbunden	(~) kein geringer Rückbauaufwand (~) Nachnutzung der Bauteile möglich, jedoch mit Aufbereitung verbunden
Module	Modularität der Bauteile	(+) Modulfassade	(+) Modulare Abschnitt bei der Aufstockung
	Tauschen der Gebäudehülle	(+) neue Hülle kann demontiert werden	(~) schwer, Tragstruktur in Hülle integriert
	Vorfertigung der Bauteile	(+) Fassadenelemente sind vorgefertigt, Zusammenstecken erfolgt auf der Baustelle (-) Einbau Fenster vor Ort	(+) Bauteile sind vorgefertigt, Zusammenstecken erfolgt auf der Baustelle (-) Einbau Fenster vor Ort
	Transportfähigkeit der Bauteile	(+) Bauteile auf Transportgröße abgestimmt	(+) Bauteile auf Transportgröße abgestimmt
Tragwerk	Lastableitung der Struktur	(+) eigene Struktur, keine zusätzliche Belastung	(+) Ertüchtigung des Bestandes (-) aufwendiger Abfangrost aus Stahl
	Tragreserven des Gebäudes	(+) nicht beeinträchtigt	(-) bereits erschöpfte Tragreserven
	Bauweise	(+) Holztafelbau	(+) Holztafelbau (+) Holzmassivbau

Tab. 7 – SWOT-Analyse Teil 1

Mischbauweise	Holzbauweise	Raummodule
Wohnhaus c13, Berlin 2014	Wohnhaus, Zürich 2010	Wohnanlage, Jyväskylä 2018
(+) Einsatz nachwachsender Rohstoffe (-) Aufbeton mit 12 cm (-) EG und Treppe aus Stahlbeton	(+) Einsatz nachwachsender Rohstoffe (+) optimierte Energienutzung (-) Erdgeschoß aus Stahlbeton	(+) Einsatz nachwachsender Rohstoffe (-) Transport der Module (-) kein optimierter Ressourcenverbrauch
(-) Rückführung in biologischen Kreislauf	(+) Wiederverwendung direkt möglich (~) Einführung in technischen Kreislauf	(~) Module in technischen Kreislauf führen (-) Material biologischen Kreislauf rückführen
(+) Nutzungsänderung möglich (+) Eintritt in erweiterten Kreislauf möglich	(+) Nutzungsänderung im EG möglich (+) Eintritt in erweiterten Kreislauf möglich	(-) nur eine Nutzung möglich (-) normaler Kreislauf
(+) viele Nutzungen im Haus (+) unabhängige Erschließung (+) große Spannweiten in Skelettbau	(+) Stützenraster im EG (-) Strikter Raster der Wohnungen	(-) nur auf eine Nutzung ausgerichtet
(-) Kraftschluss mit Aufbeton (-) zerstörungsfreie Trennung nicht möglich	(+) Steckverbindung der Bohlen (+) zerstörungsfrei Trennung möglich	(+) Module trennen möglich (-) Verbindung schwer auffindbar
(~) Schraubverbindung hinterlässt Löcher (-) mit viel Aufwand lösbar (-) nicht sichtbare Verbindungen (-) Beschädigung Schubnocken und Kerfen	(+) leichter Tausch der Fassadenelemente (+) nicht sichtbare Verbindung (+) mit wenig Aufwand lösbar (-) einzelne Bohlen schwer zu tauschen	(+) mit wenig Aufwand lösbar (~) Schraubverbindung hinterlässt Löcher (-) nicht sichtbare Verbindungen (-) keine einzelne Module lösbar
(+) Stahl gut separierbar (~) Beton Downcycling (-) Brandschutzanstrich Holzdecke (-) WDVS	(+) sortenreine Trennung (+) Direkte Wiederverwendung der Bohlen (+) Schüttung in Kastenträgern (+) Holz-Rohbau, keine Stahleinbauteile	(+) sortenreine Trennung (~) ganzheitliche Aufbereitung (-) Wiederverwendung nur Gesamtmodul
(-) Trennung der Bauteile und die Nachnutzung mit viel Aufwand verbunden	(+) großes Nachnutzungspotential, wenig bis keine Aufbereitung (~) kein geringer Rückbauaufwand	(~) kein geringer Rückbauaufwand (~) Nachnutzung der Bauteile möglich, jedoch mit Aufbereitung verbunden
(+) Modul-System mit HBV-Decken und Träger	(+) Idente Bauteile formen große Module	(+) mehrere Module formen eine Wohnung
(~) schwer, Tragstruktur in Hülle integriert	(+) möglich bei Fassadenhaut	(~) schwer, Tragstruktur in Hülle integriert
(+) einzelne Bauteile sind vorgefertigt (-) ausbetonieren der Decken vor Ort	(+) Bauteile sind vorgefertigt (-) viele Einzelteile	(+) fertige Raummodule (+) wenig vor Ort, Fassade herstellen
(+) Bauteile auf Transportgröße abgestimmt	(+) Wände versetzten ohne Hebevorrichtung (-) Zusammensetzen auf der Baustelle (-) keine fertigen Elemente	(-) große, schwere Module (-) Zufahrt muss möglich sein (-) große Hebegeräte
(-) große punktuelle Belastung im Skelettbau	(+) Lineare Lagerung, kein Querdruck Problem (-) Abfangen der Lasten durch Stützenraster	(+) viele steife "Schuhschachteln" (+) lastabtragende Raummodule
(~) keine Aussage	(~) keine Aussage	(~) keine Aussage
(+) Holzmassivbau (+) Holzhybridbau	(+) Holzmassivbau	(+) Holzmassivbau

Tab. 8 – SWOT-Analyse Teil 2

	Strenghts & Weaknesses	Sanierung der Gebäudehülle	Aufstockung
		Thermische Sanierung, Augsburg 2012	Dachaufstockung, Zürich 2015
Bautechnik	Schallschutz	(+) Außerhalb Pufferelement Wintergarten (-) Innerhalb unverändert, keine Verbesserung	(+) Zementplatten in Kastenträger (+) zweischalige Bauweise (-) Abfangrost überträgt Körperschall
	Wärmeschutz	(+) Isolierverglasung (+) Fassadenelemente und Einblasdämmung (+) Sonnenschutz Außen (+) Pufferelement Wintergarten	(+) Isolierverglasung (+) Tafelbau dazwischen Dämmung (+) Hinterlüftung
	Brandschutz	(-) Holz mit Gipskarton	(-) Holz mit Gipskarton
	Bau- und Maschinenaufwand	(~) große Fertigungshalle (~) Transportwege (~) Hebevorrichtung vor Ort	(~) komplexes Konzept mit Materialvielfalt (-) technisch Aufwendige Anschlüsse
Dichte	Städtebauliche Dichte	(+) bereits gute Dichte vorhanden (+) Weiternutzung Bestand (+) 6 Geschoße	(+) Aufstockung (+) Weiternutzung Bestand (+) 6 Geschoße

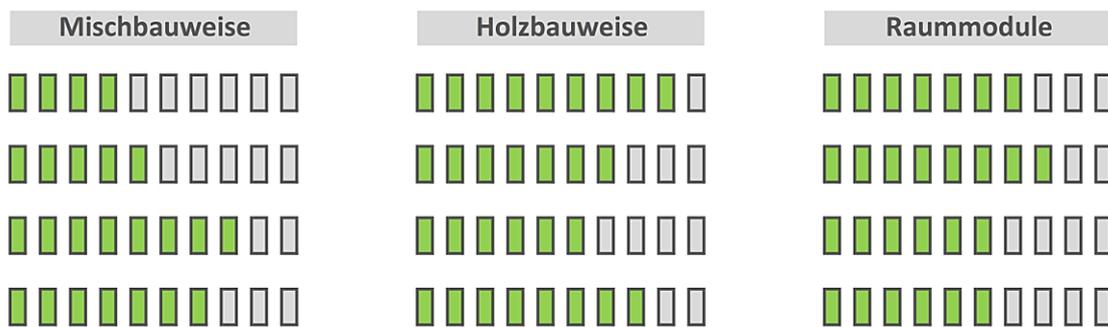
Opportunities & Threats		
Lebenszyklus	Der Bestand wird energetisch saniert und deren Nutzungsdauer verlängert. Positive Auswirkung auf den Lebenszyklus. Alternative Nutzungsmöglichkeiten werden nicht eingeplant. Zusätzliche Fundamente.	Die Masse der Aufstockung steht im direkten Konflikt mit den Ertüchtigungsmaßnahmen. Bausubstanz weiternutzen. Leichte Aufstockung mit Holzbau. Kein flexibler Grundriss, nur auf eine Nutzung abgestimmt.
Module	Austauschen einzelner Module ist möglich. Fenster werden erst vor Ort montiert. Das Format wird auf die Transportgröße abgestimmt.	Modulare Abschnitte erleichtern die Vorfertigung. Einbauten werden erst auf der Baustelle eingesetzt, Vorteil beim Transport, Nachteil bei der Dichtheit der Hülle. Kein Tauschen einzelner Elemente möglich.
Tragwerk	Keine zusätzliche Belastung des Bestandes. Leichter Holztafelbau.	Maximale Ausnutzung des Bestandes. Viele Ertüchtigungsmaßnahmen und Abfangkonstruktionen. Aufstockung sollte auf Raster des Bestandes abgestimmt sein.
Bautechnik	Ehemaligen Balkone wurden in die Gebäudehülle integriert. Schallschutz im inneren des Gebäudes wurde nicht verbessert. Sonnenschutz und Pufferzone wurden hinzugefügt.	Aufstockung mit laufendem Betrieb der restlichen Geschoße. Sehr gutes Baustellenkonzept. Materialvielfalt der Ertüchtigungsmaßnahmen erfordert viel Know How. Körperschall durch Abfangträger.



Tab. 9 – SWOT-Analyse Teil 3

Mischbauweise	Holzbauweise	Raummodule
Wohnhaus c13, Berlin 2014	Wohnhaus, Zürich 2010	Wohnanlage, Jyväskylä 2018
(-) Körperschall übertragen durch Primärträger (-) große Spannweite, viel Schwingung	(+) Schüttung in Kastenträger (+) zweischalige Bauweise	(+) zweischalige Bauweise (-) Raummodule schalltechnisch entkoppelt
(+) Isolierverglasung (+) Massivwand Brettsperrholz (-) WDVS	(+) Sonnenschutz Außen (+) Holzmassiv (+) Hinterlüftung	(+) Isolierverglasung (+) Holzmassiv (+) Hinterlüftung
(+) Flucht ins Freie (+) transparenter Brandschutzanstrich Decke (-) Holz mit Gipskarton	(-) Holz mit Gipskarton	(+) Decke unbehandelt (~) Sprinklersystem (-) Wände mit Gipskarton
(+) keine Schalung (-) Aushärtungszeiten des Beton	(+) ohne große Gerätschaften können Bohlen aufgestellt werden (-) Zeitaufwendiger als Großformatige Platten	(~) große Fertigungshalle (~) Transportwege (-) große Hebevorrichtung vor Ort
(+) Lückenbebauung (+) 5 bis 7 Geschoße	(+) 4-6 Geschoße mit guter Belichtung (+) Ausrichtung Park Süden (-) Straße Norden	(+) 8 Stockwerke mit 150 Wohnungen (-) Dichte nicht der Umgebung angepasst (-) in Peripherie in einem Vorort

Skelettbau mit der Möglichkeit einer individuellen Nutzung. Decken und Wände wurden zu einer Einheit geformt. Der Rückbau und die sortenreine Trennung ist mit Aufwand verbunden.	Direkte Verwendung der Elemente nach dem Rückbau. Nachhaltige Energieversorgung mit der Nutzung von Synergien. Große Masse an Stahlbeton in den unteren Geschoßen.	Transport der Rohstoffe ins Werk und Module auf die Baustelle müssen genau abgestimmt werden. Zweischalige Konstruktionen wirken sich negativ auf den Ressourcenverbrauch aus. Vermehrter Einsatz von Holz bei 8 Geschoßen ist positiv zu erwähnen.
Modulartiger Aufbau der Elemente der vor Ort zu einer gesamten Einheit zusammengefügt wird. Die Einzelteile können nicht ausgewechselt werden.	Wände können ohne maschinellen Aufwand versetzt werden. Vielen Einzelteile verlängern die Bauzeit.	Maximale Vorfertigung wirkt sich auf die Qualität und Kosten der Baustelle positiv aus. Einzelne Module können leider nicht getauscht werden. Modulgröße begrenzt durch Transport.
Optimale Verwendung der Materialien. Skelettbau führt zu großen punktuellen Lasten. Leichter Holzbau reduziert die Belastung.	Die lineare Lagerung ist positiv für die Anwendung von Holzbauweisen. Abfangkonstruktionen sind aufwendig und oft ineffizient.	Lineare Lastableitung durch Wohnungsaußen und - mittelwand, gut für Holzbau. Auf die Zugänglichkeit der Modulverbindungen ist zu achten.
Große Spannweiten führen zu einer erhöhten Schwingungsbelastung. Einfache Lösung des Brandschutzkonzeptes. Probleme mit Körperschall im Gebäude.	Die Schüttung im Hohlraum unterbringen, spart Höhe im Fußbodenaufbau. Natürlichen Brandschutz der Holzbauteile ausnutzen.	Kurze Bauzeiten sprechen für die Bauweise. Entfernung von Werk darf nicht zu groß sein. Hebevorrichtung und Zufahrt sind Voraussetzung für Raummodule.



Tab. 10 – SWOT-Analyse Teil 4

4 Entwurf eines Dachgeschoßausbaues

Diese Arbeit beschäftigt sich in weiterer Folge, wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln ersichtlich, mit den Möglichkeiten in der Tragwerksplanung, um ein ressourceneffizientes Bauen zu erreichen. Mithilfe dieses Themas wird ein Dachgeschoßausbau auf einem fiktiven Gebäude aus den 1950er Jahren geplant. In der heutigen Zeit erreichen die Gebäude aus dem 20. Jahrhundert ein Alter, indem die energetische Erneuerung relevant wird.

Die Synergie zwischen der Aufwertung einer Sanierung und dem Ausbau des Dachgeschoßes soll genutzt werden. Die Kombination soll den Eingriff in den vorhandenen Wohnbau rechtfertigen. Es werden die Rahmenbedingung für den Ausbau definiert und anhand der verschiedenen Lebensdauern der Bauteile, die Grundlage für die Trennung der Tragstruktur und der Gebäudehülle erläutert. Im Kapitel 3.2 wurden gebaute Beispiele und deren Stärken und Schwächen analysiert. Sie sollen in weiterer Folge die Grundlage für das hier gezeigte Fallbeispiel sein. Der Ausbau und der Bestand werfen einige weitere Problematiken auf, die in den folgenden Fragen zusammengefasst sind.

Fragen zum Bestand:

- * Welche Konstruktionstypen wurden bei den sozialen Wohnbauten zwischen den Jahren 1945 und 1970 angewendet?
- * Welche übergeordneten Ziele wurden bei den Wohnbauten verfolgt?
- * Ist es möglich, mit einem Gebäude eine Vielzahl von Objekten zu repräsentieren?
- * Ist es möglich, mit einer Kombination von Konstruktionstypen eine Vielzahl von Objekten zu repräsentieren?
- * Welche Problematiken gibt es bei Nachkriegsbauten?
- * Welche Möglichkeiten gibt es, den Bestand zu ertüchtigen?
- * Wie wird der Bestand energetisch saniert?
- * Sind Tragreserven für einen Dachgeschoßausbau vorhanden?

Fragen zum Ausbau:

- * Welche Probleme gibt es beim Ausbau eines Dachgeschoßes von Gründerzeithäusern?
- * Ist eine Änderung der Gebäudeklasse gerechtfertigt?
- * Ist eine rein monetäre Bewertung des Dachgeschoßausbaues sinnvoll?
- * Weshalb ist die Trennung von Bauteilen anhand ihrer Lebensdauer sinnvoll?
- * Warum wurden keine Raummodule verwendet?
- * Wo sind die Grenzen der Vorfertigung?
- * Wie lassen sich die Fassadenelemente verbinden?
- * Was bedeutet Polyfunktionalität?
- * Wieso wurden keine Holzbetonverbund-Decken geplant?
- * Was bedeutet konstruktive Reduktion?
- * Wieso wurden keine Randbalken zur Lastabtragung herangezogen?

Projektspezifische Fragen, die hier nicht beantwortet werden können:

- * Welche Reserven besitzt der aussteifende Treppenhaukern?
- * Werden weitere Ertüchtigungsmaßnahmen benötigt?
- * In welchem Zustand befindet sich der Bestand?
- * Gibt es Optimierungspotential bei der Ausklinkung der Deckenplatten?
- * Gibt es Optimierungspotential bei den Durchstanzpunkten der Brettsperrholzdecke?
- * Ist die Anordnung der Stützen in den Deckenelementecken optimal?
- * Gibt es Optimierungspotential bei den lösbaren Verbindungen?

4.1 Beschreibung des Bestandes in Wien

Nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges stand die Bevölkerung und die Stadt Wien vor einer neuen Herausforderung. Dutzende Gebäude und Denkmäler waren zerstört, es herrschte nach wie vor Wohnungsnot und eine zusätzliche Materialknappheit. Mit den verfügbaren Geldmitteln konnten die Probleme nicht beseitigt werden. Es stellte sich die Frage, wie mit den vorhandenen Ressourcen möglichst effizient, wirtschaftlich und rationalisiert gebaut werden kann.

1950 startete das Schnellbauprogramm der Stadt Wien. Es wurde das Ziel gesetzt, noch mehr Wohnungen mit den verfügbaren Geldmitteln als bisher zu bauen. Durch den riesigen Umfang der Bauvorhaben und der immer wiederkehrenden Arbeiten, summierten sich jegliche kleinen Kosteneinsparungen auf und führten zu einer wesentlichen Reduktion der Herstellungskosten. [42] Der damalige Stadtbaurat und Leiter des Studienbüros der Stadtbauamtsdirektion Dipl. Ing. Edmund Misterka formulierte das Potential der Einsparungen so:

„Die Möglichkeit der Baukostensenkung beginnt bereits bei der Planung einer Wohnungsanlage mit der Bestimmung der Verbauungsart und zieht sich über die Verfassung des Grundrisses, über Vorarbeit, Ausschreibung, Vergabung, Art der Durchführung, Anwendung von Baustoffen, Baustellenorganisation und Baukontrolle bis zur Schlußabnahme der Leistungen.“ [42]

In der Gudrunstraße im 10. Bezirk und in der Siemensstraße im 21. Bezirk wurden Baulose zur Verfügung gestellt. Es wurden neue Konstruktionen und Materialien erprobt und mit der Wirtschaftlichkeit konventioneller Systeme verglichen. Für die Nutzung wurden verschiedene Wohnungstypen hergestellt, unter anderem Reihenhäuser, freistehende Häuser und mehrgeschoßige Wohnbauten. [42] Das Kapitel 4.1.1 zeigt eine Auflistung der vertikal lastabtragenden Elemente dieser Versuchsbaulose. Im Kapitel 4.1.2 wird auf damals hergestellte Deckenkonstruktionen eingegangen.

4.1.1 Vertikale Bauteile

Die klassische Außenmauer stellte eine 38 cm dicke Ziegelwand dar. Hergestellt wurde sie aus Normalformatziegel mit 25 cm Länge, 12 cm Breite und einer Höhe von 6,5 cm. Um die Anforderungen des Wärmeschutzes und der Ressourcenknappheit zu erfüllen, wurde eine Hohlmauer entwickelt, die bei einer ähnlichen Wandstärke bessere Ergebnisse liefert als die Vollziegelwand. Sie wurde mit dem sogenannten Siedlervorbund hergestellt. Ein Zweischichter-Aufbau mit einem Hohlraum von 8-9 cm, der jede dritte Ziegelschar mit einem Binder verbunden wurde. Um den Kapillartransport zwischen Außen- und Innenschale zu verhindern, wurde der Ziegel halbseitig in Bitumen getränkt. Nach sechs Scharen wurde eine Dachpappe eingelegt, um die Luftzirkulation im Hohlraum zu verhindern. [42] Insgesamt konnte mit dieser Bauweise eine Materialeinsparung von 20 % erreicht werden, siehe Abb. 37. In der Siemensstraße 21-55 wurden die Hohlmauern aus statischen Gründen mit maximal zwei Geschoßen ausgeführt.

Eine weitere Möglichkeit der Baukostensenkung stellen Hohlziegel dar. Schutt aus Ziegelsplitt oder Beton wurde mit Zement unter Vibrationen verdichtet. Dabei konnten beliebige Formen mit unterschiedlicher Anzahl von Hohlräumen hergestellt werden. Als Ausgangsmaterial wurde auch Kiesbeton verwendet. Typische Vertreter sind die Böhler-Riesenziegel, Elbau-Steine, Vibro-Ziegel oder Ebenseer Hohlblocksteine. [43] Durch ihr geringeres Gewicht war es möglich, größere Formate herzustellen. Je größer die Hohlräume, desto größer waren die Steine und desto schneller ging die Herstellung der Wand vonstatten. Eine große Anzahl von Hohlräumen bedeutet jedoch auch eine geringere Steifigkeit.

Ein weiterer Nachteil war die Lagerfuge, die als wärmetechnische Schwachstelle angesehen werden musste. Die NOVADOM-Bauweise wirkte dem entgegen. Es wurden Hohlblocksteine Mann an Mann verlegt und Heraklithplatten in der Lagerfuge. [42] So konnte die Wand ohne Mörtelfugen und mit einem geringeren Wärmeverlust hergestellt werden.

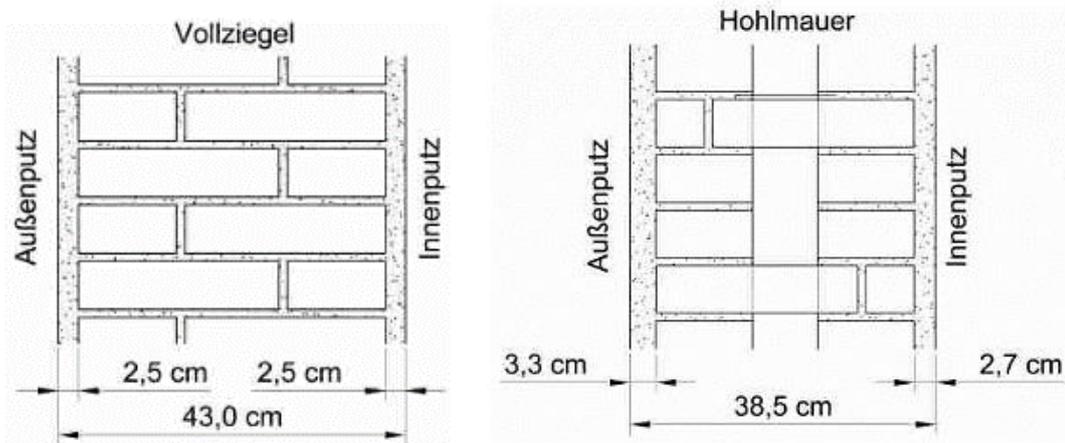


Abb. 34 – Mauerquerschnitt Vollziegel und Hohlmauer [43]

Alternativ zur Fertigung von Hohlsteinen und das Versetzen jener auf der Baustelle, gab es die Möglichkeit, ganze Wandelemente vor Ort in einem Guss herzustellen. Mithilfe von Schalungselementen, gefertigt für eine serielle Herstellung oder nur als Einwegprodukt, konnte die Arbeitszeit auf der Baustelle reduziert werden. Das sogenannte Schüttbodyen-Mauerwerk hatte dieselben Ausgangsstoffe wie Beton, lediglich andere Zuschlagsstoffe wurden verwendet. Es wurden gebrochene Ziegel statt Gesteinskörner beigemischt, Systeme wie DIWIDAG oder BINO waren damals präsent. [42] Die Hüttenbims-Schüttbodyenwand wurde mit einem geringeren Zementanteil hergestellt, um die wärmetechnischen Eigenschaften zu verbessern. Die Verbesserung führte jedoch zu einer geringeren Festigkeit der Wand. Wie bereits erwähnt wurden auch Einwegschalungen verwendet. Das MONO-Mantelbetonmauerwerk oder auch BERU-Bauweise genannt, bestand aus einem gegossenen Kiesbetonkern und zwei Außenschalen aus Heraklithplatten. [42] Diese hatten die Funktion einer verlorenen Schalung und wurden mithilfe von verzinkten Eisendrahtbügeln und Schalstützen aus Holz zusammengehalten. In den folgenden Abbildungen sind die Systeme im Querschnitt dargestellt.

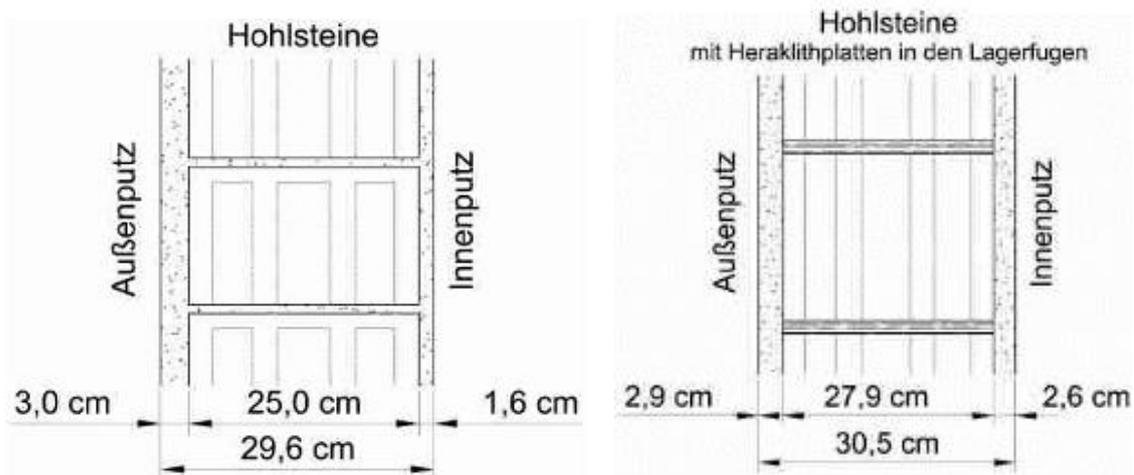


Abb. 35 – Mauerquerschnitt Hohlsteine ohne/mit Heraklithplatten [43]

Um die Materialeffizienz zusätzlich zu steigern, wurde das Aushubmaterial wiederverwendet. Die Humusschicht wurde für die Gartengestaltung der Wohnbauten oder für die Wiener Stadtgärten bereitgestellt. Oftmals traf man auf sandige Bodenschichten, die für Decken- und Mauersande verwendet wurden. Die Wände des Kellergeschoßes sowie deren Gründungen wurden aus Stampfbeton hergestellt. Dabei wurde eine abgestufte Sieblinie verwendet, um einen ausreichenden Schutz vor Feuchtigkeit zu bieten. Betonqualitäten über B160, das entspricht in etwa einer heutigen Güte von C12/15, wurden erreicht. Die Arbeitsfugen der Wände wurden in Maximalabständen von 10 m geplant und mit flüssigem Bitumen von der Innenseite heraus abgedichtet. Ab der Sockeloberkante kamen dann wieder Mauerwerkskonstruktionen zum Einsatz. Um möglichst viel Gewicht einzusparen und somit die Dimensionen der Fundamente klein zu halten, wurde die Mittelwand oft in eine Kombination von Eisenbetonpfeiler und Unterzüge aufgelöst. [42]

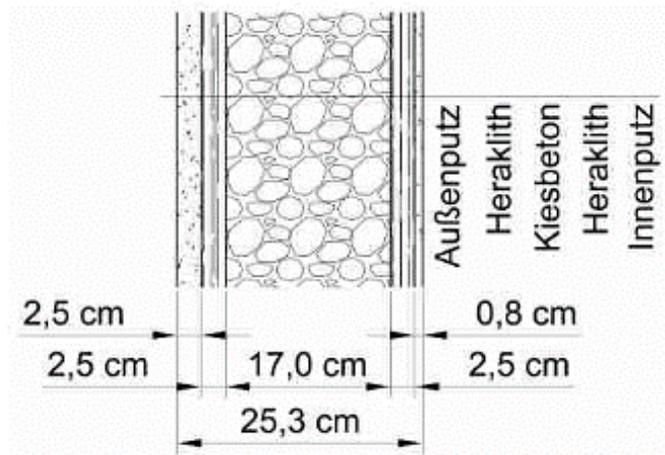


Abb. 36 – Mauerquerschnitt Schüttbetonbauweise, System BERU [43]

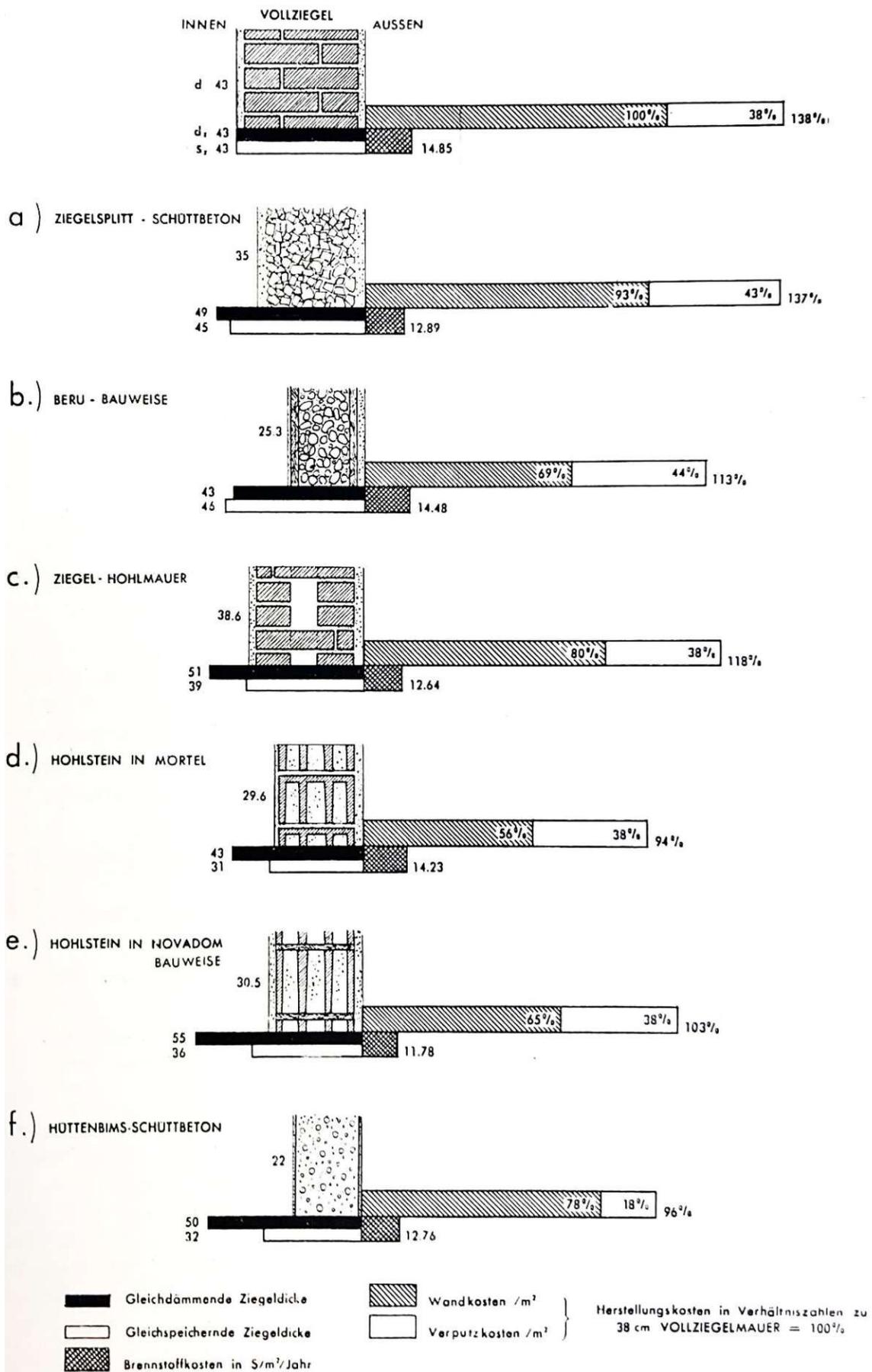


Abb. 37 - Vergleich der Wandbauarten, hinsichtlich des Wärmeschutz, der Herstellungskosten und der Brennstoffkosten [42]

4.1.2 Horizontale Bauteile

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick auf die verschiedenen Deckensysteme der Nachkriegszeit gegeben. Es wurden viele neue Arten der Massivdecken hergestellt, die in erster Linie auf eine Material- und Arbeitszeitreduzierung abzielten. Verschiedene Arten der Vorfertigung wurden getestet, um in den kälteren Wintermonaten, in denen die Baustellen stillstanden, Arbeit für die Bevölkerung zu schaffen. Die Einteilung der Systeme kann laut Flotzinger, Absolvent an der TU Wien, [43] nach Material und Konstruktionsart erfolgen:

Einteilung nach Material:

- * Ziegeldecken
- * Stahlbetondecken
- * Holzdecken
- * Verbunddecken

Einteilung in Konstruktionsart:

- * Vollbetondecken
- * Vollbetonrippendecken
- * Rippendecken kombiniert mit Fertigteilen
- * Volldecken aus dicht verlegten Fertigteilbalken
- * Filigranfertigteildecken
- * Verbunddecken

Im Folgenden wird das Deckensystem vorgestellt, das als Konstruktionstyp für das Repetitive Gebäude verwendet wird. Alle weiteren Deckenkonstruktionen hat Flotzinger in seiner Arbeit [43] ausführlich dargestellt.

Die Ast-Molin Decke wurde nach dem Ingenieur de Mollins benannt. Es handelt sich um eine Eisenbetonrippendecke, die auf der Baustelle gegossen wurde. Als Schalungselemente wurden wannenförmige Blechschalungen kopfüber nebeneinander auf Holzstaffeln aufgestellt. Im Anschluss hat man die Zwischenräume inklusive einer Aufbetonschicht von 8-10 cm ausbetoniert. In der Plattenebene und in den Rippen wurden Stahlstäbe eingelegt, die die Zugkräfte übertragen. Für diese Zeit gängige Stähle waren Torstahl, Rundstahl und Drillwulststahl. Die Abb. 38 zeigt die fertige Decke im Querschnitt mit und ohne Holzstaffel. Der Achsabstand der Rippen beträgt 50-70 cm, die Rippen selbst sind 7-8 cm dick. [43] Durch den schmalen Rippenquerschnitt war es möglich, die Bewehrungsstäbe nur übereinander anzuordnen, der übertragbare Hebelarm wurde so mit jedem weiteren Stab reduziert.

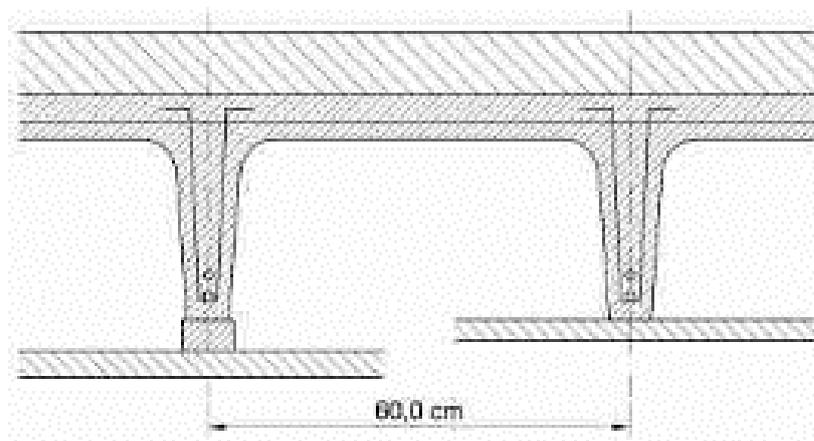


Abb. 38 – Querschnitt einer Ast-Molin Decke [43]

Auf den Deckenkonstruktionen wurde als Ausgleichsschicht eine Beschüttung aus Schlacke oder Sanden aufgetragen. Auf Polsterhölzern wurde dann ein Blindboden montiert und auf diesem der Belag. Alternative Aufbauten in Nassräumen waren Heraklith-Platten, auf denen ein Zementestrich und dann im Anschluss Terrazzo gegossen wurde.

Das Standarddachtragwerk war aus Holz, ausgebildet als Kehlbalken- oder Pfettendach. Teilweise waren nur die Außenmauern des Gebäudes mit dem Gewicht des Daches belastet. Die Begehbarkeit des Dachraumes war nicht vorgesehen, somit wurden selten auch die abschließenden obersten Decken als Dachtragwerk ausgeführt.

Erschlossen wurden die einzelnen Geschoße über ein Treppenhaus. Treppen und Zwischenpodest wurden aus Eisenbeton hergestellt. In kleineren Wohnhausanlagen wurden auch Holztrep- pen ausgeführt. [42]

4.2 Repetitives Gebäude

Das Forschungsvorhaben Attic Adapt hat sich bereits im Jahr 2017 mit dem systematischen Ausbau eines Dachgeschoßes beschäftigt. Es wurden Typologien der Wiener Wohnbauten, die zwischen der Jahre 1950 und 1970 errichtet worden sind, erstellt. Dabei wurden rein optische Kriterien bewertet. [38] Aus diesen verschiedenen Typologien wurde für das Forschungsvorhaben der Typ 1960.1 ausgewählt. Charakteristisch für den Gebäudetyp ist ein innenliegendes Treppenhaus, das einen zwei- oder dreispännigen Grundriss erschließt. Die Wohnungen haben jeweils eine Fläche von 25 bis 57 m². Die Nassräume sind an den Treppenhauswänden situiert. Leitungen werden in der Wand oder durch einen Schacht, der mittig zwischen Außen- und Innenwand liegt, geführt.

Die Geometrie ist geprägt durch eine einheitliche Gebäudetiefe von 10,5 bis 11 m und einer freistehenden Zeilenbauweise. Ein teilweise eingegrabener Keller sowie kein ausgebautes Dachgeschoß sind repräsentativ für die genannte Typologie. Für Aufenthaltsräume sind mittelgroße Fensterformate vorgesehen und für Nebenräume kleine quadratische. Auf den Stirnseiten sind bis zu zwei Fensterachsen angeordnet. Die Anzahl der Geschoße variiert, es wurden zwischen zwei bis sechs Geschoße errichtet. [38] In der Arbeit reduzierte man sich auf drei Geschoße, um den Ausbau des Dachgeschoßes zu rechtfertigen.

In dieser Arbeit wird auf die Typologie 1960.1 zurückgegriffen und anhand der genannten Eigenschaften ein fiktiver Grundriss für das Fallbeispiel erstellt. Im Folgenden werden vier gebaute Grundrisse abgebildet, um die repetitive Struktur dieser Gebäude darzustellen.

