

Diploma Thesis

**Timber construction in  
multi-story housing construction |  
Constructive comparative analysis of a  
mineral construction**

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

---

DIPLOMARBEIT

**Holzbau im mehrgeschossigen Wohnbau |  
Konstruktive Vergleichsbetrachtung zu einer  
mineralischen Bauweise**

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

von

**Wolfgang Gölf, BSc**

Matr.Nr.: 01327379

unter der Anleitung von

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

Institut für Architekturwissenschaften

Forschungsbereich Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

Technische Universität Wien,

Karlsplatz 13/259.2, A-1040 Wien

Wien, im Oktober 2019

---



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

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Associate Professor Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza Fadai für die Betreuung und der abschließenden Begutachtung meiner Arbeit bedanken.

Ein großen Dank gebührt meiner Familie und meinen Freunden, die mich durch den langen und teilweise schweren Weg durch das Studium begleitet haben und Rücksicht nahmen, wenn ich mehr Zeit für das Studium benötigte.

Weiters möchte ich mich bei meiner Freundin Jessica, die mich bei jedem Schritt in meinem Leben begleitet, unterstützt und mir immer wieder Kraft gibt weiterzumachen, bedanken.

Abschließen möchte ich meinem Arbeitgeber Herrn Alfred F. Mayerhofer und meinen Arbeitskollegen, Josef Weber und Alexander Guggenberger danken, die mir den nötigen Freiraum zum Schreiben dieser Arbeit gegeben haben.

## Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.



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

Durch die weltweit zunehmende Urbanisierung der Städte sind für die notwendige Wohnraumschaffung mehr Kapazitäten erforderlich, als derzeit vorhanden sind. In Wien wird bereits seit einigen Jahren die Nachverdichtung der bestehenden Gründerzeithäuser durch Dachgeschossaufstockungen verfolgt. Diese werden mit einer Stahlkonstruktion und Holzausfachung gefertigt. Das zeigt seine Vorteile in einer guten vorzeitigen Planbarkeit und einer rasanten Bauabwicklung. Diese Vorteile lassen sich auf mehrgeschossige Wohnbauten aus Holz umlegen und verhelphen somit, ein langzeitiges Bauvorhaben mit vielen Arbeitern und Baumaschinen von den bewohnten Bereichen fernzuhalten.

Die stets geworbene Nachhaltigkeit von Holzbauprojekten ist längst bekannt, doch der Holzbau kann durchaus mehr als nur einen ökologischen Eindruck hinterlassen. Bei der guten Planbarkeit eines großvolumigen Holzbaus schleichen sich weniger Baumängel ein und dadurch einen hohen Vorfertigungsgrad der einzelnen Elemente garantiert. Der Vorfertigungsgrad bei Holzbauteilen wird durch das geringe Bauteilgewicht und dem damit verbundenen kostengünstigeren und nachhaltigeren Transport begünstigt. Bei mineralischen Bauteilen hingegen stellt das hohe Eigengewicht beim Transport den limitierenden Faktor für eine hohe Vorfertigung dar. Allein mit der Teilfertigteilfertigung von Betonbauteilen kann diese Bauweise nicht die raschen Baufortschritte erreichen, die bei einem Holzbau möglich sind.

Durch die Novellierung der OIB-Richtlinie 2 im Jahr 2015 teilte sich die Gebäudeklasse 5 in eine Kategorie >6 Obergeschosse und ≤6 oberirdischen Geschosse. Bei Wohnbauten unter 7 Obergeschossen entfällt hierbei die Anforderung der Nichtbrennbarkeit der tragenden Bauteile (Euroklasse A2) in den oberirdischen Geschossen. Somit liegt hier ein neues Potenzial, den Holzbau für Wohnbauten bis einschließlich 6 Obergeschosse einzusetzen, ohne aufwändige Kompensationsmaßnahmen im Zuge eines Brandschutzkonzeptes erarbeiten sowie anschließend ausführen zu müssen.

In dieser Arbeit wird daher eine Gegenüberstellung von einem bereits gefertigten mineralischen mehrgeschossigen Wohnbaus in Wien der Gebäudeklasse 5 mit 6 Obergeschossen mit einer Ausführung in Holzbauweise ausgearbeitet. Es werden einzelne Bauteile in verschiedenen Holzbauausführungen durchdacht und mit der mineralischen Ausführung verglichen und abgewogen, ob sich diese sinnvoll in diese Gebäudekategorie etablieren lassen. Bei den neu entwickelten Aufbauten in Holzbauweise sollen anschließend spezifische Anforderungen der Bauteile sowie Bauteilebenen untersucht werden, die den Holzbau von den mineralischen Bauwerken unterscheiden. Abschließend werden ein Vergleich sowie ein abschließendes ganzheitliches Resümee der ermittelten Holzbauausführungen, Holzbauteile und Holzbaustoffe dargestellt. Die Planung bzw. Strategieentwicklung wird mit der SWOT-Analyse (**S**trengths (Stärken), **W**eaknesses (Schwächen), **O**pportunities (Chancen) und **T**hreats (Risiken)) durchgeführt.

Als Ergebnis soll hervorgehen, bei welchen Bauwerksteilen eine Alternative in Holzbauausführung zu den klassischen Betonbauteilen eine sinnvolle Anwendung findet und mit welchem Verhältnis (Hybridsysteme) von Holz und Beton in Gebäuden der Gebäudeklasse 5 ≤6 Obergeschosse hantiert werden kann. Der direkte Vergleich an einem konkreten Beispiel zeigt somit sofort die maßgebenden Unterschiede hinsichtlich Statik, Brand- und Schallschutz sowie Ökologie (im Herstellungsprozess).



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

Due to the increasing urbanization of cities worldwide, more capacities than are currently available are required to create the necessary housing. In Vienna, redensification of existing Gründerzeit buildings by extending the attic storeys has already been performed for several years. These are manufactured with a steel construction and wood infill. This demonstrates the advantages of a good premature plannability and a rapid building completion. These advantages can be transferred to multi-storey residential buildings made of wood. Thus, a long-term construction project with many workers and construction machinery can be kept away from the inhabited areas.

The widely promoted sustainability of timber construction projects has recently become known. However, timber construction can definitely do more than just leave an ecological impression. Due to the good plannability of a large-volume timber construction, fewer construction defects creep in. Thus, a high degree of prefabrication of the individual elements is guaranteed. The degree of prefabrication of wooden components is favoured due to the low weight of the component and the associated lower-cost and more sustainable transport. On the other hand, in case of mineral components the high dead weight during transport represents the limiting factor for a high degree of prefabrication. For this type of construction, the partial production of concrete components alone does not achieve the rapid progress possible in timber construction.

Due to the amendment of the OIB guideline 2 in 2015, building class 5 was divided into a category of >6 upper floors and ≤6 upper floors. For residential buildings below 7 upper floors, the requirement for non-combustibility of the load-bearing components (Euroclass A2) in the above-ground floors does not apply. Thus, there is a new potential to use timber construction for residential buildings up to and including 6 upper floors, without having to elaborate and subsequently to carry out complex compensation measures in the course of a fire protection concept.

In this work a comparison of an already manufactured mineral multi-storey residential building in Vienna of the building class 5 with 6 upper floors is worked out executing the wood construction method. Individual components of different wood finishes are thought through and compared to the mineral finish. It is weighed whether these can be sensibly established in this building category. In the case of the newly developed superstructures using timber construction, specific requirements of the components and component levels that distinguish timber construction from mineral constructions are then to be examined. Subsequently, a comparison and a final holistic summary of the determined timber construction designs, timber construction components and timber construction materials is performed. The planning and strategy development is carried out with the SWOT analysis (strengths, weaknesses, opportunities, threats).

As a result, it should be possible to determine which building components are suitable for an alternative timber construction design to the classic concrete components and which ratio (hybrid systems) of wood and concrete in buildings of building class 5 ≤ 6 upper floors can be applied. The direct comparison using a specific example immediately shows the decisive differences regarding statics, fire and noise protection, as well as, ecology (within the manufacturing process).



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.

## Abkürzungsverzeichnis

HBV	Holz-Beton-Verbund
BSP	Brettsperrholz
FSH	Furnierschichtholz
etc.	et cetera
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
idR.	in der Regel
inkl.	inklusive
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
LV	Leistungsverzeichnis
STB	Stahlbeton
ca.	circa
LKW	Lastkraftwagen
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
GK	Gebäudeklasse
NF	Nettofläche
DG	Dachgeschoss
OG	Obergeschoss
EG	Erdgeschoss
KG	Kellergeschoss



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 .....	15
2	Die Entwicklung des mehrgeschossigen Holzwohnbaus.....	17
2.1	Bedeutung von Holz im Wohnbau.....	17
2.1.1	Geschichtliche Entwicklung von Holz im Wohnbau.....	17
2.1.2	Der gegenwertige mehrgeschossige Wohnbau .....	19
2.2	Anforderungen an den mehrgeschossigen Holzwohnbau.....	20
2.2.1	Gebäudeklassen nach OIB-Richtlinien .....	20
2.2.2	Brandschutzanforderungen für Gebäude aus Holz der Gebäudeklasse 5 .....	21
2.2.3	Brandschutzeigenschaften der Baustoffe und Bauteile.....	28
2.2.4	Internationaler Vergleich von Brandschutzanforderungen für den Holzbau.....	30
2.2.5	Wärmeschutz .....	32
2.2.6	Schallschutz.....	34
2.3	Ökobilanz.....	37
2.3.1	Allgemein.....	37
2.3.2	Nachhaltiges Bauen in der Stadt.....	38
2.3.3	Bewertungsmethodik der Nachhaltigkeit.....	40
2.4	Tragelemente im Wohnbau .....	45
2.4.1	Betondecken.....	45
2.4.2	Holzdecken .....	46
2.4.3	Holz-Beton-Verbunddecke.....	48
2.4.4	Betonwände .....	51
2.4.5	Holzwände.....	52
2.4.6	Träger .....	53
2.5	Bauweisen im mehrgeschossigen Holzwohnbau .....	55
2.5.1	Vergleich Anhand der statischen Ausführung.....	55
2.5.2	Mischbauweise.....	57
2.6	Ökonomie .....	58
2.6.1	Gewerkübergreifende Schnittstellen .....	58
2.6.2	Vorfertigung .....	59
2.6.3	Kostentreiber Decken.....	60
2.7	Ausgeführte mehrgeschossige Holzwohnbauten.....	63
2.7.1	Wohnbau Wagramer Straße – Wien, Österreich.....	64

2.7.2	Holzwohnbau Hummelkaserne – Graz, Österreich .....	65
2.7.3	Wohnbau Bridport House - London, Großbritannien .....	66
2.7.4	Wohnhausanlage Via Cenni – Mailand, Italien .....	67
2.7.5	Wohn- und Gewerbebau Badenerstraße – Zürich, Schweiz .....	69
2.7.6	Wohnhäuser Zollfreilager – Zürich, Schweiz .....	70
2.7.7	Wohn- und Geschäftshaus C 13 – Berlin, Deutschland .....	71
2.7.8	Mehrgeschossige Skelletbauten .....	72
2.7.9	Woodie - Hamburg, Deutschland .....	76
2.7.10	Zusammenfassung .....	77
2.8	Mehrgeschossige Wohnanlagen in Wien .....	83
3	Vergleichsstudie Holzwohnbau .....	84
3.1	Allgemeines Programmkonzept .....	84
3.1.1	Methode und Ziele .....	84
3.1.2	Vorgehensweise .....	84
3.1.3	Grundlage - Grundrisse und Schnitte .....	85
3.1.4	Verwendete Software .....	85
3.2	Bezugsprojekt in konventioneller Stahlbetonbauweise .....	86
3.3	Definition der Randbedingungen .....	89
3.4	Vorhandene Randbedingungen des Stahlbetonbaus .....	90
3.4.1	Statisches System und Belastung .....	90
3.4.2	Brandschutz .....	91
3.4.3	Wärmeschutz .....	92
3.4.4	Schallschutz .....	92
3.4.5	Zusammenfassung der vorliegenden Randbedingungen .....	93
3.5	Tragwerksentwurf des Holzwohnbaus .....	94
3.5.1	Allgemeines .....	94
3.5.2	Resümee zum Tragwerksentwurf .....	97
3.6	Aussteifung des Holzwohnbaus .....	99
3.7	Geschossdecken .....	103
3.7.1	Deckenwahl .....	104
3.7.2	Statische Bemessung .....	105
3.7.3	Bauphysikalische Bemessung .....	106
3.7.4	Resümee zu den Geschossdecken .....	109
3.8	Dachtragwerk .....	118
3.8.1	Statische Bemessung .....	119

3.8.2	Bauphysikalische Bemessung .....	119
3.8.3	Resümee zum Dachtragwerk .....	120
3.9	Terrassenausführung .....	123
3.10	Außenwand und Fassadenaufbau .....	124
3.10.1	Statische Bemessung .....	124
3.10.2	Bauphysikalische Bemessung .....	125
3.10.3	Resümee zu den Fassadenaufbauten .....	126
3.11	Wohnungstrennwände .....	133
3.11.1	Statische Bemessung .....	133
3.11.2	Bauphysikalische Bemessung .....	134
3.11.3	Resümee zu den Wohnungstrennwänden .....	135
3.12	Detailausführungen .....	137
3.12.1	Verhalten von Holzbauanschlüssen bei horizontaler Belastung .....	138
3.12.2	Anschluss der Geschossdecken an das Kernbauwerk .....	139
3.12.3	Auflagerung der tragenden Wände auf die Kellerdecke .....	142
3.12.4	Anschlussdetail der Außenwand zu der Geschossdecke .....	143
3.12.5	Anschlussdetail der Wohnungstrennwand zu der Geschossdecke .....	145
3.13	Balkon und Loggia .....	148
3.14	Innenwände in den Wohneinheiten .....	150
4	Ökonomische Randbedingungen für den Holzwohnbau .....	151
4.1	Vorfertigung und Montage .....	151
4.2	Kalkulation .....	155
4.2.1	Gegenüberstellung des Projektablaufes .....	155
4.2.2	Grundlagen zur Kostenermittlung der einzelnen Bauteile .....	156
4.3	Fundamentlasten der verschiedenen Bauweisen .....	159
5	Zusammenfassung & Ergebnisse .....	161
5.1	Diskussion .....	161
5.2	Ausblick für mehrgeschossige Holzwohnbauten .....	167
	Abbildungsverzeichnis .....	171
	Tabellenverzeichnis .....	174
	Literaturverzeichnis .....	175
	Anhang .....	183



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

Holz ist einer der ältesten Baustoffe, die zum Errichten von verschiedensten Tragwerken verwendet wird. Unter Wohnhäusern in Holzbauweise ist in den meisten Köpfen ein üppiges Bild einer schlichten Hütte mit massivem Sichtholz an der Innen- und Außenseite sowie einer vergrauten äußeren Oberfläche. Infolgedessen wurde der seit Ewigkeiten beliebte Baustoff weitestgehend vom innovativeren Ziegelmauerwerk und Stahlbeton Ende des 19. Jahrhunderts abgelöst. Mit dem Start in das 21. Jahrhundert ist die Technologie soweit fortgeschritten, dass sich Holz- und Holzwerkstoffe für größere Dimensionen, wie für den mehrgeschossigen Wohnbau, etablieren lassen. Dies stellt keineswegs eine minderwertigere Bauweise als dem Stahlbetonbau dar. Daraus ergibt sich die Frage, wie sich der Baustoff Holz in großvolumige Bauten einbinden lässt.

Heute und in Zukunft werden innovative Baulösungen in der Bauszene immer relevanter und Holzbauten sind zu einer greifbaren Alternative zur herkömmlichen mineralischen Bauvariante geworden. Wird ein Wohnbau in Holzbauweise errichtet, kann diesem Bauwerk durch ihre rasante Montage förmlich beim Wachsen zugesehen werden. Zusätzlich befindet sich der Bau in jeder Bauphase durchgehend im Trockenen. Mit dieser reibungslosen Bauabwicklung kann sehr gut bei Investoren geworben werden, welche nach der rasanten Fertigstellung vermietbare Fläche bietet. Neben der Nachhaltigkeit, mit der bei vielen Vertretern des Holzbaus geworben wird, gibt es bei großvolumigen Wohnbauten weitere Faktoren zur Entscheidungsfindung. Für Bauherrn und Planer zählen eher Kriterien, wie die Kosten, der Bauablauf und die Einfachheit der Bauwerksherstellung vorwiegend mehr, als die reinen ökologischen Aspekte. Für den mehrgeschossigen Holzbau ist es somit essenziell einen Standard für Kalkulation, Bauzeitabläufe und Detailausführungen zu schaffen, wie es bereits bei Bauten aus Stahlbeton der Fall ist. Wohnbauten in Holzbauweise müssen neben der Nachhaltigkeit und Maßgenauigkeit durch die einfache Planbarkeit und kalkulierbaren Kosten punkten. Bei Holzbauprojekten müssen bereits viele Investitionskosten aufgebracht werden, bevor überhaupt etwas auf der Baustelle passiert. Dies soll jedoch nicht bedeuten, dass der Holzwohnbau über die gesamte Lebenszeit teurer ist, sondern ein Großteil der einzusetzenden Gelder in die vorauseilende Planung und Werkfertigung verschoben wird.

Mit den neuartigen Holzwerkstoffen sowie Hybridsystemen ist es nun möglich, weite Spannweiten mit einer niedrigen Bauhöhe, die auch eine aussteifende Funktion besitzen, herzustellen. Diesem Fortschritt ist weitestgehend dem Übergang von linearen zu flächigen Holzprodukten zu verdanken, welche damit den Grundstein legte Holz in mehrgeschossigen Bauten einsetzen zu können. Zusätzlich ist durch die Novellierung der OIB-Richtlinie 2 [1] im Jahr 2015 eine Ausführung der tragenden Bauteile in den Obergeschossen ohne der Brandverhaltensanforderung der tragenden Bauteile in Euroklasse A2 [2] möglich. Die Richtlinienänderung sorgt dafür, dass tragende Bauteile in Holz Ausführung für Gebäude der Gebäudeklasse 5  $\leq$  6 Obergeschosse gewählt werden können, ohne ein Brandschutzkonzept vorlegen zu müssen. Dies wurde durch die technologische Weiterentwicklung erreicht. Neben den besseren statischen Eigenschaften werden viele bauphysikalische Ansprüche mit dem reinen Holzwerkstoff erfüllt.

Weiters spielt bei der Verwendung von Holz die Komponente der Nachhaltigkeit eine wesentliche Rolle. Die benötigte CO<sub>2</sub>-Menge, die ein Baum beim Wachsen einbindet, wird im Holz gespeichert und verbleibt anschließend in den daraus gefertigten Produkten. Verbleibt der nachhaltige Baustoff im Gebäude, wird Platz für einen neuen Baum geschaffen und das Gebäude wirkt als Senke

für das Treibhausgas. Wesentlich für die ökologischer Aspekt sind neben dem Holz die verwendeten Aufbauschichten, welche die Ökobilanz der Bauteile maßgeblich beeinflussen. Daher wird untersucht, welche Baustoffe in den Bauteilschichten derzeit in Verwendung und von den Baubestimmungen in dieser Gebäudekategorie zugelassen sind. Diese werden mit den Aufbauten eines bereits errichteten Bauwerks in Stahlbetonweise abgeglichen.

Obwohl vieles für Holz im Wohnbau spricht, bringt die Ausführung dennoch einige Schwierigkeiten mit sich. Holz ist ein brennbares Material, welches in der derzeitige Normgebung auf wenig Toleranz stößt, je höher das Gebäude wird. Folglich werden in der OIB-Richtlinie 2 [1] verschiedene Anforderungen, abhängig von der Gebäudeklasse [3], gestellt. Eine standardisierte Holzbauausführung ist somit ab 7 Obergeschossen in Österreich gar nicht möglich und benötigt immer spezielle Ausführungskonzepte, die projektbezogen zu behandeln sind (siehe Kapitel 2.2).

In dieser Arbeit werden Holz und Holzwerkstoffe sowie deren Verwendung für verschiedenste Bauteile für einen Wohnbau herangezogen und mit einem herkömmlichen Wohnbau, der in mineralischer Bauweise der Gebäudeklasse 5 mit 6 Obergeschossen [3] gefertigt wurde verglichen. Als Vorlage dient ein, im Bau befindlicher Wohnbau in Wien. Da die Gebäudeklasse 5 in den letzten Jahren in  $\leq 6$  Geschosse und in  $> 6$  Geschosse aufgeteilt wurde, besteht nun die Möglichkeit tragende Bauteile in Holzbauweise zu errichten. Bei der anschließenden Gegenüberstellung der Bauvarianten werden Ausführungsvarianten verglichen und dabei wird auf problematische Detailausbildungen bezüglich Brand, Schall und Aussteifung eingegangen. Weiters werden diese Punkte ausgearbeitet und diskutiert, mit welchen Systemen bei der Planung eines mehrgeschossigen Holzwohnbaus die Sinnhaftigkeit besteht, diese für die zukünftigen Wohnbauten einsetzen zu können. Diese Arbeit soll somit ein besseres Verständnis für den Holzbau hervorbringen und das Hemmnis nehmen, großvolumige Holz- und Holzmischbauwerke auszuführen.

Als Ziel dieser Arbeit soll klar ersichtlich werden, welches Tragwerk mit welchen Bauteilausführungen für einen Holzwohnbau in der Gebäudeklasse 5 mit 6 Obergeschossen als erfolgversprechend bzw. bei welchen einzelnen Bauteilen sich der Einsatz von Holz als Alternative zu den mineralischen Bauteilen herausstellt. Dieser Vergleich beinhaltet zusätzlich ökologische und ökonomische Überlegungen, wie auch Detailausführungen von Bauteilanschlüssen.

Kostentechnisch liegt der Holzbau, trotz sinnvoller Planung, noch leicht über der konventionellen Bauweise. Unter Berücksichtigung aller Aspekte, die über die Baukosten hinaus gehen, werden diese Unterschiede jedoch geglättet und können in Zukunft durchaus weiter optimiert werden (z.B.: Einfachheit in der Normgebung, Standardaufbauten für die Planung und Fertigung, etc.).

Österreich könnte somit als eines der führenden Länder in Sachen Holz und Holzwerkstoffe eine Vorbildwirkung darstellen, damit Holzbau in Zukunft eine kostengünstige und ökologische Alternative zum konventionellen Wohnbau aus Stahlbeton wird.

## 2 Die Entwicklung des mehrgeschossigen Holzwohnbaus

### 2.1 Bedeutung von Holz im Wohnbau

#### 2.1.1 Geschichtliche Entwicklung von Holz im Wohnbau

Die Verwendung von Holz reicht bis in das Steinzeitalter zurück, bei der man es für Pfahlbauten einsetzte. Holz wurde längste Zeit als der Allrounder gehandhabt der für Brennstoff, Werkzeug, Waffen, Kunstwerke, Schiffs- und Hausbau verwendet wurde. Der Einsatz des nachwachsenden Rohstoffes bei Bauwerken erlebte seinen Höhepunkt bei den Fachwerksbauten im 16. und 17. Jahrhundert. Bei Wohnbauten in Norddeutschland wurde gerne das Mauerwerk in Ziegeloptik oder Verputz zwischen einer Holzstruktur in Form von Fachwerkwänden errichtet. Die einzelnen Geschosdecken wurden in dieser Zeit überwiegend aus Holztramdecken gefertigt. Im 19. Jahrhundert, in der Zeit der industriellen Revolution, wurde der Holzwohnbau überwiegend von Stahlbaukonstruktionen und Anfang des 20. Jahrhunderts von Stahlbetonbaukonstruktionen abgelöst (siehe Abbildung 2.1). Die altbewährten Holztramdecken verloren somit an Bedeutung. Holz hatte schlussendlich Anfang des letzten Jahrhunderts seine Beliebtheit noch vereinzelt bei Einfamilienhäusern sowie landwirtschaftlichen Gebäuden. Die Verwendung in den städtischen Gebieten ist zu damaliger Zeit beinahe gänzlich verschwunden. [4] Im Jahre 1906 wurde das Brettschichtholz entwickelt und patentiert, fand jedoch trotz vorhandener Bemessungskonzepte nicht den Anschluss an andere Baustoffe und ist somit bis heute ein Nischenprodukt bei Wohnbauprojekten. Der Grund war womöglich, dass Holz als rückwärts orientiert war genommen wurde. Auslöser für diese Denkweise stellt unter anderem die Charta von Athen [5] im Jahre 1933 dar. In den darauffolgenden Jahren blieb die Verwendung von Holz auf die Dachtragwerke beschränkt und findet nur in Ausnahmefällen für andere Bauteile Verwendung. Ein weiterer Grund warum die Holzbauweise wenig Beachtung bekam, war außerdem die Angst vom Feuer und den damit verbundenen Brandschutzanforderungen bei mehrgeschossigen Wohngebäuden.

In Nordamerika hingegen erlebte der Holzbau in dieser Zeit einen regelrechten Aufschwung, der zahlreiche neue Entwicklungen mit sich brachte. Dort bevorzugt die Bevölkerung eine leichte Bauweise aus Holzbauteilen. Die leicht abgeänderte Ständerbauweise, bekannt unter „balloon frame“, wurde in diesem Raum als Standard angesehen. Deren Konstruktion bildete sich mit durchgehenden Wandbohlen und eingelassenen Holzbalken auf Deckenhöhe, die als Balkenauf-lager der Decke dienen. [6]

Speziell in Europa kam ein Umdenken erst auf, als die Umweltauswirkungen der neueren und „innovativeren“ Baustoffe zum Thema wurde. Der erhöhte Ressourcenverbrauch würde zulasten späterer Generationen gehen. Das natürliche Vorkommen sowie die nachwachsende Eigenschaft von Holz führten zu einer Neuentdeckung dieses einzigartigen Werkstoffs, der viel altbewehrtes Wissen vorweist und sich mit neuentwickelten Holztechnologien verbinden lässt. Somit erlebte der Holzbau in den letzten vier Jahrzehnten eine Rückkehr in die Wohnbauten mit neuen Konstruktionsarten (siehe Abbildung 2.2) und den zahlreichen Neuentwicklungen bezüglich Holzwerkstoffe.

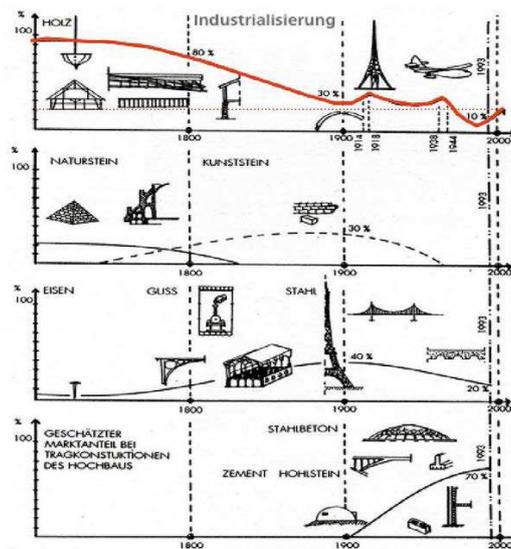


Abbildung 2.1: Marktbeteiligung von Holz, Naturstein, Eisen und Beton im Hochbau [7]

Neue Innovationen sind, neben den Holzwerkstoffen, in der gesamten Produktionskette von Holz zu finden. Begonnen bei der Ernte im Wald bis hin zum fertigen verbauten Holzwerkstoff. Wesentlich ist die Verwendung des gesamten Holzstammes. So wird das Kantholz, beispielsweise bei der Verwendung für Brettschichtholz, bis zu den kleinsten Spänen verwendet. Diese Späne sind anschließend in Plattenwerkstoffe zu finden, die wiederum bei der Fertigung von Holzbauteilen verwendet werden. Im Werk können die einzelnen Holzwerkstoffe, ob stab- oder flächenförmig, mittels softwaregestützten Abbundanlagen zugeschnitten werden. Bemerkenswert ist hierbei der enorme maschinell unterstützte Vorfertigungsgrad, bei dem die Holzwerkstoffe mit den jeweiligen Aufbauten zum fertigen Element zusammengesetzt werden. Auf der Baustelle führt ein simples Zusammenfügen, beispielsweise mit Blechbauteilen oder Schrauben, zum fertigen Gesamtbauwerk. Die Vorfertigung der Bauteile im Werk ist bis zur Verlegung von elektrischen Leitungen möglich. Dies gestattet eine Verlegung der Arbeitsstunden ins Werk und einer schnelleren Abhandlung des Bauvorhabens auf der Baustelle. In den letzten Jahren kristallisierte sich die Kombination von Holz mit anderen Baustoffen immer mehr heraus. Somit können günstige Eigenschaften der Ausgangsmaterialien sehr effizient eingesetzt werden. Eine neue Innovation beim Holzbau ist momentan die Holzbetonverbunddecke (siehe Kapitel 3.7). Dieser Hybridbauteil sorgt hier eine hohe Effizienz hinsichtlich der statischen Anforderungen mit relativ geringem Eigengewicht und geringer Bauteilhöhe.



Abbildung 2.2: geschichtliche Entwicklung des Holzbaus [8]

### 2.1.2 Der gegenwertige mehrgeschossige Wohnbau

Die Tendenzen der Stadtentwicklung verfolgen bis dato den Ausbau der Stadtränder bzw. der Randbezirke, den sogenannten Speckgürtel einer Stadt und die Nachverdichtung der bestehenden Wohngebäude im Inneren der Stadt. Diese Ausweitung der Stadt sorgt dafür, dass die neu erschlossenen Flächen an die Infrastruktur, Entsorgungseinrichtungen und dergleichen angeschlossen werden müssen und neben den Baukosten hohe Anschließungskosten entstehen. Dies verstärkt sich bei Einfamilienhäusern durch den höheren Grundstücksflächenverbrauch für die Schaffung neuer nutzbarer Wohnfläche. Hingegen kann bei einem großvolumigen Wohnbau, mit mehreren Wohneinheiten, mehr Wohnfläche bei weniger Flächenverbrauch geschaffen werden. Die Errichtung von mehrgeschossigen Wohnbauten, die eine große vermietbare Fläche bei gleichzeitig geringerem Landflächenverbrauch bieten, ist daher die zukunftsorientiertere Lösung.

Für die nähere Umgebung von Großstädten gilt „Bauland ist teuer“ und „Wohnraum ist knapp“. Diese Hauptprobleme werden bis dato gerne mit einem nachträglichen Dachgeschossausbau von bestehenden Wohnbauten umgangen. Derzeit werden in Wien die Gründerzeithäuser nach und nach mit ein bis drei zusätzlichen Geschossen in einer Leichtbauweise aufgestockt. Eine weitere Form der Nachverdichtung kann auch durch die Umwidmung von Flächen von Industriegebäuden oder militärischen Anlagen, für die keiner Verwendung mehr vorgesehen ist, erfolgen (siehe Abbildung 2.3). Für solche Bauflächen ist es ebenso angebracht, wie beim Speckgürtel, eine moderne Ansicht ins Stadtbild zu tragen und sich vom alten Stadtbild abzukapseln. Im 21. Jahrhundert sind innovative Baulösungen gefragt, die zudem nachhaltig sowie zeiteffizient beim Bauablauf sind. Somit sind mehrgeschossige Wohnbauten vor allem in Ballungsgebieten, eine immer wichtiger werdende Rolle zuzuschreiben.



Abbildung 2.3: Holzwohnbau am ehemaligen Gelände der Hummelkaserne in Graz [9]

Wird Holz in mehrgeschossigen Wohnbauten verwendet, ist eine exakte Planung essenziell. Der erhöhte Planungsaufwand revanchiert sich jedoch in der kurzen Bauzeit auf der Baustelle sowie der trockenen Bauweise, die einen best- und schnellstmöglichen Innenausbau zulässt. Eine tunlichst geringe Bauzeit ist in der derzeitigen Bauindustrie ein sehr wichtiger Faktor, da beispielsweise entgangene Mieteinnahmen einen hohen Kostenfaktor darstellen. Bei Holzbauten ist zudem zu berücksichtigen, dass eine höhere Anforderung an die Ausführungsdetails gelegt werden muss, um etwaige Feuchteschäden, Pilzbefall, Schädlingsbefall oder dergleichen in der anschließenden Nutzung ausschließen zu können.

## 2.2 Anforderungen an den mehrgeschossigen Holzwohnbau

Im 21. Jahrhundert ist ein wesentlicher Anstieg an Wohnbauten aus Holz zu verzeichnen. Dies ist zurückzuführen auf die erhöhte Forschungsarbeit in den letzten Jahrzehnten und den daraus resultierenden Veränderungen in den Normen und Richtlinien zugunsten des Holzbaus.

Eine wesentliche Entscheidungsgrundlage, neben den ökologischen und sichtbaren Kriterien, spielen die Anforderungen der OIB-Richtlinien [10]. Die Ansprüche an Holzbauteile im Hochbau waren vor mehreren Jahren noch so streng, dass sich Gebäude der Gebäudeklasse 5 [3] nicht mit sichtbaren Holzoberflächen realisieren ließen und obendrein ein Brandschutzkonzept nötig war (siehe Wohnhaus Wagramer Straße in Kapitel 2.7.1). Ab der Änderung der OIB-Richtlinie 2 [1] im Jahre 2015 wurden diese für die Gebäudeklasse 5 in >6 Obergeschosse und ≤6 Obergeschosse geteilt. Fallen Wohnbauten nun in die höchste Anforderungsstufe, besitzen jedoch nicht über 6 Obergeschosse, so ist es möglich Holz als tragende Bauteile zu verwenden, ohne ein Brandschutzkonzept entwickeln zu müssen und die Holzoberfläche sichtbar zu belassen. Im Weiteren ist es nun naheliegend sich mit der Thematik zu beschäftigen, ob ein Holzwohnbau in größeren Dimensionen (am Beispiel eines 6-geschossigen Wohnbaus) am Markt mit mineralischen Baustoffen konkurrieren kann.

Für einen zielführenden Vergleich werden neben der notwendigen Tragfähigkeit die Richtlinien des österreichischen Instituts für Bautechnik (kurz OIB-Richtlinie [10]) miteinander abgeglichen. Diese Richtlinien sind in allen Bundesländern in Österreich bereits als verbindlich erklärt worden und beinhalten folgende sechs Grundanforderungen:

- ◆ OIB-Richtlinie 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- ◆ OIB-Richtlinie 2: Brandschutz
- ◆ OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- ◆ OIB-Richtlinie 4: Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit
- ◆ OIB-Richtlinie 5: Schallschutz
- ◆ OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz

Als 7. Grundanforderung für ein Bauwerk ist in der Bauproduktenverordnung „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ festgehalten, für die es jedoch keine OIB-Richtlinie gibt. Die Nachhaltigkeit kann anderwärtig berücksichtigt werden, auf welche in Kapitel 2.3 weiter eingegangen wird.

### 2.2.1 Gebäudeklassen nach OIB-Richtlinien

Seit der Novellierung der OIB-Richtlinien [10] aus dem Jahr 2015 sind Gebäude in Gebäudeklassen unterteilt. Die Einordnung der Bauwerke in die jeweilige Klasse (Gebäudeklasse 1 – Gebäudeklasse 5) ist abhängig von den brandschutztechnischen Gegebenheiten, wie frei stehende Anfahrtsseiten zur Brandbekämpfung, Fluchtniveau, Geschosshöhe sowie Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse (siehe Anhang).

Für diese Arbeit ist die Gebäudeklasse 5 ≤6 Geschosse von Bedeutung, die bis zu einem Fluchtniveau von 22 m gilt und deren Randbedingungen nicht in die Gebäudeklassen 1, 2, 3, 4 fallen. [3] Das Fluchtniveau wird definiert durch die Höhendifferenz der von der Oberkante des Fußbodens des höchstgelegenen Geschosses bis zur angrenzenden Geländeoberfläche nach Fertigstellung im Mittel. [3] Diese Grenze ergibt sich durch die maximal mögliche Höhe mit der die Feuerwehr mit

ihren Gerätschaften eine Bekämpfung des Brandes sowie Menschenrettung (über Fenster, Balkone etc.) von außen durchführen kann. Über dieser Höhe sind lt. der OIB-Richtlinie 2 [1] Maßnahmen nach einer Sonderausgabe dieser Richtlinie „Brandschutz von Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m“ erforderlich, welche für den Holzbau nur mit Brandschutzkonzepte in Form von Kompensationsmaßnahmen zu erfüllen sind. In dieser Klasse gibt es in Österreich ein bekanntes Projekt. Das HoHo in Wien (siehe Kapitel 2.7.8) dient in dieser Größenordnung als Pionierprojekt in Österreich.

### 2.2.2 Brandschutzanforderungen für Gebäude aus Holz der Gebäudeklasse 5

In diesem Kapitel wird vorwiegend auf die relevanten Anforderungen eingegangen, die für die anschließende Ausarbeitung des mehrgeschossigen Holzwohnbaus für Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Geschosse von Bedeutung sind. Es wird jedoch mehrmals der Unterschied zu Gebäuden > 6 Geschosse angemerkt.

#### Allgemein

Bei Holzbauten besteht große Angst vor der Brennbarkeit von Holz. Die Verwendung von diesem brennbaren Material sorgt bis heute für ein Unwohlsein bei der Bevölkerung, welches großteils durch die verheerenden Stadtbrände in den letzten Jahrhunderten entstand. Diese Unruhe zieht sich bis zu den Normungen und Richtlinien hin, welchen den mehrgeschossigen Wohnbau in Holzbauweise viele Hindernisse bereiten. In der Historik waren die Hauptursache für die großflächigen Brände nicht die Verwendung von brennbaren Bauelementen, sondern viel eher die knappe Bebauung, der sorglose Umgang mit offenem Feuer und die mangelnden Brandbekämpfungsanlagen/-maßnahmen. Zusätzlich kommt hinzu, dass sich Normungen und Richtlinien nur schleppend verändern und anpassen. Wird unzureichend Druck ausgeübt, werden solche Bestimmungen einfach beibehalten und an den Bestimmungen wird sich nichts ändern.

Heutzutage setzten sich die Brandschutzmaßnahmen aus 4 Hauptsäulen zusammen. Den baulichen, den anlagentechnischen, den abwehrenden und den betrieblichen Brandschutz (siehe Abbildung 2.4). In dieser Arbeit wird vorwiegend auf den baulichen Brandschutz eingegangen. Der anlagentechnische Brandschutz kommt verstärkt bei Hochhäusern (Fluchtniveau über 22 m) zum Einsatz, sowie bei Kompensationsmaßnahmen im Holzbau. Das Ziel dieser Arbeit ist jedoch einen Wohnbau in Holz errichten zu können, ohne auf spezielle anlagentechnische Planungs- und Ausführungsmaßnahmen zurückgreifen zu müssen. Die Ausführung mit speziellen Maßnahmen und der Mehraufwand, der ohnehin besteht, könnte die „einfach gestrickten“ Projektbeteiligten von der Wahl eines Holzbaus abschrecken.

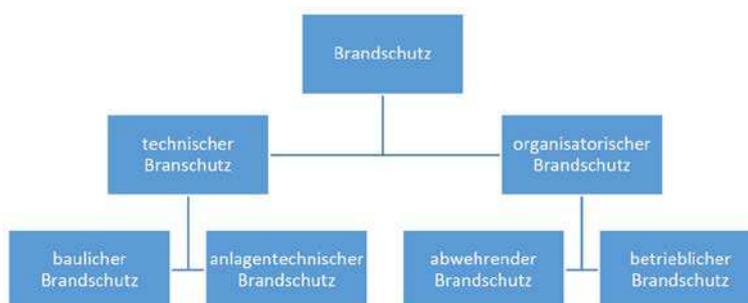
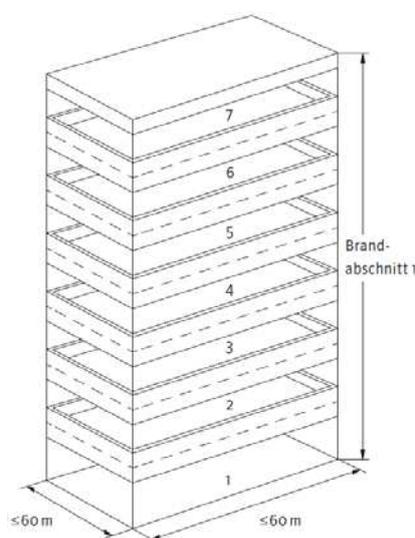


Abbildung 2.4: Komponenten der Brandschutzmaßnahmen

Für den Brandschutz ist das Gebäude selbst, die einzelnen Bauteile sowie die verwendeten Baustoffe einzeln zu klassifizieren.

## Brandschutzabschnitte

Um die Ausbreitung eines Brandes in einem Gebäude einzuschränken, sind in der OIB-Richtlinie 2 [1] Abmessungen für die Brandabschnitte gegeben. Für Wohngebäude ist eine maximale Längsausdehnung eines Brandabschnitts von 60 m zulässig (siehe Abbildung 2.5). Der zugehörige Fluchtweg einer Wohnung ist mit 40 m Gehweglänge ab der Wohnungseingangstür bis zum nächsten Brandabschnitt beschränkt. Die Netto-Grundfläche sowie die maximale Geschossanzahl des Brandschutzabschnitts sind mit der Novellierung der OIB-Richtlinie 2 [1] im Jahr 2015 für Wohngebäude entfallen und erfordert daher keine zusätzlichen Maßnahmen. Der Einsatz von Deckenübergreifenden Außenwandstreifen wäre erforderlich, falls die jeweilige Geschossdecke einen brandabschnittsbildenden Bauteil darstellen würde. Wie aus Abbildung 2.5 zu entnehmen, sind für Wohngebäude in der Gebäudeklasse 5  $\leq 6$  Geschosse daher keine Außenwandstreifen vorgesehen.



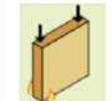
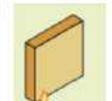
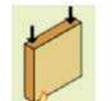
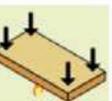
**Abbildung 2.5: Brandabschnittseinteilung und deckenübergreifende Außenwandstreifen bei Wohngebäuden lt. OIB-Richtlinie 2 [11]**

## Feuerwiderstand von Bauteilen

Die wesentlichen Brandschutzanforderungen von Bauteilen in den einzelnen Geschossen besteht aus drei Kriterien (REI), die dem Brand eine normierte Zeit standhalten müssen (siehe Abbildung 2.6). Diese werden im Folgenden erläutert.

Die Tragfähigkeit (R) ist die Fähigkeit des Bauteils, unter festgelegten mechanischen Einwirkungen einer Brandbeanspruchung auf einer bzw. mehreren Seiten den Verlust der Standsicherheit für eine festgelegte Dauer zu widerstehen. In der Gebäudeklasse 5 sind hier vorwiegend Zeiten von 60 und 90 Minuten gefordert. Der Raumabschluss (E) zeigt die raumtrennende Funktion des Bauteils, wenn nur von einer Seite ein Angriff des Feuers stattfindet und der Durchtritt der Flammen oder heißen Gase zur unbeflammten Seite verhindert wird. Das dritte Kriterium I drückt die wärmedämmende Eigenschaft des Bauteils aus. Die dämmende Eigenschaft ist die Fähigkeit bei einseitiger Brandbeanspruchung ohne Feuerübertragung die signifikante Übertragung von Wärme von der befeuerten Seite zur unbeflammten Seite zu widerstehen. Somit soll die feuerabgewandte Seite und deren Materialien in der Nähe dieser Oberfläche nicht entzündet werden. Weiters muss der Bauteil ein ausreichend großes Hindernis darstellen, damit Personen, die sich

in der Nähe der unbeflammten Seite befinden, von der Wärmeentwicklung geschützt sind. [12]  
Die genannten Anforderungen werden in Abbildung 2.6 bildhaft an Bauteilen gezeigt.

	R	EI	REI
Bezeichnung	tragend, nicht abschließend	abschließend	tragend und abschließend
Brandeinwirkung	gleichzeitig von mehreren Seiten	von einer Seite	von einer Seite
Stützen, Träger			
Flächige Bauteile			 

**Abbildung 2.6: Zuordnung der Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile [13]**

Bei der Bemessung des Abbrands von hölzernen Querschnitten kann grundsätzlich nach ÖNORM EN 1995-1-2 [14] von einer ungeschützten Oberfläche und einer anfänglich geschützten Oberfläche ausgegangen werden. Bei der sichtbaren Holzkonstruktion wird das Holz durchgehend dem Feuer beim Brandfall ausgesetzt. Bei der verkleideten Variante wird die tragende Struktur durch eine Bekleidung aus Holz, Holzwerkstoffen, Gipsplatten oder Dämmstoffen anfangs geschützt und es kommt dadurch zu einem verzögerten Abbrennen der tragenden Teile. Die Beplankung schützt jedoch nicht unbedingt vor einem Entzünden der Holzteile bevor diese ausfällt. Versagt die Bekleidung, findet zuerst ein beinahe doppelt so schneller Abbrand, im Vergleich zur ungeschützten Oberfläche, statt. Dies ist auf die erhöhte Temperatur, die um die Holzbauteile herrscht und der noch fehlenden schützenden Holzkohleschicht am Holzquerschnitt zurück zu führen (siehe ÖNORM EN 1995-1-2 [14]).

Die jeweiligen Anforderungen gegen den Abbrand beziehen sich hierbei auf eine Brandwiderstandsdauer, wie z.B.:

- ◆ R30: feuerhemmend
- ◆ R60: hochfeuerhemmend
- ◆ R90: feuerbeständig
- ◆ R120: hochfeuerbeständig
- ◆ R180: höchstfeuerbeständig

Für verschieden Holzwerkstoffe sowie Aufbaukonstruktionen stehen nachweisfreie Konstruktionen in verschiedenen Literaturquellen zur Verfügung. Eine große Auswahl an Aufbauten bietet die Homepage von [www.dataholz.at](http://www.dataholz.at) [15]. Alternativ können die Holzbauteile direkt von Prüfungen der jeweiligen Systemherstellern entnommen oder mittels ÖNORM EN 1995-1-1 [16] und dem zugehörigen nationalen Anwendungsdokument ÖNORM B 1995-1-1 [17] (Heißbemessung) berechnet werden.

### Brandverhalten

Der Grundgedanke vom Brandschutz ist, dass sich Feuer im Objekt nicht ausbreiten kann und zusätzlich die Fluchtwege und die Erreichbarkeit der Feuerwehr sichergestellt wird. Für die Konstruktion eines Gebäudes ist neben einer ausreichenden Widerstandsfähigkeit der Brandeinwirkung (REI) das Brandverhalten der Baustoffe maßgebend.

Beim Brandverhalten von Baustoffen (siehe ÖNORM 13501-1 [2]) wird die Brennbarkeit Kategorie A1 und A2 (nicht brennbar) bis Kategorie B bis E (brennbar), die Rauchentwicklung (s=smoke) und das Abtropfverhalten (d=dropping) des Baustoffes berücksichtigt [2]. Diese Anforderung ist äußerst wichtig in der Entwicklungsphase des Brandes und charakterisiert die Temperaturentwicklung sowie die Schnelligkeit der Brandausbreitung. Beim Brand soll keine übermäßige Rauchentwicklung entstehen und das Abtropfen der Bauteile reduziert werden. Zusammengefasst gibt es folgende Unterteilungen der Verhaltensklassifizierungen:

- ◆ Brandverhalten/Entzündbarkeit: A1, A2, B, C, D, E
- ◆ Rauchentwicklung: s1, s2, s3
- ◆ Abtropfen: d0, d1, d2

In Tabelle 2.1 werden übliche Brandverhalten von Baustoffen gezeigt. Hierbei wird klar aufgezeigt, dass Mineralwolle den einzigen Baustoff darstellt, der in die Euroklasse A eingeteilt wird und daher als nichtbrennbar anzusehen ist.

**Tabelle 2.1: Brandverhalten verschiedener Baustoffe**

Baustoffe	Produktnorm	Brandverhalten
expandiertes Polystyrolschaum EPS	ÖNORM EN 13163	E-s2, d0
Gipsplatte Typ DF	ÖNORM EN 520	A2-s1, d0
Gipsfaserplatte	ÖNORM EN 15283-2	A2-s1, d0
Magnesitgebundene Holzwole Dämmplatte	ÖNORM EN 13168	B-s1, d0
Konstruktionsholz	Entscheidung der Kommission 2003/593/EG vom 07.08.2003	D-s2, d0
Brettschichtholz BSH	Entscheidung der Kommission vom 09.08.2005	D-s2, d0
Brettsperrholz	ÖNORM EN 16351	D-s2, d0
MDF	ÖNORM EN 622-5	D-s2, d0
OSB	ÖNORM EN 300	D-s2, d0
Spanplatte	ÖNORM EN 312	D-s2, d0
zementgebundene Spanplatte	ÖNORM EN 634-2	B-s1, d0
Mineralwolle	ÖNORM EN 13162	A1/A2-s1, d0 abh. von Bindemittel

In Bezug auf die Brennbarkeit im Treppenhaus setzt die Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Obergeschosse die Nichtbrennbarkeit (A2) lt. ÖNORM EN 13501-1 [2] an die tragenden Bauteile sowie deren Bekleidungen voraus.

Um eine Abweichung an die oben genannten Anforderungen wählen zu dürfen, werden im zugehörigen OIB-Leitfaden [18] zu der OIB-Richtlinie 2 [1] Prinzipien vorgestellt. Dieser Leitfaden soll ein äquivalentes Sicherheitsniveau bereitstellen, welches beispielsweise durch anlagentechnische, organisatorische und baulichen Ersatzmaßnahmen sichergestellt wird. Solche Ersatzmaßnahmen können in Form von Kapselung der tragenden Bauteile sowie durch zusätzlichen Einbau von Löschanlagen erreicht werden. Diese Kompensationsmaßnahmen wirken sich äußerst günstig für den Holzbau aus und ermöglichen die spezifischen Eigenschaften von Holz, die sich ungünstig auf die Erfüllung der gegebenen Anforderungen der OIB-Richtlinie 2 [1] auswirken, umzulagern. Hierbei ist anzumerken, dass lt. Meinung mehrerer Experten das Sicherheitsniveau und die damit verbundene Schutzziele von Holzbauteilen keineswegs so schlecht einzustufen ist, wie die von den Richtlinien geforderten Kompensationen erfordern.

### Zusammenfassung der Brandschutzanforderungen

Durch die aktuelle OIB-Richtlinie 2 [1] des Jahr 2019 und deren neue Regelung der Gebäudeklasse 5  $\leq 6$  Obergeschosse bei der die A2-Anforderung (nicht brennbar) [2] entfallen ist, kann nun für das Brandverhalten der tragenden Baustoffe Holz verwendet werden, welches in die Euroklasse d-s2 einzuteilen ist. Frei auf Sicht belassene Holzoberflächen sind somit möglich auszuführen. Der Nachweis des Brandschutzes kann somit bei sichtbarem Holz mittels Nachweises des Abbrandes nachgewiesen werden.

Ausgenommen ist jedoch das Treppenhaus, falls dieses als Fluchtweg dient. Hierbei muss unterschieden werden, ob es sich um ein Stiegenhaus als einziger Fluchtweg oder einer von mehreren handelt. Nichtsdestotrotz sind beide in der gesamten Gebäudeklasse 5 aus einer nichtbrennbaren tragenden Struktur in A2, wie beispielsweise Stahlbeton, herzustellen. Für die Verwendung von Holzbauteilen für das Treppenbauwerk lautet eine Aussage von DI Frank Peter's: *„Eine Ausführung in Holz mit den entsprechenden Kompensationsmaßnahmen ist möglich, doch werden sie durch die hohen Anforderungen so gut wie nie durchgeführt“* und wird daher nicht als zielführend angesehen. Unterirdische Geschosse sind ebenso weiterhin mindestens mit dem Brandverhalten A2 in der tragenden Struktur zu fertigen.

Um eine Abweichung vom Baurecht ausführen zu können, ist es mögliche Brandkonzepte zu erarbeiten und Kompensationsmaßnahmen für den Brandschutz auszuarbeiten, damit dasselbe Sicherheitsniveau bzw. Schutzziel erreicht wird, wie es der Fall bei einer Ausführung nach der geforderten Richtlinie wäre. Dies wird in der OIB-Richtlinie 2 Leitfaden „Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte“ [18] behandelt.

Im Folgenden werden wesentliche Anforderungen der Gebäudeklasse 5 aufgelistet, wobei für diese Arbeit bzw. das im Anschluss bearbeitete Projekt in die Gebäudeklasse 5 mit  $\leq 6$  oberirdischen Geschossen einzuteilen ist (siehe Anhang).

In der Abbildung 2.7 bis Abbildung 2.8 ist ersichtlich, dass sich für die Gebäudeklasse 5 die Anforderung an den Feuerwiderstand im Bereich von REI 60 bis REI 90 lt. ÖNORM EN 13501-Teil 2 [12] (europäische REI-Klassen) bewegt. Die Bauteilanforderung im Stiegenhaus fordern weiters, dass das Brandverhalten A2 lt. ÖNORM EN 13501-Teil 1 [2] eingehalten wird.

In den nächsten Abbildungen (Abbildung 2.7 und Abbildung 2.8) sind die wesentlichen Anforderungsunterschiede der gesplitteten Gebäudeklasse 5 angeführt. Wird ein Bauwerk über 6 Geschosse geplant, ist ersichtlich, dass sich nur das Dachgeschoss in einer Holzbauvariante ausführen lässt. Für die restlichen tragenden Bauteile sind Brandschutzkonzepte auszuarbeiten, um Bauteile in Holzbauweise einarbeiten zu können.

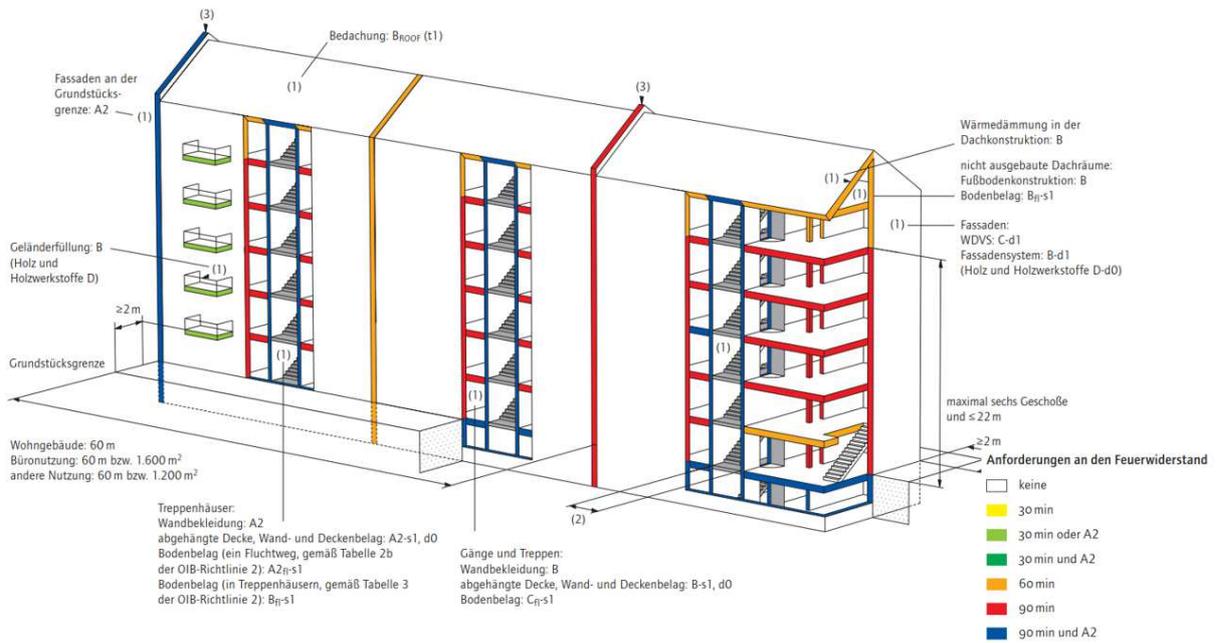


Abbildung 2.7: Anforderungen an Gebäude der Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Geschosse [19]

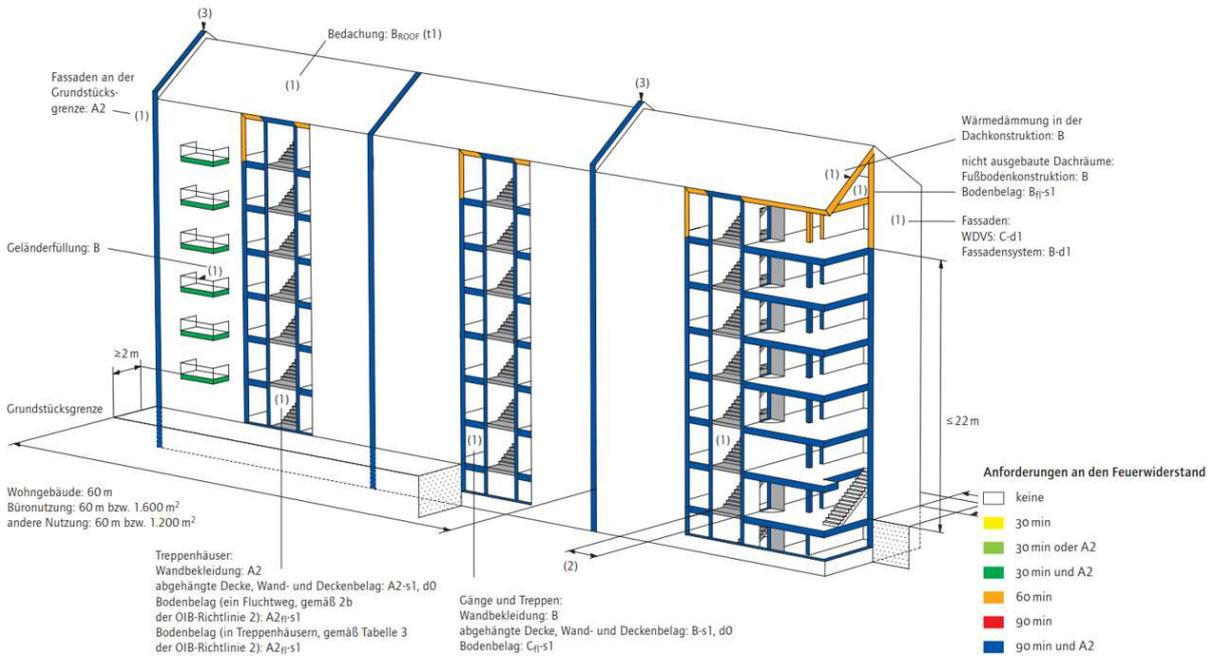


Abbildung 2.8: Anforderungen an Gebäude der Gebäudeklasse 5 > 6 Geschosse [19]

Brandschutzbekleidung – Kapselung

Werden Bauteile in einem Wohnbau gefertigt, die zusätzlich zu den Anforderungen des Brandwiderstandes noch ein gesondertes Brandverhalten (z.B.: Klasse A2 [2]) vorweisen müssen, werden bei der Verwendung von Holzbauteilen (die als brennbar in die Klasse D [2] eingeordnet sind) bauliche oder anlagentechnische Kompensationsmaßnahmen nötig. Damit soll dasselbe Schutzziel wie bei einer A2 Anforderung erreicht werden. Oftmals wird diese Kompensationsmaßnahme in Form von Kapselungen der Tragstruktur vorgenommen. Diese Brandschutzbekleidung wird mit dem Kriterium der Brandschutzfunktion „K“ der ÖNORM EN 13501-2 [12] bemessen, welches das Entzünden, Verkohlen und anderen Schäden des dahinter liegenden Bauteils erst ab

einem festgelegten Zeitraum zulässt. Alternativ kann eine Löschanlage (Sprinkler) als Kompensationsmaßnahme eingesetzt werden.