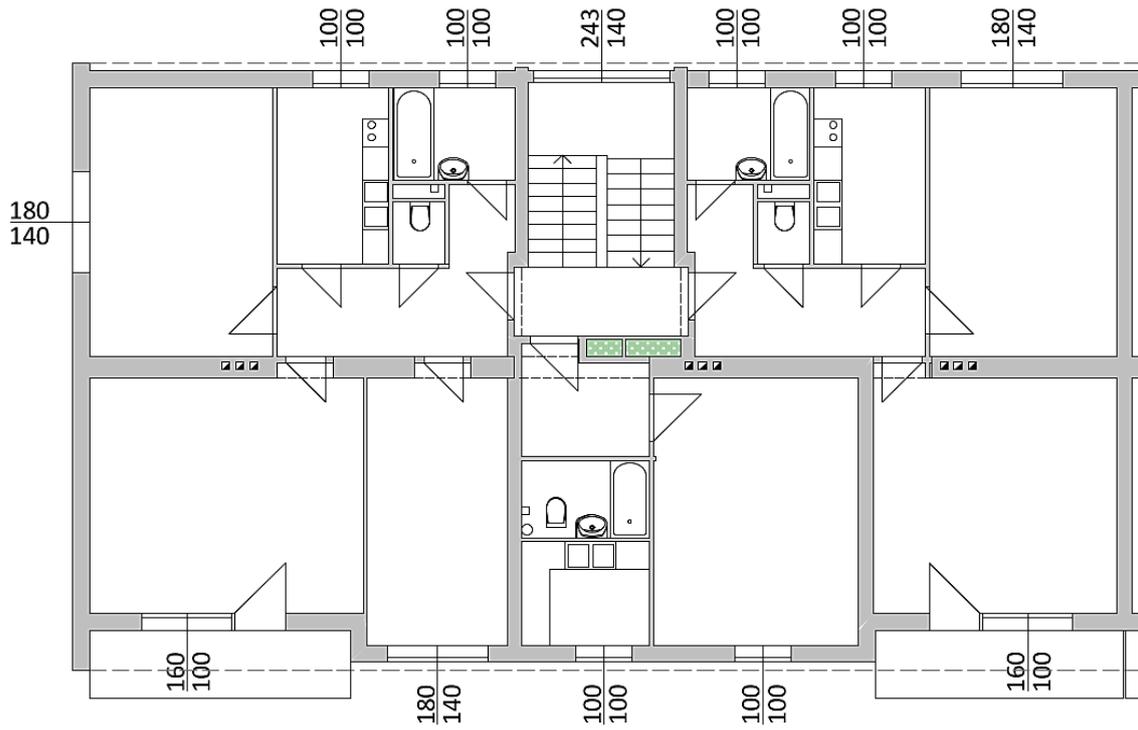


Abb. 39 - Grundriss Anzbachgasse 31 [38]

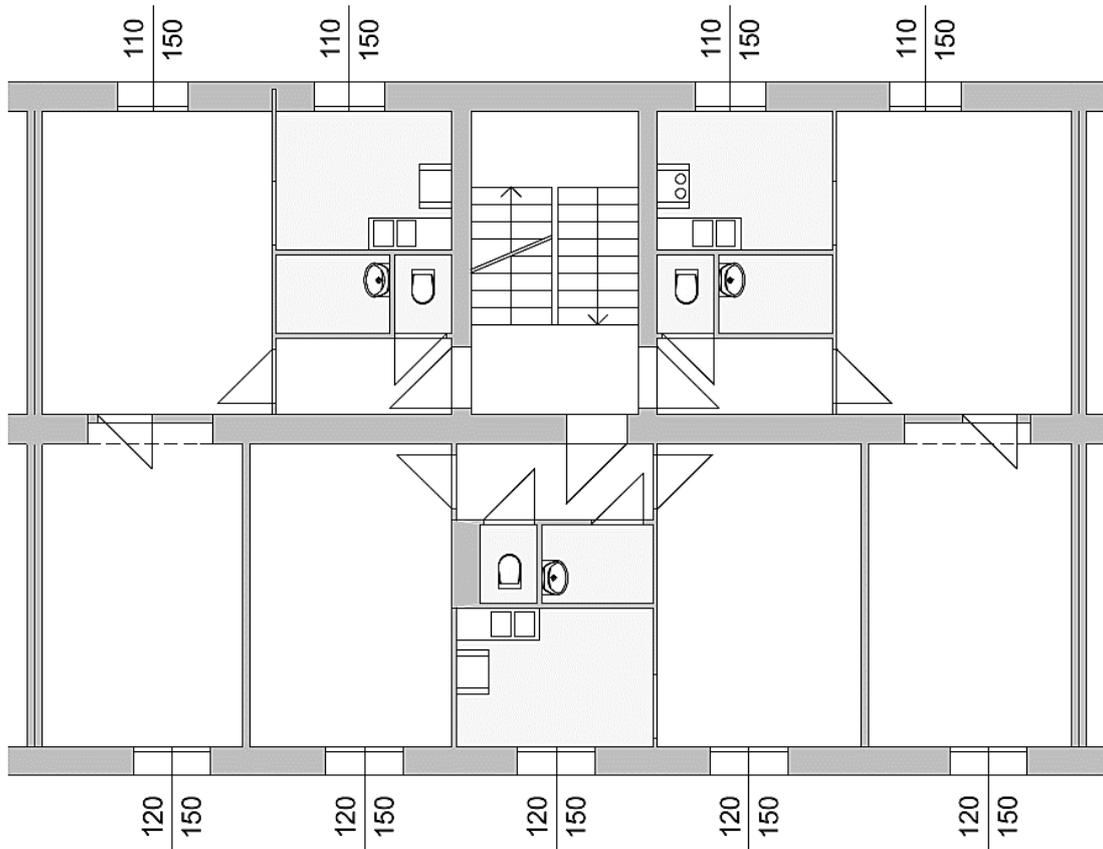


Abb. 40 - Grundriss Griegstraße 1-3 [38]

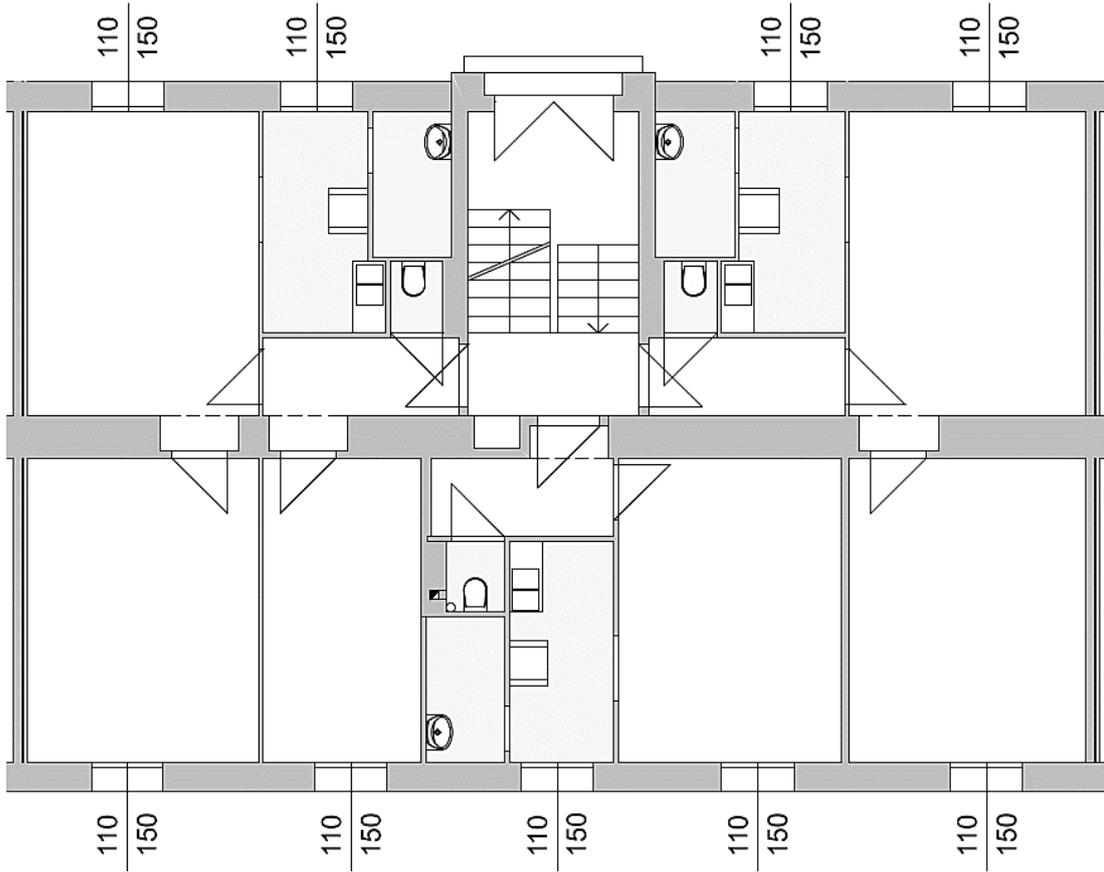


Abb. 41 - Wehlstraße 131-143 [38]

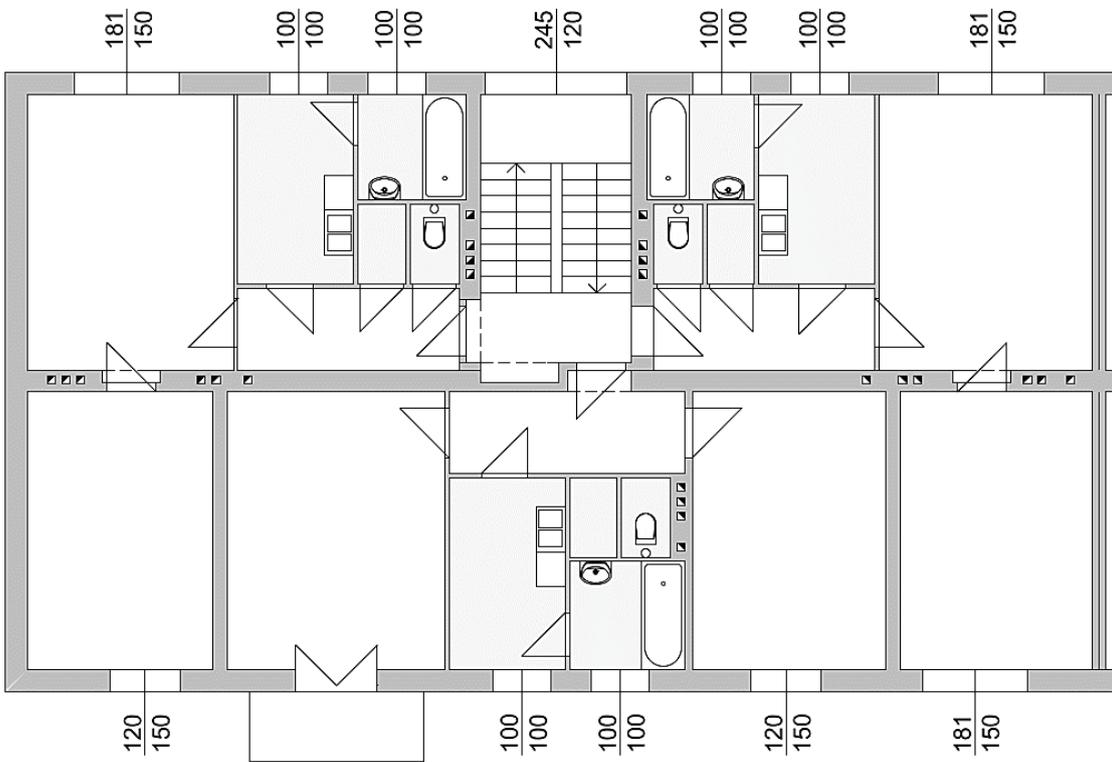


Abb. 42 - Hackinger Straße 30-36 [38]

4.3 Gewähltes Tragsystem und Materialien

Paul Strasser, Absolvent an der Universität für Bodenkultur in Wien, hat in seiner Diplomarbeit [44] den Bestand der Hackinger Straße 30-36 analysiert. Mithilfe von Bestandsplänen wurden die Gebäude- und Bauteilabmessungen dargestellt. Schalungs- und Bewehrungspläne lieferten weitere Informationen über Unterzüge und Decken. Es wurde ein Materialmix zwischen Vollziegelmauerwerk, Vibro-Steinen, Stahlbeton und Stampfbeton für die Herstellung des Gebäudes verwendet. Lage und Dimension sind im Anhang der Arbeit von Strasser [44] zu finden.

Grundsätzlich folgt die Verteilung der Materialien nach der Art und Intensität der Belastung. Bereiche hoher Druckfestigkeit sind mit Vollziegelmauer, Stahlbeton oder Stampfbeton versehen. In den höherliegenden Geschoßen, dort wo die Summe der Reaktion einen geringeren Wert aufweist, sind Vibro-Steine und andere Arten von Hohlziegeln vorgesehen. Konkret für die Hackinger Straße bedeutet das, dass die Wände der obersten zwei Geschoße mit Hohlziegeln hergestellt worden sind. Die Mittelwand des Gebäudes sowie die Wände zum Treppenhaus sind, bis auf die Fundierung und das Kellermauerwerk, als durchgehende Vollziegelwände mit 38 cm bzw. 25 cm Stärke konzeptioniert.

Die Decken der Aufenthaltsräume spannen von der Außenwand bis zur Mittelwand. Sie werden als Ast-Molin Decken ausgeführt. Es wird angenommen, dass die Rippen einen Achsabstand von 70 cm und eine Breite von 8 cm aufweisen. Die Stärke der Platte zwischen den Rippen wird mit 7 cm angenommen. Die Spannweiten der Felder liegen jeweils etwa bei 5 m.

In den Nassräumen und dem Treppenhaus spannen die Deckenfelder in die Längsrichtung des Gebäudes. Eine 10 cm dicke Stahlbetonplatte aufgelagert auf Unterzügen überbrückt die Felder der Nassräume. Die Unterzüge haben eine unterschiedliche Breite und eine Höhe von 27 cm.

Im Treppenhaus sind die Stahlbetonplatten mit 18 cm hergestellt worden. Sie liegen auf dem Vollziegelmauerwerk auf und tragen die Lasten aus den Treppenläufen. Dazwischen in der Wand werden die Schächte für das Abwasser geführt. Schächte für die Kamine sind in der Mittelwand zu finden. Bei den Podesten in den Zwischengeschoßen wurden die Stürze der Öffnungen mitbetoniert, Parapete wurden anschließend auf den Podesten aufgemauert. Die auskragenden Balkenplatten wurden im Gefälle betoniert und haben im Mittel eine Stärke von 12 cm.

Alle Querwände, mit Ausnahme der Treppenhauswände und Außenwände am Gebäudeende, werden als nichttragende Wände ausgeführt. Die Wohnungstrennwände zwischen den einzelnen Gebäuden sind ebenfalls keine tragenden Wände und dienen der Aussteifung des Objektes. In jedem Geschoß wurde ein umschließender Stahlbetonrost betoniert.

Das Gespärre des Dachstuhles stützt sich auf den drei tragenden Wandachsen ab. Der betonierte Kniestock dient als Rost und als Auflager für die Sparren des Daches. Einzelne Kamine von der Mittelwand- oder Treppenhausachse durchstoßen die Dachhaut.

In der nachfolgenden Abbildung wurde anhand der Pläne von Strasser [44] versucht, die tragenden und aussteifenden Bauteile des Regelgeschoßes darzustellen. Die zugehörige Bauteilliste gibt Auskunft über die von Strasser [44] angenommenen Dimensionen.

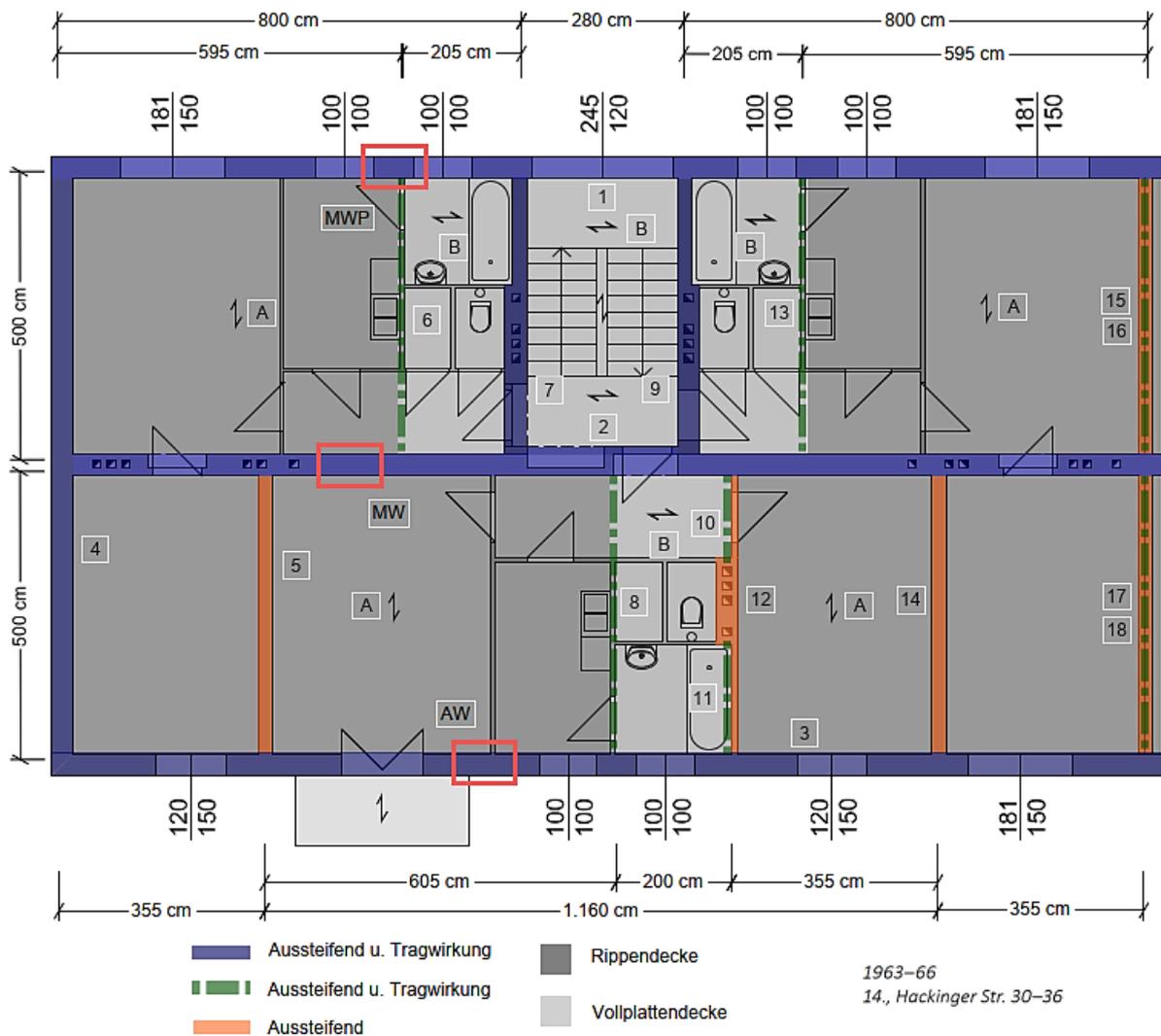


Abb. 43 – Systemanalyse, Regelgeschoß der Hackinger Straße 30-36

Nr.	Material	Dimension [cm]	System	Notiz
1	Vollziegel	38	Aussteifend u. Tragwirkung	Vollziegel durchgehend
2	Vollziegel	38	Aussteifend u. Tragwirkung	Vollziegel durchgehend
3	Vollziegel	38	Aussteifend u. Tragwirkung	Vollziegel durchgehend
4	Vollziegel	38	Aussteifend u. Tragwirkung	Vollziegel durchgehend
5	Hohlziegel	25	Aussteifend	Obersten 2 Geschoße Hohlziegel
6	Stahlbeton	30/27	Aussteifend u. Tragwirkung	Längsbewehrung unten 4d14
7	Vollziegel	38 bzw. 25	Aussteifend u. Tragwirkung	Vollziegel durchgehend
8	Stahlbeton	30/27	Aussteifend u. Tragwirkung	Längsbewehrung unten 4d14
9	Vollziegel	38 bzw. 25	Aussteifend u. Tragwirkung	Vollziegel durchgehend
10	Stahlbeton	35/27	Aussteifend u. Tragwirkung	Längsbewehrung unten 4d14
11	Stahlbeton	35/27	Aussteifend u. Tragwirkung	Längsbewehrung unten 4d14
12	Vollziegel	38 bzw. 12	Aussteifend	Obersten 2 Geschoße Hohlziegel
13	Stahlbeton	30/27	Aussteifend u. Tragwirkung	Längsbewehrung unten 4d14
14	Hohlziegel	25	Aussteifend	Obersten 2 Geschoße Hohlziegel
15	Stahlbeton	25/27	Aussteifend u. Tragwirkung	Längsbewehrung unten 4d10
16	Hohlziegel	25	Aussteifend	Obersten 2 Geschoße Hohlziegel
17	Stahlbeton	25/27	Aussteifend u. Tragwirkung	Längsbewehrung unten 4d10
18	Hohlziegel	25	Aussteifend	Obersten 2 Geschoße Hohlziegel
A	Stahlbeton	8/27 e70 bzw. 7	Rippendecke	Gesamthöhe 27cm
B	Stahlbeton	10, 12 bzw. 18	Vollplattendecke	verschiedene Plattenstärken

Tab. 11 – Bauteilliste, Regelgeschoß der Hackinger Straße 30-36

4.4 Problematiken der Nachkriegsbauten

Das größte Problem der Nachkriegsbauten ist die sparsame und ausreizende Bauwirtschaft, die damals schon gepredigt worden ist. [43] Aufgrund des Krieges lag die Stadt teilweise in Trümmern, Material war knapp und die Wohnungsknappheit war so groß wie noch nie. Man musste sehr schnell für viele Menschen mit wenig Material bauen. Aus der Not heraus wurden verschiedene Baustoffe mit Hohlräumen, Betone mit verschiedenen Zuschlagstoffen und Halbfertigteile entwickelt. Die Druckfähigkeit von Baustoffen wurde so weit herabgesetzt, dass ein optimierter Bemessungszustand erreicht wurde. Es bleiben somit kaum Tragreserven, die für einen eventuellen Ausbau des Dachgeschoßes zu Verfügung stehen. Die genauen Ertüchtigungsmaßnahmen des Bestandes sind vorab festzulegen und mit dem nachhaltigen Nutzen des Projektes abzustimmen.

Um die Maßnahmen zu Papier zu bringen ist eine Untersuchung des Bestandes notwendig. Hier ist der Ingenieurbefund ein unerlässliches Dokument, das vor eines eventuellen Planungsstartes erstellt werden sollte. Er weist auf mögliche strukturelle Schwachstellen in horizontaler und vertikaler Tragrichtung hin. Es wird der Zustand des Gebäudes begutachtet und eine Aussage über die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit der Bauteile getroffen. Die Befundung des Bestandes ist abhängig vom Umfang des geplanten Bauvorhabens. Eingeteilt wird diese in die Stufen eins bis drei, wobei drei eine ganzheitliche Erhebung des Bestandes beinhaltet. Gesichtet werden alle Bauteile, die für die Standsicherheit des Gebäudes relevant sind. [45] Diese sind bei einem Befund der Stufe drei laut OIB-Richtlinie 1 folgende:

- * Fundierung
- * Wände und Stützen
- * Mittelmauer – Abgasanlagen (früher: Rauchfang, Abgasfang, Kamin) und umschließendes Mauerwerk (v. a. im Hinblick auf die vertikale Lastableitung)
- * Aussteifungssituation (Zwischenwände, Auswechslung, Verschließungen)
- * Querschnittsschwächungen (z.B. infolge von Leitungsführungen, Installationen etc.)
- * Decken und Träger (Zustand, Konstruktion)
- * Dachstuhl und Gesimse (nur soweit diese erhalten bleiben sollen)
- * Haupttreppen

Um die Standsicherheit bewerten zu können, ist es notwendig Informationen bezüglich des Konstruktionstyps sowie dessen Materials zu kennen. Weiteres sind deren langfristige Festigkeitseigenschaften und Dauerhaftigkeiten notwendig, um eine Beurteilung abgeben zu können.

Bei den sozialen Wohnbauten wurden für heutige Verhältnisse relativ geringe Betondeckungen geplant. Diese können zu Korrosionsschäden und Abplatzungen des Betons führen. Dazu kommt, dass viele damaligen Bewehrungsstäbe noch keine Rippen für einen verbesserten Haftverbund aufwiesen. [43] Somit ist die Beurteilung der Verankerungslänge sehr schwierig und nur mit alternativen Bemessungsmethoden durchzuführen.

Unklarheiten gibt es bei den angewandten Deckensystemen. Es sind oft keine Informationen über das Material oder die verwendeten Bauprodukte zu finden. Die Schubtragfähigkeit der Decken ist entscheidend bei der Bewertung des Erdbebenerfüllungsfaktors. Die Wahl einer schubsteifen oder schubweichen Decke obliegt oftmals dem erfahrenen Ingenieur. Viele unbekannt Parameter veranlassen zu Materialprüfungen oder Probelastungen. Diese werden am bestehenden Gebäude durchgeführt und sollen das Verhalten der einzelnen Bauteile genauer erläutern und dem Ingenieur bei der Beurteilung unterstützen.

Bei einem Dachgeschoßausbau wird eine zusätzliche schwingungsfähige Masse in einer erhöhten Lage aufgebracht. Die darunterliegenden Geschoße sollten die daraus entstehenden horizontalen Lasten aufnehmen können und weiter in die Fundierung leiten. Ist dies aufgrund der

wirtschaftlichen Bauweise nicht möglich, sind Kompensationsmaßnahmen einzuplanen. Das Kapitel 4.5 gibt einen kurzen Überblick über bewährte Systeme der Ertüchtigungsmaßnahmen im Bestand. Eine Verstärkung der Wandscheiben würde sich zwischen den Wohnungseinheiten anbieten. Sie stellt eine durchgängige Einheit dar und erhöht zusätzlich den Schallschutz durch die Erhöhung der Masse.

Die gezeigten Grundrisse sind alles Regelgeschoße, die sich in allen Geschossen ähnlich verhalten. Es ist jedoch nicht unüblich, dass sich in einer Wohnhausanlage im Erd- und Kellergeschoß ein Geschäft oder Gemeinschaftsräume befinden. Diese Abschnitte eines Gebäudes sind gesondert zu betrachten, da sich durch die geänderte Nutzung oftmals weniger aussteifende Elemente in diesen Geschossen befinden. Es ist das Phänomen der *Soft Story* zu vermeiden, hierbei kann es aufgrund der unterschiedlichen Steifigkeiten in horizontaler Richtung zum Zusammenklappen eines ganzen Geschosses kommen.

Die vertikale Leitungsführung der Nassräume erfolgt durch Schächte. Auch hier ist davon auszugehen, dass wirtschaftliche Überlegungen zu kleineren Schachtdimensionen geführt haben. Es ist damit zu rechnen, dass nachträgliche Heizungseinbauten und Versorgungsleitungen in den bestehenden Schächten keinen Platz finden werden.

Dem Ausbau des Dachgeschoßes stehen viele Hindernisse gegenüber. Komplizierte Dachkonstruktionen, fehlende Übermauerungen oder bereits bestehende Einbauten erschweren das Vorhaben zusätzlich. [43] Um Baumaterial einzusparen, wurden Wohnhäuser ohne tragende oberste Geschoßdecken ausgeführt, hierbei stellte der Bundtramp des Dachstuhls die abschließende Schicht dar.

Die bauphysikalischen Anforderungen haben sich mit den Jahren verschärft, so stellt der Gemeindebau klarerweise nicht mehr den Stand der Technik dar. Überlegungen an Wärme- und Schallschutz sollten auch im Bestand getroffen werden, um den Komfort der Bewohnerinnen und Bewohner zu erhöhen. Zwischen den Wohnungseinheiten könnten Vorsatzschalen zu einer Verbesserung des Schallschutzes führen. Problematisch wird es bei der Übertragung des Körperschalls. Die Trennung der Laufplatten vom Gebäude ist ohne massive Eingriffe in den Bestand nicht möglich und sollte vorab einer Kosten-Nutzen-Rechnung unterzogen werden. Die Verbesserung des Schallschutzes zwischen den Geschossen ist nur mit einer Erneuerung des Fußbodenaufbaues möglich. Hierbei sollten die Anforderungen der Kreislaufwirtschaft einer nachträglichen Trennung der Materialien berücksichtigt werden. Weiteres darf das Aufbaugewicht nicht das bestehende Gewicht übersteigen, da der Bestand sonst eine zusätzliche Belastung erfahren würde. Trockenestriche und elastisch gebundene Schüttungen stellen hierbei eine gute Alternative zu den herkömmlichen Fußbodenaufbauten dar. Heizungsrohre in Fußböden können entfallen, wenn die Gebäudehülle eine ausreichende Dichtheit sowie einen Wärmeschutz aufweist. Temperaturspitzen könnten mithilfe von Elektroheizungen abgefangen werden. Strom könnte teilweise aus den Solarpaneelen auf den umliegenden Dächern bezogen werden. Die Verbesserung der Dämmwirkung der Außenwände ist Grundvoraussetzung für den Umstieg des Heizungssystems. Im Kapitel 4.6 wird ein Vorschlag für die Verbesserung der thermischen Hülle gezeigt.

Wird das Dachgeschoß ausgebaut erfahren die bestehenden Geschöße zusätzliche Einwirkungen im Falle eines Brandes. Die Wände zum Treppenhaus hin müssen einem Feuer von 90 Minuten standhalten. Ebenfalls gibt es Anforderungen an die Oberflächen und Materialien für die Podeste, Laufplatten und Wände. Die Türen zu den Wohneinheiten sind mit speziellen Brandschutztüren und einem automatisch schließenden Mechanismus auszustatten. Sollten keine selbstschließenden Türen eingebaut werden, müssen die Laufplatten und Podeste einem Brand von 90 Minuten, statt 30 Minuten, standhalten. Alle tragenden Bauteile und Decken sind mit R90 auszustatten. Ausnahmen bilden die Wände im obersten Geschosß und das Dach, hier wird R60 gefordert. Die

Ast-Molin Rippendecken müssen mit einer Brandschutzverkleidung geschützt werden, hier bietet sich eine abgehängte Decke an, wenn sie nicht schon vorhanden ist. Das Vollziegelmauerwerk hat, laut ÖNORM B 1996-1-2:2016-01 Tabelle N.B.1.2, [46] bereits ab einer Stärke von 17 cm die Anforderung REI90 erfüllt. Das Kriterium REI90 bedeutet, dass das Bauteil oder die Konstruktion eine Feuerwiderstandsfähigkeit von mindestens 90 Minuten aufweist. Dabei stehen die Buchstaben REI für die Eigenschaften: Tragfähigkeit (R), Raumabschluss (E) und Wärmedämmung (I).

4.5 Ertüchtigung des Bestandes

In diesem Kapitel werden gängige Ertüchtigungsmaßnahmen für die Verstärkung von Wandscheiben und Fundamente vorgestellt. Die Themen Abfangungen, Auswechslungen oder weitere konstruktive Maßnahmen innerhalb des Bestandes werden hier nicht erläutert. Für Wandscheiben gibt es grundsätzlich die Möglichkeit einer Erhöhung der vertikalen Tragfähigkeit, der Schubtragfähigkeit oder einer Kombination von beiden.

Durch Injektionen in das Mauerwerk wird die Druckfestigkeit des Mörtels erhöht und der Formschluss zwischen den einzelnen Komponenten verbessert. Die Tragfähigkeit des Mauerwerks in vertikaler und horizontaler Richtung wird verbessert. Umgangssprachlich wird dieses Verfahren *Verpressen* genannt. Voraussetzung für die Anwendung der Injektionen ist ein ausreichender Porenraum, in diesem sich das Injektionsgut verteilen kann. [47] Vor Beginn der Arbeiten wird ein Opferputz aufgebracht, der das Austreten des Materials verhindern soll. Es werden in einem regelmäßigen Raster Bohrlöcher hergestellt und in einem zweistufigen Verfahren Zement oder Kunstharz in das Mauerwerk injiziert. Die erste Stufe beinhaltet die konsolidierte Verfüllung der Hohlräume, im Anschluss wird unter Druck das restliche Injektionsgut eingebracht. Bei Injektionen mit Kunstharzen können Mörteldruckfestigkeiten zwischen 5 und 10 N/mm² erreicht werden, mit Zementinjektionen maximal 5 N/mm². Der Verbrauch des Materials ist stark abhängig vom Porenvolumen des Mauerwerkes, zur Kostenreduktion wird eine Kombination von Zement und Kunstharzen verwendet.

Ist eine Vergrößerung des Querschnittes möglich, so bietet sich die Verstärkung von Wänden durch Stahlbetonschalen an. Es wird der bestehende Putz der Mauerwerkswand abgeschlagen und Anker eingebracht, die die beiden Wandscheiben miteinander verbinden. Anschließend wird die Bewehrung eingelegt und die beiden Vorsatzschalen ausbetoniert. Alternativ ist es möglich, die Schalen mit Spritbeton herzustellen. Sollten punktuelle Lasten aus Trägern, Gurten oder Überlagern von der Wand abgeleitet werden, so bietet es sich an, Stahlbetonstützen in das Mauerwerk einzuschlitzen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Lasten weiter in das bestehende Mauerwerk oder in die Fundamente geleitet werden.

Zu Verstärkung von ein- oder mehrschaligem Mauerwerk werden Zugglieder quer zur Wandebene eingebracht. Diese verbinden die Schalen miteinander und erhöhen die Biegesteifigkeit. Es werden Löcher in einem regelmäßigen Raster in die Wand gebohrt, gereinigt und mit Mörtel verfüllt. In den noch nicht ausgehärteten Injektionsgut werden anschließend die Zugglieder, auch Nadeln genannt, eingebracht. Insgesamt kann bei einer dreischaligen Wand, in Kombination mit einer Verfüllung der Hohlräume, eine Bruchlaststeigerung in vertikaler Richtung von ca. 50 % erreicht werden. [47]

In Längsachse der Wand können GFK-Lamellen oder Glasfasergewebe auf dem Mauerwerk aufgebracht werden. Durch die schräg aufgebrachten Zugelemente wird die Schubtragfähigkeit der Wand erhöht. Sie können sowohl punktuell im Bereich eines Durchbruches oder vollflächig auf einer Wandscheibe aufgebracht werden. Durch die intensiven Kosten der Bewehrungselemente werden sie hauptsächlich bei denkmalgeschützten Bereichen verwendet. [47] Ein kleiner Überblick über die möglichen Verstärkungsverfahren bietet die Abb. 44.

Eine gute Möglichkeit, die Steifigkeit des Gebäudes in horizontaler Richtung zu erhöhen, besteht darin, neue durchgehende Scheiben in einer Achse herzustellen. Es ist darauf zu achten, dass die Scheibe ähnliche Schubsteifigkeiten wie die umliegenden Wände hat, da es sonst zu großen Umlagerungen der horizontalen Kräfte und zu vermehrten Rissen kommen würde. Ebenfalls sinnvoll ist es, die lastabtragenden Achsen mit den Querwänden kraftschlüssig zu verbinden, um das Trägheitsmoment zu erhöhen.

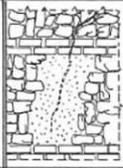
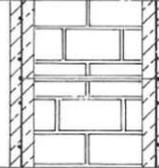
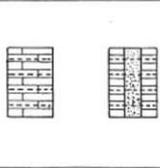
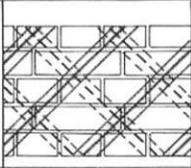
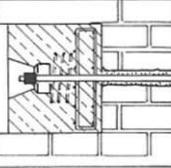
SKIZZE					
BEZEICHNUNG	INJEKTION	VERSTÄRKUNGSSCHALEN	BEWEHRUNG QUER ZUR WANDEBENE	BEWEHRUNG IN WANDEBENE	VORSPANNUNG DES MAUERWERKS
BEVORZUGTE ANWENDUNG	BEREICHSWEISE SCHADEN	GROSSFLÄCHIGE VERSTÄRKUNG	VERST. HIST. MISCH-MAUERWERKS	VERST. IM BEREICH VON DURCHBRÜCHEN HOHER SCHUBBEL.	SANIERUNG VON VERFORMUNGS-SCHÄDEN
EINSCHRÄNKUNGEN	EINGEGRENZTER BEREICH, OFT GIPS-ANTEILE IM MÖRTEL	ZUGÄNGLICHKEIT KEINE SCHÜTZENSWERTEN OBERFLÄCHEN	ERH. D. DRUCKFEST. NUR BEI MEHR-SCHICHTIGEN MAUERN	ZUGÄNGLICHKEIT D. BOHRSTELLEN	SPANNKRAFT-VERLUSTE; MASSNAHMEN IM VERANKERUNGSPUNKT
NOTW. VORUNTERSUCHUNGEN	MAUERWERKS-EIGENSCHAFTEN; CHEM. ANALYSE DES MÖRTELS	MAUERWERKS-EIGENSCHAFTEN GEBÄUDESTRUKTUR	MAUERWERKS-EIGENSCHAFTEN CHEM. ANALYSE DES MÖRTELS	MAUERWERKS-EIGENSCHAFTEN CHEM. MÖRTEL-ANALYSE GEBÄUDESTRUKTUR	ZEITABH. PLAST. MAUERWERKS-VERFORMUNGEN TEMPERATURVERK. SPALTZUGFESTIGK.
AKTUELLE FORSCHUNGSZIELE	ERMITTLUNG VON RICHTWERTEN ZUR VORDIMENSIONIERUNG	ERMITTLUNG VON RICHTWERTEN ZUR MAUERWERKSBEURTEILUNG VERBUNDWIRKUNG	STATISTISCHE AUSWERTUNG VON ERZIELTEN VERBESSERUNGEN	ENTWICKLUNG VON EINBAUVORRICHTUNGEN MODELLENTWICKLUNG ZUR VORBE-MESSUNG	RICHTWERTE ZUR LANGZEITBEURTEILUNG (SPANNKRAFTVERLUSTE)

Abb. 44 – Verstärkungsmöglichkeiten bei Wänden [48]

Die Verstärkung der Fundamente kann durch eine Vertiefung und Verbreiterung, den Einbau einer Bodenplatte, Injektionen in den Untergrund, Wurzelpfähle oder durch Unterfangungskonstruktionen hergestellt werden.