### Fassaden

Bei der Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Geschosse ist mit den Baustoff- und Bauteileigenschaften die Brandweiterleitung über die Fassade zu unterbinden, damit das zweite über dem Brandherd liegende Geschoss geschützt und das Herabfallen von Gebäudeteilen vermieden wird. [1] In der Ausgabe der OIB-Richtlinie 2 - 2019 [1] wird diese Anforderung als erfüllt erachtet, wenn die Dämmschicht mindestens mit der Brandeigenschaft A2 ausgeführt ist, die Befestigungs- und Verbindungselemente einen Schmelzpunkt größer gleich 1000 °C vorweisen, die Außenschicht in A2 ausgeführt sowie ein allfällig vorhandener Hinterlüftungsspalt kleiner 6 cm vorhanden ist. Die Außenhaut einer Fassade darf bis zu der Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Geschosse aus Holz gefertigt werden soweit die Dämmung den Brandschutzanforderungen A2 entspricht.

Um eine hinterlüftete Konstruktion nachweisfrei ausführen zu können, sind geschossweise Brandabschottungen vorzusehen. Diese können lt. ÖNORM B 2332 mit einem mind. 1 mm starken Stahlblechprofil welches mind. 20 cm auskragt (siehe ausgeführte Bauten in Kapitel 2.7.2 und 2.7.9) hergestellt werden oder gleichwertigem [20].

Für die Ausführung eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) sind für den Einsatz von expandiertem Polystyrol Sonderregelungen in der OIB-Richtlinie 2 [1] gegeben. Dabei ist die Anbringung des brennbaren Dämmstoffs (Klasse E) über 10 cm dicke gestattet, falls

- ◆ Brandschutzschotte mit einer Höhe von 20 cm aus Mineralwolle im Bereich der Geschossdecke angebracht werden und
- ◆ in den Sturzbereichen von Fenstern und Fenstertüren ebenfalls ein Brandschutzschott aus Mineralwolle mit einem seitlichen Übergriff von 30 cm und einer Höhe von 20 cm angeordnet werden.

Diese Anforderung trifft in der aktuellen Fassung der OIB-Richtlinie 2 [1] des Jahr 2019 eben nur auf den Dämmstoff EPS zu. Für ökologische Dämmstoffe, die üblicherweise als brennbare Dämmstoffe eingestuft werden, sind solche Ausnahmen nicht vorhanden und machen einen Einsatz im mehrgeschossigen Holzwohnbau somit nicht möglich. Die Planer sind gezwungen auf eine überschaubare Zahl von Dämmstoffen zurückzugreifen, für welche die Richtlinien keine Barrieren darstellen. Diese beschränken sich auf EPS, XPS, PIR und Mineralwolle. Durch die diffusionsoffene Eigenschaft von Mineralwolle im Gegensatz zu den geschäumten Dämmstoffen, fällt die bauphysikalisch optimale Wahl allein auf diesen fasrigen Dämmstoff.

### 2.2.3 Brandschutzeigenschaften der Baustoffe und Bauteile

#### Bemessung von Holzbauteilen im Brandfall

##### Abbrandrate von Holzbauteilen

Für das Brandverhalten von Holzbauteilen sind Holzart, Rohdichte und Ausgangsfeuchte, sowie die Dauer und der Verlauf des Brandes die wesentlichen Einflussfaktoren. Durch die hohe Erwärmung beim Brand verkohlt die Holzoberfläche über 290 °C. Diese Kohleschicht wird unter dem Begriff Pyrolyseschicht geführt. Beim Brand wirkt diese Schicht als dämmende Schicht ( $\lambda_{\text{Holzkohle}} \sim 1/6 \lambda_{\text{Holz}}$ ) die den Abbrand verlangsamt. Der verbleibende Restquerschnitt, welcher im Brandfall übrig bleibt, ist der Teil, der die Temperatur 200 °C (laut [14]) nicht übersteigt. Die Abbrandraten von verschiedenen Hölzern sowie Brandbeanspruchung sind aus Abbildung 2.9 zu entnehmen. Es ist anzumerken, dass der Wert  $\beta_0$  für einseitigen Abbrand (z.B.: bei Platten) und  $\beta_n$  für einen mehrseitigen Abbrand (z.B.: bei Tramdecken) heranzuziehen sind. [14] Bei einer mehrseitigen Brandbeanspruchung sind die Abbrandraten erhöht durch die Eckausrundungen und den Rissen in den Holzbauteilen.

Material	Rohdichte $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup>	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
<b>Nadelholz und Buche</b>			
Brettschichtholz	≥ 290	0,65	0,70
Vollholz	≥ 290	0,65	0,80
<b>Laubholz</b>			
Vollholz und Brettschichtholz	≥ 290	0,65	0,70
	≥ 450	0,50	0,55
<b>Furnierschichtholz</b>			
	≥ 480	0,65	0,70
<b>Platten (Dicke = 20 mm)</b>			
Holzbekleidung	≥ 450	0,90	–
Sperrholz	≥ 450	1,00	–
Holzwerkstoffplatten	≥ 450	0,90	–

**Abbildung 2.9: Abbrandraten von Holzbauteilen nach ÖNORM EN 1995-1-2 [14]**

Bei der Berechnung des Abbrands von Brettsperrholz ist ein beschleunigtes Abbrennen nach dem Abfall einer Decklage zu erwarten. Dies ist auf das Erweichen des Polyurethan-Klebstoffs zwischen den einzelnen Brettlagen und das dadurch frühzeitige Ablösen der Holzkohleschicht rückzuführen. [21]

Eine generelle Verzögerung des Abbrands kann durch das Aufbringen zusätzlicher Brandschutzbeplankungen aus Gips- oder Holzwerkstoffen sowie durch Anstriche, die bei Erwärmung aufquellen, erreicht werden. Da die Anstriche sehr kostenintensiv sind, sollten diese vermieden bzw. nur bei geringer Feuerschutzanforderung verwendet werden.

Bei der Bemessung von Holzbauteilen im Brandfall, auch Heißbemessung genannt, wird die Bemessung mit veränderten Eingangsparametern durchgeführt.

Bei der Einwirkungsseite können, laut ÖNORM EN 1991-1-2 [22], die Einwirkungskombinationsregeln nach ÖNORM EN 1991-1-1 [23] für die außergewöhnliche Bemessungssituation gewählt oder vereinfacht zum Zeitpunkt  $t=0$  ein Abminderungsbeiwert  $\eta_{fi}$  (aus ÖNORM EN 1995-1-2 [14]) zu der Bemessungsgröße  $E_d$  der maßgebenden Beanspruchung multiplizieren werden, um die konstante Bemessungsgröße für den Brandfall  $E_{fi,d}$  zu erhalten. [22]

### Bemessung von Betonbauteilen im Brandfall

Für die Ermittlung der Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen im Brandfall sind die Anforderungen in der ÖNORM B 1992-1-2 [24] gegeben. Die Mindestdicke der Betonplatten und die Mindestbetondeckung der Bewehrungsstäbe ist der Tabelle 2.2 zu entnehmen. Diese sind beim Projekt für die Holz-Beton-Verbunddecken von Relevanz.

**Tabelle 2.2: Mindestanforderungen von Betonplatten bei Brandeinwirkung [24]**

Brandwiderstand	Mindestdicken	Mindestbetondeckung
REI 60	80 cm	2 cm
REI 90	100 cm	2 cm
REI 180	150 cm	4 cm

## 2.2.4 Internationaler Vergleich von Brandschutzanforderungen für den Holzbau

Für den Brandschutz im Holzwohnbau werden weltweit die gleichen Ziele, wie

- ◆ die Entstehung von Brand und dessen Ausbreitung zu verhindern
- ◆ die Rettung von Menschen und Tieren
- ◆ Maßnahmen für Rettung und Löscharbeiten finden

verfolgt. [25]

Im internationalen Vergleich sind für Brandanforderungen unterschiedliche Gebäudeklassen und die damit verbundenen Brandschutzvorschriften nicht einheitlich geregelt und unterscheiden sich teilweise sehr stark. Unterschiede liegen hierbei in den Brandabschnitten, Fluchtweglängen, Materialwahl, Zusatzmaßnahmen (z.B.: Sprinkleranlagen), usw.. Bei einer umfassenden Befragung, warum es eine Höhenbegrenzung gibt, erläuterten Holzbauexperten die zeitliche Entwicklung, Kultur sowie Tradition des Holzbaus der Länder. Die Gefahren von Brand im Holzbau kommen nach Expertenmeinung eher von den geringen Erfahrungswerten und nicht direkt von der Holzbauweise. [26]

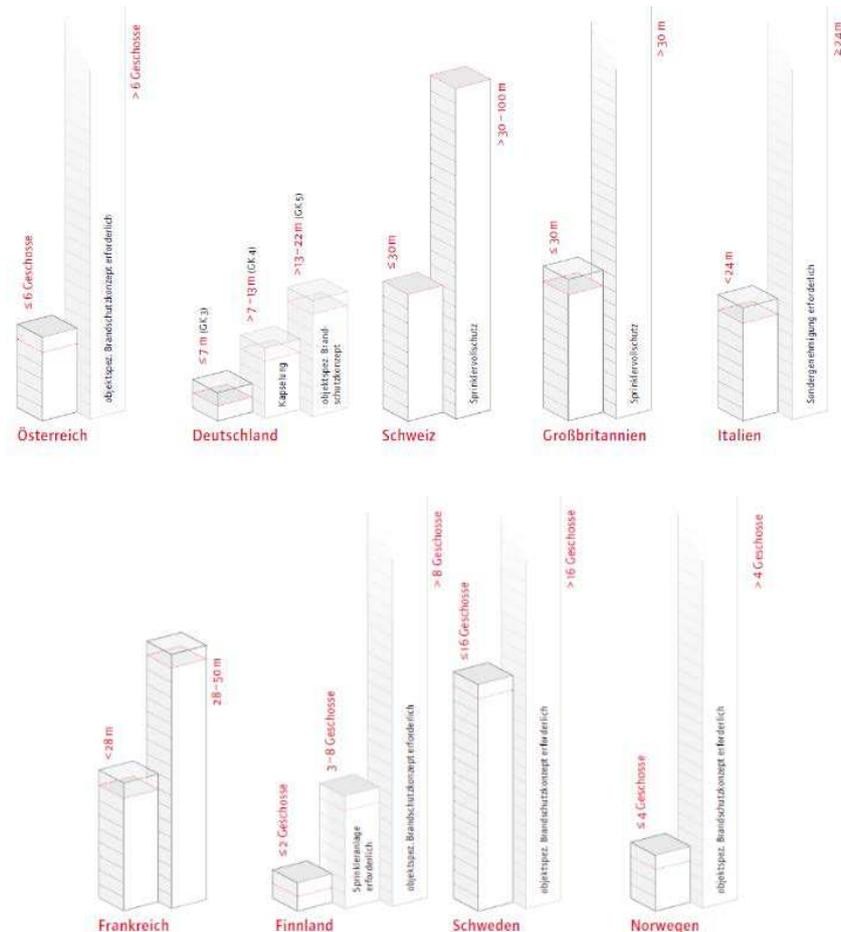
In Abbildung 2.10 wird ein Vergleich der Brandschutzanforderungen von diversen Ländern im europäischen Raum aufgezeigt. Zu erkennen sind die strengen Anforderungen in Österreich sowie Deutschland. Beim genannten österreichischen Nachbarn liegen die Anforderungen so hoch, dass bereits ab GK4 (ab 7,0 m Fluchtniveau) Zusatzaufgaben, wie beispielsweise das Kapselkriterium, erforderlich sind. Um diese Anforderungen einhalten zu können, sind vermehrt Nachweismethoden notwendig, die von Brandschutzexperten ausgeführt werden müssen. [27]

Bei den nordischen Ländern, Finnland und Norwegen, sind hohe Holzbauten mit einem Brandschutzkonzept zu planen. In Finnland ist ein Brandschutzkonzept bereits ab 3 Geschossen erforderlich.

Eine Sonderstellung nimmt in diesem Vergleich Italien ein, da dort für die Errichtung von Holzwohnbauten ab 24 m Bauhöhe eine Sondergenehmigung verlangt wird.

In der Schweiz, Großbritannien und Frankreich ist es, im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Ländern, viel einfacher Holzbauten in größeren Höhen zu errichten. Hier ist die Errichtung von Holzwohnbauten bis 50 m bzw. höher möglich, ohne spezielle Brandschutzkonzepte vorlegen zu müssen. Diese Höhe ist durchwegs ausreichend, um den überwiegenden Teil von Gebäuden in Holz errichten zu können. Schweden liegen mit 15 Geschossen maximaler Errichtungshöhe ohne Zusatzmaßnahmen durchwegs in einem akzeptablen Bereich.

Reinhard Wiederkehr vermutet, wie er in der Zeitschrift „Zuschnitt“ Ausgabe 59 [27] berichtet, dass sich die jeweilige Bauordnung sehr an den verheerenden Auswirkungen des zweiten Weltkrieges richten, bei welchen die Städte und deren Gebäude durch die Folgen der Bombenanschläge teilweise zur Gänze abbrannten (Österreich, Deutschland und England) und nur die nicht-brennbaren Mauern stehen blieben. Solch ein Szenario war in der Schweiz bereits 200 Jahre nicht mehr vorhanden. [27]



Land	Fluchthöhe/ Geschossanzahl	Anforderungen an die tragenden Bauteile in den Regelgeschosse	Land	Fluchthöhe/ Geschossanzahl	Anforderungen an die tragenden Bauteile in den Regelgeschosse
Österreich	≤6 Geschosse	R90 (+A2 für Treppenhaus)	Italien	≥12m bis 24m	R60
	>6 Geschosse	R90 + A2		>24m bis 32m	R60
	>22m	Brandschutzkonzept		>32m bis 80m	R90
Deutschland	≤7m	R30	>80m	R120	
	<7m bis 13m	R60 + K60 (Kapselkriterium)	Frankreich	<28m	R60
	>13m bis 22m	R90 + A2		≥28m bis 50m	R90
	>22m	Brandschutzkonzept		≤2 Geschosse	R30
Schweiz	≤11m	R30	Finnland	≤8 Geschosse	R60 + K <sub>1</sub> 10/K <sub>1</sub> 30
	<11m bis 30m	R60 (bei Sprinklervollschutz R30)		>8 Geschosse	R120
	<30m bis 100m	R60 (flächige Bauteile schwer brennbar)	Schweden	≤4 Geschosse	R60
Großbritannien	≤5m	R30		≤15 Geschosse	R90
	<6m bis 18m	R60		>15 Geschosse	R120
	<18m bis 30m	R90	Norwegen	≤2 Geschosse	R30
	>30m	R120		≤4 Geschosse	R60
Sprinklervollschutz	Brandschutzkonzept	Sondergenehmigung	>4 Geschosse	R90 + A2	

Abbildung 2.10: Ländervergleich der Brandschutzanforderungen für Holzwohnbauten [27]

### 2.2.5 Wärmeschutz

Beim Wärmeschutz im Hochbau wird der Wärmetransport zwischen Außen- und Innenlufttemperatur durch gedämmte Bauteile begrenzt. Somit kommt es zu einer Reduktion des Heizwärmebedarfs im Winter und des Kühlbedarfs im Sommer, was zu Energiekosteneinsparungen führt. Außerdem werden durch die geringeren Schwankungen der Raumlufttemperatur sowie der Temperatur der Innenoberflächen der Außenwand das Wohlbefinden (Behaglichkeit) der Bewohner gesteigert. Eine Vermeidung eines Temperaturabfalls der Außenwandinnenseite verhindert weiters eine Kondensatbildung, welche zu einem gesundheitsgefährdenden Schimmelbefall und einer Vermoderung der Holzbauteile mit sich ziehen kann.

Bei Wohngebäuden sind erhebliche Überlegungen für den Temperaturunterschied von Außen- und Innentemperatur in den Sommer- und Wintermonaten zu widmen. Beides wirkt sich wesentlich auf die Kosten sowie der Nachhaltigkeit über die Lebenszeit aus.

In der kalten Jahreszeit ist die Herausforderung, die Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle bestmöglich zu reduzieren. Dies wird mit einem hohen Wärmedurchgangswiderstand der Bauteile geschaffen. Bei Holzbauteilen ist ein wesentlicher Vorteil, dass hier sogar die tragende Schicht einen wesentlichen Teil zum Wärmeschutz beiträgt und nicht wie bei STB-Bauten die Tragstruktur einen guten Wärmeleiter darstellt. Dies führt unter anderem zu einer Verringerung der Wärmebrücken. Beim Holzrahmenbau, bei dem sich die Dämmebene in die tragende Ebene hineinzieht, sind sehr schlanke Wandaufbauten möglich.

Für die einzelnen Gebäudeteile liegen Mindestanforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizient in der OIB-Richtlinie 6 [28] vor (siehe Tabelle 2.3). Für das gesamte neu gebaute Wohngebäude muss außerdem nachgewiesen werden, ob der maximal zulässige Heizwärmebedarf (HWB) in Abhängigkeit der Geometrie sowie Referenzklima unterschritten wird [28].

Baustoffe bzw. Bauteile weisen eine Speicherfähigkeit der Umgebungstemperatur auf. Diese Eigenschaft verhilft dazu, dass sich die operative Innenraumtemperatur durch die Temperaturschwankungen über den Tag nicht zu stark auf die Innenlufttemperatur auswirkt. Man kann grundsätzlich davon ausgehen, dass schwere Baustoffe zugleich eine hohe Wärmespeicherfähigkeit aufweisen. Gegen die sommerliche Überwärmung können massiv flächenförmige Bauteile, wie Estriche, BSP-Elemente etc. als Pufferspeicher für die angezielte Innenraumtemperatur im Bauwerk herangezogen werden. Um sich sinnvoll vor einer Überhitzung der Innenräume schützen zu können, ist es ohnehin viel wichtiger, die lichtdurchlässigen Bauteile (Fenster, Glasflächen etc.) eines Bauwerks zu verschatten. Zusätzlich ist eine nächtliche Lüftung (natürliche Fensterlüftung oder mechanisch) des Gebäudes ebenso essenziell für ein angenehmes Innenraumklima. Grundsätzlich gilt je geringer die Speicherfähigkeit eines Gebäudes, desto mehr muss auf die Verringerung des Energieeintrages geachtet werden.

Tabelle 2.3: Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile in einem Wohnhaus lt. OIB-Richtlinie 6 [28]

Bauteil	U-Wert W/(m <sup>2</sup> *K)	
Wände	gegen Außenluft	0,35
	gegen unbeheizte Gebäudeteile und Garagen	0,60
	erdberührt	0,40
	zw. Wohneinheiten und Treppenhäuser innerhalb von Wohneinheiten	0,90 ---
Dach	gegen Außenluft und gegen Dachräume	0,20
	gegen Außenluft und gegen Dachräume	0,20
	gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
Decken	gegen getrennte Wohneinheiten	0,90
	gegen Außenluft	0,20
	gegen Garagen	0,30
Böden	erdberührt	0,40

Neben dem Wärmeschutz ist eine weitere Forderung der OIB-Richtlinie 6 [28] die Einhaltung der Luft- und Winddichtheit. Für Gebäude ohne mechanischer Lüftungsanlage darf die maximale Luftwechselrate den Wert 3,0/h und mit mechanischer Lüftungsanlage den Wert 1,5/h bei einem Differenzdruck von 50 Pa ( $n_{50}$ ) nicht überschreiten. Bei Wohngebäuden über 400 m<sup>2</sup> Brutto-Grundfläche muss dieser Wert für jede Wohnung bzw. Wohneinheit gesondert ermittelt werden. [28] Dies ist beim anschließenden Vergleichsprojekt der Fall. Werden BSP-Platten verwendet ist eine zusätzliche luftdichte Ebene nicht mehr vonnöten, da diese bereits eine ausreichende Luftdichtheit bereitstellen. Beim Holzrahmenbau kann dies mit Dampfsperrefolien oder OSB-Platten gewährleistet werden.

Die luftdichte Ebene verhindert die Durchströmung der Konstruktion von innen nach außen. Bei einer unsachgemäßen Ausführung kann dies zu einem Tauwasserausfall in der Konstruktion führen (siehe Abbildung 2.11). In der Fachsprache wird diese Luftbewegung auch Konvektion genannt. Neben dem Feuchteanfall in der Konstruktion wird der Wärmeschutz sowie die Oberflächentemperatur an der Innenseite vermindert. Diese Punkte erhöhen folgende Risiken, wie übermäßigen Energiebedarf, Zugscheinung, Schimmelbildung sowie Feuchteschäden an der Konstruktion. [29] Die winddichte Ebene erfüllt ähnliche Anforderungen, wie die luftdichte Ebene. Diese sitzt allerdings an der Außenseite der Konstruktion. Den beiden Schichten ist somit äußerste Sorgfalt, vorallem beim feuchteempfindlichen Holzbau und bei den Faserdämmstoffen, zukommen zu lassen. Für Konstruktionen in Holzbauweise ist es günstig, diese beiden Schichten sehr diffusionsoffen auszuführen, um eingetragene Feuchte wieder ausdiffundieren lassen zu können. [30]

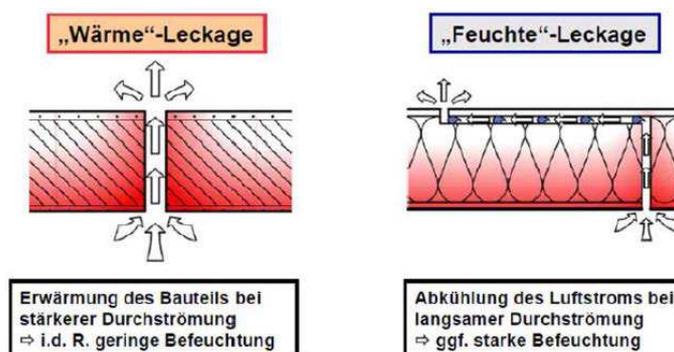


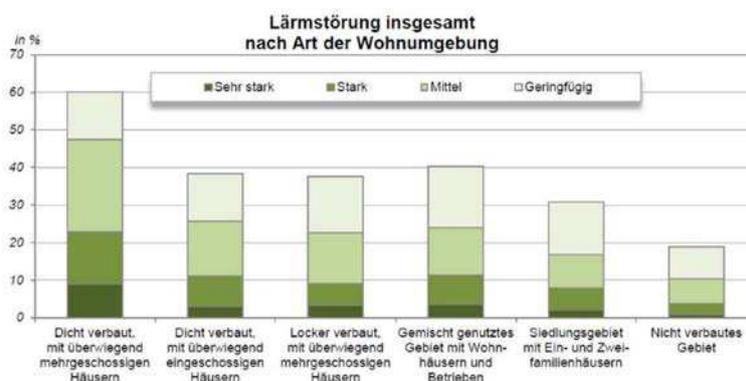
Abbildung 2.11: Wärme- und Feuchteleakagen in der luft- und winddichten Ebene [21]

## 2.2.6 Schallschutz

Unter Schall wird im Hochbau unterschieden zwischen dem Luftschall und dem Körperschall. Beide Schallarten werden durch eine mechanische Schwingung, die durch schwingende Masse-Teilchen von elastischen Medien entsteht, erzeugt. Der Luftschall entsteht durch Schallwellen, die sich über die Luft ausbreiten und beispielsweise durch Sprechen, Musik oder Verkehr hervorgerufen wird. Körperschall hingegen sind Schallwellen, die durch die Anregung eines festen Mediums hervorgerufen werden, wie es beim Gehen und Klopfen der Fall ist. Im Hochbau nimmt der Trittschall (Geschosdecken) eine besondere Stellung in Bezug auf Körperschall ein.

Im Wohnhausbau wird für die Klassifizierung die Schallimmission der bauliche Schallschutz verwendet. Dieser beschränkt die Schallimmission auf ein normativ geregeltes Maß in Räumen für den normal empfindlichen Menschen. Der einwirkende Schall auf eine Person ist jedoch sehr individuell und sollte an die Gegebenheiten angepasst werden. Wenn möglich muss der Schallschutz über die normativen Mindestanforderungen verbessert werden. Dieses Vorgehen würde die Behaglichkeit in den Innenräumen deutlich erhöhen. Die Aufgabe der Bauteile sowie des Gesamtsystems ist die Reduktion der störenden Schallwellen.

Bei einer Datenerhebung der Statistik Austria im Jahr 2015 wurde ermittelt in welchem Ausmaß Menschen in ihren Wohnbereichen durch Lärm und anderen Umwelteinwirkungen beeinträchtigt werden. Hierbei geht hervor, dass in dicht verbauten Gebieten in mehrgeschossigen Häusern bis zu 60 % der Bewohner über eine Lärmbelästigung klagen (siehe Abbildung 2.12). Verursacher der Lärmstörung setzt sich durch 49,5 % aus Verkehrslärm, 17,8% aus Baustellenlärm, 17,0 % aus Lärm von Nachbarwohnungen und weiteren untergeordneten Störquellen zusammen. [31]



**Abbildung 2.12: Lärmstörung bei Tag und/oder bei Nacht bei Menschen in ihrem Wohnbereichen – Datenerhebung des Mikrozensus 2015 [32]**

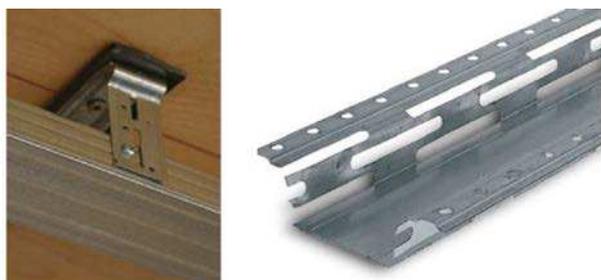
### 2.2.6.1 Ausführung für Schallschutzoptimierung

Um einen ausreichenden Schallschutz mit Holzbauteilen zu erreichen ist der Einsatz von mehrschaligen entkoppelten Aufbauten mit unterschiedlichen Massenverhältnissen unerlässlich.

Bei Deckenaufbauten in Holzbauweise ist dies am besten mittels schweren Deckenbeschüttungen und einem schweren schwimmenden Estrich herzustellen. Diese beiden Schichten sind weiters durch eine Trittschalldämmung mit sehr geringer dynamischer Steifigkeit (z.B. Mineralwolle) zu trennen. Die Deckenbeschüttung ist optimal mittels loser Splittschüttung herzustellen, wird jedoch aufgrund einer stabileren Lage von haustechnischen Leitungen bevorzugt mit einem Bindemittel abgemischt. Dieser Aufbau reproduziert im Ganzen einen klassischen Masse-Feder-Masse-

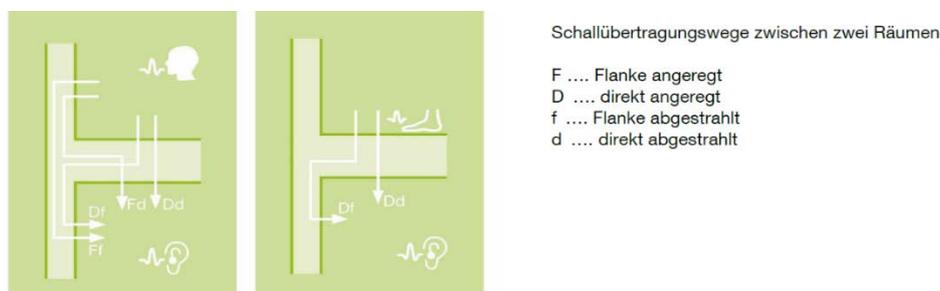
Aufbau. Eine weitere Verbesserung kann durch eine biegeweiche Deckenabhängung, welche zu entkoppeln ist, erfolgen (siehe Abbildung 2.13).

Bei Wandaufbauten in Leichtbauweise wird die Luftschalldämmung am effektivsten mit einem mehrschichtigen Aufbau und einer weichen Dämmung in den Hohlräumen hergestellt. Für Wände ist eine äußerst effiziente Schallschutzverbesserung, wie auch bei den Decken, mit einer zusätzlichen Anbringung einer biegeweichen entkoppelten Vorsatzschale zu erreichen (z.B.: mit dünnen Gipsplattenwerkstoffen).



**Abbildung 2.13: Schwingbügel mit elastischer Entkoppelung (links) und Federschien (rechts) [21]**

Im Holzbau ist durch das geringe Massengewicht eine Flankenübertragung des Schalls begünstigt (siehe Abbildung 2.14). [33] Um eine übermäßige Schallübertragung an den Flanken sinnvoll zu reduzieren, ist darauf zu achten, alle angeschlossenen Komponenten in den Eckbereichen von einer direkten Koppelung zu trennen. Dies kann mit elastischen Einlagen (z.B.: Polyurethane) oder biegeweichen Vorsatzschalen erzielt werden.



**Abbildung 2.14: Schallübertragung über die flankierenden Bauteile [34]**

Im Folgenden (Tabelle 2.4 bis Tabelle 2.6) werden die Mindestanforderungen der Schalldämmleistung von Bauteilen in Wohngebäuden lt. OIB-Richtlinie 5 [35] gezeigt.

**Tabelle 2.4: Mindestanforderung der Schalldämmung für Wohngebäude lt. OIB-Richtlinie 5 [35]**

Maßgebender Außenlärmpegel		Außenbauteile gesamt	Außenbauteile opak
[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Tag	Nacht	$R'_{res,W}$	$R_w$
≤45	≤35	33	43
46-50	36-40	33	43
51-60	41-50	38	43

Folglich kann sich dieser Wert durch besondere Umgebungseinwirkungen, wie beispielsweise Schienenverkehr oder Parkplätze, verändern (siehe ÖNORM B 8115-2 [36]). Für eine vereinfachte Ermittlung der gebietsbezogenen Schallimmission kann die Tabelle 1 in der ÖNORM B

8115-2 [36] nach Baulandkategorien herangezogen werden oder eine Lärmkarte (z.B: laerminfo.at [31]), wie es beim Vorzeigeprojekt angewendet wurde.

**Tabelle 2.5: mindesterforderliche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz in Wohngebäuden lt. OIB-Richtlinie 5 [35]**

zu	von	$D_{nt,w}$ [dB] ohne/mit Verbindung
Aufenthaltsräumen	Aufenthaltsräumen anderer Nutzungseinheiten	55/50
	allgemein zugänglichen Bereichen	
	Nebenräumen anderer Nutzungseinheiten	

**Tabelle 2.6: höchster zulässiger bewerteter Standard-Trittschallpegel in Wohngebäuden lt. OIB-Richtlinie 5 [35]**

in	aus	$L'_{nt,w}$ [dB]
Aufenthaltsräume	räumen anderer Nutzungseinheiten	48
	allgemein zugänglichen Terrassen, Balkone und Loggien	48
	allgemein zugänglichen Bereichen	50
	nutzbaren Terrassen, Balkone, Loggien	53

## 2.3 Ökobilanz

### 2.3.1 Allgemein

Der nachwachsende Baustoff Holz wurde im letzten Jahrhundert durch modernere mineralische Baustoffe großteils ersetzt. Im 21. Jahrhundert findet dieser einzigartige Baustoff jedoch wieder allmählich den Weg zurück in die Wohngebäude. Ein wesentlicher Grund dafür sind die ökologischen Eigenschaften. Die Energiebilanz von Holz kann über den gesamten Lebensweg von Herstellungsprozessen, Nutzung, Instandhaltung und der anschließenden Entsorgung des Rohstoffs vergleichsweise zum Stahl und Beton weitaus günstiger gestaltet werden. Das Ziel ist es den Holzbau in seinem Lebenszyklus so zu gestalten, damit die Nachhaltigkeit des nachwachsenden Rohstoffes in Kombination mit den Aufbauten in den Vordergrund rückt. [37]

Die Wälder sind eine der größten, ständig nachwachsenden Kohlenstoffspeicher. In österreichischen Forstgebieten wachsen jährlich rund 30 Millionen Kubikmeter im Jahr nach, von denen aber nur 26 Millionen Kubikmeter genutzt werden. Der Überschuss verbleibt als Kohlenstoffspeicher im Wald [38]. Wird ein Baum gefällt und in einem Gebäude verbaut, schafft dieser wieder Platz im Wald für einen neuen Baum und es entstehen aus einer Kohlenstoffsенке eine zweite. Werden Holzbauteile nach ihrer Nutzungszeit nicht mehr benötigt, können diese für einen neuen Nutzen herangezogen (Recycling) oder einfach verbrannt werden. Bei Verbrennung ist es möglich die Abwärme zur Energiegewinnung heranziehen und den Baustoff sinnvoll zu verwerten, ohne auf fossile Brennstoffe zurückgreifen zu müssen. Somit kann Holz neben den baulichen Aspekten nochmals genutzt werden. Der ausgestoßene Kohlenstoff wird bei der Verbrennung von den neu heranwachsenden Bäumen im Holz wieder aufgenommen und dadurch schließt sich der CO<sub>2</sub> Kreislauf (siehe Abbildung 2.15).

Die Verwendung fossiler Ressourcen bildet hingegen einen sehr kleinen Abschnitt der Menschheitsgeschichte. Diese brachten jedoch enorme positive sowie negative Auswirkungen mit sich. Bei mineralischen Baustoffen sind die Rohstoffe teilweise unter schweren technologischen und energielastigen Verfahren zu gewinnen und haben im Gegensatz zum Holz keinen Puffer für die ausgestoßenen Treibhausgase (CO<sub>2</sub>). Somit verbleiben diese Stoffe in der Atmosphäre, die sich dort nach und nach anreichert.

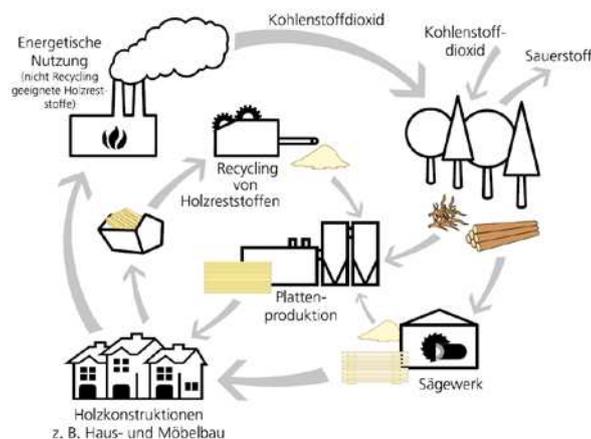


Abbildung 2.15: Kohlenstoffkreislauf von Holz [39]

Wesentlich für eine nachhaltige Entwicklung sind Einflussfaktoren, die sich aus ökologischen, ökonomischen, sozialen (Gesundheit und Wohlbefinden) sowie kulturellen Kriterien zusammensetzen. Im Bauwesen sind diese Merkmale von Relevanz wobei sich die kulturelle Entwicklung

nur schwer beeinflussen lässt. Für die Nachhaltigkeit eines Bauwerks über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, sind die ökologischen Auswirkungen bei der Baustoffproduktion, der Planungsphase mit deren Folgen auf verwendete Ressourcen, Auswirkungen der Bauphase und Nutzungszeit sowie dem Rückbau miteinzubeziehen.

Beim Planen eines nachhaltigen Bauwerks sind der geringe Ressourcenverbrauch, die Umweltauswirkungen und andere Faktoren maßgebend. Ein Gebäudeleerstand, ein frühzeitiger Gebäudeabriss mit einem anschließenden Neubau (Nutzungszeitraum) sowie hoher Materialeinsatz bei Umnutzungen sind für die Nachhaltigkeit genauso entscheidend. Bauteile, welche Schichten mit einer kürzeren Nutzungszeit als die für die primären Tragkonstruktion (ca. 100 Jahre) enthalten, sollten somit leicht voneinander zu trennen sein. Beispielhaft sind die Konstruktionsschichten (ca. 50 Jahre), den Fassadenaufbau (ca. 35 Jahre), die Fenster (ca. 35 Jahre), die Abdichtungen (ca. 25-35 Jahre) usw., da diesen eine andere Nutzungszeit zugeordnet werden kann. [40]

In dieser Arbeit werden folgende Fragestellungen für das Beispielprojekt ausgearbeitet:

- ◆ Sind Holzaufbauten ökologischer als die gewählten Aufbauten in Stahlbetonbauweise?
- ◆ Für welche Bauteile kann mit der Nachhaltigkeit in Holzbauausführung geworben werden?
- ◆ Sind die ökologischen Vorteile eines Bauteils aus Holz (falls vorhanden) wirtschaftlich vertretbar?
- ◆ Ist ein Entwicklungspotential vorhanden, um die Aufbauten ökologischer zu gestalten?

In Kapitel 2.2.1 wurden anfangs die OIB-Richtlinien erläutert, welche die Grundanforderungen der Bauproduktenrichtlinien darstellen. Für die Anforderungen der nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen gibt es in vom österreichischen Institut für Bautechnik jedoch bis dato „noch“ keine gültige Richtlinie. In der europäischen Verordnung, welche harmonisierten Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten festlegt, wird angegeben, dass ein Gebäude so entworfen, errichtet und abgerissen werden muss, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden können und weiters: [41]

- ◆ nach Abriss das Bauwerks, seine Baustoffe und Teile wiederverwendet oder recycelt werden können,
- ◆ das Gebäude dauerhaft ist und
- ◆ umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe im Bauwerk verwendet werden.

### 2.3.2 Nachhaltiges Bauen in der Stadt

Um den fortschreitenden Klimawandel entgegenzuwirken wird ein Umdenken in allen Lebensbereichen notwendig werden. Das Bauwesen, welches knapp ein Drittel des globalen Endenergieverbrauchs und etwa ein Fünftel aller Treibhausgasemissionen verursacht, wäre eine geeignete Stellschraube dafür. [37]

Speziell für die Stadtentwicklung ist der Holzwohnbau im mehrgeschossigen Wohnbau eine mögliche ökologischere Alternative, die in Betracht gezogen werden sollte. Bis dato leben mehr Menschen in Städten als je zuvor und bis zum Jahr 2050 wird sich die Zahl bis auf 6 Milliarden Menschen erhöhen. Zuzunehmen hat dies, dass rund 70 % aller Menschen in Städten leben werden. Eine nachhaltige Bauvariante die schnell, zuverlässig und gleichzeitig ökologisch und gesund ist, wird folglich nötig sein, um den Klimawandel sowie anderen Umweltauswirkungen entgegenzutreten. Zudem soll der Holzbau im ökonomischen Sinn seine Daseinsberechtigung haben. [42]

In der Zukunft wird sich der ökologische Baustoff Holz, der sich in der Vergangenheit schon bewährt hat, als Nachhaltigkeit noch eine untergeordnete Rolle einnahm, wieder neu behaupten müssen. Jedoch mit viel mehr Anwendungsmöglichkeiten, die durch neue Holzwerkstoffe möglich gemacht werden. Diese Neuentwicklung gestattet mehrgeschossige Bauwerke in den statischen Aspekten mit dem ökologischen Baustoff zu fertigen. Somit ist das Konzept, des zuvor genannten Kohlenstoffkreislauf, sogar bis hin zum Hochhausbau (siehe HoHo Wien in Kapitel 2.7.8) anwendbar. In Österreich ist es möglich alle neu errichteten Hochhäuser eines Jahres allein mit einem Drittel des heimisch nachwachsenden Holzes zu errichten. [42] Ein weiterer Weg den CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zu senken, ist die Speicherung des Kohlenstoffs in den Gebäuden (siehe Abbildung 2.16). Damit können Holzwohnbauten als Zwischenlager für den Kohlenstoff dienen. [37]



Abbildung 2.16: Konzept der Kohlenstoffspeicherung bei Holzbauten [37]

Derzeit werden im mehrgeschossigen Wohnbau immer noch 95 % aus konventionellen mineralischen Massivbaustoffen errichtet. [43] Der Einsatz von ökologischen Dämmstoffen liegt nach der Masterarbeit von Koppelhuber J. [43] unter 5 % (siehe Abbildung 2.17). Weiterhin sind die ausschlaggebenden Argumente, die aus Sicht der Planer und der Bauherren, gegen den Einsatz von ökologischen Dämmstoffen sprechen, der erhöhte Preis bei gleichzeitig schlechterer Dämmwirkung als bei den konventionellen Dämmstoffen. Rechtliche Unklarheiten, wie beispielsweise der Brandschutz ab der Gebäudeklasse 4 stellt ein weiteres Hemmnis dar.

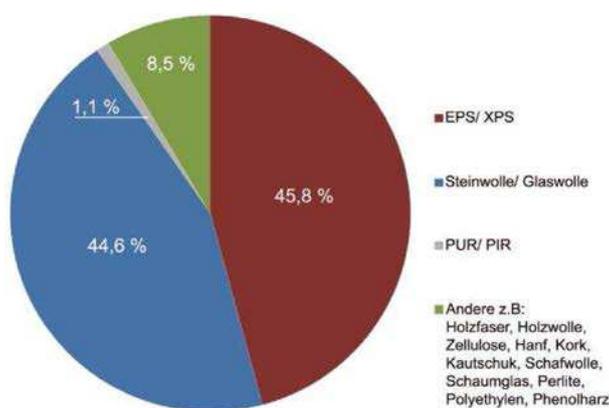


Abbildung 2.17: Marktanteil unterschiedlicher Dämmstoffe in Österreich im Jahr 2013 [43]

Nach einer Expertenbefragung von Koppelhuber J. [43] verwenden nur 6 % von 48 befragten Planer selten bis nie ökologische Dämmstoffe. Bei rund 96 % der Planer ist die Verwendung nachhaltiger Dämmstoffe manchmal bis immer ein Thema. Bei den Bauherren ist der Einsatz bei rund 85 % eine Überlegung wert. Nach der oben genannten Befragung liegt das Interesse bei den Bauherren für nachhaltige Dämmstoffe beim Einfamilienhausbau häufig bis immer vor. Beim Geschosswohnbau wird diese nachhaltige Variante aber nur mit knapp 50 % manchmal von den Bauherren in Betracht gezogen.

Jedoch ist dieser Grundgedanke des nachhaltigen Holzbaus mit Vorsicht zu genießen. Ökologisch wird ein Bauteil erst durch die richtige Wahl des Holzwerkstoffs in Kombination mit der richtigen Dämmung und den weiteren Aufbauschichten. Neben den reinen Auswirkungen der Herstellung müssen Faktoren, wie Lebensdauer, Transport, Recycling, Entsorgung, usw. der Baustoffe bzw. Bauteile mitberücksichtigt werden. Dabei kann die Ökobilanzierung herangezogen werden, die im Kapitel 2.3.3 erläutert wird. In dieser Arbeit wird die ökologische Bewertung rein auf den Herstellungsprozess (lt. DIN EN 15804 [44]) bezogen.

### 2.3.3 Bewertungsmethodik der Nachhaltigkeit

Die zuvor begonnene Diskussion über die ökologischen Vorteile durch den Einsatz von Holz in Bauwerken, wird im Kapitel 3 an einem mehrgeschossigen Wohnbau erläutert. Dabei soll durch das Abwiegen der einzelnen Vor- und Nachteile von Baustoffen sowie Baustoffgruppen (Aufbauten) geklärt werden, ob sich die Holzbauweise als ökologisch herausstellt. Vorwiegend werden hierbei die tragenden Bauteile mit einem hohen Flächenanteil im Gebäude untersucht (Geschossdecken, Außenwände, etc.).

Es gibt folgende drei Strategien für eine Umsetzung der Nachhaltigkeit für Planer und Hersteller: [45]

- ◆ Suffizient (geringer Bedarf an Ressourcen)

Vorwiegend liegt hier die Reduktion des Raumbedarfs, Ausstattungsqualität und Technisierungsgrades im Vordergrund. Hierbei wird durch Hinterfragung auf die individuellen Bedarfsansprüche eingegangen. Beispielsweise wieviel Wohnraum pro Person notwendig ist. Ressourcen- und Energieverbrauch der menschlichen Ansprüche bilden die Ermittlungsbasis. Dieser Faktor ist sehr stark mit der gesellschaftlichen Denkweise verknüpft.

- ◆ Effizient (Ressourcenproduktivität)

Für dieses Vorgehen muss eine Leistungssteigerung des Gebäude- und Bauteilverhaltens erarbeitet werden. Zum einen kann durch effizientere Verwendung von Baustoffen und Flächen, zum anderen eine erhöhte gebäudetechnische Ausstattung, die betriebsorientiert ausgerichtet ist, gewählt werden.

- ◆ Konsistenz (Planung nach ökologischem System)

Repräsentiert die Nutzbarkeit von nachwachsenden Rohstoffen, Recyclingmaterialien, sowie erneuerbare Energie. Weiters sind hier besonders langlebigen Konzepte einzuordnen die gesundheitlich Unbedenklich sind.

In dieser Arbeit wird näher auf die Konsistenz eingegangen und eine ökologische Untersuchung der ermittelten Aufbauten und den Auswirkungen einzelner Aufbauschichten und auf die Gefahren in nachhaltigem Gesichtspunkt aufgezeigt.

Holz ist der einzige Baustoff, der für tragende Funktionen herangezogen werden kann und nebenbei alle drei Kriterien erfüllt.

Für die Wirkungsabschätzung stehen zahlreiche Indikatoren der Baustoffe zu Verfügung, wie: (lt. DIN EN 15978 [46])

- ◆ Ressourceninanspruchnahme (Gesamtprimärenergiebedarf PE)
  - Primärenergiebedarf aus nichterneuerbaren Quellen (PENRT)
  - Primärenergiebedarf aus erneuerbaren Quellen (PERT)
- ◆ Umweltwirkungen
  - Treibhauspotential (GWP)
  - Ozonabbaupotential (ODP)
  - Versauerungspotential (AP)
  - Eutrophierungspotential (EP)
  - Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP)
  - Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen (ADP)
  - Entsorgungsindikator (EI)

Diese bilanzierenden Kennzahlen erreichen global, regional und lokal unterschiedliche Einflussstärken.

### Datenerhebung

Die einzelnen umweltbezogenen Daten für die Berechnung der Umweltbelastung können mit den Umweltdeklarationen (EPDs) bestimmt werden. Diese EPDs bilden die Grundlage für die Einhaltung der Grundanforderung der europäischen Bauproduktenverordnung. Diese beschreiben die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauproduktes. Durch die europaweite Vereinheitlichung dieser Kennwerte ist es möglich, Produkte länderübergreifend auf ihre Umweltauswirkungen zu vergleichen. Die EPDs enthalten zudem über die Systemgrenzen hinausgehende Deklarationen über Gut- und Lastschriften und beziehen sich allesamt auf spezifische Bezugsgrößen, wie beispielsweise Quadratmeter, Kubikmeter und Kilogramm, die einen linearen Zusammenhang aufweisen. Bei den einzelnen Vergleichen der Baustoffe ist es essenziell, immer von der gleichen funktionalen Einheit auszugehen.

### Bewertungsmethodik mittels Ökoindex 3

Die Wahl der richtigen Materialien in den verschiedenen Aufbauten ist ein Thema, welches immer wichtiger wird, da der Energieeinsatz bei der Herstellung eines Gebäudes circa so hoch liegt, wie der Energieaufwand für die Beheizung eines Niedrigenergiehauses im Zeitraum von 50 Jahren. [47]

Eine quantitative, punktbasierende Bewertungsmethodik für Baustoffe bzw. Konstruktionen stellt der Ökoindex 3, der im Jahre 2003 vom österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (kurz IBO) entwickelt wurde, dar. Dieser arbeitet auf Basis von Umweltindikatoren (EPDs), die zum Vergleich von verschiedenen Baustoffen, Konstruktionen und gesamter Gebäude herangezogen werden können. Die Bewertung des OI3 erfolgt anschließend anhand eines Punkteschemas von 0 bis 100 Punkten. Dabei sind 100 Punkte sehr umweltbelastend und 0 Punkte äußerst ökologisch optimierte Konstruktionen. Für die Ermittlung von Aufbauten sollten Konstruktionen mit hohem OI3<sub>KON</sub> optimiert oder in ihrem Anteil im Gebäude (z.B.: m<sup>2</sup> oder m<sup>3</sup>) reduziert werden. Die schlechte Bilanzierung bei Holzaufbauten folgt oftmals nur aufgrund einzelner Schichten. Als sehr

Umwelt belastende Bauteile in einem Wohnbau zählen üblicherweise Fundamente, Dächer, Fenster, Türen, usw..

Der Ökoindex 3 bezieht sich auf die drei sehr energielastigen Umweltindikatoren, Treibhauspotential (Beitrag zur globalen Erwärmung (GWP)), Versauerungspotential (AP) und den Bedarf an nichterneuerbare Primärenergie total (PENRT), die auch als „graue Energie“ bezeichnet wird.

Für die Reduktion des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre ist Holz der einzige Werkstoff, der im Gesamten gesehen mehr speichern kann, als er bei der Produktion ausstößt. Einer der wichtigsten Einflussfaktoren, der diese Eigenschaft berücksichtigt, ist das Global Warming Potential (GWP), welcher unter dem Begriff ökologischer Fußabdruck gehandhabt wird. Dieser wird mit einer Integrationszeit (Zeithorizont) für hundert Jahre (GWP<sub>100</sub>) angegeben, welcher die Verweildauer der Klimagase (hier CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre mitberücksichtigt. [37] Das GWP berücksichtigt den Anteil in der gespeicherten Biomasse sowie den CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der zur globalen Erwärmung beiträgt.

Der Primärenergieinhalt (PE) wird in Megajoule (MJ) angegeben. Dieser Wert beschreibt den Bedarf an Energie, die bei der Herstellung der jeweiligen Produkte benötigt wird. Dieser Wert unterscheidet zwischen erneuerbarer (PERT) und nichterneuerbarer (PENRT) Energie und stellt ein Maß für die Ressourceneffizienz dar.

In kg SO<sub>2</sub> äquivalent wird das Versauerungspotential (AP) angegeben. Hier versteht man die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säure. Diese führt unter anderem zu saurem Regen. Als Folge sind Waldschäden, übersäuerte Böden und tote Gewässer zu erwarten. Dieser Faktor wird vorwiegend durch Abgase von Schornsteinen (Produktion), Fahrzeuge (Transport), usw. geprägt.

Um schlussendlich eine Bewertung zu erhalten, wird die Wirkungsbilanz nach dem Ökoindex für die Konstruktion (OI<sub>3KON</sub>) berechnet. Dieser setzt sich aus den ΔOI<sub>3</sub>-Werten der einzelnen Schichten zusammen. Anhand der ΔOI<sub>3</sub>-Indizes können Schichten rausgefiltert werden, die den OI<sub>3KON</sub>-Wert erheblich verschlechtern. Somit ist es möglich einzelne Schichten, die am meisten Einfluss haben, gegebenenfalls auszutauschen oder in ihrem Flächen- bzw. Masseanteil (z.B: Schichtdicke) zu verringern. Dieser OI<sub>3KON</sub>, der sich auf die gesamte Konstruktion bezieht, setzt sich dabei aus der Mittelung der Teilindikatoren OI<sub>PENRT</sub>, OI<sub>GWP</sub> und OI<sub>AP</sub> (siehe Formeln (2.1) bis (2.4)), der einzelnen Bauteilschichten zusammen und bezieht sich dabei auf einen Quadratmeter Bauteilfläche und einem Nutzungszeitraum, welcher für den Wohnbau auf 100 Jahre angesetzt wird. Diese wird anschließend in die Klasse A (sehr geringe ökologische Belastung) bis Klasse E (sehr hohe ökologische Belastung) eingeordnet und für die Vergabe von Wohnbaufördermittel in einigen österreichischen Ländern herangezogen. Diese Klassifizierung wird jedoch in dieser Arbeit nicht näher behandelt. Beizufügen ist, dass keine geografischen Grenzen unterschieden werden. [40].

$$OI_{PENRT} = \frac{1}{10} * (x - 500) \left[ \frac{MJ}{m^2} \right] \quad \text{Umrechnung von MJ pro 1 m}^2 \text{ Konstruktionsfläche in OI}_{PENRT}\text{-Punkte als Indikator für Ressourcenverbrauch} \quad (2.1)$$

$$OI_{GWP} = \frac{1}{2} * (x + 50) \left[ \frac{kgCO_2\text{äquiv.}}{m^2} \right] \quad \text{Umrechnung von kg CO}_2\text{-äquiv. pro 1 m}^2 \text{ Konstruktionsfläche in OI}_{GWP}\text{-Punkte als Indikator für Treibhauspotential} \quad (2.2)$$

$$OI_{AP} = 400 * (x - 0,21) \left[ \frac{kgSO_2\text{äquiv.}}{m^2} \right] \quad \text{Umrechnung von kg SO}_2\text{-äquiv. pro 1 m}^2 \text{ Konstruktionsfläche in OI}_{AP}\text{-Punkte als Indikator für Versauerungspotential} \quad (2.3)$$

$$OI3_{KON} = \frac{1}{3}OI_{PENRT} + \frac{1}{3}OI_{GWP} + \frac{1}{3}OI_{AP} \quad \text{Mittelung von } OI_{PENRT}, OI_{GWP} \text{ und } OI_{AP} \text{ pro } 1 \text{ m}^2 \text{ Konstruktionsfläche für } OI3_{KON}\text{-Punkte als Indikator für die Ökobilanz einer Konstruktion} \quad (2.4)$$

Bei der anschließenden Beurteilung der Aufbauten wird die Nutzungsdauer der einzelnen Bauteilschichten nicht gesondert bewertet. Für eine Lebenszyklusanalyse ist dieser Faktor jedoch von äußerster Bedeutung und kann die Nachhaltigkeit von Aufbauten bzw. Gebäuden wesentlich beeinflussen. Beispielsweise ist die Nutzungsdauer einer hinterlüfteten Holzfassade oder einem verputzten WDVS bei unterschiedlichen ortsbezogenen klimatischen Bedingungen (Seehöhe, Meeresumgebung, Temperatur usw.) sehr unterschiedlich zu bewerten.

Für die Ermittlung dieser Kennzahlen wird in dieser Arbeit das vom österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) entwickelte Berechnungsprogramm *www.baubook.info* [48] herangezogen.

### Bewertungsmethodik mittels Ökobilanzierung LCA

Um eine umfangreichere Bilanzierung des Gebäudes zu erhalten als welche mit dem Ökoindex 3 ermittelt wird, muss eine umfassendere Bewertung über den Lebenszyklus erfolgen. Dies müsste jedoch bereits in der Entwurfsphase des Wohnbaus angesetzt werden, um ein ökologisches Gebäudekonzept entwickeln bzw. an die frühen Planungsstände Anpassungen vornehmen zu können. Dieser Aufwand wird derzeit ungern vergütet, obwohl langlebige und wartungsarme Materialien bei einem langen Betrachtungszeitraum eine deutlich bessere ökologische Bewertung vorweisen können.

Für eine tiefgründigere Ermittlung von ökologischen Kennwerten bzw. Umweltauswirkungen stellt die Ökobilanzierung ein sehr zielführendes Vergleichsinstrument dar. Dieses bewertet und unterteilt die Baustoffe bzw. Aufbauten über den gesamten Lebenszyklus in ihren Stoff- und Energieströmen (Sachbilanz) und klassifiziert und charakterisiert die zu erfassenden Substanzen hinsichtlich ihrer Umweltauswirkung (Wirkungsabschätzung). [49] Bei dieser Methode werden mehr ökologische Kennzahlen betrachtet als beim Ökoindex 3 (siehe Kapitel 2.3.1).