Die einfachste und kostengünstigste Variante ist die Herstellung einer neuen Bodenplatte im Kellergeschoß. Der alte Kellerfußboden wird abgeräumt und die alte Bodenplatte abgebrochen. Schrittweise wird abgegraben und eine neue Stahlbetonplatte betoniert. Diese wird mindesten 15 cm in die tragenden Fundamente eingestemmt, um eine Verbundwirkung herzustellen. Die neue rechnerische Breite für den Grundbruchsnachweis ist die Breite des Fundamentes plus der Plattenstärke. [47] Es wird davon ausgegangen, dass sich die Lasten in der Platte im 45° Winkel ausbreiten.

4.6 Energetische Sanierung des Bestandes

Die Begriffe der thermischen oder energetischen Sanierung, beschreiben das Vorhaben einer Reduzierung des Energieverbrauches für das Heizen von Innenräumen eines Gebäudes. Auf der einen Seite ist es möglich, das Objekt besser vor den klimatischen Bedingungen abzusichern, andererseits kann die Heizungsanlage modernisiert bzw. optimiert werden.

Innerhalb der letzten paar Jahre hat sich das Anbringen einer zusätzlichen Schicht Wärmedämmung bewährt. Dabei wurden EPS-Platten gemeinsam mit kunststoffummanteltem Glasfasergewebe, Armierungen und Außenputzsystemen zu einem Einheitsbrei zusammengeklebt. Die Recyclingfähigkeit von expandiertem Polystyrol ist teilweise nicht möglich, da einige EPS-Sorten das Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) enthalten. Diese Substanz ist seit 2015 als Umweltgift eingestuft worden und darf weltweit nicht mehr hergestellt, verarbeitet oder vermarktet werden. [49] Die einzig aktuell mögliche Verwertung stellt die Verbrennung der Platten dar.

Eine Alternative dazu ist zum Beispiel das System *weber.therm circle WDVS* von Saint-Gobain. Es werden Mineralwoll-Dämmplatten nicht mit Klebemörtel, sondern mithilfe von Schraubdübeln auf Beton- oder Mauerwerksuntergründe befestigt. Ein Separationsgewebe, das den Putz beim Rückbau zusammenhält und für eine saubere Trennung sorgt, wird in den Grundputz eingearbeitet. [50] Die Fassade wird beim Abbruch in einzelne Stücke unterteilt und mithilfe einer Bagger-schaufel können die Felder sauber von der Mineralwolle getrennt werden. Dübel und Dämmplatten können sofort wiederverwendet werden, wenn keine Beschädigungen vorliegen.

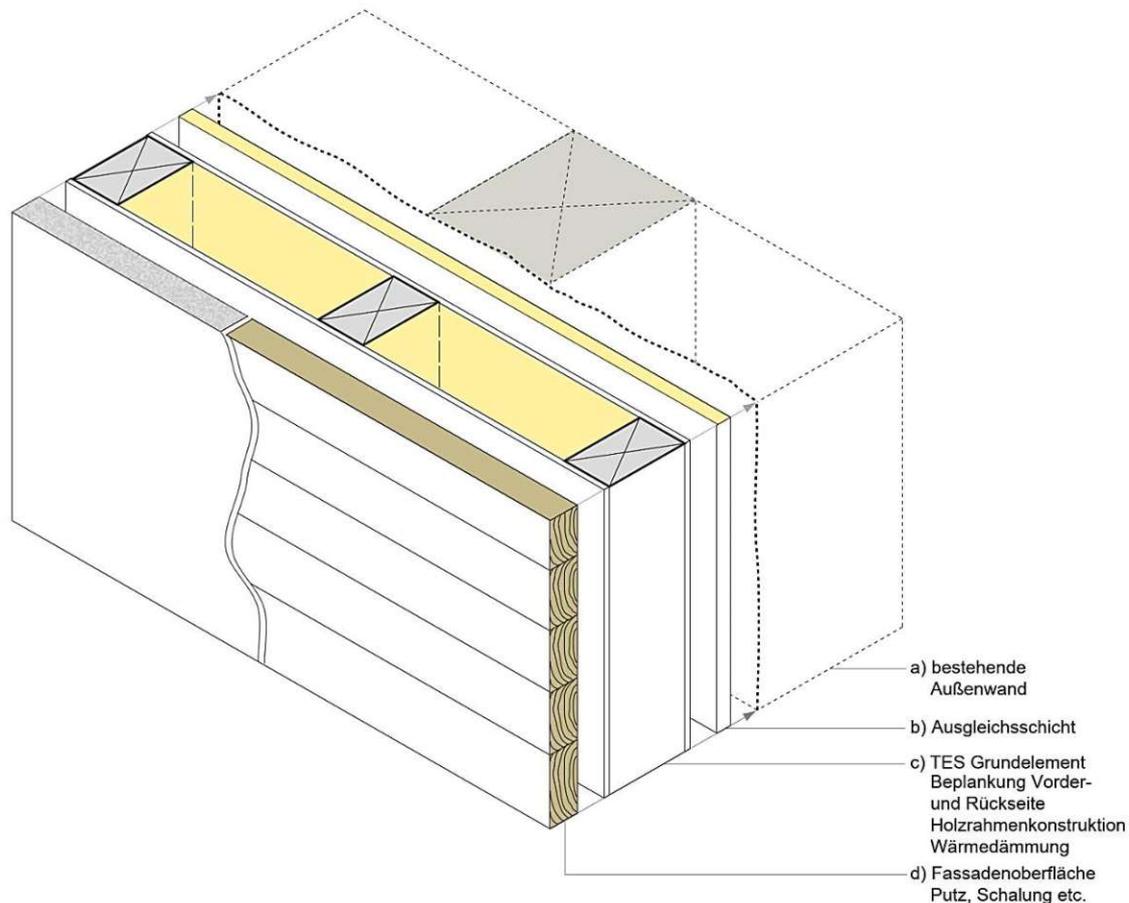


Abb. 45 – Aufbau der TES-Elemente [51]

Einen anderen Ansatz verfolgt das Projekt *TES – EnergyFacade*. Mithilfe von vorgefertigten Fassadenmodulen soll die Gebäudehülle von Nachkriegsbauten seriell verbessert werden. [51] Lange Bauzeiten, ineffiziente Prozesse und die Koordination der unterschiedlichen Gewerke sollen entfallen. Die Module bestehen aus einer Holzständerbauweise, die über verschiedene Gebäudetypen skalierbar ist. Um die Unebenheiten der Fassade auszugleichen wird ein Ausgleichsspalt definiert, der mit Mineralwolle oder einer Zelluloseeinblasdämmung verfüllt wird. Die TES-Elemente werden im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle montiert. Integriert sind das Dämmsystem, die Fenster, die Fassadenbekleidung und Technikkomponenten. Die Montage erfolgt auf der bestehenden Tragstruktur, hierbei haben sich verschiedene Konstruktionstypen bewährt.

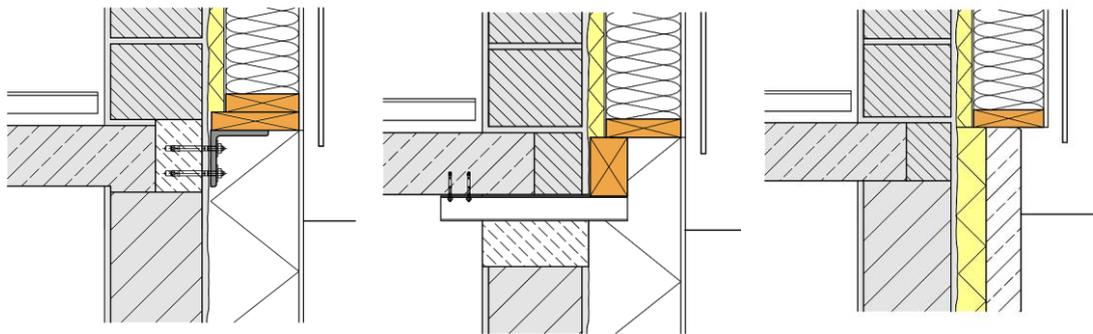


Abb. 46 – Befestigungsmöglichkeiten der TES-Elemente [51]

4.7 Abschätzen der Tragreserven

Um die Tragreserven abschätzen zu können wird das Gewicht der Nutzlasten und Aufbauten an drei Signifikanten Punkten in vertikaler Richtung aufsummiert. Die Lage im Grundriss ist in Abb. 43 dargestellt, die Lastableitung wird bei der Mittelwand, der Außenwand und an dem Mauerwerkspfeiler mit den kleinsten Abmessungen durchgeführt. Es ergeben sich durch die drei Punkte jeweils drei Nachweisebenen, die überprüft werden sollen. Die erste Ebene befindet sich im zweiten Obergeschoß im Hohlsteinmauerwerk. Danach wird das Vollziegelmauerwerk im Erdgeschoß auf deren Standfestigkeit überprüft und am Schluss der Grundbruchwiderstand der Fundamente berechnet. Das Kapitel 4.7.1 gibt einen Überblick über die angenommenen Fußboden- und Wandaufbauten. Es werden die Nachweise der vertikalen Tragfähigkeit des Mauerwerks, die Mauerwerkspressungen und die Standfestigkeit der Fundamente geführt. Im Kapitel 4.7.2 sind die Tabellen der Lastableitung in vertikaler Richtung dargestellt. Es werden anteilmäßig Beiwerte für die Öffnungen der Fenster und Türen angewendet.

Für die Abschätzung der Tragreserven in horizontaler Richtung wird die Diplomarbeit von Strasser [44] herangezogen. Er nimmt an, dass die Erdbebeneinwirkung den maßgebenden Fall für die Beanspruchung in horizontaler Richtung darstellt. Verglichen wird die Bestandsituation mit zwei verschiedenen Ausbauvarianten. Das Kapitel 4.7.3 fasst seine Berechnung zusammen und weist auf mögliche Schwachstellen in der Tragstruktur hin.

Das abschließende Kapitel gibt eine grobe Auskunft über die vorhandenen Tragreserven und mögliche Maßnahmen zur Ertüchtigung des Bestandes. Es werden die Nachweise für die verschiedenen Ebenen dargestellt und analysiert.

4.7.1 Lastaufstellung

B1 Geschoßdecke Wohnraum					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
Belag	2	5,50		0,11	
Blindboden	2,4	5,50		0,13	
Polsterhölzer	5		0,05	0,05	
Beschüttung	5	18,00		0,90	
Ast-Molin Rippendecke	27		2,45	2,45	x
Putz inkl. Putzträger	1,5	20,00		0,30	
				Auflast: gA=	1,49
				Eigengewicht: g=	3,94
Beschreibung	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]	
Flächen von Räumen in Wohngebäuden	A1	2,00		2,00	
				Nutzlast: q=	2,00
B2 Geschoßdecke Nassraum					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
Terrazzo	2	20,00		0,40	
Zementestrich	5,5	22,00		1,21	
Heraklithplatte	2,5	4,00		0,10	
Stahlbetonplatte	10	25,00		2,50	x
Putz inkl. Putzträger	1,5	20,00		0,30	
				Auflast: gA=	2,01
				Eigengewicht: g=	4,51
Beschreibung	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]	
Flächen von Räumen in Wohngebäuden	A1	2,00		2,00	
				Nutzlast: q=	2,00
B3 Stiegenpodeste					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
Terrazzo	2	20,00		0,40	
Zementestrich	5,5	22,00		1,21	
Heraklithplatte	2,5	4,00		0,10	
Stahlbetonplatte	18	25,00		4,50	x
Putz inkl. Putzträger	1,5	20,00		0,30	
				Auflast: gA=	2,01
				Eigengewicht: g=	6,51
Beschreibung	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]	
Flächen von Räumen in Wohngebäuden	A1	2,00	1,00	3,00	
				Nutzlast: q=	3,00

Tab. 12 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Bestandes Teil 1

B4 Dachboden				
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]
Betonflötz	6	24,00		1,44
Sandschicht	4	18,00		0,72
Dachpappe	-		0,03	0,03
Korkplatte	4	3,20		0,13
Ast-Molin Rippendecke	27		2,45	2,45
Putz inkl. Putzträger	1,5	20,00		0,30
Auflast: gA=				2,62
Eigengewicht: g=				5,07
tragend				
Beschreibung []	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]
Nutzlasten auf Dackkonstruktionen	H	1,00		1,00
Nutzlast: q=				1,00
B5 Balkon				
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]
Betonplatte	12	25,00		3,00
Auflast: gA=				0,00
Eigengewicht: g=				3,00
tragend				
Beschreibung []	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]
Flächen von Räumen in Wohngebäuden	A1	2,00	2,00	4,00
Nutzlast: q=				4,00
B6 Dachkonstruktion				
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]
Welleternit	5		0,25	0,25
Gespärre mit Unterkonstruktion	20		0,50	0,50
Auflast: gA=				0,25
Eigengewicht: g=				0,75
tragend				
Beschreibung []	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]
Nutzlasten auf Dackkonstruktionen	H	1,00		1,00
Nutzlast: q=				1,00
B7 Vibromauerwerk d=38cm				
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]
Mauerwerk	38	12,00		4,56
Auflast: gA=				0,00
Eigengewicht: g=				4,56
tragend				

Tab. 13 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Bestandes Teil 2

B8 Vibromauerwerk d=25cm					
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	tragend x
Mauerwerk	25	12,00		3,00	x
Auflast: g_A=				0,00	
Eigengewicht: g=				3,00	
B9 Stampfbeton d=38cm					
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	tragend x
Betonwand	38	24,00		9,12	x
Auflast: g_A=				0,00	
Eigengewicht: g=				9,12	
B10 Stahlbetonwand d=25cm					
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	tragend x
Stahlbetonwand	25	25,00		6,25	x
Auflast: g_A=				0,00	
Eigengewicht: g=				6,25	
B11 Vollziegelmauerwerk d=38cm					
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	tragend x
Mauerwerk	38	18,00		6,84	x
Auflast: g_A=				0,00	
Eigengewicht: g=				6,84	
B12 Vollziegelmauerwerk d=25cm					
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	tragend x
Mauerwerk	25	18,00		4,50	x
Auflast: g_A=				0,00	
Eigengewicht: g=				4,50	

Tab. 14 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Bestandes Teil 3

4.7.2 Vertikale Lastableitung

AW Außenwand vor Ausbau												Summe	Summe
Last von:	Nr.	g	p	Einflussbreite	Abmind.	Abmind.*	Eigengew.	Nutzlast	Summe	Summe	Char.Last	Des.Last	
		[kN/m ²]	[kN/m ²]	Dimension	Nutzlast	Fenster	[kN/m]	[kN/m]	Eigengew.	Nutzlast	g _k +q _k	g _d +q _d	
				[m]	[-]	[-]			[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	
-													
-													
Decke über DG1	B6	0,75	1,00	2,50	1,00	1,00	1,88	2,50	2	3			
Geschoß DG1	B10	6,25	0,00	0,50	1,00	1,00	3,13	0,00	5	3	8	11	
Decke über OG3	B4	5,07	1,00	2,50	1,00	1,00	12,68	2,50	18	5			
Geschoß OG3	B7	4,56	0,00	3,00	1,00	0,80	10,94	0,00	29	5	34	46	
Decke über OG2	B1	3,94	2,00	2,50	1,00	1,00	9,85	5,00	38	10			
Geschoß OG2	B7	4,56	0,00	3,00	1,00	0,80	10,94	0,00	49	10	59	82	
Decke über OG1	B1	3,94	2,00	2,50	1,00	1,00	9,85	5,00	59	15			
Geschoß OG1	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,80	16,42	0,00	76	15	91	125	
Decke über EG	B1	3,94	2,00	2,50	1,00	1,00	9,85	5,00	86	20			
Geschoß EG	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,80	16,42	0,00	102	20	122	168	
Decke über KG	B1	3,94	2,00	2,50	1,00	1,00	9,85	5,00	112	25			
Geschoß KG	B9	9,12	0,00	2,60	1,00	0,98	23,24	0,00	135	25	160	220	

*die Abminderung der Fenster ergibt sich aus [1-(Fläche Fenster)/(Fläche Geschoßwand)]

Tab. 15 – Lastableitung der Außenwandachse (AW) vor dem Ausbau

MW Mittelwand vor Ausbau												Summe	Summe
Last von:	Nr.	g	p	Einflussbreite	Abmind.	Abmind.*	Eigengew.	Nutzlast	Summe	Summe	Char.Last	Des.Last	
		[kN/m ²]	[kN/m ²]	Dimension	Nutzlast	Fenster	[kN/m]	[kN/m]	Eigengew.	Nutzlast	g _k +q _k	g _d +q _d	
				[m]	[-]	[-]			[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	
-													
-													
Decke über DG1	B6	0,75	1,00	5,00	1,00	1,00	3,75	5,00	4	5			
Geschoß DG1	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,25	5,13	0,00	9	5	14	19	
Decke über OG3	B4	5,07	1,00	5,00	1,00	1,00	25,35	5,00	34	10			
Geschoß OG3	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,85	17,44	0,00	52	10	62	85	
Decke über OG2	B1	3,94	2,00	5,00	1,00	1,00	19,70	10,00	71	20			
Geschoß OG2	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,85	17,44	0,00	89	20	109	150	
Decke über OG1	B1	3,94	2,00	5,00	1,00	1,00	19,70	10,00	109	30			
Geschoß OG1	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,85	17,44	0,00	126	30	156	215	
Decke über EG	B1	3,94	2,00	5,00	1,00	1,00	19,70	10,00	146	40			
Geschoß EG	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,85	17,44	0,00	163	40	203	280	
Decke über KG	B1	3,94	2,00	5,00	1,00	1,00	19,70	10,00	183	50			
Geschoß KG	B9	9,12	0,00	2,60	1,00	0,85	20,16	0,00	203	50	253	349	

*die Abminderung der Fenster ergibt sich aus [1-(Fläche Fenster)/(Fläche Geschoßwand)]

Tab. 16 – Lastableitung der Mittelwandachse (MW) vor dem Ausbau

MWP Wandpfeiler 38/70 e=190cm vor Ausbau												Summe	Summe
Last von:	Nr.	g	p	Einflussbreite	Abmind.*	Einfluss.**	Einfluss.**	Eigengew.	Nutzlast	Summe	Summe	Char.Last	Des.Last
		[kN/m ²]	[kN/m ²]	Dimension	Fenster	Nutzlast	Ständig	[kN]	[kN]	Eigengew.	Nutzlast	g _k +q _k	g _d +q _d
				[m]	[-]	[m]	[m]			[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
-													
-													
Decke über DG1	B6	0,75	1,00	2,50	1,00	1,90	1,90	3,56	4,75	4	5		
Geschoß DG1	B10	6,25	0,00	0,50	1,00	1,90	1,90	5,94	0,00	10	5	14	20
Decke über OG3	B4	5,07	1,00	2,50	1,00	1,90	1,90	24,08	4,75	34	10		
Geschoß OG3	B7	4,56	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	20,79	0,00	54	10	64	88
Decke über OG2	B2	4,51	2,00	2,50	1,00	1,90	1,90	21,42	9,50	76	19		
Geschoß OG2	B7	4,56	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	20,79	0,00	97	19	116	159
Decke über OG1	B2	4,51	2,00	2,50	1,00	1,90	1,90	21,42	9,50	118	29		
Geschoß OG1	B11	6,84	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	31,19	0,00	149	29	178	244
Decke über EG	B2	4,51	2,00	2,50	1,00	1,90	1,90	21,42	9,50	171	38		
Geschoß EG	B11	6,84	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	31,19	0,00	202	38	240	329
Decke über KG	B2	4,51	2,00	2,50	1,00	1,90	1,90	21,42	9,50	223	48		
Geschoß KG	B9	9,12	0,00	2,60	0,98	1,90	1,90	44,15	0,00	267	48	315	432

*die Abminderung der Fenster ergibt sich aus [1-(Fläche Fenster)/(Fläche Geschoßwand)]

**die Einflussfläche des Wandpfeilers beträgt 1,90m.

Tab. 17 – Lastableitung des Mauerwerkspfeilerachse (MWP) vor dem Ausbau

4.7.3 Horizontale Lastableitung Erdbeben

Strasser hat in seiner Arbeit [44] eine Nachrechnung des Bestandes hinsichtlich der Erdbebensicherheit durchgeführt. Er hat dabei verschiedene Varianten untersucht, einen eingeschößigen und einen zweigeschößigen Dachgeschoßausbau. Diese Varianten hat er jeweils mit einem drei, vier und fünfgeschößigen Bestand durchgerechnet. Die Bestandsgebäude erfüllen alle die Anforderungen der Erbebensicherheit. Analysiert wurde das Objekt mit dem Rechenprogramm 3Muri, es wurden die zusätzlichen Lasten, die aus dem Dachgeschoßausbau resultieren, berechnet und am Rechenmodell angesetzt. Basierend auf seinen Ergebnissen, die keine Verstärkungsmaßnahmen beinhalten, hat er folgende Erkenntnisse gesammelt:

- * Die Aussteifung in Y-Richtung, dies entspricht der Querrichtung des Gebäudes, ist maßgebend für die Analyse. Dabei hat nur der eingeschößige Dachausbau bei der vier und fünfgeschößigen Variante den Nachweis der Erdbebensicherheit erfüllt. In den anderen Fällen tritt ein Versagen oder Teilversagen der Bauteile ein, ausgenommen sind die Bestandsgebäude ohne einen Ausbau.

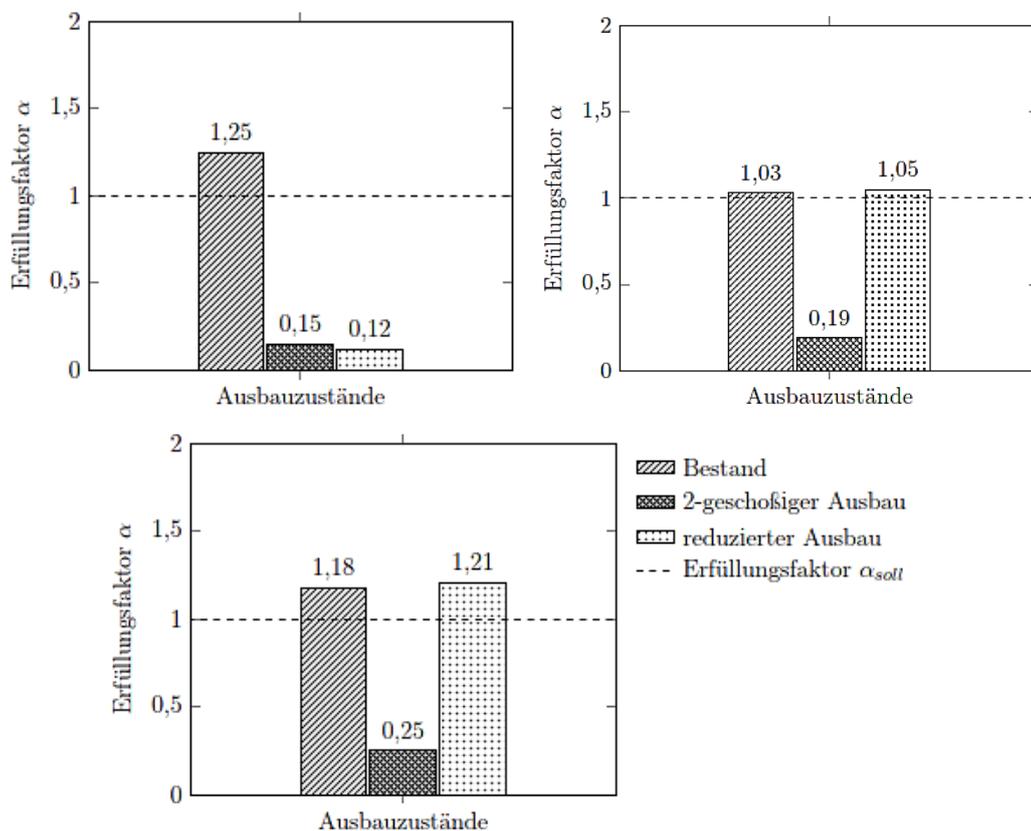


Abb. 47 – Erdbebenanalyse des drei (o. l.), vier (o. r.) und fünfgeschößigen Bestandes [44]

- * Bei der reduzierten Ausbauvariante des dreigeschößigen Gebäudes wird ein sehr geringer Erfüllungsfaktor erreicht. Dieser lässt sich dadurch erklären, dass die Erdbebenlasten aufgrund der geringen Geschoßanzahl ungünstig aufgebracht werden und eventuell eine alternative Bemessungsmethodik gewählt werden sollte.
- * Durch die Erhöhung der Masse im Dachgeschoß resultiert eine größere Erdbebenlast, diese Last führt höchst wahrscheinlich zu einem Schubversagen des Stahlbetonträgers über dem obersten Geschoß des Bestandes. Dieser Fall tritt nur bei der Belastung des zweigeschößigen Dachausbaues mit dem vier und fünfgeschößigen Bestand auf. Die folgende Abbildung zeigt die Lage des Trägers.

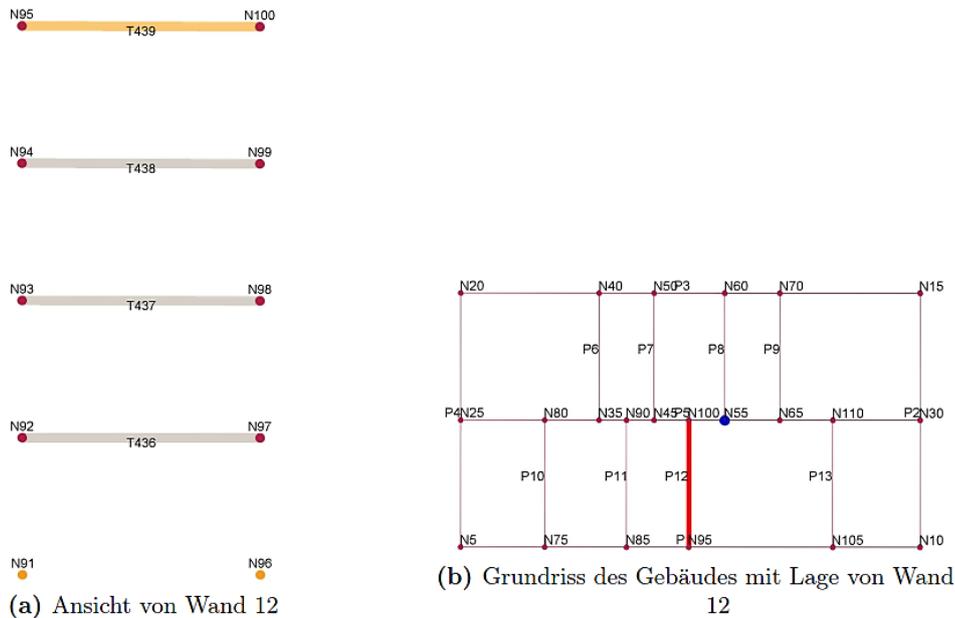


Abb. 48 – Erdbebenanalysemodell und Lage des Stahlbetonträgers [44]

Im Folgenden sind die Linienlasten für das Erdbebenmodell von Strasser dargestellt. Es wurden die Lasten auf den Außenmauern und der Mittelmauer aufgesetzt.

1-geschoßige Variante		Hofmauer	Mittelmauer	Stiegenhausmauer
ständige Lasten	[kN/m]	3,89	29,93	8,94
Nutzlast Kat. A	[kN/m]	-	-	-
Nutzlast Kat. H	[kN/m]	-	-	-
Schneelasten	[kN/m]	0,92	4,46	1,27
Windlasten	[kN/m]	0,86	2,38	0,30
<hr/>				
Chark. Belastung*	[kN/m]	5,67	36,77	10,51
Design Belastung*	[kN/m]	7,92	50,67	14,42
Erdbeben Belastung**	[kN/m]	3,89	29,93	8,94

Tab. 18 – Linienlasten für das Erdbebenanalysemodell der eingeschößigen Variante

2-geschoßige Variante		Hofmauer	Mittelmauer	Stiegenhausmauer
ständige Lasten	[kN/m]	7,78	29,93	8,94
Nutzlast Kat. A	[kN/m]	3,40	15,55	3,45
Nutzlast Kat. H	[kN/m]	-	-	-
Schneelasten	[kN/m]	0,92	4,46	1,27
Windlasten	[kN/m]	0,86	2,38	0,30
<hr/>				
Chark. Belastung*	[kN/m]	12,96	52,32	13,96
Design Belastung*	[kN/m]	18,27	73,99	19,60
Erdbeben Belastung**	[kN/m]	8,80	34,60	9,98

* Gemäß ÖNORM EN 1991-1-1:2011, Abschnitt 3.3.2(1) müssen auf Dächern der Kategorie H Nutzlasten nicht in Kombination mit Schneelasten und/oder Windeinwirkung angesetzt werden.

** Gemäß ÖNORM EN 1990:2021, Abschnitt 8.3.4.4 (1) sollte die Kombination von Einwirkungen für Bemessungssituationen mit Erdbeben mit der Gleichung (8.16) berechnet werden.

$$\Sigma F_{Ed} = \sum_i G_{k,i} + A_{E,Ed} + \sum_j \psi_{2,j} Q_{k,j} + (P_k)$$

$A_{E,Ed}$ der Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung im einem Grenzzustand der Tragfähigkeit.

$\psi_{2,j}$ der Kombinationsbeiwert, angewendet auf eine veränderliche Begleitwirkung j zur Bestimmung ihres quasi-ständigen Werts. Gemäß ÖNORM EN 1990:2021, Tabelle A.1.7 sind die Werte für ψ_2 : Schneelasten unter 1000m, Windlasten und Nutzlast der Kat. H gleich 0. Für Nutzlasten in Wohngebäuden 0,3.

Tab. 19 – Linienlasten für das Erdbebenanalysemodell der zweigeschoßigen Variante

4.7.4 Nachweise und Diskurs

Bei dem Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes wurden einige Annahmen getroffen. Die Ausmitte infolge horizontaler Lasten wurde sowohl in der Höhe h und h/2 mit null angenommen. Die effektive Höhe und Breite entspricht der Wandhöhe und -breite der betrachteten Scheibe. Die Mauerwerksdruckfestigkeit der Hohlsteinwand wurde aus dem Aufsatz [52] von Hammer-schmidt, Kolbitsch und Pommer entnommen. Sie haben Versuche an Hohlblockstein Mauerwer-ken aus Ziegelsplitt durchgeführt, um genauere Materialeigenschaften zu bestimmen. Die restli-chen Annahmen sind den folgenden Abbildungen zu entnehmen.

Es wurde im Erdgeschoß das Vollziegelmauerwerk der Mittelwand nachgewiesen. Im An-schluss das Hohlziegelmauerwerk der Außenwand und der Mauerwerkspfeiler im zweiten Ober-geschoß aus Hohlsteinen. Die folgenden Rechnungen dienen lediglich als Grundlage einer Diskus-sion, sie sind weder vollständig, noch ersetzen sie die statische Berechnung einer umfangreichen Tragwerksplanung.

Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes

EN1996-1-1:2005+A1 2012

MW vor Ausbau

6.1.2.2. Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß) und ϕ_m (Wandmitte)

$f_k := 4,0 \frac{N}{mm^2}$	$N_{1d} := 257 \text{ kN}$	$L_1 := 100 \text{ cm}$	$t_{ef} := t$	$e := 5 \text{ cm}$...Exzentrizität zwischen Decken- und Wandlast
$h := 275 \text{ cm}$	$N_{mcd} := 269 \text{ kN}$	$L_2 := 100 \text{ cm}$	$h_{ef} := h$	$\phi_{inf} := 1,5$
$t := 38 \text{ cm}$	$N_{2d} := 280 \text{ kN}$	$L_3 := 100 \text{ cm}$	$e_{he} := 0$	$\gamma_m := 2,5$
			$e_{hm} := 0$	$E := 5000 \frac{N}{mm^2}$
				$f_d := \frac{f_k}{\gamma_m} = 1,6 \frac{N}{mm^2}$
				$e_{init} := \frac{h_{ef}}{450}$

Ermittlung von ϕ_m (Wandmitte)

$$M_{mcd} := (N_{2d} - N_{1d}) \cdot e = 1,15 \text{ kN m}$$

$$e_m := \frac{M_{mcd}}{N_{mcd}} + e_{hm} + e_{init} = 1,04 \text{ cm}$$

$$e_k := 0,002 \cdot \phi_{inf} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0,14 \text{ cm}$$

$$e_{mk} := e_m + e_k$$

$$e_{mk,min} := \max \left(\left[e_{mk} \ 0,05 \cdot t \right] \right) = 1,9 \text{ cm}$$

Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß)

$$M_{2d} := N_{2d} \cdot e$$

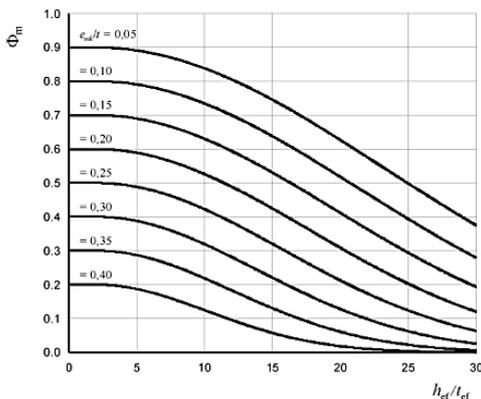
$$e_2 := \frac{M_{2d}}{N_{2d}} + e_{he} + e_{init}$$

$$\phi_2 := 1 - 2 \cdot \frac{e_2}{t} = 0,7$$

$$N_{R2d} := f_d \cdot t \cdot \phi_2 \cdot L_3 = 428,44 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{2d}}{N_{R2d}} = 65,35 \%$$

ϕ_m für $E=1000 \cdot f_k$:

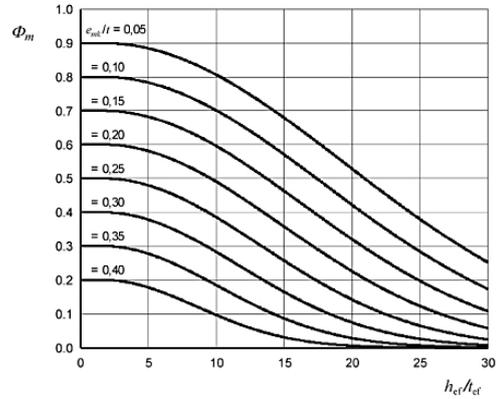


$$\phi_m := 0,85$$

$$N_{Rmcd} := f_d \cdot t \cdot \phi_m \cdot L_2 = 516,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{mcd}}{N_{Rmcd}} = 52,05 \%$$

ϕ_m für $E=700 \cdot f_k$:



$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 7,24 \quad f_k \cdot 1000 = 4000 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{e_{mk,min}}{t} = 0,05 \quad f_k \cdot 700 = 2800 \frac{N}{mm^2}$$

Abb. 49 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Mittelwandachse (MW) vor dem Ausbau

Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes

EN1996-1-1:2005+A1 2012

AW vor Ausbau

6.1.2.2. Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß) und ϕ_m (Wandmitte)

$f_k := 1,9 \frac{N}{mm^2}$	$N_{1d} := 66 \text{ kN}$	$L_1 := 100 \text{ cm}$	$t_{ef} := t$	$e := 5 \text{ cm}$...Exzentrizität zwischen Decken- und Wandlast
$h := 275 \text{ cm}$	$N_{md} := 73 \text{ kN}$	$L_2 := 100 \text{ cm}$	$h_{ef} := h$	$\phi_{inf} := 1,5$
$t := 38 \text{ cm}$	$N_{2d} := 82 \text{ kN}$	$L_3 := 100 \text{ cm}$	$e_{he} := 0$	$\gamma_m := 2,5$
			$e_{hm} := 0$	$E := 2315 \frac{N}{mm^2}$
			$e_{init} := \frac{h_{ef}}{450}$	$f_d := \frac{f_k}{\gamma_m} = 0,76 \frac{N}{mm^2}$

Ermittlung von ϕ_m (Wandmitte)

$$M_{md} := (N_{2d} - N_{1d}) \cdot e = 0,8 \text{ kN m}$$

$$e_m := \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} = 1,71 \text{ cm}$$

$$e_k := 0,002 \cdot \phi_{inf} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0,17 \text{ cm}$$

$$e_{mk} := e_m + e_k$$

$$e_{mk,min} := \max \left(\left[e_{mk} \ 0,05 \cdot t \right] \right) = 1,9 \text{ cm}$$

$$\phi_m := 0,85$$

$$N_{Rmd} := f_d \cdot t \cdot \phi_m \cdot L_2 = 245,48 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{md}}{N_{Rmd}} = 29,74 \%$$

Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß)

$$M_{2d} := N_{2d} \cdot e$$

$$e_2 := \frac{M_{2d}}{N_{2d}} + e_{he} + e_{init}$$

$$\phi_2 := 1 - 2 \cdot \frac{e_2}{t} = 0,7$$

$$N_{R2d} := f_d \cdot t \cdot \phi_2 \cdot L_3 = 203,51 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{2d}}{N_{R2d}} = 40,29 \%$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 7,24 \quad f_k \cdot 1000 = 1900 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{e_{mk,min}}{t} = 0,05 \quad f_k \cdot 700 = 1330 \frac{N}{mm^2}$$

Abb. 50 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Außenwandachse (AW) vor dem Ausbau

Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes

EN1996-1-1:2005+A1 2012

MWP vor Ausbau

6.1.2.2. Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß) und ϕ_m (Wandmitte)

$f_k := 1,9 \frac{N}{mm^2}$	$N_{1d} := 131 \text{ kN}$	$L_1 := 190 \text{ cm}$	$t_{ef} := t$	$e := 5 \text{ cm}$...Exzentrizität zwischen Decken- und Wandlast
$h := 275 \text{ cm}$	$N_{md} := 145 \text{ kN}$	$L_2 := 70 \text{ cm}$	$h_{ef} := h$	$\phi_{inf} := 1,5$
$t := 38 \text{ cm}$	$N_{2d} := 159 \text{ kN}$	$L_3 := 190 \text{ cm}$	$e_{he} := 0$	$\gamma_m := 2,5$
			$e_{hm} := 0$	$E := 2315 \frac{N}{mm^2}$
			$e_{init} := \frac{h_{ef}}{450}$	$f_d := \frac{f_k}{\gamma_m} = 0,76 \frac{N}{mm^2}$

Ermittlung von ϕ_m (Wandmitte)

$$M_{md} := (N_{2d} - N_{1d}) \cdot e = 1,4 \text{ kN m}$$

$$e_m := \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} = 1,58 \text{ cm}$$

$$e_k := 0,002 \cdot \phi_{inf} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0,17 \text{ cm}$$

$$e_{mk} := e_m + e_k$$

$$e_{mk,min} := \max \left(\left[e_{mk} \ 0,05 \cdot t \right] \right) = 1,9 \text{ cm}$$

$$\phi_m := 0,85$$

$$N_{Rmd} := f_d \cdot t \cdot \phi_m \cdot L_2 = 171,84 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{md}}{N_{Rmd}} = 84,38 \%$$

Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß)

$$M_{2d} := N_{2d} \cdot e$$

$$e_2 := \frac{M_{2d}}{N_{2d}} + e_{he} + e_{init}$$

$$\phi_2 := 1 - 2 \cdot \frac{e_2}{t} = 0,7$$

$$N_{R2d} := f_d \cdot t \cdot \phi_2 \cdot L_3 = 386,67 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{2d}}{N_{R2d}} = 41,12 \%$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 7,24 \quad f_k \cdot 1000 = 1900 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{e_{mk,min}}{t} = 0,05 \quad f_k \cdot 700 = 1330 \frac{N}{mm^2}$$

Abb. 51 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Mauerwerkspfeilerachse (MWP) vor dem Ausbau

Der vertikale Tragwiderstand kann in allen betrachteten Punkten als erfüllt angesehen werden. Auf den Nachweis der Mauerwerkspressung wird verzichtet, da in der Berechnung des vertikalen Tragwiderstandes die Pressung des Mauerwerkes mit einem Faktor ϕ abgemindert wird. Lokale Überschreitungen der Mauerwerkspressung sind möglich und sollten in einer genauen Nachrechnung überprüft werden. Es ist ersichtlich, dass das Mauerwerk Tragreserven aufweist. Der betrachtete Mauerwerkspfeiler liegt bei einer Auslastung von etwa 85 %. Hier könnten bei einem Ausbau mögliche Verstärkungen vorgesehen werden.