Die Grundlage für die ökologische Bewertung bilden die Normen DIN EN ISO 14040 [50] und DIN EN ISO 14044 [51]. Als Spezialisierung der Ökobilanz auf Gebäude (Gebäudezertifizierungssystem) liegt die DIN EN 15978 [46] als Grundlage bereit. Letztere Norm gibt an, wie mit den Daten umgegangen werden muss. Diese werden in einzelne Module unterteilt, die den Lebenszyklus eines Produktes beschreiben: [46]

- ◆ A1-A3: Herstellung
- ◆ A4-A5: Bau und Errichtung
- ◆ B1-B7: Nutzung (Instandhaltung, Ersatz)
- ◆ C1-C4: Entsorgung (End of Life)
- ◆ D: Recycling

Der OI3 bezieht sich nur auf die Herstellungsphase (Modul A1-A3), die sogenannte Werkbilanz. Für die gesamte Lebenszyklusanalyse sind jedoch die Errichtungsphase (Modul A4-A5), Nutzungsphase (Modul B1-B7) und Entsorgungsphase (Modul C1-C4) sowie das Recyclingverhalten (Modul D) ebenso wichtig und können die Nachhaltigkeit eines Bauteils wesentlich beeinflussen (siehe Abbildung 2.18). [49] Um eine umfangreichere Ökobilanzierung von Bauwerken vorzunehmen, welche Datensätze der Ökobilanz für Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und

Entsorgungsprozesse enthält, steht beispielsweise die Plattform ÖKOBAUDAT [49] zu Verfügung. Mit diesen Daten kann der gesamte Lebenszyklus des Bauwerks ermittelt werden.

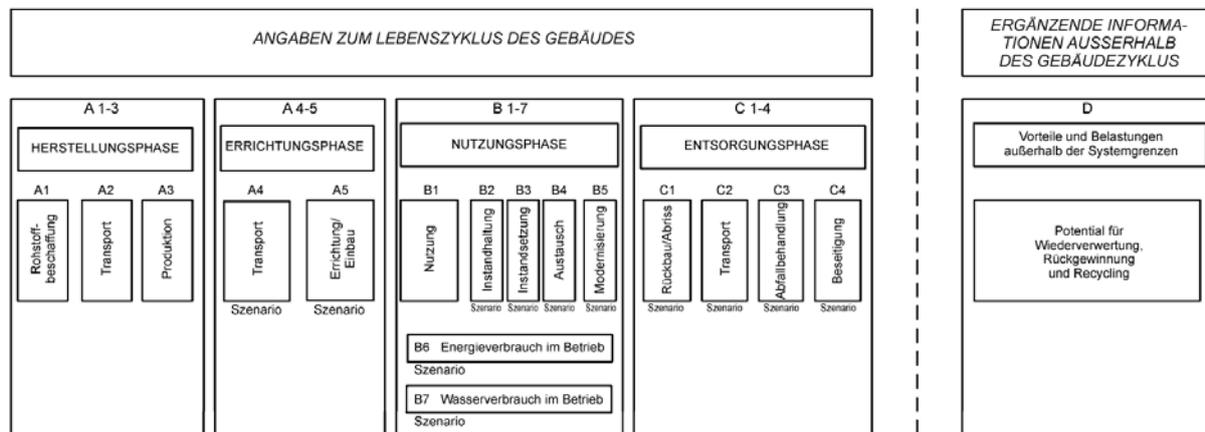


Abbildung 2.18: Lebenszyklusstadien eines Gebäudes eingeteilt in Module A bis D [46]

Für die Wahl der Aufbauten ist ein entkoppelter Aufbau der Bauteilschichten ebenso essenziell, damit Schichten mit geringerer Nutzungsdauer leicht austauschbar für die Instandsetzung sind.

### Grundsätze zur Baustoffwahl

Um die Umweltauswirkungen möglichst gering zu halten, ist die richtige Wahl der einzelnen Baustoffe in den Schichtaufbauten wesentlich. Laut dem österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) [47] sollen Baustoffe:

- ◆ erneuerbar bzw. nachwachsend,
- ◆ recyclebar bzw. gut entsorgbar,
- ◆ regional (kurze Wegstrecken),
- ◆ einfach in der Herstellung,
- ◆ schadstofffrei und frei von gefährlichen Inhaltsstoffen und
- ◆ langlebig,

sein, um ein nachhaltiges Bauwerk zu erzeugen, auch wenn keine gesamten Ökobilanzierung vorgenommen wird.

## 2.4 Tragelemente im Wohnbau

Die Tragelemente in der heutigen Zeit unterscheidet sich wesentlich von denen, der letzten Generation. Im letzten Jahrhundert wurden beispielsweise vermehrt einachsig gespannten Holzbalkendecken und einachsig gespannten Ziegeleinhängedecken verwendet. Mit dem Aufkommen des Stahlbetons wurden diese Decken überwiegend durch dieses Ausgangsmaterial abgelöst. Heutzutage gibt es unzählige Deckenarten, sowohl mit mineralischen Baustoffen sowie Holzwerkstoffen, wobei die Betondecken häufiger im Einsatz sind. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die Ausführung von horizontal und vertikal tragenden Bauteilen gegeben, die in einem Wohnbau zum Einsatz kommen.

### 2.4.1 Betondecken

#### Massivdecken

Eine der gängigsten Deckensysteme stellt die flache Ortbetondecke dar. Diese wird zur Gänze vor Ort hergestellt. Für die Herstellung ist eine vorgefertigte Schalung notwendig, auf der eine Bewehrung verlegt wird. Der Schalkörper mit dem verlegten Bewehrungsstahl ist anschließend mit frischem Beton zu verfüllen. Die Aushärtezeit ab dem Vergießen des Betons benötigt mind. 3 Wochen bis die untergestellte Schalung entfernt werden darf. Durch die reine Baustellenfertigung und den vor Ort herrschenden Bedingungen kann die Deckenqualität jedoch Schwankungen unterliegen.

Bei dieser Deckenart ist es äußerst einfach, komplexe Grundrissgeometrie herzustellen. Durch den vollen Querschnitt aus Beton ist die wirksame Speichermasse und der Körperschallschutz, in Kombination eines schwimmenden Deckenaufbaus hoch, jedoch ist die Wärmedämmeigenschaft sehr schlecht. Die Decke kann darüber hinaus mehrachsig gespannt werden, was zu erheblichen Tragreserven führt. Der hohe Feuerwiderstand eignet sich optimal, um den hohen Anforderungen der Normgebung im mehrgeschossigen Wohnbau gerecht zu werden. [45]

Die wirtschaftlichen Spannweiten befinden sich im Bereich bis zu 6,5 m einachsiger und bis zu 8,0 m bei zweiachsiger Spannrichtung. Diese Deckenart weist zudem eine hohe Scheibenwirkung auf. [52]

Bei Betonelementdecken (siehe Abbildung 2.19) wird angestrebt, den Schalungsaufwand einer Decke zu minimieren. Hierbei kommen im Werk vorgefertigte Teilfertigteile zum Einsatz. Diese beinhalten bereits die untere (Haupt-)Bewehrung und werden als Ersatz für die Schalung verwendet. Der entfallene Schalungsaufwand führt zu einer erheblichen Arbeitsminimierung und schnelleren Abwicklung des Bauprozesses.

Alles in allem weist die Decke aus Teilfertigteilen dieselben Eigenschaften wie die Ortbetondecke auf, nur mit dem Unterschied, dass die vorgefertigte Schalung sowie der damit verbundene Schalungsaufwand/-zeit entfallen. Es müssen hier lediglich die Fertigteile auf die Baustelle transportiert und dort mit dem Kran versetzt werden. [45]

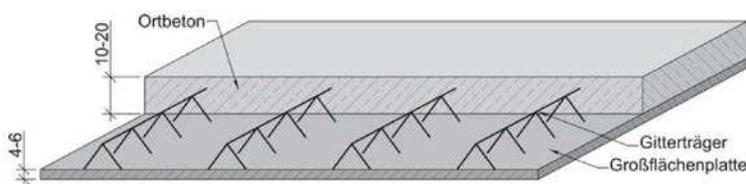


Abbildung 2.19: Aufbau einer Elementdecke [45]

## Spannbeton Hohldecke

Bei der Hohlplatte handelt es sich um eine im Werk hergestellte vorgespannte Betonplattendecke, die ohne Schalung auf der Baustelle montiert wird und bereits beim Einbau ihre gesamte Tragfähigkeit besitzt. Diese weist durch die eingelegten Verdrängungskörper in Plattenlängsrichtung eine Betoneinsparung von rund 40 % [53] auf und sorgt damit für ein geringeres Bauteilgewicht sowie einen geringeren Ressourcenverbrauch (siehe Abbildung 2.20). Die Decke enthält im Gegensatz zur STB-Decke viel weniger Bewehrungsstahl und durch die Vorspannung kann eine höhere Schlankheit bei gleichen statischen Eigenschaften erreicht werden. Die üblichen Deckenstärken für den Wohnbau liegen im schlanken Bereich von 16, 20 und 26 cm. Als statisches System kommt ein Einfeldträger zum Einsatz, der keine Querkraftkoppelung zu den anderen Elementen besitzt. Eine ausreichende Schubtragwirkung für die Gebäudeaussteifung kann mittels Fugenverguss sowie Fugen-, Anschluss- und Rostbewehrung hergestellt werden.

Durch den fehlenden Betonquerschnitt (Masse) kommt es zu einer Verschlechterung des Körperschallschutzes. Jedoch können Leitungen in den Hohlräumen verlegt werden. [45]

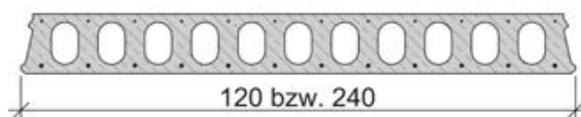


Abbildung 2.20: Querschnitt einer Spannbetonhohlplatte [45]

### 2.4.2 Holzdecken

Bei den zahlreichen Deckenvariationen im Holzbau kann prinzipiell zwischen Balkendecken mit und ohne Beplankungen und massiven Holzdecken unterschieden werden. Diese Holzdecken können mit einer Aufbetonschicht versehen werden, welche statische und bauphysikalische Vorteile mit sich bringt und im Folgenden erläutert werden.

Für den Einsatz von Holzdecken in Wohngebäuden ist zu berücksichtigen, dass die Biegesteifigkeit von Holzdecken wesentlich niedriger ist als von Betondecken. Dies ist vor allem auf dem geringen Elastizitätsmodul von Holz zurückzuführen (siehe Tabelle 2.7). Daher ist es wesentlich im Wohnbau den Durchbiegungs- und Schwingungsnachweisen besondere Beachtung zu schenken.

Tabelle 2.7: Elastizitätsmodul verschiedener Baustoffe [54] [55] [16]

Holz (Faserparallel)	Beton	Betonstahl	Baustahl
[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
~ 9500 - 12000	~ 29000 - 37000	200000	210000

Für den mehrgeschossigen Wohnbau in der Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Geschosse sind besonders die massiven Deckenaufbauten von Bedeutung, da mit diesen die Anforderungen der diversen Normen und Richtlinien erfüllt wurden. Die Verlegung der Decken erfolgt im trockenen Zustand bzw. mit leichtem Feuchteintrag bei Hybridlösungen. Wirtschaftliche Deckenspannweiten sind aus Tabelle 2.8 zu entnehmen.

Tabelle 2.8: wirtschaftliche Deckenspannweiten in Holzbauweise [52]

Balkendecke	bis 4,0 m
Hohlkastendecke	ab 4,5 m
BSP-Rippendecke	ab 5,5 m
Massivdecken (Einfeld)	bis 5,0 m
Massivdecken (Mehrfeld)	bis 6,0 m
HBV-Decken	ab 5,5 m

### Balkendecke und Holzrahmendecken

Bei Balkendecken werden stabförmige Vollholz- und Brettschichtholzträger verwendet, die in einem Abstand von rund 70 – 90 cm angeordnet werden (siehe Abbildung 2.21). Diese Ausführungsvariante ist durch ihre hohe Flexibilität gekennzeichnet, die nebenbei sehr wenig Holzmassen benötigt und daher eine der wirtschaftlichsten Deckenvarianten darstellt. Nachteilig sind jedoch die aufwendigeren Auflagerdetails sowie eine erhöhte Deckenstärke. Da keine vollflächige Tragschicht vorhanden ist, sind Brand- und Schallschutz sowie aussteifende Funktionen mit dieser Deckenvariante nur mit Zusatzmaßnahmen zu erfüllen. Der Einsatz in der Gebäudeklasse 5 kann dabei zu Schwierigkeiten in der Umsetzung führen, da dabei die genannten Nachteile alle von Relevanz sind.

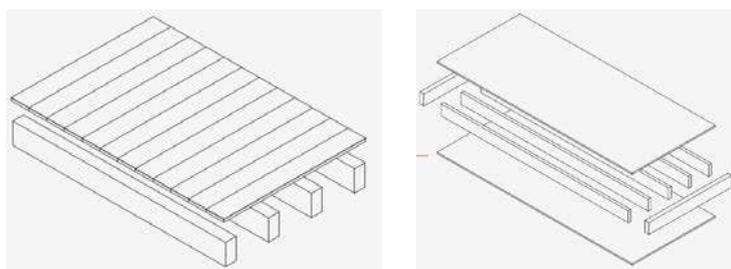


Abbildung 2.21: Aufbau einer Balkendecke (links) und Holzrahmendecke (rechts) [56]

Bei den Ausführungsvarianten der Holzrahmendecke (siehe Abbildung 2.21) sind die Deckenbalken bereits im Werk ein- oder beidseitig mit einem Plattenwerkstoff beplankt und bei der Tafelbauweise sind diese aus dünnen Plattenwerkstoffen hergestellt, die vorwiegend als Tragschicht für die Aufbauten sowie für eine aussteifende Funktion sorgen. Werden diese Plattenwerkstoffe massiver ausgeführt, wie beispielsweise mit Brettsperrholzplatten die schubfest mit den Balken verbunden werden, sind diese bei einseitiger oberer Beplankung als Rippendecke und bei beidseitiger als Hohlkastendecke, bekannt. Diese Ausführungen verringern somit Arbeiten auf der Baustelle und können je nach Beplankungsart die Brand- und Schallschutzanforderungen der Balkendecke verbessern. Der Einsatz von schubsteif verbundenen Plattenwerkstoffen führt zu einer geringeren Deckenhöhe als bei den Balkendecken. Weiters lässt sich eine erhöhte Schubsteifigkeit für Horizontaleinwirkung und eine geringere Schwinganfälligkeit erreichen. Die Hohlkörperdecke hat deutlich weniger Holzmasse als eine massive Brettsperrholzdecke, erreicht aus statischer Sicht jedoch beinahe dieselben Eigenschaften.

### Holzmassivdecken

Die Massivholzdecken sind charakterisiert durch ihre flächenhaft massive Ausführung. Diese bringt einen erhöhten Einsatz an Holz, geringere Deckenhöhen und gute Brand- und Schallschutzeigenschaften mit sich. Im modernen Holzbau sind unter der Massivbaudecken die Brettsperrholzdecke und die Brettstapeldecke, die meist genutzten Vertreter (siehe Abbildung 2.22). Die Tragwirkung ist bei ersterer zweiachsig und bei zweiterer einachsig. Anzumerken ist, dass

bei der BSP-Decke die Stoßstellen ebenso biegesteif ausgeführt werden müssten, um eine vollflächig zweiachsige Deckentragwirkung zu erreichen und daher keine Standardausführung darstellt. Beim mehrgeschossigen Holzbau eignet sich die mehrachsige Spannbarkeit der Einzelelemente optimal wegen der Einfachheit, die ohne zusätzlicher Auswechselträger hergestellt werden kann.

Im Wesentlichen ist diese Brettsperrholzdecke jene, welche am meisten für Holzdecken in Verwendung ist. Durch die Fertigung der gesamten Platte im Werk ist die Montage auf der Baustelle kurz und besitzt nach der Montage die volle Tragfähigkeit. Die Auflagerkonstruktionen sind bei solchen Deckenausführungen anspruchslos, durch die konstant durchgehende Deckenhöhe. Problematisch kann bei mehrgeschossigen Bauten die hohe Abtastung der aufgeständerten Wände werden, die ein Versagen infolge Querpressung bei den Decken hervorrufen kann. Eine innovative Lösung zur direkten Lastweiterleitung bei den tragenden Wänden wurde beim Bridport House (siehe Kapitel 2.7.3) durch ein verzahntes Deckenaufleger erreicht. Dies sorgte zugleich für eine Schubkraftkoppelung von Wand und Decke. Neben den bautechnischen Vorteilen können diese Elemente auf Sicht belassen werden, falls dies von Planern oder Bauherren erwünscht wird.

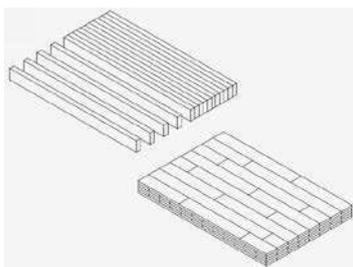


Abbildung 2.22: Brettstapeldecke und Brettsperrholzdecke [56]

### 2.4.3 Holz-Beton-Verbunddecke

Für Holz-Beton-Verbunddecken (auch Hybriddecken oder HBV-Decken genannt) wird auf eine Holzdeckenkonstruktion eine vollflächige Aufbetonschicht von rund 8 bis 14 cm schubfest aufgebracht (siehe Abbildung 2.23). Es sind dadurch möglich, weitere Spannweiten wirtschaftlich (ab 5,5 m bis 10,0 m [52]) zu überspannen. Weiters bringt die zusätzliche Schicht eine erhöhte Scheibentragwirkung in Deckenebene. Der Schubverbund zwischen den beiden Baustoffen wird mittels Verschraubung, Verklebung, Kernen oder Bleche hergestellt. Deshalb kann der Beton, der Deckenoberseite liegt, die Druckkräfte übernehmen und das Holz die Zugkräfte an der Unterseite. Jeder Werkstoff übernimmt die Eigenschaften, für die er besonders gut geeignet ist. In Kapitel 2.7 ist zu entnehmen, dass sich Hybriddecken bei Gebäuden verwendet wurde, die eine unterschiedliche Gebäudenutzung (HoHo Wien in Kapitel 2.7.8), Bürohausnutzung (LCT One Dornbirn in Kapitel 2.7.8) bzw. bei weiteren Spannweiten im Wohnbau (Wohnhaus Wagramer Straße in Kapitel 2.7.1). Optimal ist diese Deckenvariante bei einer geplanten zukünftigen Umnutzung der Räumlichkeiten, da hier unzählige tragende Zwischenwände durch versetzbare nichttragende ausgetauscht werden können.

Ein weiterer Anwendungsfall kann sich durch bauphysikalische Forderungen ergeben. Beim Bürobau LCT ONE (Kapitel 2.7.8) wirkt die Aufbetonschicht maßgeblich für den Schall- und Brandschutz, da hier durch die Rippendecke keine vollflächige Holzschicht vorhanden ist.

Im Gegensatz zu den vorhin beschriebenen Balken- und Massivdecken bringt deren Ausführung als Holz-Beton-Verbundsystem der Bauteile wesentliche Vorteile hinsichtlich Feuerwiderstand, Tragfähigkeit, Scheibenwirkung und Schallschutz mit sich. Diese Punkte werden bereits bei einer geringeren Bauhöhe erreicht, als dies bei reinen Holzdecken möglich wäre. Wesentlich ist der Einsatz von HBV-Systemen für den mehrgeschossigen Holzwohnbau die Kombination von Brandschutz und der geringen Schwingungsanfälligkeit. Zum Vergleich zu massiven Betondecken sind wesentliche Gewichtseinsparungen zu erreichen.

Für die Betonage auf der Baustelle ist zu beachten, dass sich durch die erforderliche Aushärtezeit, die Bauzeit für den ansonst rasanten Holzbau erheblich steigert. Darum wird die Variante der Betonage auf der Baustelle vorwiegend für Sanierungen bzw. Ertüchtigungen an bestehenden Holzdecken durchgeführt. Für Neubauten wird eine Betonage im Werk bevorzugt.

Eine sehr innovative Methode wird von der Firma „Cree GmbH [57]“ in Dornbirn (Vorarlberg) angewendet. Lt. einem Interview mit Frau DI Neff Leonie [58] wird ein Betonfertigteilwerk in der Umgebung des zu errichtenden Bauvorhabens gesucht und dieses für die Herstellung ihrer Holz-Beton-Verbunddeckensysteme eingeschult. Hierbei wird einerseits der fertige und trockene Einbau der Decken im Gebäude forciert und andererseits wird der Transport der relativ großen und schweren Elemente nur einer kurzen Wegstrecke ausgesetzt. Dies wirkt sich lt. Neff Leonie positiv auf die Transportkosten und die ökologischen Aspekte aus.

In Österreich ist die Firma „MMK Holz Beton-Fertigteile GmbH“ [59] in Wöllersdorf bei Wien der führende Hersteller von Brettsperrholzdecken mit im Werk hergestellter Aufbetonschicht. Mit diesem patentierten Produkt kann eine trockene Verbunddecke auf der Baustelle montiert werden, ohne diese nach Verlegung betonieren zu müssen (siehe Abbildung 2.24). Es sind lediglich an lokalen Bereichen, wie Plattenstöße und Randbereichen, Ergänzungen mit frischem Beton durchzuführen.

In dieser Arbeit wird die Verwendung von Aufbeton an einer Brettsperrholzplatte als Brettsperrholz-Beton-Verbunddecke und einer Balkendecke als Beton-Verbund Rippendecke aufgezeigt. Die Variante der Rippendecke lässt vermuten, dass eine Materialeinsparung von Holz sowie geringere Bauteilkosten im Gegensatz zu HBV-Brettsperrholzdecken zu erwarten sind.

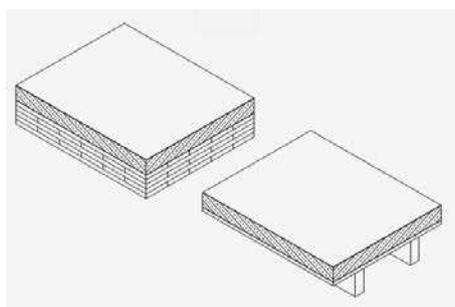


Abbildung 2.23: Holz-Beton-Verbunddecke [56]



**Abbildung 2.24: Versetzarbeiten einer vorgefertigten HBV-Decke [59]**

Nachteilig bei Holz-Beton-Verbunddecken sind vor allem die (derzeitig) hohen Kosten, sowie die eingetragene Baufeuchte, die bei herkömmlichen Holzbauteilen nicht vorhanden ist. Das Problem mit der Baufeuchte kann durch Fertigteildecken minimiert werden. Für die kostspieligen HBV-Fertigteildecken muss sich am Markt erst ein Konkurrenzdruck bilden, damit die Bauteile kostengünstiger werden.

### 2.4.4 Betonwände

Eine gängige Methode für die Herstellung von massiven Wänden in Stahlbetonbauweise ist die Ortbetonbauweise. Dabei wird eine vor Ort montierte Schalung hergestellt in der eine Bewehrung eingeflochten und anschließend mit flüssigem Transportbeton vergossen wird. Die Schalungen werden dabei geschosshoch montiert. Alternativ können anstatt der Schalung vorgefertigte Hohlwände verwendet werden, die neben dem reduzierten Arbeitsaufwand auf der Baustelle, eine durchaus qualitativere Oberflächenbeschaffenheit vorweisen (siehe Abbildung 2.25). Der überwiegende Teil der STB-Wände wird bei einem konventionellen Stahlbetonwohnbau mit Mindestbewehrung ausgeführt. Die Bezeichnung von bewehrten Betonwänden wird erst benutzt, wenn der Bewehrungsgrad die Mindestbewehrung (lt. ÖNORM B 1992 [60]) überschreitet. Beim Einsatz von unbewehrter Betonwänden in Ortbetonbauweise ist eine rasche Herstellung durch den geringen Bewehrungsgehalt möglich. [61]

Fertigteilewände, bei denen der gesamte Querschnitt vollkommen gefüllt ist, werden für den konventionellen Stahlbetonwohnbau nicht verwendet. Das hohe Bauteilgewicht beim Transport sowie die schwierige Ausbildung von Anschlussdetails der Elemente steht in keiner Relation zu der Ortbeton- und Hohlwandausführung.

Bei vorgefertigten Hohlwandelementen werden zwei bewehrte Stahlbetonschalen mittels Gitterträger unverschieblich verbunden (siehe Abbildung 2.25). Nach Versetzen auf der Baustelle werden diese mit Ortbeton befüllt. Diese Füllung bildet nach der Aushärtung einen einheitlichen Querschnitt mit den beiden Außenschalen. Beim Einsatz von Hohlwänden entfallen die Arbeiten zur Erstellung einer Schalung, ähnlich wie bei der Elementdecke (siehe 2.4.1). Für die Sandwichelemente können zusätzlich wärmedämmende Schichten oder Elemente aus Leichtbeton eingesetzt werden. Diese Fertigteile weisen durch ihr geringes Gewicht gute Transporteigenschaften auf.

Die Einarbeitung von Öffnungen und Erstellung komplizierter Geometrien im Grundriss sind bei dem Ortbeton- und Hohlwänden einfach herzustellen. Gute wärmespeichernde Eigenschaften, ein guter Körperschallschutz sowie gute Dämmeigenschaften in Kombination mit einem WDVS aus geschäumtem Dämmstoff sind Vorteile dieser Wand.

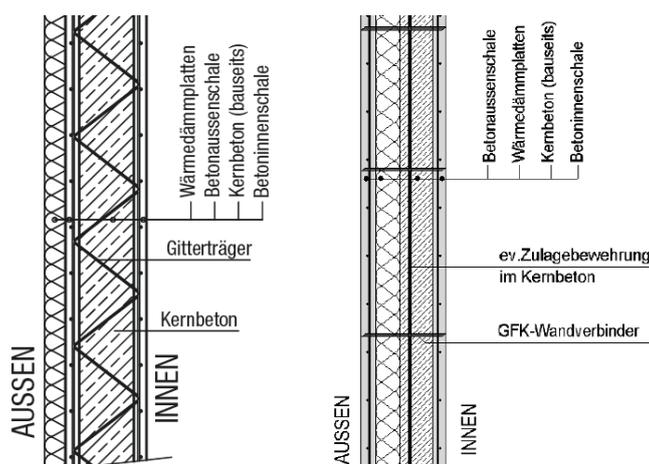


Abbildung 2.25: Hohlwandelemente mit werkseitiger Außendämmung (links) und mit integrierter Dämmelemente (rechts) [53]

### 2.4.5 Holzwände

Wände, die mit dem Naturbaustoff Holz gefertigt werden, sind wesentlich leichter und erreichen eine vergleichbare Dämmwirkung mit einer geringeren Bauteildicke als ein Wandaufbau aus Stahlbeton. Für die Erfüllung des geforderten Schallschutzniveaus kann raumseitig eine Vorsatzschale montiert werden, die von der wandbildenden Ebene elastisch gekoppelt ist. Diese Vorsatzschale kann nebenbei optimal zur Leitungsführung herangezogen werden und ebenso für die Dämmwirkung mit Mineralwolle verfüllt werden. Das wesentlich geringere Gewicht fördert einen nachhaltigen Transport der Bauteile auf die Baustelle. Diese können bis zu der fertigen verputzten Fassade mit Fenstern und montierten Installationsleitungen ausgeführt sein.

Optimal sind Holzwände falls an diese keine statischen Forderungen gestellt werden. Hierbei sind sehr schlanke Wände möglich, welche konzentriert an die bauphysikalischen, ökologischen und ökonomischen Bedingungen optimiert werden können.

Für den Einsatz bei Wohnbauten der Gebäudeklasse 5  $\leq$  6 Geschossen sind für den Brandschutz (REI90) die Holzbauteile mit einer ausreichenden Überdimensionierung bzw. brandhemmenden Verkleidung zu fertigen. Wird die Holzoberfläche auf Sicht belassen (bei massiven Holzwänden), muss ebenfalls mit einer Überdimensionierung zu rechnen sein, welche die Wand teurer macht. Des Weiteren wirkt sich die fehlende Vorsatzschale auf den Schallschutz negativ aus.

Wird eine verputzte Fassade (WDVS) angestrebt, sind an der Außenseite Putzträgerplatten zu montieren, die als zusätzliche Wärmedämmung dienen. Alternativ zur verputzten Fassade sind vorgehängte Fassaden bei Holzaußenwandaufbauten. Diese sind eine gängige Lösung, die jedoch besondere Sorgfalt bei der Planung für Gebäudeklasse 5 Wohnbauten erfordert.

Wie bei den Geschossdecken werden zwei wesentliche Konstruktionsarten in Holzbauweise für großvolumige Wohnbauten unterschieden, die im Folgenden erläutert werden.

#### Tafelbauelemente

Bei der Tafelbauweise werden vertikal stehende Holzträger mit dazwischen liegender Hohlräumdämmung versehen und beidseitig beplankt. Der Abstand der einzelnen Pfosten wird üblicherweise in einem Achsmaß von 62,5 cm gewählt und durch eine Fuß- und Kopfschwelle begrenzt (siehe Abbildung 2.26). Durch die aufgelöste Holzstruktur ist die statische Belastbarkeit sowie der Brandwiderstand geringer als bei massiven Holzwänden, zeigen ihre Stärke jedoch bei der Wärmedämmfähigkeit, Ressourceneinsatz und ihrem verhältnismäßig günstigen Preis. Für diese aufgelöste Wandkonstruktion sind brandschutztechnische Eigenschaften zur Gänze von der Beplankung zu übernehmen. Die Tragfähigkeit ist primär durch das Versagen der Schwellen, aufgrund Querpressung, beschränkt. Eine Lösung hierfür wäre, wie am Beispiel Wohnhaus Zollfreilager (Kapitel 2.7.6), dass die vertikalen Steher ohne die Unterbrechung einer Schwelle ihre Lasten in die darunterliegenden Wände abtragen. Somit sind Tafelbauwände besonders bei kleineren Gebäuden, wie Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser, eine gängige Wandkonstruktion durch die geringeren Gesamtlasten. In einem mehrgeschossigen Wohnbau kann von einer massiven Holzbauwand auf eine Tafelbauwand in den oberen Geschossen gewechselt werden. Bei den Tafelbauwänden lassen sich die Belastungen sowie Anforderungen an den Feuerwiderstand (REI60) einfach erfüllen.

Die Verwendung von einer tragenden Tafelbauwand in den unteren Geschossen von einem mehrgeschossigen Wohnbau ist aus statischer Sicht nicht zu empfehlen, wegen der geringeren Schubaussteifenden Wirkung, die bevorzugt mit einer Beplankung aus OSB-Platten ausgeführt wird

und der geringeren lastabtragenden Eigenschaften. Eine Ausführung mit Tafelbauwänden ist deswegen nur bei einem vorgestellten Wohnbau in Kapitel 2.7.6 eingesetzt worden, ansonst werden massive Wände bevorzugt.

### Massivholzwände

Die Massivholzwände sind charakterisiert durch ihre flächenhaft massive Ausführung. Bei mehrgeschossigen Wohnbauten werden hierfür vorzugsweise Brettsperrholzplatten (siehe Abbildung 2.26) verwendet. Diese bieten eine gute Grundlage zur Erfüllung von tragenden sowie aussteifer Funktionen. Durch die schubsteife Verbindung der Plattenstöße wird eine große Scheibe gebildet, die sich optimal für die Aussteifung des Gebäudes eignet. Des Weiteren leistet die vollflächige Holzschicht einen erheblichen Beitrag zum Brand- und Wärmeschutz. Die dämmende Wirkung von Holz sorgt für eine Verringerung der zusätzlich aufzubringenden Dämmschicht. Für die Luftdichtheitsebene kann im Regelfall direkt die BSP-Platte herangezogen werden.

Werden Außenwände mit Brettsperrholz gefertigt, muss bedacht werden, dass immer die gesamte Platte bezahlt werden muss und Ausschnitte, wie Fenster und Türen, in die zu bezahlende Flächenermittlung für die Kostenaufstellung miteinzukalkulieren sind. Es können alternativ Auswechslungen mit Brettschichtholzträger gefertigt werden, falls dies zu einer optimierten Plattenutzung verhilft.

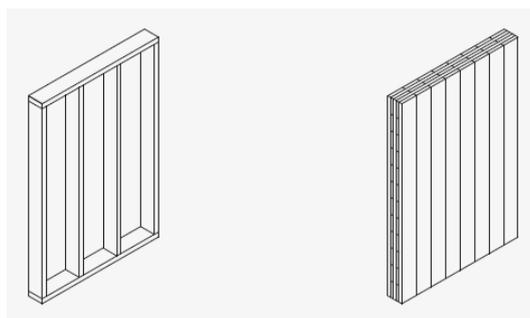


Abbildung 2.26: Aufbau einer Tafelbauwand (links) und Brettsperrholzwand (rechts) [62]

### 2.4.6 Träger

Der Einsatz von linear ausgerichteten Tragelementen wird im mehrgeschossigen Wohnbau vorwiegend für die Abfangung und Auswechslungen in Wänden und Decken herangezogen. In Abbildung 2.27 wird deutlich, dass Trägersauswechslungen aus Brettsperrholz mit einer Standardfestigkeit eine sehr hohe Bauhöhe benötigen und kommen daher nur für Fenstersturzauswechslungen infrage. Für Wandabfangungen und Deckenauswechslungen liegt die Tendenz eher bei Stahlprofilen mit einem I-Querschnitt, die eine wesentlich geringere Bauhöhe erfordern, um dieselbe Tragfähigkeit wie ein BSH-Träger zu erreichen. Der Einsatz von Furnierschichtholz ist ebenso denkbar, nur hat sich dieser Werkstoff bis dato noch nicht im mitteleuropäischen Raum durchgesetzt. Jedoch ist bei einzelnen Auswechslungen, wie beim Projekt Woodie (siehe Kapitel 2.7.9), eine Auswechslung aus FSH aus Buchenholz zum Einsatz gekommen.

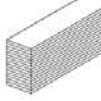
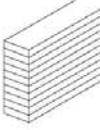
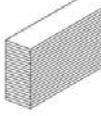
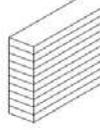
IPE 270	Buche FSH	Buche BSH	Fichte FSH	Fichte BSH
				
h = 270 mm b = 135 mm m = 36,1 kg/m	h = 270 mm b = 160 mm m = 29,4 kg/m	h = 440 mm b = 160 mm m = 48,8 kg/m	h = 360 mm b = 160 mm m = 29,4 kg/m	h = 460 mm b = 160 mm m = 31,3 kg/m

Abbildung 2.27: Trägervergleich bei gleicher Tragfähigkeit für Auswechslungen [25]

## 2.5 Bauweisen im mehrgeschossigen Holzwohnbau

Der Einsatz von Holzbauerelementen im mehrgeschossigen Holzwohnbau eignet sich Grundsätzlich gut. Dies muss jedoch mit einer korrekten Planung einhergehen. Durch eine günstigen Grundrissgebung mit der optimale Deckenspannweiten für die jeweiligen Holzdecken ermöglicht werden bzw. Durchlaufsysteme angewendet werden können. [62]

Durch die aktiven Forschungsarbeiten und Neuentwicklungen von Holzwerkstoffen und konstruktiver Innovationen in den letzten Jahrzehnten ist es mittlerweile möglich mit diesen Elemente zu fertigen, welche die geforderten Ansprüche der aktuellen Normen besser erfüllen als mit reinen linearen Holzelementen. Die Tendenz im Wohnbau ist klar zu einer Verwendung von flächigen Bauteilen orientiert, die eine einfache und rasante Errichtung gewährleisten. Ausgeführte Holzbauprojekte mit unterschiedlichen Bauweisen sind in Kapitel 2.7 angeführt.

### 2.5.1 Vergleich Anhand der statischen Ausführung

In der Geschichte des Holzbaus etablierten sich unzählige verschiedene Varianten, wie sich ein Gebäude für die jeweiligen Anforderungen konstruieren lässt. Die gängigsten modernen Ausführungen, die heutzutage bei Wohnanlagen aus Holz verwendet werden, sind (siehe Abbildung 2.28):

- ◆ Massivbauweise
- ◆ Skelettbauweise
- ◆ Rahmenbau
- ◆ Zellenbauweise

Jede dieser Ausführungsvarianten birgt ihre individuellen Vor- und Nachteile, die sich an die notwendigen Anforderungen des Baus eines Wohnbaues anpassen. Diese können unter andere Bauzeit, Vorfertigungsgrad, Raumflexibilität, Aussteifung, Bauteildicken, Raumtrennung usw. sein.

In Mitteleuropa wird die Tafel-/Rahmenbauweise mit vorgefertigten Elementen gerne im Einfamilienhaus eingesetzt. Die Rahmenbauweise hat ihre Vorteile vorwiegend im geringen Ressourcenverbrauch sowie der guten Dämmwirkung bei geringer Bauteildicke. Der Einsatz von plattenförmigen massiven Bauelementen, wie beispielsweise Brettsperholz, wird hingegen verstärkt beim mehrgeschossigen Wohnhausbau eingesetzt. [21] Der Ausführung mit massiven Bauelementen bring vorwiegend Vorteile für Schallschutz, Brandschutz sowie Trag- und Aussteifungsfähigkeit. Diese Ansprüche haben im Einfamilien- und Mehrfamilienhausbau einen geringeren Stellenwert, sind bei mehrgeschossigen Wohnhausbauten hingegen oft die ausschlaggebenden Argumente für die Konstruktionswahl. Zusätzlich ist durch die Konstruktion mit massiven plattenförmigen Bauteilen die Ausbildung der Knotenpunkte einfacher herzustellen. Die einfachste Lösung stellen stiftförmige Verbindungsmittel dar, die für ein gute Schubweiterleitung und nebenbei hohen Duktilität sorgen (siehe Via Cenni Kapitel 2.7.4). Der aktuelle Trend liegt derzeit im mehrgeschossigen Wohnbau, bei der Ausführung von massiven Wänden aus Brettsperholz für Außenwände sowie Decken ohne zusätzlichen Verbundmaßnahmen (siehe Kapitel 2.7).

Die reine Skelettbauweise wird nur vereinzelt angewendet und spielt eine untergeordnete Rolle beim mehrgeschossigen Wohnhausbau (siehe C13 in Kapitel 2.7.7 und HoHo in Kapitel 2.7.8). Diese Konstruktionsart trennt sich von den massiven Wänden und bevorzugt gelenkig angeschlossene Stützen für die vertikale Lastabtragung. Als Aussteifung werden nur mehr einzelne Aussteifungselemente, wie beispielsweise der Kern und einzelne Wände im Randbereich herangezogen. Die Wandbildner werden durch statisch unrelevante Aufbaulösungen gebildet. Für die

Deckenabfangungen und Wandabfangungen werden bevorzugt Stahlträger, welche die Lasten in die vertikalen Erschließungselemente weiterleiten, ausgebildet. Bei den einzelnen Knotenpunkten werden vorzugsweise Stahlbauteile eingesetzt, da sich durch die starke Lastkonzentration, die geringe Beanspruchbarkeit von Holz, negativ auswirkt (siehe Commons in Kapitel 2.7.8). Solch eine Konstruktionswahl kann jedoch lokal miteingebunden werden, falls die Gegebenheiten es zulassen bzw. mehr Freiraum in der Raumgestaltung erforderlich ist. Für die Aussteifung in Deckenebene können flächige Bauteile oder Diagonalauskreuzungen angewendet werden. Bei den flächigen Elementen, wie sie bei dem Massivbau zur Anwendung kommen, können somit auch die bauphysikalischen Anforderungen gleich abgedeckt werden.

Für eine wirtschaftliche Konstruktion ist es dennoch oftmals vorteilhaft Mischkonstruktionen aus verschiedenen Konstruktionsarten sowie die Nutzung von Beton und Holz in einem Gebäude zu kombinieren, um den jeweiligen Vorteil der Baustoffe zu nutzen.

Im heutigen Holzwohnbau soll eine schnelle und effiziente Bauabwicklung erreicht werden, die zusätzlich ausreichend Gestaltungsfreiraum gibt. Betrachtet man die Abbildung 2.28 ist zu erkennen, dass eine traditionelle Bauweise aus Block-, Ständer- und Fachwerksbau eine geringe Vorfertigung sowie geringe Gestaltungsfreiheit offenlässt. Für die Fragestellung in dieser Arbeit sind diese altbewehrten Bauvarianten ungeeignet. Ein vielversprechendes Holzbausystem bietet hingegen der Holzrahmenbau und der Holzmassivbau, die bei hohem Vorfertigungsgrad dennoch ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit zulassen. Eine punktuelle Einarbeitung von Holzskelettbau und vorgefertigten Raumzellen kann, falls die Gegebenheiten es verlangen bzw. zulassen, vorgenommen werden.

Die Raumzellenbauweise lässt sich durch ihren quaderförmigen Aufbau schwieriger mit der architektonischen Freiheit kombinieren (siehe rasterorientierte Form bei Woodie Hamburg in Kapitel 2.7.9). Diese besitzt jedoch einen enorm hohen Vorfertigungsgrad, der auf Kosten von erhöhtem Ressourcenverbrauch (Tragstruktur) geht. Der erhöhte Materialverbrauch der einzelnen Raumzellen ist auf die doppelte Ausführung der Wand- und Deckenelemente an den einzelnen Fügstellen der Module zurückzuführen. Diese Tragstruktur gliedert einen Mittelweg zwischen Platten- und Skelettbauweise. Die vertikale Aussteifung wird im Modulbau hauptsächlich mit einem Aussteifungskern oder einem anderwärtigen Aussteifungselement hergestellt. Ein Nachteil dieser Ausführung sind die begrenzten Abmessungen der einzelnen Raumzellen, die primär durch Transportbedingungen limitiert sind.

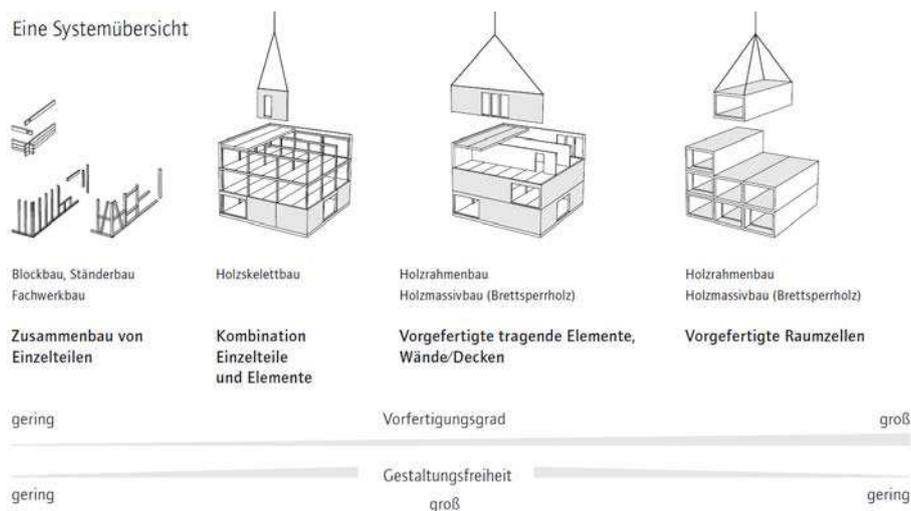


Abbildung 2.28: Verschiedene Holzbausysteme [63]

## 2.5.2 Mischbauweise

Eine sinnvolle Vorgehensweise ist die Kombination der zuvor vorgestellten Holzbauvarianten mit mineralischen Bauelementen. Beispielsweise können Gebäudeteile, die einen erhöhten Brandwiderstand oder erhöhte statische Anforderungen leisten müssen, aus massiven Elementen ausgeführt werden. Wird eine erhöhte Dämmwirkung und zugleich eine geringere statische Anforderung gestellt, könnten Elemente in Tafelbauweise gefertigt werden, die vergleichsweise zur massiven Bauweise eine geringere Gesamtdicke benötigen, um denselben erforderlichen U-Wert zu bewerkstelligen. Ein zielführendes Vorgehen wäre eine Kombination aus Tafelbauwänden und flächig massiven Holzdecken. Werden die Außenwände eines massiven Plattenbaus mit Wänden in Tafelbauweise gefertigt, können diese bereits mit einem hohen Vorfertigungsgrad (z.B.: mit Fenster und Türen) in den bereits gefertigten Plattenbau eingehängt werden. Die Montage kann mit einer leichten Zeitversetzung zum restlichen statisch wirksamen Holzbau hergestellt werden. [62] Die vertikale Lastableitung ist von den Zwischenwänden oder Stützen herzustellen. Eine Kombination eines Skelettbaus, der hohe Lasten abtragen kann, mit einem Tafelbau, der bauphysikalisch und vorfertigungstechnisch Vorteile bietet, ist leicht herzustellen. Dieses Vorgehen wurde bei den Skelettbauten HoHo, LCT ONE und Commons vorgenommen (siehe 2.7.8).

Eine immer beliebter werdende Ausführung ist die Kombination von Holzwerkstoffen mit anderen Baustoffen. Beispielsweise wird bei Holzdecken gerne eine Aufbetonschicht aufgebracht, wobei beide Schichten schubsteif verbunden werden. Diese Ausführung führt durch die Verwendung von Holz zu einem leichten und ökologischen Bauteil und durch die Aufbetonschicht wird die Deckenscheibe schubsteifer in der Deckenebene. Die bessere Baustoffausnutzung führt dazu, dass die Decken äußerst schlank gehalten werden können, als dies bei einer vergleichbaren Decke, die nur aus Holz gefertigt wird, der Fall ist.

Weiters ist die Verwendung von verschiedenen Baustoffen für verschiedene Gebäudeteile möglich. Werden größere Anforderungen an den Brandschutz gestellt, ist die Errichtung einzelner Bauteile aus Holz (z.B.: Stiegenhaus, Garagen, Verkaufsflächen im Erdgeschoss, etc.) aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll bzw. lt. Normung nicht möglich, ohne spezielle Brandschutzkonzepte vorlegen zu müssen.

## 2.6 Ökonomie

In dieser Arbeit wird vorwiegend der ökologische Part untersucht, da eine detaillierte Ausarbeitung des ökonomischen Teils den Rahmen sprengen würde. Es werden hierfür nur wichtige Grundgedanken sowie Verbesserungsvorschläge aufgezeigt.

### 2.6.1 Gewerkübergreifende Schnittstellen

Für die Errichtung eines mineralischen Wohnbaus ist für die Errichtung des Rohbaus vorwiegend das Gewerk involviert, welches sich den Betonbauarbeiten widmet. Die restlichen Arbeiten hängen sich in nachfolgende Arbeitsschritte an und es kommt während der Errichtung der Tragsstruktur zu wenigen maßgebenden Überschneidungen.

Für die Fertigung der Wohnhausanlage in Holz wäre es ebenso ein wesentlicher Vorteil die Arbeitsschritte durchgehend von demselben Gewerk durchführen zu lassen und Überschneidungen bestmöglich zu unterlassen. Ein Wechsel des ausführenden Handwerks sorgt immer für zeitliche Rückschläge, Fehleranfälligkeit sowie erhöhten Koordinierungsbedarf. Ein Wechsel kann zum Abzug der gut geschulten Holzbauarbeiter führen und bietet die Grundlage, dass ungeschultes Personal die Folgearbeiten ausführt. Dies kann zu Qualitätseinbußen führen. Ein klassisches Beispiel stellt hierfür die Betonage der Holz-Beton-Verbunddecke vor Ort dar, bei der sich das Holzbau- und Maurergewerbe überschneiden. Bei den Verbunddecken mit einer Betonage vor Ort ist weiters die Zeitverzögerung durch die Trocknungszeiten der Betonaufschicht miteinzukalkulieren.

Für den Fall, dass der Erschließungskern in massiver Stahlbetonbauweise ausgeführt wird, sind die Betonkerne vorauseilend zu fertigen und der Holzbau nachträglich auszuführen (siehe Abbildung 2.29). Dieses Vorgehen ist bei solchen Ausführungsvarianten als Standardlösung anzusehen und wurde bei den Projekten in Kapitel 2.7 dementsprechend angewendet. Die anschließenden Ausbauarbeiten (Trockenbau, Haustechnik usw.) können begonnen werden, falls sich die Ausführung des Holzbaus bereits in den darüberliegenden Geschossen befindet. Dasselbe gilt für die Herstellung der Fassade.



Abbildung 2.29: Vorauseilende Betonbaukerne [64]

## 2.6.2 Vorfertigung

Im traditionellen Holzbau werden die Bauteile auf der Baustelle hergestellt, dies ist teuer, kompliziert und zudem oftmals langsamer. Die Vorfertigung im Werk erscheint hierbei weitaus effizienter. Die im wetterunabhängigen Werk vorgefertigten Elemente können, je nach Baufortschritt, auf die Baustelle geliefert werden und dort in kürzester Zeit versetzt werden. Ein hohes Ausmaß an vorgefertigten Werkstücken verringert die Bauzeit. Nach Troppmann - Sales Director Building Solutions bei Stora Enso Wood Products GmbH in Ybbs [33] werden die Bauteile aus Brettspertholz noch am selben Tag nach Herstellung ausgeliefert, da ansonsten zu hohe Lagerflächen vonnöten wären. Des Weiteren wird durch die Bauteilfertigung im Werk der anfallende Abfall, der im Holzelementbau rund ein Viertel des Ausgangsmaterials ausmacht, ressourcenschonend aufgefangen und verwertet. Die Werkfertigung setzt die Holzbauteile nur kurze Zeit (Transport und Montage) der Witterung aus und eine unnötige Feuchtebeanspruchung kann dadurch unterbunden werden.

Die rasante Baustellenabwicklung kommt vor allem bei Ersatzbauten zu gute. Würde bei einem Stahlbetonbau der Großteil auf der Baustelle gefertigt und anschließend einer Trockenzeit unterzogen, summiert sich diese Zeit je Geschoss und der entgangene Gewinn (z.B.: Mieteinnahmen etc.), der anschließend vom Bauherrn zu tragen ist. Bei Schulbauten wäre die kurze Bauzeit während der Ferienzeit ein Entscheidungsgrund für eine rasante Bauabwicklung in Holzbauweise.

Die Vorfertigung ist vor allem noch effizienter, wenn der Holzbau in einer seriellen Fertigung stattfindet. Mittlerweile gibt es mehrere Anbieter die sich auf mehrgeschossige Holzwohnbauten spezialisiert haben. Eine davon ist die Firma „Cree GmbH“ [57] in Dornbirn, welche sich durch einen gegebenen fixen Raster im Grund und Aufriss auf wenige einfache Holzbauelemente beschränkt (siehe Abbildung 2.30). Wesentliche Bestandteile sind hierfür:

- ◆ Stahlbeton- und Stahlbauteile
  - Fundamentplatte
  - Erschließungskern
  - Stahl-Mittelunterzug und Stahlbetonverbundstützen
- ◆ Holzbauteile
  - Cree-Holz-Beton-Verbundrippendecken mit Schubkernen
  - BSH-Stützen

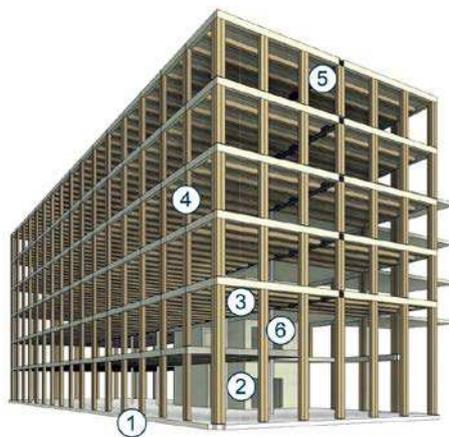


Abbildung 2.30: Seriell vorgefertigtes Holzbausystem - Cree GmbH [57]

Laut der Diplomarbeit „Vergleich von mineralischen Massiv- mit Holz- und Holzmischbauweise bei Planung und Realisierung von großvolumigen Bauten“ von Herrn DI Mario David Mittendorfer, BSc [65] wird in einer umfangreichen Expertenbefragung ein großes Potential in der industriellen Vorfertigung gesehen. Diese Vorfertigung soll folgende Vorteile bieten: [65]

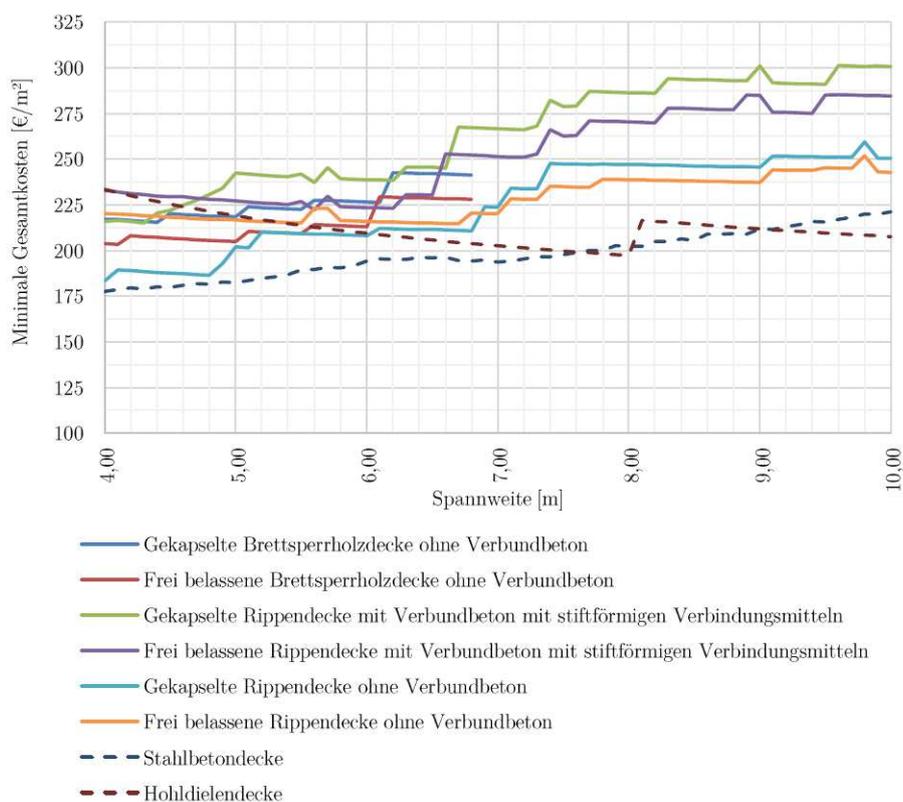
- ◆ Reduktion der Baustellenkosten durch Reduktion der Arbeitskräfte
- ◆ höhere Bauteil- und Ausführungsqualität sowie Werkkontrolle
- ◆ höhere Wirtschaftlichkeit durch standardisierte Bauteilproduktion
- ◆ bessere Auflösung der gewerkübergreifenden Schnittstellen
- ◆ Reduktion der gewerkübergreifenden Schnittstellen
- ◆ flüssigerer Montageablauf (geringere Stehzeiten und Wettereinflüsse)

Außerdem ist aus dieser Expertenbefragung auf eine Vorverlegung der Bauwerkskosten hervorgegangen. Durch die Werkfertigung sind bereits Innenausbaumaßnahmen sowie ein detaillierterer Planstand notwendig. Derzeit liegt der Vorfertigungsgrad noch in einen ausbaufähigeren Bereich und sollte in Zukunft weiter angekurbelt werden. [65]

### 2.6.3 Kostentreiber Decken

Beim ersten Grundgedanken für die Planung eines mehrgeschossigen Holzwohnbaus ist die Wahl der Deckenspannrichtung und deren Aufbau maßgeblich. Darauf folgend schließen sich weitere Fragestellungen, wie die Wahl der Außenwände, der Trennwände und des Treppenhauses, an. Dadurch, dass die Gesamtfläche der Decke in einem Gebäude sehr hoch ist und zusätzlich vielen ausführungstechnischen Anforderungen gerecht werden muss, sollte hier die Wahl sehr sorgfältig hinterfragt werden, um die Kosten im Rahmen zu halten. In der Diplomarbeit von Alex Müllner [66] wird ein ganzheitliches Bewertungssystem verschiedenster Deckenvarianten vorgenommen, um die optimale Konstruktion abhängig von der Stützweite der Decke in einem Hochhaus zu ermitteln. Die Anforderungen beziehen sich in der Abbildung 2.31 auf massive Deckenaufbauten sowie Aufbauten einer Holzdeckenkonstruktion mit der Brandschutzanforderung REI90 und haben den gleichen Brandwiderstand, wie in der Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Geschosse, zu leisten. Es wurden dabei Aufbauten mit einem schweren Deckenaufbau aus Zementestrich untersucht.