Die Grundbruchsicherheit ist ebenfalls gegeben und weist noch Tragreserven auf. Es wird von einem tragfähigen Boden ausgegangen und die Standfestigkeit mit üblichen Bodenkennwerten abgeschätzt.

Nachweis Grundbruchsicherheit EN1997-1:2014	AW vor Ausbau
$b := 0,70 \text{ m}$	$N_{q,0} := \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi)) = 24,58$ $N_{\gamma,0} := (N_{q,0} - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,03$ $N_{c,0} := (N_{q,0} - 1) \cdot \cot(\varphi) = 37,02$
$d := 1,00 \text{ m}$	
$E_d := 220 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	
$\gamma_{R,v} := 1,4$	
$\varphi := 32,5^\circ$	
$\gamma := 18,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$R_{Gr,k} := \gamma \cdot b \cdot N_{\gamma,0} + \gamma \cdot d \cdot N_{q,0} + c \cdot N_{c,0} = 631,84 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
$c := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$R_{Gr,d} := \frac{R_{Gr,k}}{\gamma_{R,v}} = 451,31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $\frac{E_d}{R_{Gr,d} \cdot b} = 69,64 \%$ </div>	

Abb. 52 – Nachweis des Grundbruches der Außenwandachse (AW) vor dem Ausbau

Nachweis Grundbruchsicherheit EN1997-1:2014	MW vor Ausbau
$b := 1,00 \text{ m}$	$N_{q,0} := \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi)) = 24,58$ $N_{\gamma,0} := (N_{q,0} - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,03$ $N_{c,0} := (N_{q,0} - 1) \cdot \cot(\varphi) = 37,02$
$d := 1,00 \text{ m}$	
$E_d := 349 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	
$\gamma_{R,v} := 1,4$	
$\varphi := 32,5^\circ$	
$\gamma := 18,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$R_{Gr,k} := \gamma \cdot b \cdot N_{\gamma,0} + \gamma \cdot d \cdot N_{q,0} + c \cdot N_{c,0} = 712,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
$c := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$R_{Gr,d} := \frac{R_{Gr,k}}{\gamma_{R,v}} = 509,27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $\frac{E_d}{R_{Gr,d} \cdot b} = 68,53 \%$ </div>	

Abb. 53 – Nachweis des Grundbruches der Mittelwandachse (MW) vor dem Ausbau

In der Erdbebenanalyse von Strasser [44] wird nicht konkret auf das Rechenmodell eingegangen. Es wird angegeben, dass Wandscheiben, die nicht durchgehend sind, nicht modelliert werden. Das könnte bedeuten, dass nur Wände, die von der Mittelwand bis zur Außenwand durchgängig sind, sprich keine Öffnungen aufweisen, für die Aussteifung des Gebäudes herangezogen werden. Dieser Verdacht bestätigt sich, er schreibt in seiner Diskussion zum Erdbebennachweis:

„...Eine mögliche Erklärung kann die unzureichende Aussteifung des Gebäudes bei den entsprechenden Erdbebenlasten sein. Wie aus den Grundrissen der Einreichpläne hervorgeht sind hofseitig in Gebäudemitte lediglich zwei Wände vorhanden, die die aus den Einwirkungen resultierenden Schubkräfte aufnehmen können. Zwischen diesen Wänden befindet sich jedoch ein Achsabstand von über 11 m, weshalb davon auszugehen ist, dass es sich nicht wie bei dem Stiegenhaus um einen Kern handelt, der eine große aussteifende Wirkung aufweist. Ein weiterer Grund für die geringen Werte der Erfüllungsfaktoren ist das in Kapitel 6.3.3 beschriebene Versagen des Stahlbetonunterzugs...“ [44]

Die Rede ist von den Wänden mit der Laufnummer fünf und 14, erkenntlich in der Abb. 43. Dazwischen sind lediglich zwei Stahlbetonunterzüge, die keine aussteifende Wirkung aufweisen. Nicht im Modell berücksichtigt ist also die Wandscheibe 12. Zwei Wände mit einer Dicke von 12 cm und dazwischen eine Kaminmauer mit 38 cm.

Die Recherche von Strasser [44] hat ergeben, dass in den damaligen Zulassungen der Vibro-Hohlblockmauerwerke, für die Tragwerksplanung relevante Bedingungen niedergeschrieben sind. Diese sind in der Magistratsabteilung 37 aus dem Jahre 1949 ersichtlich. Unter anderem wird daran geschrieben, dass bei der Verwendung von Stahlbetondecken die errichteten Vibro-Hohlblockmauerwerke durch Quermauern mit einer Mindestdicke von 12 cm in einem Abstand von maximal 10 m ausgesteift werden müssen, sofern kein Nachweis über die Aufnahme der Windkräfte erfolgt.

Bei Berücksichtigung der Wandscheibe 12 gilt diese Bedingung als erfüllt. Die Wandstärke von 12 cm und die anschließende Kaminwand weisen darauf hin, dass die Scheibe eventuell mit Vollziegel hergestellt worden ist. Ein Auszug des Bestandsplan der Hackinger Straße 30-36 verdeutlicht dies. Die Auswirkungen der Wandscheibe 12 und eventuelle Verstärkungsmaßnahmen sind zu untersuchen.

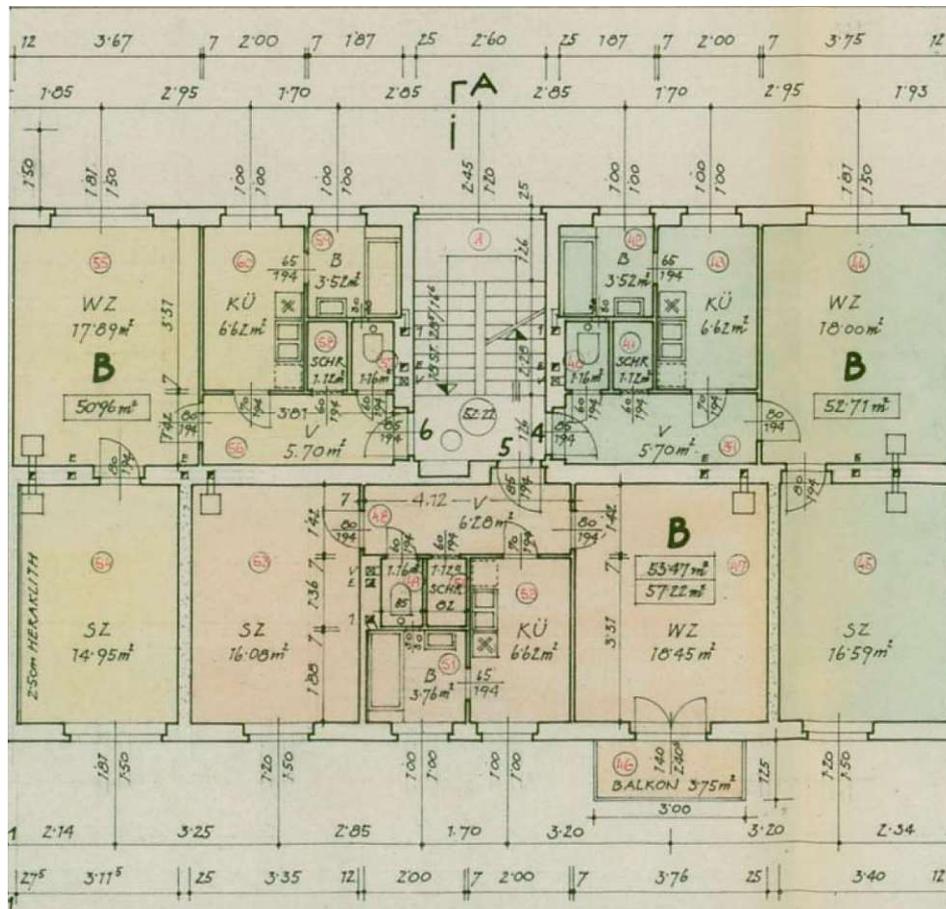


Abb. 54 – Grundriss des Bestandsplan der Hackinger Straße 30-36 [44]

4.8 Ausbau

Im weiteren Verlauf des Kapitels wird von einem Ausbau gesprochen. Bei diesem Ausbau handelt es sich konkret um den Ausbau des Dachgeschoßes. Zubauten in anderen Formen, ausgenommen sind hier Lift- und Balkonzubauten, werden in diesem Kapitel nicht angedacht.

4.8.1 Auftretende Probleme bei Ausbauten der Jahre 1880 bis 1918

Um auftretende Probleme bei einem Dachgeschoßausbau vorwegnehmen zu können hat Andreas Kolbitsch, Universitätsprofessor an der TU Wien, in seinem Skript [48] die Randbedingungen und Anforderungen eines Ausbaues zusammengefasst. Er bezieht sich dabei auf die Gründerzeithäuser, die zwischen den Jahren 1880 und 1918 errichtet worden sind.

Der erste Punkt befasst sich mit den formalen Randbedingungen. Der Einbau eines Aufzuges in die Bestandsstruktur stellt oftmals eine Herausforderung dar. Hat das Treppenhaus eine gewendelte Struktur oder eine dreiläufige Treppe mit Zwischenpodesten, dann kann der Aufzugsschacht in die Spindelfläche platziert werden. Sollte die Spindelfläche jedoch nicht groß genug sein oder ist eine zweiläufige Treppe vorhanden müssen alternative Flächen für den Aufzugsschacht gefunden werden. Innenhöfe, die zur Belichtung und Belüftung der Wohnungen verwendet werden, bieten hier einen Ausweg. Der Liftschacht muss mit dem Bestand so verbunden werden, dass kein Körperschall übertragen und die Gesamtstabilität des Bauwerkes verbessert wird. Weiteres ist darauf zu achten, dass die Barrierefreiheit gegeben ist.

Mit dem Ausbau entstehen auch neue Terrassenflächen. Hierbei ist darauf zu achten, dass ein niveaugleicher Ausgang für die Barrierefreiheit geschaffen wird. Probleme stellen dabei der Feuchteschutz und die Höhe der Aufbauten dar.

Im Dachgeschoßausbau treten oft Probleme in der Gebäudehülle auf. Standardmäßig werden die Bauteile für eine Gesamtnutzungsdauer von 50 Jahren bemessen. Bei der Bauausführung können Dampfbremsen, bei nichtvorhandenen Schutzmaßnahmen, leicht durchbrochen oder beschädigt werden. Die Bauteilschichten erreichen dann aufgrund von Feuchtigkeitsschäden nicht die Bemessungsdauer und müssen erneuert werden. Daher ist es wichtig, auf die Luftdichtheit der Gebäudehülle zu achten.

Eine weitere bauphysikalische Herausforderung stellt die sommerliche Überwärmung dar. Durch den hohen solaren Eintrag, lange Hitzeperioden im Sommer und Tropennächte in den urbanen Räumen heizen sich die Innenräume der Gebäude auf unerträgliche Temperaturen auf. Die speicherwirksame Masse eines Wohnhauses kann den Anstieg der operativen Temperatur im Raum verzögern oder gar verschlechtern. Einen größeren Einfluss hat die Verschattung des Gebäudes und der Fensterflächen, mehr zu diesem Thema im Kapitel 4.8.2.

Der Zustand des Bestandsgebäudes ist mithilfe des Ingenieurbefundes zu dokumentieren. Allfällige Untersuchungen des Mauerwerkes sind durchzuführen und der Ausbau des Dachgeschoßes ist zu bewerten. Hier stellen die geringen Schubtragfähigkeiten der Mauerwerkswände ein Problem dar. Die zusätzliche Masse, die durch den Ausbau entsteht, ist gering zu halten. Die Abtragung der Lasten erfolgt durch das Bestandsgebäude und sollte aufgrund der geringen Tragreserven nicht übermäßig strapaziert werden. Sind Verstärkungen bzw. Ertüchtigungen des Bestandes unumgänglich, ist es schwierig, diese in bewohnten Räumen durchzuführen. Oftmals sind sie mit großen Kosten verbunden und unterliegen schwierigen Bedingungen. Wenn eine Aufstockung nicht möglich ist bzw. der Bebauungsplan es nicht zulässt, bietet es sich an, nur den Dachraum auszubauen und das Dachtragwerk weiterzuverwenden. Die Untersuchung des Dachraumes sowie die Erfassung der Geometrie und des Zustandes der einzelnen Hölzer ist mit einem großen Aufwand verbunden. Hierbei bieten digitale Messerverfahren eine Abhilfe.

Die haustechnischen Randbedingungen sind abzuklären. Bestehende Entwässerungssysteme wurden über den Dachraum im Gebäudeinneren geführt, um das Erscheinungsbild der Gründerzeitfassade nicht zu stören. Bei einem Ausbau ist die Regenwasserableitung in einem Installationszwischenraum zu führen, besonderes Augenmerk sollte auf die schalltechnische Entkopplung der Leitungsrohre gelegt werden. Die vorhandenen Ver- und Entsorgungsstränge sind zu verwenden, sofern diese noch Kapazitäten aufweisen. Die Zugänglichkeit der vorhandenen Revisionsöffnungen und Putztürchen ist weiterhin zu gewährleisten.

4.8.2 Rahmenbedingungen für den Ausbau

Das übergeordnete Ziel für den Ausbau ist es, mit möglichst wenig Geld qualitativ hochwertigen Wohnraum zu schaffen. Zeitgleich sollte der vorhandene Wohnraum aufgewertet werden und die Behaglichkeit in den Wohnungen gesteigert werden. Dies soll mit einer energetischen Sanierung und einem eventuellen Zubau von Balkonen geschehen. Die Freiflächen sollen als eigens tragende Konstruktion an den Bestand herangebaut werden können, um die bestehende Struktur nicht übermäßig zu beanspruchen.

Die Baumaßnahmen führen zu einer Beeinträchtigung für die Anrainer und sollten so gering wie möglich gehalten werden. Dabei sind Bauzeit und Eingriffe in den Bestand auf das Mindestmaß zu reduzieren. Die Vorfertigung von Bauteilen und der Modulbau sind einfache und unkomplizierte Verfahren, um Prozesse auf der Baustelle zu beschleunigen. Voraussetzung hierfür sind die Transportfähigkeit der Einzelteile und simple Anschlüsse. Besonderes Augenmerk ist auf die Verbindung der Bauteile und deren Luftdichtheit zu legen.

Die Größe der Einzelteile wird vom Transportfahrzeug bestimmt. Es ist darauf zu achten, dass die Bauteile auf einen standardmäßigen Aufleger passen und dass die Zufahrt zur Baustelle gewährleistet ist. Die Abmessungen für einen Liegendtransport sind bei einer Länge von 13,60 m und einer Breite von 2,95 m. Die lokalen Gegebenheiten sind maßgebend für die Baustelleneinrichtung und eventuelle Lagerflächen. Hier wird die „Just in Time“-Lieferung bevorzugt, um keine zusätzlichen Flächen und Hebevorgänge für die Fertigteile zu veranschlagen. Weitere Vorteile der Vorfertigung sind im Kapitel 3.1.6 gelistet.

Der Fokus auf den Leichtbau und eine optimale Ausnutzung der Bauteile soll zu einer Reduktion der Masse im Dachgeschoß führen. Eine an den Bestand angepasste Lastableitung ist das Ziel. In erster Linie werden Bauteile, die große Tragreserven aufweisen, beansprucht. Ertüchtigungs- und Verstärkungsmaßnahmen sollten auf ein Minimum reduziert werden. Die oberste Geschoßdecke soll weiter genutzt werden, das Gewicht des neuen Fußbodens wird auf das des ehemaligen abgestimmt. Anderenfalls soll eine Probelastung Aufschluss über die Tragfähigkeit der Decke geben. Die vertikale Erschließung erfolgt durch das vorhandene Treppenhaus und eine Liftzubau. Der Zubau dient als zusätzliche horizontale Aussteifung für das Gebäude. Um die seismische Belastung aufnehmen zu können, sind Ausbau und Bestand mit dem Stahlbetonkorpus so zu verbinden, dass Druck und Zugkräfte übertragen werden können.

Die optimierte Ausnutzung von Tragreserven und die Verwendung von Leichtbaustoffen führen zu einem maximalen Nutzen der Rohstoffe. Je weniger Baumaterialien verwendet werden, je besser die Vorteile und Synergien der Materialien genutzt werden und je leichter die Rohstoffe dem Kreislauf zurückgeführt werden können, desto besser für die Umwelt. Nicht alle Bauteile eines Gebäudes weisen dieselbe Lebensdauer auf. Grundsätzlich lässt sich sagen, je größer die Witterungseinflüsse sind, desto geringer ist die Beständigkeit. Die folgenden Tabellen zeigt die durchschnittlich angenommene Lebensdauer in Jahren, unterteilt in deren Funktion und Ausführung. Hier wird die Lebensdauer als geplante Nutzungsdauer interpretiert.

Hauptteil	Unterteilung	Lebensdauer nach Meyer	Lebensdauer nach Schröder
Rohbau	massiv	100 - 150	150
	übriges	ca. 90	90
Dachhaut	Steildach	60 - 70	45
	Flachdach	25 - 35	
Fassaden	konv. verputzt	50 - 55	60
	Kompaktfassade	25 - 35	
	Holz	ca. 45	
Fenster	Holz	ca. 50	45
	Kunststoff	25 - 45	
Haustechnik	Elektro	ca. 50	60
	Heizung	ca. 45	45
	übrige	ca. 30	30
Innenausbau		ca. 40	45

Abb. 55 – Lebensdauer von Bauteilen nach Meyer und Schröder [43]

Die genaue Lebensdauer eines Bauteiles lässt sich nicht prognostizieren, hier spielen viele verschiedene Faktoren eine Rolle. Es lässt sich sagen, dass die Tragstruktur eine Lebensdauer von mindestens 80 Jahre und durchschnittlich bis zu 150 Jahre aufweist. Elemente der Gebäudehülle sind vereinfacht bei einer Dauer von 20 bis 70 Jahre. Die Haustechnik des Gebäudes weist ähnliche Werte auf. Somit scheint es nur sinnvoll, die Bauteile geringeren Alters mit denen einer längeren Lebensdauer demontagegerecht zu verbinden. Mehr zu dem Thema wurde bereits im Kapitel 3.1.4 besprochen. Der Weitblick der Konstruktionsanschlüsse und die Wahl der Materialien sprechen für ein langlebiges Gebäude und verbessern die Ökobilanz. Ein flexibel gestaltbarer Grundriss mit einer gut durchdachten Anordnung der Tragstruktur, birgt viele Freiheiten für eventuelle Nutzungsänderungen oder Wohnungsumbauten.

Hauptteil	Unterteilung	Lebensdauer in Jahre
Rohbau	Tragende Elemente	> 80
	Nichttragende Elemente	40 - 60
	Erdberührte Elemente	> 80
Gebäudehülle	Dach	> 80
	Fassade ohne Fenster	40 - 70
	Fenster	20 - 60
Haustechnik	E-Installationen	40 - 60
	Heizung	20 - 40
	Sanitär	20 - 50
Innenausbau		> 10

Abb. 56 – Lebensdauer von Bauteilen nach Pfeiffer [43]

Die energetische Sanierung wurde bereits im Kapitel 4.6 angesprochen. Gemeinsam mit der Verbesserung der thermischen Hülle, sollte eine Umrüstung des Energiesystems im Gebäude geplant werden. Es wird eine kurze Bauzeit angestrebt, die Fassadenelemente, die sowohl den Bestand als auch den Ausbau umhüllen, werden als Fertigteile geplant und auf der Baustelle zu einer einheitlichen Hülle zusammengesetzt. Bereits erfolgreich umgesetzte Projekte zeigen, dass das Passivhaus hierbei den Stand der Technik darstellt. In den transportbereiten Fassadenelementen sind Fenster, Leitungen für die Wohnraumlüftung, die fertig beplankte Holzfassade und Überlappungen der wasserführenden Schichten integriert. Auf der Baustelle werden die

Montageöffnungen von außen abgedichtet und die Gebäudehülle geschlossen. Zwischen dem Bestand und der neuen Hülle wird eine Ausgleichsschicht in Form einer weichen Mineralwolldämmung geplant, um die Unebenheiten der Fassade auszugleichen. Vor der Herstellung der Fassadenelemente ist eine umfassende Vermessung und Untersuchung des Bestands notwendig. Hier bieten moderne Messtechniken und -geräte wie 3D-Laserscanner, Tachymetrie und Mehrbildphotogrammetrie Abhilfe.

Das Flachdach bietet Platz für eine Photovoltaik Anlage, die die Bewohnerinnen und Bewohner mit Strom versorgt. Es ist auf die Neigung der Module zu achten, eine geringe Neigung ist für Stromspitzen im Sommer gut und eine große Neigung für die winterlichen Verhältnisse mit tiefem Sonnenstand. Um den Überschuss an Energie zu speichern, hilft ein Warmwasserboiler. Dieser wird erhitzt und gibt zu einem späteren Zeitpunkt den Bewohnerinnen und Bewohnern die Energie in Form von Warmwasser zurück.

Ein Passivhaus zeichnet sich durch seinen geringen Heizwärmeenergiebedarf aus. Es benötigt sehr wenig Energie, um die Behaglichkeit der Bewohnerinnen und Bewohner zu steigern. In Kombination mit einem dezentralen Heizsystem, werden nur noch eine Kaltwasser-, eine Kanal- und eine Stromleitung pro Wohnung benötigt. Die Verteilungsverluste werden somit auf ein Minimum reduziert. Die Spitzentemperaturen im Winter können über einfache Infrarotpaneele ausgeglichen werden und es müssen keine aufwendigen wassergeführten Heizsysteme eingebaut werden. Es wird das Risiko eines Wasserschadens, die Kosten und gleichzeitig der Platzbedarf gesenkt. [53]

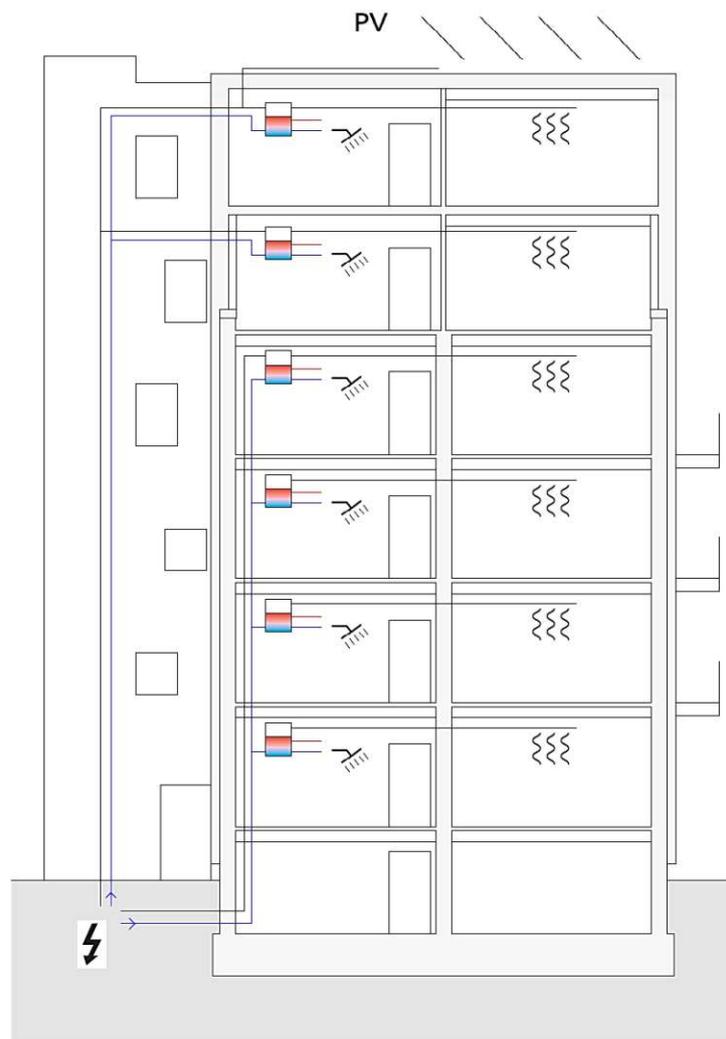


Abb. 57 – Schnitt des Dachgeschoßausbaus und der Gebäudehülle

Bei Dachgeschoßausbauten ist das Thema der sommerlichen Überhitzung sehr präsent. In einer umfangreichen Forschungsarbeit, [54] die in der Fachzeitschrift *Zuschnitt von proHolz Austria* publiziert worden ist, werden die verschiedenen Bauweisen gegenübergestellt. Untersucht wurde ein Regelgeschoß mit drei verschiedenen großen Nutzungseinheiten. [54] Die verschiedenen betrachteten Szenarien, die simuliert worden sind, sollen Aufschluss über die Wirksamkeit bestimmter Maßnahmen geben. Die Abb. 58 fasst die Ergebnisse zusammen.

Es ist klar zu erkennen, dass die Art der Bauweise nur einen geringen Einfluss auf die gemittelte operative Temperatur hat. Ausschlagend ist die Art der Beschattung und die Höhe des Luftwechsels. Die Massivbauweisen aus Ziegel und Beton wirken träge und verschieben den Anstieg der Temperaturkurve. So kann es sein, dass es in mehreren hintereinander folgenden Tropennächten zu keiner Abkühlung in den Innenräumen der Massivbauten kommen kann. [54] Die Trägheit wirkt sich ebenfalls auf die Abkühlung der Bauteile aus.

Bei den Simulationen wurde die Annahme getroffen, dass, bei einem Abfall der Außentemperatur unter die der Raumtemperatur, eine Fensterlüftung zur Kühlung eingesetzt worden ist. Dies setzt die Anwesenheit einer Bewohnerin oder eines Bewohners und die Kenntnis der Temperaturdifferenz von außen und innen voraus. Die Beschattung des Gebäudes hat die Aufgabe, den hohen Wärmeeintrag durch die Sonnenstrahlung zu verhindern und aber den visuellen Bezug zur Umwelt nicht zu unterbrechen. Es sollte zu keiner Abkapselung führen, sondern zu einem Raumklimamanagement.

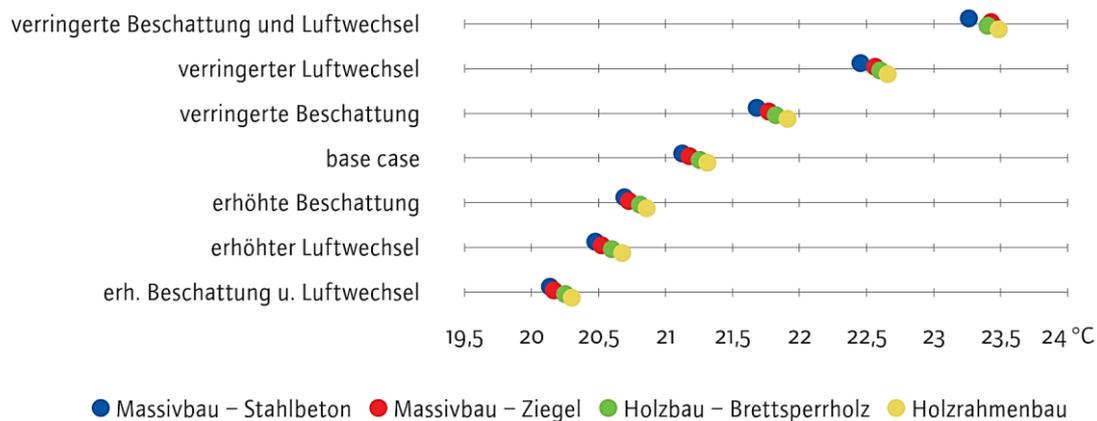


Abb. 58 – Gemittelte operative Temperatur der Simulationsfälle Wohnnutzung [54]

Die ursprüngliche Form des Satteldaches wird zu einem Flachdach. Begründet wird die Umnutzung mit einer maximalen Ausnutzung der Ausbaufäche. In den Kapiteln 1 und 2 wurde bereits umfangreich über den Wachstum der Bevölkerung, den steigenden Flächenverbrauch und die Balance zwischen Wohnraumdichte und Ressourcenverbrauch geschrieben. Es ist notwendig zu handeln und bestehende Strukturen zu hinterfragen und neu zu bewerten. Immer mit dem Hintergedanken, gut funktionierende Strukturen nicht zu zerstören. Raumplanerische Konzepte, die die Aufstockung solcher Wohnbauten ermöglichen, sind zu entwickeln und der wertvolle Grünraum, der die Bewohnerinnen und Bewohner zum Verweilen einlädt, ist zu behalten. Wichtige Themen der Bauordnung, Mietrechte, Nachbarechte und öffentlich-rechtliche Aspekte sind abzuklären. [43] Gängige Methoden zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Projektes sind an die heutigen Gegebenheiten anzupassen. Das Thema der Ökologie, Ökonomie und der sozialen Gerechtigkeit sind in diese Bewertungssysteme zu integrieren und mehr zu gewichten. Nicht nur die Errichtungskosten eines Gebäudes sind zu berücksichtigen, auch die eingesparten Rohstoffe, die Wiederverwendbarkeit der Bauteile und der positive Beitrag zum Erreichen der Klimaziele sollten in die Bewertung einfließen.

4.8.3 Beschreibung der Tragstruktur des Ausbaues

Die Dachgeschoße werden über einen neuen Lift und die Erweiterung des bestehenden Treppenhauses erschlossen. Der Liftschacht wird aus Stahlbeton hergestellt. Es bietet sich an, den Schacht mit Halbfertigteilen, dies können Hohlwände und Elementdecken sein, auszuführen. Die Wände, Stützen und Decken sind aus Brettsperrholzelementen.

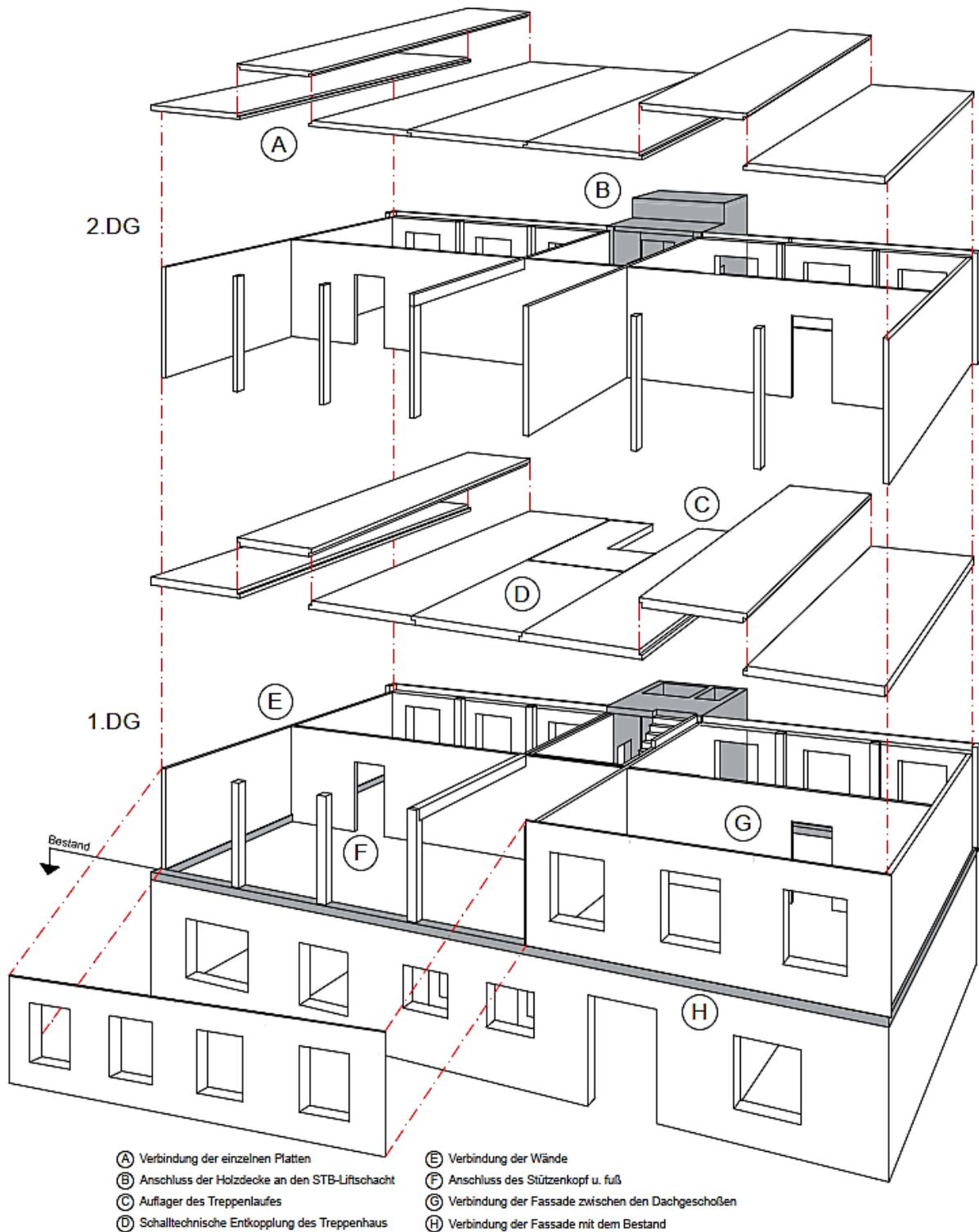


Abb. 59 – 3D-Darstellung des geplanten Dachgeschoßausbaues

Der Holzmassivbau soll den Geschößen eine ausreichende Steifigkeit bieten und das Gewicht möglichst geringhalten. Die Decken liegen punktuell auf Stützen und diese auf der Außenwand. Auf der Mittelachse ist eine linienförmige Lagerung auf Brettsperrholzwände angedacht. Die mittlere Platte einer Wohnung liegt auf den Ausklinkungen der anliegenden Brettsperrholzplatten auf. Ein umlaufender Stahlbetonrost umfasst die Mauerwerkswände des unteren Geschosses und dient als lastverteilendes Bauteil.

Im Kapitel 4.8.8 sind Prinzipdetails der genannten Anschlüsse dargestellt. Angestrebt wird eine zerstörungsfreie Verbindung der Elemente, die einen einfachen Rückbau und eine Wiederverwendung der Bauteile ermöglicht.

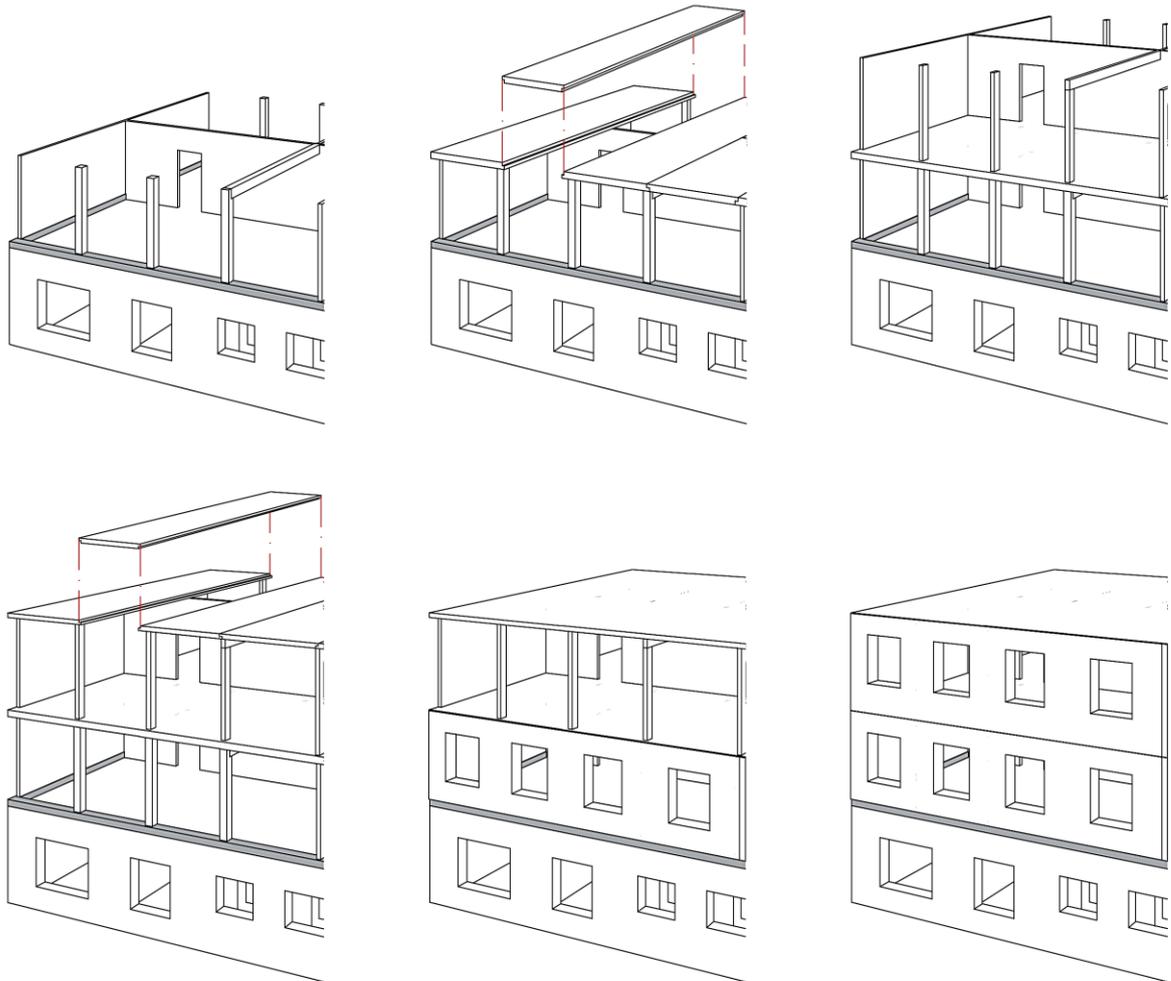


Abb. 60 – Schemenhafter Bauablauf des geplanten Dachgeschoßausbaues

Im ersten Schritt erfolgt die Herstellung des Liftschachtes sowie der Abbruch des ehemaligen Dachstuhles. Die Holzabbruchmassen können, abhängig von der Beschaffenheit, als Ständer für die Fassadenelemente dienen oder zu Dämmstoffen weiterverarbeitet werden. Nach der Ertüchtigung des Stahlbetonrostes werden die vertikalen Elemente auf der Baustelle versetzt. Sind alle Elemente verschraubt und in der Lage gesichert kann die Anlieferung der Brettsperrholzdecken erfolgen. Das zweite Dachgeschoß unterliegt demselben Schema. Nach Fertigstellung des Rohbaus, können die Fassadenelemente eingesetzt und die Gebäudehülle geschlossen werden.