Randbedingung	Maximalanforderung
Nutzlast $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	3,00
Wärmedurchgangskoeffizient $U$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,20
Bewertetes Schalldämmmaß $R_w$ [dB]	58
Bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w}$ [dB]	48
Spannweite [m]	10,00



**Abbildung 2.31: Kosten verschiedener Deckenaufbauten abhängig von der Spannweite in einem Hochhaus [66]**

Aus Abbildung 2.31 geht hervor, dass sich Brettsperrholzdecken bis zu einer Deckenspannweite von 6,0 m angesichts der Kosten relativ nahe bei den Stahlbetondecken bewegen und anschließend von diesen abheben. Nach Müllner [66] ist diese Deckenart für Spannweitenbereich über 6,0 m hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit (Schwingung) nicht zielführend. Für eine Deckenspannweiten die darüberliegen sollten, falls eine Holzbauvariante gewählt wird, Konstruktionen mit höherer Steifigkeit herangezogen werden. In Kapitel 2.7.10 ist bei den bereits ausgeführten Projekten der Übergang zu HBV-Decken ab einer Spannweite, um 6,5 m zu erkennen. Dies kann mittels HBV-Konstruktionen oder Decken mit höherer statische Nutzhöhe, wie Rippendecken, erreicht werden. Die Kostenentwicklung der HBV-Rippendecken nimmt ab einer Spannweite von 7,0 m einen sehr stark abflachenden Verlauf der Kostenentwicklung an. Jedoch liegen diese pro Flächeneinheit deutlich über den der Holzrippendecke ohne Verbundbeton sowie den Betondeckenvarianten. Der erhöhte Preis ist hier teilweise auf die stiftförmigen Verbindungsmittel zurückzuführen. Der Einsatz von Holzrippen erfordert zudem bei kurzen Spannweiten große Rippenabmessungen, um den Anforderungen gegen Brand gerecht zu werden. Alternativ könnte der Brandschutz zur Gänze durch Beplankungen hergestellt werden. Ein gleichmäßiger Kostenverlauf lässt sich lt. Müllner's Diagramm für massive Holzdecken erwarten.

Eine Verringerung der Kosten von HBV-Decken würde mit einem Schubverbund aus Kerfen erreicht werden, die bevorzugt von den herstellenden Firmen gewählt werden, lt. der Masterarbeit von Hölzl S.. [67]

Die Stahlbetondecke zeigt einen beinahe linearen Verlauf der Kostenentwicklung. Bei den Hohl- dielendecken ist deutlich ein Ausschlag in den geringeren Stützweiten zu erkennen. Dies ist rück- zuführen auf die Verfügbarkeit der Decken, die erst ab einer Höhe von 16 cm angeboten werden und somit bei kürzeren Spannweiten überdimensioniert sind. Der Einsatz dieser vorgespannten Decke würde sich, nach Meinung des Verfassers, erst rentieren, wenn diese günstiger als die Stahlbetondecken werden. Dies ist der Fall ab einer Stützweite von 9,0 m lt. Abbildung 2.31, da Hohl- dielendecken einen regelmäßigen Grundriss bevorzugen und Deckendurchbrüche auf- wendiger zu fertigen sind, als bei STB-Decken mit Vollquerschnitt. Werden ökologische Gesichts- punkte miteinbezogen, kann eine Hohl- diele jedoch bereits bei kürzeren Spannweiten als sinnvoll erachtet werden, da der Einsatz von Beton bei dieser Deckenart bis zu 40 % [53] geringer ausfällt, als bei einem Vollquerschnitt und weiters weniger Bewehrungsgehalt vorweist.

## 2.7 Ausgeführte mehrgeschossige Holzwohnbauten

Ein neuer Trend liegt gegenwärtig bei der Fragestellung: „Wie weit kann mit Häusern aus Holz in die Höhe gebaut werden?“. Die Errichtung von solch sehr hohen Holzbauten führt dazu, dass kleinere Gebäude aus Holz besser von der Gesellschaft akzeptiert werden. Derzeit ist so ein Vorzeigeprojekt in Österreich das HoHo welches in Kapitel 2.7.8 vorgestellt wird.

Im Folgenden werden einige bereits ausgeführte Beispielprojekte des letzten Jahrzehnts in Holzbaubauausführung gezeigt. Diese beziehen sich in der Größenordnung von 6 Obergeschossen und darüber, welche als Grundlage des Vergleichsprojekts im Kapitel 3 dienen. Es werden Systeme und Detailausführungen herausgegriffen und deren Vor- und Nachteile erörtert. Die damaligen Problemstellungen sowie Entwicklungspotentiale, ob in fertigungstechnischer oder normativer Hinsicht, werden im Anschluss zusammengefasst. Die vorgestellten Projekte beziehen sich sowohl auf in Österreich errichtete Wohnbauten als auch international realisierte Projekte, bei denen auf wesentliche Unterschiede eingegangen wird.

Die in diesem Kapitel dargestellten Projekte stellen teilweise Pilotenprojekte dar, die zu ihrer Errichtungszeit wenige bis keine vergleichbaren Gebäude als Vorlage verwenden konnten. Demzufolge kam es hierbei immer zu Schwierigkeiten in der Ausführung und der Einarbeitung der normativen Forderungen.

Mit wachsender Geschosshöhe steigt die Anforderung an die einzelnen Bauteile einer Konstruktion aus Holz (siehe Kapitel 2.2). Bei mehrgeschossigen Bauten, die in eine höhere Gebäudeklasse fallen, ist es oftmals unumgänglich eine Mischbauweise mit Stahlbeton zu konstruieren.

Im Folgenden wird bei den bereits gebauten Holzbauten die

- ◆ Konstruktionsart in Abhängigkeit zur Nutzung und Gebäudehöhe,
- ◆ Aussteifung,
- ◆ Deckenkonstruktion in Abhängigkeit zur Spannweite,
- ◆ Wandaufbauten und Fassade,
- ◆ Knotendetails, Auflagerungen und Anschlüsse von Holz- zu Betonbauteile

gezeigt.

### 2.7.1 Wohnbau Wagramer Straße – Wien, Österreich



Abbildung 2.32: Wohnhausanlage Wagramer Straße – Wien [68]

◆ Fertigstellung: 2013

Einer der größten Holzwohnbauten in Wien stellt das Wohnhaus in der Wagramer Straße dar. Dieses Objekt bietet 101 Wohneinheiten verteilt über 7 Obergeschosse. Die 3 Stiegenhäuser sowie Erdgeschoss sind aus Stahlbeton gefertigt und übernehmen die vertikale Aussteifung. Sämtliche tragende Elemente der 6 Obergeschosse sind in Brettsperrholz gefertigt, die in einer Schottenbauweise fungieren. Anzumerken ist, dass die Decken ursprünglich aus vorgefertigten Beton-Verbund-BSP-Decke geplant wurden, schlussendlich jedoch erst vor Ort mit einer Aufbetonschicht versehen wurden. [64]

Die OIB-Richtlinie [10] schreibt vor (Gebäudeklasse 5 wurde noch nicht in 2 Klassen getrennt), die tragenden Bauteile in REI90 zu errichten und zusätzlich sollten diese keine weitere Brandlast darstellen (mind. Euroklasse A2 [2]). Dies wurde erreicht mit einer Kapselung, die das tragende Holz 90 Minuten vor dem Entzünden schützt. Es konnte hierbei nur mit einem Nachweis zur Einhaltung der geforderten Schutzziele eine Ausführung in Holzbauweise durchgeführt werden.

Beim Anschluss der Holzbauteile an den aussteifenden Kernbauteil ist vorwiegend das Anschlussdetail von Interesse. Hierbei müssen horizontale Kräfte, die zur Aussteifung von den Decken in den Kern geleitet werden müssen, übertragen werden. Durch die unterschiedliche Setzung der beiden Konstruktionsarten (baustoffabhängig) ist eine vertikal verschiebliche Verbindung hergestellt worden. Diese wurde mit einem mehrteiligen Stahlbauteil hergestellt. Für die Ausführung wurde eine Halfenschiene gewählt, welche vorab in den Betonkern einbetoniert und anschließend mit den Decken verschraubt wurden (siehe Abbildung 2.33).

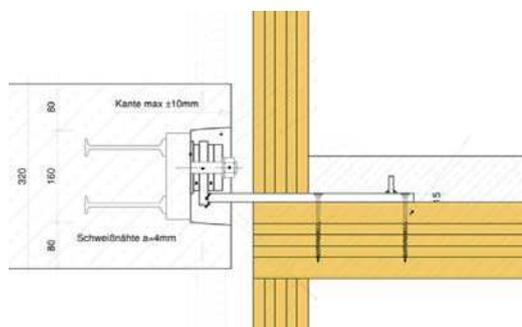


Abbildung 2.33: Halfenschiene zur Anbindung des Holzbaus an den Aussteifungskern [69]

Die Fassadenwände sind aus Brettsperrholz mit einem WDVS gefertigt. Die Innenseiten der Außenwände sind doppelt beplankt, mit einer Gipsplatte (2x12,5 mm) und einer zusätzlichen gedämmten Installationsebene mit einer weiteren Gipsbeplankung (1x15 mm) ausgestattet, um

den Brandschutz zu gewährleisten. Die Deckenunterseite ist ebenfalls mit Gipskartonplatten (2x18 mm) und einer zusätzlichen Abhängung mit einer weiteren einfachen Beplankung aus Gipsplatten (1x12,5 mm) versehen. Als Deckenaufbau wurde ein schwerer Zementestrich (55 mm) gewählt, der in Kombination mit der tragenden Decke und Splittschüttung, für den nötigen Schallschutz sorgt. Die Decken selbst spannen sich auf Wände, die in einem Abstand von rund 6,25 m in Schottenbauweise aufgeständert sind. [70]

Wesentlich waren hierbei die strengen Anforderungen an den Brandschutz. Für die einzelnen Bauteile in Brettsperrholz mussten Brandversuche durchgeführt werden. Diese sollten Nachweisen, dass die BSP-Elemente sowie deren Anschluss an die vertikalen Elemente mit der angeordneten Beplankung aus Gipskarton einer Dauerbeflammung von 90 Minuten nicht zu brennen beginnen. [4]

### 2.7.2 Holzwohnbau Hummelkaserne – Graz, Österreich



Abbildung 2.34: Wohnhausanlage Hummelkaserne – Graz [9]

◆ Fertigstellung: 2016

In Graz wurden am ehemaligen Gelände der Hummelkaserne vier sechsgeschossige Holzwohnbauten in Massivbauweise errichtet (siehe Abbildung 2.34), die alle auf einen Passivhausstandard ausgelegt wurden. Die Tragstruktur wurde mittels Stahlbetonerschließungskernen und den umliegend angeschlossenen massiven Brettsperrholzelementen für Decken und Wände gebildet. Wegen unterschiedlichen Deckenspannweiten in den Geschossen sind die Decken mit einer unterschiedlich starken BSP-Platte ausgeführt worden (Kosten). Für den Höhenausgleich ist anschließende die Splittschüttung herangezogen worden. Sämtliche Oberflächen sind in den Innenräumen beplankt und die Fassade wurde hinterlüftet ausgebildet mit gehobelten Lärchenholz als Decklage. Die Hinterlüftung ist geschossweise mit verzinkten Stahlblechen getrennt, um einen vertikalen Brandüberschlag in das darüberliegende Geschoss zu vermeiden. [71] Diese Maßnahme ist eine Standardlösung für Fassadenaufbauten aus Holz und wird in der ÖNORM B 2332 [20] (Ausführung für Fassaden der Gebäudeklasse 4 und 5) empfohlen. Eine Holzfassade wäre in der Gebäudeklasse 5 >6 Obergeschossen lt. OIB-Richtlinie 2 [1] nicht mehr möglich (siehe Kapitel 2.2.2).

Die bei der Errichtung geltende Brandschutzrichtlinie (OIB-Richtlinie 2 - 2019 [1]) ermöglichte den Bau ohne Sondergenehmigung. Nebenbei gilt in der steirischen Bauordnung eine Besonderheit, die statt der REI90 Anforderung nur REI60 verlangt. Die Beplankungen an den Wänden wurde aus Sicht der Bauherrenschaft ausgeführt, wäre jedoch aufgrund des Brandschutzes nicht notwendig gewesen. [72]

Die Bauzeit auf der Baustelle betrug pro Geschoss rund 4 Tage, die gesamte Bauzeit pro Baukörper rund 30 Tage. Diese rasante Bauzeit war durch die einfache Grund- und Aufrissgeometrie begünstigt. [72]

### 2.7.3 Wohnbau Bridport House - London, Großbritannien



Abbildung 2.35: Wohnhausanlage Bridport House – London [73]

◆ Fertigstellung: 2010

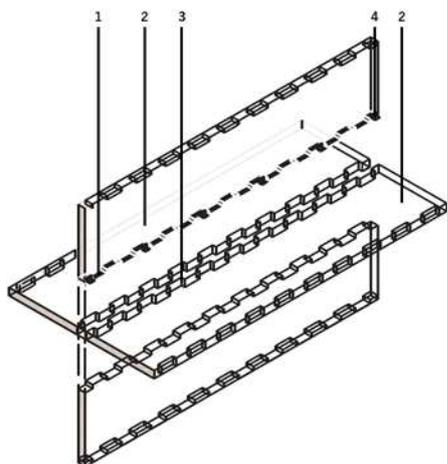
Das Bridport House in London ist als Ersatz für einen Wohnbau, welcher 1950 erbaut wurde gedacht (siehe Abbildung 2.35). Dieses stellt das Pionierprojekt für den Einsatz von massiven Brettsperrholzelementen (Decken, Wände und Dach) für den mehrgeschossigen Holzwohnbau in London dar. Bei diesem Projekt war der treibende Gedanke für ein Gebäude in Holzbauweise der, dass im Gegensatz zum bestehenden Gebäude die Auflast auf die Fundierung nicht erhöht werden sollte. Eine Erhöhung der Gebäudelast würde zu einer Überlastung des bestehenden Hauptabwasserkanals von London führen, der unter dem Fundament verläuft. Die Forderungen an den Neubau waren jedoch mehr Wohneinheiten zu schaffen, als im bestehenden Gebäude vorhanden waren. Somit wurden die Ablasten mit dem neuen Achtgeschoss beinahe gleich gehalten (rund 10 % höher), wie bei dem bestehenden viergeschossigen Gebäude.

Die Aussteifung übernehmen in der schmalen Gebäuderichtung die Querwände sowie die beiden Erschließungskerne. In Gebäudelängsrichtung wird die horizontale Last allein über die Kerne abgeleitet. Besonders ist hierbei, dass die Treppenkerne aus Holz gefertigt wurden, was in Österreich durch die hohen Anforderungen an den Brandschutz bis dato kaum vorstellbar ist.

Die Bauzeit für dieses Objekt war nur zehn Wochen, wobei zusätzliche zwölf Wochen für die Vorfertigung in Österreich hinzukamen. Der Transport ist anschließend von Österreich nach London mittels LKWs durchgeführt worden. Nach Centre for Sustainable Development der University of Cambridge sind diese langen Transportwege nicht ökologisch bedenklich. Das ausgestoßene CO<sub>2</sub> beim Transportieren und das gebundene CO<sub>2</sub> in den Bauteilen mit dem ausgestoßenen Schadstoff bei den langen Transportwegen wirkt sich in Summe deutlich weniger auf die Umwelt aus, als es bei einem Stahlbetonbau der Fall wäre. [73]

Entscheidend bei der Projektrealisierung war neben der Schaffung von zusätzlichen Wohnungen eine kurze Errichtungszeit. Während der Bauphase war es notwendig die Bewohner auszusiedeln, welches den Zeitrahmen sehr straff setzte, um diese wieder zurück in ihre neuen Wohnungen zu bekommen. Der hohe Vorfertigungsgrad der Holzbauteile machte dies möglich.

Bei Detailknoten von lastabtragender Wand zur Geschossdecke ist eine sehr spezielle Ausführung mit Schwalbenschwänzen zum Einsatz gekommen. Diese ermöglichen ausreichende Aufstandsfläche für die Wandelemente, um Lasten über die Hirnholzfläche direkt in die unterhalb liegenden Wände weiterzuleiten und nebenbei ausreichend Auflagerfläche für die Geschossdecken zu bieten. Ein mögliches Eindringen der Deckenplatten durch übermäßige Querpressung wird ebenfalls verhindert (siehe Abbildung 2.36). Diese Verzahnung eignet sich obendrein für eine optimale Schubübertragung und zeigt somit eine Alternativlösung zur verschraubten Variante, wie es beim Via Cenni (siehe Kapitel 2.7.4) zur Anwendung kam. [73]



**Abbildung 2.36: Knotenausbildung der Geschossdecke zur lastabtragenden Trennwand – Bridport House , London [74]**

1. Schwalbenschwanzverbindungen in den BSP-Platten, die eine direkte Lastableitung über die Hirnholzflächen ermöglichen
2. BSP-Wandelemente
3. Schwalbenschwänze in den horizontalen Paneelen
4. Metallklammern für zusätzliche Verbindung

#### 2.7.4 Wohnhausanlage Via Cenni – Mailand, Italien



**Abbildung 2.37: Wohn- und Gewerbebau Via Cenni – Mailand [75]**

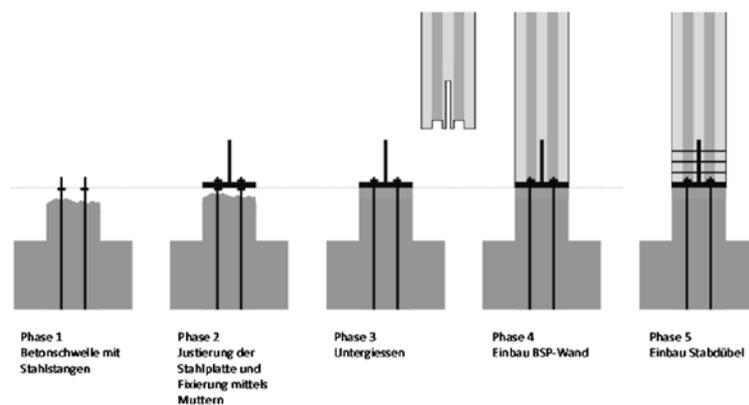
◆ Fertigstellung: 2013

Das Via Cenni ist ein Wohnbaukomplex mit vier neugeschossigen Hochhäusern, die jeweils eine Gesamthöhe von ca. 27 m aufweisen und mit den ersten beiden Geschossen miteinander verbunden sind. Obwohl die 4 Gebäude am Grund miteinander verbunden sind, wirken alle als ein separates eigenständiges statisches System. [25]

Die Bauwerke bestehen zur Gänze aus Holzbauteilen inklusive des Erdgeschosses und des Kernbauteils. Die Auflagerung der tragenden Wände findet auf einem Stahlbetonsockel statt. Als Tragstruktur ist eine Schottenbauweise gewählt, bei der die Deckenelemente für die Lastabtragung in jedem Geschoss unterschiedlich gespannt sind, um eine möglichst gleichmäßige Lastabtragung bis ins Erdgeschoss zu erreichen. Bei der Auflagerung der Decke auf die Wände wurde auf keine

besondere Detailausführung geachtet und die Elemente direkt miteinander verbunden (siehe Abbildung 2.39). Die Wände stehen durchgehend übereinander, jedoch variieren ihre Stärken von 20 cm im Erdgeschoss bis 12 cm im obersten Geschoss. Dieses Vorgehen wäre bei einer mineralischen Bauweise unüblich. Die einzelnen Deckenspannweiten betragen 5,80 m bzw. 6,70 m, die mit 5-schichtigen BSP-Platten von 20 cm bzw. 23 cm ausgeführt wurden. Die Auflagerung erfolgte durchgehend auf den BSP-Wänden und wurde nur, falls unbedingt erforderlich, durch BSH-Unterzüge abgefangen. Im Innenraum sind sämtliche Oberflächen mit Gipskarton beplankt, um den nötigen Feuerwiderstand von REI60 bzw. REI90 einhalten zu können. Der Schallschutz wird durch die Deckenabhängung und dem schweren Deckenaufbau aus einem schwimmenden Zementestrich verbessert. [25]

Der massive Holzbauteil verhält sich in dem Gebiet mit erhöhter seismischer Einwirkung äußerst günstig. Durch die Massen-Steifigkeitsverhältnisse in Kombination mit den duktilen ausgeführten Knotenausbildungen und deren Verbindungsmitteln können dynamische Einwirkungen zu einem großen Teil dissipiert werden. Für die Bodenverankerung, welche vorwiegend zum Abtrag von horizontalen Lasten dient, wurde eine Verbindung mit einer Stahlkonsole auf einem Betonsockel konstruiert (siehe Abbildung 2.38). Dabei ist eine justierbare Stahlkonsole in einen Sporn, der unvollständig aus dem Fundamentbauwerk ragt, miteinbetoniert worden und diese anschließend untenrum ausbetoniert worden.



**Abbildung 2.38: Auflagerkonstruktion der tragenden Wände für die Verankerung von Schub- und Abhubkräften infolge Erdbeben des Via Cenni - Mailand [75]**

Die Verbindungspunkte der einzelnen Knotenpunkte in den Geschossdeckenauflagerungen werden, wie bei der Auflagerkonstruktion, mit T-förmigen Stahlkonsolen hergestellt. Diese Stahlkonsolen werden auf die Rohdecke aufgesetzt und mit Vollgewindeschrauben durch die Decke in die darunterliegende Wand verschraubt. Die darüberliegende Wand wird mittels Stabdübeln mit dem Schlitzblech (T-Konsole) schubfest verbunden (siehe Abbildung 2.39). In den oberen Geschossen wurde, aufgrund der geringeren Schubkräfte, auf die Stahlkonsole verzichtet und durch eine billigere reiner Vollgewindeverschraubung ersetzt. [75] Bei der direkten Deckenauflagerung war darauf zu achten, die maximal zulässige Querpressung der Deckenplatten nicht zu überschreiten, welche mit Versagen oder Setzungen reagieren könnte.

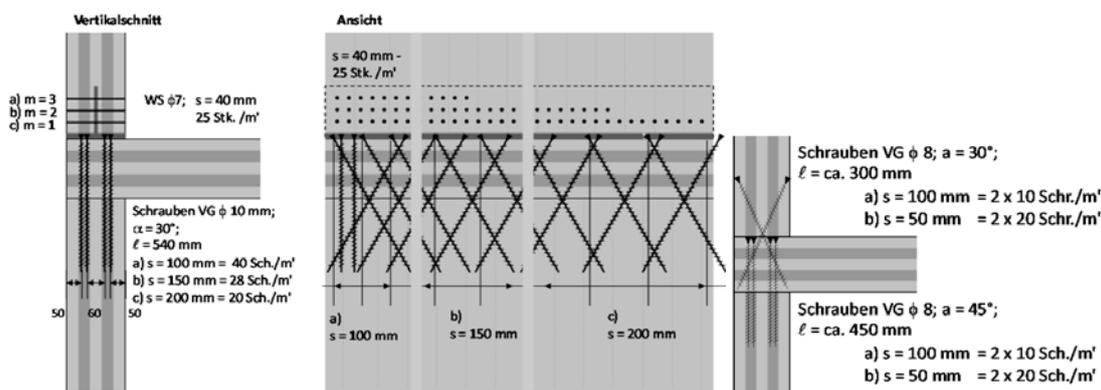


Abbildung 2.39: duktile Knotenausbildung an den Geschosdeckenauflagern des Via Cenni – Mailand [75]

### 2.7.5 Wohn- und Gewerbebau Badenerstraße – Zürich, Schweiz



Abbildung 2.40: Wohn- und Gewerbebau Badenerstraße – Zürich [8]

◆ Fertigstellung: 2010

Der Holzbau in der Badenerstraße, Zürich besteht aus einzelnen im Grundriss versetzten Wohntrakten in Schottenbauweise, die 4 bzw. 6 Geschossen bilden (siehe Abbildung 2.40) und sich auf ein mineralisch gefertigtes Erdgeschoss setzen, in dem sich ein Supermarkt befindet. Als Aussteifung dienen das massive erste Obergeschoss sowie Erschließungskerne, die ebenfalls in mineralischer Bauweise gefertigt wurden. Diese STB-Ausführung ist wegen Brandschutzgründen der Gewerbefläche bzw. Treppenhauseanforderungen vorgenommen worden. Die einzelnen Decken in den Geschossen werden durch 24 cm hohe Hohlkastenelemente gebildet, welche zur Schallschutzverbesserung mit Schlacke gefüllt und wurde mit einem schweren Fußbodenaufbau (Zementestrich) ausgestattet sind. Bei den Außenwänden kommen Brettstapelelemente zum Einsatz, auf denen eine hinterlüftete Fassade angehängt ist. Die Fassadenoberfläche bilden Glasfaserbetonelemente mit einer darunterliegenden Dämmschicht aus Mineralwolle. Die Innenraumoberflächen der Decken und Wände sind aus Brandschutzgründen mit Gipsfaserplatten (1x18 mm bzw. 2x12,5 mm) beplankt. [25]

Außergewöhnlich ist bei diesem Projekt die Ausführung der Innenwände. Diese wurden mit einfachen aneinandergereihten Holzträgerbohlen (TOPWall [76]) mit oben und unten angeordneten Holzdübel ausgeführt. [25] Vom statischen Verhalten wirkt diese Wandkonstruktion wie eine Brettstapelwand (geringe Scheibentragwirkung).

### 2.7.6 Wohnhäuser Zollfreilager – Zürich, Schweiz



Abbildung 2.41: Wohnbau Zollfreilager - Zürich [77]

◆ Fertigstellung: 2015

Die drei Holzwohnhäuser des ehemaligen Zollfreilagers in Zürich stellen 190 Wohnungen zur Verfügung. Der Grundriss der Wohnbauten ist schlicht und rechteckig, welcher sich optimal für die gewählte Schottenbauvariante anbietet. Die Treppenhaukerne wurden aus Gründen der Brandsicherheit und Aussteifung in Stahlbeton gefertigt. Die Decken bilden Brettstapelelemente mit 18 cm dicke. Für die vertikale Lastabtragung sind trotz ihrer 6 Obergeschosse Tafelbauelemente für die Wände zum Einsatz gekommen und stellt das einzige Projekt mit tragenden Wänden mit stehenden Holzträgern in diesem Vergleich dar. Die Aussteifung wird durch die OSB Beplankung der Wände sichergestellt. Um bei der Abtastung der tragenden Wände die schlechten Querdruckeigenschaften von Holz zu umgehen, ist hierbei auf liegende Schwellen verzichtet worden. Somit stehen die Pfosten direkt auf der Stirnholzseite aufeinander. Bei der Montage sind die Stahlbetonbauteile vorauseilend gefertigt worden und anschließend die umlaufenden Holzbaulemente nachgezogen. [25]

Bei den einzelnen Brettstapeldecken wurde ein schwerer Zementestrichaufbau schwimmend auf einer Trittschalldämmeinlage ausgeführt. Für die Verbesserung des Schallschutzes ist die Decke direkt mit einer gebundenen Schüttung beschwert, um die flächenbezogene Masse der Decke zu erhöhen. Da die Brettstapeldecke nicht die notwendige Schubsteifigkeit in Deckenebene aufbringen kann, wurde diese mit einer zusätzlichen Lage OSB-Platten an der Oberseite ausgestattet. An der Unterseite der Decke sind direkt Gipsfaserplatten (1x18 mm) und eine weiteren Gipsbeplankung, die auf einer Federschiene montiert ist, angebracht. Wiederum sind dies Maßnahmen zur Verbesserung der Brand- und Schallschutzeigenschaften. Zu den damaligen Brandschutzvorschriften im Jahr 2015 mussten Gebäude über 4 Geschosse einen Brandwiderstand von R60 Stand halten und mit einer R30 Kapselung geschützt werden. [25]

Bei diesem Projekt ist die schlichte Konstruktion mit klarer Rastergebung hervorzuheben. Diese ermöglicht einen hohen Vorfertigungsgrad im Werk durch eine serielle Fertigung der Bauteile. Die Fertigteile wurden bei der Errichtung bereits mit der eingebauten Wärmedämmung sowie elektrischen Leitungen angeliefert.

### 2.7.7 Wohn- und Geschäftshaus C 13 – Berlin, Deutschland



Abbildung 2.42: Wohn- und Gewerbebau C 13 – Berlin [78]

Fertigstellung: 2013

In Berlin ist mit dem Bau des C13 ein Holzbau in einer Lücke einer Blockrandbebauung gefertigt worden (siehe Abbildung 2.42). Dieses Objekt besitzt 7 Obergeschosse im straßenseitigen Trakt und 5 Obergeschosse im hofseitigen Trakt. Dieser Wohnbau stellt Unterkünfte für Studenten und Familien zu Verfügung. Für das Erdgeschoss wurden ein Bistro, eine Kindertagesstätte, ein Familienzentrum und eine Arztpraxis vorgesehen. [25] Diese entspricht einer sehr unterschiedlichen Nutzung des Gebäudes und lässt auf die Tragwerkswahl als Skelettbau rückschließen, die sich optimal für diese Randbedingungen anbietet.

Die Tragstruktur bildet eine hybride Skelettstruktur. Die Decken sind aus Brettstapelelementen mit einer Dicke von 14 cm ausgeführt, auf denen eine 12 cm stark bewehrte Aufbetonschicht schubfest aufgebracht ist. Ihre Spannweite beträgt rund 5,0 m. Die einzelnen Wände sind aus Brettsperrholz, die teilweise für eine zusätzlichen Aussteifung zuzüglich zum Erschließungskern führen. Einzelne Auflagerlasten in der Skelettstruktur werden mittels Stahlträgerprofilen abgefangen, welche die Lasten anschließend auf Holzstützen aus BSH abtragen. Die vertikale Aussteifung wird durch einzelne Tafelbauelemente mit Stahlblechankreuzungen und dem STB-Kern gewährleistet, die in die Struktur eingebunden sind.

Für den Brandschutz war es erforderlich ein Brandschutzkonzept vorzulegen, da in Berlin die Ausführung von tragenden Bauteilen ab 13 m OKFF nichtbrennbar ausgeführt werden müssen (siehe Kapitel 2.2.4). Dies hat zufolge, dass Wände und Stützen mit Brandschutzbeplankung gekapselt wurden, um das Brandverhalten der Klasse A2 zu kompensieren. Da die Konstruktion einen Brandschutzwiderstand von REI90 erreichen muss. Bei den Deckenunterseite kam ein schwer entflammbarer Brandschutzanstrich zum Einsatz.

Die Fassadengestaltung bildet ein WDVS mit Putz. Wobei die Innenseite der Außenwände mit einer doppelten 18 mm starken Gipsbeplankung versehen ist.

In Abbildung 2.42 ist zu sehen, dass ein offenes Stiegenhaus in Stahlbeton gefertigt wurde, welches als optimaler Fluchtweg für den Brandfall dient.

### 2.7.8 Mehrgeschossige Skelletbauten

Ein kurzer Ausblick auf Holzbauten mit einer Ausführung, die von den bisherigen Projekten abweicht, wird im Folgenden vorgestellt. Grob lässt sich die typische Verwendung von Skelettbauten für dieses Kapitel deuten.



**Abbildung 2.43: Wohnbau HoHo - Wien [79], Bürobau LCT ONE - Dornbirn [57] und Studentenwohnheim Brock Common - Vancouver [80]**

Das **HoHo** (Holzhochhaus) in Wien Aspern wird in dieser Auflistung untergebracht, um zu zeigen, in welchen Dimensionen es möglich ist, mit Holz zu bauen. Die einzelnen Geschossnutzungen werden für Restaurants, Business, Hotel und Wohnungen verwendet. Für das 24 geschossigen Hochhaus mit einer Höhe von 84 m wurde als Tragstruktur ein Mischsystem aus BSH Stützen (40x40 cm), Brettspertholz-Beton-Verbunddecken und einem mineralischen Erschließungskern gewählt (siehe Abbildung 2.43). Der Holzanteil in den Obergeschossen liegt schlussendlich bei rund 75 %. Beton wurde unter anderem bei den Verbunddecken gewählt, um eine möglichst weite Deckenspannweite zu erreichen, welche für eine flexible Raumnutzung sorgt. Der Verbund der HBV-Decke ist mittels Schubkernen hergestellt worden, die bei einer vorgefertigten Verbunddecke eine der billigsten Varianten darstellt. Für die hinterlüftete Fassade kommen vorgefertigte Elemente aus Brettschichtholz mit einer mineralischen Dämmung und Betonfaserplatten als äußerste Schicht zum Einsatz. Diese Außenwandelemente sind mit einer leichten Zeitversetzung nach der tragenden Struktur montiert worden und führten zu einem reibungslosen Bauablauf. Um in der Fassadenachse die Lasten der übereinanderliegenden Geschosse in den Stützen-Decken Knoten weiterleiten zu können, wurde ein Betonringzuganker in jedem Geschoss angeordnet. Dieser verhindert, dass die Holzdecken auf Querdruck belastet werden und die Lasten direkt in einer Linie (über Stützen) bis zur Fundierung geleitet werden. Der Skelettbau weist somit ein klares Tragsystem vor.

Da es sich hierbei um ein Holzhochhaus mit einer Gebäudehöhe von ca. 84 m handelt, unterliegt dieser den Brandschutzanforderungen eines Hochhauses (Fluchtniveau >22 m) [3] und wurde nach den Anforderungen nach der OIB-Richtlinie 2 [1] und der Zusatzrichtlinie OIB-Richtlinie 2.3 [81] ausgelegt. Der wesentliche Unterschied zur Gebäudeklasse 5 liegt bei der durchgehenden REI90 + A2 Anforderung an alle tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteile. Weiters wird ein Brandverhalten der Bauteile von mind. der Klasse A2 [2] für alle Aufbauschichten der Fassade sowie des Treppenhauses gefordert. Zusätzlich sind Sprinkleranlagen in der Fassadenflucht angeordnet, die eine Ausführung eines Außenwandstreifens mit einer Höhe von mindestens 1,20 m

je Geschoss in Deckenhöhe ersetzen. Zur Kompensation wurde zusätzlich zur Sprinkleranlage ein umlaufen Stahlbetonträger, der an den Geschossdecken angeschlossen ist, herangezogen. Dieser verläuft ringsum der Geschossdecken, der obendrein zur Lastdurchleitung der Stützen in der Außenfassade dient (siehe Abbildung 2.44). Die Löschanlagen (Sprinkler) ermöglichen zusätzlich die Ausführung der Holzoberflächen auf Sicht. Für die Treppenhäuser müssten jedoch weitere anlagentechnische Zusatzmaßnahmen ausgeführt werden.

Bei einem ähnlichen Projekt am anderen Ende Österreichs wurde ein achtgeschossiger Bürobau im vorarlbergerischen Dornbirn errichtet. Der **LifeCycle-Tower ONE** (LCT ONE) war zum Zeitpunkt der Errichtung im Jahr 2012 das Vorzeigeprojekt, eines über die Lebenszeit betrachtete ressourcenschonende Holzhochhaus (siehe Abbildung 2.43). Wie beim HoHo ist hier die Tragsstruktur eine Skelettbauweise mit einem vorauseilenden Betonkern errichtet worden, welcher das Stiegenhaus beinhaltet. Ein wesentlicher Unterschied liegt bei der Wahl der Deckenkonstruktion. Beim LCT ONE wurde statt der massiven BSP-Verbunddecke eine Beton-Rippendecke eingesetzt. Diese Verbunddeckenlösung bringt eine Einsparung von rund 70 % Stahlbeton im Vergleich zu einer Stahlbetondeckenausführung. Diese vorgefertigten Decken sind zudem nach der Montage sauber und fertig für den Innenausbau.

Die Rippenlösung kann in einem Bürobau optimal für die Führung von Leitung herangezogen werden, ohne eine zusätzliche Deckenabhängung zu benötigen. Bei solch einer Rippendecke bringt die Aufbetonschicht zudem die notwendige Raumtrennung mit sich, um Brand- und Schallschutz zu erfüllen. Der Verbund zwischen der Aufbetonschicht und den Rippen wurde mit Schubkerven hergestellt. Generell ist dieses Skelettsystem nach einem patentierten System der Firma „Cree GmbH“ [57] gefertigt, welches nach einem Steckkastensystem bestehend aus 4 Bauteilen hergestellt wurde. Hierfür ist jedoch eine fixe Rastergebung erforderlich, welche eine Serienproduktion der Bauteile ermöglicht. Dieses System lässt sich theoretisch für Gebäude bis 30 Geschosse einsetzen, welche einer Gebäudehöhe von rund 100 m entspricht, jedoch an die länderspezifischen Brandschutzanforderungen anzupassen ist. Diese Bauhöhe lässt sich in einem Zeitraum von nur 6 Monaten erreichen [57].

Wegen der Brandschutzanforderungen (lt. OIB-Richtlinie 2 [1]) in einem Gebäudeklasse 5 Objekt >6 Obergeschosse würde eine Kapselung der Bauteile für die notwendige Kompensation erforderlich sein. Für den nötigen Brandschutz wurde beim LCT ONE eine Sprinkleranlage anstatt einer Kapselung angewendet, um die Holzoberflächen auf Sicht belassen zu können. [57] Weiters ist ab dieser Geschosshöhe die Verwendung einer Holzfassade nicht mehr zulässig, auch wenn die darunterliegende Dämmung der Brandschutzklasse A2 entspricht. [1]

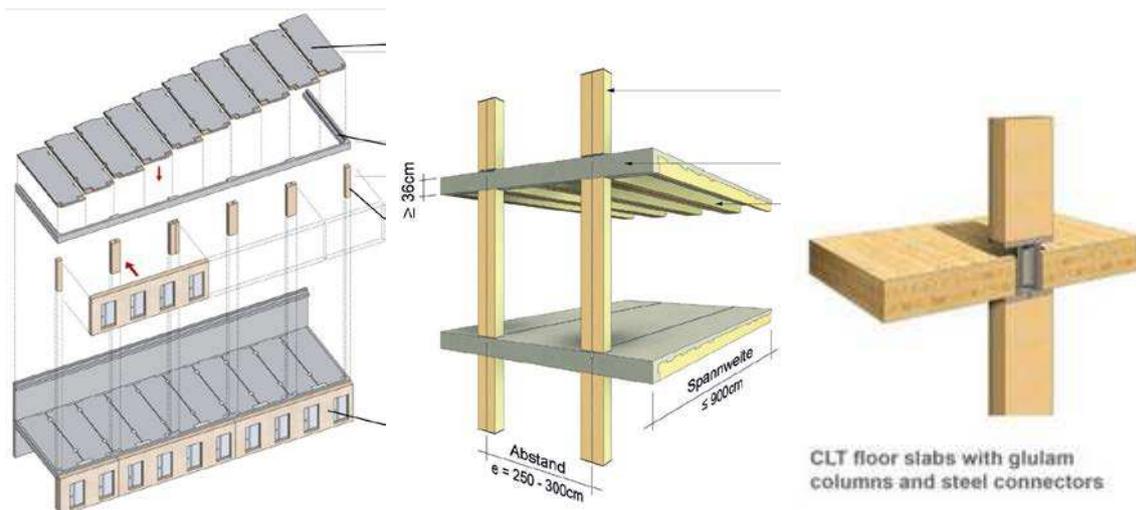
Das Bürogebäude in Dornbirn zeigt eine Variante, wie sich ein Holzbau in Zukunft gut vermarkten lässt. Durch die einfache Systemausführung, geringe Gewerküberschneidung und hohe Vorplanung/-fertigung kann zeiteffizient ein mehrgeschossiger Holzbau hergestellt werden. Die Anpassungsmöglichkeit von Niedrigenergie-, Passivhaus- oder Plusenergiestandards, deckt eine große Bandbreite an möglichen Kundenwünschen ab. Die unterschiedlichen Ausführungsvarianten eignen sich für eine einfache länderspezifische Anpassung. Für die ökologischen Aspekte ist die Fertigung der Bauelemente nicht an einem fixen Produktionsstandort gebunden. Die Einzelteile werden vorwiegend in den umliegenden Fertigteilwerken produziert bzw. die Verbunddecken bei einem naheliegenden Betonfertigteilwerk. Die grundlegenden Ausgangsmaterialien bzw. Produktionsorte sind in jedem Land erreichbar. Dieses Vorgehen führt zu einer enormen Reduktion der ökologischen Belastung durch den Transport.

Als drittes Beispiel für einen mehrgeschossigen Skelettbau wird das **Studentenheim Commons** in Kanada, Vancouver behandelt (siehe Abbildung 2.43). Dieses Gebäude mit 18 Geschossen bietet Platz für 400 Studierende und wurde mit massiven Holzelementen errichtet. Die Aussteifung übernehmen 2 Stiegenhäuser (Kernbauwerke) mit Lift, die in Stahlbetonbauweise errichtet wurden. Wiederum sind die Holzbauteile, die um die Aussteifungskerne verlaufen, einem fixen Raster zugewiesen. Dieser führte wiederum zu einer seriellen Vorfertigung der Einzelteile mit überwiegend gleichen Abmessungen. Für die vertikale Lastabtragung sind Holzstützen mit 26x26 cm aus BSH eingesetzt worden sowie die beiden Erschließungskerne. Der Stützenraster der gesamten Struktur wurden mit 2,85 x 4,00 m festgelegt. In den horizontalen Schichten verlaufen zweiachsig gespannte Deckenplatten, die aus 5 schichtigen BSP mit einer Stärke von 16,6 cm, gefertigt sind. Diese lagern jeweils punktgestützt in den Ecken auf den Stützen auf (siehe Abbildung 2.44). Für die Knotenpunkte Stütze-Deckenplatte wurden Stahlbauteile verwendet, die eine Lastweiterleitung ermöglichen, ohne die Decken auf Querpressung zu belasten. Die Stützenlasten werden durch das Knotendetail geleitet. Diese Knoten sind außerdem durch ein einfaches Steckprinzip schnell zu montieren. Der Schubverbund der Deckenplatten wird durch eine versenkte Dreischichtplatte hergestellt. Bei der Fassade kamen vorgefertigte Stahlrahmenelemente, die mit Schichtpressstoffplatten beplankt sind, zum Einsatz. [25]

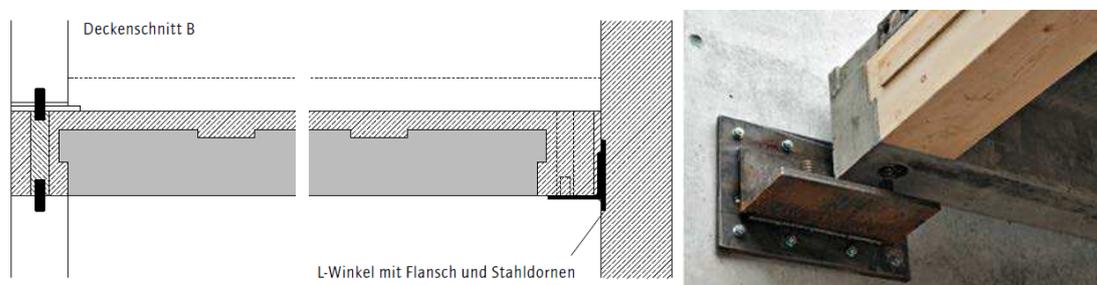
Der Einsatz von punktgestützten Brettsper Holzdecken ist durch die geringe Biegetragfähigkeit in der sekundären Deckenspannungsrichtung der Platten sehr begrenzt. Zusätzlich entsteht eine Spannungskonzentration am Auflagerpunkt zu der Stahlkonsole. Bei den Detailnachweisen am Auflagerpunkt können Überschreitungen der Pressung auf Querdruck sowie der Rollschubbeanspruchbarkeit auftreten. Der Holzbau bietet für solche Probleme bei weitem noch nicht die Systemlösungen, wie sie bei Flachdecken im Stahlbetonbau vorhanden sind.

Bei diesem Objekt wurde eine Feuerwiderstandsdauer von 120 Minuten gefordert, der durch Kapselung der Holzbauteile durch Gipskartonplatten und einer Sprinkleranlage bewerkstelligt wurde.

Für der Detailausbildung der Geschossdeckenauflagerung (siehe Abbildung 2.44) lässt sich ein ähnliches Muster, wie beim HoHo und LCT ONE beschrieben, erkennen. Hierbei wird versucht die direkte Abtastung der Stützen mit einem Werkstoff bzw. Bauteil zu umgehen, um die Geschossdecken aus Holz keiner Querpressung auszusetzen. Beim HoHo und beim LCT ONE wird hierbei ein umlaufender Ringzuganker aus Stahlbeton verwendet, der sich weiters positiv auf die geschossaussteifende Scheibenwirkung der Deckenfelder auswirkt. Zusätzlich wirkt dieser einen möglichen Brandüberschlag an der Fassadenwand entgegen. Der exakte Verbund der Säulen wurde mittels Dornen hergestellt. Die Auflagerung am Kernbauteil ist durch Stahlwinkel (LCT ONE) bzw. einer STB-Konsole (HoHo) hergestellt worden (siehe Abbildung 2.45 und Abbildung 2.46), die ebenfalls vor einen vertikalen Brandüberschlag in das darüberliegende Geschoss schützen. Beim Broke Commons wird die Kraftweiterleitung durch eine Stahlkonsole gewährleistet, die gleichzeitig die Auflagerung der Decke bildet. Der Anschluss der Säule findet hierbei mit einer einfachen Stecksystem, welches in eine Stahlkonsole mündet, auslangen (siehe Abbildung 2.44).

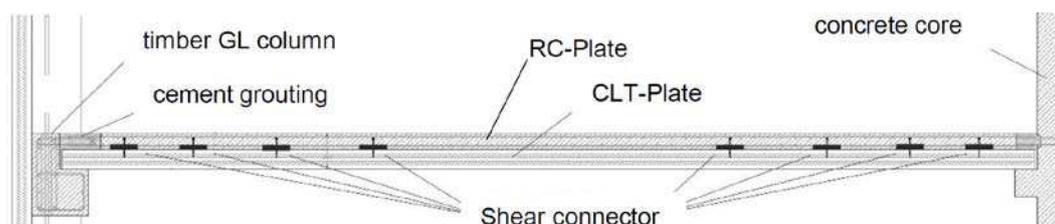


**Abbildung 2.44: Deckenauflagerungen auf Stützen - HoHo (links) [79], LCT ONE (mitte) [57] und Broke Common (rechts) [25]**



**Abbildung 2.45: Dornenverbindungen der Deckenauflager an der Außenwand und am Aussteifungskern des LifeCycle-Tower ONE [57]**

In der Abbildung 2.46 ist der nachträgliche Verguss der Fertigteil HBV-Decken an den Randbereichen ersichtlich.



**Abbildung 2.46: Dornenverbindung der Deckenauflager an der Außenwand und am Aussteifungskern des Wohnbau HoHo [79]**

### 2.7.9 Woodie - Hamburg, Deutschland



Abbildung 2.47: Studentenwohnheim Woodie – Hamburg [82]

Fertigstellung: 2017

Die Bauweise mit einem großen Zukunftspotenzial und zugleich größten Anforderungen an die Regelmäßigkeit ist die Raummodulbauweise. Das Woodie in Hamburg ist eines der aktuellen Vorzeigeprojekte für den Modul Holzwohnbau. Dieser Wohnbau bietet 371 Microapartments mit rund 20 m<sup>2</sup> für Studierende. Die Bauweise hierbei besteht, wie bei vielen der bereits vorgestellten Wohnbauten, aus einem Erdgeschoss welches Gemeinschafts-, Gastronomieräume und Fahrradabstellplätze beinhaltet. Die drei Kernbauteile sind aus Stahlbeton gefertigt worden. Dazwischen sind Raummodule über 5 bis 6 Geschosse angeordnet (siehe Abbildung 2.47). In den Innenräumen sind allseitig die massiven Holzbauteile auf Sicht belassen. Die hinterlüftete Fassade ist mit einer Lärchenverschalung, die bereits im Werk vorgefertigt wurde und nach dem Versetzen der Module an diese eingehängt wurde. Der Brandüberschlag wurde, wie beim Wohnbau Hummelkaserne (siehe Kapitel 2.7.2) mit einem geschossweise verlaufenden Stahlblechprofil hergestellt, um einen vertikalen Brandüberschlag zum darüberliegenden Geschoss zu vermeiden.

Im Gegensatz zur klassischen Massivbauweise ist besonders Rücksicht auf die Stoßstellen der Module zu geben, da hier für den Brandschutz eine ausreichende Raumtrennung gewährleistet werden muss. Andererseits ist diese Stoßfuge einfach zu halten, damit die Fertigung auf der Baustelle ohne komplizierte Ausführungsdetails (die zeitraubend sind) auskommt. Ein erhöhter Ressourcenverbrauch ist zu erwarten, der durch die doppelte Ausführung der Wände und Decken der Module entsteht, die aneinandergesetzt werden.

Bei solch einer Raummodulbauweise übernehmen die Aussteifung selbstständig die Erschließungskerne, wobei die Module nur dazwischen eingesetzt werden.

Der Raster der einzelnen Module sind mit 6,66 m in Tiefe und 3,35 m in Breite gegeben. In diesen setzten sich fertige Module, die bis zu Armaturen, Küche und Möbeln enthalten. Die Raumgestaltung ist im Grundriss und Aufriss sehr einfach gehalten und lässt keine architektonischen Ansprüche zu. Die gesamte Bauzeit dieses Projektes betrug schlappe 10 Monate, bis die ersten Studenten das Wohnheim beziehen konnten. [83]

### 2.7.10 Zusammenfassung

Die vorgestellten Projekte in Holzbauweise sollen aufzeigen, dass sich der Holzbau in beinahe jeder Gebäudehöhe realisieren lässt. Die normativen Regelungen setzen mit zunehmender Gebäudehöhe bzw. Geschossanzahl die Anforderungen an den Holzbau relativ hoch. Bei der Formgebung ist beim Holzwohnbau darauf zu achten, diesen äußerst regelmäßig zu gestalten, um einen hohen Vorfertigungsgrad eine serielle Fertigung der Bauteile zu ermöglichen, wie in diesem Kapitel bei der Hummelkaserne, Via Cenni, Zollfreilager, HoHo, LCT ONE, Commons und Woodie gezeigt wurde.

Wesentlich hervorgehoben wurde, dass bei Holzbauten aller Art der Vorfertigungsgrad immer betont werden soll. Die Errichtung des Rohbaus soll so schnell wie möglich vonstattengehen, um negative Einflüsse, wie Wetter, Straßensperrungen, entgangene Mieteinnahmen etc., möglichst gering zu halten. Auf den Einsatz von frischem Beton (bei den Holzbauteilen) sollte möglichst verzichtet werden. Die Ausführung der Verbunddecken wird aus Fertigteilen hergestellt (siehe HoHo und LCT ONE).

Wesentliche Kennwerte und Anforderungen der vorgestellten Gebäude sind in Tabelle 2.9 und Tabelle 2.10 zusammengefasst und werden in den nachfolgenden Unterpunkten erläutert.

**Tabelle 2.9: Ausführungsvarianten im mehrgeschossigen Holzbau anhand gebauter Beispiele**  
**Teil 1**

Bauwerk	Lage	Tragwerksform	Geschoss- anzahl	Stahlbetonbauteile (Obergeschoss)	Decken	vertikale Aussteifung
Wohnhausanlage Wagramer Straße	Wien, Österreich		7	Erschließungskerne + EG	HBV-Brettspertholz beplankt max. 6,25m (einachsig)	Erschließungskerne + EG
Wohnbau Hummelkaserne	Graz, Österreich		6	Erschließungskern	Brettspertholz beplankt	Erschließungskern
Wohnbau Bridport House	London, Großbritannien	Massivbauweise	8	/	Brettspertholz beplankt ca. 6,0m	Querwände und Erschließungskern
Wohnhausanlage Via Cenni	Mailand, Italien		9	/	Brettspertholz beplankt max. 6,7m	Aussteifungswände
Wohn- und Gewerbebau Badenerstraße	Zürich, Schweiz		7	Erschließungskerne + EG	Hohlkastenelemente beplankt ca. 6,0m	Erschließungskerne + EG
Wohnhäuser Zollfreilager	Zürich, Schweiz	Rahmenbau	6	Erschließungskerne	Brettstapelholzdecke beplankt	Erschließungskerne
Wohn- und Geschäftshaus 13	C Berlin, Deutschland	Skelettbauweise	7	Erschließungskern	HBV-Brettspertholz + Brandschutz anstrich 5,0m (einachsig)	Erschließungskern + Auskrenzungen in der Fassade
Wohnhaus HoHo	Wien, Österreich		24	Erschließungskerne	HBV-Brettspertholz sicht max 6,7m (einachsig)	Erschließungskerne
Bürobau LCT-One	Dornbirn, Österreich	Skelettbauweise	8	Erschließungskern	HBV-Rippendecke sicht (einachsig) max. 8,1m	Erschließungskern
Wohnheim Brock Common	Vancouver, Kanada		18	Erschließungskerne + EG	Brettspertholz beplankt max. 4,0m	Erschließungskern
Wohnheim Woodie	Hamburg, Deutschland	Zellenbauweise	6	Erschließungskerne	Brettspertholz sicht	Erschließungskerne

Tabelle 2.10: Ausführungsvarianten im mehrgeschossigen Holzbau anhand gebauter Beispiele  
Teil 2

Bauwerk	Lage	Außenwände	Brandschutz (Regelgeschosse)	Außenwand- dämmung
Wohnhausanlage Wagramer Straße	Wien, Österreich	Brettsperrholz beplankt und WDVS	REI 90 + A2 (Kapselung <sup>1</sup> )	Mineralwolle
Wohnbau Hummelkaserner	Graz, Österreich	Brettsperrholz (tragend) beplankt und hinterlüftete Fassade	REI 60 (steirische Sonderregelung für 6.OG)	Mineralwolle
Wohnbau Bridport House	London, Großbritannien	Brettsperrholz (tragend) beplankt	Kapselung + Rauchmeldesystem	Mineralwolle
Wohnhausanlage Via Cenni	Mailand, Italien	Brettsperrholz beplankt und WDVS	REI 60 bzw. REI 90	Mineralwolle
Wohn- und Gewerbebau Badenerstraße	Zürich, Schweiz	Brettsperrholzelemente beplankt und hinterlüftete Fassade	Kapselung	Mineralwolle
Wohnhäuser Zollfreilager	Zürich, Schweiz	Tafelbauelemente beplankt und hinterlüftete Fassade	R 60 + K 30 <sup>1</sup>	Mineralwolle
Wohn- und Geschäftshaus 13	C Berlin, Deutschland	Brettsperrholz (nichttragend) beplankt und WDVS	REI 90 + (Kapselung <sup>1</sup> )	Mineralwolle
Wohnhaus HoHo	Wien, Österreich	Brettsperrholz sicht und hinterlüftete Fassade	REI 90 + A2 (Löschanlage <sup>1</sup> )	Mineralwolle
Bürobau LCT-One	Dornbirn, Österreich	Brettsperrholz sicht und hinterlüftete Fassade	REI 90 + A2 (Löschanlage <sup>1</sup> )	Mineralwolle
Wohnheim Brock Common	Vancouver, Kanada	Brettsperrholz (nichttragend) beplankt und nicht hinterlüfteter Fassadenaufbau	120 Min (Kapselung <sup>1</sup> + Löschanlage <sup>1</sup> )	Mineralwolle
Wohnheim Woodie	Hamburg, Deutschland	Brettsperrholz sicht und hinterlüftete Fassade		Mineralwolle

1) notwendige Kompensationmaßnahme

### Tragsystem und Aussteifung

Ein klarer Trend lässt sich für Wohnbauten in der Massivholzbauweise erkennen. Zudem ist ein reiner Holzbau ohne die Verwendung von mineralischen Bauteilen nur bei den beiden Vertretern in Großbritannien (Wohnbau Bridport) und Italien (Wohnbau Via Cenni) zu verzeichnen. Zumindest der Erschließungskern ist bei allen anderen Gebäuden in Stahlbetonbauweise gefertigt, an dem sich ringsum der Holzbau anschließt. Dieser bildet zudem bei allen Projekten das primäre Aussteifungsbaueteil. Zusätzlich sind einzelne bis alle Wände zur Aussteifung herangezogen worden. Beim Objekt C13 in Berlin (siehe Kapitel 2.7.7), welches einen Skelettbau darstellt, sind zusätzlich zum Kernbauteil Auskreuzungen aus Flachstahl in der Außenwand angebracht. Für die

Brandschutzanforderungen, die für das Kernbauwerk nötig sind, werden bei einer Holzbauausführung zusätzliche Kompensationsmaßnahmen nötig. Diese sind hingegen ohne Zusatzmaßnahmen möglich bei einer mineralischen Bauweise.

Für horizontal einwirkende Belastungen, die aus Wind- (siehe ÖNORM EN 1991-1-4 [23]) und Erdbebeneinwirkung (siehe ÖNORM EN 1991-8 [84]) resultieren, muss das Gebäude eine Konstruktion vorweisen, welche die Lasten bis in das Fundament weiterleitet. Diese darf sich nicht übermäßig verformen (Nachweis Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)) bzw. kollabieren (Nachweis Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)).

Speziell im mehrgeschossigen Holzwohnbau ergeben sich hierbei Aussteifungselemente, wie Rahmen, Wandscheiben, Verbände, aussteifende Kerne und Fachwerkverbände, auf die im Folgenden nur kurz eingegangen wird.

Aus den vorgestellten Gebäuden in Kapitel 2.7 geht hervor, dass eine Aussteifung als Rahmen und Fachwerksverband bei keinem Projekt zum Einsatz kam. Aus Sicht des Verfassers resultiert dies dadurch, dass Rahmen sehr aufwendige herzustellende biegesteife Rahmenknoten benötigen und dann trotzdem sehr weich auf Horizontallasten reagieren. Die Fachwerksverbände (üblich in der Fassade) sind erst bei sehr hohen Gebäuden notwendig, um eine ausreichende Steifigkeit mit wenig horizontaler Bewegung zu erhalten.

Bei den vorgestellten Projekten besteht die Aussteifung in horizontaler Ebene durchgehend als schubsteife vollflächige Brettsperrholzdecke oder HBV-Decke. Ausschließlich das Beispiel Zollfreilager in Zürich (siehe Kapitel 2.7.6) benötigt auf der tragenden Brettstapeldecke eine Beplankung aus OSB-Platten an den Wänden und Decken für die Aussteifung.

Bei dem Wohnbau HoHo und dem Bürobau LCD ONE, welche über den Anforderungen der Gebäudeklasse 5  $\leq 60G$  der OIB-Richtlinie liegen, ist klar zu erkennen, dass sich die Tragstruktur in einen Skelettbau auflöst und mit einem Erschließungskern, der Treppen, Aufzug, Versorgungsschächte sowie Nassräume enthält, ausgesteift wird. Dieser Aussteifungskern bildet eine torsionssteife Röhre, welche die horizontalen Lasten der umlaufenden Decken aufnimmt und es ermöglicht alle umliegenden vertikal lastabtragenden Bauteile der Aussteifung zu entziehen (z.B.: Pendelstützen). Der Einsatz von Holz-Beton-Verbunddecken verstärkt sich hierbei nochmal wesentlich, um mit den hohen Deckenspannweiten eine bessere Flexibilität in der Raumgestaltung zu erhalten und eine unterschiedliche Nutzung der Geschosse zu ermöglichen. Daher ist es denkbar ein Großraumbüro einfach zu einem Wohnbau umfunktionieren zu können. Diese Aufbetonschicht verhilft unter anderem die notwendige Aussteifung in Deckenebene herzustellen. Beim Wohnheim Brock Common ist die Kompensation durch eine Kapselung der Decken und Wände vorgenommen worden. Dadurch, dass die Raumnutzung in den Geschossen klar war, konnten mehrere Stützen im Gebäude eingesetzt werden und eine BSP-Decke als ausreichend erachtet werden. Bei solchen Gebäuden mit diesen Höhen ist vermehrt mit Kompensationsmaßnahmen zu hantieren, um die normativen Forderungen (Brandverhalten der tragenden Bauteile – mind. Klasse A2) zu erfüllen. Dadurch werden vermehrt Kapselungen, Sprinkleranlagen oder Brandschutzpläne erforderlich.

Bei der Ausführung der Verbindungsmittel der Holzbauteile können diese eine sehr hohe Steifigkeit erzielen bei gleichzeitig hoher Duktilität, die bei der horizontal wirkenden Erdbebenlast Vorteile bringt. Diese Eigenschaft wurde bei der Wohnhausanlage Via Cenni in Mailand (siehe 2.7.4) für die dynamische Bemessung berücksichtigt.

## Brandschutz

Aus Sicht der Konstruktionsweise werden die Wohnbauten in den verschiedenen Ländern sehr ähnlich ausgeführt. Ein deutlicher Unterschied kristallisiert sich im Ausmaß der Brandschutzanforderungen. Diese setzen sich aus Kapselung, Baustoffwahl (beim Erschließungskern) sowie durch notwendige Kompensationsmaßnahmen (Löschanlagen) zusammen.

Bei dem Brandschutz gehen die Anforderungen weit auseinander. Die Anforderungen liegen hier im günstigsten Fall bei REI60 im Wohnbau Hummelkaserne bis hin zu REI90 mit Brandschutzkonzept welches für die Bauteile Kompensationen in Form von Sprinkleranlagen oder Kapselungen (siehe z.B.: Wohnbau Wagramer Straße) vorsieht. Abhängig ist dies von der länderspezifischen Normgebung, welche sich nach der Geschossanzahl oder Gebäudehöhe richtet (siehe Kapitel 2.2.4).

Bei den Decken und Wänden liegt der Trend klar bei beplankten Ausführungen, die zur Erfüllung des Brandschutzes verhelfen bzw. durch notwendige Brandschutzkonzepte notwendig sind. Bei einem erforderlichen Brandwiderstand von REI90 scheint ein Erreichen der Brandschutzanforderung durch die Holzbauteile zu unwirtschaftlich. Beim Wohnhaus Hummelkaserne (siehe Kapitel 2.7.2), bei dem eine Brandwiderstandsdauer von REI60 gefordert wurde, ist die Beplankung nur aus optischen Gründen vom Bauherrn gefordert worden und nicht aus brandschutztechnischen. Zuzüglich zum Brandschutz verhilft die Beplankung zu einem besseren Schallschutz, besonders bei Flankenübertragungen.

## Geschossdecken

Bei der Entwicklung des Holzbaus ist zu erkennen, dass ein hohes Potenzial im Bürobau liegt. Dabei können materialsparende Rippendecken mit Aufbeton eine geeignete Variante (siehe LCT ONE in Kapitel 2.7.8). Hierbei können die Zwischenräume der Rippen gleich zur Leitungsführung herangezogen werden und man benötigt keine zusätzliche Abhängung. In den Rippenzwischenräumen ist sogleich genug Platz für eine anlagentechnischen Brandschutzanlage gegeben. Somit bleibt die Deckenhöhe im Bereich einer massiven Stahlbetondecke jedoch materialsparender.

Im Wohnbau trifft man bei einer zu hohen Deckenstärke gleich auf das Problem mit der maximal zulässigen Gebäudehöhe. Summiert man für jedes Geschoss die zusätzlich benötigte Deckenstärke, wird dies zu einer Verringerung der vermietbaren Wohnnutzfläche führen und zu erheblichen Mieteinbußen über die Jahre. Bei den vorgestellten Projekten ist dabei eindeutig die Tendenz zu einer Flachdecke erkennbar. Diese sind zum Großteil aus Brettsper Holzplatten gefertigt, die bei weiteren Spannweiten als HBV-System ausgeführt wurden. Diese ermöglichen eine schlanke Bauhöhe und einen guten Raumabschluss, der dem Brandschutz zuzurechnen ist. Eine Rippendeckenausführung scheint somit für den generellen Wohnbau, bei der vermietbare Wohnfläche zählt, keine zielführende Option zu sein. Bei einer Brettsper Holzdecke sind die Grundrisse nicht unbedingt in einem regelmäßigen Raster nötig, wie dies beim Extremfall Modulbauweise oder Skelettbau, erforderlich ist. Ein System aus Hohlkastenelementen ist einmal in der Badenerstraße (siehe Kapitel 2.7.5) zum Einsatz gekommen, die jedoch eine Hohlkörperverfüllung mit Schutt vorweisen, um den Schallschutz zu verbessern.

Verbunddecken wurden erstmals ab einer Deckenspannweite von rund 6,25 m [70] bei der Wagramer Straße eingesetzt. Beim C13 eine HBV-Decke ab der Spannweite von 5,0 m zum Einsatz gekommen, welche jedoch durch das erstellte Brandschutzkonzept benötigt wurde und nicht aus statischer oder wirtschaftlicher Sicht. Reine Holzdecken sind bis zu einer Deckenspannweite von 6,0 m bis 6,7 m eingesetzt worden. Ein Übergang zu einer hybriden Deckenlösung lässt sich ab einer Spannweite von 6,0 m ablesen.

Schlussendlich wird auf die Vorfertigung der Holz-Beton-Verbunddecken eingegangen. Die sinnvollere Vorgehensweise, diese als trockene Fertigteile auf der Baustelle zu versetzen, führt nach aktueller Lage dazu, dass schwere massive Bauteile über weite Strecken auf die Baustelle transportiert werden müssten (z.B.: HoHo). Dies ist allerdings mit hohen Transportkosten verbunden sowie einer nachhaltig bedenklichen Vorgehensweise. Nach einem Interview mit der Firma Cree GmbH [58] ist hierbei ein sehr ökonomisches und ökologisches Vorgehen herauszufiltern gewesen. Das Unternehmen Cree sucht sich Betonfertigteilwerke in der näheren Umgebung des Bauvorhabens und schult diese auf ihre Deckensysteme in Verbundbauweise ein. Somit lassen sich die Bauteile mit relativ kurzen Wegstrecken auf die Baustelle transportieren. Bisher wurde dieses Vorgehen nur mit Rippendecken umgesetzt (siehe LCT ONE), doch an einer Flachdecke mit Aufbeton wird bereits in der Firma Cree GmbH gearbeitet.

Die Fußbodenaufbauten sind bei den Wohnbauten überwiegend mit einem schweren Fußbodenaufbau gefertigt. Dieses Vorgehen ist auf den notwendigen Schallschutz zwischen den unterschiedlichen Wohneinheiten zurückzuführen. Wie in Kapitel 2.2.6 bereits erläutert, fühlen sich in den großvolumigen Wohnbauten ca. 60 % der Bewohner durch Lärm gestört. Eine Abänderung auf einen trockenen Fußbodenaufbau, der keine zusätzliche Feuchte ins Gebäude bringt, würde durch die fehlende Masse zu einer weiteren Verschlechterung des Schallschutzes führen. Die Verwendung eines massiven schwimmenden Deckenaufbaus, wie beispielsweise Zementestrich, lässt sich durch die benötigte Masse für den Schallschutznachweis schwer ersetzen.

### Wände und Fassade

Bei der Konstruktion der Außenwände lässt sich eindeutig die Verwendung von Brettsper Holzplatten erkennen, die an der Fassade mit einem WDVS oder als hinterlüftete Fassade ausgeführt wurden. Eine aufgelöste Tafelbauform, die für tragende Zwecke genutzt wird, ist nur bei einem Beispiel in der Schweiz (siehe Kapitel 2.7.6) angewendet worden, bei der jedoch die Brandschutzanforderungen geringer liegen (REI60) als bei den anderen Vertretern im mehrgeschossigen Wohnbau.

Klar zu erkennen ist, dass die Gebäudedämmung bei allen Bauten mittels Mineralwolle hergestellt wurde. Eine Alternative, in Form eines nachwachsenden Dämmstoffes, wurde bei keinem Objekt verwendet. Dies ist vorwiegend auf die Brandschutzbestimmungen zurückzuführen welche beispielsweise in der österreichischen OIB-Richtlinie 2 [1] keine Dämmstoffe der Klasse E (bis auf die Sonderregelung von EPS bei einem WDVS [1]) zulässt, in denen der überwiegende Teil der nachwachsenden Dämmstoffe liegt. In der Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Obergeschosse ist zudem eine Ausführung eine hinterlüfteten Fassade in Holzbauweise (lt. OIB-Richtlinie 2) möglich, welches in einer höheren Gebäudeklasse nicht mehr möglich ist.

## 2.8 Mehrgeschossige Wohnanlagen in Wien

Die Stadt Wien zählt zu den lebenswertesten Städten weltweit und das schon seit Jahren. Ein Grund dafür liegt in der Bereitstellung von leistbaren Wohnungen. In Wien leben rund 60 Prozent der Einwohner in geförderten Wohnungen oder Gemeindewohnungen [85], in denen kostengünstige Mieten angeboten werden.

Für die steigende Nachfrage an Wohnraum stellt die Wiener Wohnbauförderung eine wichtige Grundlage dar, um der steigenden Nachfrage an erschwinglichen Wohnräumen gerecht zu werden. Dieser unterstützt die Errichtung geförderter Wohnungen, Sanierung von Altbauten sowie direkt die einzelnen Mieter.

Für die Stadtentwicklung ist dieses Modell ein Vorzeigeprojekt für die ganze Welt. Laut dem Wohnservice Wien sollen ab dem Jahr 2017 jährlich rund 13000 Wohnungen entstehen, wovon 9000 in Neubauten hervorgehen. [85] Es ist mit dieser starken Nachbestückung von Wohnungen eine Dämpfung der Mietpreise zu erwarten und schafft durch die Bauarbeiten zahlreiche Arbeitsplätze. In Wien ist bis heute eine der größten Passivhaussiedlungen Europas, das „Eurogate“, sowie weitere Stadtviertel, wie beispielsweise Aspern Seestadt, Nordbahnhof, im Sonnwendviertel beim Hauptbahnhof oder „In der Wiesen Süd“ entstanden.

Durch die große Nachfrage an neuem Wohnraum ist somit grundsätzlich der Bedarf an neuen Ausführungsvarianten gerne gesehen, die sehr zeiteffizient sind.

Obwohl der Wohnbau in Holzbauweise zunehmend an Bedeutung gewinnt (siehe Abbildung 2.48) ist derzeit der prozentuelle Anteil des mehrgeschossigen Holzwohnbau steigend gering. Die alternative Baulösung mit dem nachwachsenden Baustoff wird derzeit noch als Sonderlösung bzw. Prestigeprodukt angesehen, welches für die breiten Massen oftmals zu teuer erscheinen und bei schlechter Projektabwicklung (durch Unerfahrenheit) ist.

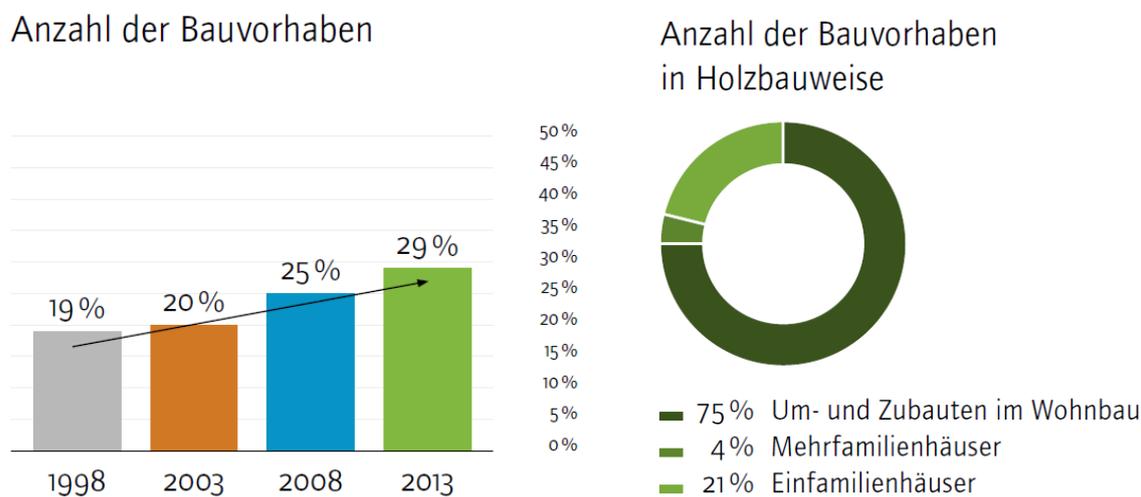


Abbildung 2.48: Entwicklung des Holzbaus in Wien [86]

## 3 Vergleichsstudie Holzwohnbau

### 3.1 Allgemeines Programmkonzept

#### 3.1.1 Methode und Ziele

Für die Beantwortung der Fragestellungen in dieser Arbeit wird mittels SWOT-Analyse (Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Gefahren)) gearbeitet. Mit dieser Strategieentwicklung werden die Stärken und Schwächen von mineralischer und holzbautechnischen Ausführungen aufgezeigt, abgewogen und anschließend die möglichen Verbesserungen sowie Gefahren hinsichtlich des mehrgeschossigen Holzwohnbaus in der Gebäudeklasse 5  $\leq$  6 Obergeschosse aufgezeigt. In den Punkten an dem Schwächen bzw. Gefahren zum Vorschein kommen, wird tiefer auf diese eingegangen, um Alternativen zu finden. Alternativ ist die Vermischung beider Konstruktionsarten (Hybridbau) eine Lösung, um die Vorteile der jeweiligen Baulösung miteinzubringen und Schwachstellen auszusortieren.

Als Anhaltspunkte werden allgemeine Anforderungen an den mehrgeschossigen Holzwohnbau (siehe Kapitel 2.2), ökologische und ökonomische Randbedingungen (siehe Kapitel 2.3 und 2.6) und die bereits ausgeführten Holzwohnbauten (siehe Kapitel 2.7) für die Programmentwicklung herangezogen. Diese werden an einem bereits ausgeführten mineralisch gefertigten Wohnbau mit 6 Obergeschossen (siehe Kapitel 3.2) und seinen Randbedingungen (siehe Kapitel 3.3 und 3.4) an einer vergleichbaren Umkonzeptionierung in einen Holzwohnbau (siehe Kapitel 3.5) gegenübergestellt. In dieser Arbeit wird somit an einem konkreten Beispiel gezeigt, wie und ob der Holzbau in einem mehrgeschossigen Wohnbau, der Gebäudeklasse 5 mit 6 Geschossen, mit den neuen Möglichkeiten, die durch die Brandschutzrichtlinie OIB-Richtlinie 2 [1] des Jahr 2019 entstanden, untermauert werden können.

#### 3.1.2 Vorgehensweise

In dem folgenden Kapitel wird festgestellt, ob es für einen Wohnbau, der in der Gebäudeklasse 5  $\leq$  6 Obergeschosse liegt, möglich ist, diesen in einer Holzbauweise zu errichten. Hierbei wird ein Vergleich vorgenommen von verschiedenen Holzbauvarianten und eine Gegenüberstellung diverser Bauteile. Anschließend werden diese in statischen, bauphysikalischen, ökologischen und ökonomischen Eigenschaften abgeglichen (siehe Abbildung 3.1). An diese Eigenschaften sind, je nach Bauteil sehr individuelle Anforderungen gestellt, die je nach Konstruktionswahl besser oder schlechter erfüllt werden. Im Projekt wird ein Leitfaden für die Planung eines Wohnbaus in dieser Größenordnung dargelegt und auf die Ausführungsvariante hingewiesen. Vor allem soll diese Arbeit aufzeigen, ob sich ein Holzbau in dieser Gebäudeklasse und den dort herrschenden Randbedingungen etablieren kann.

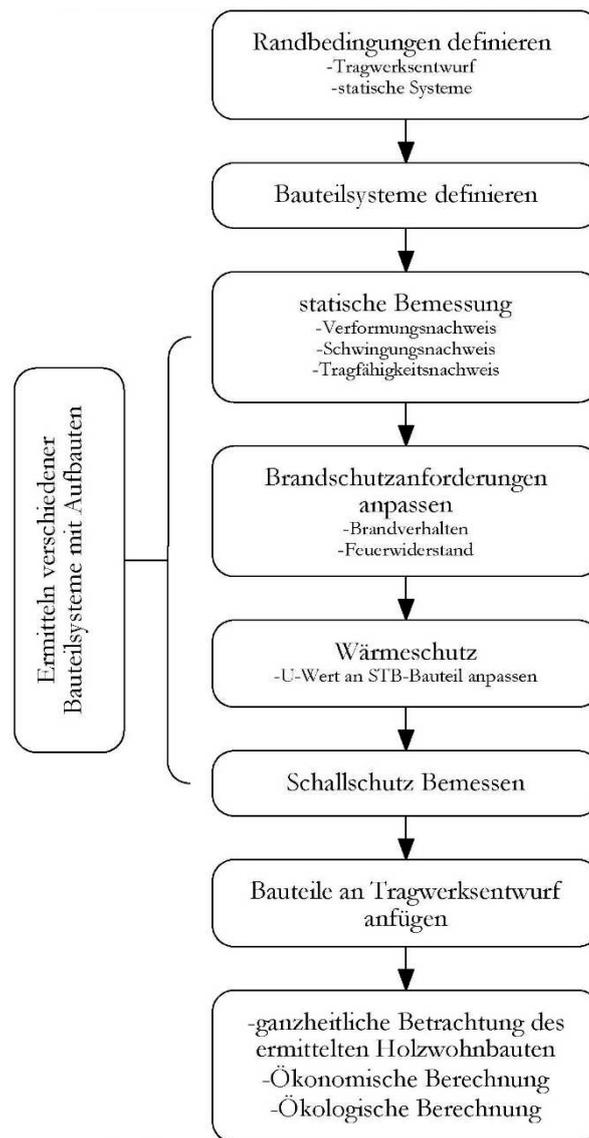


Abbildung 3.1: Allgemeines Ablaufschema bei der Tragwerk- und Bauteilermittlung

### 3.1.3 Grundlage - Grundrisse und Schnitte

Die verwendeten Pläne (Einreichplan, Polierpläne, etc.) in dieser Arbeit sind von der Arge Architekten Stammersdorf, Hermann & Valentiny u. Partner Architekten ZT GmbH, Rainergasse 4, A - 1040 Wien [87] entworfen. Für die statischen Angaben sowie Schalungs- und Bewehrungspläne wurden sämtliche Unterlagen der Firma PCD-ZT GmbH Münchreiterstraße 4, A - 1130 Wien [88] verwendet.

Sämtliche Inhalte des Einreichplans werden im Anhang beigelegt.

### 3.1.4 Verwendete Software

Für die Dimensionierung der einzelnen Holzbauteile in statischer und bauphysikalischer Hinsicht werden verschiedene Softwareprogramme verwendet. In dieser Arbeit werden folgende Programme herangezogen:

- ◆ Konkret V5.5 – Statiksoftware
- ◆ Calculatis by Stora Enso 2018 V2.23.0 – Bemessungsprogramm für CLT-Elemente und HBV-Systeme [89]

- ◆ Baubook Rechner für Bauteile – online Bemessung für Ökokennzahlen [48]

Bei der statischen Bemessung des Stahlbetonbaus wurde von der Firma PCD-ZT GmbH [88] die Software SOFiSTiK (SOFiSTiK AG) angewendet.

### 3.2 Bezugsprojekt in konventioneller Stahlbetonbauweise

Als Grundlage dient ein aktuelles Wohnbauprojekt in Stammersdorf, Wien. Bei diesem Bauvorhaben werden auf 4 Bauplätzen (BP1, BP2, BP3 und BP6) Wohnhäuser errichtet. Auf Bauplatz 1 sechs Objekte, auf Bauplatz 2 drei Objekte, auf Bauplatz 3 zwei Objekte und auf Bauplatz 6 ein Objekt.

All diese Wohnblöcke stehen frei und sind zum Teil durch eine Tiefgarage verbunden. Die Gründung erfolgt durchgehend als Flachgründung, um keine ungleichmäßigen Setzungen zu erhalten. Durch die unterschiedliche Rasterlegung von der Tiefgarage (Untergeschosse) und den Obergeschossen ist die direkte Lastableitung der Wände der Obergeschosse auf die Kellerstützen nicht möglich. Daher stehen die tragenden Wände Großteils in den Feldbereichen der Kellerdecke (Abfangdecke), die mit Unterzügen, Deckensprüngen und einer erhöhten Plattendicke die Gebäude-lasten abfängt.

Als Vergleichsprojekt wird das Wohnbauprojekt am Bauplatz 1 das Objekt 2 (Objekt 1.02) herangezogen. Die Ausführungsphase dieses Bauwerks liegt genau in dem Zeitraum von Mitte 2018 bis Mitte 2019, welches ideal mit der Bearbeitungszeit dieser Diplomarbeit einhergeht.

Dieser Wohnbau weist einen konischen Grundriss vor, welcher eine Länge von ca. 43,6 m und eine Breite einen veränderlichen Verlauf von 19,2 m auf 25,1 m (siehe Abbildung 3.2). Die Gebäudehöhe über Niveau misst ca. 17,8 m. Dieses Objekt ist im Mai 2015 als Objekt in Stahlbetonbauweise eingereicht worden und befindet sich 2018/19 in der Ausführung. [87]

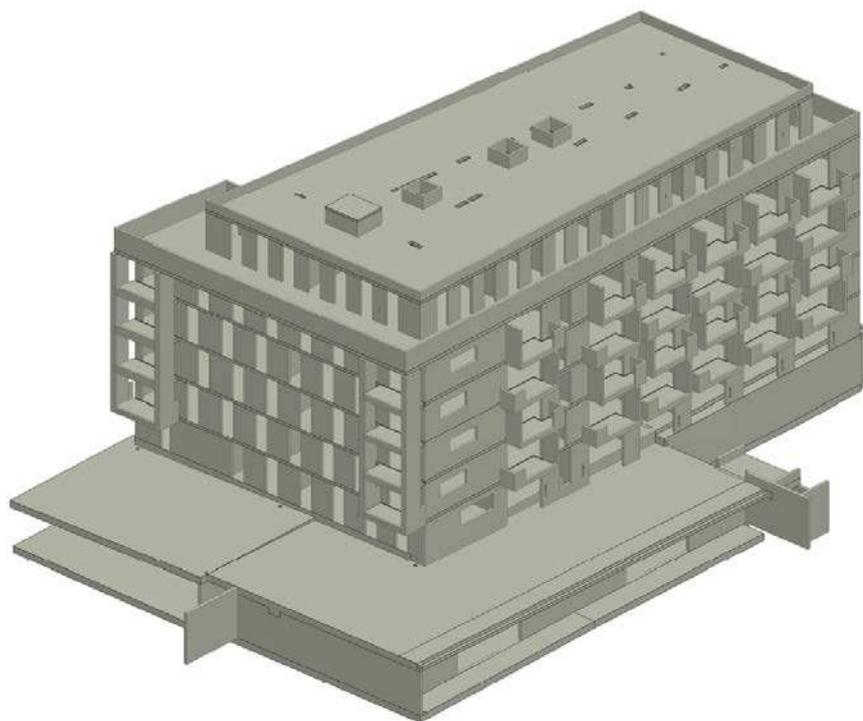


Abbildung 3.2: Ansicht der Rohbauplanung des Wohnbaus aus Stahlbeton [88]

Der eingereichte Wohnbau am Bauplatz 1.02 besitzt sechs Obergeschosse und ein Untergeschoss. Die oberirdischen Ebenen setzen sich aus einem Erdgeschoss, vier Obergeschosse und einem Dachgeschoss zusammen. Das Untergeschoss erstreckt sich durch den gesamten Bauplatz 1 und wird als Tiefgarage genutzt. Die tragenden Wände der Obergeschosse sind nicht an dem Raster des Kellerbauteils angepasst und stehen großteils auf der freien Kellerdecke.

Für diese Diplomarbeit wird der aus Stahlbeton errichtete Kellerbauteil zur Gänze außer Acht gelassen, da hier der Einsatz von Holzbauteilen nicht zielführend erscheint. Es wird lediglich die Belastung des Wohnblocks für eine mineralische Bauweise sowie der Holzbauweise verglichen, um die resultierende Belastung auf die Kellerdecke zu erhalten und die daraus resultierenden Unterschiede der Kellerdeckenbelastung (siehe Kapitel 4.3). Es ist zu erwarten, dass der wesentlich leichtere Holzbau ein Einsparpotenzial für den Kellerbauteil bietet.

Für die einzelnen Geschosse über Niveau werden sämtliche vertikalen Bauteile in Stahlbeton aus Hohlwandelementen und Ortbetonwänden, mit einer Stärke von 18 cm, gefertigt. Die Außenwände sind für die nötigen bauphysikalischen Eigenschaften durch ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit einer Dämmstärke von 20 cm aus expandiertem Polystyrol (EPS) ausgestattet. Für die Wohnungstrennwände in Massivbauweise wird aus Schallschutzgründen eine biegeweiche Vorsatzschale, bestehend aus C-Stahlprofilen mit dazwischen angebrachter mineralischer Dämmung und einer vorgesetzten Gipskartonplatte, angebracht. Sämtliche tragende Wohnungstrennwände ziehen sich vom EG bis zum 4. OG durch, lediglich im Dachgeschoss wird von der Raumaufteilung abgewichen.

Das Treppenhaus befindet sich im Zentrum des Gebäudes und erschließt mit einem zentrisch angeordneten Gang alle Wohnungen in den Geschossen, die ringsum davon angeordnet sind.

Die einzelnen Geschossdecken werden ebenfalls aus Stahlbetonelementdecken gefertigt mit einer Stärke von 20 cm im EG bis 3. OG sowie die Flachdachdecke im DG. Die Stahlbetondecke im 4. OG wird mit einer Stärke von 25 cm ausgeführt, um die aus dem Dachgeschoss rückspringende Wand abfangen zu können. Die maximale Deckenspannweite der ausgeführten Durchlaufplatten, die sich auf die Querwände (Wohnungstrennwände) spannen, beträgt 6,60 m. Für die einzelnen Aufbauten in den Regelgeschossen wird ein Heizestrich, gelagert auf einer EPS-Trittschalldämmung und einer Schüttung aus zementgebundenen Polystyrolbeton, verwendet.

Der Aufbau der Decke im Dachgeschoss wird als bekiestes Flachdach ausgeführt. Die Dämmschicht bildet eine Schicht aus EPS-Platten, die auf einem Gefällebeton verlegt wurden. Die abdichtende Schicht liegt bei dieser Flachdachkonstruktion auf der Dämmschicht (Kompaktdach).

Die Wohnungen im 1. OG bis 4. OG haben Balkone bzw. Loggien, im DG wird der Rücksprung der Außenmauer als Terrasse bzw. als bekieste Dachfläche verwendet. Für die Balkone und Loggien, die frei auskragen, sind als thermische Trennung Isokörbe verwendet worden.

Die horizontale Aussteifung des Objektes erfolgt über die schubsteifen Deckenscheiben aus Stahlbeton, welche die Lasten in die vertikalen Stahlbetonscheiben, die von sämtlichen Wänden im Gebäude gebildet werden, übertragen.

Der Grundriss des 1. Obergeschosses und ein Schnitt ist in Abbildung 3.3 bzw. Abbildung 3.4 ersichtlich.



Abbildung 3.3: Grundriss 1. Obergeschoss des Wohnbaus in Stahlbetonbauweise [87]



Abbildung 3.4: Schnitt durch den Wohnbau in Stahlbetonbauweise [87]

### 3.3 Definition der Randbedingungen

Im Hochbau gibt es mehrere verschiedene Eigenschaften, welche die verschiedenen Bauteile in einem Wohnbau erfüllen müssen. Die wesentlichen normativen Mindestanforderungen wurden bereits im Kapitel 2.2 erläutert. Um die geplante Umkonzeptionierung der Stahlbetonkonstruktion mit einer Holzkonstruktion vergleichbar zu machen, wird bei den Bauteilabmessungen sowie Aufbauten in einer ähnlichen Ausführung geplant. Als primäre Grundlage dienen hierbei die Forderungen der OIB-Richtlinien [10].

Als Erstes wird ein Tragwerksentwurf erstellt und mögliche Tragsysteme für die jeweiligen Bauteile definiert. Für die gewählten Bauteile wird eine statische Bemessung für die Gebrauchstauglichkeit (SLS) und Tragfähigkeit (ULS) durchgeführt, um die notwendigen Bauteilabmessungen der tragenden Schicht zu erhalten. Darauf folgend wird das ermittelte Tragsystem mit den brandschutztechnischen Notwendigkeiten abgeglichen und bei Bedarf die Bauteile mit den erforderlichen Aufbauten angepasst. Die Heißbemessung der Tragwerksteile wird dabei schon bei der statischen Bemessung berücksichtigt. Weiters wird der Wärmeschutz an den vorhandenen Aufbau des Stahlbetonbaus angepasst, um eine idente Basis für die Energiekosten zu erhalten und, um eine Wärmeschutzberechnung beim anschließenden Vergleich weglassen zu können. Zum Abschluss wird der Schallschutz der Bauteile ermittelt (siehe Abbildung 3.1). Eine ökologische Beurteilung sowie das Verhalten über die Lebenszeit und Kosten, Bauzeit etc. wird zum Abschluss für den Stahlbetonbau sowie Holzbau angemerkt und diskutiert (siehe Abbildung 3.1).

Nach der Durchführung des erwähnten Ablaufschemas wird mit den gewonnenen Bauteilen in Holzbauweise eine Betrachtung im ganzheitlichen durchgeführt und darauf eingegangen, ob sich der Holzbau im mehrgeschossigen Holzbau etablieren kann bzw. mit welchen Systemen gebaut werden soll.

In dieser Arbeit werden verschiedenste Bausysteme aufgezeigt, um die Bauteile aus Holz untereinander vergleichen zu können. Bei Systemen, die vor dem Bauherrn nicht sinnvoll vertreten werden können (Preis, Bauhöhe, Fertigung etc.), wird keine genauere Untersuchung vorgenommen. Bei der Umfunktionierung wird zusätzlich darauf geachtet, die vermietbare Netto-Wohnnutzfläche möglichst wenig einzuschränken, die durch übermäßig dimensionierte Aufbauten von Decken und Wänden entstehen. Die nutzbare Raumhöhe in den Geschossen wird wie beim Stahlbetonbau, bei 2,52 m belassen.

Durch die Vielzahl von diversen Holzbausystemen und Holzwerkstoffen, welche für die Bauteile eingesetzt werden könnten, ist es erforderlich, die Untersuchung stark zu reduzieren. Es wird hierfür auf diverse andere Literaturquellen verwiesen, die sich näher mit einem Bauteil bzw. Holzwerkstoff auseinandersetzen. Für die Dachkonstruktion wird vorwiegend eine Flachdachvariante gewählt, um die Vergleichbarkeit zum Bezugsprojekt aufrechtzuerhalten.

Bei der Analyse werden vorwiegend Bauteile untersucht, die den Großteil der Kosten verursachen bzw. die sich vom Stahlbetonbau unterscheiden. Bauteile untergeordneter Rolle, wie beispielsweise Schachtwände, werden nicht berücksichtigt. Diese würden womöglich sogar mit derselben Ausführung hergestellt werden. Des Weiteren wird keine Unterscheidung von Bauteilen berücksichtigt, bei denen sich der Aufbau nur unwesentlich unterscheidet. Eine Vorsatzschale, die statt 6,5 cm nur 5 cm ausgeführt wird, sollte die Berechnung nicht negativ beeinflussen.

### 3.4 Vorhandene Randbedingungen des Stahlbetonbaus

Es wird darauf hingewiesen, dass in den folgenden Kapiteln die zum Zeitpunkt des Verfassens der Arbeit gültigen Normen (Eurocodes, etc.) sowie Richtlinien (OIB-Richtlinien Ausgabe 2019 [10]) verwendet wurden.

#### 3.4.1 Statisches System und Belastung

Das statische System des Stahlbetonbaus baut auf Stahlbetondecken mit einer Stärke von 20 cm auf. Diese bilden einen Durchlaufträger, der sich in Längsrichtung des Gebäudes erstreckt und auf den querstehenden Stahlbetonwohnungstrennwänden abstützt. Die maximale Deckenspannweite beträgt hier rund 6,3 m und die geringste rund 4,0 m. Lediglich die 4. OG-Decke wird mit einer Stärke von 25 cm ausgeführt, um das oberste Staffelgeschoss abzufangen. Die massiven Wände (Wohnungstrenn- und Außenwände) verlaufen vom 4.OG bis zur Kellerdecke und leiten die Lasten der Geschossdecken in diese ab. Für den vertikalen Lastabtrag und der vertikalen Gebäudeaussteifung wirken die Außen- und Wohnungstrennwände. Der aus Stahlbeton gefertigte Kernbauteil leistet somit nur mehr einen geringen Teil der Aussteifung. Sämtliche Stahlbetonwände sind mit einer Stärke von 18 cm ausgeführt (siehe Anhang).



Abbildung 3.5: Deckenspannrichtung der Regelgeschosse in Stahlbetonvariante – mit Isokorb Balkonanschlüssen (grün) und Wandanschlüssen (rosa) [88]

Die Balkone und Loggien in den Regelgeschossen (1. OG bis 4. OG) sind als Kragbalken ausgebildet, die mittels Isokörben an die Decken im Warmbereich eingespannt sind. Beide Bauteile kragen rund 1,4 m bzw. 1,8 m aus (siehe Abbildung 3.5).

Die Deckenbelastung setzt sich aus dem ständig wirkenden Deckenaufbau und der veränderlich wirkenden Nutzlasten zusammen. Auf dem Dachtragwerk wirkt als veränderliche Last eine Schneelast.

Ständig vorhandene Lasten setzen sich aus dem Eigengewicht des Deckenbauteils und des benötigten Fußbodenaufbau zusammen. Bei den veränderlichen Lasten ist innerhalb der Wohnungen eine Nutzlast für die KAT A mit  $2,0 \text{ kN/m}^2$  zuzüglich einem Zuschlag für versetzbare Zwischenwände von  $0,8 \text{ kN/m}^2$  (Linienlast auf die Decke von  $\leq 2,0 \text{ kN/m}$ ) anzusetzen. Der Zwischenwandzuschlag darf nur als gleichförmige verteilte Nutzlast angesetzt werden, falls die belastete Decke über eine ausreichende querverteilende Wirkung der Lasten besitzt. Weiters ist für Balkone, Loggien und Terrasse eine Last von  $4,0 \text{ kN/m}^2$  angesetzt worden. Die oberste Geschossdecke, welche zugleich ein Flachdach darstellt, wird als bekiestes Kompaktdach ausgeführt. Die ständigen Auflasten der obersten Geschossdecke bewegen sich im Bereich der darunterliegenden Decken. Lediglich die Nutzlast wird hier von der Schneelast ersetzt. Die Grundlage für die Lastannahmen bilden die ÖNORM EN 1991-1-1:2010 [23] und der nationale Anhang ÖNORM B 1991-1-1:2017 [90].

Es ist anzumerken, dass hier lediglich die Regelaufbauten verwendet werden, um eine Vergleichsgrundlage zu erhalten. Dieses Vorgehen ist für diese Vergleichsstudie ausreichend.

Die einzelnen Geschossdecken dienen für die Aussteifung in horizontaler Richtung. Diese schubsteife Platte leiten Lasten, die horizontal auf das Gebäude wirken, in die einzelnen Stahlbetondecken weiter und halten somit Wind- und Erdbebenlasten stand.

Sämtliche Aufbauten des Stahlbetonbaus sind im Anhang dargestellt.

### 3.4.2 Brandschutz

Bei Wohnbauten der Gebäudeklasse 5 mit 6 Obergeschossen werden hohe Anforderungen an den Brandschutz gestellt, wie bereits in Kapitel 2.2.2 gezeigt. Grundlage bildet hier die OIB-Richtlinie 2 [1]. Durch die Änderung der zweiten überarbeiteten Ausgabe der OIB-Richtlinie 2 [1] des Jahr 2015 zu der Ausgabe im Jahr 2011 sind für wesentliche Trennbauteile und tragende Bauteile die Anforderung der Nichtbrennbarkeit entfallen (siehe Tabelle 3.1). Somit ist die Fertigung der oberirdischen Geschosse in Holzbauweise ohne Brandschutzkonzept legitim.

**Tabelle 3.1: Neuerungen in der OIB-Richtlinie 2 [1]**

Änderungen in der Neuauflage der OIB-Richtlinie 2 - 2015 in sonstigen oberirdischen Geschossen	GK 5	
	$\leq 6$ oberirdische Geschosse	$> 6$ oberirdische Geschosse
tragende Bauteile	R 90	R 90 + A2
Trennwände (ausgenommen zu Treppenhaus)	REI 90/ EI90	REI 90/EI 90 + A2
Trenndecken	REI 90	REI 90 + A2

Die Fertigung des Treppenhauses, welches gleichzeitig als Fluchtweg dient, bleibt jedoch weiters mit der Brandverhaltensanforderung Euroklasse A2 [2] bestehen und steht nur durch Vorlage eines Brandschutzkonzeptes für den Holzbau offen. Hierfür muss der Leitfaden der OIB-Richtlinie

„Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte [18]“ angewandt werden. Dafür können als anlagentechnische Maßnahmen beispielsweise Sprinkleranlagen und als bauliche Maßnahme Kapselungen der Bauteile vorgenommen werden. [11]

Wird ein Objekt nun in Stahlbeton gefertigt, sind diese Forderungen verhältnismäßig zum Holzbau leicht zu erfüllen. Beton wird als mineralischer Baustoff in die Kategorie A1 des Brandverhaltens lt. ÖNORM EN 13501-1 [2] eingestuft, welcher in dieser Norm als unbrennbar definiert wird und praktisch nicht entzündbar ist. Der Feuerwiderstand spielt bei den Bauteildicken von  $\geq 18$  cm in dieser Kategorie keine Rolle und kann ohne Zusatzmaßnahmen gefertigt werden. Bei der Umfunktionierung des Wohnbaus in einen Holzbau wird dadurch nicht versucht dieselben brandschutztechnischen Anforderungen, wie beim Stahlbeton herzustellen. Es werden hier lediglich die normativen Vorgaben, wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben für Gebäudeklasse 5  $\leq$  6 Geschosse, eingearbeitet.

Das WDVS wird mittel geschäumtem Dämmstoff EPS (Brandverhalten E) hergestellt. Dieser kann in der untersuchten Gebäudeklasse eingesetzt werden, falls die Tragstruktur mindestens dem Brandverhalten A2 (nichtbrennbar) entspricht. Lokal sind hierbei an Fluchtwegen sowie Fenster- und Türöffnungen nichtbrennbare Dämmstoffe (z.B.: Mineralwolle) angewendet werden. Ein EPS-Vollwärmeschutz findet durch die geringen Herstellungskosten gerne Anwendung. [91]

### 3.4.3 Wärmeschutz

Für den Wärmeschutz ist Stahlbeton ein ungeeignetes Material, da ihre Wärmeleitfähigkeit im Gegensatz zu vielen anderen Baustoffen sehr hoch liegt. Werden solche massiven Bauteile vom warmen Innenbauteil ohne etwaige thermische Zusatzmaßnahmen ins Freie geführt, ziehen diese die Kälte regelrecht in die beheizten Wohnräume und es entstehen Wärmebrücken. Daraus resultiert ein erhöhter Heizwärmebedarf und an den abgekühlten Innenoberflächen kann eine anschließende Kondensation entstehen, die eine Schimmelbildung fördert.

Beim gezeigten Stahlbetonprojekt ist daher eine an der gesamten Gebäudehülle verlaufende Dämmschicht in Form eines geschäumten Dämmstoffs aus expandiertem Polystyrol (EPS) angebracht. Diese weist eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit, welche das Wohnbauprojekt vor den äußeren thermischen Einwirkungen schützt. Gleichzeitig wirkt die Wärmedämmung gegen eine übermäßige sommerliche Überwärmung in den Sommermonaten. In Tabelle 3.2 wird der Wärmedurchgangskoeffizient der Regelaufbauten des Stahlbetonbaus angeführt, die im weiteren als Anhaltspunkte der Holzbauteilaufbauten dienen.

**Tabelle 3.2: Vorhandene Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) der Stahlbetonbauvariante und Mindestanforderungen lt. OIB-Richtlinie 6 [28]**

Bauteil		erf U-Wert lt. OIB 6 [W/(m <sup>2</sup> K)]	vorh. U-Wert Betonbauteile [W/(m <sup>2</sup> K)]
Wände	gegen Außenluft	0,35	0,637
Wände	Trennwände	0,90	0,149
Wände	Zwischenwände	keine Anforderung	-
Decken	gegen Außenluft	0,20	0,149
Decken	Trenndecken	0,90	0,720

### 3.4.4 Schallschutz

Der Schallschutz ist bei Wohnbauprojekten ein äußerst wichtiges Entwurfskriterium. Grundlage für die Schallschutzanforderung im Wohnbau bildet die OIB-Richtlinie 5 [35]. Hierbei ist ein

Schutz vor Lärm außerhalb des Gebäudes sowie aus benachbarten Wohnungen und Gängen zu gewährleisten (siehe Kapitel 2.2.6). Beim Bezugsprojekt aus massiven Stahlbetonbauteilen ist dies bereits durch einfache Zusatzmaßnahmen gewährleistet. Bei den Decken wird ein schwimmender Estrich auf einer Trittschalldämmung eingesetzt. Das reicht aus, um die Decke zwischen den Wohnungen als Durchlaufträgersystem auszubilden und auf eine Bauteiltrennung der Decken über den Trennwänden verzichten zu können. Bei den massiven Zwischenwänden sorgt das hohe Eigengewicht in Kombination mit einer zusätzlich angebrachten Vorsatzschale (Metallständerwand mit einer Gipskartonbeplankung) für eine ausreichende schalltechnische Trennung sowie eine Reduktion des Flankenübertrags. Die geringen Zusatzmaßnahmen zur Erfüllung der Schallschutzanforderungen sind begünstigt durch das gute Steifigkeits-/Masse-Verhältnis der Betonbauteile.

Für die Außenbauteile sind die Anforderungen abhängig vom maßgeblichen standort- und bauteilbezogenen Außenlärmpegel. Dieser liegt beim vorliegenden Projekt in einer Zone mit 55-60 dB Außenlärmpegel infolge des des Straßenverkehrs (siehe Anhang). Demzufolge müssen Außenbauteile im Gesamten ein bewertetes resultierendes Bauschalldämm-Maß  $R_{res,w}$  von mind. 38 dB vorweisen. Für den reinen Wandbildner (Außenbauteil opak) demzufolge ein 5 dB höherer Wert von  $R_w$  mit 43 dB lt. OIB-Richtlinie 5. [35]

Bei Trennwänden zwischen verschiedenen Aufenthaltsbereichen liegt der Grenzwert des bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  bei 55 dB und des höchst zulässige bewertete Standard-Trittschallpegel  $L'_{nT,w}$  bei 48 dB. [35]

### 3.4.5 Zusammenfassung der vorliegenden Randbedingungen

Für den Wohnbau in mineralischer Bauweise ist eine schwere massive Baustruktur festzuhalten. Diese weist eine hohe statische Unbestimmtheit auf, da alle Decken als Durchlaufträger wirken und zusätzlich durch ihre zweiachsige Beanspruchbarkeit Lasten auf alle umlaufenden Decken leiten. Die Aussteifung findet anhand aller Wände des Gebäudes statt, die je nach Durchdringungsgrad von Öffnungen (Außenwände) mehr oder weniger dazu beitragen. Die Außenwand ist mit einem WDVS aus EPS gefertigt, was eine Art Standardlösung für den mehrgeschossigen Wohnbau (Stahlbetonbauweise) in Österreich darstellt. Dies ist vorwiegend auf den günstigen Herstellungspreis [91] zurückzuführen. Bei den Detailausführungen von Deckenauflagern, Kernwandanschluss, Fundamentplattenanschluss, usw. sind die Ausführungen ohne besondere Zusatzmaßnahmen ausgeführt worden. Die direkt zusammengefügte STB-Bauteile sind hierbei mit der Bewehrung konstruktiv bzw. statisch verbunden.

Für die folgende Umkonzeptionierung in einen Holzwohnbau werden in den nächsten Kapiteln 3.5 bis 3.14 die vorhandenen STB-Bauteile direkt neben den ermittelten Holzbauvarianten aufgezeigt, um einen direkten Vergleich zu erhalten. Eine ökologische und ökonomische Bewertung wird für alle Bauteile ebenso gemeinsam in den nächsten Schritten ermittelt.

Bei der Ausarbeitung des Bezugsprojektes in Holzbauweise sind alle durchgeführten statischen, bauphysikalischen, ökologischen sowie ökonomischen Berechnungen für die gewählten Bauteile im Anhang beigelegt. Es wird darauf hingewiesen, dass die Bemessungen einen Vorentwurfscharakter gleichen und hier vermehrt mit Vereinfachungen und Annahmen gearbeitet wird.

## 3.5 Tragwerksentwurf des Holzwohnbaus

### 3.5.1 Allgemeines

Für die Umfunktionierung in einen Holzwohnbau wird als erster Ansatz ein Tragwerksentwurf aufgebaut, der für den Holzbau als äußerst günstig erscheint. Im Betonbau werden viele Bauteile in Ortbetonbauweise bzw. mit Teilfertigteilen hergestellt, die eine Ausführung als mehrfach unbestimmten System begünstigen. Bei Geschossdecken sind damit Durchlaufdecken und zweiachsige Spannrichtungen Standard. Für Tragwerke in Holz bieten sich hingegen einachsig gespannte Stäbe und Platten als äußerst praktikabel an (siehe Kapitel 2.4). Grund dafür sind die üblicherweise bereits vorgefertigten Bauteile, welche direkt auf die Baustelle transportiert und gleich montiert werden. Werden beispielsweise größere Durchbrüche in Platten vorgesehen, sind diese Störstelle meist mit Auswechslungen in Form von Stahlbauteilen herzustellen. Ein zielführender Entwurf des Tragwerks wird sehr einfach gehalten, um unnötige Detailausarbeitungen zu vermeiden.

Die einzelnen Bauteile werden so geplant, um möglichst zeiteffizient auf der Baustelle agieren zu können. Es wird somit für den Großteil der Bauteile eine Werkvorfertigung präferiert. Für die einzelnen Bauteile wird im Vorhinein eine Last der einzelnen Decken angenommen und diese in nachfolgenden Schritten, beispielsweise durch Anpassen an den Schallschutz, nicht mehr nachgebessert. Die Bauteile haben einen Vorbemessungsstandard.

Der ausschlaggebendste Bauteil für die Tragwerksplanung sind sämtliche Decken, die aus statischer sowie aus bauphysikalischer Hinsicht die meisten Anforderungen stellen. Für eine effiziente Tragwerksfindung ist daher eine Bearbeitung der Bauteile mit folgender Reihenfolge zu empfehlen:

1. Geschossdecken
2. Außenwände mit Fassadenaufbau
3. Balkone und Loggien
4. Wohnungstrennwände
5. Zwischenwände in den Wohnungen

Bei der Ermittlung der Bauteile sollte im Voraus bereits die Gebäudeaussteifung festgelegt sein und entschieden werden, welche Bauteile dafür herangezogen werden.

Beim vorliegenden Wohnbauprojekt wird für die Tragwerksfindung eine Variante mit relativ weiten Spannweiten der Decken, vom Kern zur Außenwand mit ca. 9,00 m sowie einer zweiten Variante mit gemäßigten Spannweiten von Wohnungstrennwand zu Wohnungstrennwand mit ca. 6,00 m gewählt. Beide Tragwerke werden anschließend mit flächigen Deckenbauteilen durchdacht (siehe Abbildung 3.6 bis Abbildung 3.8). Wie sich die unterschiedliche Deckenspannrichtung und deren Deckenwahl ergibt, ist vorwiegend abgängig von der Einsatzmöglichkeiten der jeweiligen Deckenkonstruktion, da sich einige Deckensysteme erst ab einer gewissen Spannweite als wirtschaftlich herausstellen (siehe Kapitel 3.7).

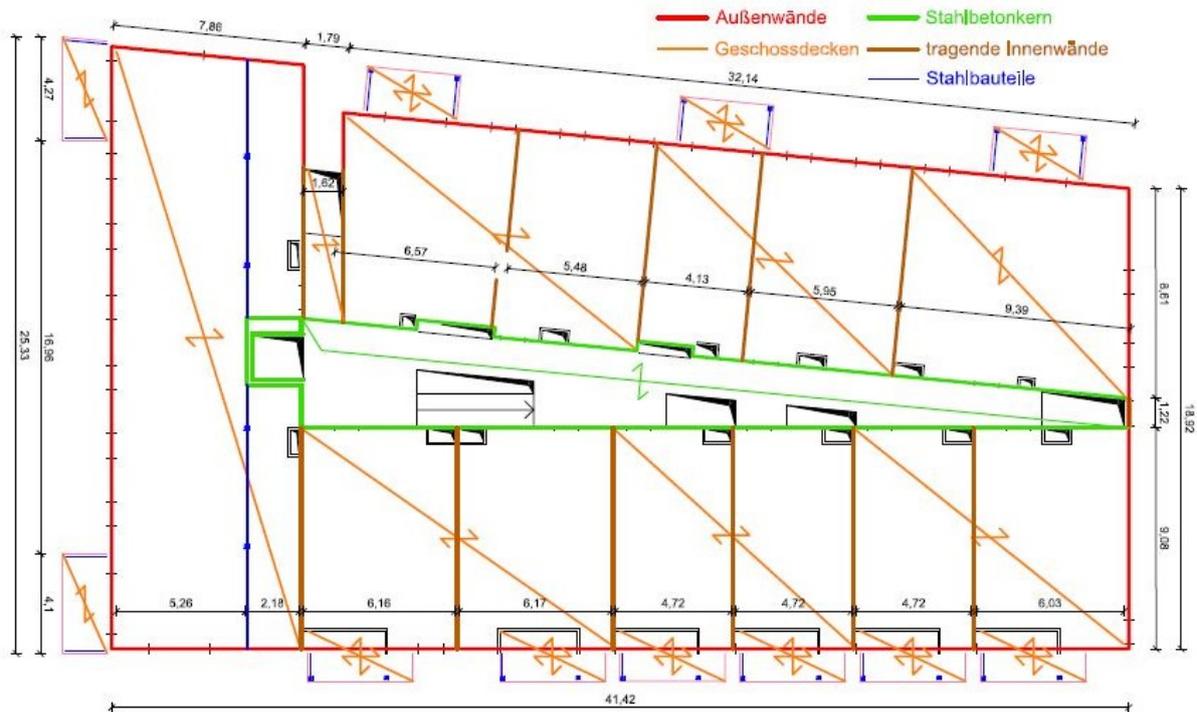


Abbildung 3.6: Tragwerksentwurf für Deckenspannrichtung auf die Querwände 1. OG

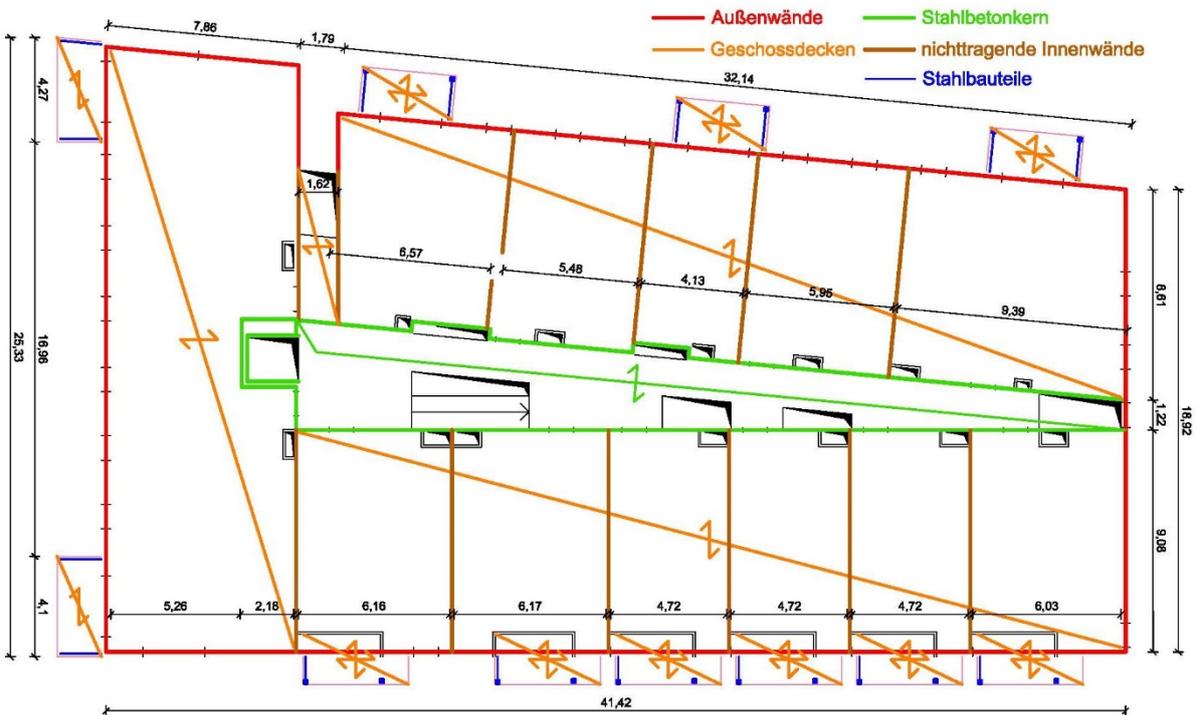
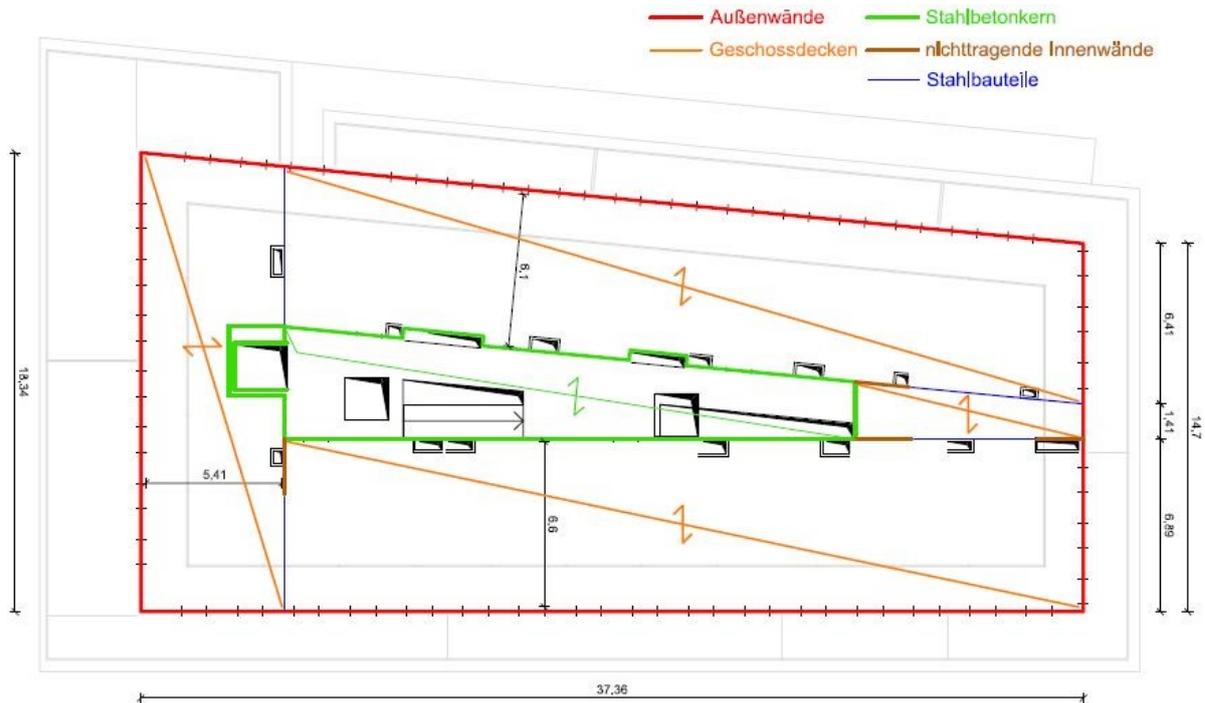


Abbildung 3.7: Tragwerksentwurf für Deckenspannrichtung auf Kern und Außenwände 1. OG



**Abbildung 3.8: Tragwerksentwurf des Dachgeschossflachdachs 1. DG**

Das Treppenhaus im Zentrum des Gebäudes wird unverändert als Stahlbetonbau des Vorlageprojekts beibehalten und wird für den weiteren Vergleich gänzlich außer Acht gelassen. Die Ausführung des Stiegenhauses, welches den einzigen Fluchtweg darstellt, fordert eine nichtbrennbare Tragstruktur (REI90 + A2) lt. OIB-Richtlinie 2 [1]. Diese Anforderung ist durch mehrere Expertenmeinungen sehr umständlich zu erfüllen. Dies zeigt sich auch bei den bereits gebauten Beispielen in Kapitel 2.7, bei denen nur zwei von elf Projekten mit einem Kernbauwerk in Holzbauweise ausgeführt wurde. Hierfür müssten für die brennbaren Holzelemente brandschutztechnische Kompensationsmaßnahmen ausgearbeitet werden, welche aufwendig zu planen und herzustellen sind. Eine Ausführung des Erdgeschosses kann unter Umständen auch als sinnvoll erachtet werden, wenn dieses für gewerbliche Zwecke (Brandschutz) genutzt wird (siehe Wohn- und Gewerbebau Badenerstraße in Kapitel 2.7.5) oder hohe Lasten von den darüberliegenden Geschossen abtragen soll. Bei der Projektbeschreibung im Kapitel 3.2 wurde beschrieben, dass sich die lastabtragenden Wände frei auf die Kellerdecke stellen sowie teilweise nur punktuell auf den Wänden bzw. Stützen im Kellergeschoss abstützen. Werden wandartige Träger im Erdgeschoss zur Lastabfangung verwendet, kann die Ausführung dieser in Stahlbeton wiederum als sinnvoll erachtet werden.