4.8.4 Lastaufstellung

D1 Geschoßdecke (Decke über OG3)					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
Belag	2	5,50		0,11	
Trockenestrich, 2-lagig	2,5	12,00		0,30	
Trittschalldämmung MT-T [s' = 10 MN/m ³]	4	0,68		0,03	
Schüttung elastisch gebunden	4	15,00		0,60	
Ast-Molin Rippendecke	27		2,45	2,45	x
Putz inkl. Putzträger	1,5	20,00		0,30	
				Auflast: gA=	1,34
				Eigengewicht: g=	3,79

Beschreibung []	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	ZW Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]	
Flächen von Räumen in Wohngebäuden	A1	2,00	0,50	2,50	
				Nutzlast: q=	2,50

D2 Geschoßdecke (Decke über DG1)					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
Belag	2	5,50		0,11	
Zementestrich	6	20,00		1,20	
Trennschicht Kunststoff	-			0,00	
Trittschalldämmung MT-T [s' = 10 MN/m ³]	3	0,68		0,02	
Schüttung elastisch gebunden	6	15,00		0,90	
Rieselschutz	-			0,00	
Brettsperrholz	20	5,50		1,10	x
GKF	1,25	10,00		0,13	
				Auflast: gA=	2,36
				Eigengewicht: g=	3,46

Beschreibung []	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	ZW Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]	
Flächen von Räumen in Wohngebäuden	A1	2,00	0,50	2,50	
				Nutzlast: q=	2,50

W1 Außenwand					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
Holz Lärche	2,4	5,50		0,13	
Hinterlüftung	3			0,00	
Holz Fichte Querlattung	3		0,02	0,02	
Windbremse sd<0,3m	-			0,00	
Gipsfaserplatte	2,5	10,00		0,25	
Ständer 280x60	28		0,24	0,24	
Mineralwolle	28	0,33		0,09	
Gipsfaserplatte	1,25	10,00		0,13	
Dampfbremse sd>2m	-			0,00	
Holz Fichte Querlattung	4		0,03	0,03	
Mineralwolle	4	0,33		0,01	
Gipsfaserplatte	1,25	10,00		0,13	
				Auflast: gA=	1,03
				Eigengewicht: g=	1,03

Tab. 20 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Dachgeschoßausbaues Teil 1

D3 Flachdach					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
Photovoltaikanlage	-		0,25	0,25	
Trapezblech	4		0,10	0,10	
Holz Fichte Lattung	3		0,05	0,05	
Holz Fichte Konterlattung	8		0,05	0,05	
Unterdeckplatte Holzfaser	2,2	2,00		0,04	
Holzfaserdämmplatte	20	1,10		0,22	
Abdichtungsbahn sd>500m	-		0,05	0,05	
Brettsperrholz	14	5,50		0,77	x
Holz Fichte Lattung auf Schwingbügel	7		0,05	0,05	
Mineralwolle	5	0,18		0,01	
GKF	1,25	10,00		0,13	
				Auflast: gA=	0,95
				Eigengewicht: g=	1,72
Beschreibung []	Kat. [optional]	Flächenlast [kN/m ²]	ZW Zuschlag [kN/m ²]	Nutzlast ges. [kN/m ²]	
Nutzlasten auf Dachkonstruktionen	H	1,00		1,00	
				Nutzlast: q=	1,00
W2 Trennwand					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
GKF	1,25	10,00		0,13	
Holz Fichte Lattung - Schwingbügel	7		0,05	0,05	
Mineralwolle	6	0,11		0,01	
Brettsperrholz	12	5,50		0,66	x
Mineralwolle	6	0,11		0,01	
Holz Fichte Lattung - Schwingbügel	7		0,05	0,05	
GKF	1,25	10,00		0,13	
				Auflast: gA=	0,36
				Eigengewicht: g=	1,02
W3 Zwischenwand					tragend
Auflast - Beschreibung	Dicke [cm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]	Char. Last [kN/m ²]	
Gipsfaserplatte	1,25	10,00		0,13	
Konstruktionsvollholz	10		0,05	0,05	
Zellulosefaser	10	0,50		0,05	
Gipsfaserplatte	1,25	10,00		0,13	
				Auflast: gA=	0,35
				Eigengewicht: g=	0,35

Tab. 21 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Dachgeschoßausbaues Teil 2

4.8.5 Vertikale Lastableitung

AW Außenwand nach Ausbau												
Last von:	Nr.	g [kN/m ²]	p [kN/m ²]	Einflussbreite Dimension [m]	Abmind. Nutzlast [-]	Abmind.* Fenster [-]	Eigengew. [kN/m]	Nutzlast [kN/m]	Summe Eigengew. [kN/m]	Summe Nutzlast [kN/m]	Summe	Summe
											Char.Last g _k +q _k [kN/m]	Des.Last g _d +q _d [kN/m]
Decke über DG2	D3	1,72	1,00	2,50	1,00	1,00	4,30	2,50	4	3		
Geschoß DG2	W1	1,00	0,00	3,00	1,00	0,80	2,40	0,00	7	3	9	13
Decke über DG1	D2	3,46	2,50	2,50	1,00	1,00	8,65	6,25	15	9		
Geschoß DG1	W1	1,00	0,00	2,50	1,00	0,80	2,00	0,00	17	9	26	37
	B10	6,25	0,00	0,50	1,00	1,00	3,13	0,00	20	9	29	41
Decke über OG3	D1	3,79	2,50	2,50	1,00	1,00	9,48	6,25	30	15		
Geschoß OG3	B7	4,56	0,00	3,00	1,00	0,80	10,94	0,00	41	15	56	78
Decke über OG2	B1	3,94	2,00	2,50	1,00	1,00	9,85	5,00	51	20		
Geschoß OG2	B7	4,56	0,00	3,00	1,00	0,80	10,94	0,00	62	20	82	113
Decke über OG1	B1	3,94	2,00	2,50	1,00	1,00	9,85	5,00	72	25		
Geschoß OG1	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,80	16,42	0,00	88	25	113	156
Decke über EG	B1	3,94	2,00	2,50	1,00	1,00	9,85	5,00	98	30		
Geschoß EG	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,80	16,42	0,00	114	30	144	199
Decke über KG	B1	3,94	2,00	2,50	1,00	1,00	9,85	5,00	124	35		
Geschoß KG	B9	9,12	0,00	2,60	1,00	0,98	23,24	0,00	147	35	182	251

*die Abminderung der Fenster ergibt sich aus $[1-(\text{Fläche Fenster})/(\text{Fläche Geschoßwand})]$

Tab. 22 – Lastableitung der Außenwandachse (AW) nach dem Ausbau

MW Mittelwand nach Ausbau												
Last von:	Nr.	g [kN/m ²]	p [kN/m ²]	Einflussbreite Dimension [m]	Abmind. Nutzlast [-]	Abmind.* Fenster [-]	Eigengew. [kN/m]	Nutzlast [kN/m]	Summe Eigengew. [kN/m]	Summe Nutzlast [kN/m]	Summe	Summe
											Char.Last g _k +q _k [kN/m]	Des.Last g _d +q _d [kN/m]
Decke über DG2	D3	1,72	1,00	5,00	1,00	1,00	8,60	5,00	9	5		
Geschoß DG2	W2	1,00	0,00	3,00	1,00	0,85	2,55	0,00	11	5	16	23
Decke über DG1	D2	3,46	2,50	5,00	1,00	1,00	17,30	12,50	28	18		
Geschoß DG1	W2	1,00	0,00	3,00	1,00	0,85	2,55	0,00	31	18	49	68
Decke über OG3	D1	5,07	1,00	5,00	1,00	1,00	25,35	5,00	56	23		
Geschoß OG3	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,85	17,44	0,00	74	23	96	133
Decke über OG2	B1	3,94	2,00	5,00	1,00	1,00	19,70	10,00	93	33		
Geschoß OG2	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,85	17,44	0,00	111	33	143	199
Decke über OG1	B1	3,94	2,00	5,00	1,00	1,00	19,70	10,00	131	43		
Geschoß OG1	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,85	17,44	0,00	148	43	191	264
Decke über EG	B1	3,94	2,00	5,00	1,00	1,00	19,70	10,00	168	53		
Geschoß EG	B11	6,84	0,00	3,00	1,00	0,85	17,44	0,00	185	53	238	329
Decke über KG	B1	3,94	2,00	5,00	1,00	1,00	19,70	10,00	205	63		
Geschoß KG	B9	9,12	0,00	2,60	1,00	0,85	20,16	0,00	225	63	288	398

*die Abminderung der Fenster ergibt sich aus $[1-(\text{Fläche Fenster})/(\text{Fläche Geschoßwand})]$

Tab. 23 – Lastableitung der Mittelwandachse (MW) nach dem Ausbau

MWP Wandpfeiler 38/70 e=190cm nach Ausbau													
Last von:	Nr.	g [kN/m ²]	p [kN/m ²]	Einflussbreite Dimension [m]	Abmind.* Fenster [-]	Einfluss.** Nutzlast [m]	Einfluss.** Ständig [m]	Eigengew. [kN]	Nutzlast [kN]	Summe Eigengew. [kN]	Summe Nutzlast [kN]	Summe	Summe
												Char.Last g _k +q _k [kN]	Des.Last g _d +q _d [kN]
Decke über DG2	D3	1,72	1,00	2,50	1,00	1,90	1,90	8,17	4,75	8	5		
Geschoß DG2	W1	1,00	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	4,56	0,00	13	5	17	24
Decke über DG1	D2	3,46	2,50	2,50	1,00	1,90	1,90	16,44	11,88	29	17		
Geschoß DG1	W1	1,00	0,00	2,50	0,80	1,90	1,90	3,80	0,00	33	17	50	69
	B10	6,25	0,00	0,50	1,00	1,90	1,90	5,94	0,00	39	17	56	77
Decke über OG3	D1	3,79	2,50	2,50	1,00	1,90	1,90	18,00	11,88	57	29		
Geschoß OG3	B7	4,56	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	20,79	0,00	78	29	106	148
Decke über OG2	B2	4,51	2,00	2,50	1,00	1,90	1,90	21,42	9,50	99	38		
Geschoß OG2	B7	4,56	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	20,79	0,00	120	38	158	219
Decke über OG1	B2	4,51	2,00	2,50	1,00	1,90	1,90	21,42	9,50	141	48		
Geschoß OG1	B11	6,84	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	31,19	0,00	173	48	220	304
Decke über EG	B2	4,51	2,00	2,50	1,00	1,90	1,90	21,42	9,50	194	57		
Geschoß EG	B11	6,84	0,00	3,00	0,80	1,90	1,90	31,19	0,00	225	57	282	389
Decke über KG	B2	4,51	2,00	2,50	1,00	1,90	1,90	21,42	9,50	247	67		
Geschoß KG	B9	9,12	0,00	2,60	0,98	1,90	1,90	44,15	0,00	291	67	357	492

*die Abminderung der Fenster ergibt sich aus $[1-(\text{Fläche Fenster})/(\text{Fläche Geschoßwand})]$

**die Einflussfläche des Wandpfeilers beträgt 1,90m.

Tab. 24 – Lastableitung der Mauerwerkspfeilerachse (MWP) nach dem Ausbau

4.8.6 Horizontale Lastableitung

Im Kapitel 4.7.3 wurden die Erkenntnisse von Strasser [44] erläutert. Um die Beispiele vergleichen zu können, werden die beiden verschiedenen Ausbaumassen genauer betrachtet. Gemäß ÖNORM EN 1991-1-1:2011, Abschnitt 3.3.2 (1) müssen auf Dächern der Kategorie H, Nutzlasten nicht in Kombination mit Schneelasten und/oder Windeinwirkungen angesetzt werden. Ausgehend davon, dass der Lastfall Nutzlast H maßgebend ist, wird auf die Berechnung der Schnee- und Windlasten verzichtet.

A		2-geschoßige Variante Strasser	Hofmauer	Mittelmauer	Stiegenhausmauer
ständige Lasten	[kN/m]		7,78	29,93	8,94
Nutzlast Kat. A	[kN/m]		3,40	15,55	3,45
Nutzlast Kat. H	[kN/m]		-	-	-
Schneelasten	[kN/m]		0,92	4,46	1,27
Windlasten	[kN/m]		0,86	2,38	0,30
Chark. Belastung*	[kN/m]		12,96	52,32	13,96
Design Belastung*	[kN/m]		18,27	73,99	19,60
Erdbeben Belastung**	[kN/m]		8,80	34,60	9,98

B		2-geschoßiger Ausbau	Hofmauer	Mittelmauer	Stiegenhausmauer
ständige Lasten	[kN/m]		17,00	31,00	17,00
Nutzlast Kat. A	[kN/m]		6,00	13,00	6,00
Nutzlast Kat. H	[kN/m]		3,00	5,00	3,00
Chark. Belastung*	[kN/m]		23,00	44,00	23,00
Design Belastung*	[kN/m]		31,95	61,35	31,95
Erdbeben Belastung**	[kN/m]		18,80	34,90	18,80

Vergleich		Hofmauer	Mittelmauer	Stiegenhausmauer
Erdbeben Belastung** A	[kN/m]	8,80	34,60	9,98
Erdbeben Belastung** B	[kN/m]	18,80	34,90	18,80
Differenz B-A	[kN/m]	10,00	0,31	8,83

* Gemäß ÖNORM EN 1991-1-1:2011, Abschnitt 3.3.2(1) müssen auf Dächern der Kategorie H Nutzlasten nicht in Kombination mit Schneelasten und/oder Windeinwirkung angesetzt werden.

** Gemäß ÖNORM EN 1990:2021, Abschnitt 8.3.4.4 (1) sollte die Kombination von Einwirkungen für Bemessungssituationen mit Erdbeben mit der Gleichung (8.16) berechnet werden.

$$\Sigma F_{Ed} = \sum G_{k,j} + A_{E,Ed} + \sum \psi_{2,j} Q_{k,j} + (P_k)$$

$A_{E,Ed}$ der Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung im einem Grenzzustand der Tragfähigkeit.

$\psi_{2,j}$ der Kombinationsbeiwert, angewendet auf eine veränderliche Begleiteinwirkung j zur Bestimmung ihres quasi-ständigen Werts. Gemäß ÖNORM EN 1990:2021, Tabelle A.1.7 sind die Werte für ψ_2 : Schneelasten unter 1000m, Windlasten und Nutzlast der Kat. H gleich 0. Für Nutzlasten in Wohngebäuden 0,3.

Tab. 25 – Vergleich der Linienlast für das Erdbebenanalysemodell

Es lässt sich erkennen, dass die Lasten auf der Mittelmauer annähernd den Werten von Strasser [44] entsprechen. Bei den Außenmauern hat sich die Last jedoch erhöht. In Querrichtung erfährt der Bestand, durch den Stahlbetonliftschacht, eine zusätzliche Aussteifung. Alternierende Fensteröffnungen in den Wandscheiben stellen die Ausbildung eines Fachwerkmodells sicher und ermöglichen die Ableitung der horizontalen Erdbebenlasten. Der Bestand und der Ausbau ist mit dem Liftschacht kraftschlüssig zu verbinden, um Druck- und Zugkräfte aufnehmen zu können. Aufbauend aus diesen Erkenntnissen ist eine erneuerte Erdbebenanalyse zu erstellen und anhand des Versagensmodelles sind Ertüchtigungsmaßnahmen für den Bestand zu planen. Im Zuge dieser Diplomarbeit wird das Erdbebenmodell nicht erstellt, da es den Rahmen der Arbeit übersteigen würde.

4.8.7 Nachweise und Diskurs

Analog dem Kapitel 4.7.4 werden die Nachweise für den Bestand geführt. Zusätzlich wurden mit Hilfe des Programmes *SCIA Engineer* Schnittgrößen der Brettsperrholzdecken berechnet und Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise geführt. Die Berechnungen umfassen die Nachweise des Durchstanzen der Stützen, der Ausklinkung der Deckenplatten sowie die Durchbiegungs- und Schwingungsnachweise der Platten.

Vereinfacht wird hier nur die Geschoßdecke erläutert, das Nachweisformat der Dachplatten erfolgt analog. Als Geschoßdecke wurden *7s 200 DL-Platten* von der Firma *KLH* gewählt. [55] Im obersten Geschoß erfüllen *5s 140 DL-Platten* die geforderten Nachweise. Für die punktuelle Lagerung der Platten wurden Stützen mit einem Querschnitt von 24 auf 24 cm und 14 auf 22 cm gewählt. Der erforderliche Randabschnitt zu den Plattenenden ist in den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich. Die Schnittgrößen sowie die entsprechenden Verformungen wurden mit dem FE-Programm berechnet und mit Handrechnungen überschlagsmäßig nachgewiesen. Für die Handrechnungen wurden Beispiele aus der Publikation von Wallner-Novak [56] herangezogen. Bei der Berechnung der Schubspannungen wurde auf die Dissertation von Mestek [57] zurückgegriffen. In der Abb. 63 ist das Treppenhaus ersichtlich, das von den restlichen Elementen schalltechnisch entkoppelt ist und somit keiner Durchlaufwirkung unterliegt. Die Wände und Stützen orientieren sich an den tragenden Achsen des Bestandes, lediglich eine Querwand zwischen den Wohnungen wird als selbsttragende Scheibe ausgeführt.

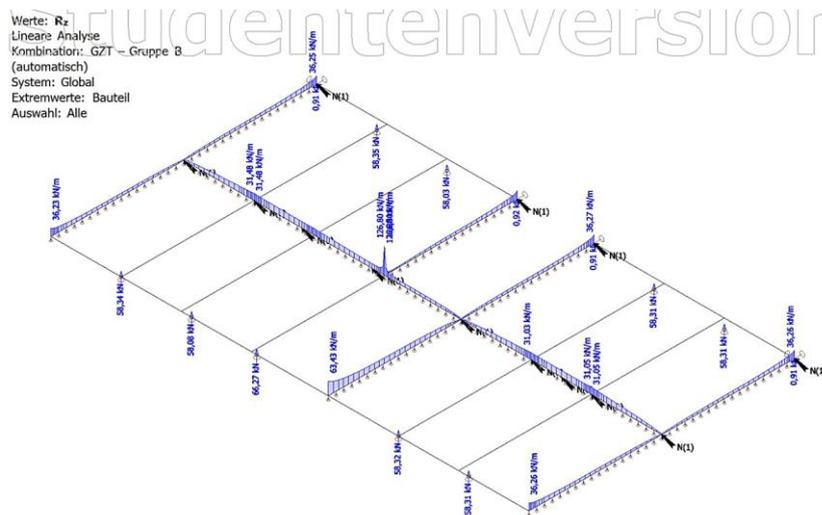


Abb. 61 – Auflagerkräfte der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues im GZT

Die Ausklinkungen der Platten wurden mithilfe eines einfachen Spannungsnachweises nachgewiesen. In einer Kooperation mit der *holz.bau forschung gmbh* und der *Technischen Universität Graz* wurden umfassende Versuche zu den Versagensmechanismen und Tragkapazitäten von Brettsperrholzplatten gemacht. [58] Mithilfe der Analyse von Bruchformen konnten verschiedene Rechenverfahren verifiziert werden. Weiteres wurden geometrische Grenzwerte für die Kerben definiert, die in der nachfolgenden Abbildung dargestellt sind.

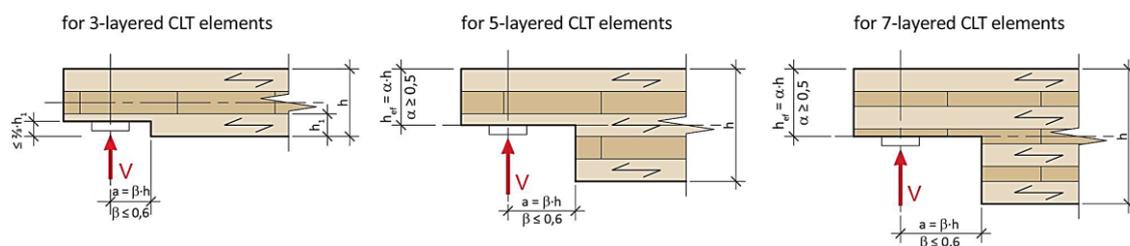


Abb. 62 – Geometrische Grenzen bei Ausklinkungen von Brettsperrholzplatten (BSP) [58]

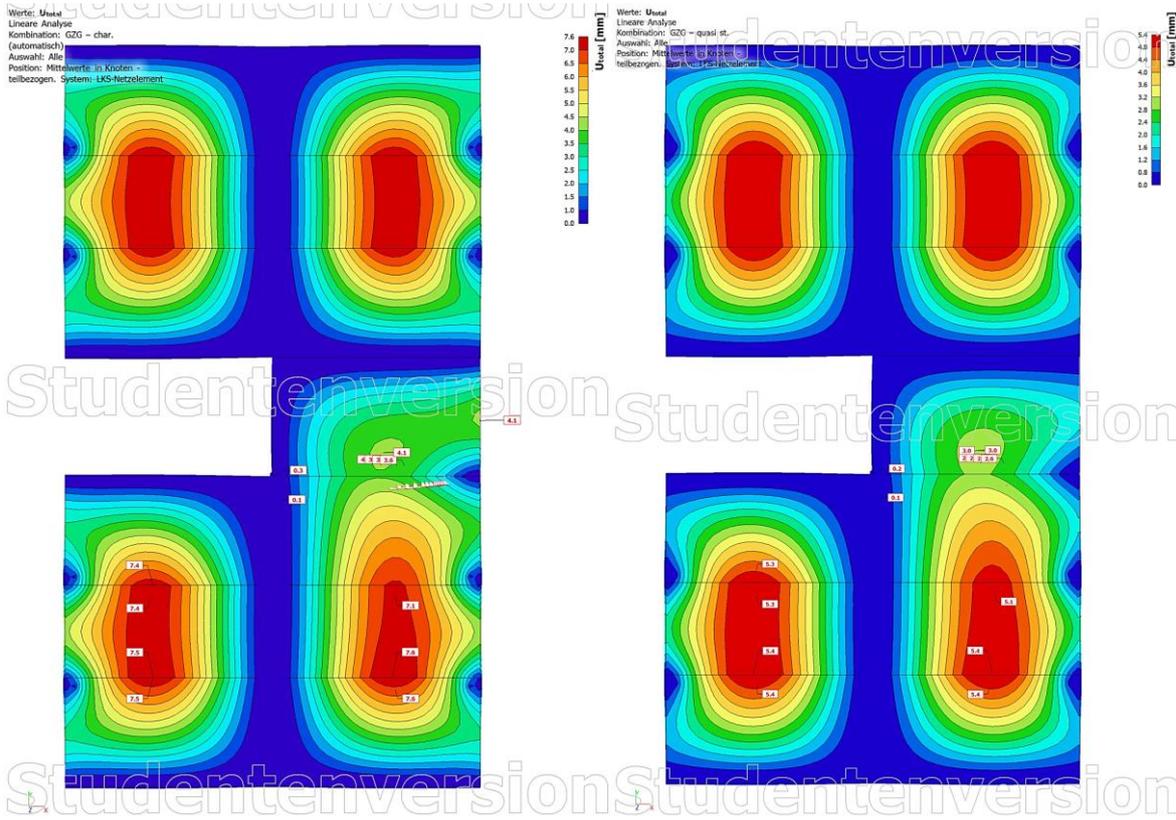


Abb. 63 – Durchbiegung der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues, charakteristische (li.) und quasi ständige (re.) Belastung

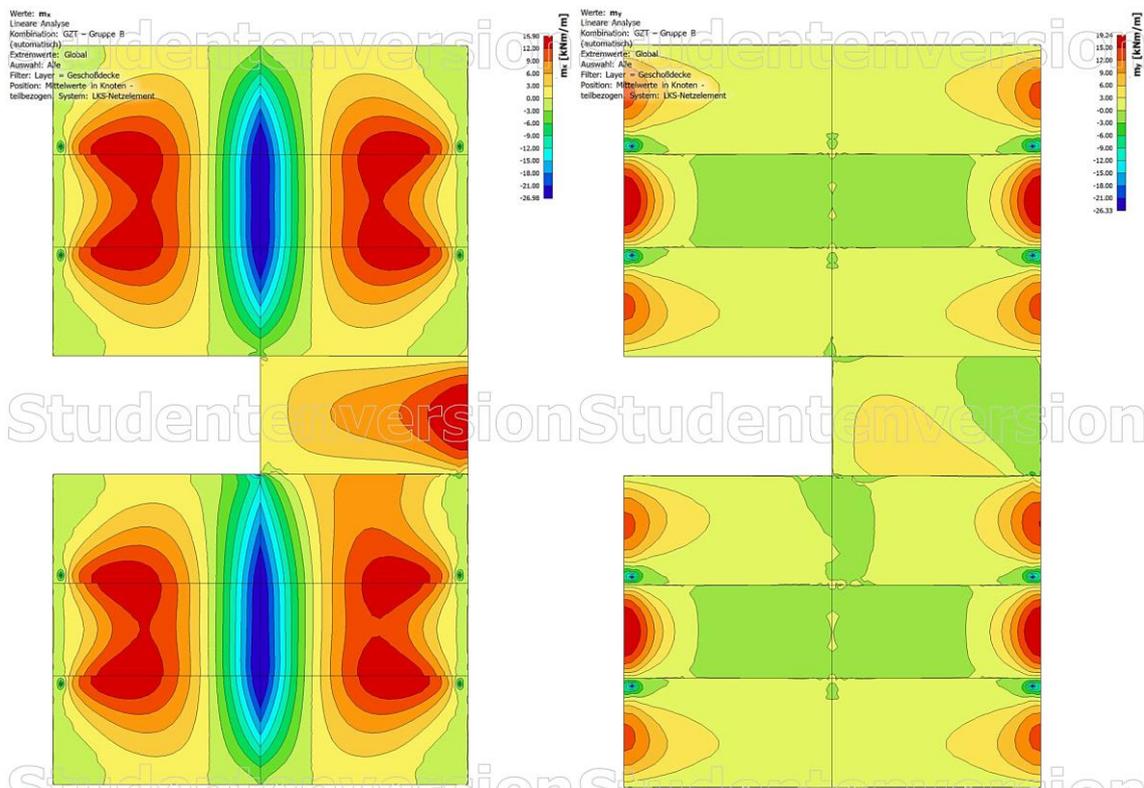


Abb. 64 – Schnittgrößen der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues, mx (li.) und my (re.)

Statischer Nachweis der Geschoßdecke D1

$F_{1,Ed} := 58,35 \text{ kN}$	$m_{x,d} := -26,98 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$k_{mod} := 0,8$	$\gamma_m := 1,25$	$f_{c,90,k} := 2,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
$F_{2,Ed} := 83,7 \text{ kN}$	$m_{y,d} := -26,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$k_{c,90} := 1,3$	$k_A := 1,35$	$f_{v,R,k} := 1,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
$f_{v,R,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,R,k}}{\gamma_m} = 0,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$		$k_{def} := 0,6$	$k_{R,x} := 2,5$	$f_{m,k} := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 15,36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$		$k_{m,loc} := 0,7$	$k_{R,y} := 2,0$	
		$w_{inst,char} := 0,76 \text{ cm}$		
		$w_{inst,quasi} := 0,54 \text{ cm}$	$l_1 := 275 \text{ cm}$	

Querschnittswerte **BSP Element: KLH 200mm 7s DL**

Stützen QS:	X-Richtung:	Y-Richtung:	$n := 7$	$\zeta := 4,0 \%$	$E_{BSP} := 12000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
$b_{A,x} := 24 \text{ cm}$	$x_1 := 20 \text{ mm}$	$y_1 := 40 \text{ mm}$	$l := 500 \text{ cm}$		$E_{Estrich} := 30000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
$b_{A,y} := 24 \text{ cm}$	$x_2 := 20 \text{ mm}$	$y_2 := 40 \text{ mm}$	$b := 785 \text{ cm}$	$t_{Estrich} := 60 \text{ mm}$	$g_{2,k} := 2,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
$r_{A,x} := 7 \text{ cm}$	$x_3 := 20 \text{ mm}$	$y_3 := 40 \text{ mm}$	$f_{min} := 4,5 \text{ Hz}$	$F := 1 \text{ kN}$	$g_{1,k} := t_{CLT} \cdot 5,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 1,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
$r_{A,y} := 7 \text{ cm}$	$x_4 := 20 \text{ mm}$				
	$t_{CLT} := x_1 + y_1 + x_2 + y_2 + x_3 + y_3 + x_4 = 200 \text{ mm}$				

$$r_{B,x} := \frac{t_{CLT}}{2} \cdot \tan(35^\circ) = 0,07 \text{ m}$$

$$r_{B,y} := \frac{t_{CLT}}{2} \cdot \tan(35^\circ) = 0,07 \text{ m}$$

$$r_x := \min([r_{A,x}, r_{B,x}]) = 0,07 \text{ m}$$

$$r_y := \min([r_{A,y}, r_{B,y}]) = 0,07 \text{ m}$$

$$z_{x1} := \frac{1}{2} \cdot (x_1 + 2 \cdot x_2 + 2 \cdot y_1 + y_2) = 90 \text{ mm}$$

$$z_{x2} := \frac{1}{2} \cdot (x_2 + y_2) = 30 \text{ mm}$$

$$z_{y1} := \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot x_2 + y_1 + y_2) = 60 \text{ mm}$$

$$S_{y,x} := 1 \text{ m} \cdot x_1 \cdot z_{x1} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_{y,y} := 1 \text{ m} \cdot y_1 \cdot z_{y1} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_{x,net} := \frac{2 \cdot 1 \text{ m}}{12} \cdot (x_1^3 + x_2^3) + 2 \cdot 1 \text{ m} \cdot (x_1 \cdot z_{x1}^2 + x_2 \cdot z_{x2}^2) = 3,63 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_{y,net} := \frac{3 \cdot 1 \text{ m}}{12} \cdot (y_1^3) + 2 \cdot 1 \text{ m} \cdot y_1 \cdot z_{y1}^2 = 3,04 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

GZT

Nachweis der Auflagerpressung (Querdruk)

$$A_{R,d} := k_{c,90} \cdot b_{A,x} \cdot b_{A,y} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m} = 129,39 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{2,Ed}}{A_{R,d}} = 64,69 \%$$

Nachweis der Schubspannung vx, nach Abschätzungen von Mestek

$$V_{XZ} := 0,67 \cdot n^{-0,1} \cdot F_{1,Ed} = 32,18 \text{ kN}$$

$$b_{ef,x} := b_{A,x} + \frac{t_{CLT}}{2} \cdot \tan(35^\circ) + r_x = 0,38 \text{ m}$$

$$\tau_{R,xz} := \frac{V_{XZ}}{k_{R,x} \cdot (x_1 + y_1)} \cdot k_A = 0,08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{\tau_{R,xz}}{f_{v,R,d}} = 99,24 \%$$

Nachweis der Schubspannung vy, nach Abschätzungen von Mestek

$$V_{YZ} := F_{1,Ed} - V_{XZ} = 26,17 \text{ kN}$$

$$b_{ef,y} := b_{A,y} + \frac{t_{CLT}}{2} \cdot \tan(35^\circ) + r_y = 0,38 \text{ m}$$

$$\tau_{R,yz} := \frac{V_{YZ}}{k_{R,y} \cdot (x_1 + y_1)} \cdot k_A = 0,08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{\tau_{R,yz}}{f_{v,R,d}} = 100,87 \%$$

Abb. 65 – Handrechnung der Nachweise der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues Teil 1

Nachweis der Biegemomente m_x

$$\sigma_{x,d} := \frac{m_{x,d} \cdot 1 \text{ m} \cdot \frac{t_{CLT}}{2}}{I_{x,net}} = -7,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{|\sigma_{x,d}|}{f_{m,d}} = 48,43 \%$$

$$\frac{|\sigma_{x,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,loc}} = 69,19 \%$$

Nachweis der Biegemomente m_y

$$\sigma_{y,d} := \frac{m_{y,d} \cdot 1 \text{ m} \cdot \left(\frac{t_{CLT}}{2} - x_1 \right)}{I_{y,net}} = -6,93 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{|\sigma_{y,d}|}{f_{m,d}} = 45,11 \%$$

$$\frac{|\sigma_{y,d}|}{f_{m,d} \cdot k_{m,loc}} = 64,44 \%$$

lt. ÖNORM B 1995-1-1:2019-06 Abschnitt K.6.1.6: Effekte aus lokalen Lastkonzentrationen, wie sie in Lasteinleitungsbereichen von Mittelauflegern oder konzentrierten Einwirkungen auftreten (z. B. Einfluss der Schubverformung der Querlagen auf die Längsnormalspannungen), dürfen vereinfacht wie folgt berücksichtigt werden:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{m,loc} \cdot f_{m,d}$$

GZG

Nachweis der Anfangsdurchbiegung

Charakteristische Einwirkung

$$w_{inst,zul} := \frac{l_1}{300} = 0,92 \text{ cm}$$

$$\frac{w_{inst,char}}{w_{inst,zul}} = 82,91 \%$$

Nachweis der Enddurchbiegung

Quasi Ständige Einwirkung

$$w_{net,fin,zul} := \frac{l_1}{250} = 1,1 \text{ cm}$$

$$w_{net,fin} := w_{inst,quasi} \cdot (1 + k_{def}) = 0,86 \text{ cm}$$

$$\frac{w_{net,fin}}{w_{net,fin,zul}} = 78,55 \%$$

Schwingungsnachweis

Schwingungsanforderung: Deckenklasse I

$$EI_{x,BSP} := \frac{E_{BSP} \cdot I_{x,net}}{1 \text{ m}} = 4,35 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ N m}^2$$

$$EI_{y,BSP} := \frac{E_{BSP} \cdot I_{y,net}}{1 \text{ m}} = 3,65 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ N m}^2$$

$$EI_{Estrich} := \frac{E_{Estrich} \cdot I_{Estrich}}{1 \text{ m}} = 5,4 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ N m}^2$$

$$I_{Estrich} := \frac{1,0 \text{ m} \cdot t_{Estrich}^3}{12} = 1800 \text{ cm}^4$$

$$EI_x := EI_{x,BSP} + EI_{Estrich} = 4,89 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ N m}^2$$

$$EI_y := EI_{y,BSP} + EI_{Estrich} = 4,19 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ N m}^2$$

Frequenzkriterium:

Steifigkeitskriterium:

Beschleunigungskriterium:

$$m := \frac{g_{1,k} + g_{2,k}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 339,45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$b_F := \frac{l}{1,1} \cdot 4 \sqrt{\frac{EI_{y,BSP}}{EI_{x,BSP}}} = 4,35 \text{ m}$$

$$M := m \cdot \frac{l}{2} \cdot b_F = 3690,91 \text{ kg}$$

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot l} \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{EI_x}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b} \right)^4 \cdot \frac{EI_y}{EI_x}} = 8,06 \text{ Hz}$$

$$\alpha := \exp \left(-0,4 \cdot \frac{f_1}{\text{Hz}} \right) = 0,04$$

$$w := \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI_x \cdot b_F} = 0,12 \text{ mm}$$

$$a_{rms} := \frac{0,4 \cdot \alpha \cdot 700 \text{ N}}{2 \cdot \zeta \cdot M} = 0,04 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{if } f_1 \geq 8 \text{ Hz} = \text{"OK"} \\ \text{"OK"}$$

$$\frac{w}{0,25 \text{ mm}} = 48,96 \%$$

$$\text{if } a_{rms} \leq 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{"OK"} \\ \text{"OK"}$$

Abb. 66 – Handrechnung der Nachweise der Geschosdecke des Dachgeschossausbaues Teil 2

Ausklinkung des BSP-Elementes

$$k_{mod} := 0,8$$

$$k_{c,90} := 1,3$$

$$k_{def} := 0,6$$

$$Y_m := 1,25$$

$$f_{c,90,k} := 2,7 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v,R,k} := 1,2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t,90,k} := 0,4 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v,R,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,R,k}}{Y_m} = 0,77 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t,90,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{Y_m} = 0,26 \frac{N}{mm^2}$$

$$g_{1,k} := t_{CLT} \cdot 5,5 \frac{kN}{m} = 1,1 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Ed} := \left((g_{1,k} + g_{2,k}) \cdot \gamma_g + q_k \cdot \gamma_q \right) \cdot e = 8,99 \frac{kN}{m}$$

BSP Element: KLH 200mm 7s DL

X-Richtung:	Y-Richtung:	Auflager:
$x_1 := 20 \text{ mm}$	$y_1 := 40 \text{ mm}$	$h := 10 \text{ cm}$
$x_2 := 20 \text{ mm}$	$y_2 := 40 \text{ mm}$	$b := 8 \text{ cm}$
$x_3 := 20 \text{ mm}$	$y_3 := 40 \text{ mm}$	$l := 100 \text{ cm}$
$x_4 := 20 \text{ mm}$		

$$t_{CLT} := x_1 + y_1 + x_2 + y_2 + x_3 + y_3 + x_4 = 200 \text{ mm}$$

$$g_{2,k} := 2,23 \frac{kN}{m}$$

$$e := 1,2 \text{ m}$$

$$q_k := 2,0 \frac{kN}{m}$$

$$\gamma_g := 1,35$$

$$\gamma_q := 1,5$$

$$M_{Ed} := V_{Ed} \cdot \frac{b}{2} = 0,36 \frac{kN \cdot m}{m}$$

GZT

Nachweis der Auflagerpressung (Querdruk)

$$A_{R,d} := k_{c,90} \cdot b \cdot l \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{Y_m} = 179,71 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed} \cdot l}{A_{R,d}} = 5,01 \%$$