Die Bemessung der gesamten Struktur auf Erdbebeneinwirkungen wird in dieser Arbeit nicht durchgeführt. Die Aussteifung wird mit ingenieurmäßigem Wissen begründet und sollte für einen Wohnbau dieser Größenordnung und Erdbebenzone gut abschätzbar sein.

Bei der Außenwand wird zudem auf eine Auflösung einer massiven Wandscheibe in Stützen verzichtet, da sich hier durch die unregelmäßige Anordnung der Fenster und Türen ein zu unregelmäßiges Raster ergeben würde (siehe Gebäudeansichten im Anhang). Für eine Skelettbauvariante bietet sich ein Bauwerk an, welches einen gleichmäßigeren Raster im Grundriss und Aufriss vorweist. Somit können gleiche Bauteile gefertigt werden und verringert dadurch die Planungs- und Ausführungszeit (siehe System von Cree by Rhomberg [92]).

Aufgrund der unregelmäßigen Formgebung im Grundriss wird die Ausführung als Zellenbau, der üblicherweise mit gleichen Abmessungen der Raumzellen arbeitet, nicht in Betracht gezogen.

Bei der Gestaltung der Oberflächen in den Innenräumen wird vorzugsweise eine Beplankung aus Gipskarton an Wänden und Decken angebracht. Dies resultiert zum einen durch das verbesserte Brandschutzverhalten der Bauteile und zum anderen, dass viele Bauherren für vermietbare Wohnbauten keine sichtbaren Holzoberflächen wünschen, wie aus einem Expertengespräch mit Herrn Troppmann- Sales Director Building Solutions bei Stora Enso Wood Products GmbH [33], hervorgeht. Es ist weiters eine Verbesserung des Schallschutzes über flankierende Bauteile mit entkoppelten Vorsatzschalen bzw. abgehängten Decken anzumerken. Dieser Punkt wird in den nächsten Kapiteln näher ausgearbeitet.

### 3.5.2 Resümee zum Tragwerksentwurf

Die Erarbeitung eines Skelettbaus oder eines Zellenbaus sind für einen Wohnbau mit diesen unregelmäßigen Grundrissen sowie Fassadenkonstruktion, die durch unregelmäßiger Fensteranordnung geprägt ist, äußerst schwierig und würde die typischen Vorteile der vorgestellten Konstruktionsarten in Holzbauweise zunichtemachen. Hier wird nochmals darauf hingewiesen, dass sich für einen Skelettbau sowie Zellenbau ein fixes Raster im Grund- und Aufriss mit regelmäßigen Abmessungen als beinahe notwendig herausstellt, um einen gewissen „workflow“ in der Planung, Fertigung sowie auf der Baustelle zu schaffen.

Vergleicht man das vorliegende Vergleichsprojekt mit den Beispielprojekten in Kapitel 2.7 ist zuerst der wesentliche Unterschied im konisch verlaufenden Grundriss aufzuzeigen. Bei allen bereits gefertigten Projekten wurde eine Regelmäßigkeit angestrebt, die zumindest eine gleiche Deckenspannweite in den Geschossen ermöglicht. Im Bezugsprojekt ist ein höherer Planungs- und Fertigungsaufwand nötig, um speziell die Decken zu fertigen.

Bei der Ausführung mit hohen Deckenspannweiten ist eine hohe Flexibilität in der Raumgestaltung zu erkennen, da hier der gesamte Raum zwischen Kernbauwerk und Außenwände frei für die Raumgestaltung bleibt. Jedoch ist hierbei mit höheren Deckenhöhen zu rechnen, welche durch die maximal zulässige Bauhöhe zur Verringerung an vermietbarer Wohnfläche führt, da sich die Netto-Wohnnutzfläche des Dachgeschosses verringern wird. Weiters ist ein erhöhter Flächenpreis der Decke zu erwarten. Für die Raumtrennung können hier leichte versetzbare Wände zum Einsatz kommen, die eine nachträgliche Umnutzung der Räumlichkeiten ermöglichen. Bei der Variante mit gemäßigter Spannweite, werden die Wohnungstrennwände tragend ausgeführt und sind im Nachhinein nicht versetzbar, zugunsten günstigerer Decken sowie geringerer Deckenhöhe.

Für den Bau eines wirtschaftlichen Wohnbaus ist es wichtig, dass das Gebäude für einen Holzbau geplant wird und nicht die Elemente von einem durchdachten Stahlbetonbau abgeändert werden. Diese direkte Umplanung eines mineralischen Wohnbaus in einen Leichtbau aus Holz wird laufend praktiziert und führt bei diversen Elementen und Details zu komplizierten, teuren und fehleranfälligen Ausführungen (z.B.: Flachdächer, Balkone, Deckengeometrie etc.). Andererseits ist die Fertigung von mehrgeschossigen Gebäuden, die rein in Holz gefertigt werden, genauso Irrsinn. Holz ist nicht für jeden Teil eines Gebäudes in einer solch hohen Gebäudeklasse mit deren Anforderungen die perfekte Lösung (z.B.: Treppenhaus), wie bereits im Kapitel 2.2.2 und Kapitel 2.7 gezeigt wurde. Somit ist für die Planung eines ökologischen und zugleich wirtschaftlichen Wohnbaus eine sinnvolle Kombination verschiedener Baustoffe samt ihren spezifischen Stärken zu treffen. Ein Wohnbau muss vor allem raumsparend, robust und kostengünstig herzustellen sein.

Dieses eiserne abändern von Stahlbetonbauteilen wird in dieser Arbeit vorgenommen, damit Problemstellungen besser hervorgehoben und anschließend passende Lösungen gefunden werden.

Wesentliche Ansprüche an das Tragwerk richten sich vor allem an die normgemäße Lastableitung, die sich aus den ständigen Lasten, veränderlichen Lasten und außergewöhnlichen Belastungen (z.B.: Erdbeben) zusammenstellt. Dynamische Belastungen sind bei diesem Wohnbau bereits ein wichtiges Thema, da die Gebäudehöhe in der Gebäudeklasse 5 so hoch ist, dass dieser im Aufriss nicht mehr als gedrungen angesehen werden kann. Damit sind bei einem Erdbeben wesentlich Anforderungen auf die horizontale Tragfähigkeit des Gebäudes gestellt. Für eine fachgerechte Lastableitung ist es äußerst wichtig eine flächige Formstabilität in den einzelnen Geschossebenen herzustellen, um keine lokalen Schwachstellen zu haben. Um eine möglichst homogene Verformung der Tragstruktur zu erreichen, ist es empfehlenswert die einzelnen Geschossdecken durchgehend mit einer ausreichenden Schubsteifigkeit auszuführen. Dies wird mit plattenförmigen Decken bewerkstelligt, wie es in Kapitel 2.7 bei allen Projekten durchgeführt wurde. Bei der Wahl von linear ausgerichteten Bauelementen ist besonders auf die schubsteife Beplankung, die Auskreuzungen und die Abstreben Acht zu achten.

### 3.6 Aussteifung des Holzwohnbaus

Generell lassen sich für die Aussteifung eines mehrgeschossigen Wohnbaus zwei Aussteifungssysteme zeigen. Zum einen kann ein massives Kernbauwerk gefertigt werden, welches Horizontallasten in das Fundament ableitet. Zum anderem kann die Aussteifungen in den Ebenen der Trenn- und Außenwände geschehen. Diese können mittels kreuzweiser Verstrebung, biegesteifer Rahmen oder Wandscheiben erfolgen. Eine Kombination aus Kern- und Wandaussteifung ist hierbei auch möglich (siehe Abbildung 3.10).

Bei der derzeitigen normativen Lage ist der Kernbauteil ohnehin aus einem nichtbrennbaren Werkstoff, wie Stahlbeton auszuführen, welcher sich gleich als idealer Aussteifungsbauteil herausstellt, wie sich in Kapitel 2.7 bei den Vorzeigeprojekten zeigt. Fertigt man weiters ein Wohnbauprojekt ist die Anforderung an große Räumlichkeiten, in denen man die Räume nach Belieben verändern kann, nicht essenziell. Es ist möglich, einzelne aussteifende Wände um den Aussteifungskern zur Aussteifung heranzuziehen.

Die Aussteifung von mehrgeschossigen Gebäuden aus Stahlbeton mit durchgehend massiven Außen- und Innenwänden findet mithilfe aller Wände statt. In den Geschossebenen übernimmt dies eine vollflächige schubsteife Decke. Damit plattenförmige Baustoffe, wie beispielsweise Brettsperrholz, einen ausreichenden Verbund unter den einzelnen Platten geben, sind die Plattenstöße auf Quer- und Schubkräfte zu koppeln. Das kann eine gelenkige Verbindung in Form von einer eingefrästen Stoßdeckungsleiste, einem Stufenfalz oder einer simplen Verschraubung mit Vollgewindeschrauben sein (siehe Abbildung 3.9). Bei einer HBV-Decke übernimmt dies zusätzlich die Aufbetonschicht. Für die Kalkulation ist bei einer Stufenfalzausbildung der verlorene Plattenquerschnitt, der durch Überlappung entsteht, zu berücksichtigen.

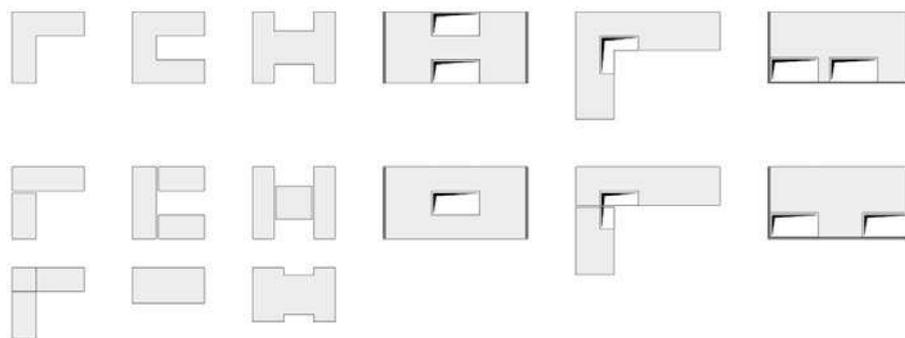


**Abbildung 3.9: Plattenstoß entlang der Längsseite mit eingefrästen Stoßdeckungsleiste, Stufenfalz oder gekreuzten Vollgewindeschrauben [93]**

Die angeführten Plattenstöße in Abbildung 3.9 dürfen für den Raumabschluss und die Wärmedämmung (EI90) nachweisfrei ausgeführt werden (siehe [29]) und für die Beanspruchung ist die Tragfähigkeit auf die hohen Brandbeanspruchungen nach ÖNORM B 1995-2 [14] zu bemessen. Für die Einhaltung der Luftdichtheit sind zusätzliche Maßnahmen in den Stoßstellen zu treffen. Diese können mittels Klebe- oder Dichtungsbänder hergestellt werden.

Für die Auslegung der Aussteifung im Grund- und Aufriss wird in der ÖNORM EN 1998-1 [84] empfohlen, folgende Entwurfsprinzipien zu berücksichtigen (siehe Abbildung 3.10):

- ◆ konstruktive Einfachheit
- ◆ Regelmäßigkeit, Symmetrie und Redundanz
- ◆ bidirektionale Beanspruchbarkeit (Widerstand) und Steifigkeit
- ◆ Torsionsbeanspruchbarkeit und Torsionssteifigkeit
- ◆ aussteifende Wirkung in der Geschossebene
- ◆ ausreichende Gründung



**Abbildung 3.10: ungünstige Anordnung (oben) und günstige Anordnung (unten) von Aussteifungselementen [94]**

Bei dem vorliegenden Holzwohnbauprojekt wird das zentrisch angeordnete Kernbauwerk aus Stahlbeton, in dem die vertikale Erschließung des Gebäudes untergebracht ist, für die Aussteifung herangezogen. Für die Aussteifung sind die Horizontallasten aus Wind- und Erdbebenlasten von Bedeutung. Bei der Bemessung mit einem vereinfachten Modell werden diese in Höhe der Geschossdecken angesetzt. Das Kernbauwerk bzw. Stiegenhaus aus Holz zu fertigen, ist in Österreich nach wie vor sehr umständlich. Dies wird dadurch gezeigt, dass es bis dato noch kein Vorzeigeprojekt hierzulande gibt (siehe Kapitel 2.7). Neben den Brandschutzaufgaben wirkt sich die geringe Steifigkeit des Holzkerns horizontal auf die hohe Verformung aus. Aussteifungsbauteile aus einer leichten Holzbauführung müssen zudem gegebenenfalls mit einer zusätzlichen Zugverankerung an das Fundamentbauwerk verankert werden (siehe Kapitel 3.12).

Die weiteren Bauteile aus Holz werden ringsum an den Kern angeordnet. Diese werden rein für den vertikalen Lastabtrag herangezogen. Horizontal sind die Geschossdecken schubfest in die vertikale Aussteifung anzuschließen. Generell ist es eine effiziente Methode die Horizontallasten flächendeckend mit einer konstant schubsteifen Decke in die Aussteifungswände einzuleiten. Falls Geschossdecken nicht eigenständig eine Aussteifungsebene bilden, sondern mittels linear gespannten Träger gefertigt werden, sind diese mit einer schubsteifen Beplankung oder Auskreuzung zu versehen.

Durch den schmalen Kernbauteil im Vorlageprojekt wird eine zusätzliche Aussteifung durch Wandscheiben erforderlich. Die Aussteifungswände sollten hierbei gleichmäßig angeordnet werden, damit keine zu hohen Torsionskräfte am Gebäudeträgerwerk gebildet werden. Durch die gleichmäßige Anordnung der Wohnungstrennwände im Vorlageprojekt ist diese Anforderung bereits erfüllt. Die Außenwände im Vorzeigeprojekt sind für die Aussteifung ungeeignet. Die unregelmäßige Anordnung der Fenster- und Türöffnungen sorgt dafür, dass sich kein kontinuierlicher Kraftfluss bis ins Fundament ausbilden kann. Zahlreiche Öffnungen (ungeeignet für einen Aussteifungsbauteil) in der Außenhaut sind bei Wohngebäuden üblich und kann somit auf die Mehrheit der Wohnbauten übertragen werden. Würde eine Skelettbauvariante zur Ausführung kommen, sollte eine Wohnungstrennwand im Randbereich für die Vertikalaussteifung herangezogen werden und nicht eine Außenwand.

Für die Wandscheiben, die zur Aussteifung herangezogen werden, ist damit zu rechnen, dass sich durch ihre Höhe (5 Geschosshöhen) und zugleich schmale Form Abhubkräfte am Aufstandspunkt bilden (siehe Abbildung 3.11). Die zu verankernden Kräfte sind maßgebend vom Verhältnis von Wandhöhe/-breite abhängig sowie von der resultierenden Gesamtlast der Wand, welche die Zugkräfte kompensiert. Zur Ableitung der abhebenden Kräfte werden üblicherweise Stahlbauteile





**Abbildung 3.12: Scheibenwirkung diverser Holzbautrennwände [25]**

Als Aussteifungselemente außerhalb des mineralischen Kernbauteils sind somit Brettsper Holz-scheiben als bevorzugte Aussteifungsbauteile anzusehen. Furnierschichtholz-scheiben sind, da sie in Österreich noch unzureichend in Verwendung sind, nur als eine gute Möglichkeit angesehen, genauso wie Stahlbandauskreuzungen. Die Auskreuzung als Stahlbänder ist insofern nicht zu empfehlen, da ohnehin eine Brandschutzabschottung benötigt wird und dies gleich mit den Holz-bautafeln bewerkstelligt werden kann.

### 3.7 Geschossdecken

Für einen mehrgeschossigen Wohnbau sind die wesentlichen Bauteile für die Tragwerksfindung die Decken. Sie stellen in Summe die meisten Anforderungen an die bauphysikalischen und statischen Forderungen und sind von der Kubatur äußerst relevant in Sachen Ökonomie und Ökologie. Nichtsdestotrotz wird für die Decken ein System gewählt, welches eine gebäudeaussteifende Wirkung erzielt und Lasten, die horizontal auf das Gebäude wirken, direkt in die aussteifenden vertikalen Bauteile weiterleiten kann. Dies kann einerseits durch einen flächige Holzdeckenvariante, wie beispielsweise Brettsperrholz- oder verleimter Brettstapelplatten, erzielt werden. Andererseits kann die schubsteife Wirkung durch eine vollflächige Aufbetonschicht, die mit der Holzdecke verbunden ist, geschaffen bzw. verstärkt werden. Mit der vollflächigen Variante werden unter anderem die Eigenschaften hinsichtlich Brand- und Schallschutzes, Aussteifung und Schwingung verbessert.

Bei Deckenvarianten mit Aufbeton sind erhöhte Kosten zu erwarten durch die Ausführungsdetails und den Schubverbund (Verbindungsmittel) die besondere Sorgfalt verlangen. Es können jedoch mit einer HBV-Decke die Schwachstellen von Holzbaukonstruktion geglättet werden. Die höhere Deckenspannweiten ermöglichen eine erhöhte Flexibilität in der Raumgestaltung sowie eine erleichterte Umnutzung.

Für die erste Abschätzung der Deckenkonstruktion können aus Tabelle 3.3 wirtschaftliche Richtwerte für die Spannweiten herangezogen werden, die Anhand einer Diplomarbeit von Koliha M. ermittelt wurden. [52]

In diesem Beispielprojekt werden vorwiegend Deckensysteme in Betracht gezogen, die bereits bei ausgeführten Projekten in Kapitel 2.7 in Verwendung waren. Durch dieses Vorgehen kann davon ausgegangen werden, dass mit Systemen gearbeitet wird, die sich sowohl aus wirtschaftlicher sowie fertigungstechnischer Hinsicht mehr oder weniger etabliert haben. Es werden für den Vergleich zusätzlich die Rippendecken in Holzbauweise und Hohlkörperdecken aus Beton zum Vergleich hinzugefügt, um ein Resümee aller gängigen Deckensysteme auf den Wohnbau bilden zu können.

In Tabelle 3.3 werden Deckensysteme gezeigt, die besonders im Geschosswohnbau in Verwendung sind. Hier lassen sich übliche Deckeneigenschaften der jeweiligen Deckenkonstruktion unter Verwendung eines Nassestrichdeckenaufbaus ablesen und die Deckenwahl für das jeweilige Tragsystem wählen. [52]

Weiters ist in Tabelle 3.3 zu sehen, dass sich Holz- und Betondecken stark durch ihre Stärken und Schwächen unterscheiden. Darum ist es von wesentlicher Bedeutung bei einem Bauvorhaben vor dem Entwurf zu entscheiden, mit welchem Baustoff das Gebäude gebaut werden soll, um jeweilige Nachteile der Konstruktion im Voraus ausschließen bzw. Vorteile hervorheben zu können. Bei Holz-Beton-Verbunddecken wird versucht die positiven Eigenschaften der beiden Materialien zu nutzen und die negativen zu minimieren.

**Tabelle 3.3: Gängige Deckentragssysteme im mehrgeschossigen Wohnbau und deren Eigenschaften (Inhalt entnommen aus [52])**

Deckenart mit Nassestrich-deckenaufbau	Spannweiten	Deckenhöhe	Eigengewicht	Wärmespeicherfähigkeit	Schallschutz	Wärmedämmeigenschaften	Wirtschaftlichkeit	Bauzeit	Ökologische Eigenschaften	Feuerwiderstand	zweiachsig Spannbar	Leitungsführung in der Decke
Balkendecke	bis 4,0 m	rot	grün	rot	weiß	grün	weiß	weiß	grün	rot	rot	grün
Brettsperrholzdecke	bis 5,0 m, bis 6,0 m als Durchlaufsystem	weiß	grün	rot	weiß	grün	rot	grün	grün	weiß	grün	weiß
Brettstapelholzdecke	bis 5,0 m, bis 6,0 m als Durchlaufsystem	weiß	grün	rot	weiß	grün	rot	grün	grün	weiß	rot	rot
Hohlkastendecke	4,5 m bis 10,0 m	weiß	grün	rot	weiß	grün	rot	grün	grün	weiß	rot	weiß
BSP-Rippendecke	5,5 m bis 10,0 m	rot	weiß	rot	rot	grün	weiß	weiß	grün	weiß	rot	grün
BSP-Beton Verbunddecke	5,5 m bis 10,0 m	grün	grün	weiß	weiß	grün	rot	weiß	grün	weiß	grün	weiß
Holz-Beton Verbundrippendecke	5,5 m bis 10,0 m	weiß	grün	weiß	weiß	grün	rot	weiß	grün	weiß	rot	grün
Plattendecke (Ortbeton) ohne Vorspannung	3,5 m bis 8,5 m	weiß	rot	grün	grün	weiß	grün	rot	weiß	grün	grün	weiß
Betonelementdecke ohne Vorspannung	bis 8,5 m	weiß	rot	grün	grün	weiß	grün	weiß	weiß	grün	grün	weiß
Spannbeton Hohldecke	5,5 m bis 19,0 m	grün	grün	weiß	weiß	weiß	grün	grün	weiß	grün	rot	weiß
		stärken				mäßig			schwächen			

### 3.7.1 Deckenwahl

Für die Deckenwahl im Beispielprojekt werden die notwendigen Deckenkonstruktionen anhand des im Kapitel 3.5 vorgestellten Tragwerksentwurfs entworfen. Am Ende dieses Kapitels werden die Deckenaufbauten auf ihre Sinnhaftigkeit für die Verwendung bei einem Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Obergeschosse Wohnbau bewertet.

In der Diplomarbeit „Leitfaden zur Wahl der optimalen Deckenkonstruktion“ [52] wurden zahlreiche Decken mit ihren Vor- und Nachteilen verglichen und ein Resümee über deren Anwendungsmöglichkeiten gebildet (siehe Tabelle 3.3). Hierbei geht hervor, dass sich reine Tramdecken und deren Nachteile, wie schlechter Schallschutz und Brandschutz, große Konstruktionshöhe, wenig Speichermassen sowie der reinen einachsigen Spannbarkeit, nicht für den mehrgeschossigen Wohnbau sinnvoll einsetzen lässt. Lediglich die geringen Deckenlaste ist als Vorteil hervorzuheben. Weiters wird die Brettstapelholzdecken, die beinahe die identen Eigenschaften wie die Brettsperrholzdecke vorweist, von dieser am Markt abgelöst. Diese unterscheidet sich vorwiegend durch ihre einachsige Spannbarkeit, geringere Scheibenwirkung sowie einen höheren Preis. Brettstapelholzdecken werden daher auch nicht weiter untersucht. Für die Hohlkastendecke sind, wie auch bei der Brettstapeldecke, ähnliche Eigenschaften wie bei der Brettsperrholzdecke zu erwarten. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass durch die erforderliche Brandwiderstandsdauer von REI90 lt. OIB-Richtlinie 2 [1] der Geschossdecken eine übermäßige Dimensionierung

der unteren Platte in Kombination mit einer zusätzlichen Beplankung mit sich führt. Laut der Arbeit „Leitfaden zur Wahl der optimalen Deckenkonstruktion“ [52] ist bei der Kostenschätzung ein um 6 % geringerer Quadratmeterpreis der Hohlkastendecke zur Brettsperrholzdecke (inkl. notwendigen Aufbau) zu erwarten, wobei für diese Aussage eine geringere Brandbeanspruchung als REI90 untersucht wurde. Durch die hohen Brandschutzanforderungen, ungleichmäßiger Grundrissgeometrie und zahlreichen Durchbrüchen ist eine weitere Bearbeitung dieser Decke nicht zielführend. Aus Tabelle 3.3 geht des Weiteren hervor, dass Hohldielendecken aus Beton wesentliche Vorteile für die Anforderungen im mehrgeschossigen Wohnbau zeigen und den einzigen Nachteil die einachsigen Spannbarkeit vorweist.

Weiters wird in der oben genannten Diplomarbeit [52] für Wohnbauten mit kürzeren Spannweiten (bis 7,0 m) Vollplattendecken aus Ortbeton, Fertigteildecken mit Ortbetong Ergänzung und Brettsperrholzdecken empfohlen. Für weitere Spannweiten bieten sich die Spannbeton Hohldecke sowie eine Holz-Beton-Verbund Variante an.

Für den Tragwerksentwurf in Holzbauweise, bei dem sich die Decken auf die Querwände stützen, ist für eine Spannweite bis zu 6,0 m nur die Brettsperrholzdecke als beste Holzbauausführung anzusehen. Diese wird als Durchlaufträger ausgebildet, welche die notwendige Plattenstärke wesentlich verringern. Für die Spannrichtung vom Kern zur Außenwand (rund 9,0 m) eignen sich Holz-Beton-Verbundvarianten. Diese werden mit Brettsperrholz oder Holzbalkenrippen ausgeführt. Eine Holzrippendecke mit Brettsperrholzplatte als Deckschicht wird für eine Spannweite von bis zu 9,00 m als ökologische Alternativvariante zusätzlich untersucht. Bei der Verbunddeckenvariante werden ausschließlich Produkte gewählt, bei denen die Betonage bereits in der Firma durchgeführt wird und somit eine schnelle und trockene Arbeitsweise auf der Baustelle garantieren. Die Konstruktionswahl ähnelt der tatsächlich ausgeführten Deckenkonstruktionen am Beispielprojekte (siehe Kapitel 2.7).

### 3.7.2 Statische Bemessung

Für die statische Bemessung werden zur einfachen Vorbemessung der Bauteile, diverse Bemessungsprogramme sowie Vorbemessungstabellen der Hersteller angewendet. Bemessen werden ausschließlich die Decken in Holz- und HBV-Bauweise sowie die Spannbeton-Hohlplatten. Die Decken aus Vollbeton sind für die tatsächliche Ausführung schon ausreichend geplant und bemessen worden (von PCD-ZT GmbH [88]). Bei der Berechnung wird der Grenzzustand der Tragfähigkeit [17] und der Gebrauchstauglichkeit [17] sowie die Resttragfähigkeit infolge Brand ermittelt [14].

Die Belastungen der jeweiligen Deckensysteme setzt sich aus dem Eigengewicht, Aufbau und Nutzlast der Kat A mit einem Zwischenwandzuschlag [23] zusammen (siehe Kapitel 3.3). Hierbei unterstützt ein schwerer schwimmender Deckenaufbau beim Schwingungsnachweis sowie beim Einhalten des erforderlichen Trittschallschutzes.

Die Belastungen der einzelnen Decken wurden genau gewählt, um den Vergleich auf dem Niveau des durchgeplanten Stahlbetonbaus zu halten.

Für die Berechnung werden (falls erforderlich) in den Geschossen mit den Deckenhöhen variiert. Dies resultiert daraus, dass durch die Vorfertigung eine Anpassung der Bauteilhöhe leichter zu bewerkstelligen sind und die Materialkosten bei Holzbauteilen wesentlich mehr ins Gewicht fallen als bei Betonbauteilen. Bei den mineralischen Decken kann zudem mit dem Bewehrungsgehalt die Tragfähigkeit der Decke geregelt werden.

Sämtliche berechnete Systeme mit den jeweiligen Deckenstärken und Aufbauten werden am Ende des Kapitels 3.7 zusammengefasst.

### 3.7.3 Bauphysikalische Bemessung

#### Brandschutz

Die Randbedingungen für den Brandschutz eines mehrgeschossigen Wohnbaus in Österreich sowie international wurden bereits in Kapitel 2.2 erläutert. Der erforderliche Brandwiderstand der einzelnen Geschossdecken beläuft sich auf REI90 lt. OIB-Richtlinie 2 [1]. Bei der statischen Bemessung wurde diese Anforderung der Tragfähigkeit (R90) bereits durch die statische Bemessung nachgewiesen und falls erforderlich durch eine Beplankung oder einer Überdimensionierung angepasst. Eine einfache Beplankung in Form einer Deckenabhängung ist angenommen worden, um den schallschutztechnischen Gegebenheiten gerecht zu werden. Zudem ist bei diesem Beispielprojekt aus optischen Forderungen eine Beplankung gewählt worden. Dies ist Lt. Troppman [33] für einen Wohnbau mit vermietbaren Wohnungen gerne bei dem Bauherrn erwünscht.

Bei der Rippendecke mit Aufbeton ist anzumerken, dass die Mindestplattendicke der Betonplatte mindestens 10 cm betragen muss, um REI90 [12] ohne zusätzliche Beplankung, zu erfüllen. [22]

Die gewählte Feuerschutzbeplankung der Deckenunterseiten wäre aus brandschutztechnischer Sicht nicht erforderlich. Dies resultiert aus den hohen Spannweiten und der daraus resultieren großen Abmessungen der Querschnitte. Beispielsweise ist bei einer Brettsperrholzdecke ab einer Stärke von 16 cm die Anforderung EI90 allein durch den Holzbauteil erfüllt. [29] Bei den Rippendecken ist die Rippe mit einer ausreichenden Breite zu versehen, um die Brandschutznachweise (für Verbindungsmittel) zu erfüllen. Es kommt somit zu einer sehr breiten Rippenausführung von mind. 22 cm, um die Verbindungsmittel vor einer 90-minütigen Feuerbeanspruchung zu schützen.

#### Wärmeschutz

In den Anforderungen der OIB-Richtlinie 6 [28] ist für den Wärmeschutz von Decken zu getrennten Wohneinheiten  $U \leq 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gegeben. Diese Anforderungen werden von den Holzdecken besser erfüllt als von den Betondecken, sind jedoch für die Energieeffizienz des Gebäudes weniger relevant. Die Holzdecken liegen lediglich bei der Wärmespeicherfähigkeit leicht hinter den mineralischen Decken. Dies kann zu höheren Schwankungen der operativen Temperatur im Gebäudeinneren führen. Um den Einfluss dieser Eigenschaft berücksichtigen zu können, sind bauphysikalische Gebäudesimulationen vonnöten, um den Einfluss auf die thermische Behaglichkeit sowie sommerliche Überwärmung [95] zu beurteilen bzw. zu bemessen. Falls die Holzdecke abgehängt wird, ist eine weitere Verschlechterung der Wärmespeicherung zu erwarten.

#### Schallschutz

Für Decken im mehrgeschossigen Wohnbau ist der Schallschutz ein wesentlicher bauphysikalischer Faktor. Dabei gibt der angeregte Bauteil Luftschall an den angrenzenden Raum ab. Diese Übertragung findet direkt durch das Bauteil und über die Flanken statt.

Für den Schallschutz sind die wesentlichen Anforderungen von der OIB-Richtlinie 5 [35] in der Tabelle 2.4 und Tabelle 2.6 angegeben. Bei Geschossdecken zu anderen Nutzungseinheiten im Wohnbau ist gewöhnlich der Trittschall maßgebend. Bei Decken in Wohnungen ist der Maximalwert bei einem bewerteten Standard-Trittschallpegel mit Flankenübertragung mit  $L'_{nT,w} \leq 48$

dB [35] begrenzt. Der Standard-Trittschallpegel  $L'_{nT}$  in einem Raum ist dabei so definiert, dass er die abgestrahlte Schallenergie aller dem Raum angrenzenden Bauteile, die durch eine Trittschallanregung angeregt werden, miteinbezieht.

Für eine genaue Ermittlung des bewerteten Standard-Trittschallpegels mit Flankenübertragung  $L'_{nT,w}$  sind Randbedingungen, wie Flankenübertragung und Raumgeometrie (Innenraumvolumen), zu berücksichtigen. Diese werden für das vorliegende Beispiel nicht einzeln für jede Wohnung bemessen. Für die Bemessungswerte des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L_{n,w}$ , die mithilfe der ÖNORM B8115-4 [96] ermittelt werden, wird eine Verschlechterung der Schallschutzwerte von 3 dB angenommen. [15] Somit werden Bauteile mit einem Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  von 45 dB gewählt. Es ist darauf hinzuweisen, dass eine Verbesserung des Schalldämmmaßes durch eine Vorsatzschale am Prüfstand nachzuweisen ist. In dieser Arbeit werden jedoch die Richtwerte aus ÖNORM B8115-4 Tabelle 5 [96] angenommen.

Es wurde für jede Deckenkonstruktion ein passender Fußbodenaufbau gewählt, der sich im Bereich des mindestens erforderlichen Trittschalldämmwert der OIB-Richtlinie 5 [35] befindet. Dabei wirken sich Schichten mit einer schweren Flächenmasse und einer Trittschalldämmung mit geringer dynamischer Steifigkeit äußerst günstig aus. Bei einer Deckenabhängung ist darauf geachtet worden, dass diese entkoppelt wird (z.B.: Schwingbügel) und mittels dünner biegeweicher Schale (z.B.: Gipskartonplatte 12,5 mm) hergestellt wird.

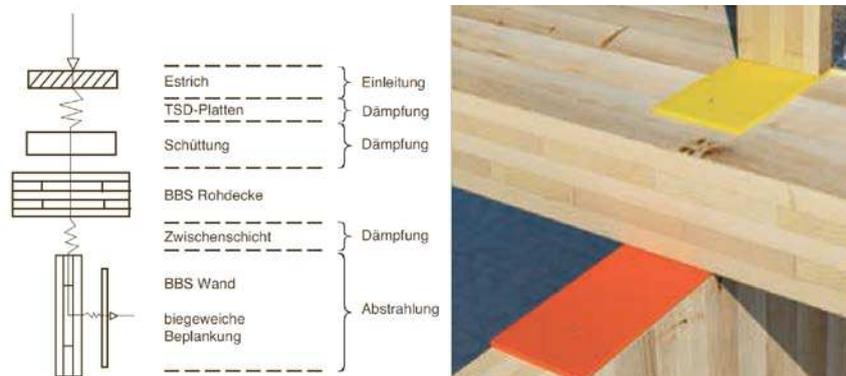
Bei den Varianten der reinen Holzdecken ohne Aufbeton wurde eine zusätzliche elastisch gebundene schwere Schüttung aus Splitt von 6 cm und einem schweren schwimmenden Zementestrichaufbau mit 6 cm Stärke angenommen. Eine Ausgleichsschüttung, die durch Zement gebunden wird, würde durch ihre hohe Steifigkeit eine enorme Verschlechterung des Schallschutzes mit sich ziehen. Darum wird für die Deckenbeschwerung eine elastisch gebundene Schüttung eingesetzt. [25] Die erhöhte Auflast wirkt sich zusätzlich positiv auf das Schwingverhalten der Decke aus. Für die Entkoppelung der beiden Massen wurde eine Trittschalldämmplatte aus Mineralwolle mit einer geringen dynamischen Steifigkeit von  $s' = 7 \text{ MN/m}^3$  gewählt.

Für die Holz-Beton-Verbund Deckenkonstruktionen, die eine massive Aufbetonschicht aufgebracht haben, wird der Aufbau ohne eine zusätzliche Schüttung gewählt. Hier wird direkt auf die Aufbetonschicht die Trittschalldämmung aufgelegt. Der restliche Aufbau wird wie bei den reinen Holzdecken belassen.

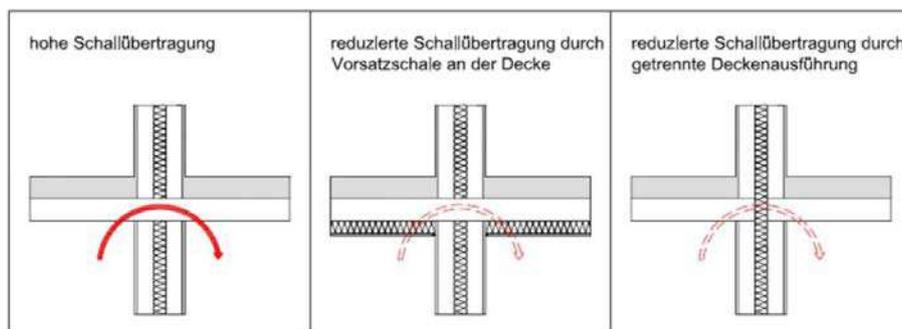
Bei der Planung des Holzwohnbaus wird nur der Aufbau mit einem schwimmenden Zementestrich mit einer Stärke von 6 cm untersucht. Anhydritestriche werden wegen des hohen Feuchteintrags gemieden. [25] Der Einsatz von einem trockenen Fußbodenaufbau ist prinzipiell möglich. Um einen vergleichbaren Trittschallschutz, wie bei einem schweren Aufbau zu erhalten ist jedoch eine größere Auflast auf die Decke aufzubringen. Dies kann in Form einer dickeren Beschüttung bzw. spezieller Aufbauten von Systemherstellern bewerkstelligt werden. Durch Aneinanderreihung von abwechselnd federnden und massigen Schichten sorgen für den gewünschten Schallschutz. Allerdings wird sich eine entkoppelte Deckenabhängung mit einer biegeweichen Beplankung nicht mehr vermeiden lassen, um den Schallschutz gerecht zu werden.

Eine Abhängung der Decken sorgt für eine Verbesserung der Flankenübertragung in die nächststehenden Wohneinheiten. Die Flankenübertragung ist bei massiven Betondecken durch das günstige Biegesteifigkeits-/Masseverhältnis nicht so gravierend. Um eine Schallweiterleitung in die anstehenden Räume zu unterbinden, kann neben der Deckenabhängung auch eine Unterbrechung der Decke im Bereich der Trennwand hergestellt werden. Für die Übertragung durch die Trennwand können Vorsatzschalen oder elastische Zwischenschichten abhilfe schaffen (siehe

Abbildung 3.13 und Abbildung 3.14). Für die Verbindungsmittel, wie Stahlwinkeln und Schrauben, verhelfen schallisolierenden Lagermatte [97] für eine bessere Schallunterbrechung.



**Abbildung 3.13: Reduzieren des Körperschalls über Trennwände durch eine Vorsatzschale (links) oder durch elastische Zwischenschichten (rechts) [98]**



**Abbildung 3.14: Maßnahmen zur Reduzierung des Flankenübertrages für den Schallschutz [21]**

Für die Ermittlung der Schalldämmung von Holzbauteilen sind lt. Aussage von Dr. Franz Dolezal [99] geprüfte Bauteile zu verwenden (siehe dataholz.eu [15]). Für die Berechnung der Flankenübertragung sind, aus Dolezal's Sicht, Erfahrungswerte von Stoßstellenmessungen heranzuziehen, die beispielsweise durch in situ Messungen ermittelt wurden. Für Einzahlangaben sind lt. Dolezal's Aussage die Methode nach ÖNORM B 8115-4 [96] eine gute Näherung, da im Holzbau ohnehin nur die unteren 3-4 Terzbänder relevant sind.

Es ist weiters darauf hinzuweisen, dass für das normierte Rechenverfahren, welches für die Bauteilberechnung herangezogen wird, keine Einzahlangaben für inhomogene Bauteile (z.B.: Tramdecken) gibt. Für diese sind nur bereits bestehende Prüfzeugnisse zu verwenden.

Durch eine Deckenabhängung, in Form entkoppelter Federschien oder abgehängten U-Profil-schienen, lässt sich eine Schallverbesserung von 10 dB bis 20 dB erreichen. [100] Diese Verbesserung ist abhängig vom Massengewicht der Deckenkonstruktion inkl. Belastung der Ausgleichschüttung. In ÖNORM EN ISO 12354-2:2017 [101] wird angemerkt, dass für eine Deckenabhängung selten Abminderungsbeiwerte vorhanden sind. Somit wird für die Trittschallbemessung der Decken durch Unterdecken vereinfacht eine Verbesserung des äquivalent bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L_{n,eq,w}$  nach ÖNORM 8115-4 Tab. 15 [96] abgeschätzt.

### 3.7.4 Resümee zu den Geschossdecken

Es werden sämtliche Decken in Holzbauweise mit einer Abhängung, bestehend aus einer biegeweichen Schale (Gipskarton) mit einer Stärke von 12,5 mm, versehen. Dies resultiert aus den vielen kleinen Wohneinheiten (kleines Raumvolumen), die Probleme mit der Flankenübertragung mit sich bringen. Würde man bei der quergespannten Tragwerksvariante auf die Abhängung verzichten, müssten die zweifeldrigen Decken durch einfeldrige ersetzt werden. Dabei würde sich die Stärke der Brettspertholzplatten ab 5,0 m Spannweite gegenüber der durchlaufenden Decke (siehe Abbildung 3.18) deutlich erhöhen. Die Variante, bei der sich die Decken vom Kern zur Außenwand spannen, wäre ein Deckenstoß an den reichlichen Wohnungstrennwänden nötig, um den Flankenübertrag zu minimieren.

Für die Deckenwahl sind daher einfeldrig gespannte BSP-Decken mit einer Spannweite von max. 4,75 m und für zweifeldrige 6,75 m als optimal anzusehen (siehe Abbildung 3.18). Die Deckenstärke bewegt sich hier zwischen 16 cm und 20 cm.

Holzbaugerecht würde bei diesem Beispielprojekt konkret zu folgenden Anpassungen führen:

- ◆ Regelmäßigerer Abstand der Querwände bzw. Außenwand zum Kernbauwerk (je nach Deckenspannrichtung), um die statische Nutzbarkeit der Decken voll ausnutzen zu können bzw. keine ungleich hohen Deckenstärken verwenden zu müssen.
- ◆ Bei einer sichtbaren Holzdeckenuntersicht die Spannweiten zu minimieren, damit einachsig gespannte Decken mit mäßiger Deckenhöhe zum Einsatz kommen können und somit den Schallübertrag über Flanken zu minimieren.
- ◆ Einstehende Loggien in das Gebäude sollten hierbei vermieden werden, um die Anschlussdetails einfach zu halten.

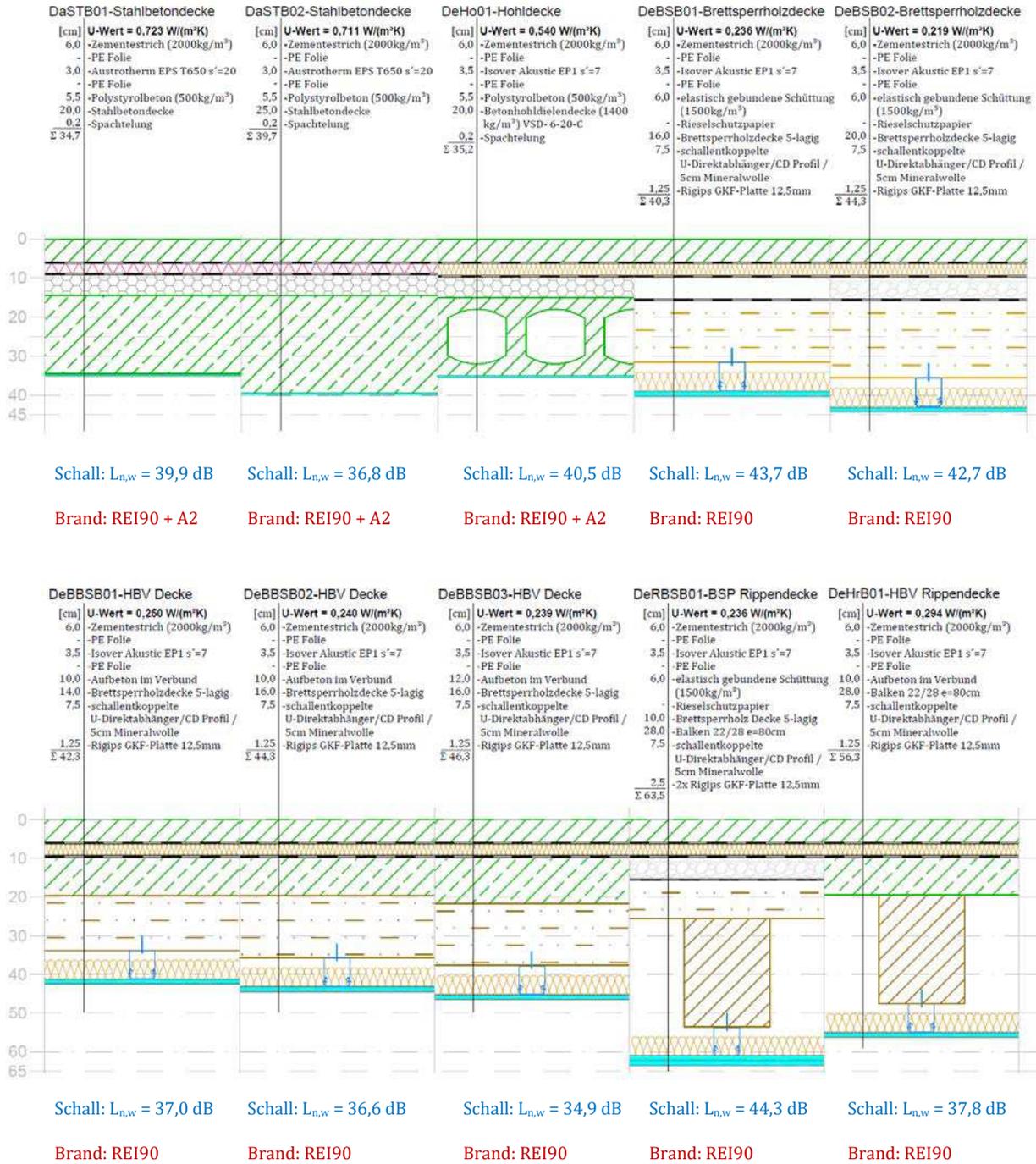
Für die unregelmäßige Anordnung der Querwände könnten punktuelle Positionierungen von Auswechselträgern aus Stahl herangezogen werden, um die Spannweiten der Decken zu verkürzen (siehe Abbildung 3.15). Diese Träger können für den reinen Holzbau und für Decken in HBV-Bauweise angewendet werden. Die Verwendung von Auswechslungen aus Holz sind für den Wohnbau, der im Regelfall immer mit der minimal zulässigen lichten Raumhöhe vom 2,50 geplant wird, durch deren erforderliche statische Nutzhöhe nicht zielführend.



Abbildung 3.15: Auswechselträger aus Stahl mit DeltaBeam® [102]

Die schlussendlich ermittelten Deckenaufbauten des Vergleichsprojekts werden in Abbildung 3.16 dargestellt. Hier wird nochmals darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um typische Konstruktionen handelt, die in der Wirtschaft oft zum Einsatz kommen. Spezialsysteme wurden hier nicht berücksichtigt.

Bei der Abbildung 3.16 stellen die STB-Decke und die BSP-Decke die beiden Varianten dar, die sich auf die Querwände spannen. Die Hohldielen-, Rippen- und HBV-Decken sind für die Spannrichtung von Kernbauwerk zur Außenmauer bemessen.



**Abbildung 3.16: ermittelten Geschossdeckensysteme mit Aufbauten für einen Wohnbau der Gebäudeklasse 5 ≤60G**

Bei den ermittelten Deckenaufbauten (siehe Abbildung 3.16) wurden die reinen Brettsperrholzdecken sowie HBV-Brettsperrholzdecken mit einer unterschiedlichen Deckenhöhe und gleichbleibender Aufbauhöhe angegeben, die nach den statischen Erfordernissen, üblicherweise zufolge Stützweite, angepasst wurden. Bei der Ausführung müsste je Geschoss dieselbe Gesamthöhe

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.

der Decken hergestellt werden. Dies kann mit einer zusätzlichen leichten Schüttung bzw. Anpassung der notwendigen Beschüttung hergestellt werden. Eine Beibehaltung einer durchgehend konstanten Holzdeckenhöhe, die sich an die statische Bemessung der weitesten Stützweite anpasst, würde den Bauteilpreis, durch den hohen Materialpreis von Holz maßgeblich erhöhen. Bei den Stahlbetondecken können die unregelmäßigen Spannweiten mit dem Bewehrungsgehalt geregelt werden. Dieser stellt den Preis der Stahlbetondecken maßgebend.

In Tabelle 3.4 werden zu den ermittelten Deckenaufbauten in der Abbildung 3.16 und die zugehörige Lastaufstellung gezeigt. Die Nutzlasten bleiben unabhängig vom System gleich. Für die ständigen Lasten sind die Deckenvariationen einer Flach- und Rippendecke in einer reinen Holzbauweise etwa um die Hälfte geringer. Dieselben Deckenvariationen in einer HBV-Deckenvariation weisen nur dreiviertel der Last der mineralischen Flachdecke auf, obwohl diese sich vom Kern auf die Außenwände spannen und somit eine weitaus höhere Stützweite vorweisen und dadurch eine flexiblere Raumnutzung bereitstellen. Ein Sonderfall stellt die Spannbeton-Hohldecke dar. Diese stellt als reine Betondecke eine relativ leichte Konstruktion dar, die ihre Lasten in einem Bereich wie eine Holz-Beton-Verbunddecke hat, bei vergleichsweise geringerer Bauhöhe.

**Tabelle 3.4: Lastaufstellung der einzelnen Deckenvariationen**

NR.	Bauteil	Eigengew.	Aufbau	$\Sigma$ Ständig	Nutzlast	Schneelast
		$g_1$	$g_2$	$g$	$q$	$s$
		[kN/m <sup>2</sup> ]				
DeSTB01	Stahlbetondecke 20cm	4,65	1,60	6,25	2,0 + 0,8	-
DeSTB02	Stahlbetondecke 25cm	5,85	1,60	7,45	2,0 + 0,8	-
DeHo01	Spannbeton Hohldecke 20cm	2,80	1,60	4,40	2,0+0,8	-
DeBSB01	Brettsperrholzdecke 16cm	0,80	2,30	3,10	2,0+0,8	-
DeBSB02	Brettsperrholzdecke 20cm	1,00	2,30	3,30	2,0+0,8	-
DeBBSB01	Holz Beton Verbunddecke 10+14cm	3,00	1,40	4,40	2,0+0,8	-
DeBBSB02	Holz Beton Verbunddecke 10+16cm	3,10	1,40	4,50	2,0+0,8	-
DeBBSB03	Holz Beton Verbunddecke 12+16cm	3,60	1,40	5,00	2,0+0,8	-
DeHrB01	Holzrippen Beton Verbunddecke 20cm	2,80	1,40	4,20	2,0+0,8	-
DeRBSB01	Brettsperrholz Rippendecke 38cm	0,90	2,40	3,30	2,0+0,8	-

In Abbildung 3.17 werden die verschiedenen Deckenkonstruktionshöhen mit der erforderlichen Aufbauhöhe für den vorliegenden Wohnbau gezeigt. Zum direkten Vergleich wird die gesamte Deckenlast pro Quadratmeter beiliegend angeführt. Bei der Stahlbetondecke wird die Geschossdecke mit 20 cm Stahlbeton und rund 15 cm Deckenaufbau des Vorlageprojekts beibehalten. Wesentlich sind hierbei die geringeren Lasten, je geringer der Anteil an Stahlbeton ist. Die gesamte Deckenstärke hebt sich zugleich nur unwesentlich von den Betondecken ab. Zu bedenken ist hierbei, dass sich die Vertreter von Hohlblech- und Rippendecken sowie HBV-Decken für das Tragsystem mit einer weiteren Spannweite (Kern-Außenwand) stützen. Vor allem sticht hier das geringe Gewicht der Rippendecken hervor, die eine Gesamtdeckenstärke benötigen, die im klassischen Wohnbau nicht vertretbar ist. Ganz im Gegenteil lässt sich die Hohlblechdecke bei einem sehr geringen Deckengewicht mit einer enorm geringen Bauteilhöhe ausführen. Die BSP-Decke bietet durch einen höheren Ressourceneinsatz dasselbe Bauteilgewicht bei geringerer Aufbauhöhe als die Rippendecke mit BSP-Obergurt. Die HBV-Varianten sind im Bezug auf Bauteilhöhe und Bauteilgewicht zwischen den reinen Holz- und Betondecken einzuordnen.

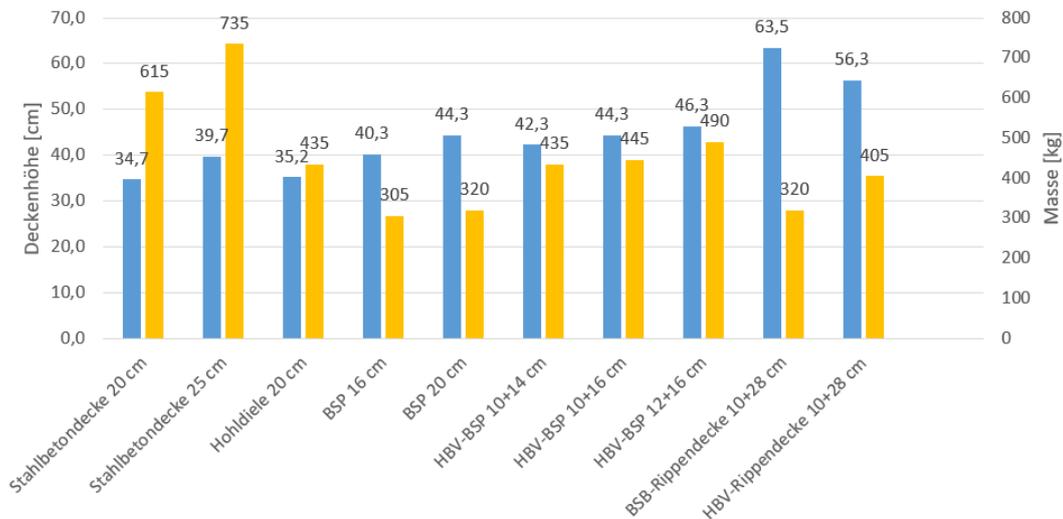


Abbildung 3.17: ermittelte Deckenhöhen mit Aufbau und deren Gesamtmasse

In der Abbildung 3.18 sind die Deckenstärken, in Abhängigkeit verschiedener Spannweiten gegeben, die sich mit den ermittelten Aufbauten der Geschossdeckensysteme in Abbildung 3.16 ergeben würden. Zusätzlich sind in Abbildung 3.19 die Deckenstärken inkl. Aufbau gegeben. Diese werden im Folgenden erläutert.

Dabei sind die beiden Rippendecken wesentlich höher als die Flachdeckenvarianten und eignen sich zudem nur ab einer Spannweite ab ca. 7,00 m. Würden die Decken für kürzere Spannweiten herangezogen werden, müssten wesentliche Maßnahmen für den Brandschutz getroffen werden, wie in Form einer beträchtlichen Kapselung oder einer Überdimensionierung der Rippen. In Abbildung 3.19 setzt sich die HBV-Rippendecke leicht unter die Rippendecke ohne Aufbeton, da durch die Aufbetonschicht wesentliche bauphysikalische Eigenschaften (z.B.: Schall) erfüllt bzw. verbessert werden. Bei den BSP-Flachdecken zeigt sich durch den Einsatz von einachsigen gespannten Systemen bereits ab 5,0 m ein relativ schneller Anstieg der Deckenstärken (inkl. Aufbau). Darüber sollten bevorzugt Mehrfeldsysteme aus BSP benutzt werden, die bis zu einer Spannweite von 6,75 m mit einer Plattenstärke von 20 cm das Auslangen finden. Darüber wird diese Ausführung als massive BSP-Decke aufgrund des hohen Materialpreises (Holz) nicht mehr im wirtschaftlichen Bereich liegen sowie steigt die Schwinganfälligkeit beträchtlich. Zu den sehr schlanken Gesamtaufbauten zählen die Ausführungen als Stahlbeton-, Hohlziele- und HBV-Brettsperrholzdecke. Der Stahlbetondecke ist der annähernd lineare Verlauf von Spannweiten/Deckenstärken-Verhältnis zu entnehmen, welche auf die Erfüllung der Schall- und Brandschutzanforderungen bereits in den geringeren Spannweitensegmenten zurückzuführen ist. Bei der Hohlziele ist der Verlauf beinahe konstant, welchen auf die schlechte Anpassungsfähigkeit dieser Deckenart für kurze Spannweiten zurückzuführen ist. Es ist dabei zu beachten, dass die geringste erhältliche Hohlziele 16 cm [53] erhältlich ist und diese bis zu einer Spannweite von 6,5 m im Vorlageprojekt das Auslangen findet. Jedoch lässt sich in den geringen Spannweiten eine geringstmögliche Gesamtstärke der Decke erreichen. Beinahe genauso anpassungsfähig wie die Stahlbetondecke erscheint hier die HBV-Brettsperrholzdecke, welche einen ähnlichen Verlauf der Gesamtdeckenstärke, wie die BSP-Decke annimmt. In den Diagrammen wurden die Ergebnisse jedoch erst ab 6,75 m angegeben, da sich bei geringeren Spannweiten zusätzliche Maßnahmen bezüglich Brandschutzes ergeben würden (wie bei den Rippendecken). Diese wären mit einer Beibehaltung der Stärke der Brettsperrholzplattendicke oder durch zusätzliche Bepunktungsschichten zu erfüllen.

In Kapitel 2.7 wird gezeigt, dass für die höheren Spannweiten die Rippendecke beim LCT ONE bei einer Länge 8,1 m liegt.

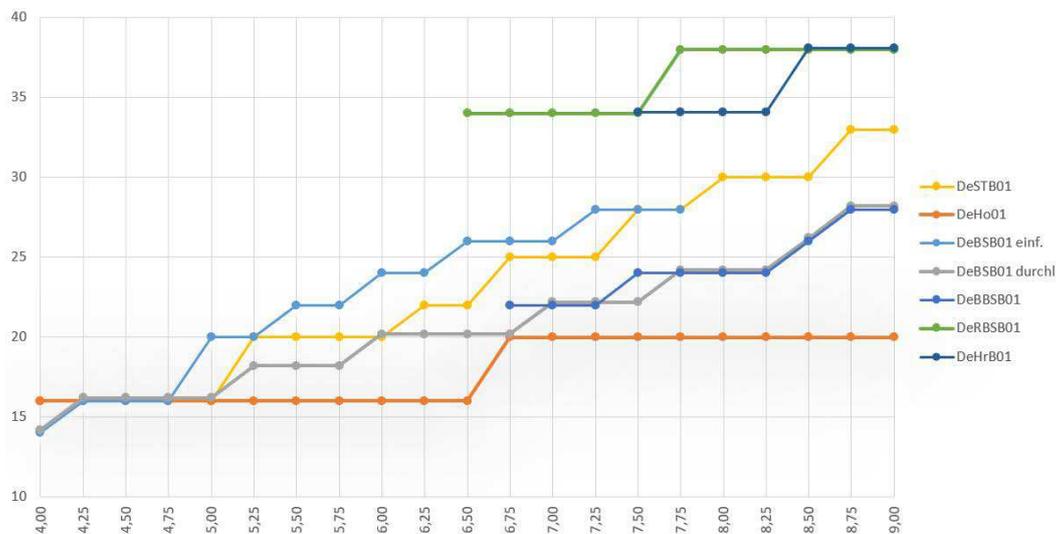


Abbildung 3.18: Spannweitenabhängige Höhe der tragenden Deckenhöhe ohne Aufbau

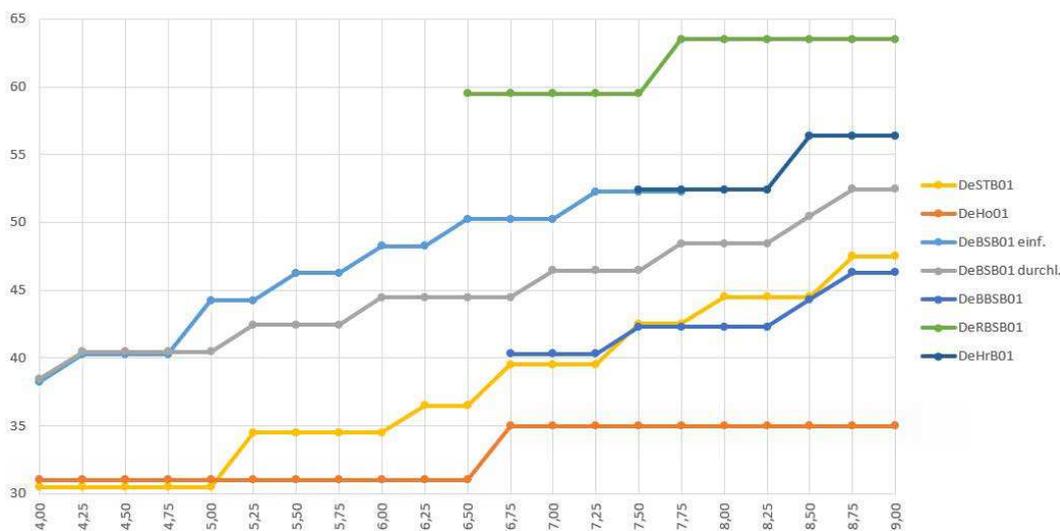
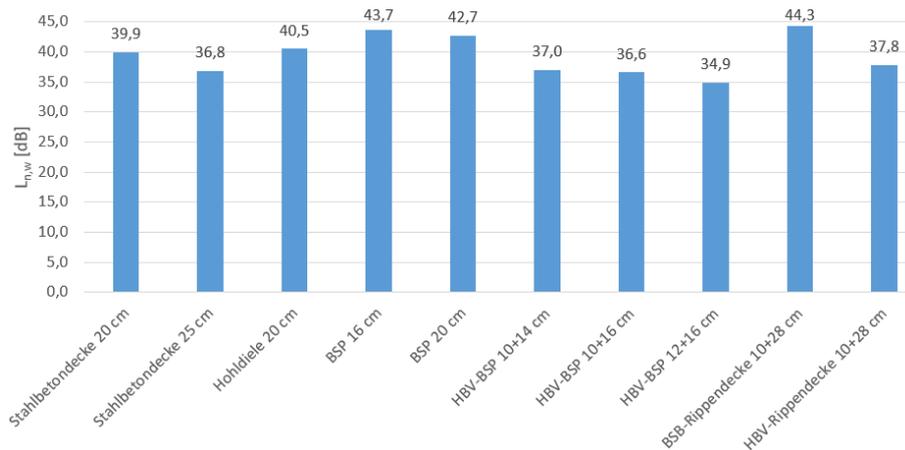


Abbildung 3.19: Spannweitenabhängige Höhe der gesamten Deckenhöhe mit schwimmenden Zementestrichaufbau

Der bewertete Normtrittschallpegel, der ermittelten Deckenkonstruktionen, wird in Abbildung 3.20 gezeigt. Diese liegen bei durch die gewählten Aufbauten nahe beieinander (ist bei der Bauteilermittlung so angestrebt worden). Wie bei der Ermittlung der Aufbauten festgehalten, ist bei den Holzdecken eine Deckenabhängung sowie eine Trittschalldämmung mit sehr geringer dynamischer Steifigkeit (Mineralwolle) gewählt worden. Beim Schallschutz lässt sich resultierend Aussagen, dass für reine Holzdecken, das geringe Eigengewicht sehr schlecht für den Schallschutz ist und dieser nur mit einer zusätzlichen Deckenbeschwerung zu erfüllen ist. Im Vorzeigeprojekt wurde hier eine 6 cm gebundene Splittbeschüttung aufgebracht, um einen ausreichenden Schallschutz zu gewährleisten. Diese zusätzlichen Maßnahmen können bei der Wahl einer HBV-Decke durch deren akzeptabel hohen Eigengewicht entfallen. Weiters ist die Wahl eines schweren Zementestriches ebenfalls die richtige Wahl. Ein leichter Trockenaufbau würde zu einer deutlichen Verschlechterung des Schallschutzes führen.



**Abbildung 3.20: Gegenüberstellung der Trittschalldämmung der Deckenvarianten**

Wie in Abbildung 3.17 ersichtlich, ist bei der Rippendecken mit einem durchgängigen Obergurt aus Brettsper Holz, die Höhe im Verhältnis zu den anderen ermittelten Deckensystem relativ hoch. Der Materialverbrauch dieser Rippendecke ist als sehr sparsam zu erachten, jedoch nach den ökologischen Kennwerten im Mittelfeld (siehe Abbildung 3.21). Dies ist auf die vielen benötigten Bauteilschichten zurückzuführen sowie den benötigten breiten Rippen für den Brandschutz (Heißbemessung). Im Gegensatz zu einem Stahlbetonobergurt ist hierbei eine zusätzliche Bepankung anzubringen, um die Anforderung EI90 zu erfüllen und eine Deckenbeschwerung für den nötigen Schallschutz (wie vorhin schon erläutert wurde).

Aus der ökologischen Sicht sind bei den ermittelten Deckenvariationen die Ausführungsvarianten mit einer Hohldielendecke sowie einer HBV-Rippendecke (bzg. O13) von Bedeutung (siehe Abbildung 3.21).

Bei den Holzdeckenvariationen stellt sich die Betrachtung der Tragstruktur, die rein in Holz gefertigt ist, als wesentlich günstiger dar, als die mit Stahlbeton gefertigten Decken. Bei Betrachtung der Abbildung 3.23 geht jedoch hervor, dass den schlechten O13-Index auf den Deckenaufbau zurückzuführen ist. Hierbei stellt die Trittschalldämmung aus Mineralwolle sowie die elastisch gebundene Schüttung einen wesentlichen negativen Einfluss auf die Nachhaltigkeit dar.

Betrachtet man bei für die Nachhaltigkeit den Anteil der „grauen Energie“ (siehe Abbildung 3.22) geht hervor, dass dieser äußerst ungünstig für Holzbaudecken ausfällt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Produktion der Holzwerkstoffe die Nachhaltigkeit nicht mehr so hoch ist, wie bei reinen Vollholzwerkstoffen. Der hohe Primärenergiegehalt ist weiters auf die Aufbausichten, wie Schüttung und Mineralwolle, zurückzuführen. Wesentlich günstiger ergibt sich die Treibhausmission bei den Holzbauaufbauten. Hierbei lässt sich bei den Decken sogar eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz erreichen, je höher der Anteil an Holz wird. Als nachhaltigste Decke geht klar die Hohldielendecke hervor, die sowohl im Ökoindex 3 als auch im Primärenergiegehalt die günstigsten Werte hervorbringt.

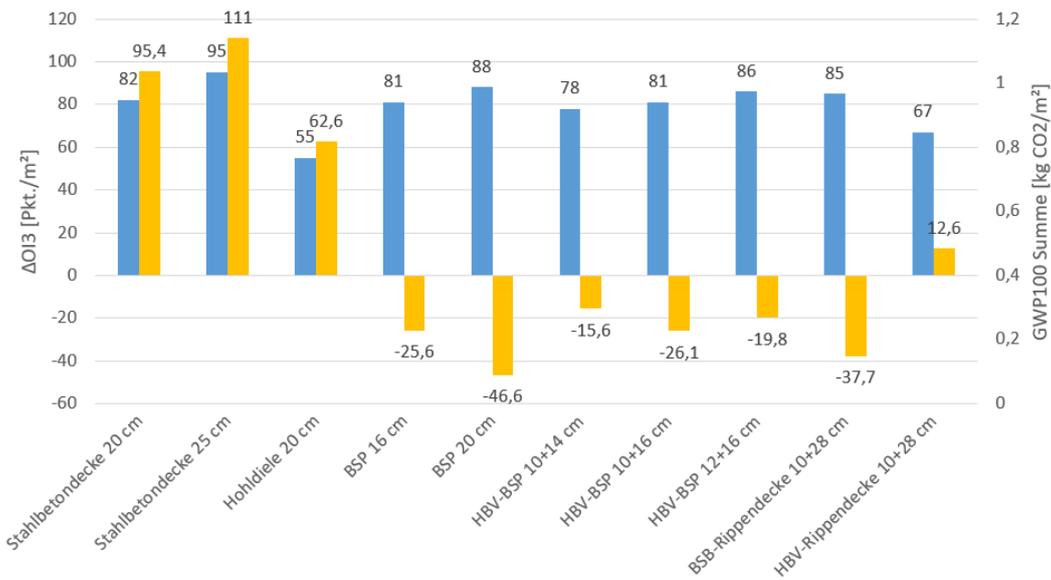


Abbildung 3.21: OI3-Ökoindizes und GWP100 Summe der ermittelten Deckenvarianten mit schweren Deckenaufbau

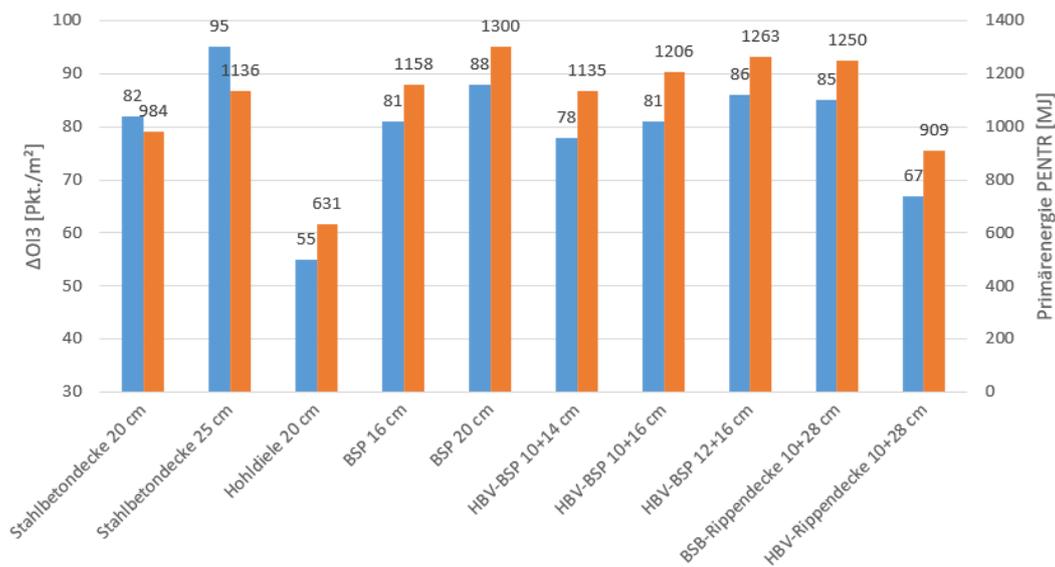
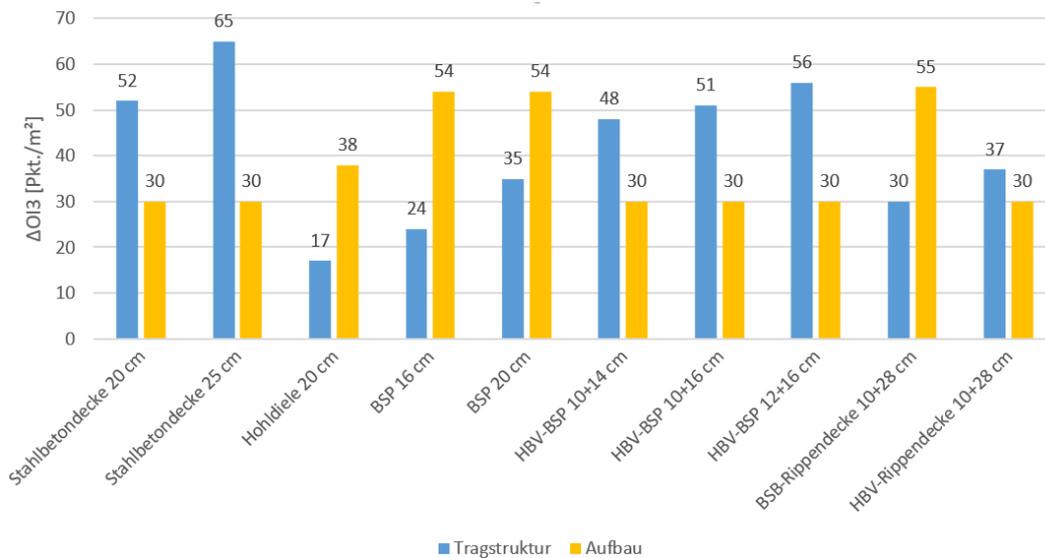


Abbildung 3.22: OI3-Ökoindizes und Primärenergiebedarf der ermittelten Deckenvarianten mit schweren Deckenaufbau



**Abbildung 3.23: OI3-Ökoindizes der ermittelten Deckenvarianten mit schweren Deckenaufbau getrennt in Tragstruktur und Aufbau**

Für die ermittelten Deckenvarianten ist die Ausführung einer Flachdecke wesentlich lukrativer für den mehrgeschossigen Wohnbau in der Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Geschosse. Eine Auflösung in eine Rippendecke führt zu einem wesentlichen Anstieg der Deckenhöhe, wobei der Einsatz eines Obergurtes aus einer Brettsper Holzplatte einen schlechteren Brandschutz und Schallschutz bietet als ein Stahlbetonobergurt. Falls eine Rippendecke gewählt werden würde, ist klar die HBV-Variante zu präferieren, da ansonst die bauphysikalischen Eigenschaften erst mit zusätzlichen Schichten herzustellen wären.

Bei einer näheren Untersuchung wäre der Wegfall der abgehängten Decken zu realisieren und könnte somit eine auf Sicht belassene Holzoberfläche ermöglichen. Für die Flachdecken sind hierbei lediglich die Schallschutzprobleme über den Trennwänden zu behandeln. Bei der Ausführung einer sichtbaren HBV-Rippendecke wird dabei der Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall zu einer weiteren Verstärkung der Rippenabmessungen führen, da diese einer dreiseitigen Brandbeanspruchung unterliegen und nicht einseitig, wie bei den Flachdecken. Beim Wegfall der Deckenabhängung würden die Kosten dieser Bauteilschicht entfallen, jedoch würden höhere Kosten durch die Sichtqualität der BSP-Platten und die höhere Sorgfalt bei Ausführung wieder Kosten verursachen.

Werden die Außenwände zum Lastabtrag herangezogen, was bedeutet die Deckenspannrichtung orthogonal zum Kern zu wählen, wäre bei diesem Beispiel eine Flachdecke mit Aufbeton die beste Variante. Diese kann mit einer relativ geringen Aufbauhöhe weite Spannweiten erreichen und bietet darüber hinaus genügend Schallschutz, Brandschutz sowie die notwendige Steifigkeit für die Gebrauchstauglichkeit, um nicht zu schwingen. Hierbei ist es anzustreben diese als Fertigteile „trocken“ zu verlegen und lediglich den Fugenverguss mit frischem Beton auf der Baustelle durchzuführen. Somit wird erreicht die Bauzeit, trotz dem Einsatz von Beton, kurz zu halten und einen hohen Eintrag von Baufeuchte zu vermeiden. HBV-Decken sind, obwohl sie größerer Spannweiten besitzen, gleich so ökologisch wie die auf den Querwänden spannenden BSP-Decken (siehe Abbildung 3.21). Die Ausführung mit HBV-Rippendecken ist eine noch nachhaltigere Variante. Für den Wohnbau sind die geringen Einsparungen an Ressourcen jedoch kein ausschlaggebender Punkt, um eine HBV-Rippendecken mit deren bauphysikalischen Nachteilen einer flächigen HBV-Decke vorzuziehen.

Wird die Betonage dennoch vollkommen auf der Baustelle ausgeführt, ist bei sichtbaren Holzoberflächen, wegen der möglichen Verschmutzung der Oberflächen, äußerste Sorgfalt geboten.

Für die Realisierung dieses Wohnbaus sind die Deckenvarianten in reiner Brettsperrholzbauweise als Durchlaufsystem zu empfehlen, falls die Spannrichtung auf die Querwände erfolgt (max. Spannweite bis 6,75 m optimal) und bei einer Spannrichtung zwischen Außenwände und Kern sind HBV-Brettsperrholzdecken (max. Spannweite bis 8,25 m optimal) die sinnvollste Variante. Alternativ ist eine HBV-Rippendecke anzuwenden, falls die zusätzliche Deckenhöhe keine Probleme mit der max. Bauhöhe darstellt oder mehrere Leitungen in der Deckenebene verlegt werden sollen. Die Ausführung einer Rippendecke mit einem Obergurt aus Brettschichtholz ist nicht zu empfehlen, da diese Variation für den Schall- und Brandschutz zusätzliche Maßnahmen (z.B.: Beschüttung) benötigt und eine wesentlich höhere Deckenhöhe vorweist als die anderen ermittelten Decken.

Anhand der Abbildung 3.16 bis Abbildung 3.23 sind sehr ähnliche Eigenschaften der kurz gespannten Brettsperrholzdecken und der HBV-Brettsperrholzdecken zu verzeichnen. Die Deckenhöhen sind annähernd gleich. Bei der Ökobilanz sowie beim Schallschutz haben die HBV-Decken einen leichten Vorsprung auf Kosten eines leicht höheren Flächengewichtes. Ein wesentlicher Unterschied liegt bei der benötigten Ausgleichsschüttung der BSP-Decke, welche die Ökobilanz sowie das Flächengewicht in die Höhe treiben und den maßgebenden negativen Faktor bei dieser Deckenvariante darstellt. Zusätzlich ist durch die Aufbringung der Schüttung ein weiterer Arbeitsschritt notwendig. Aufgrund dieses Vergleiches würde sich in Holzbauweise die HBV-Brettsperrholzdecke herauskristallisieren. Bei einer Deckenspannweite von 9,0 m ergibt sich ein Deckenaufbau, wie in Abbildung 3.16 DeBBSP03, wobei sich dieser bei einer Deckenspannweite von rund 7,0 m den Querschnitt wie bei DeBBSP01 ausreichen würde und somit Materialeinsparung für Holz, Beton und Verbindungsmittel hervorrufen würde. Der Brandschutz REI90 ist bei DeBBSP01 noch gewährleistet auch ohne Deckenabhängung mit Beplankung. Für die Ausführung von Spannweiten über 9,0 m sollten Überlegungen getroffen werden, ob eine HBV-Rippendecke trotz der höheren Deckenstärke möglich wäre. Diese Ausführung wird erhebliche Materialeinsparungen mit sich bringen, da die Rippen aus Brettschichtholz kostengünstiger sind als eine vollflächige Brettsperrholzplatte und durch die statisch erforderlichen Rippenabmessungen der Brandschutzbemessung keine übermäßige Überdimensionierung erfordern würde. Aus wirtschaftlicher Sicht sind für weite Spannweiten Hohldielendecken günstiger als die Holzdeckenvarianten (siehe Abbildung 2.31).

### 3.8 Dachtragwerk

Der Einsatz einer Steildachkonstruktion aus Holz für den oberen Abschluss eines Gebäudes ist eine gängige Ausführung. Für Flachdächern ist eine mineralische Konstruktion mit Gefälledämmung, aus geschäumten Dämmstoffen, typisch. Werden Flachdächer in Holzbauweise ausgeführt, sollte die Konstruktion mit möglichst diffusionsoffenen Schichten ausgeführt werden, um eine Rücktrocknung der eingetragenen Baufeuchte in das System zu gewährleisten. Solch eine diffusionsoffene Ausführung ist nur in Kombination mit einem hinterlüfteten Kaltdach möglich, welches den Vorteil einer zweiten wasserführenden Schicht mit sich bringt. Flachdachkonstruktionen werden üblicherweise nicht hinterlüftet hergestellt (z.B.: Warmdachaufbau) und kommen wegen deren Einfachheit der Ausführung und den geringeren Kosten zum Einsatz. Um die Konstruktion mit tragender Holzschicht dennoch fehlertolerant zu machen, ist die Tragschicht ordentlich zu überdämmen und die Ausführung der wind- und luftdichten Ebenen möglichst sorgfältig auszuführen, um Leckagen in den abdichtenden Schichten möglichst gering zu halten. [30]

Bei einem Flachdach ohne Hinterlüftung oder Aufdachdämmung wird die Dampfbremse, die sich direkt über der Tragstruktur befindet, mit einem sehr hohen sd-Wert (Dampfsperre) ausgeführt. Diese kann gleich als temporäre Schutzschicht gegen Niederschlagswasser für den Bauzustand angesehen werden, um damit die darunterliegenden Holzbauteile trocken zu halten. Durch die Anordnung der dämmenden Schicht sowie der Dampfbremse über der tragenden Holzschicht ist die Gefahr Kondensat in die Tragstruktur zu bekommen wesentlich geringer als bei einer Dämmschicht, die gänzlich in der gleichen Höhe der tragenden Schicht verlegt wird. Wird die wärmedämmende Ebene in den Zwischenräumen der Tragstruktur angebracht, wie es beispielsweise bei einer Rippendecke oder Balkendecke zur Anwendung kommen könnte, ist es aus bauphysikalischer Sicht ebenfalls empfehlenswert eine zusätzliche Dämmschicht über der Tragschicht anzubringen, um Kondensationsprobleme durch Ausführungsmängel und Schäden an der luftdichten Ebene vorzubeugen. Alternativ ist eine detaillierte bauphysikalische Berechnung möglich, die den genauen Feuchteintrag sowie das Rücktrocknungspotential in der Konstruktion ermittelt. Diese wird Konstruktionen zum Vorschein bringen, die eine feuchteadaptive Dampfsperre enthalten sowie speziell angepasste Bauteilschichten, um einen schadensfreien Dachaufbau zu erhalten, ohne eine übermäßige Überdämmung der Tragstruktur vorzunehmen. [25]

#### Betondecken

Bei den vergleichsweise geringen Fläche des Flachdachs werden vereinfacht dieselben Systeme wie bei den Geschossdecken gewählt, die sich nebenbei äußerst flexibel auf die vielen Durchbrüche in der letzten gebäudeabschließenden Decke verhalten (siehe Kapitel 2.4).

- ◆ Plattendecke (Ortbeton) ohne Vorspannung
- ◆ Betonelementdecke ohne Vorspannung

Die maximale Deckenspannweite von rund 6,7 m liegt durchaus in einem wirtschaftlichen Bereich für beide Deckensysteme. Die Fertigung der mineralischen Dachstruktur wird sich an die der Geschossdecken anpassen und keine Abänderung vorsehen.

#### Holzdecken

Bei der Dachkonstruktion wurden Systeme wie im Kapitel der Geschossdecken untersucht. Für die allgemeine Erklärung der einzelnen Deckenkonstruktionen wird hier auf Kapitel 3.7 der Geschossdecken verwiesen.

Bei der Dachkonstruktion werden lediglich die beiden Varianten Brettsper Holzdecke und Balkendecke untersucht. Eine HBV-Variante wäre für die geringeren statischen Ansprüche sowie geringe Spannweiten bei diesem Beispiel nicht erforderlich.

Bei der Ausführung als Balkendecke ist eine zusätzliche aussteifende Schicht herzustellen. Diese wird durch eine Schicht aus OSB-Platten hergestellt, welche auf die tragenden Träme aufgebracht wird. Um die Fehleranfälligkeit durch Kondensation von Flachdächern mit Zwischenraumdämmung (siehe Planungsbroschüre Flachdach [30]) zu minimieren, wird eine Überdämmung auf der Tragschicht aufgebracht.

### 3.8.1 Statische Bemessung

Für eine einfache statische Vorbemessung der Bauteile werden diversen Bemessungsprogrammen sowie Vorbemessungstabellen der Hersteller angewendet. Nachgewiesen werden ausschließlich die Brettsper Holz- und Balkendecke, da die Decken aus Stahlbeton für die tatsächliche Ausführung schon ausreichend geplant sind (durch PCD-ZT GmbH [88]). Bei der Berechnung wird der Grenzzustand der Tragfähigkeit [17], Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit [17] sowie die Resttragfähigkeit infolge Brand ermittelt [14]. Ein Nachweis der Schwingung ist bei Decken, die nicht begangen werden, nicht erforderlich [16].

Die Belastungen der jeweiligen Deckensysteme setzt sich aus dem Eigengewicht, Aufbau sowie Nutzlast der Kat H zusammen. Laut ÖNORM EN 1991-1-1 [23] ist es nicht erforderlich die Schneelast mit der Nutzlast zu kombinieren, sondern nur den höheren Wert (maßgebenden) der beiden Lastfälle anzusetzen. Die führende Schneelast wird als veränderliche Last angesetzt. Der Aufbau des Flachdaches wird als Warmdachaufbau bzw. Kompaktdach angenommen. Die Belastungen der einzelnen Decken wurden äußerst genau gewählt, um den Vergleich auf das Niveau des durchgeplanten Stahlbetonbaus zu halten.

Für die Berechnung werden die Deckenstärken am Dach variiert, falls dies statisch möglich ist. Durch die leicht zu bewerkstelligende Vorfertigung und der hohen Materialkosten bei Holzbau teilen, fällt eine Variation des Aufbaus wesentlich mehr ins Gewicht als bei Betonbau.

### 3.8.2 Bauphysikalische Bemessung

#### Brandschutz

Die Randbedingungen für den Brandschutz eines mehrgeschossigen Wohnbaus in Österreich sowie international wurden bereits in Kapitel 2.2.2 erläutert. Der erforderliche Brandwiderstand des Dachtragwerks beläuft sich auf REI60 lt. OIB-Richtlinie 2 [1]. Die Dämmung in und auf der Dachkonstruktion muss hierbei die Mindestanforderung der Brennbarkeit der Klasse B [2] erfüllen. Dafür wird eine mineralische Dämmung aus Glaswolle gewählt. Eine Verwendung von EPS-, XPS- oder PIR-Dämmstoffen der Brandklasse E sind nur zulässig, wenn die tragende Schicht unbrennbar in Euroklasse A<sub>2</sub> ausgeführt wird [1]. Somit ist es möglich ein Flachdach aus Stahlbeton mit einem geschäumten Dämmstoff in dieser Gebäudeklasse herzustellen und im Holzbau nicht.

Bei der statischen Bemessung wurde diese Anforderung an den benötigten Feuerwiderstand für die Brettsper Holzdecke in Kombination der einfachen abgehängten Gipsbeplankung erbracht. Bei der Balkendeckenvariante wurden die REI60 Anforderung mittels doppelter GKF-Beplankung (2x1,5 mm) hergestellt. Der Brandschutz wird somit bei der Balkendecke gänzlich mit der Beplankung hergestellt.

## Wärmeschutz

In der Tabelle 2.3 sind die Anforderungen der OIB-Richtlinie 6 [28] für den Wärmeschutz von Decken gegen Außenluft mit  $U \leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gegeben. Für die Erfüllung dieser Anforderung ist die geringe Wärmeleitfähigkeit von Holzbauteilen äußerst günstig. Die Dämmschicht der Holzbaubauvarianten wird der Stärke gewählt, dass derselbe U-Wert wie beim Vorlageprojekt der Betonbauvariante mit  $U=0,149 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erzielt wird. Bei den Holzdecken liegt lediglich die Wärmespeicherfähigkeit leicht hinter der mineralischen Decke. Dies kann zu höheren Schwankungen der operativen Temperatur im Gebäudeinneren führen. Um den Einfluss dieser Eigenschaft berücksichtigen zu können sind bauphysikalische Gebäudesimulationen erforderlich, um den Einfluss auf die thermische Behaglichkeit sowie sommerliche Überwärmung zu beurteilen bzw. zu bemessen. Es ist jedoch anzumerken, falls die Holzdecke abgehängt wird, eine weitere Verschlechterung der Wärmespeicherung zu erwarten ist.

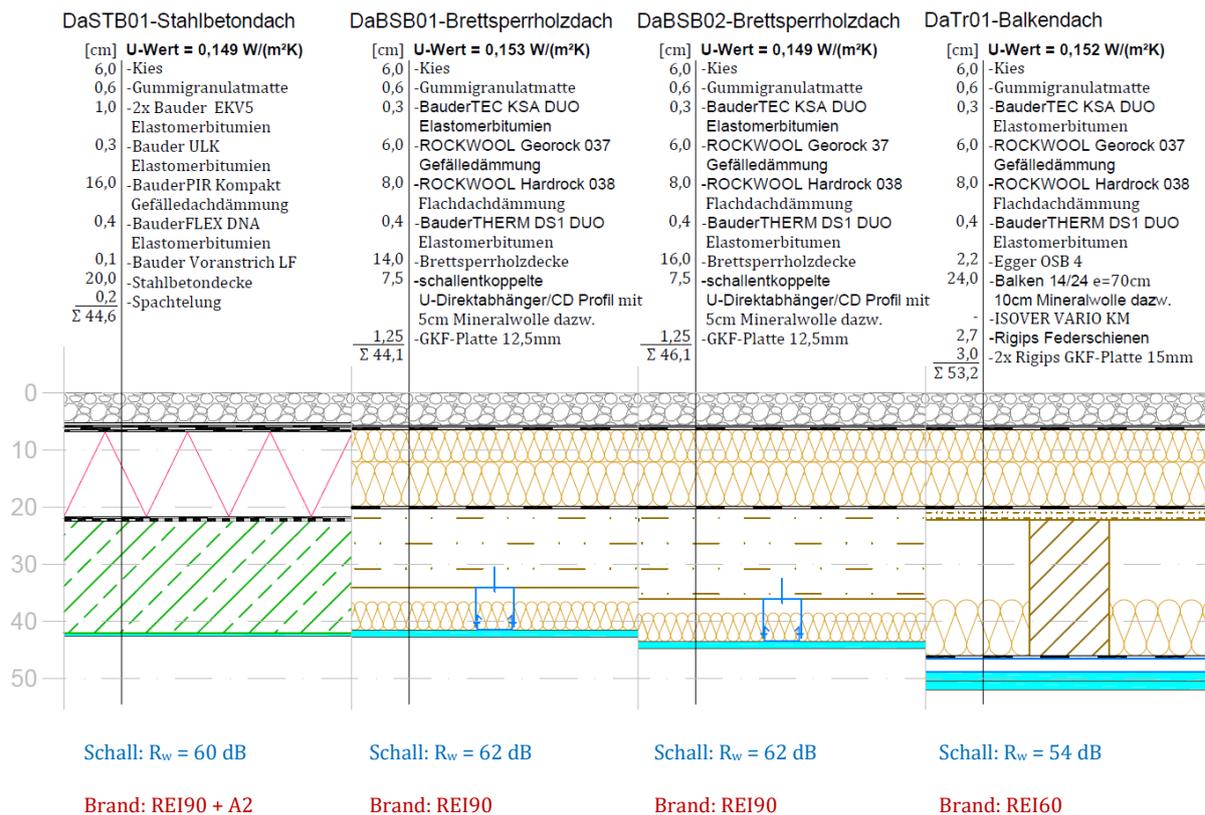
## Schallschutz

Der Schallschutz des Flachdaches muss ein bewertete resultierende Bauschalldämm-Maß  $R'_{\text{res,w}}$  der Außenbauteile von mindestens 43 dB (siehe Kapitel 2.2.6) vorweisen. Die Schalldämmung lässt sich hierbei durch die entkoppelte Deckenabhängung auf Schwingbügel, der Hohlraumdämmung sowie mit den mineralischen Dachdämmplatten auf der Tragstruktur verbessern.

### 3.8.3 Resümee zum Dachtragwerk

Es werden sämtliche Decken in Holzbauweise mit einer Abhängung, bestehend aus einer biegeweichen Schale aus Gipskarton 12,5 mm, gefertigt. Bei der Tramdeckenvariante ist eine doppelte Beplankung mit einer 15 mm dicken GKF-Platte nötig, um den geforderten Brandwiderstand zu gewährleisten.

Die ermittelten Deckenaufbauten werden in Abbildung 3.24 dargestellt. Hier wird nochmals darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um typische Konstruktionen handelt, die in der Wirtschaft oft zum Einsatz kommen. Spezialsysteme wurden hier nicht berücksichtigt.



**Abbildung 3.24: ermittelten Geschosdeckensysteme mit Aufbauten für einen Wohnbau der Gebäudeklasse 5 ≤60G**

Aus statischer Sicht eignet sich eine Ausführung des Dachtragwerks in Holzbauweise ideal, da die übliche Schwachstelle von Holztragwerken (z.B.: Schwingung) nicht von Bedeutung ist. Durch die Dämmwirkung von Holz lässt sich weiters die aufzubringende Dämmschicht reduzieren.

In der Gebäudeklasse 5 ≤6 Geschosse ist es für die oberste Abschlussdecke schwierig einen ökologischen Dämmstoff zu finden. Hierbei ist man derzeit gezwungen einen Dämmstoff aus Mineralwolle zu wählen, der mindestens die Anforderungen an das Brandverhalten der Klasse B (siehe Kapitel 2.2.2) erfüllt. Die Verwendung von derart großen Mengen führt zu einer wesentlichen Verschlechterung des Ökoindex (OI3). Ein zielführendes Potenzial liegt in der Entwicklung von ökologischen Dämmstoffen. Alternativ könnte sich die Normgebung ändern, um solche Dachtragwerke nachhaltig entwickeln zu können und nachwachsende Dämmstoffe einsetzen zu können. Verbesserung in der Dämmstoffentwicklung wären eine weitere Alternative, wie in Kapitel 3.11.3 gezeigt wird (brandbeständige Zellulosefaserdämmung).

Als klare Empfehlung lässt sich der Einsatz eines Dachtragwerks in Form einer Tafelbauweise empfehlen. Durch die geringeren Anforderungen an den Brand- und Schallschutz, ist diese Variante durch den geringen Materialeinsatz sowie aus ökologischer Sicht empfehlenswert. Die leicht erhöhte Deckenhöhe der Tramdecke dürfte sich nicht negativ auswirken, da dieser Bauteil nur einmal in der vertikalen Erschließung vorkommt.

Sämtliche bauphysikalische und ökologische Kennwerte der ermittelten Dachaufbauten aus Abbildung 3.24, die alle statischen und bauphysikalischen Forderungen einhalten, sind in Tabelle 3.5 angeführt.

Tabelle 3.5: bauphysikalische und ökologische Kennwerte der Dachtragwerkssysteme

	Deckenhöhe [cm]	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	Brand	bauphysikalische Eigenschaften		ökologische Kennzahlen			
				Wärmeschutz U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Schalldämm-Maß R <sub>w</sub> [dB]	ΔOI3 [Pkt./m <sup>2</sup> ]	PENTR [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP100 [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]
DaSTB01	44,6	602	REI90	0,149	~60 <sup>2</sup>	139	2080	109	0,385
DaBSB01	44,1	220	REI90	0,153	~62 <sup>3</sup>	124	1583	-12,7	0,552
DaBSB02	46,1	230	REI90	0,149	~62 <sup>3</sup>	128	1655	-23,2	0,573
DaTr01	53,2	205	REI60 <sup>1</sup>	0,152	>54 <sup>4</sup>	106	1311	8,72	0,456

<sup>1</sup>) Die EI60 Beanspruchbarkeit wurde der Broschüre "Planen und Bauen - Dachausbau DA31RF" der Firma Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH entnommen.

<sup>2</sup>) Die Schallschutzprognosen sowie wurde dem Buch "Baukonstruktionen Flachdach Band 9 (Pech A.)" entnommen.

<sup>3</sup>) Die Schallschutzprognosen wurde dem "Massivholzhandbuch 2.0 - DA10 c" der Firma Binderholz GmbH entnommen.

<sup>4</sup>) Die Schallschutzprognosen sowie wurde dem Buch "Holz im Hochbau (Pech A.)" entnommen.

### 3.9 Terrassenausführung

Die Ausführung der Terrasse (Decke 4. OG) im Dachgeschoss wird als Warmdach ausgeführt. Eine ordentliche Dämmschicht oberhalb der tragenden Holzdecke führt dazu, dass die Konstruktion weniger fehleranfällig wird und keine Kondensationsprobleme in der Tragstruktur entstehen (siehe Planungsbroschüre Flachdach [30]). Der genaue Aufbau auf der Konstruktion kann aus dem Kapitel 3.8.3 übernommen werden. Somit ist es wiederum nicht zu empfehlen, den Großteil der Dämmwirkung in der Ebene der Tragschicht anzubringen. [45]

Der Terrassenausstieg wird, wie bei der Betonbauvariante, nicht barrierefrei ausgeführt. Das Niveau des Terrassenbodens liegt höher als die Fußbodenoberkante der Dachgeschossdecke. Dies erspart einen Deckensprung in der tragenden Schicht auszuführen. Durch das ungleich hohe Niveau lässt sich der Anschluss der wasserdichten Ebene weitaus einfacher herstellen.

Die tragende Deckenstruktur wird wie die ermittelten Geschosdecken in Kapitel 3.7 ausgeführt und der Aufbau wie im vorigen Kapitel 3.8 beim Flachdach. Hierbei werden zusätzlich Betonplatten als Verkehrsfläche auf die Bekiesung aufgebracht. Da die Terrassenfläche in diesem Projekt nur eine kleine Fläche beansprucht und die Ausführung ähnlich, wie die des Flachdachs ist, wird diese nicht weiter untersucht.

### 3.10 Außenwand und Fassadenaufbau

Bei einem mehrgeschossigen Wohnbau der Gebäudeklasse 5 mit 6 Obergeschossen ist die Konstruktion der Außenwand bzw. Fassade sehr heikel. Es werden hohe Anforderungen an den Brand- und Schallschutz gestellt. Diese Ansprüche werden durch Öffnungen, wie Fenster, Fenstertüren und Balkonauskragungen zusätzlich verkompliziert.

Die Ausbildung der Außenwand mit Holzbauteilen kann prinzipiell als Massiv- oder Tafelbauweise ausgeführt werden. Bei der Wahl der Fassade sind neben einem Wärmedämmverbundsystem die Ausführung einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade eine Standardausführung bei Holzbauten. Für einen Wohnbau in Holz ist jedoch ab der Gebäudeklasse 4 eine Holzfassade nur möglich, wenn die darunterliegende Dämmschicht ein Brandverhalten von mindestens Euroklasse A<sub>2</sub> entspricht. Ab der Gebäudeklasse 5 >6 Obergeschosse ist eine Holzfassade lt. den Bestimmungen der OIB-Richtlinie 2 nicht mehr möglich. [1] Für die Holzaußenwand beim Vorzeigeprojekt bedeutet das, dass lediglich Mineralwolle für die Dämmung herangezogen werden kann. Mineralwolle bildet neben den hohen Kosten [91] einen sehr schlechten ökologischen Abdruck in der Herstellung.

Die Ausführung mit einer hinterlüfteten Außenfassade führt zu einer fehlertoleranteren Lösung, als mit einem WDVS. Dies resultiert aus dem diffusionsoffenen Aufbau, der für eine Rücktrocknung der eingetragenen Feuchte in die Konstruktion sorgt. Jedoch wird aufgrund des höheren Preises in diesem Vergleich eine hinterlüftete Konstruktion nicht weiter untersucht. Eine Holzfassade wird derzeit ohnehin im urbanen Raum selten verwendet, wegen der optischen Eigenschaften einer Holzfassade, die vergraut oder nachträglich zu streichen ist (lt. Expertengespräch mit Kaden+Lager [78]).

Wie bei den Geschossdecken bilden die Außenwände durch ihren großen Flächenanteil sowie mehrschichtigen Aufbau einen wesentlichen Kostenfaktor in einem Wohnbauprojekt. Wesentlich ist hierbei das notwendige spezielle Fachwissen für die Ausführung der einzelnen Details in der Außenwand, um die Anforderungen an den Brandschutz der OIB-Richtlinie 2 [1] zu erfüllen.

Beim vorliegenden Beispiel ist durch die Kernaussteifung keine weitere Aussteifung der Außenwände notwendig. Jedoch sind aufgrund des schmalen Kernbauwerks weitere Querwände für die Aussteifung heranzuziehen (siehe Kapitel 3.11). Beim vorliegenden Projekt und der unregelmäßigen Fensteranordnungen an allen Fassadenfronten wäre die Außenwandaussteifung, durch die unzureichende Steifigkeit dieser Wände nicht möglich.

In diesem Beispielprojekt werden vorwiegend Außenwandssysteme in Betracht gezogen, die bei bereits ausgeführten Projekten in Verwendung kamen. Durch dieses Vorgehen ist davon auszugehen mit Konstruktionen zu arbeiten, die sich sowohl in wirtschaftlicher sowie fertigungstechnischer Hinsicht mehr oder weniger etabliert haben.

#### 3.10.1 Statische Bemessung

Für die statische Bemessung der Außenwände wird das Vorbemessungsprogramm „Calculatis [89]“ der Firma Stora Enso Wood Products GmbH verwendet. Zu bemessen sind lediglich die Wände des Tragwerksentwurfes, bei dem sich die Decken vom Kern zu den Außenwänden spannen. Beim Entwurf der Decken, die parallel zum Kern gespannt sind, müssen die Wände keine tragende sowie aussteifende Funktion erfüllen. Als Lasten sind die einzelnen ständigen und veränderlichen Lasten aus den Geschossdecken und der darüberliegenden Außenwände anzusetzen.

Die Nachweise sind für den Grenzzustand der Tragfähigkeit [17] und der Resttragfähigkeit infolge Brands ermittelt [14]. Durch die abnehmenden Lasten nach oben wird im 2. OG eine Reduzierung der Wandstärke vorgenommen.

Durch die zahlreichen Durchdringungen in den Außenwänden werden diese auf einzelne Mauerpfeiler reduziert. Wegen deren geringeren Belastbarkeit ist die Ausbildung einer Tafelbauwand nicht zu empfehlen. Es würden sehr starke Holzriegel erforderlich werden, die enorm viel Holz beanspruchen, jedoch keinen Beitrag an die Abschirmung von Brandlasten beitragen. Zusätzlich ist die Ausbildung von Schwellen, aufgrund der hohen Querpressungen, nicht möglich. Eine Lösung könnte mit dem Weglassen der Schwellen erreicht werden, wie es bei dem Projekt Zollfreilager in Kapitel 2.7.6, bei dem die Pfosten direkt aufeinander lagerten, ausgeführt wurde. Somit bietet sich hierbei der Einsatz von massiven Holzbauwänden als beste Möglichkeit an.

### 3.10.2 Bauphysikalische Bemessung

#### Brandschutz

Die Randbedingungen für den Brandschutz eines mehrgeschossigen Wohnbaus in Österreich sowie international wurden bereits in Kapitel 2.2.2 erläutert. Der erforderliche Brandwiderstand der einzelnen Außenwände in den einzelnen Geschossen beläuft sich auf REI90 für tragende bzw. EI90 für nichttragende Wände lt. OIB-Richtlinie 2 [1]. Bei der statischen Bemessung der massiven Holzbauwände wurde diese Anforderung an den benötigten Feuerwiderstand R90 bereits durch die Bemessung von Tragfähigkeit durch eine Beplankung oder Überdimensionierung ausgenommen, falls dies notwendig war. Eine einfache Beplankung, die an Schwingbügeln mittels Holzlattung aufgebracht wird, ist ohnehin angenommen worden. Diese zusätzliche Schicht erhöht neben den Brandwiderstand den Schallschutz. In der gedämmten Vorsatzschale ist zudem eine Führung der Leitungen sehr einfach vorzunehmen. Lt. Troppmann [33] ist eine beplankte Oberfläche für einen Holzwohnbau mit vermietbaren Wohnungen bei dem Bauherrn erwünscht.

Wird die Außenwand in einer Tafelbauvariante ausgeführt, ist der Brandschutz zur Gänze mit Beplankungen zu erfüllen. Bei einer massiven Wandausführung wird der Brand zum Großteil durch die Holzbauwand selbst übernommen.

Bei einer Ausführung als vorgehängte Fassade ist ab der Gebäudeklasse 4 eine geschossweise Abschottung in Höhe der Geschossdecken erforderlich. Eine einfache Lösung ist die Verwendung eines umlaufenden Stahlblechprofils, welches mindestens 10 cm vor die Fassade auskragt. Diese sollen eine Weiterleitung des Brands über die darüberliegenden Geschosse vermeiden sowie den Luftstrom (Kamineffekt) in der Fassade unterbinden. Diese Anforderung muss bei den ermittelten WDVS-Fassaden nicht beachtet werden und wird für das Vorlageprojekt präferiert. Ein WDVS im innerstädtischen Bereich ist lt. der Expertenmeinung von Kaden T.3 [103] derzeit die gängigste Lösung.

#### Wärmeschutz

In der Tabelle 2.3 sind die Anforderungen der OIB-Richtlinie 6 [28] für den Wärmeschutz von Wänden gegen Außenluft mit  $U \leq 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gegeben. Für die Erfüllung dieser Anforderung sind geringe Wärmeleitfähigkeit von Holzbauteilen äußerst günstig. Die Dämmschicht der Holzbaubauvarianten wird in der Stärke gewählt, dass derselbe U-Wert, wie bei der Betonbauvariante  $U=0,149 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erzielt wird. Bei den Holzwänden liegt lediglich die Wärmespeicherfähigkeit leicht hinter den mineralischen Wänden. Dies kann zu höheren Schwankungen der operativen Temperatur im Gebäudeinneren führen. Um den Einfluss dieser Eigenschaft berücksichtigen zu

können, sind bauphysikalische Gebäudesimulationen vonnöten, um den Einfluss auf die thermische Behaglichkeit sowie sommerliche Überwärmung zu beurteilen bzw. zu bemessen. Es ist jedoch anzumerken, dass falls die Holzwände mit einer Vorsatzschale versehen werden, wird eine weitere Verschlechterung der Wärmespeicherung zu erwarten sein.

### Schallschutz

Der Schallschutz der Außenwände muss ein bewertete resultierende Bauschalldämm-Maß  $R'_{res,w}$  der Außenbauteile von mindestens 43 dB (siehe Kapitel 2.2.6) vorweisen. Die Schalldämmung lässt sich durch die entkoppelte Vorsatzschale mit Mineralwolldämmung verbessern.

Bei einem WDVS ist die Wahl des Dämmstoffs mit seinen Eigenschaften der dynamischen Steifigkeit sowie Rohdichte und für den Außenputz die Masse ein wesentlicher Entscheidungsfaktor, wie gut die Schalldämmeigenschaften des Bauteils ist. Im Allgemeinen lässt sich behaupten, dass eine Mineralwolldämmung wesentlich bessere Schallschutzverbesserungseigenschaften als eine Dämmung aus geschäumter Dämmung (EPS) aufweist. Durch das fehlende Flächengewicht des Wandbildners aus Holz sind für einen Schallschutz der dem STB-Aufbau annähernd gleich, eine Vorsatzschale mit einer biegeweichen Beplankungen zu wählen. Diese Vorsatzschale ist elastisch zu entkoppeln (Schwingbügel), um wesentlich bessere Schallschutzkennwerte zu erreichen. Für eine biegeweiche Schale haben sich Gipskarton- und Gipsfaserplatten mit einer maximalen Dicken von 15 mm etabliert.

### 3.10.3 Resümee zu den Fassadenaufbauten

Die Ausführung von Außenwänden in Holzbauweise ist der riesige Vorteil die Vorfertigung. Hierbei lassen sich beinahe alle Schichten mit dazugehörigen elektrischen Leitungen, Fenster, etc. bereits im Werk vorfertigen. Die ermittelten Aufbauten, die den statischen und bauphysikalischen Forderungen gerecht werden, sind in Abbildung 3.25 dargestellt. Für die Brettsperrholzwandausführung wird ab dem 2.OG von der AwBSP01 auf die AwBSP02 gewechselt, um die benötigte Masse an BSP-Platten zu minimieren, da diese durch die geringere Auflast nicht mehr nötig sind. Die beiden Stahlbetonvarianten (AwSTB01 und AwSTB02) ergeben sich durch Forderungen der OIB-Richtlinie 2, die lokal einen nichtbrennbaren Dämmstoff, wie Mineralwolle für das WDVS, verlangt. Die Ausführungsvarianten als nichttragende Außenwand zeigt AwBSP02 und AwTa01 (siehe Abbildung 3.25) die rein auf die bauphysikalischen Forderungen ausgelegt wurden. Die bauphysikalischen Anforderungen werden von allen Aufbauten erfüllt, die im Folgenden näher erläutert werden.

Bei der Aufbautenfindung wurden diese so gewählt, dass Brandschutzwiderstand (REI90 bzw. EI90) und der Wärmedurchgangswiderstand ( $0,149 \text{ W}/[\text{m}^2\text{K}]$ ) an die Außenwand des Vorzeigeprojekts angleicht.

Beim Einsatz von Stahlbetonaußenwänden ist zu erkennen (lt. Vorlageprojekt), dass die Wandstärken vom Erdgeschoss bis ins Dachgeschoss mit derselben Dicken ausgeführt wurden. Hierbei lässt sich erkennen, dass sämtliche Wände für die einwirkenden Lasten überdimensioniert sind, unter der Berücksichtigung, dass diese Wände überwiegend nur mit Mindestbewehrung bewehrt wurden. Dieses Vorgehen ist üblich in der mineralischen Bauweise, kostet jedoch Unmengen an Ressourcen und wirkt sich sehr negativ auf die Nachhaltigkeit des Bauwerks aus. In Tabelle 3.6, werden die Ablasten der Außenwände mit den Lasten der HBV-Brettsperrholzdecken aufgezeigt.

Tabelle 3.6: Lastaufstellung der tragenden Außenwand im EG und 2.OG in Holzbauweise

max. Belastung auf Außenwand im EG und 2.OG			
Flachdach	Decke	7,5 kN/m	3,5 kN/m
	Wand	3,0 kN/m	
4.OG	Decke	17,0 kN/m	13,0 kN/m
	Wand	3,0 kN/m	
3.OG	Decke	17,0 kN/m	13,0 kN/m
	Wand	3,0 kN/m	
2.OG	Decke	17,0 kN/m	13,0 kN/m
2.OG Trennwand	gk	67,5 kN/m	42,5 kN/m
1.OG	Wand	3,0 kN/m	
	Decke	17,0 kN/m	13,0 kN/m
EG	Wand	3,0 kN/m	
	Decke	17,0 kN/m	13,0 kN/m
EG Trennwand	gk	107,5 kN/m	qk 68,5 kN/m

\* Schneelast vereinfacht als Nutzlast angenommen

In Abbildung 3.26 bis Abbildung 3.30 werden die Kennwerte der verschiedenen Außenwandvarianten aus Abbildung 3.25 in Beton- und Holzbauausführung aufgelistet. Bei einem einfachen Vergleich der Auswertung lässt sich das wesentlich leichtere Gewicht der Holzbauvarianten zeigen. Die Ausführung in einer Holzriegelbauweise sorgt weiters dafür, mit einer möglichst geringen Wandstärke und Bauteilmasse hohe Dämmwerte zu erreichen. Die Nachhaltigkeit liegt bei dieser Wandausführung in der Herstellung günstiger als bei den massiven Aufbauten. Lediglich beim Brandschutz ist es erforderlich diese zur Gänze mit einer Beplankung herzustellen. Bei den massiven Aufbauten in Holzbauweise kann der Brandschutz teilweise von der tragenden Struktur abgedeckt werden.

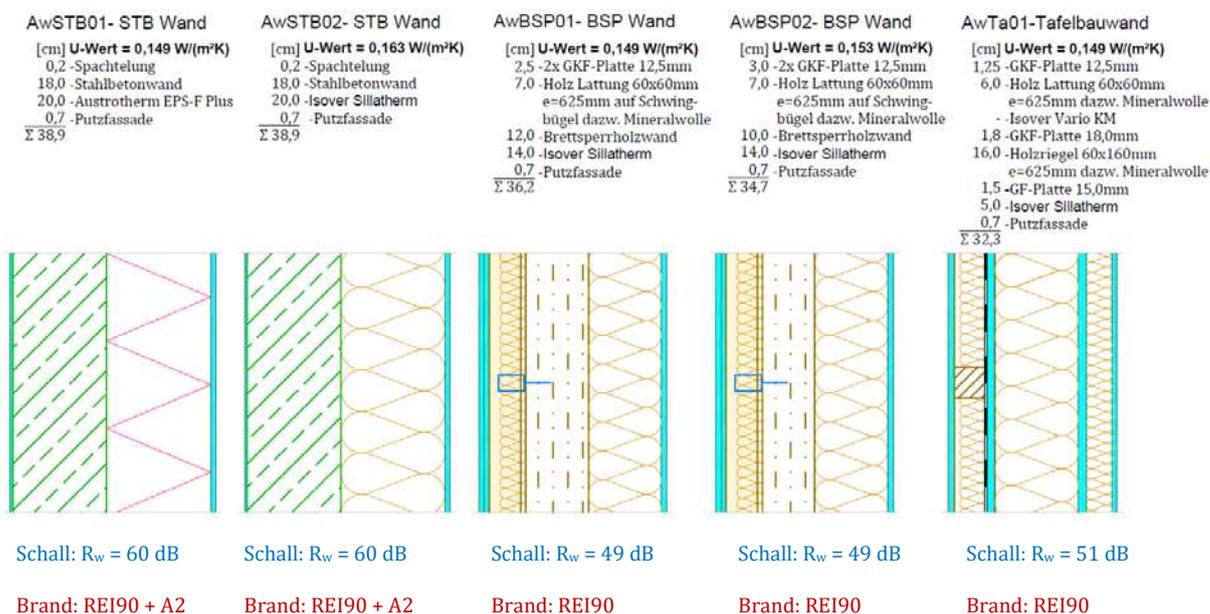
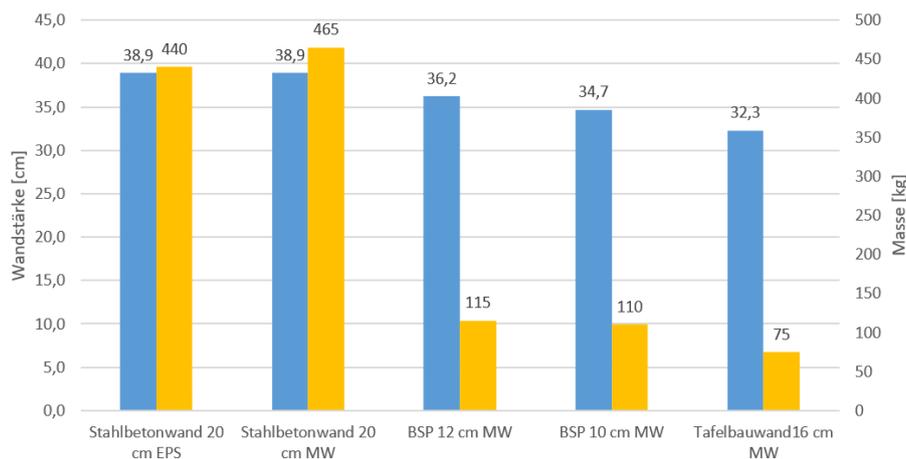


Abbildung 3.25: ermittelten Außenwandsysteme

In Abbildung 3.26 werden zu den ermittelten Wandaufbauten aus Abbildung 3.25 die zugehörige Flächenlast sowie Bauteildicken gezeigt. Dabei ist abzulesen, dass die Bauteilstärken geringer ausfallen, falls diese in Holzbau ausgeführt werden. Das Flächengewicht der Außenwände in Holzbauweise beträgt im Verhältnis zu den mineralischen Außenwänden nur rund ein Viertel. Diese Masseneinsparung wirkt sich sehr positiv bei den Versetzarbeiten aus. Über die gesamte Gebäudeaußenfläche betrachtet, ergeben sich weiterhin wesentlich geringere Ablasten auf das

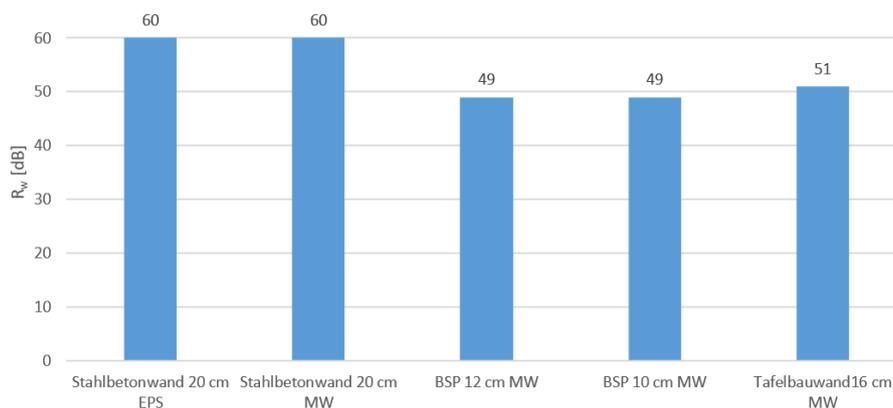
Fundament (siehe Kapitel 4.3). Durch die geringen Einsparungen an Bauteildicken sind bei einer Wahl von Holzbauaußenwänden keine wesentliche Erhöhung der vermietbaren Wohnnutzfläche zu erwarten, wie in Kapitel 4.2.2 (in einer Masterarbeit) ermittelt wurde.