Nachweis der Schubspannung v

Vereinfacht wird von 3 intakten und einer halbierten Lage ausgegangen, die einen Rechteck QS bilden.

$$S_y := \frac{l \cdot \left(x_1 + y_1 + x_2 + \frac{y_2}{2} \right)^2}{8} = 1,25 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y := \frac{l \cdot \left(x_1 + y_1 + x_2 + \frac{y_2}{2} \right)^3}{12} = 8,33 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{r,x,d} := \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y} = 0,13 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\tau_{r,x,d}}{f_{v,R,d}} = 17,57 \%$$

Nachweis der Biegemomente m_x

Vereinfacht wird von 3 intakten und einer halbierten Lage ausgegangen, die einen Rechteck QS bilden. Der Nachweis wird in der Querlage geföhrt, bei der die Zugfestigkeit Normal zur Faser nicht überschritten wird.

$$w_y := \frac{l \cdot \left(x_1 + y_1 + x_2 + \frac{y_2}{2} \right)^2}{6} = 1,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{x,d} := \frac{M_{Ed} \cdot l}{w_y} = 0,22 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\sigma_{x,d}}{f_{t,90,d}} = 84,32 \%$$

Abb. 67 – Handrechnung der Nachweise für die Ausklinkung der Geschoßdecke des Ausbaues

Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes

MW nach Ausbau

EN1996-1-1:2005+A1 2012

6.1.2.2. Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß) und ϕ_m (Wandmitte)

$f_k := 4,0 \frac{N}{mm^2}$	$N_{1d} := 306 \text{ kN}$	$L_1 := 100 \text{ cm}$	$t_{ef} := t$	$e := 5 \text{ cm}$...Exzentrizität zwischen Decken- und Wandlast
$h := 275 \text{ cm}$	$N_{md} := 318 \text{ kN}$	$L_2 := 100 \text{ cm}$	$h_{ef} := h$	$\phi_{inf} := 1,5$
$t := 38 \text{ cm}$	$N_{2d} := 329 \text{ kN}$	$L_3 := 100 \text{ cm}$	$e_{he} := 0$	$\gamma_m := 2,5$
			$e_{hm} := 0$	$E := 5000 \frac{N}{mm^2}$
			$e_{init} := \frac{h_{ef}}{450}$	$f_d := \frac{f_k}{\gamma_m} = 1,6 \frac{N}{mm^2}$

Ermittlung von ϕ_m (Wandmitte)

Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß)

$$M_{md} := (N_{2d} - N_{1d}) \cdot e = 1,15 \text{ kNm}$$

$$e_m := \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} = 0,97 \text{ cm}$$

$$e_k := 0,002 \cdot \phi_{inf} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0,13 \text{ cm}$$

$$e_{mk} := e_m + e_k$$

$$e_{mk,min} := \max \left(\left[e_{mk} \ 0,05 \cdot t \right] \right) = 1,9 \text{ cm}$$

$$M_{2d} := N_{2d} \cdot e$$

$$e_2 := \frac{M_{2d}}{N_{2d}} + e_{he} + e_{init}$$

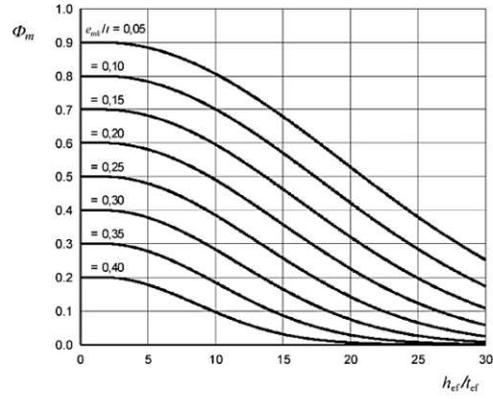
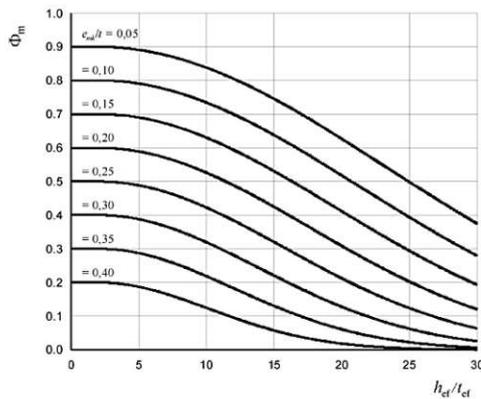
$$\phi_2 := 1 - 2 \cdot \frac{e_2}{t} = 0,7$$

$$N_{R2d} := f_d \cdot t \cdot \phi_2 \cdot L_3 = 428,44 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{2d}}{N_{R2d}} = 76,79 \%$$

ϕ_m für $E=1000 \cdot f_k$:

ϕ_m für $E=700 \cdot f_k$:



$$\phi_m := 0,85$$

$$N_{Rmd} := f_d \cdot t \cdot \phi_m \cdot L_2 = 516,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{md}}{N_{Rmd}} = 61,53 \%$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 7,24 \quad f_k \cdot 1000 = 4000 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{e_{mk,min}}{t} = 0,05 \quad f_k \cdot 700 = 2800 \frac{N}{mm^2}$$

Abb. 68 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Mittelwandachse (MW) nach dem Ausbau

Nachweis Grundbruchsicherheit

MW nach Ausbau

EN1997-1:2014

$b := 1,00 \text{ m}$	$\varphi := 32,5^\circ$	$N_{q,0} := \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi)) = 24,58$
$d := 1,00 \text{ m}$	$\gamma := 18,0 \frac{kN}{m^3}$	$N_{\gamma,0} := (N_{q,0} - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,03$
$E_d := 398 \frac{kN}{m}$	$c := 0 \frac{kN}{m}$	$N_{c,0} := (N_{q,0} - 1) \cdot \cot(\varphi) = 37,02$
$\gamma_{R,v} := 1,4$		

$$R_{Gr,k} := \gamma \cdot b \cdot N_{\gamma,0} + \gamma \cdot d \cdot N_{q,0} + c \cdot N_{c,0} = 712,97 \frac{kN}{m}$$

$$R_{Gr,d} := \frac{R_{Gr,k}}{\gamma_{R,v}} = 509,27 \frac{kN}{m}$$

$$\frac{E_d}{R_{Gr,d} \cdot b} = 78,15 \%$$

Abb. 69 – Nachweis des Grundbruches der Mittelwandachse (MW) nach dem Ausbau

Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes

AW nach Ausbau

EN1996-1-1:2005+A1 2012

6.1.2.2. Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß) und ϕ_m (Wandmitte)

$f_k := 1,9 \frac{N}{mm^2}$	$N_{1d} := 99 \text{ kN}$	$L_1 := 100 \text{ cm}$	$t_{ef} := t$	$e := 5 \text{ cm}$...Exzentrizität zwischen Decken- und Wandlast
$h := 275 \text{ cm}$	$N_{md} := 106 \text{ kN}$	$L_2 := 100 \text{ cm}$	$h_{ef} := h$	$\phi_{inf} := 1,5$
$t := 38 \text{ cm}$	$N_{2d} := 113 \text{ kN}$	$L_3 := 100 \text{ cm}$	$e_{he} := 0$	$Y_m := 2,5$
			$e_{hm} := 0$	$E := 2315 \frac{N}{mm^2}$
			$e_{init} := \frac{h_{ef}}{450}$	$f_d := \frac{f_k}{Y_m} = 0,76 \frac{N}{mm^2}$

Ermittlung von ϕ_m (Wandmitte)

Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß)

$$M_{md} := (N_{2d} - N_{1d}) \cdot e = 0,7 \text{ kN m}$$

$$e_m := \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} = 1,27 \text{ cm}$$

$$e_k := 0,002 \cdot \phi_{inf} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0,15 \text{ cm}$$

$$e_{mk} := e_m + e_k$$

$$e_{mk,min} := \max \left(\left[e_{mk} \ 0,05 \cdot t \right] \right) = 1,9 \text{ cm}$$

$$M_{2d} := N_{2d} \cdot e$$

$$e_2 := \frac{M_{2d}}{N_{2d}} + e_{he} + e_{init}$$

$$\phi_2 := 1 - 2 \cdot \frac{e_2}{t} = 0,7$$

$$N_{R2d} := f_d \cdot t \cdot \phi_2 \cdot L_3 = 203,51 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{2d}}{N_{R2d}} = 55,53 \%$$

$$\phi_m := 0,85$$

$$N_{Rmd} := f_d \cdot t \cdot \phi_m \cdot L_2 = 245,48 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{md}}{N_{Rmd}} = 43,18 \%$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 7,24 \quad f_k \cdot 1000 = 1900 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{e_{mk,min}}{t} = 0,05 \quad f_k \cdot 700 = 1330 \frac{N}{mm^2}$$

Abb. 70 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Außenwandachse (AW) nach dem Ausbau

Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes

MWP nach Ausbau

EN1996-1-1:2005+A1 2012

6.1.2.2. Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß) und ϕ_m (Wandmitte)

$f_k := 1,9 \frac{N}{mm^2}$	$N_{1d} := 190 \text{ kN}$	$L_1 := 190 \text{ cm}$	$t_{ef} := t$	$e := 5 \text{ cm}$...Exzentrizität zwischen Decken- und Wandlast
$h := 275 \text{ cm}$	$N_{md} := 205 \text{ kN}$	$L_2 := 70 \text{ cm}$	$h_{ef} := h$	$\phi_{inf} := 1,5$
$t := 38 \text{ cm}$	$N_{2d} := 219 \text{ kN}$	$L_3 := 190 \text{ cm}$	$e_{he} := 0$	$Y_m := 2,5$
			$e_{hm} := 0$	$E := 2315 \frac{N}{mm^2}$
			$e_{init} := \frac{h_{ef}}{450}$	$f_d := \frac{f_k}{Y_m} = 0,76 \frac{N}{mm^2}$

Ermittlung von ϕ_m (Wandmitte)

Ermittlung von ϕ_i (Wandkopf und -fuß)

$$M_{md} := (N_{2d} - N_{1d}) \cdot e = 1,45 \text{ kN m}$$

$$e_m := \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} = 1,32 \text{ cm}$$

$$e_k := 0,002 \cdot \phi_{inf} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0,15 \text{ cm}$$

$$e_{mk} := e_m + e_k$$

$$e_{mk,min} := \max \left(\left[e_{mk} \ 0,05 \cdot t \right] \right) = 1,9 \text{ cm}$$

$$M_{2d} := N_{2d} \cdot e$$

$$e_2 := \frac{M_{2d}}{N_{2d}} + e_{he} + e_{init}$$

$$\phi_2 := 1 - 2 \cdot \frac{e_2}{t} = 0,7$$

$$N_{R2d} := f_d \cdot t \cdot \phi_2 \cdot L_3 = 386,67 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{2d}}{N_{R2d}} = 56,64 \%$$

$$\phi_m := 0,85$$

$$N_{Rmd} := f_d \cdot t \cdot \phi_m \cdot L_2 = 171,84 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{md}}{N_{Rmd}} = 119,3 \%$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 7,24 \quad f_k \cdot 1000 = 1900 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{e_{mk,min}}{t} = 0,05 \quad f_k \cdot 700 = 1330 \frac{N}{mm^2}$$

Abb. 71 – Nachweis vertikalen Tragwiderstandes der Mauerwerkspfeilerachse (MWP) nach dem Ausbau

<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Nachweis Grundbruchsicherheit</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">EN1997-1:2014</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> $b := 0,70 \text{ m}$ $d := 1,00 \text{ m}$ $E_d := 251 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $\gamma_{R,v} := 1,4$ </div> <div style="width: 45%;"> $\varphi := 32,5^\circ$ $\gamma := 18,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ $c := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ </div> </div> $N_{q,0} := \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi)) = 24,58$ $N_{\gamma,0} := (N_{q,0} - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,03$ $N_{c,0} := (N_{q,0} - 1) \cdot \cot(\varphi) = 37,02$ $R_{Gr,k} := \gamma \cdot b \cdot N_{\gamma,0} + \gamma \cdot d \cdot N_{q,0} + c \cdot N_{c,0} = 631,84 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $R_{Gr,d} := \frac{R_{Gr,k}}{\gamma_{R,v}} = 451,31 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">AW nach Ausbau</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 20px; text-align: center;"> $\frac{E_d}{R_{Gr,d} \cdot b} = 79,45 \%$ </div>
--	---

Abb. 72 – Nachweis des Grundbruches der Außenwandachse (AW) nach dem Ausbau

Der Nachweis des vertikalen Mauerwerkwiderstandes ist für den Pfeiler aus Hohlsteinen im zweiten Obergeschoß überschritten. Aufgrund der Abmessungen in der Wandmitte übersteigt die Einwirkung den Widerstand. Es sind Verstärkungsmaßnahmen vorzusehen, diese könnten beispielsweise sein:

- * Vergrößern der Abmessungen des Pfeilers, Ausmauern der Öffnungen daneben
- * Vergrößern der Abmessungen des Pfeilers, Öffnungen daneben verkleinern
- * Druckfestigkeit erhöhen, Verpressen
- * Druckfestigkeit erhöhen, Stahlbetonstütze einschlitzen
- * Druckfestigkeit erhöhen, Stütze mit NF-Ziegel herstellen

Die Stützen sind über die gesamte Geschoßhöhe auszubilden. Sollten nachträglich Ziegel eingebracht werden, ist darauf zu achten, dass das bestehende Ziegelmauerwerk kraftschlüssig mit dem neuen Mauerwerk verbunden wird. Diese Verbindung lässt sich mit dem Vorgang des *Ver-schmatzen* herstellen, es werden einzelne Ziegel aus dem bestehenden Mauerwerk herausgelöst und mit den neuen Ziegeln eine Einheit gebildet.

Im Umkehrschluss lassen sich die restlichen Mauerwerkspfeiler anhand der vorhandenen Geometrien nachweisen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Ergebnisse des Pfeilers im zweiten Obergeschoß. Aus diesen lassen sich drei Argumente ableiten.

$$N_{Rmd} = 171,84 \text{ kN} \quad N_{md} = 205 \text{ kN} \quad L_{Wand} := 190 \text{ cm} \quad L_{Pfeiler} := 70 \text{ cm}$$

$$L := \frac{N_{Rmd}}{N_{md}} \cdot L_{Wand} = 1,59 \text{ m} \quad X := \frac{L}{L_{Pfeiler}} = 2,28 \quad Y := (X - 1) \cdot L_{Pfeiler} = 0,89 \text{ m}$$

Abb. 73 – Nachweis der Mauerwerkspfeiler im zweiten Obergeschoß

- 1) Wenn die Einflussbreite L dividiert durch die Pfeilerlänge, kleiner als das X-Fache ist, besteht kein Versagensrisiko durch die vertikale Lastabtragung des Mauerwerkes.
- 2) Wenn die Pfeilerlänge multipliziert mit X, kleiner der Einflussbreite L ist, besteht kein Versagensrisiko durch die vertikale Lastabtragung des Mauerwerkes.
- 3) Wenn die Summe der lastbeitragenden Sturzlängen kleiner als das (X - 1) multipliziert mit der Pfeilerlänge ist, besteht kein Versagensrisiko durch die vertikale Lastabtragung des Mauerwerkes.

Aus der Abb. 43 lässt sich erkennen, dass die Nachweise mit dem Argument zwei augenscheinlich, bis auf die drei Pfeiler mit 70 cm unterhalb der Unterzüge, erfüllt sind.

Das Gewicht der vorgefertigten Tafelbauelemente für die thermische Sanierung des Bestandes wurde der Lastableitung nicht hinzugefügt. Es handelt sich hier rein um eine Abschätzung, deren Ziel es ist, eine grobe Aussage über die Tragreserven des Bestandes zu treffen. Alternativ wäre eine selbsttragende Konstruktion mit einer eigenen Fundierung, wie in den Referenzprojekten gezeigt, eine Möglichkeit.

Das betrachtete Modell beinhaltet drei Vollgeschoße. Strasser hat sich in seiner Arbeit [44] mit drei, vier und fünf Geschoßen des Bestandes auseinandergesetzt. Pro weiteres Geschoß wird die Designlast der Mittelwand um 65 kN vergrößert, bei der Außenwand beträgt diese Erhöhung 43 kN. Vergleicht man die betrachteten Widerstände der Mauerwerks- und Grundbruchnachweise mit den vergrößerten Einwirkungen, stellt sich heraus, dass ein viergeschoßiger Bestand nach dem Ausbau noch Tragreserven aufweist. Bei dem fünfgeschoßigen Bestand sind Überschreitungen von 10 bis 15 % der berechneten Widerstände zu erkennen. Voraussetzung für die Aussagen ist, dass sich die Anzahl der Geschoße, die mit Hohlblockstein hergestellt sind, nicht verändert. Die Ertüchtigung der Mauerwerkspfeiler mit Hohlblocksteinen bleibt unverändert. Konkrete Aussagen über den horizontalen Tragwiderstand können in dieser Arbeit nicht getroffen werden, es wird auf das Kapitel 4.7.3 verwiesen.

4.8.8 Konstruktionsdetails

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die Prinzipien der Konstruktionsanschlüsse. Es wird versucht, auf eine Vielzahl von Schraub- und Winkelverbindungen zu verzichten. Mithilfe von Gewindestangen sollen die Zugkräfte über die einzelnen Wandelemente übertragen werden. Vorgebohrte Öffnungen und Löcher für die Zugelemente vereinfachen die Arbeiten auf der Baustelle. Die Wandelemente werden miteinander verspannt und Aussparungen zwischen den Verbindungen ermöglichen das Auflagern der Deckenplatten. (siehe Abb. 75) Die Anschlüsse sind nachträglich ohne Beschädigung lösbar und für eine sofortige Nachnutzung wiederverwendbar.

Die Plattenelemente werden mithilfe von schmetterlingsförmigen Holzverbindern zusammengehalten. Die Übertragung der Zugkräfte erfolgt über den Formschluss. Die Verbinder sollen die Decken zu einer gesamten Platte vereinen und das Abrutschen von den Ausklinkungen verhindern. Das Lösen der Verbindung wird durch das Aushebeln der Schmetterlinge aus den vorgefrästen Aussparungen in den Deckenelementen gewährleistet. (siehe Abb. 76 und Abb. 78) Es sind keine Klebe- oder Schraubverbindungen angedacht.

Knaggen leiten die horizontalen Lasten aus Erbeben- oder Windeinwirkungen von den Platten in die aussteifenden Wandelemente. Sie stellen die Verlängerung der Wand dar und dienen als Führungsschiene für die Gewindestangen. (siehe Abb. 77) Die entstehenden Holzabfälle beim Zugschnitt der Bauteile können für die Herstellung der Schmetterlings-Holzverbinder verwendet werden.

Die Stützen in der Fassadenachse sind über Steckverbindungen mit der Decke verbunden. Hartholzdübel sollen die Lage der Stützen sichern, Zugkräfte sind nicht zu übertragen. (siehe Abb. 79) Die Platten sind als Durchlaufträger ausgebildet und sollen die Anzahl der Verbindungsmittel und den Arbeitsaufwand auf der Baustelle auf ein Minimum beschränken. Die Elemente mit einer Größe von maximal 2,95 m Breite und einer Länge von ca. 11 m lassen sich auf einem LKW liegend transportieren. Es sind keine Sondertransporte notwendig. Aus diesem Grund wurde auf Raummodule verzichtet, der Zufahrtsweg ist nicht immer für solche großen und schweren Transporte geeignet. Weiteres werden stärkere Hebevorrichtungen benötigt, die kostenintensiver und nur beschränkt mobil sind.

Die Lasten aus den Platten werden punktuell in die Stützen geleitet. Es wird darauf geachtet, dass die Prinzipien der Polyfunktionalität eingehalten werden. Ein Objekt soll mehreren Funktionen unterlegen sein, deshalb wird auf den Randbalken verzichtet. Dieser würde zu zusätzlichen Fügepunkten und weiteren Bauteilen führen. Die Folge ist, dass die Stütze nach dem Bemessungskonzept des Durchstanzens dimensioniert wird und eventuell zu einem größeren Querschnitt führt. Jedoch stellt dies bei den geringen Spannweiten kein Problem dar.

Ein weiterer Vorteil, der sich durch den Verzicht des Randbalkens ergibt, ist, dass die vorgefertigten Fassadenelemente mit Dübel in der Decke fixiert werden können. Dieser fungiert gleichzeitig für das Fassadenelement darüber als Dorn. Die Vorfertigung soll so weit wie möglich erfolgen, um die Qualität des Bauwerkes und die zeitliche Abfolge auf der Baustelle zu optimieren.

Die konstruktive Reduktion wird durch einfache, sichtbare, nicht zerstörende Verbindungen sowie durch die Polyfunktionalität gefördert. Die Wahl der Deckenkonstruktion fiel auf eine einfache Brettsperrholzplatte, die mit einem geringen Schichtaufbau die Disziplinen Statik, Brandschutz, Schallschutz und Optik erfüllt. Es wurde von der heutzutage üblichen Holz-Betonverbunddecke aus mehreren Gründen abgesehen. Durch das zusätzliche Gewicht des Aufbetons werden die darunterliegenden Geschoße des Bestandes übermäßig strapaziert und der Erfolg einer Aufstockung könnte durch unverhältnismäßig viele Ertüchtigungsmaßnahmen gefährdet sein. Die üblichen Spannweiten, die bei den Nachkriegsbauten auftreten, befinden sich im Bereich von 4,5 bis 5,0 m. Die HBV-Decke findet erst ab einer Spannweite von 6 m eine wirtschaftliche Verwendung, siehe Abb. 74.

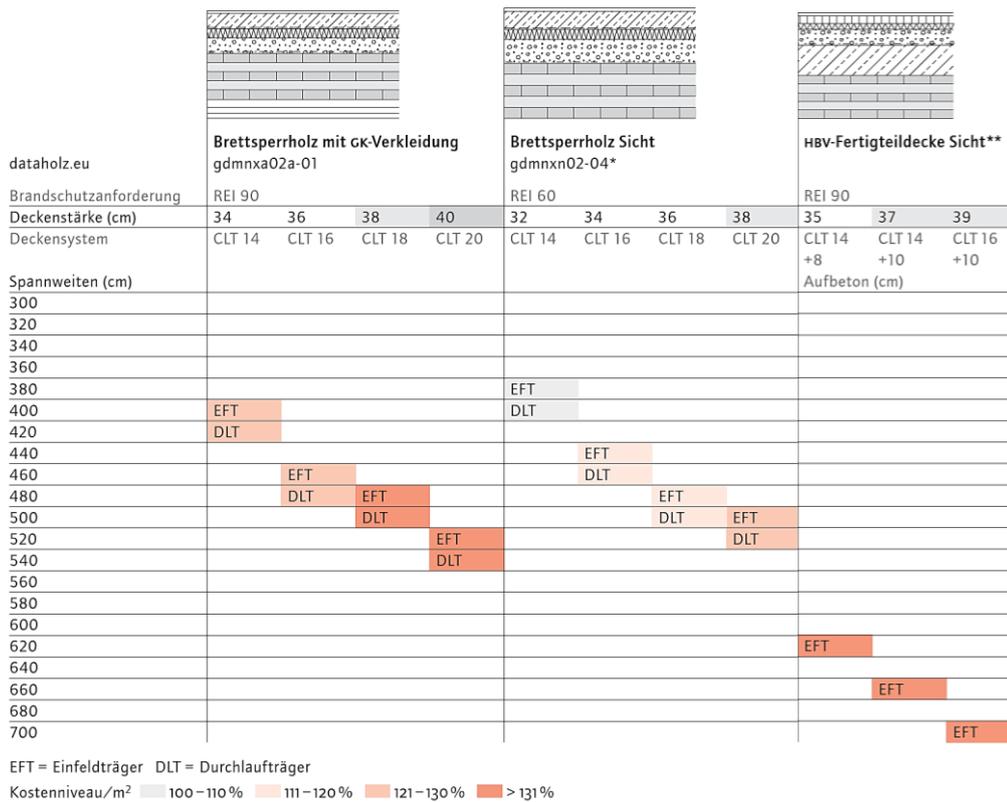


Abb. 74 – Wirtschaftliche Deckenspannweiten von Holzdecken [53]

Wie bereits im Kapitel 3.2.6 gezeigt und im Kapitel 3.1.4 erwähnt ist die Voraussetzung der Nachnutzung von einzelnen Bauteilen die zerstörungsfreie Trennung der einzelnen Bauteile. Die Holz-Betonverbunddecke erhält durch den Aufbeton eine annähernd kraftschlüssige Verbindung mit dem Brettsperrholzelement. Die Trennung dieser beiden Materialien ist daher sehr aufwendig und mit Beschädigungen der Elemente verbunden.

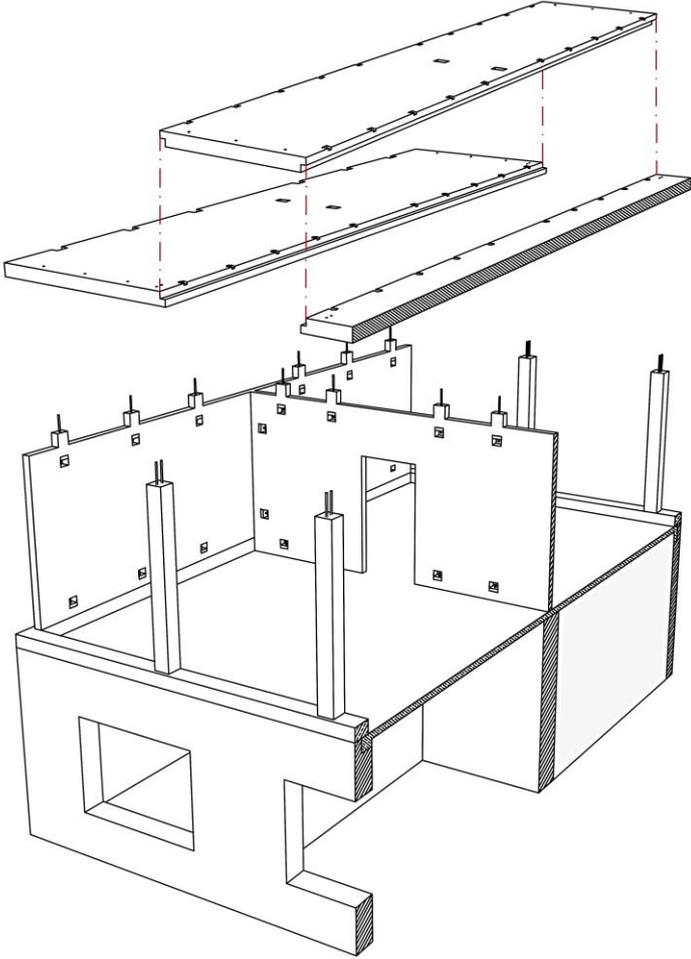


Abb. 75 – Deckenplatten mit Ausklinkung

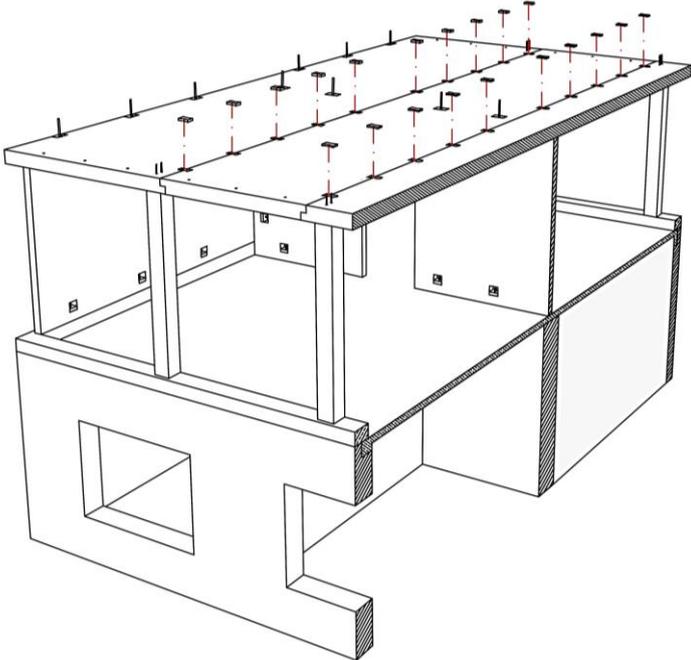


Abb. 76 – Schmetterlingsverbinder für die Plattenelemente

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

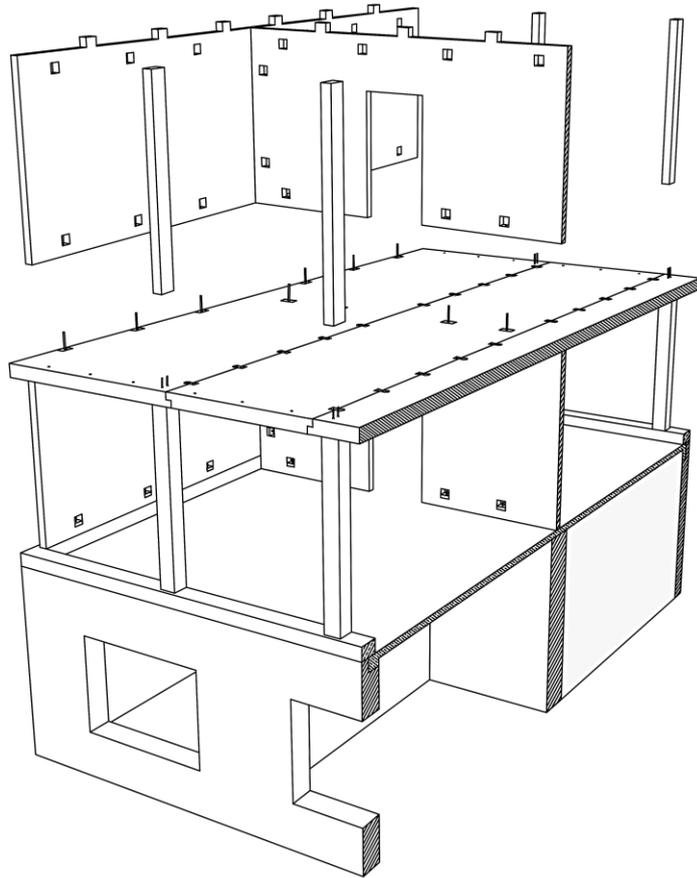


Abb. 77 – Knaggen zur Übertragung der horizontalen Kräfte

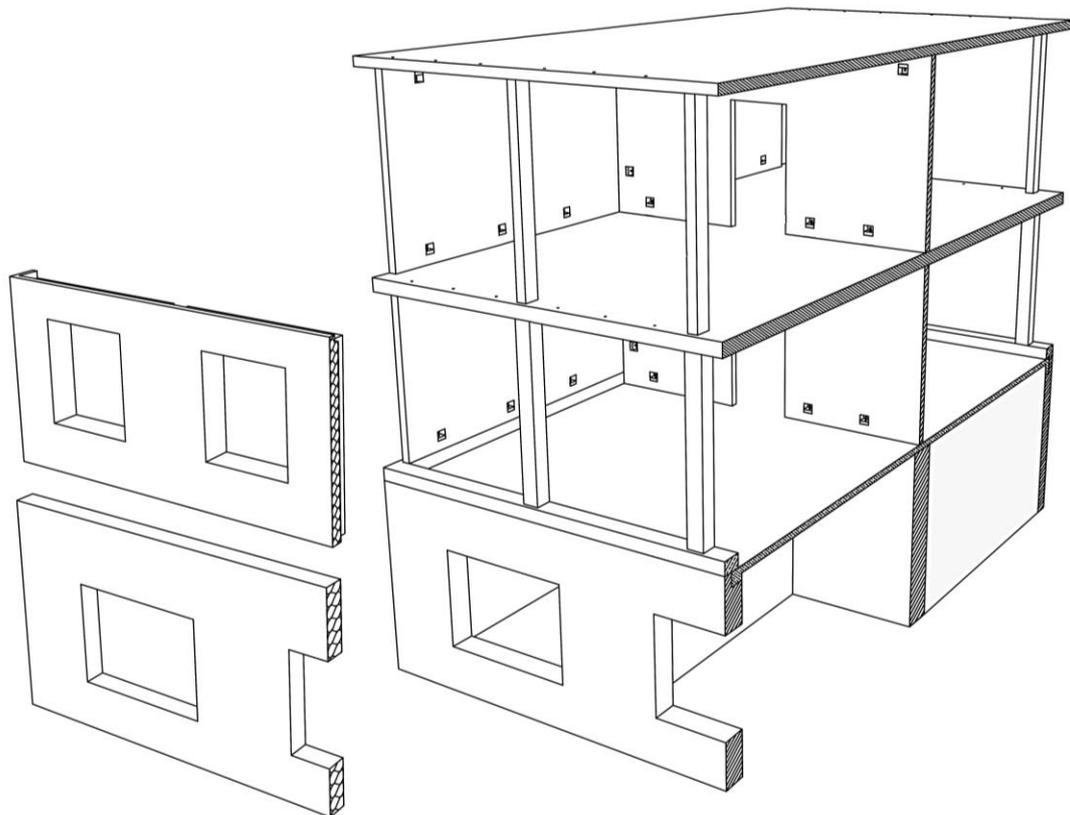


Abb. 78 – Verspannen der Geschoße mit Gewindestangen

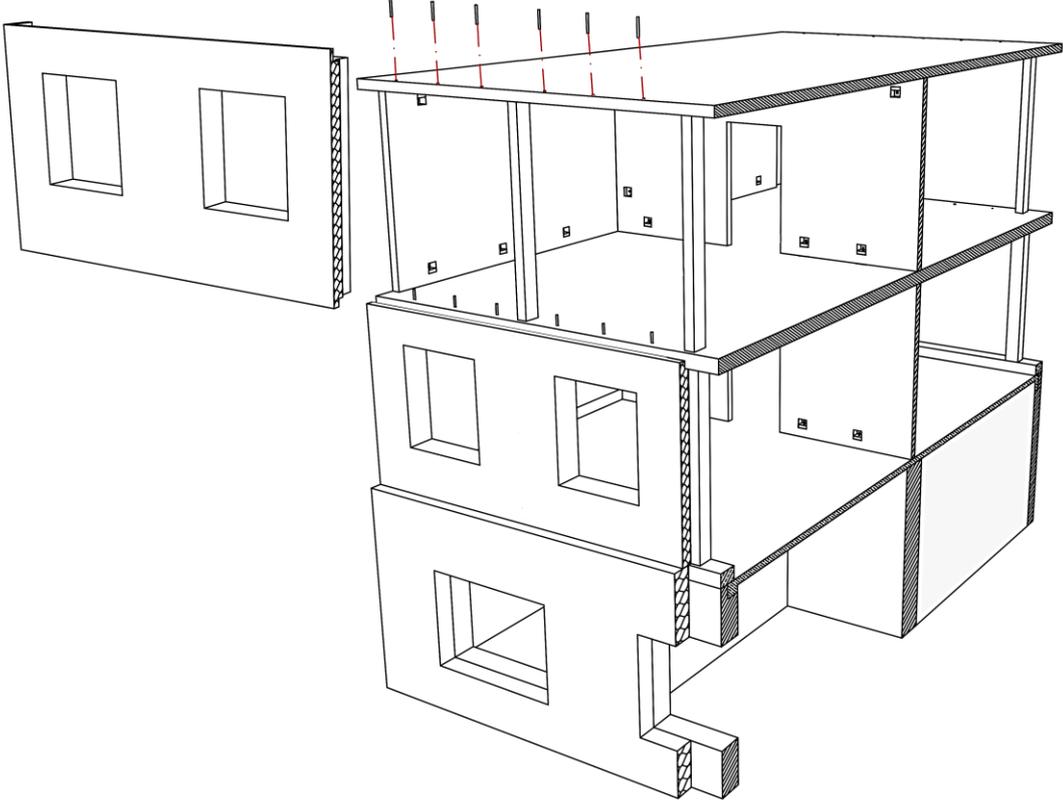


Abb. 79 – Steckverbindung der Fassadenelemente

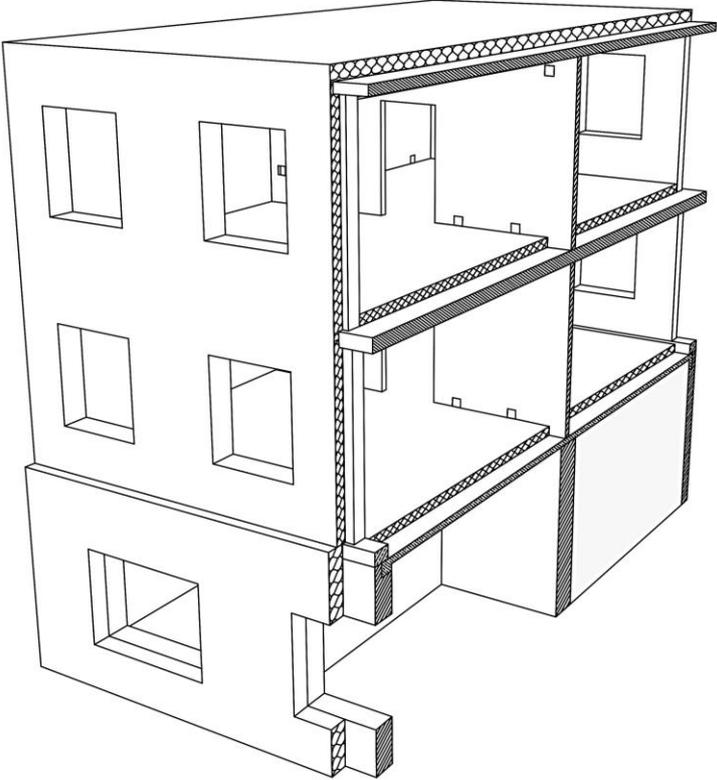


Abb. 80 – Schließen der Gebäudehülle

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.

4.8.9 Ökobilanz der Außenwand

Es wird die Ökobilanz der Außenwand des Dachgeschoßausbaues (siehe Abb. 59) mit einem konventionellen Aufbau aus Hochlochziegeln und einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) verglichen. Dabei wurde jeweils die Referenzfläche von 1 m^2 Außenwand herangezogen. Nicht in der Berechnung berücksichtigt sind Holzstützen und der aussteifende Rahmen der Bauweise mit Ziegeln. Entscheidend für den Vergleich sind die U-Werte der beiden Aufbauten, im Anhang A2.1 und A2.2 befinden sich die Berechnungen für die jeweilige Konstruktion. Es wird davon ausgegangen, dass die Konstruktion wärmebrückenfrei ausgeführt wird. Das Gebäude soll den Passivhaus Standard erfüllen, dieser wird für Bauteile mit einem U-Wert unter $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ und für Fenster unter $0,80 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ erreicht. Die Datensätze wurden aus der ÖKOBAUDAT [22] mit Stand Jänner 2023 bezogen.

Die folgenden beiden Grafiken (Abb. 81 und Abb. 82) zeigen die Ergebnisse der Ökobilanzierung. Abb. 82 berücksichtigt den Einfluss des Recyclings und bei Abb. 81 wurde davon ausgegangen, dass die Gesamtkonstruktion ihr *End-of-Life* erreicht hat. Das *End-of-Life* ist ein wichtiger Aspekt bei der Ökobilanzierung, da es sich auf den Lebenszyklus eines Produkts bezieht und den Zeitpunkt beschreibt, an dem das Produkt seine Funktion nicht mehr erfüllen kann und aus dem Wirtschaftskreislauf ausscheidet. Das *End-of-Life* tritt ein, wenn das Produkt nicht mehr genutzt oder weiterverkauft werden kann und somit entsorgt werden muss.

Die vollständige Berechnung und die Annahmen der Recyclingraten befinden sich im Anhang A1.1 und A1.2. Summiert wurden die primäre nicht erneuerbare Energie (PEne) und das globale Erwärmungspotential (GWP). Um das Argument, dass Tafelbauten einen dickeren Aufbau benötigen vorwegzunehmen, sind in der Legende die Bauteilstärken und die schematische Darstellung dieser hinterlegt. Bei gleichem U-Wert ergeben sich massive Unterschiede bei der Ökobilanzierung.

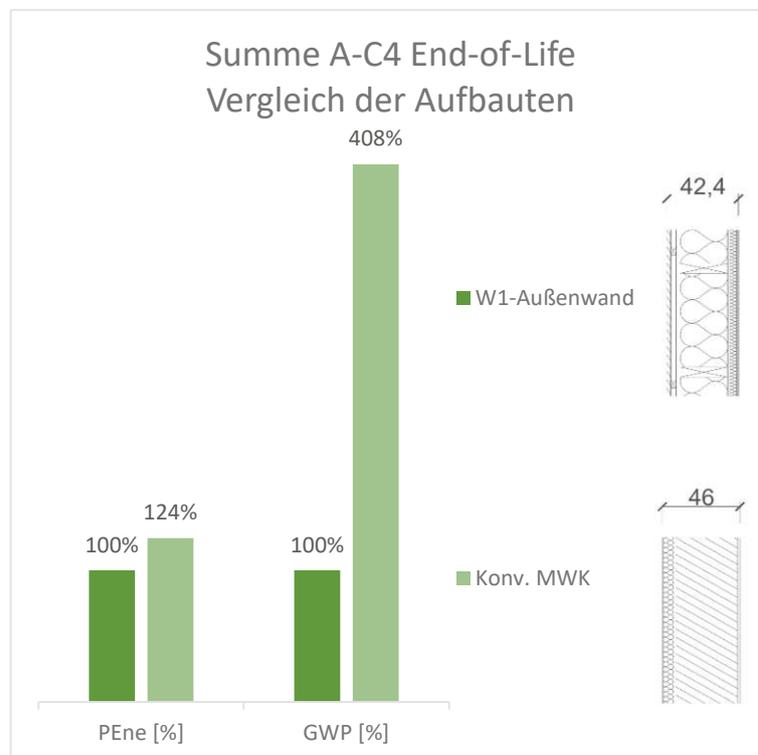


Abb. 81 – Ökobilanzierung End-of-Life

Um die Aussagen der Ergebnisse besser interpretieren zu können, wird auf einen prozentuellen Vergleich der Bauweisen gesetzt. Skaliert wurden die Bereiche immer auf den niedrigeren Wert, in diesen Fällen ist es jener der Tafelbauweise. Die nicht erneuerbare Energie des konventionellen Aufbaues ist um den Faktor 1,24 größer als jener der Holzbauweise. Einen wesentlich größeren Unterschied zeigt der Vergleich des globalen Erwärmungspotential, hier ist der Faktor bei vier. (siehe Abb. 81) Wird ein Teil der Konstruktion nach der Nutzungsdauer wiederverwendet, können der Bilanz prozentuell Werte gutgeschrieben werden. Bei Holz ist dieser Anteil recht hoch, in der Berechnung wird von 80 % ausgegangen. Konstruktionsbedingt können die Werte bis zu 100 % erreichen. In der Berechnung wird von der Wiederverwendung des Holzes gesprochen und nicht von der Verbrennung. Es ist somit möglich, dass die Bilanzwerte in den negativen Bereich fallen. (siehe Abb. 82) Die beiden Vergleichswerte der Tafelbauweise sind besser für die Umwelt verträglich als die des Mauerwerkes. Sowohl ohne als auch mit Berücksichtigung der Untergruppe D, die für das Recyclingpotenzial der Materialien zuständig ist.

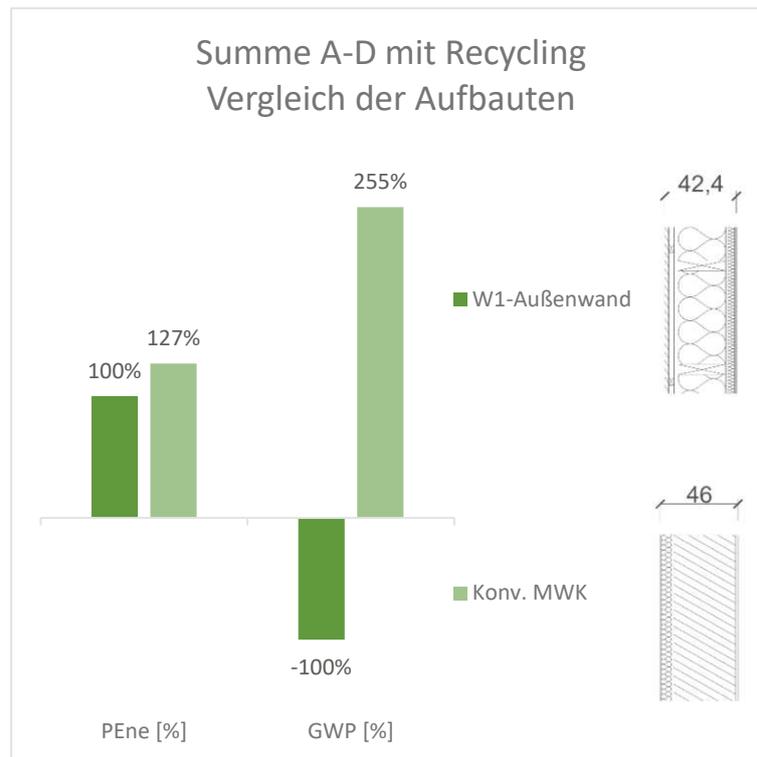


Abb. 82 – Ökobilanzierung mit Recyclingeinfluss

In weiterer Folge werden die Ergebnisse in deren Material- und Verarbeitungsgruppen unterteilt, um die treibenden Faktoren zu identifizieren. Die Abb. 83 und Abb. 84 zeigen das globale Erwärmungspotential der verschiedenen Materialien. Ersichtlich ist, dass das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) und die Mineralwolle der Tafelbauweise verhältnismäßig einen großen Beitrag zu der Bilanz leistet. Bei der genaueren Betrachtung der einzelnen Vorgänge ist zu erkennen, dass die Mineralwolle in den Phasen A1-A3 (Produktion) den größten Beitrag des globalen Treibhauspotential liefert. (siehe Abb. 85) Alternative Dämmstoffe für die Tafelbauweise, könnten das globale Treibhauspotential noch weiter reduzieren.

Betrachtet man die primäre nicht erneuerbare Energie genauer, lässt sich das Wärmedämmverbundsystems (WDVS) als wesentliche Größe identifizieren. (siehe Abb. 87) Bei der Tafelbauweise spielt die Mineralwolle ebenfalls eine erwähnenswerte Rolle. (siehe Abb. 86)

Das WDVS hat in der Phase B (Nutzung / Ersatz), aufgrund der zweifachen Erneuerung in einem Zyklus von 100 Jahren einen sehr großen Beitrag. (siehe Abb. 88) Einsparungen lassen sich durch langlebige Oberflächen, die zerstörungsfreie Trennung der einzelnen Schichten und durch Materialien dessen primäre nicht erneuerbare Energie geringer ist, erreichen.

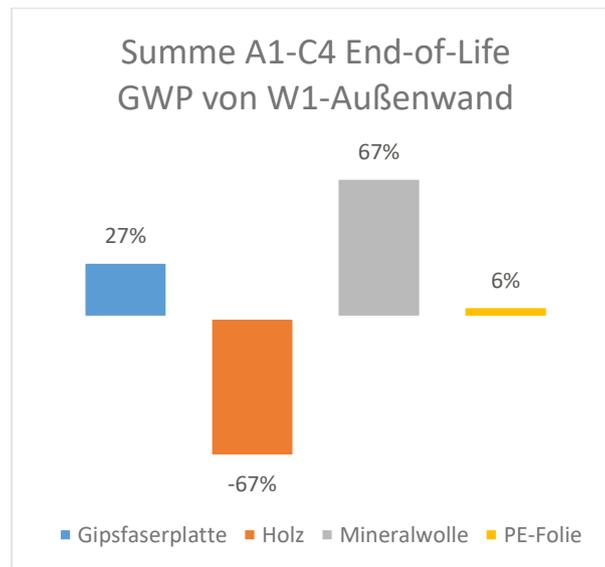


Abb. 83 – Treibhauspotential von Tafelbauweise

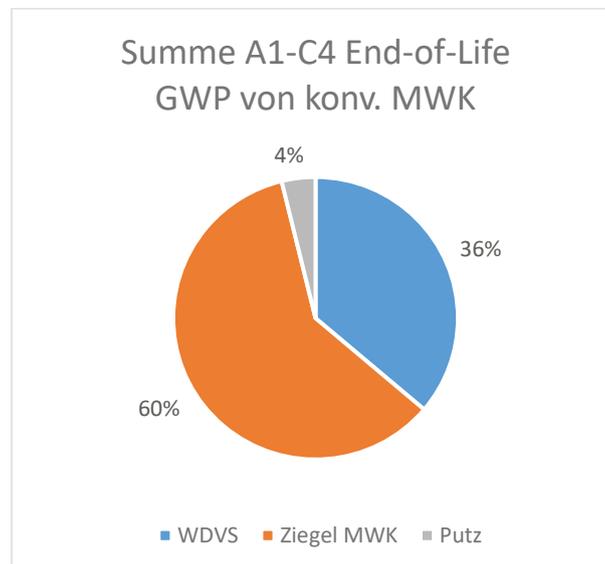


Abb. 84 – Treibhauspotential von Mauerwerk

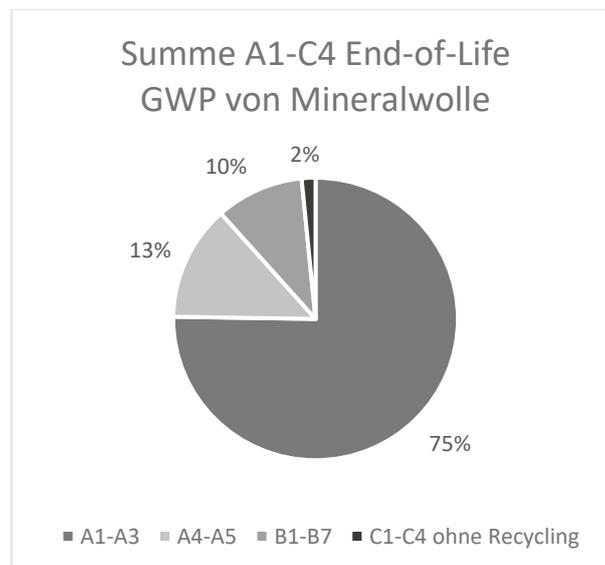


Abb. 85 – Treibhauspotential von Mineralwolle

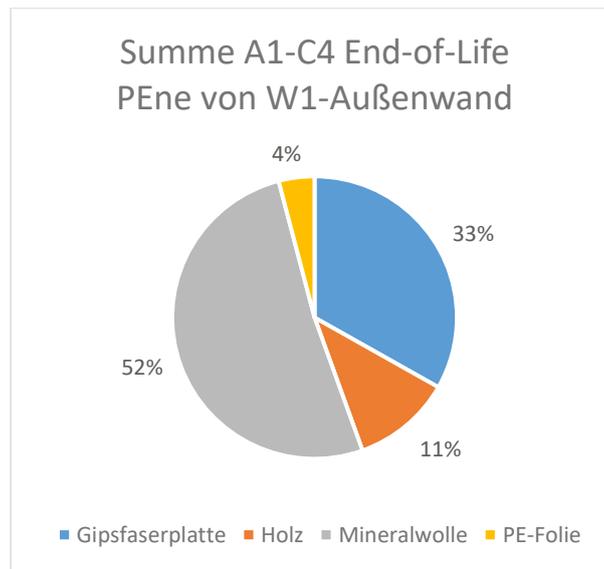


Abb. 86 – Primärenergie nicht erneuerbar von Tafelbauweise

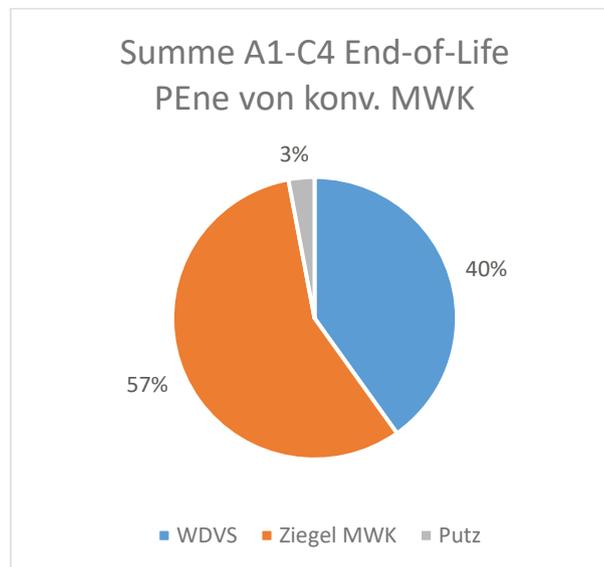


Abb. 87 – Primärenergie nicht erneuerbar von Mauerwerk

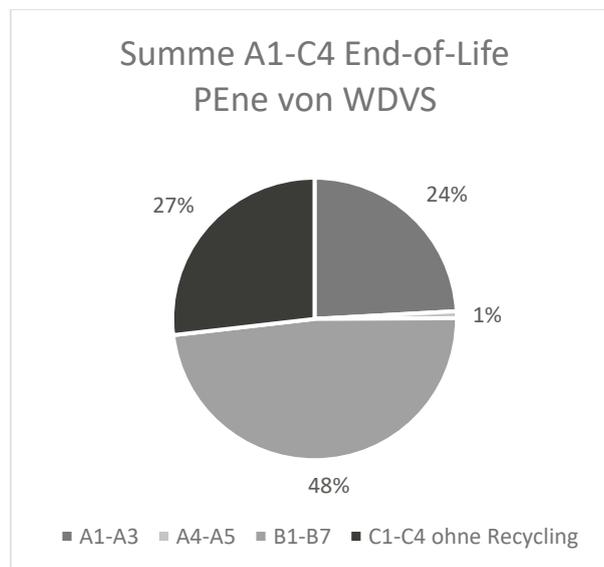


Abb. 88 – Primärenergie nicht erneuerbar von WDVS

5 Conclusio

Die Klimakrise ist von Menschen geschaffen worden. Es liegt an der jetzigen Generation, den richtigen Weg einzuschlagen und die weiteren schwerwiegenden Folgen so gut wie möglich abzufangen. Entscheidungen, die getroffen werden, sind für die nächsten Generationen von großer Bedeutung. Es muss für das Handeln Verantwortung übernommen werden. Eine Lösung für diese Krise lässt sich so nicht pauschal nennen. Es kann hier nur auf einen Teil des Problems eingegangen werden. Das Bauen, der Umgang mit Materialien und die zukunftsorientierte Gestaltung liegt in der Verantwortung von Planerinnen und Planer.

Es besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Ausstoß von CO₂-Emissionen und der Erderwärmung. Die Treibhausgas-Emissionen sind massiv zu reduzieren und zu kompensieren. Die Folgeerscheinungen bei einem ausbleibenden Einschreiten sind verheerend. Zwei Tatsachen, die sich mit dem Zwei-Grad-Ziel nicht vereinbaren lassen, sind: *Wir werden immer mehr und wir wollen immer mehr*. Die Bevölkerung wächst und die Urbanisierung schreitet voran. Rund um die Stadtzentren entstehen neue Wohnblöcke, die bis in die Unendlichkeit wachsen sollen. Mit ihnen werden Grünflächen und Rohstoffe verbraucht. Die natürlichen Pufferwirkungen des Bodens und die Vielfalt des Ökosystems verschwindet. Es ist vermehrt auf die Nachverdichtung der Städte zusetzen. Verkehrsflächen und Gebäude benötigen viele Ressourcen. Die Gewinnung und Verarbeitung dieser erzeugen Emissionen. Grundsätzlich geht die Einsparung von Bauprodukten mit einer Reduktion von Treibhausgasen einher.

Es wird eine Struktur gesucht, die möglichst effizient mit den Baumaterialien umgeht. Gegenübergestellt werden das Einfamilienhaus, Wohnblöcke und Hochhäuser. Flächige Strukturen benötigen einen großen Bedarf an Infrastruktur. Konzentrierte Wohnformen haben einen geringen Anteil in der horizontalen Erschließung, jedoch erhöht sich der Bedarf an Ressourcen mit der Geschosshöhe. Ein Optimum stellt sich mit dem jetzigen Stand der Technik bei einem sechsgeschoßigen Wohnblock ein.

Die Ressourceneffizienz lässt sich anhand von mehreren Parametern messen. Viele dieser Strategien zielen darauf ab den Materialverbrauch zu senken und die Nutzungsdauer eines Objektes zu verlängern. Wird die Nutzung eines Gebäudes verlängert, bleiben die Ressourcen im System. Die Emissionen, die durch den Bau der Strukturen entstehen, verteilen sich über eine größere Zeitspanne und reduzieren langfristig die Einwirkungen auf die Umwelt.

Das Bauen im Bestand bietet bestehenden Strukturen eine Verlängerung der Nutzungsdauer. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtete Emissionen können reduziert werden und vorhandene Materiallager, die bereits in den Städten verbaut sind, können genutzt werden. Veraltete Gebäude sind mit einfachen Systemen an den heutigen Stand der Technik anzupassen.

Durch den vermehrten Einsatz von nachhaltigen Materialien kann das Umweltbudget bereits bei der Errichtung des Objektes geschont werden. In weitere Folge sind Überlegungen an den Material- und Gebäudezyklus zu treffen. Die Anpassung der Grundrisse an ein flexibles System fördert und verlängert die Nutzung des Gebäudes. Eine zerstörungsfreie Trennung der Bauteile ist die Voraussetzung für kreislauffähige Konstruktionen. Die Wiederverwendung der gesamten Teile ist das Ziel und die stoffliche Verwertung sollte minimiert werden. Hier ist es sinnvoll, die Schichten des Gebäudes nach ihrer Lebensdauer zu unterteilen. Die Trennung von Fassade und Tragstruktur ist hier ein gutes Beispiel.

Die Tragwerksplanung hat die Aufgabe, die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit eines Gebäudes zu gewährleisten. Oftmals sind versteckte Tragreserven in den Bauten vorhanden, die zu einer schlechten Ausnutzung führen. Effiziente Formen entstehen durch die genaue Abstimmung der Spannweite und dem Konstruktionsgewicht. In erster Linie sollten leichte Tragstrukturen angestrebt werden. Hier bietet der Baustoff Holz einige Vorteile. Er ist im Verhältnis zu

seiner Belastbarkeit leicht und ein nachwachsender Rohstoff. Mithilfe von wenigen Bearbeitungsschritten ist ein homogenes Bauteil geschaffen, das keinen negativen Einfluss auf die Umwelt hat.

Das Ziel der konstruktiven Reduktion ist es die Qualität des Gebäudes zu verbessern, indem die Komplexität der Konstruktion und die Vielfalt an Verbindungen und Anschlüsse auf ein Minimum gebracht wird. Geschaffen wird dies einerseits durch einen modulartigen Aufbau und der Polyfunktionalität. Einer Schicht oder einem Bauteil werden mehreren Aufgaben zugewiesen. Standardmäßige, schichtarme Elemente fördern die Nutzbarkeit des Materials. In Kombination mit der Vorfertigung gesamter Bauteile werden zusätzlich Baustellenabfälle reduziert, Prozesse verbessert und die Qualität in der Ausführung gesteigert. Dies sind alles Eigenschaften, die für die Dauerhaftigkeit eines Gebäudes und einer Materialoptimierung sprechen.

Auf der anderen Seite ist der Bedarf zu hinterfragen. *Wieviel Wohnfläche wird benötigt?* Es sollte nur so viel gebaut werden, wie es notwendig ist. Dabei sind die Bedürfnisse zu erfüllen und mögliche andere Wege auszutesten. *Welche Alternativen sind denkbar?* Die Ökobilanz ist ein essenzielles Werkzeug, um die Auswirkungen auf die Umwelt zu untersuchen. Sinnvoll ist es, die Stärken der Materialien auszunutzen und die Varianten miteinander zu vergleichen. *Wie kann man den maximalen Nutzen hervorbringen?* Dabei sind technische Innovationen und die Optimierung von Prozessen und Energieflüssen miteinzubinden. Diese drei Prinzipien: *Suffizienz, Konsistenz und Effizienz* sind ein unerlässliches Werkzeug zur Erfüllung der Ziele.

Mittels der SWOT-Analyse wurden die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der ausgewählten Projekte identifiziert. Verschiedene Bauweisen mit der Hauptnutzung Wohnen wurden analysiert. Im Vordergrund stand nicht der Vergleich der einzelnen Projekte, sondern die Vor- und Nachteile, die diese mit sich bringen.

Die angeeignete Theorie wurde in einem Fallbeispiel umgesetzt und Ausblicke für mögliche Sanierungskonzepte geschaffen. Die Kombination der thermischen Sanierung und der Aufstockung zweier Geschoße, soll ein ganzheitliches Konzept für eine Lösung der genannten Herausforderungen geben. Es wird zusätzlicher Wohnraum, ohne eine weitere Versiegelung des Bodens, geschaffen. Die Gebäudehülle des Objektes wird auf den aktuellen Stand der Technik gebracht, welches zugleich ein Umrüsten des Energiesystems ermöglicht. Weiteres wird die vorhandene städtebauliche Dichte, an das im Kapitel 2 genannte Optimum gebracht. Es wird somit der Ressourcenverbrauch im großen Maßstab angepasst.

Die vorhandenen Materiallager im Bestand werden genutzt und erweitert. Die Verlängerung der Wohnnutzung wird mit der thermischen Aufwertung der Gebäudehülle und der Anpassung der Barrierefreiheit geschaffen. Steck- und Schraubverbindungen die nach der Nutzungsdauer zerstörungsfrei gelöst werden können, fördern die Wiederverwendung der Bauteile als Gesamtsystem. Es soll das geschlossene Kreislauf-Design (*Closed Loop Design*) von Bauprodukten erreicht werden. Ziel ist es dabei die Ressourcenverschwendung und Umweltbelastung bei der Gestaltung von Gebäuden und Bauprodukten zu minimieren. Im *Closed Loop Design* werden Produkte und Materialien so gestaltet und ausgewählt, dass sie in einem geschlossenen Kreislauf wieder verwendet oder recycelt werden können, anstatt am Ende ihrer Lebensdauer als Abfall zu enden. [59] Dies bedeutet, dass die Produkte von Anfang an so konzipiert werden, dass sie leicht zerlegt, repariert und wiederverwendet werden können. Um dies zu erreichen, müssen verschiedene Schritte berücksichtigt werden:

- * *Materialauswahl:* Die Auswahl von Materialien sollte auf recycelten oder wiederverwendbaren Materialien basieren.
- * *Produktgestaltung:* Die Gestaltung von Bauteilen sollte so einfach wie möglich sein, um eine leichtere Demontage und Wiederverwendung zu ermöglichen.

- * *Demontage und Wiederverwendung*: Es sollten Mechanismen entwickelt werden, um die Demontage von Bauteilen und Materialien zu erleichtern und ihre Wiederverwendung zu fördern.
- * *Recycling*: Materialien, die nicht wiederverwendet werden können, sollten so konzipiert sein, dass sie leicht recycelt werden können.

Das *Closed Loop Design* von Bauteilen ist eine wichtige Strategie, um die Umweltbelastung und den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. So soll der lineare Gebrauch von Bauprodukten vermieden werden und die Gebäude und deren Materialien als temporärer Ressourcenspeicher angesehen werden. [59] Im Gegensatz zum *Closed Loop Design*, schließen Recycling Betone (RC-Beton) den Stoffkreislauf noch nicht vollständig. Da die recycelten Gesteinskörner wieder Zement benötigen, um eine feste homogene Masse zu bilden. Die Produktion des Zementes hat einen wesentlichen Beitrag beim Treibhauspotenzial und kann die positiven Effekte zu Nichte machen.

Mithilfe der modulartigen Bauweise im Fallbeispiel, findet das System bei einer Vielzahl der Nachkriegsbauten Anwendung. Es wurde fassadenseitig eine skelettbauartige Struktur geschaffen, in der die einzelnen Teile eingehoben werden können. Die Holzmassivwände im Inneren dienen der Aussteifung des Ausbaues und haben eine raumtrennende Funktion. Die nichttragenden Wände werden in einer leichten Holzbauweise ausgeführt. Die Elemente können zerstörungsfrei voneinander gelöst werden und nach der Nutzungsphase des Gebäudes an einem anderen Standort wiederverwendet werden. Das Austauschen der Fassadenteile, aufgrund von Wartungs- oder Erneuerungsarbeiten, ist nachträglich problemlos möglich. Bei der Verwendung der Baustoffe wurde darauf geachtet, dass der Emissionsbeitrag so gering wie möglich gehalten wird. Dies zeigt der Vergleich der Außenwand mit einem konventionellen Aufbau mit Ziegel. Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen bringt auch den positiven Effekt mit sich, dass sie während ihrer Wachstumsphase Kohlenstoff in ihrem Aufbau binden und bis zum Ende ihres Lebenszyklus als CO₂-Speicher angesehen werden können. [59] Die Verfügbarkeit von Holz ist begrenzt, daher ist besonders auf die Wiederverwendung zu achten. Bestehende Strukturen sind zu Nutzen und neue so zu planen, dass ein erneuerter Zyklus möglich ist.

Die Abschätzung der Tragreserven am Grundriss des Fallbeispiels hat gezeigt, dass mit simplen Ertüchtigungsmaßnahmen die vertikale Lastableitung eines zweistöckigen Ausbaues möglich ist. Die Auswirkung der zusätzlichen Belastung auf die Erdbebensicherheit des Gebäudes ist zu untersuchen. An dieser Stelle ist nochmals zu erwähnen, dass es sich hier rein um die Grundlage einer Diskussion handelt und keine statische Berechnung oder einen Ingenieurbefund ersetzt.

Die Ergebnisse der Berechnung der Holzaufstockung zeigen noch Optimierungspotential. Der ausschlaggebende Faktor bei der Geschoßdecke ist der Schwingungsnachweis und der Durchstanzwiderstand in den Ecken der Plattenelemente. Hier sind genauere Überlegungen zum Durchstanzverhalten zu führen und eventuell die Stützen in die Plattenmitte zu versetzen.

Ein weiterer Punkt sind die Ausklinkungen der Deckenelemente, diese liegen nur auf den Konsolen der Nachbarplatten auf. Im Brandfall ist die Tragfähigkeit der Konsolen nicht mehr gegeben, sie sind vor einem Brand zu schützen oder alternative Abtragungen, zum Beispiel über die Fassadenelemente, anzudenken. Ebenfalls zu klären ist, wie groß die Kraftübertragung in den Zugverbindungen zwischen den Geschoßwänden ist und welche Versagensmechanismen zu erwarten sind.

Das ausgearbeitete Fallbeispiel soll aufzeigen, welche Möglichkeiten und Werkzeuge genutzt werden können, um eine ressourceneffiziente Tragwerksplanung zu erreichen. Es liefert einen bewussten Denkanstoß für die Zukunft und den damit verbundenen Herausforderungen.

Literaturverzeichnis

- [1] *Masson-Delmotte, V. und andere*: 2021. IPCC: Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. In: Naturwissenschaftliche Grundlagen – Beitrag von Arbeitsgruppe I zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen.
- [2] *Sadava, D. und andere*: 2019. Purves Biologie. Springer Spektrum.
- [3] *Masson-Delmotte, V. und andere*: 2022. IPCC: Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. In: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit – Beitrag von Arbeitsgruppe II zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen.
- [4] *Klimadashboard*: 2022. Emissionen der Bundesländer im Vergleich, <https://www.klimadashboard.at> [Zugriff am: 29.03.2022].
- [5] *Anderl M. und andere*: 2021. Klimaschutzbericht. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien.
- [6] *Bauer, R. und andere*: 2018. Kleinräumige Bevölkerungsprognose Wien – Statistik Journal Wien 1/2018. Stadt Wien, Wien.
- [7] *Trisko, A. und andere*: 2016. Bauliche Dichte und Landnutzung in Wien – Verliert die wachsende Stadt an Boden? MA 18, Stadtentwicklung und Stadtplanung, Wien.
- [8] *Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie*: 2022. Flächeninanspruchnahme, <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/flaecheninanspruchnahme> [Zugriff am: 01.04.2022].
- [9] *Vogel, J. und andere*: 2021. Synergien zwischen nachhaltiger Ressourcennutzung und Klimaschutz – Pilotstudie zur Modellierung von Materialflüssen im MIO-ES-Modell des Umweltbundesamtes, Wien.
- [10] *CINARK / The Royal Danish Academy und Vandkunsten Architects*: 2022. Die Baustoffpyramide, <https://www.materialepyramiden.dk/#> [Zugriff am: 12.04.2022].
- [11] *Austrian Standards*: ÖNORM EN 15978 - Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode - Ausgabe 2012-10-01.
- [12] *Bundesministerium für Finanzen*: 2023. Verbraucher (Konsument). [oesterreich.gv.at](https://www.oesterreich.gv.at), <https://www.oesterreich.gv.at/lexicon/v/Seite.991472.html#:~:text=Eine%20Verbraucherin%20Fein%20Verbraucher%20ist,gewerblichen%20T%C3%A4tigkeit%20zugerechnet%20werden%20kann> [Zugriff am: 13.02.2023].
- [13] *Weidner, S.*: 2020. Grundlagen für die Planung von ressourcenminimalen urbanen Strukturen, Universität Stuttgart, Dissertation.
- [14] *Ali, M.*: 2001. Art of the Skyscraper: The Genius of Fazlur Khan. Rizzoli, New York.
- [15] *Statistik Austria*: 2022. Gemeinden – Aktuelle Bevölkerung und Bevölkerungsentwicklung, <https://www.statistik.at/blickgem/index> [Zugriff am: 09.12.2022].
- [16] *Weidner, S.; Bechmann, R.; Sobek, W.*: 2022. Ressourcenminimierung im urbanen Kontext. In: Bautechnik 99, Heft 1, S. 41-49.
- [17] *Sobek, W.*: 2022. 17 Thesen zur Nachhaltigkeit, https://www.wernersobek.com/de/themen/17_thesen/ [Zugriff am: 08.12.2022].
- [18] *Elbers, U.*: 2022. Ressourcenschonendes Bauen – Wege und Strategien der Tragwerksplanung. In: Bautechnik 99, Heft 1, S. 57-64.
- [19] *Achatz, A. und andere*: 2021. Kreislaufbauwirtschaft. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien.
- [20] *Stadler, R.*: 2022. Die OIB-Richtlinie 7: Inhalt und Zeitplan, <https://www.handwerkundbau.at/bauen/die-oib-richtlinie-7-inhalt-und-zeitplan-46865> [Zugriff am: 13.06.2022].
- [21] *6B47 Real Estate Investors AG und andere*: 2022. Nachhaltigkeitsstudie am Beispiel von FRANCIS, <https://6b47.com/de/investor-trends-insights/francis-durch-den-bestandserhalt-entsteht-das-nachhaltigste-burogebaude-wiens> [Zugriff am: 06.10.2022].
- [22] *Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)*: 2023. ÖKOBAU-DAT, <https://www.oekobaudat.de/> [Zugriff am: 24.02.2023].
- [23] *Sattler, A.*: 2013. Sklave einer „scharlachroten Robe“, <https://orf.at/v2/stories/2200619/2200618/> [Zugriff am: 17.06.2022].

- [24] *Pinggera, L.*: 2021. Sand wird zur Mangelware: Die schwierige Suche nach Alternativen, <https://futurezone.at/science/sand-knappheit-mangel-krise-rohstoff-baustelle/401823781> [Zugriff am: 19.06.2022].
- [25] *El khouli, S.; John, V.; Zeumer, M.*: 2014. Nachhaltig konstruieren – Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl Gebäude ökologisch bilanzieren und optimieren, Edition Detail green books, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München.
- [26] *Austrian Standards*: ÖNORM EN ISO 14044 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen – ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020 (konsolidierte Fassung).
- [27] *Steinbeis Transfer-Magazin*: 2019. WENIGER IST MEHR: CO₂-EMISSIONEN VON GEBÄUDEKONZEPTEN IM LEBENSZYKLUS, <https://transfermagazin.steinbeis.de/?p=5502> [Zugriff am: 22.06.2022].
- [28] *Magistrat der Stadt Wien*: 2019. Smart City Wien Rahmenstrategie 2019-2050, Wien.
- [29] *Waimer, F.*: 2022. Treibhausgasbudget Wien - Konsequenzen für das Bauwesen. *In*: Nachhaltig Bauen 1, Heft 12.
- [30] *Luger, P.*: 2021. Lebenszyklusanalyse von Holz-Beton-Verbunddecken. Wien, Technische Universität Wien, Diplomarbeit.
- [31] *Schadow, T.*: 2022. Ressourcenschonung im Bauwesen – Aspekte aus der Planungspraxis. *In*: Bautechnik 99, Heft 1, S. 50-56.
- [32] *Krist, B.*: 2019. Konstruktionsregeln für die Kreislauffähigkeit von modularen Bausystemen im Hochbau. Wien, Technische Universität Wien, Diplomarbeit.
- [33] *Horizon 2020 Förderprogramm*: 2020. Broschüre Forschungsvorhaben RE4, <http://www.re4.eu/> [Zugriff am: 02.10.2022].
- [34] *Isopp, A.*: 2022. Care for Paris: Wald Holz Klima – Zuschnitt 77, <https://www.proholz.at/zuschnitt/77/care-for-paris> [Zugriff am: 21.07.2022].
- [35] *Cobix*: 2022. Cobix Produkte, 2015, <https://www.cobix.com/at/de/produkte/> [Zugriff am: 01.08.2022].
- [36] *Empa - interdisziplinäre Forschungsinstitut des ETH*: 2022. NEST - STEP2 / Geschoßdecke, <https://www.empa.ch/web/nest/step2#Decke> [Zugriff am: 01.08.2022].
- [37] *voestalpine*: 2022. Innovatives Hybridkonzept - greentec steel, <https://www.voestalpine.com/greentecsteel/de/innovatives-hybridkonzept/> [Zugriff am: 08.08.2022].
- [38] *Treberspurg, M. und andere*: 2017. Attic Adapt 2050 – Ein systematischer Ansatz für Dachgeschoßausbauten in Holzbauweise. Weiterbauen! Nachverdichten des Gebäudebestands der Nachkriegszeit (1950–1970) am Beispiel der Wohnhausanlagen der Gemeinde Wien. Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen – Institut für konstruktiven Ingenieurbau – Universität für Bodenkultur Wien, alpS GmbH.
- [39] *Urban Beta*: 2022. BetaPort | Sustainable Mobility Hubs, <https://www.urban-beta.de/betaport> [Zugriff am: 11.08.2022].
- [40] *proHolz Austria*: 2022. Planungshinweise für flachgeneigte hölzerne Dachkonstruktionen, <https://www.proholz.at/zuschnitt/47/planungshinweise> [Zugriff am: 13.08.2022].
- [41] *Kaufmann, H.; Krötsch, S.; Winter, S.*: 2021. Atlas Mehrgeschossiger Holzbau – Grundlagen - Konstruktionen - Beispiele. Detail.
- [42] *Stadtbauamt der Stadt Wien*: 1951. Der Aufbau - Monatszeitschrift für den Wiederaufbau – 6. Jahrgang - Jänner bis Dezember 1951. Stadtbauamt der Stadt Wien. Verlag für Jugend und Volk Ges.m.b.H., Wien.
- [43] *Flotzinger Thomas*: 2018. Dachausbau bei kommunalen Wohnbauten der Nachkriegszeit in Wien. Wien, Technische Universität Wien, Diplomarbeit.
- [44] *Strasser, P.*: 2016. Statische Nachweise eines Dachgeschoßausbaus am Beispiel eines typologischen Wohnbaus der Nachkriegszeit. Wien, Universität für Bodenkultur Wien, Diplomarbeit.
- [45] OIB-Richtlinien 1 - Mechanische Festigkeit und Standsicherheit. Ausgabe 2019.
- [46] *Austrian Standards*: ÖNORM B 1996-1-2 - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall - Ausgabe 2016-01-15.
- [47] *Mezera, K.; Riccabona, C.*: 2012. Baukonstruktionslehre 5 – Sanierungen, Industriebau, Fassaden, Wien, MANZ.

- [48] *Kolbitsch, A.*: 2020. Skript Erhaltung und Erneuerung von Hochbauten. Fakultät für Bauingenieurwesen, Wien.
- [49] *Grimm, R.*: 2015. EPS: Wärmedämmverbundsysteme recyceln ist möglich, <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/daemmstoffe/warmedaemmverbundsystem-recyceln-muellberg/> [Zugriff am: 01.12.2022].
- [50] *Saint-Gobain*: 2022. weber.therm circle WDVS, <https://www.de.weber/baustoffe-fuer-waermedaemmung-wdvs/wdv-systemloesungen/webertherm-circle-wdvs> [Zugriff am: 01.12.2022].
- [51] *Latke, F.; Ott, S.; Winter, S.*: 2022. TES EnergyFacade – Vorfertigung bei der energetischen Modernisierung.
- [52] *Hammerschmidt, V.; Pommer, G.; Kolbitsch, A.*: 2022. Experimentelle Untersuchungen von Mauerwerk aus Ziegelsplittbeton-Hohlblocksteinen der Nachkriegszeit. In: Mauerwerk, Heft 2, S. 49-59.
- [53] *Höfferl, B.*: 2021. Mehrgeschossiger Wohnbau – Planen und Bauen. ProHolz Austria, Arbeitsgemeinschaft der Österreichischen Holzwirtschaft, Wien.
- [54] *proHolz Austria*: 2016. Sommerlicher Wärmeschutz im Klimawandel – Einfluss der Bauweise und weiterer Faktoren. Zuschnitt Attachment - Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoffe und Holzbau. proHolz Austria.
- [55] *KLH Massivholz GmbH*: 2023. Plattentypen, Oberflächen & Kenndaten - KLH Massivholz GmbH, <https://www.klh.at/plattentypen-oberflaechen-kenndaten/> [Zugriff am: 26.02.2023].
- [56] *Wallner-Novak, M. und andere*: 2018. Brettsperrholz Bemessung Band II. proHolz Austria.
- [57] *Mestek, P.*: 2011. Punktgestützte Flächentragwerke aus Brettsperrholz (BSP) – Schubbemessung unter Berücksichtigung von Schubverstärkungen. München, Technische Universität München, Dissertation.
- [58] *Malagic, A. und andere*: 2021. Load-bearing Capacity and Fracture Behaviour of Notched Cross Laminated Timber Plates.
- [59] *Lüling, C.*: 2023. Das Gebäude als temporärer Ressourcenspeicher. In: Fachzeitschrift intelligent bauen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 – Geschichte der globalen Temperaturveränderung.....	2
Abb. 2 – Jährliche anthropogene Emissionen prognostiziert im Zeitraum 2015-2100 [1]	2
Abb. 3 – Nahezu lineare Beziehung zwischen den kumulativen CO ₂ -Emissionen	3
Abb. 4 – Emissionen der Bundesländer im Vergleich,	5
Abb. 5 – Anteil der Sektoren an den Treibhausgas-Emissionen 2019 (inklusive Emissionshandel) ...	6
Abb. 6 – Bevölkerungsentwicklung Wien von 2018 bis 2038 [6]	7
Abb. 7 – Nettogeschoßflächenanzahl (NGFZ) Wien aus dem Jahr 2014 [7]	8
Abb. 8 – Die Baustoffpyramide, sortiert nach dem Treibhauspotential (GWP) [10]	10
Abb. 9 – Übersicht der fünf unterschiedlichen Baukörper (BK) [13]	13
Abb. 10 – Korridor für EFH und MFH 2-6 Geschoße ± 20 %.....	14
Abb. 11 – Gesamtgewichtsverlauf für Hochhäuser in t/m ² BGF [13]	15
Abb. 12 – Ressourcenverbrauch der drei untersuchten urbanen Dichten [13].....	17
Abb. 13 – Flächenverbrauch der drei untersuchten urbanen Dichten [13].....	17
Abb. 14 – Ressourcenverbrauch für Gebäude und Straßen der Dichte 20.000 pro Person [13].....	18
Abb. 15 – Maßnahmenwirkung im Bereich Wohngebäude, je Jahr [9]	19
Abb. 16 – Ergebnis der Nachhaltigkeitsstudie,	23
Abb. 17 – Ökobilanz von Gebäudekonzepten am Beispiel Neubau Mehrfamilienhaus [27].....	26
Abb. 18 – Beurteilung des Treibhausgasbudgets bis 2040 [29]	27
Abb. 19 – Verträglichkeitsmatrix nach El khouli [25]	31
Abb. 20 – Kaskadennutzung von Altholz am Beispiel eines Fassadenelements [33].....	32
Abb. 21 – Schematische Darstellung von Material- und Gebäudelebenszyklus im Bauwesen [25].	33
Abb. 22 – Möglichkeiten zur ökologischen Optimierung von Baukonstruktionen	35
Abb. 23 – Vergleich des kumulierten Energieaufwands (KEA).....	38
Abb. 24 – Beispielhafter Vergleich der Umweltwirkungen einer Geschoßdecke	38
Abb. 25 – Exemplarische, effiziente Tragwerkstypen gegliedert.....	40
Abb. 26 – Grundriss OG, Wohnhaus Berlin [41].....	43
Abb. 27 – Statisches System, Wohnhaus Berlin [41].....	44
Abb. 28 – Aufbau der Bohlenwand, Wohnhaus Zürich [41]	44
Abb. 29 – Grundriss und Schnitt, Wohnhaus Zürich [41].....	45
Abb. 30 – Übersicht Raummodule, Wohnanlage Jyväskylä [41].....	46
Abb. 31 – Grundriss OG, Wohnanlage Jyväskylä [41]	46
Abb. 32 – Übersicht Aufstockung, Dachaufstockung Zürich [41].....	47
Abb. 33 – Übersicht Sanierung, Thermische Sanierung Augsburg [41]	48
Abb. 34 – Mauerquerschnitt Vollziegel und Hohlmauer [43]	57
Abb. 35 – Mauerquerschnitt Hohlsteine ohne/mit Heraklithplatten [43].....	57
Abb. 36 – Mauerquerschnitt Schüttbetonbauweise, System BERU [43]	58
Abb. 37 – Vergleich der Wandbauarten, hinsichtlich des Wärmeschutz, der Herstellungskosten ..	59
Abb. 38 – Querschnitt einer Ast-Molin Decke [43]	60
Abb. 39 – Grundriss Anzbachgasse 31 [38]	62
Abb. 40 – Grundriss Griegstraße 1-3 [38]	62
Abb. 41 – Wehlistraße 131-143 [38]	63
Abb. 42 – Hackinger Straße 30-36 [38]	63
Abb. 43 – Systemanalyse, Regelgeschoß der Hackinger Straße 30-36	65
Abb. 44 – Verstärkungsmöglichkeiten bei Wänden [48]	69
Abb. 45 – Aufbau der TES-Elemente [51].....	70
Abb. 46 – Befestigungsmöglichkeiten der TES-Elemente [51].....	71
Abb. 47 – Erdbebenanalyse des drei (o. l.), vier (o. r.) und fünfgeschoßigen Bestandes [44].....	76
Abb. 48 – Erdbebenanalysemodell und Lage des Stahlbetonträgers [44]	77
Abb. 49 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Mittelwandachse (MW).....	78
Abb. 50 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Außenwandachse (AW)	79
Abb. 51 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Mauerwerkspfeilerachse (MWP).....	79
Abb. 52 – Nachweis des Grundbruches der Außenwandachse (AW) vor dem Ausbau	80

Abb. 53 – Nachweis des Grundbruches der Mittelwandachse (MW) vor dem Ausbau	80
Abb. 54 – Grundriss des Bestandsplan der Hackinger Straße 30-36 [44]	81
Abb. 55 – Lebensdauer von Bauteilen nach Meyer und Schröder [43]	84
Abb. 56 – Lebensdauer von Bauteilen nach Pfeiffer [43]	84
Abb. 57 – Schnitt des Dachgeschoßausbaues und der Gebäudehülle	85
Abb. 58 – Gemittelte operative Temperatur der Simulationsfälle Wohnnutzung [54]	86
Abb. 59 – 3D-Darstellung des geplanten Dachgeschoßausbaues	87
Abb. 60 – Schemenhafter Bauablauf des geplanten Dachgeschoßausbaues	88
Abb. 61 – Auflagerkräfte der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues im GZT	93
Abb. 62 – Geometrische Grenzen bei Ausklinkungen von Brettsper Holzplatten (BSP) [58]	93
Abb. 63 – Durchbiegung der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues,	94
Abb. 64 – Schnittgrößen der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues, mx (li.) und my (re.)	94
Abb. 65 – Handrechnung der Nachweise der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues Teil 1	95
Abb. 66 – Handrechnung der Nachweise der Geschoßdecke des Dachgeschoßausbaues Teil 2	96
Abb. 67 – Handrechnung der Nachweise für die Ausklinkung der Geschoßdecke des Ausbaues	97
Abb. 68 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Mittelwandachse (MW)	98
Abb. 69 – Nachweis des Grundbruches der Mittelwandachse (MW) nach dem Ausbau	98
Abb. 70 – Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes der Außenwandachse (AW)	99
Abb. 71 – Nachweis vertikalen Tragwiderstandes der Mauerwerkspfeilerachse (MWP)	99
Abb. 72 – Nachweis des Grundbruches der Außenwandachse (AW) nach dem Ausbau	100
Abb. 73 – Nachweis der Mauerwerkspfeiler im zweiten Obergeschoß	100
Abb. 74 – Wirtschaftliche Deckenspannweiten von Holzdecken [53]	102
Abb. 75 – Deckenplatten mit Ausklinkung	103
Abb. 76 – Schmetterlingsverbinder für die Plattenelemente	103
Abb. 77 – Knaggen zur Übertragung der horizontalen Kräfte	104
Abb. 78 – Verspannen der Geschoße mit Gewindestangen	104
Abb. 79 – Steckverbindung der Fassadenelemente	105
Abb. 80 – Schließen der Gebäudehülle	105
Abb. 81 – Ökobilanzierung End-of-Life	106
Abb. 82 – Ökobilanzierung mit Recyclingeinfluss	107
Abb. 83 – Treibhauspotential von Tafelbauweise	108
Abb. 84 – Treibhauspotential von Mauerwerk	108
Abb. 85 – Treibhauspotential von Mineralwolle	108
Abb. 86 – Primärenergie nicht erneuerbar von Tafelbauweise	109
Abb. 87 – Primärenergie nicht erneuerbar von Mauerwerk	109
Abb. 88 – Primärenergie nicht erneuerbar von WDVS	109
Abb. 89 – Ökobilanz Außenwand W1 Teil 1	121
Abb. 90 – Ökobilanz Außenwand W1 Teil 2	122
Abb. 91 – Ökobilanz Außenwand W1 Teil 3	123
Abb. 92 – Ökobilanz konventioneller Wandaufbau MWK Teil 1	124
Abb. 93 – Ökobilanz konventioneller Wandaufbau MWK Teil 2	125
Abb. 94 – Berechnung U-Wert Tafelbauweise	126
Abb. 95 – Berechnung U-Wert Mauerwerk	127

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 – Änderung der globalen Oberflächentemperatur, bewertet auf der Grundlage	4
Tab. 2 – Materialzusammensetzung von EFH/MFH [13]	14
Tab. 3 – Materialaufstellung 20- und 40-geschoßiges Hochhaus [13].....	15
Tab. 4 – Ressourcenaufwand nach Bauklasse je m ² Straßenfläche [13].....	16
Tab. 5 – Vergleichende Dimensionierung einer Parkhausdeckenkonstruktion	37
Tab. 6 – Primärenergieinhalt von Konstruktionswerkstoffen	39
Tab. 7 – SWOT-Analyse Teil 1.....	50
Tab. 8 – SWOT-Analyse Teil 2.....	51
Tab. 9 – SWOT-Analyse Teil 3.....	52
Tab. 10 – SWOT-Analyse Teil 4.....	53
Tab. 11 – Bauteilliste, Regelgeschoß der Hackinger Straße 30-36.....	65
Tab. 12 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Bestandes Teil 1	72
Tab. 13 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Bestandes Teil 2	73
Tab. 14 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Bestandes Teil 3	74
Tab. 15 – Lastableitung der Außenwandachse (AW) vor dem Ausbau	75
Tab. 16 – Lastableitung der Mittelwandachse (MW) vor dem Ausbau	75
Tab. 17 – Lastableitung des Mauerwerkspfeilerachse (MWP) vor dem Ausbau	75
Tab. 18 – Linienlasten für das Erdbebenanalysemodell der eingeschößigen Variante	77
Tab. 19 – Linienlasten für das Erdbebenanalysemodell der zweigeschoßigen Variante	77
Tab. 20 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Dachgeschoßausbaues Teil 1	89
Tab. 21 – Lastaufstellung für die Aufbauten des Dachgeschoßausbaues Teil 2	90
Tab. 22 – Lastableitung der Außenwandachse (AW) nach dem Ausbau	91
Tab. 23 – Lastableitung der Mittelwandachse (MW) nach dem Ausbau	91
Tab. 24 – Lastableitung der Mauerwerkspfeilerachse (MWP) nach dem Ausbau	91
Tab. 25 – Vergleich der Linienlast für das Erdbebenanalysemodell	92

Anhang

A1.1 – Ökobilanz Außenwand W1

A1-A3 Produktion										A4-A5 Transport																					
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	anklickb. Links Datensatznummer ökobaudat	PEe [MJ]	PEne [MJ]	GWP [kgCO2 equ.]	ODP [kg CFC 11 – Äq]	POCP [Ethene equ.]	AP [kgSO2 equ.]	EP [kg PO43 – Äq]	Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	anklickb. Links Datensatznummer ökobaudat	PEe [MJ]	PEne [MJ]	GWP [kgCO2 equ.]	ODP [kg CFC 11 – Äq]	POCP [Ethene equ.]	AP [kgSO2 equ.]	EP [kg PO43 – Äq]
1 Holz Lärche	m3	0,02	1	1,00	0,02	484,51	11,63	3.1.01	47,376	17,138	-17,734	2,62E-14	1,63E-03	8,81E-03	1,96E-03	1 Holz Lärche	m3	0,02	1	1,00	0,02	484,51	11,63	3.1.01	0,005	0,030	0,111	2,38E-17	9,03E-07	1,39E-05	2,96E-06
Hinterlüftung	m3	0,03	1	0,88	0,03	0,00	0,00	-	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	Hinterlüftung	m3	0,03	1	0,88	0,03	0,00	0,00	-	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Holz Fichte Querlattung	m3	0,03	1	0,12	0,00	484,51	1,74	3.1.01	7,106	2,571	-2,660	3,93E-15	2,44E-04	1,32E-03	2,94E-04	Holz Fichte Querlattung	m3	0,03	1	0,12	0,00	484,51	1,74	3.1.01	0,001	0,004	0,017	3,57E-18	1,35E-07	2,09E-06	4,44E-07
4 Windbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	6.6.02	0,924	5,858	0,399	3,83E-15	2,95E-04	5,20E-03	1,22E-04	4 Windbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	6.6.02	0,001	0,001	0,001	5,89E-19	-9,56E-07	2,92E-06	6,93E-07
5 Gipsfaserplatte	m2	0,03	1	1,00	0,03	750	18,75	1.3.13	10,820	65,330	2,957	4,33E-08	1,02E-03	6,09E-03	2,18E-03	5 Gipsfaserplatte	m2	0,03	1	1,00	0,03	750	18,75	1.3.13	0,002	0,002	0,002	1,17E-08	-2,25E-04	3,25E-03	5,84E-04
Ständer Fichte 280x60	m3	0,28	1	0,18	0,05	484,51	24,42	3.1.01	99,490	35,991	-37,241	5,50E-14	3,42E-03	1,85E-02	4,11E-03	Ständer Fichte 280x60	m3	0,28	1	0,18	0,05	484,51	24,42	3.1.01	1,328	11,294	0,783	1,17E-08	2,25E-04	2,92E-05	6,21E-06
Mineralwolle	m3	0,28	1	0,82	0,23	100	22,96	2.1.01	49,892	318,914	26,955	1,56E-10	1,04E-02	1,61E+00	2,43E-02	Mineralwolle	m3	0,28	1	0,82	0,23	100	22,96	2.1.01	0,012	0,063	0,233	5,00E-17	1,90E-06	2,92E-05	6,21E-06
8 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	5,366	29,260	1,380	1,86E-05	3,93E-04	2,53E-03	9,71E-04	8 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	0,001	0,001	0,001	1,17E-08	-2,25E-04	3,25E-03	5,84E-04
9 Dampfbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	6.6.02	0,924	5,858	0,399	3,83E-15	2,95E-04	5,20E-03	1,22E-04	9 Dampfbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	6.6.02	0,001	0,001	0,001	5,89E-19	-9,56E-07	2,92E-06	6,93E-07
Holz Fichte Querlattung	m3	0,04	1	0,12	0,00	484,51	2,33	3.1.01	9,475	3,428	-3,547	5,24E-15	3,26E-04	1,76E-03	3,92E-04	Holz Fichte Querlattung	m3	0,04	1	0,12	0,00	484,51	2,33	3.1.01	0,001	0,006	0,022	4,76E-18	1,81E-07	2,78E-06	5,91E-07
Mineralwolle	m3	0,04	1	0,88	0,04	100	3,52	2.1.01	7,649	48,893	4,132	2,39E-11	1,59E-03	2,46E-01	3,73E-03	Mineralwolle	m3	0,04	1	0,88	0,04	100	3,52	2.1.01	4,343	4,308	0,724	4,78E-13	1,09E-05	6,59E-04	1,10E-04
12 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	5,366	29,260	1,380	1,86E-05	3,93E-04	2,53E-03	9,71E-04	12 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	0,667	5,526	0,390	5,77E-09	-1,20E-04	1,62E-03	2,89E-04
Summe A1-A3					0,42		104,50		244,388	562,501	-23,578	3,71E-05	2,00E-02	1,91E+00	3,92E-02	Summe A4-A5						0,42		35,351	54,895	7,393	2,33E-08	-3,83E-04	1,15E-02	2,00E-03	

Abb. 89 – Ökobilanz Außenwand W1 Teil 1

B1-B7 Nutzung/ Ersatz															
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	anklickb. Links Datensatznummer ökobaudat	PEe [MJ]	Kennwerte multip. mit Zahl der dekl. Einheit (m3 oder kg) und der Austauschhäufigkeit des Bauteils					
1 Holz Lärche	m3	0,02	1	1,00	0,02	484,51	11,63	3.1.01	94,752	PEne [MJ]	GWP [kgCO2 equ.]	ODP [kg CFC 11 - Äq]	POCP [Ethene equ.]	AP [kgSO2 equ.]	EP [kg PO43 - Äq]
Hinterlüftung	m3	0,03	1	1	0,88	0,03	0,00	-	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00	1,76E-02	3,92E-03
Holz Fichte Querlattung	m3	0,03	1	1	0,12	0,00	484,51	3.1.01	14,213	5,142	-5,320	7,86E-15	4,88E-04	2,64E-03	5,87E-04
4 Windbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	6.6.02	1,848	11,716	0,799	7,65E-15	5,91E-04	1,04E-02	2,43E-04
5 Gipsfaserplatte	m2	0,03	1	1,00	0,03	750	18,75	1.3.13	10,820	65,330	2,957	4,33E-08	1,02E-03	6,09E-03	2,18E-03
Ständer Fichte 280x60	m3	0,28	1	1	0,18	0,05	484,51	3.1.01	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mineralfolle	m3	0,28	1	1	0,82	0,23	100	2.1.01	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
8 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	5,366	29,260	1,380	1,86E-05	3,93E-04	2,53E-03	9,71E-04
9 Dampfbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	6.6.02	1,848	11,716	0,799	7,65E-15	5,91E-04	1,04E-02	2,43E-04
Holz Fichte Querlattung	m3	0,04	1	1	0,12	0,00	484,51	3.1.01	9,475	3,428	-3,547	5,24E-15	3,26E-04	1,76E-03	3,92E-04
Mineralfolle	m3	0,04	1	1	0,88	0,04	100	2.1.01	7,649	48,893	4,132	2,39E-11	1,59E-03	2,46E-01	3,73E-03
12 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	5,366	29,260	1,380	1,86E-05	3,93E-04	2,53E-03	9,71E-04
Summe B1-B7					0,42		104,50		151,337	239,021	-32,887	3,71E-05	8,64E-03	3,00E-01	1,32E-02

C1-C4 Entsorgung															
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	anklickb. Links Datensatznummer ökobaudat	PEe [MJ]	Kennwerte multipliziert mit Zahl der deklarierten Einheit (m3 oder kg) des Bauteils					
1 Holz Lärche	m3	0,02	1	1,00	0,02	484,51	11,63	3.1.01	0,749	PEne [MJ]	GWP [kgCO2 equ.]	ODP [kg CFC 11 - Äq]	POCP [Ethene equ.]	AP [kgSO2 equ.]	EP [kg PO43 - Äq]
Hinterlüftung	m3	0,03	1	1	0,88	0,03	0,00	-	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Holz Fichte Querlattung	m3	0,03	1	1	0,12	0,00	484,51	3.1.01	0,112	0,218	2,870	6,34E-16	-1,69E-06	2,87E-05	5,68E-06
4 Windbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	100.1.06/Verbrenn.	0,061	0,236	0,505	3,42E-16	5,20E-06	5,61E-05	1,25E-05
5 Gipsfaserplatte	m2	0,03	1	1,00	0,03	750	18,75	1.3.13	0,515	5,707	1,542	3,41E-12	1,01E-04	2,14E-03	3,18E-04
Ständer Fichte 280x60	m3	0,28	1	1	0,18	0,05	484,51	3.1.01	1,574	3,052	40,184	8,87E-15	-2,37E-05	4,02E-04	7,95E-05
Mineralfolle	m3	0,28	1	1	0,82	0,23	100	2.1.01	0,652	5,495	1,74E-15	1,28E-04	2,09E-03	2,46E-04	2,5%
8 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	0,261	2,888	0,768	1,73E-12	5,11E-05	1,09E-03	1,61E-04
9 Dampfbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	100.1.06/Verbrenn.	0,061	0,236	0,505	3,42E-16	5,20E-06	5,61E-05	1,25E-05
Holz Fichte Querlattung	m3	0,04	1	1	0,12	0,00	484,51	3.1.01	0,150	0,291	3,827	8,45E-16	-2,26E-06	3,83E-05	7,57E-06
Mineralfolle	m3	0,04	1	1	0,88	0,04	100	2.1.01	0,100	0,843	0,086	2,66E-16	1,97E-05	3,20E-04	3,77E-05
12 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	0,261	2,888	0,768	1,73E-12	5,11E-05	1,09E-03	1,61E-04
Summe C1-C4 (100% Berechnung ohne Recycling)					0,42		104,50		4,495	23,308	70,754	6,89E-12	3,23E-04	7,50E-03	1,08E-03
Summe C1-C4 (prozentuale Berechnung für Recycling)									1,431	9,879	16,072	4,13E-12	1,60E-04	3,42E-03	5,02E-04

Abb. 90 – Ökobilanz Außenwand W1 Teil 2

D Recyclingpotenzial										anklickb. Links					Kennwerte multipliziert mit Zahl der deklarierten Einheit (m3 oder kg) des Bauteils				
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	Datensatznummer	Material	Pte [MJ]	Peue [MJ]	GWP [kgCO2 equ.]	ODP [kg CFC 11 - Äq]	POCP [Ethene equ.]	AP [kgSO2 equ.]	EP [kg PO43 - Äq]	Recycling		
1 Holz Lärche	m3	0,02	1	1,00	0,02	484,51	11,63	3.1.01	Holz	-0,784	-4,075	-0,315	-3,73E-15	-8,96E-06	-1,15E-03	-2,70E-04	80%		
Hinterlüftung	m3	0,03	1	0,88	0,03		0,00			0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0		
Holz Fichte Querlattung	m3	0,03	1	0,12	0,00	484,51	1,74	3.1.01	Holz	-1,178	-4,112	-0,281	-5,59E-16	-1,34E-06	-1,73E-04	-4,05E-05	80%		
4 Windbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	1.06/Verbrennung	PE Folie	-1,178	-4,112	-0,281	-6,51E-15	-2,42E-05	-2,37E-04	-4,50E-05	15%		
5 Gipsfaserplatte	m2	0,03	1	1,00	0,03	750	18,75	1.3.13	GK	-0,107	-0,396	-0,034	-3,24E-10	-1,69E-05	-1,72E-04	1,03E-05	40%		
Ständer Fichte 280x60	m3	0,28	1	0,18	0,05	484,51	24,42	3.1.01	Holz	-1,646	-8,558	-0,662	-7,83E-15	-1,88E-05	-2,42E-03	-5,68E-04	80%		
Mineralwolle	m3	0,28	1	0,82	0,23	100	22,96	2.1.01	MW	-5,125	-23,350	-1,345	-1,92E-14	-1,56E-04	-1,54E-03	-2,05E-04	75%		
8 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	GK	-0,054	-0,200	-0,017	-1,64E-13	-5,41E-06	-8,70E-05	-5,21E-06	40%		
9 Dampfbremse	m2	0,00	1	1,00	0,00	1000	0,20	1.06/Verbrennung	PE Folie	-1,178	-4,112	-0,281	-6,51E-15	-2,42E-05	-2,37E-04	-4,50E-05	15%		
Holz Fichte Querlattung	m3	0,04	1	1,12	0,00	484,51	2,33	3.1.01	Holz	-0,157	-0,815	-0,063	-7,45E-16	-1,79E-06	-2,31E-04	-5,40E-05	80%		
Mineralwolle	m3	0,04	1	0,88	0,04	100	3,52	2.1.01	MW	-0,786	-3,580	-0,206	-2,95E-15	-2,39E-05	-2,36E-04	-3,15E-05	75%		
12 Gipsfaserplatte	m2	0,01	1	1,00	0,01	750	9,38	1.3.13	GK	-0,054	-0,200	-0,017	-1,64E-13	-5,41E-06	-8,70E-05	-5,21E-06	40%		
Summe D		0,42			0,42		104,50			-7,036	-32,997	-2,145	-1,30E-10	-1,78E-04	-4,72E-03	-9,37E-04			
Gesamtsumme ohne Recycling										435,572	879,725	21,683	7,43E-05	2,85E-02	2,23E+00	5,55E-02			
Gesamtsumme mit Recycling										425,471	833,298	-35,145	7,43E-05	2,82E-02	2,22E+00	5,40E-02			

Abb. 91 – Ökobilanz Außenwand W1 Teil 3

A1.2 – Ökobilanz konventioneller Wandaufbau MWK

A1-A3 Produktion										anklickb. Links					Kennwerte multipliziert mit Zahl der deklarierten Einheit (m3 oder kg) des Bauteils				
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	Datensatznummer	PEe [MJ]	PEne [MJ]	GWP [kgCO2 eq.]	ODP [kg CFC 11 – Äq]	POCP [Ethene eq.]	AP [kgSO2 eq.]	EP [kg PO43 – Äq]				
1 Verklebung u. Beschichtung	m2	0,02	1	1,00	0,02	-	12,18	<u>2.21.01</u>	16,89	56,97	6,70	8,90E-13	7,94E-03	1,59E-02	2,22E-03				
2 EPS	m3	0,06	1	1,00	0,06	15	0,90	<u>2.2.02</u>	2,71	49,40	2,86	2,71E-10	1,76E-02	5,28E-03	5,78E-04				
Hochlochziegel gefüllt	m3	0,37	1	1,00	0,36	605	218,62	<u>1.3.02</u>	87,81	574,55	52,76	1,96E-11	8,31E-03	1,16E-01	1,37E-02				
Mörtel als Dünnbett	m3	0,37	1	1,00	0,36	2000	7,30	<u>1.4.02</u>	0,63	3,04	0,74	3,19E-15	1,06E-05	8,45E-04	2,25E-04				
5 Innenputz	m3	0,02	1	1,00	0,02	1500	22,50	<u>1.4.04</u>	4,63	26,52	2,98	1,93E-14	-9,23E-05	2,53E-03	6,02E-04				
Summe A1-A3		0,46			0,46		261,50		112,67	710,47	66,03	2,91E-10	3,38E-02	1,40E-01	1,74E-02				

A4-A5 Transport										anklickb. Links					Kennwerte multipliziert mit Gewicht (t oder kg) und Distanz (km) des Bauteils				
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	Datensatznummer	PEe [MJ]	PEne [MJ]	GWP [kgCO2 eq.]	ODP [kg CFC 11 – Äq]	POCP [Ethene eq.]	AP [kgSO2 eq.]	EP [kg PO43 – Äq]				
1 Verklebung u. Beschichtung	m2	0,02	1	1,00	0,02	-	0,01	<u>9.3.01 / Klein-LKW</u>	0,06	1,05	0,08	3,59E-17	-5,82E-05	1,78E-04	4,22E-05				
2 EPS	m3	0,06	1	1,00	0,06	15	0,90	<u>2.2.02</u>	0,07	2,43	0,15	3,66E-12	1,82E-04	2,26E-04	3,73E-05				
Hochlochziegel gefüllt	m3	0,37	1	1,00	0,36	605	218,62	<u>1.3.02</u>	1,20	20,29	2,19	6,13E-16	-3,38E-05	1,11E-03	2,37E-04				
Mörtel als Dünnbett	m3	0,37	1	1,00	0,36	2000	7,30	<u>9.3.01 / Klein-LKW</u>	0,04	0,63	0,05	2,15E-17	-3,49E-05	1,06E-04	2,53E-05				
5 Innenputz	m3	0,02	1	1,00	0,02	1500	22,50	<u>9.3.01 / Klein-LKW</u>	0,12	1,94	0,15	6,63E-17	-1,08E-04	3,28E-04	7,80E-05				
Summe A4-A5		0,46			0,46				1,49	26,35	2,60	3,66E-12	-5,25E-05	1,95E-03	4,20E-04				

B1-B7 Nutzung/ Ersatz										anklickb. Links					Kennwerte multipl. mit Zahl der dekl. Einheit (m3 oder kg) und der Austauschhäufigkeit des Bauteils				
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	Datensatznummer	PEe [MJ]	PEne [MJ]	GWP [kgCO2 eq.]	ODP [kg CFC 11 – Äq]	POCP [Ethene eq.]	AP [kgSO2 eq.]	EP [kg PO43 – Äq]				
1 Verklebung u. Beschichtung	m2	0,02	1	1,00	0,02	-	12,18	<u>2.21.01</u>	33,78	113,94	13,41	1,78E-12	1,59E-02	3,17E-02	4,44E-03				
2 EPS	m3	0,06	1	1,00	0,06	15	0,90	<u>2.2.02</u>	5,42	98,80	5,71	5,41E-10	3,52E-02	1,06E-02	1,16E-03				
Hochlochziegel gefüllt	m3	0,37	1	1,00	0,36	605	218,62	<u>1.3.02</u>	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00				
Mörtel als Dünnbett	m3	0,37	1	1,00	0,36	2000	7,30	<u>1.4.02</u>	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00				
5 Innenputz	m3	0,02	1	1,00	0,02	1500	22,50	<u>1.4.04</u>	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00				
Summe B1-B7		0,46			0,46		261,50		39,20	212,74	19,12	5,43E-10	5,10E-02	4,23E-02	5,60E-03				

Abb. 92 – Ökobilanz konventioneller Wandaufbau MWK Teil 1

C1-C4 Entsorgung																	
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	Kennwerte multipliziert mit Zahl der deklarierten Einheit (m3 oder kg) des Bauteils					Material				
								anklickb. Links	PEe [MJ]	Pfene [MJ]	GWP [kgCO2 eq.]	ODP [kg CFC 11 - Äq]		POCP [Ethene eq.]	AP [kgSO2 eq.]	EP [kg PO43 - Äq]	Deponie
1 Verklebung u. Beschichtung	m2	0,02	1	1	1,00	0,02	12,18	2.21.01	0,39	82,47	0,23	1,05E-15	6,00E-05	1,28E-03	1,55E-04	100%	Glasfaser
2 EPS	m3	0,06	1	1	1,00	0,06	0,90	2.2.02	0,08	35,82	3,02	1,71E-14	-1,44E-06	2,84E-04	6,49E-05	75%	EPS
Hochlochziegel gefüllt	m3	0,37	1	1	0,99	0,36	218,62	1.3.02	1,89	21,59	-2,84	5,15E-15	5,83E-04	6,37E-03	1,27E-03	10%	Ziegel
Mörtel als Dünnbett	m3	0,37	1	1	0,01	0,00	2000	1.4.02	0,22	1,88	0,13	6,05E-16	3,59E-05	7,34E-04	8,91E-05	100%	Kalk-Zement
5 Innenputz	m3	0,02	1	1	1,00	0,02	22,50	1.4.04	0,42	3,54	0,25	1,14E-15	6,49E-05	1,38E-03	1,68E-04	100%	Kalk-Gips
Summe C1-C4 (100% Berechnung ohne Recycling)							0,46	261,50	3,00	145,30	0,77	2,51E-14	7,43E-04	1,01E-02	1,75E-03		
Summe C1-C4 (prozentuale Berechnung für Recycling)									1,28	116,91	2,58	1,62E-14	2,18E-04	4,24E-03	5,88E-04		

D Recyclingpotenzial																	
Dekl. Einheit	Dicke [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Faktor	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Gewicht [kg]	Kennwerte multipliziert mit Zahl der deklarierten Einheit (m3 oder kg) des Bauteils					Material				
								anklickb. Links	PEe [MJ]	Pfene [MJ]	GWP [kgCO2 eq.]	ODP [kg CFC 11 - Äq]		POCP [Ethene eq.]	AP [kgSO2 eq.]	EP [kg PO43 - Äq]	Recycling
1 Verklebung u. Beschichtung	m2	0,02	1	1	1,00	0,02	12,18	2.21.01	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0%	Glasfaser
2 EPS	m3	0,06	1	1	1,00	0,06	0,90	2.2.02	-4,52	-21,23	-1,46	-1,10E-12	-1,33E-04	-1,42E-03	-2,47E-04	25%	EPS
Hochlochziegel gefüllt	m3	0,37	1	1	0,99	0,36	218,62	1.3.02	-1,37	-5,46	-0,38	-7,77E-15	-3,22E-05	-3,56E-04	-6,36E-06	90%	Ziegel
Mörtel als Dünnbett	m3	0,37	1	1	0,01	0,00	2000	1.4.02	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0%	Kalk-Zement
5 Innenputz	m3	0,02	1	1	1,00	0,02	22,50	1.4.04	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0%	Kalk-Gips
Summe D							0,46	261,50	-2,36	-10,22	-0,71	-2,81E-13	-6,23E-05	-6,75E-04	-6,75E-05		

Gesamtsumme ohne Recycling	156,36	1094,85	88,53	8,38E-10	8,55E-02	1,94E-01	2,51E-02
-----------------------------------	---------------	----------------	--------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Gesamtsumme mit Recycling	152,28	1056,25	89,63	8,37E-10	8,49E-02	1,88E-01	2,39E-02
----------------------------------	---------------	----------------	--------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Abb. 93 – Ökobilanz konventioneller Wandaufbau MWK Teil 2

A2.1 – U-Wert Tafelbauweise

W1 Aufbau der Außenwand

1. Lärche Außenwandverkleidung
2. Lattung Fichte vertikal, dazw. Hinterlüftung
3. Gipsfaserplatten
4. Steher 6 / 28 e = 62,5, dazw. Wärmedämmung
5. Gipsfaserplatte
6. Querlattung Fichte 4 / 4 e = 40, dazw. Wärmedämmung
7. Gipsfaserplatte

Nach EN ISO 6946 werden alle Schichten außerhalb und neben der Hinterlüftung vernachlässigt werden. Stattdessen wird der äußere Übergangswiderstand gleich dem inneren Übergangswiderstand gewählt.

$$f_{k1} := \frac{0,06 \cdot 0,04}{0,625 \cdot 0,4} = 0,01$$

$$f_{k2} := \frac{0,06 \cdot 0,36}{0,625 \cdot 0,4} = 0,09$$

$$f_{k3} := \frac{0,04 \cdot 0,565}{0,625 \cdot 0,4} = 0,09$$

$$f_{k4} := \frac{0,36 \cdot 0,565}{0,625 \cdot 0,4} = 0,81$$

$$f_{k1} + f_{k2} + f_{k3} + f_{k4} = 1$$

$$d_1 := 0,024 \text{ m}$$

$$\lambda_1 := 0,130 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$d_2 := 0,030 \text{ m}$$

$$\lambda_2 := 0,130 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$d_3 := 0,025 \text{ m}$$

$$\lambda_3 := 0,320 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$d_4 := 0,280 \text{ m}$$

$$\lambda_4 := 0,130 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$d_{4,1} := 0,280 \text{ m}$$

$$\lambda_{4,1} := 0,035 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$d_5 := 0,0125 \text{ m}$$

$$\lambda_5 := 0,320 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$d_6 := 0,040 \text{ m}$$

$$\lambda_6 := 0,130 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$d_{6,1} := 0,040 \text{ m}$$

$$\lambda_{6,1} := 0,222 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$d_7 := 0,0125 \text{ m}$$

$$\lambda_7 := 0,320 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$R_{si} := 0,13 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{se} := 0,13 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Tk1} := R_{si} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se} = 2,88 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Sparren} := \frac{d_4}{\lambda_4} = 2,15 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Tk2} := R_{si} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_{6,1}}{\lambda_{6,1}} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se} = 2,75 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Staffel} := \frac{d_6}{\lambda_6} = 0,31 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Tk3} := R_{si} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_{4,1}}{\lambda_{4,1}} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se} = 8,72 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{WD} := \frac{d_{4,1}}{\lambda_{4,1}} = 8 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Tk4} := R_{si} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_{4,1}}{\lambda_{4,1}} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_{6,1}}{\lambda_{6,1}} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se} = 8,6 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Luft} := \frac{d_{6,1}}{\lambda_{6,1}} = 0,18 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R'_T := \frac{1}{\frac{f_{k1}}{R_{Tk1}} + \frac{f_{k2}}{R_{Tk2}} + \frac{f_{k3}}{R_{Tk3}} + \frac{f_{k4}}{R_{Tk4}}} = 7,16 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Sparren,WD} := \frac{1}{\frac{f_{k1}}{R_{Sparren}} + \frac{f_{k2}}{R_{Sparren}} + \frac{f_{k3}}{R_{WD}} + \frac{f_{k4}}{R_{WD}}} = 6,35 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{Staffel,Luft} := \frac{1}{\frac{f_{k1}}{R_{Staffel}} + \frac{f_{k2}}{R_{Luft}} + \frac{f_{k3}}{R_{Staffel}} + \frac{f_{k4}}{R_{Luft}}} = 0,19 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R''_T := R_{si} + \frac{d_3}{\lambda_3} + R_{Sparren,WD} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{Staffel,Luft} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se} = 6,95 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad R'_T < R''_T \cdot 1,5$$

$$R_T := \frac{R'_T + R''_T}{2} = 7,05 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$U := \frac{1}{R_T} = 0,14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$d := d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 = 0,424 \text{ m}$$

Abb. 94 – Berechnung U-Wert Tafelbauweise

A2.2 – U-Wert Mauerwerk

Konventioneller Aufbau einer Außenwand	$d_1 := 0,015 \text{ m}$	$\lambda_1 := 0,400 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
1.Innenputz	$d_2 := 0,365 \text{ m}$	$\lambda_2 := 0,070 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
2.Hochlochziegel gefüllt mit Wärmedämmung	$d_3 := 0,015 \text{ m}$	$\lambda_3 := 0,470 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
3.Klebespachtel		
4.EPS	$d_4 := 0,060 \text{ m}$	$\lambda_4 := 0,040 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
5.Deckschicht aus		
mind. 3mm Klebespachtel	$d_5 := 0,005 \text{ m}$	$\lambda_5 := 0,700 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Armierungsgewebe		
Putzgrund		
1,5mm Kunstharzputz		
	$R_{si} := 0,13 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$	$R_{se} := 0,04 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$
$R_T := R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{se} = 6,96 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$		$U := \frac{1}{R_T} = 0,14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$
$d := d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 = 0,46 \text{ m}$		

Abb. 95 – Berechnung U-Wert Mauerwerk