Bei der Untersuchung der Wandaufbauten in Holzbauweise fällt die Wahl des Dämmstoffes lediglich auf Mineralwolle. Lt. näheren Nachforschungen und einer Expertenbefragung mit Dipl.-(HTL)-Ing.in. Irmgard Matzinger vom Holzforschung Austria - österreichische Gesellschaft für Holzforschung ist für Wohnbauten mit 6 Geschossen nach derzeitiger Normenlage, ausschließlich die nichtbrennbare Mineralwolle zu verwenden.



**Abbildung 3.26: ermittelte Wandstärken mit Aufbau und deren Gesamtmasse**

Bei der Schallschutzprognose in Abbildung 3.27 ist zu entnehmen, dass das Schalldämmmaß  $R_w$  bei den leichten Holzbauwänden trotz Vorsatzschale unter dem der massiven Betonwand liegt. Demnach ist eine Vorsatzschale bei einer Ausführung aus Holz empfehlenswert, um die Behaglichkeit im Innenraum aufrecht zu erhalten. Eine weitere Variante um eine gute Schalldämmleistung ohne Vorsatzschale zu erreichen, wäre eine hinterlüftete Fassade, die in dieser Arbeit jedoch nicht untersucht wird.



**Abbildung 3.27: Gegenüberstellung des Schalldämmmaß  $R_w$  der Außenwandaufbauten**

Aus nachhaltiger Sicht sind bei den ermittelten Außenwänden die Ausführungsvarianten mit einer Riegelwand (Tafelbauweise), im Bezug auf Masseneinsatz sowie Ökologie als sehr positiv einzustufen. Bei den beiden Stahlbetonwänden, die sich nur vom aufgetragenen Dämmstoff unterscheiden, lässt sich erkennen, dass der Einsatz von Mineralwolle den ökologischen Index ( $\Delta OI3$ )

deutlich in die Höhe treibt. Bei den Holzbauvarianten liegt die Nachhaltigkeit in der Herstellung im selben Bereich wie bei der Betonwand mit WDVS aus EPS. Als Resultat lässt sich daraus schließen, dass durch die geforderte Brandverhaltensklasse C-d1 für ein WDVS lt. OIB-Richtlinie 2 [1] für den Holzbau nur Mineralwolle in Frage kommt. Dies führt zu einer erheblichen Verschlechterung der Nachhaltigkeit. Um den Holzbau auf nachhaltigere Weise herstellen zu können, ist es notwendig auf Dämmstoffe zurückgreifen, die weniger Energie bei der Herstellung benötigen (siehe Abbildung 3.31). Vergleicht man die Abbildung 3.28 bis Abbildung 3.30, geht eindeutig die schlechte ökologische Bilanz der Holzkonstruktion aufgrund des hohen Anteils an Mineralwolle hervor. Es sind bei den Aufbauten mit Mineralwolle die hohen Anteile des primären Energiebedarfs aufzuzeigen. Den massiven Ausführungen in Holzbauweise kann jedoch ein hohes Speicherpotential an Treibhausgasen zugeschrieben werden, welches die Annahmen einer CO<sub>2</sub>-Speicherung von Holzwohnbauten in Kapitel 2.3 untermauert. Die Bindung von Treibhausgasen könnte daher mit einer Verwendung von nachwachsenden Dämmstoffen nochmals erhöht werden, wenn beispielsweise die Speicherfähigkeit der Korkdämmung in Abbildung 3.31 betrachtet wird.

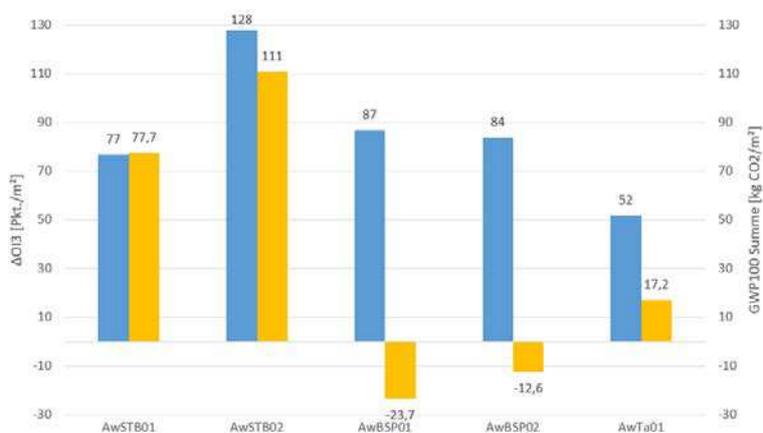


Abbildung 3.28: OI3-Ökoindizes und GWP100 Summe der ermittelten Außenwandvarianten

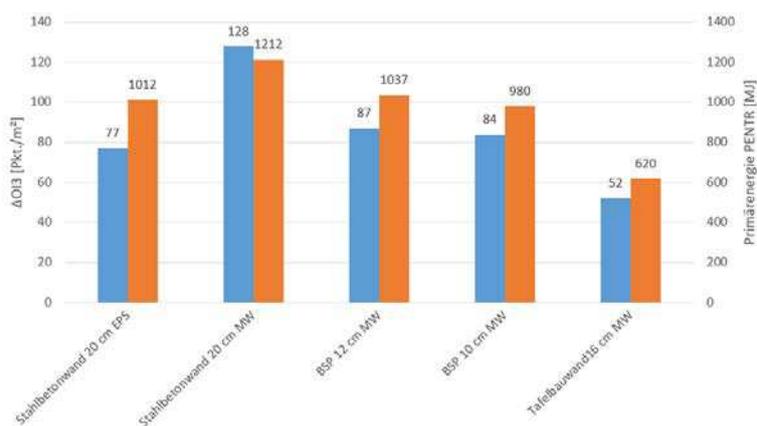
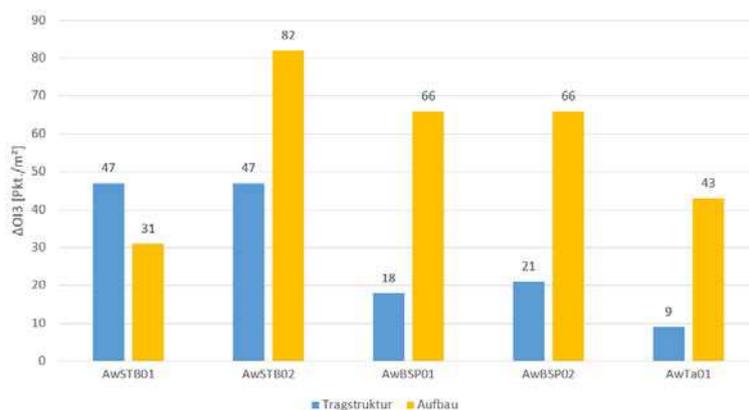


Abbildung 3.29: OI3-Ökoindizes und Primärenergiebedarf der ermittelten Außenwandvarianten

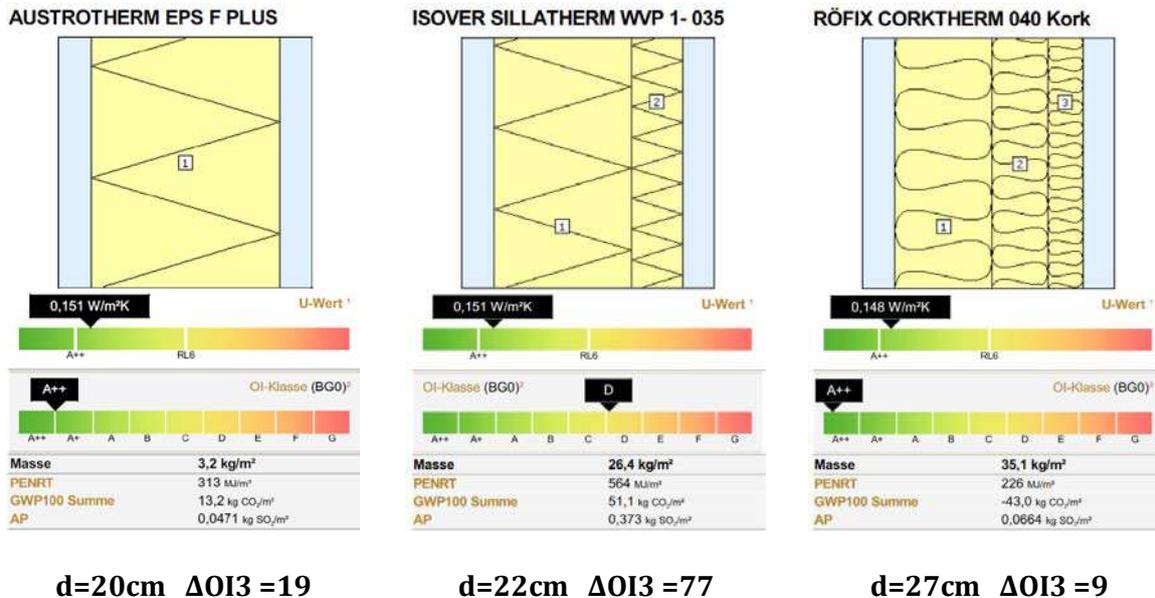


**Abbildung 3.30: OI3-Ökoindizes der ermittelten Deckenvarianten mit schweren Deckenaufbau, getrennt in Tragstruktur und Aufbau**

Bei den ermittelten Aufbauten der Außenwände wurde keine hinterlüftete Fassade angeführt. Grund dafür ist, dass lt. Expertenmeinung [103] eine vergraute Oberfläche aus optischen Gründen, nicht ins Stadtbild passt. Alternativ könnten die Oberflächen regelmäßig gestrichen werden, was zu wesentlichen Folgekosten führt. Zusätzlich sind Fassaden aus einem WDVS kostengünstiger als hinterlüftete Fassaden.

In der Abbildung 3.31 werden drei verschiedene Dämmstoffe aufgezeigt, um zu zeigen, welche Auswirkungen die Verwendung von einer mineralischen Dämmplatte auf die Nachhaltigkeit in der Herstellung auf Außenwände aus Holz leistet. Die Verwendung von beispielsweise einer Korkdämmplatte würde auf Kosten einer geringer ausfallenden Dämmstärke die ökologischen Kennwerte wesentlich verbessern. Der OI3-Indikator, der sich aus den drei energielastigen Indikatoren GWP, AP, und PENRE (siehe Kapitel 2.3) zusammensetzt, liegt bei der Mineralwolle bei allen dreien deutlich über denen von EPS-F und der Korkdämmung (siehe Abbildung 3.31). Bei der Korkdämmung ist der GWP100 Summen Wert sehr weit im negativen Bereich, was eine hohe Speichermasse an Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>) bedeutet. Das Versauerungspotential und der primäre Energiebedarf der Korkdämmung unterscheiden sich hingegen nur minimal von der des EPS-F.

Da sich der OI3-Indikator sehr auf die drei oben angeführten Indikatoren stützt, jedoch nicht mit der Entsorgungsphase, Nutzungsphase und mit der Recyclierbarkeit sind diese Werte mit Vorsicht zu betrachten. Eine Fassade ist bei diesem Vergleich mit einer Nutzungsdauer von 50 Jahren lt. dem Leitfaden des IBO [40] angenommen worden.



**Abbildung 3.31: Vergleich der Kennwerte von verschiedenen WDVS-Dämmstoffen bei selben Wärmedämmwerten des gesamten Aufbaus [48]**

Als nichtbrennbare Dämmung ist, lt. Dipl.-HTL-Ing.in Irmgard Matzinger [104] von „Holzforschung Austria“, für Holzbauten in der Gebäudeklasse 5 bis dato nur die Mineralwolle einsetzbar. Die gute Dämmwirkung sowie die Nichtbrennbarkeit von Mineralwolle schlägt sich jedoch enorm auf den OI3-Index nieder, falls man die drei Dämmstoffe vergleicht.

**Aussichten für ökologische nichtbrennbare Dämmstoffe**

Der Einsatz von ökologischen Dämmstoffen hat neben den nachhaltigen Eigenschaften mehrere Eigenschaften, die sich gegen ihren Einsatz bei Wohngebäuden stellen. Diese sind:

- ◆ schlechtes Preis-/Leistungsverhältnis (Dämmwirkung)
- ◆ geringere Dauerhaftigkeit gegenüber Mineralwolle und geschäumter Dämmstoffe
- ◆ Brennbarkeit (vorwiegend Klasse E [2])

Beim Brandverhalten ist somit der Einsatz von nachhaltigen Dämmstoffen im mehrgeschossigen Wohnbau ab Gebäudeklasse 4 nicht möglich (siehe OIB-Richtlinie 2 [1]). Neueste Forschungen haben jedoch am Beispiel einer Zelloosedämmung ein Bindemittel entwickelt, welches diesen Dämmstoff wesentlich feuerfester macht (siehe Abbildung 3.32). Für den Einbau wird diese Dämmung mittels Einblasung in die Konstruktion hohlraumfrei eingebracht. Nach dem Einblasen sind diese Zellulosefasern, anders als bisher, formstabil in der Konstruktion eingebunden und sitzt dort wie eine konventionelle Dämmplatte. Bei einem Brand sorgt dieser feste Verbund dafür, dass sich der Dämmstoff nicht in seine Fasern zerlegt, sondern dieser kompakt im Gefüge bleibt und die Konstruktion schützt. Das verwendete Bindemittel ist für den Menschen ungiftig und Berührungen mit diesem Bindemittel sind ungefährlich. [105]

Diese Entwicklung setzt einen weiteren Schritt für ökologische Dämmstoffe, um diese auch im mehrgeschossigen Wohnbau einsetzen zu können. Die Zellulose wird zwar nur bei Hohlraumkonstruktionen, wie einem Tafelbau, eingesetzt jedoch sind solche Entwicklungen für andere Baustoffe denkbar und könnten somit ein WDVS aus Mineralwolle ablösen.



**Abbildung 3.32: solide Zellulosedämmung für verbesserten Brandschutz [105]**

### 3.11 Wohnungstrennwände

Trennwände zwischen Wohn- und Betriebseinheiten sind vor allem im mehrgeschossigen Wohnhausbau von Relevanz. Gekennzeichnet ist eine Trennwand anhand ihrer zu erfüllender Funktionen betreffend Brand- und Schallschutz sowie je nach Tragwerkskonstruktion nach Trag- und Aussteifungsfähigkeit. Der Wärmeschutz hat bei diesen Bauteilen einen untergeordneten Stellenwert.

Für die Erfüllung der schalltechnischen Eigenschaften von Trennwänden wird bei Leichtbauvarianten auf einen mehrschaligen Aufbau von Schichtpaketen geachtet. Der dazwischenliegende Luftzwischenraum, der mit leichter Faserdämmung gefüllt ist, sorgt für die notwendige Schallschutzverbesserung. Die zusätzlichen Schichten werden üblicherweise in Form biegeweicher Schalen hergestellt, die eine hohe Flächenmasse besitzen. Es ist zusätzlich darauf zu achten, die Schichten voneinander getrennt zu halten und eine starre Verbindung zu vermeiden. Somit sind Beplankungen bevorzugt mit Schwingbügel von der Tragstruktur zu trennen bzw. gleich mit einer selbsttragenden Wand (z.B.: Metallständerwand) vorzusetzen. Der Schallschutz ist bei den Trennwänden im mehrgeschossigen Wohnbau sehr wichtig, wie aus Abbildung 2.12 einer Datenerhebung hervorgeht, da Lärmstörungen bei rund 60 % der Bewohner vorliegen.

Bei einem Wohnbau, der eine Brutto-Grundfläche von mehr als 400 m<sup>2</sup> besitzt, ist des Weiteren darauf zu achten, dass die Wind- und Luftdichtheit für jede Wohnungs- bzw. Wohneinheit erfüllt wird. [28] Sämtliche Wohnungstrennwände sind mit der entsprechenden Luftdichtheit auszuführen. Bei Ständerwänden kann dies beispielsweise mit Dampfsperrfolien hergestellt werden. Sämtliche Durchdringungen in den Trennwänden werden nur mit luftdichten Systemen hergestellt.

Im Folgenden wird als Ausführungsvariante der Trennwände eine massive Brettsperrholzwand mit Gipskartonvorsatzschale für die Tragstruktur mit tragenden Querwänden gewählt. Für die nichttragende Wohnungstrennwand werden Metall-Doppelständerwände gewählt. Diese eingeschränkte Bauteilauswahl resultiert durch die hohen Brandschutzanforderungen von REI90 (siehe Kapitel 3.4). Bei einer Holzrahmenbauweise würde sich die nichttragende Version von der Metallständerkonstruktion nur unwesentlich unterscheiden. Aus ökonomischen Gründen sollten diese jedoch lt. [106] als Metallständerwand ausgeführt werden. Bei einer tragenden Funktion der Wand ist die Kombination von hoher lastabtragender, aussteifender und brandschützender Eigenschaft eine massive Brettsperrholzwand einer Riegelbauvariante vorzuziehen.

Die Verwendung einer tragenden Holzriegeltrennwand würde sich bei einem Wohnbau Gebäudeklasse 5 ≤ 6 Obergeschosse im Dachgeschoss rentieren, bei der die Anforderungen an den Brandschutz von REI60 (siehe Kapitel 2.2.2) sowie geringeren statischen Belastungen herrschen.

#### 3.11.1 Statische Bemessung

Eine statische Bemessung der Querwände, die zugleich Wohnungstrennwände im vorliegenden Wohnbau darstellen, ist nur bei der Deckenvariante in kurzer Spannrichtung erforderlich, bei denen diese als Deckenaufleger dienen. Die Vorbemessung wird mit der höchstbelastetsten Wand im Erdgeschoss durchgeführt (siehe Tabelle 3.7). Die Belastungen setzt sich aus dem Eigengewicht, Aufbau sowie Nutzlast, der Kat A mit einem Zwischenwandzuschlag [23] sämtlicher Decken über der Wand zuzüglich der Eigenlasten der darüberliegenden Wände, zusammen.

Bei der Bemessung wurde die Wandstärke im 2. OG bis zum Dachgeschoss durch die verringerte Auflast vermindert. Für die Bemessung der tragenden Trennwand aus Brettsperrholz wurde das Bemessungsprogramm „Calculatis by Stora Enso 2018“ verwendet.

Beim Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall wurde eine doppelt beplankte Vorsatzschale (2x12,5 mm) berücksichtigt, die an beiden Seiten der Wand angebracht wurde. Für die Brettsperrholztabelle ist die Verwendung von einem 5-schichtigen Aufbau im Brandfall vorteilhaft, da beim einseitigen Brandfall die äußere stehende (tragende) Schicht als Erstes abbrennt und somit noch immer zwei stehende Schichten für die Resttragfähigkeit vorhanden bleiben. Bei diesen tragenden Zwischenwänden ist die Beplankung durchaus als sinnvoll zu erachten, da sich durch die Bemessung im Brandfall in Kombination mit der hohen ständigen Last ansonsten eine erhebliche Überdimensionierung der massiven Holztrennwand ergeben würde.

### 3.11.2 Bauphysikalische Bemessung

#### Brandschutz

Die Randbedingungen für den Brandschutz eines mehrgeschossigen Wohnbaus in Österreich sowie international wurden bereits in Kapitel 2.2.2 erläutert. Der erforderliche Brandwiderstand der einzelnen Trennwände zwischen den Wohneinheiten beläuft sich auf REI90 lt. OIB-Richtlinie 2 [1]. Bei der statischen Bemessung wurde diese Anforderung an den benötigten Feuerwiderstand für die Brettsperrholzwand in Kombination mit der Beplankung der Vorsatzschale nachgewiesen. Eine Beplankung erscheint aus brandschutztechnischen Gründen nicht unbedingt erforderlich, eine Nichtausführung dieser ist jedoch mit einer deutlichen Überdimensionierung der Trennwand verbunden. In diesem Beispielprojekt wird rein aus Schallschutzgründen sowie optischen Forderungen ein mehrschichtiger Aufbau nötig. Lt. [33] ist eine Beplankung der Holzoberfläche für einen Wohnbau mit vermietbaren Wohnungen bei den Bauherren sogar erwünscht.

#### Wärmeschutz

In der Tabelle 2.3 sind die Anforderungen der OIB-Richtlinie 6 [28] für den Wärmeschutz von Wänden zu getrennte Wohneinheiten mit  $U \leq 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gegeben. Diese Anforderungen werden von leichten Trennwänden besser erfüllt als von den Betonwänden. Durch die notwendige Vorsatzschale (mit Mineralwollverfüllung), die durch schallschutztechnische Anforderungen angebracht wird, ist diese Anforderung für jede Konstruktionswahl einfach zu erfüllen. Die Holzwände liegen lediglich in Sachen der Wärmespeicherfähigkeit leicht hinter den mineralischen Wänden. Dies kann zu höheren Schwankungen der operativen Temperatur im Gebäudeinneren führen. Um den Einfluss dieser Eigenschaft berücksichtigen zu können sind bauphysikalische Gebäudesimulationen vonnöten, um den Einfluss auf die thermische Behaglichkeit sowie sommerliche Überwärmung [95] zu beurteilen bzw. zu bemessen. Es ist jedoch anzumerken, dass wenn eine massive Wandkonstruktion in Holz oder in Stahlbeton beplankt wird, die Wärmespeicherfähigkeit rapide abnimmt.

#### Schallschutz

Eine Ausführung der tragenden Massivholzwände ohne Vorsatzschale sind aufgrund der erforderlichen Schallschutzanforderungen nicht möglich (ebenso bei STB-Wänden). Bei den Geschossdecken, die als Durchlaufplatten über die Wohneinheiten gewählt wurden, ist lt. „Bauen mit Brettsperrholz im Geschossbau [21]“ eine Vorsatzschale an den Wänden nötig, um die Schallübertragung zwischen den einzelnen Wohneinheiten zu unterbinden. Eine Trennung der

Decken am Auflagerpunkt (eine Ausführung als Einfeldträger) würde eine höhere statische Nutzhöhe der Brettsperrholzdecke mit sich führen, was sich vor allem im Preis niederschlägt. Dadurch liegt eine Anbringung einer entkoppelten Deckenabhängung ebenso nahe.

Eine Ausführung mit doppelt gestellten Brettsperrholzwänden wird in diesem Beispiel nicht gebracht. Einerseits ist sie durch den hohen Verbrauch an Holzmassen durch die zweischalige Holz-wandausführung teurer als vergleichbare einschalige Wandtafeln. Andererseits ist bei der Ferti-gung mit tragenden Querwänden (Wohnungstrennwände) eine massivere Trennwand erforderlich, um die Knickstabilität zu gewährleisten. Eine Trennwandausführung mit zwei Brettsperrholzwänden würde somit erfordern, beide Wände mit der nötigen Stärke für die Knicksta-bilität auszuführen, was sich in den Kosten wiedergeben würde. Bei einer statischen Bemessung einer Doppelwandausführung würde ebenso einer Bauteilausführung, wie TwBSB02 in Abbil-dung 3.33 vom Erdgeschoss bis in die oberen Geschosse notwendig sein, um weiters den Brand-schutz gewährleisten zu können. Dieser Aufbau würde demselben Aufbau der Vorsatzschale be-nötigen und sich nur unwesentlich von der einschaligen Variante unterscheiden.

### 3.11.3 Resümee zu den Wohnungstrennwänden

Bei der Ausführung der Wohnungstrennwände ist der Einsatz von Holzbauteilen durchaus eine sinnvolle Variante. Werden die Wände für aussteifende oder tragende Funktionen herangezogen, sollten diese mit einer massiven Ausführung bewerkstelligt werden (siehe Abbildung 3.33). Die hohe Auflast (siehe Tabelle 3.7) ist durch eine Riegelwand nur durch Einbau starker Holzpfosten herzustellen, die keineswegs einen Beitrag für den Raumabschluss bei Brandbeanspruchung ge-währleisten. Eine Trennwand aus Brettsperrholz ist im Gegensatz zu einer Stahlbetonwand öko-logischer in der Herstellungsphase (OI3) und weist nur ein Viertel des Gewichtes der Betontrenn-wand auf (siehe Tabelle 3.8). Durch eine gute Verankerung der übereinanderliegenden Geschosswände an das tragende Fundamentbauteil, können die horizontallasten gut abgeleitet werden. Dieses Thema wird in Kapitel 3.12 näher erläutert. Die Ausführung einer doppelschali-gen massiven BSP-Wand ist wegen der hohen Brandbeanspruchung nicht zu empfehlen.

Als nichttragende Wände eignen sich aufgelöste Strukturen (siehe Abbildung 3.34). Eine Tro-ckenbauwand (TwTr01-Metallständerwand) ist neben den besten Schallschutzkennwerten und Ökokennzahlen sowie geringen Masseneinsatz die beste Lösung für nichttragende Wohnungs-trennwände mit hohen Anforderungen an den Brandschutz (siehe Tabelle 3.8). Diese bieten zu-dem eine sehr hohe Flexibilität, können jedoch nicht vorgefertigt werden. Bezüglich der Nut-zungsdauer sind diese Bauteile auf 50 Jahre ausgelegt, wobei sich bei einer vorzeitigen Um-nutzung die ökologische Ermittlung nicht maßgebend zwischen den nichttragenden Wänden verändert, da sie anschließend wiederum dieselbe Nutzungszeit vorweisen. Bei den Zwischen-wänden, die in massiver Bauweise hergestellt werden, geht aus Tabelle 3.8 das enorme CO<sub>2</sub>-Spei-cherpotential hervor, vergleichsweise zu einer Ausführung der Zwischenwand aus Stahlbeton o-der einer Metallständerwand.

Tabelle 3.7: Lastaufstellung der tragenden Innenwand im EG und 2. OG in Holzbauweise

max. Belastung auf Trennwand im EG und 2.OG			
Flachdach	Decke	20,0 kN/m	5,0 kN/m
	Wand	3,0 kN/m	
4.OG	Decke	26,0 kN/m	22,0 kN/m
	Wand	3,0 kN/m	
3.OG	Decke	26,0 kN/m	22,0 kN/m
	Wand	3,0 kN/m	
2.OG	Decke	26,0 kN/m	22,0 kN/m
2.OG Trennwand	gk	107,0 kN/m	qk 71,0 kN/m
1.OG	Wand	3,0 kN/m	
	Decke	26,0 kN/m	22,0 kN/m
EG	Wand	3,0 kN/m	
	Decke	26,0 kN/m	22,0 kN/m
EG Trennwand	gk	162,0 kN/m	qk 115,0 kN/m

\* Schneelast vereinfacht als Nutzlast angenommen

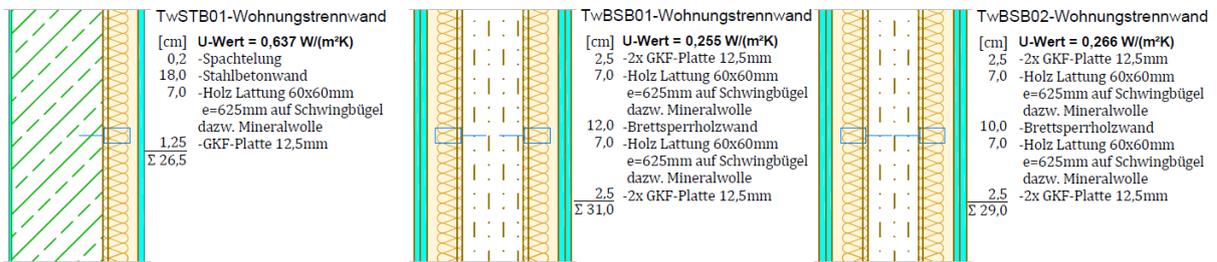


Abbildung 3.33: ermittelte tragende Wohnungstrennwandsysteme

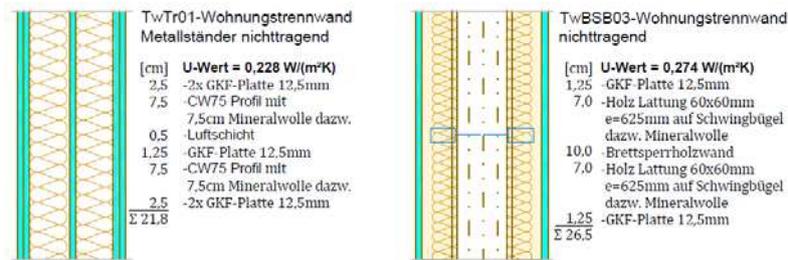


Abbildung 3.34: ermittelte nichttragende Wohnungstrennwandsysteme

Tabelle 3.8: bauphysikalische und ökologische Kennwerte der ermittelten Wohnungstrennwände

	Wandstärke [cm]	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	bauphysikalische Eigenschaften				ökologische Kennzahlen			
			Brand	Wärmeschutz U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Schalldämm-Maß R <sub>w</sub> [dB]	ΔOI3 [Pkt./m <sup>2</sup> ]	PENTR [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP100 [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	
TwSTB01	26,5	440	REI90	0,637	~64 <sup>1</sup>	53	636	56,7	0,165	
TwBSB01	31,0	110	REI90 <sup>2</sup>	0,255	~57 <sup>2</sup>	34	644	-62,9	0,171	
TwBSB02	29,0	100	REI90 <sup>2</sup>	0,266	~57 <sup>2</sup>	30	573	-52,5	0,150	
TwBSB03	26,5	80	REI90 <sup>2</sup>	0,274	~57 <sup>2</sup>	26	503	-55,6	0,142	
TwTr01	21,8	55	REI90 <sup>2</sup>	0,228	>66 <sup>2</sup>	24	341	17,5	0,075	

<sup>1)</sup> Die Schallschutzprognosen wurde nach ÖNORM B8115-4 berechnet.

<sup>2)</sup> Die Schallschutz- und Brandschutzprognosen wurde dem Buch "Holz im Hochbau (Pech A.)" entnommen.

### 3.12 Detailausführungen

Bei diversen Detailausführungen ist es im Holzbau oftmals erforderlich auf andere Baustoffe, wie Beton, Stahlbeton und Stahl, zurückzugreifen. Grund dafür sind die anisotropen und inhomogenen Eigenschaften des Werkstoffes Holz, welche bei mehrachsig beanspruchten Anwendungen kontraproduktiv sind. Bei Details, wie es bei Auflagerpunkten am Kernbauwerk oder den Knotenpunkt von Außenwand-Geschossdecke vorkommt, wird hierbei oft auf eine Mischausführung zurückgegriffen. Falls für diese Anwendungen Holz aus statischer Sicht möglich wäre, würde diese Ausführung jedoch mehr Platz beanspruchen, als eine einfache Ausführung mit beispielsweise Stahlträgern. Dies könnte Probleme im Bereich der Fensterstürze mit sich ziehen. Hierbei ist jedoch auf den Brandschutz der Stahlbauteile zu achten, da diese ausgiebig zu schützen sind, um dieselben Brandschutzanforderungen zu erreichen, die an die angeschlossenen Bauteile gestellt wird. Diese Bauteile können mit Beplankungen aus Holzelementen und Gipsplatten gegen Brandeinwirkung abgeschirmt werden, um auf einen zusätzlichen Brandschutzanstrich verzichten zu können. Bei Verwendung von Betonbauteilen wird einerseits der Fall mit der Anisotropie und der Brennbarkeit verhindert, doch sind deren großen Abmessungen und die Baufeuchte bei Ortbetonage problematisch.

Für Knotendetails sind daher

- ◆ eine hohe Vorfertigung,
- ◆ kurze Montagezeit und
- ◆ Einfachheit

wesentlich.

Für die Weiterleitung von Kräften durch das gesamte Gebäude bis zum Fundamentbauwerk sind fachgerecht ausgeführte Bauteilanschlüsse nötig. Diese müssen neben den statischen Funktionen auch die bauphysikalischen Anforderungen erfüllen. Um die statischen Funktionalitäten zu gewährleisten, sind kraftschlüssige Verbindungen notwendig, welche die Festigkeit, Steifigkeit, Standfestigkeit und Duktilität unter den einzelnen Bauteilen herstellen. Diese müssen obendrein ausreichend dicht ausgeführt werden, um Schallschutz-, Luftdichtigkeits- sowie Brandschutzanforderungen zu erfüllen. Für die Brandschutzanforderungen der Stoßstellen sind dieselben Anforderungen zu erfüllen, wie an die angeschlossenen Bauteile gestellt wird. Hierbei soll die Weiterleitung des Brandes und den Rauchgasen durch die Fugen verhindert werden. Bei den Beispielprojekten Wagramerstraße in Kapitel 2.7.1 und dem Holzhochhaus (HoHo) in Kapitel 2.7.8, wurden hierbei sogar für das Brandschutzkonzept Branduntersuchungen der Decken-Wandanschlüsse verlangt, um die tragenden Bauteile in Holz ausführen zu dürfen.

Vorwiegend von Bedeutung für die Anschlüsse sind die Kräfte die horizontal auf das Gebäude wirken. Diese setzen sich aus Wind- und Erdbebenlasten bei einem Standard Wohnhausbau zusammen. Bei der Erdbebenbelastung setzt sich die Gesamterdbebenkraft  $F_b$  (siehe ÖNORM EN 1998-1 [84]) vorwiegend durch die Gesamtmasse des Gebäudes zusammen. Bei einem Holzbau, der durchaus weniger als die Hälfte eines konventionellen Stahlbetonbaus wiegt (siehe Kapitel 4.3), sind demzufolge die horizontalen Ersatzlasten durch Erdbeben geringer. Es sind somit für die Anlussteile des Holzbauwerks geringere Lasten zu übernehmen. Durch das geringe Eigengewicht von kurzen Aussteifungswänden können sich abhebende Kräfte ergeben (siehe Kapitel 3.12.3). Eine positive Eigenschaft der Tragwirkung der metallischen Verbindungen stellt das duktile Verhalten der Anschlüsse dar, welches sich positiv auf das Erdbebenverhalten auswirkt und

dynamische Bewegungsenergie dissipieren kann. Diese Eigenschaft wurde in dem Gebiet mit hohen seismischen Aktivitäten beim Projekt Via Cenni in Mailand (siehe Kapitel 2.7.4) berücksichtigt.

Die einfachste Möglichkeit zur Fügung der Holzbauteile ist die Verwendung von stiftförmigen Verbindungsmitteln. Diese sind vor allem Vollgewindeschrauben, die sich ohne Vorbohren in das Holz treiben lassen (siehe Via Cenni in Kapitel 2.7.4). Diese erfüllen ohne großen Aufwand die zuvor erläuterten Anforderungen. Außerdem können diese in Kombination mit Stahlbauteilen verwendet werden. Die beste Wirksamkeit erreichen diese stiftförmigen Verbindungsmittel, wenn sie in Stablängsrichtung beansprucht werden, was durch eine diagonale Verschraubung erreicht wird. Neben den Vollgewindeschrauben sind Stabdübel-, Bolzen- und Passbolzenverbindungen in Kombination mit Stahlbauteilen ebenso eine gängige Variante.

Der Vorteil bei Stahlbauteilen ist die Kombination von Isotropie und geringer Schwankungen der Materialfestigkeit. Somit können Bauteile durch das Zusammenschweißen von Stahlblechen eigene Sonderformen entwickeln, die für die jeweilige Lastweiterleitung benötigt werden. Eine derartige Ausführung wurde durch die punktuellen Auflagerpunkte beim Studentenwohnheim Commons (siehe Kapitel 2.7.8) angewendet, um die Kräfte der Schwerlaststützen durch die Geschossdecken durchzuleiten, ohne die BSP-Decken auf Querdruck zu belasten.

Aus Gründen der Einfachheit werden im mehrgeschossigen Holzwohnbau Blechbauteilen bevorzugt. Diese sind als einfache konstruktive Verbinder, Schubverbinder oder Zugverbindungen zu sehen (siehe Abbildung 3.35). Eine Kombination aus Schub- und Zugverbinder ist bei aussteifenden Wänden für die Weiterleitung von Kräften, die horizontal auf das Gebäude wirken (Erdbeben und Wind), erforderlich. Diese werden an den Holzbauteilen mit Systemschrauben/-nägeln befestigt. Alternativlösungen sind eingeklebte Gewindestangen, Schraubstangen und Stahlprofile, welche jedoch nicht unbedingt einen besseren workflow bieten.



konstruktiver Verbinder

Schub- und Zugkraft Verbinder

Zugkraft Verbinder

**Abbildung 3.35: Formbleche zur Verankerung von Holzbauwänden [107]**

Um die Dichtheit bei Elementstöße gewährleisten zu können, werden vorwiegend Dichtungsbänder eingesetzt. Falls die Elementstöße nicht sichtbar ausgeführt werden, können Klebebänder die Dichtbänder ersetzen.

### 3.12.1 Verhalten von Holzbauanschlüssen bei horizontaler Belastung

Bei einem mehrgeschossigen Holzbau, der überwiegend mit Fertigteilen gefertigt wird, müssen Anschlussdetails sehr einfach und universell einsetzbar sein. Die Montage sollte aus zeitlicher

Sicht keine Verzögerungen hervorrufen. Während der Nutzungsphase des Gebäudes müssen diese einen ausreichenden Widerstand gegen sämtliche Kräfte aufnehmen können und im Brandfall dieselben Anforderungen wie die der anschließenden Bauteile erbringen.

Bei einem Wohnbau aus massiven Stahlbeton sind alle Bauteile relativ steif, sowie ihre Bauteilfügungen. Bei einem Holzwohnbau, wie er in dieser Arbeit behandelt wird, stehen sich reichliche Bauteile und Bauteilfügungen gegenüber, die sich sehr stark von ihrer Steifigkeit unterscheiden. Beim Vorzeigeprojekt ist der hauptaussteifende Bauteil der Kernbauteil, an dem sich ringsum die Wände in Holzbauausführung anschließen. Diese umlaufenden Wände sind im Gegensatz zu der mineralischen Ausführung weniger steif. Die Verbindungsmittel, mit denen die Wände und Decken miteinander verbunden sind, wirken viel weicher als im Stahlbetonbau. Diese Eigenschaft sind bei der Ermittlung der resultierenden Belastung auf die einzelnen Aussteifungselemente zu bedenken. Die auftreffenden Lasten auf die Verbindungsmittel können sehr stark variieren. Für die horizontalen Aussteifungsebenen gilt dies nicht, da hier Lasten bis zum Kernbauteil durch dasselbe Deckensystem mit konstanter Schubsteifigkeit bis zum Kernbauwerk fließen.

Bei dynamischer Beanspruchung, wie es bei einem Erdbeben der Fall ist, wirken die Holzelemente sowie die Anschlüsse dissipativ und unterstützen somit die Erdbebenkompensation.

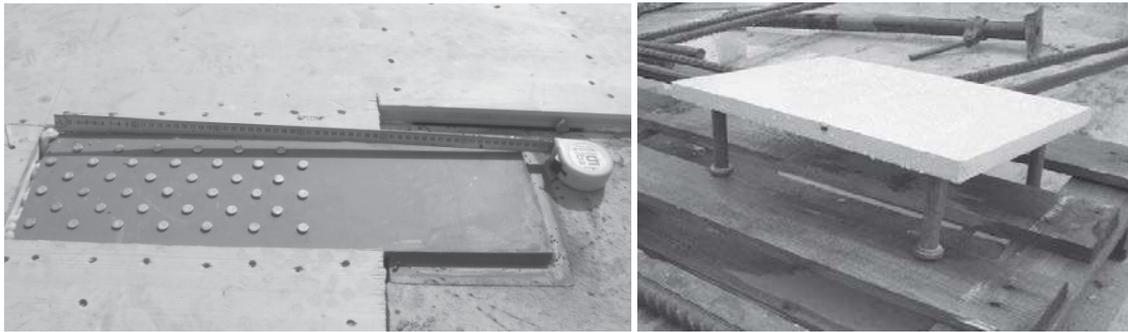
Um das Verhalten solcher Mischbauweisen genaustens zu ermitteln, sind bis dato keine standardisierten Berechnungsmethoden verfügbar. Man ist aufgefordert, Prüfungen für die Holzbauteile mit deren Verbindungen vorzunehmen, um auf eine realitätsnahe Aussage über das Systemverhalten rückschließen zu können. Die Grundlagen für das Aussteifungskonzept sind bereits in Kapitel 3.6 erarbeitet worden.

### 3.12.2 Anschluss der Geschossdecken an das Kernbauwerk

Der Anschluss der aussteifenden Geschossdecken an den massiven Kernbauteil aus Stahlbeton stellt folgenden Anforderungen:

- ◆ Ausgleich von unterschiedlichen Werkstoffbewegungen
- ◆ Brandschutzabschluss
- ◆ Schallschutz
- ◆ Lasteinleitung für vertikale und horizontale Kräfte

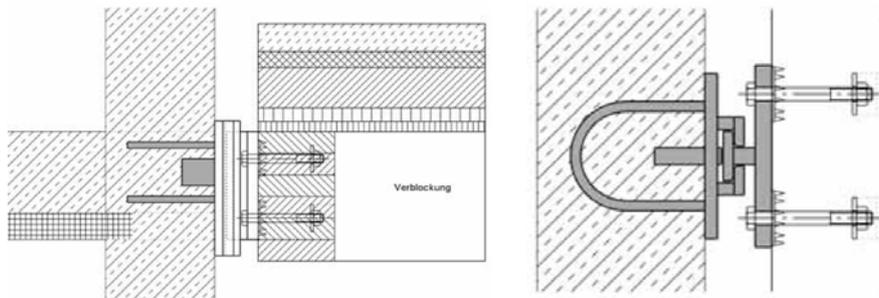
Eine übliche Ausführung dieses Anschlusses wird mit Stahlbauteilen hergestellt. Die Stahlbauteile sind bei der Verlegung der Bewehrung miteinzubinden und somit einen Fixpunkt im Kernbauteil, an dem sich die Anschlusssteile der anzubindenden Bauteile anschweißen lassen. Diese können Schweißgründe, Schraubverbindungen, Schienen etc. darstellen (siehe Abbildung 3.36). Die Geschossdecke wird anschließend mit einem Stahlbauteil am Kernbauteil angehängt. Eine Anschlussvariante wurde beim Beispiel der Wagramer Straße (siehe Kapitel 2.7.1) mithilfe einer Halfenschiene (siehe Abbildung 3.37) vorgezeigt, welcher vertikal verschieblich ist, jedoch horizontale Kräfte aufnehmen kann.



**Abbildung 3.36: Anschluss des Holzbaus an Aussteifungskern mittels Stahlbauteil (links) und Schweißgrund für Betonbauteil [108]**

Durch das unterschiedliche Verformungsverhalten von Holz und Beton sollten die Anschlusselemente für Kräfte in horizontaler Richtung ausgelegt werden. Diese setzen sich aus Zug-, Druck- und Scherkräfte zusammen. In vertikaler Richtung sollten diese Elemente duktil bzw. verschieblich ausgeführt werden, um nicht ungewollte Zwangsspannungen auf das System auszuüben.

Beim HoHo in Wien (siehe Kapitel 2.7.8) wurde anstatt einer Stahlkonsole eine Stahlbetonkonsole ausgeführt. Diese weist eine sehr gute Tragfähigkeit sowohl für vertikale als auch für horizontale Lasten auf. Die Bandabschottung ist in Kombination mit Dichtungsbändern sehr einfach herzustellen. Diese Ausführung ist die effizienteste Lösung, lässt sich jedoch durch die beengten Platzverhältnisse in einem Wohnhaus nicht anwenden, außer man belässt die Konsole im Innenraum auf Sicht. Anstatt der STB-Konsole kann diese alternativ mit einem versenkten Stahlwinkel in der Decke gefertigt werden, wie beim LCT ONE (siehe Kapitel 2.7.8).



**Abbildung 3.37: An- und Draufsicht auf ein vertikal verschiebliches Kernanschlussdetail zwischen Stahlbetonkern und Holzbauteil [109]**

Beim ausgearbeiteten Wohnbau ist für die quergespannten Brettspertholzdecken eine Lösung mittels einbetonierten Schweißgrund und einer Flachstahlplatte, als einfache Lösung anzusehen. Durch die ungünstige Höhe der Decke müsste der Schweißgrund genau durch die Betonierfuge vom Kernbauteilknoten verlaufen, was zu Ausführungsschwierigkeiten führen würde. Somit wird alternativ nach Verlegen der Deckenplatten ein durchgehender Stahlwinkel auf der Oberseite nach Verlegen der Decken angebracht und anschließend an den Kern gedübelt. Damit diese Verbindung vertikale Verschiebungen aufnehmen kann, wird dieser mit einem Langloch in Vertikalrichtung ausgeführt (siehe Abbildung 3.38). Bei der Variante mit HBV-Decken, die sich am Kernbauteil auflagern, kann diese Variante wegen der notwendigen Abstützkraft nicht angewendet werden. Es sind bei dieser Ausführung allerdings keine Setzungsdifferenzen zwischen den beiden Bauteilen zu berücksichtigen. Hierfür eignet sich eine steifere Ausführung der Stahlbau-

teile. In der Abbildung 2.45 werden, am Beispiel des LCT-ONE Tower, punktuell mehrere Stahlbaugründe in den Kern eingearbeitet, an dem ein Stahlwinkel angeschweißt wurde. Diese Auflagerkonstruktion eignet sich nach ausführlicher Recherche auch bestens für eine Ausführung ohne durchgehenden Stahlbetonträger an der Decke. Wesentlich ist hierfür ein durchgehendes Auflager für die Flachdecke zu bilden. Eine kostengünstige und einfache Variante kann mit einem durchlaufenden Winkelprofil hergestellt werden, welcher an den punktuell einbetonierten Schweißgründen angeschweißt und vollverschraubt über die ganze Deckenlänge angebunden wird. Für eine durchgehende Aufbetonplatte wird der Randbereich zum Kernbauteil vor Ort anbetoniert. Es wird damit erreicht, den Anforderungen gegen Brand gerecht zu werden. An der Unterseite des Stahlwinkels wird für den notwendigen Brandschutz eine zusätzliche direkte Beplankung mittels GKF-Platte angebracht (siehe Abbildung 3.39).

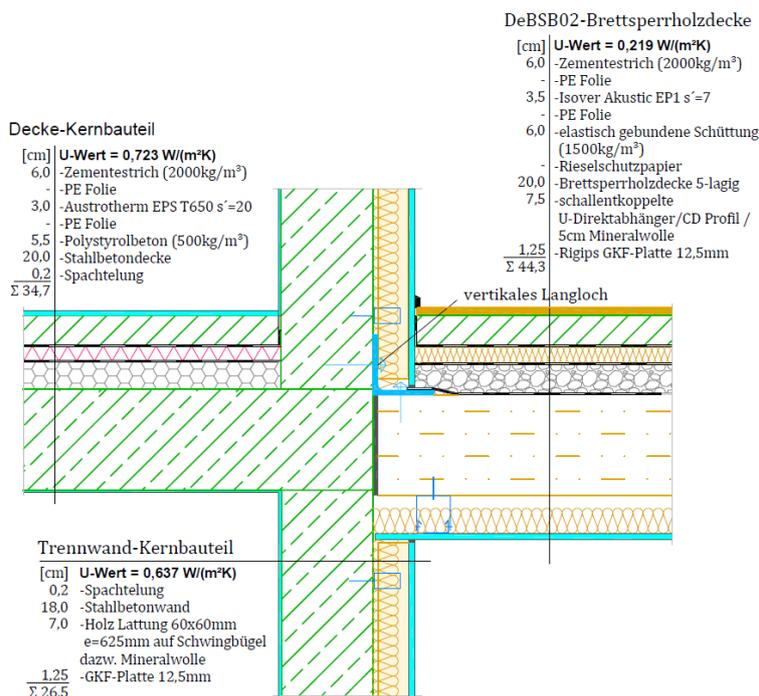


Abbildung 3.38: Anschluss der Brettsperrholzdecke an Kernbauteil (vertikal verschieblich)

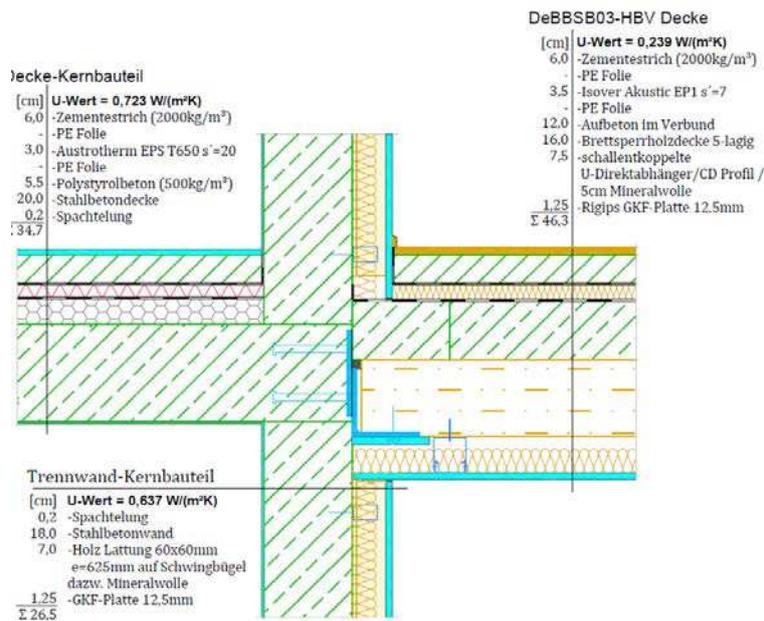


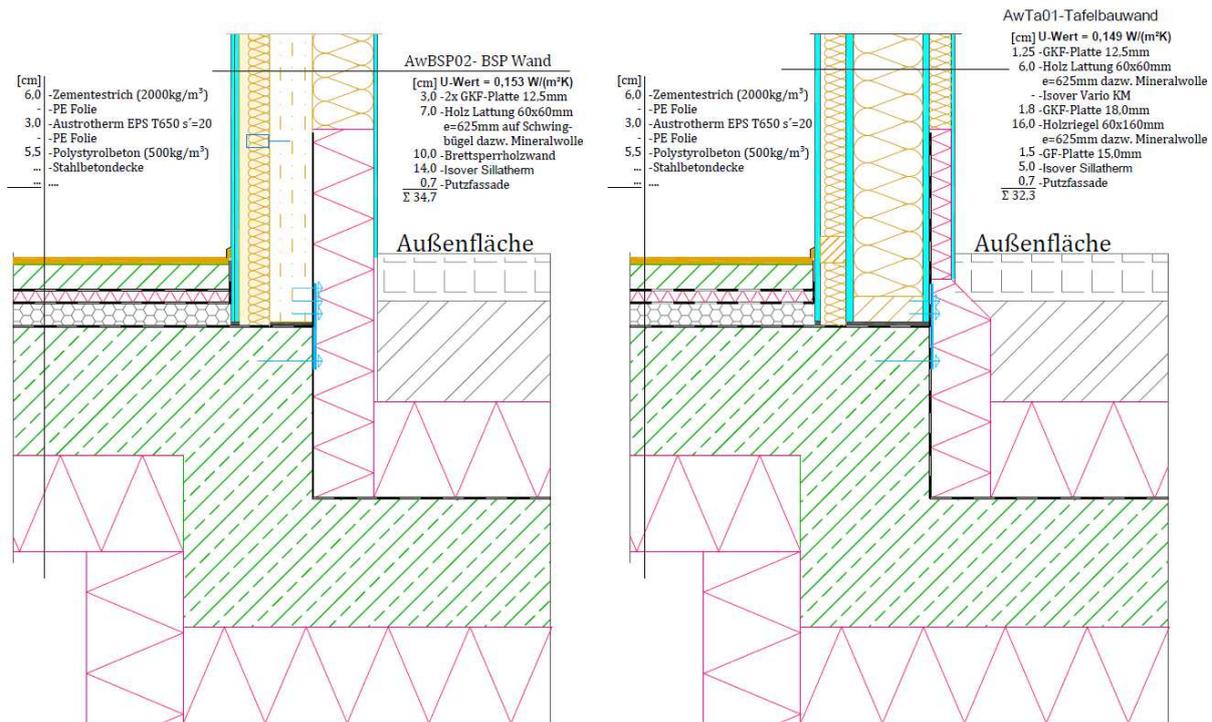
Abbildung 3.39: Anschluss der HBV-Decke an Kernbauteil

### 3.12.3 Auflagerung der tragenden Wände auf die Kellerdecke

Wie bei der Anbindung der Geschossdecken an das Kernbauwerk in Kapitel 3.12.2 sind Stahlbauteile eine gängige Methode die Lasten in den Fundamentkörper aus Stahlbeton einzuleiten. Es können vorgefertigte Schweißgründe in die Kellerdecke eingearbeitet werden, an denen anschließend die Stahllaschen der Wand angeschweißt werden können. Andererseits ist eine direkte Verbindung in den Beton mit einer Verdübelung möglich. Neben den gesondert gefertigten Stahlbauteilen sind Blechbauteile ebenso eine gängige Ausführungsmöglichkeit (siehe Abbildung 3.35).

Beim vorliegenden Projekt ist es aufgrund des schmalen Kernbauteils notwendig, die Wohnungstrennwände für die Aussteifung heranzuziehen. Die Ausführungen werden im Weiteren nicht untersucht, da es sich hierbei um triviale Anschlüsse handelt. Nach Ermittlung der resultierenden Lasten auf die Wände infolge horizontaler Einwirkungen, entstehen Scherkräfte sowie eine Momentenbeanspruchung an der Kellerdecke. Die Scherkräfte werden kontinuierlich über die Wandlänge eingeleitet (siehe Abbildung 3.11). Für das Moment sind die vorhandenen vertikalen Lasten miteinzubeziehen. Falls diese das auftretende Moment kompensieren können, und keine abhebenden Kräfte in der Wand entstehen, muss dieser Versagensfall nicht weiter untersucht werden. Sind abhebende Kräfte vorhanden, müssen an den Randbereichen der Wand Rückverankerungen in die Decke eingeplant werden.

Die Auflagerung der Außenwände ist der Abbildung 3.40 zu entnehmen. Diese sind, wie bei den Zwischenwänden, mit Stahlbauteilen zu verankern. Damit die vielen kleinen Mauerwerkspfeiler zwischen den Öffnungen einen Beitrag zur Aussteifung leisten, sind diese ebenfalls gegen Abhub- und Schubkräfte zu verankern. Im Vorlageprojekt ist das Versetzen der Außenwände an das Fundamentbauwerk durch den Deckensprung in der Decke sehr einfach. Bei einer ebenen Fundamentdecke sollten die Wände bestenfalls vom direkten Kontakt zur ebenen Baufäche durch Maßnahmen entkoppelt werden. Dies könnte, wie beim Wohnhaus Via Cenni (siehe Kapitel 2.7.4) durch einen Stahlbetonsockel hergestellt werden.



**Abbildung 3.40: Anschluss der tragenden (links) und nichttragenden (rechts) Außenwand an die Kellerdecke**

### 3.12.4 Anschlussdetail der Außenwand zu der Geschosdecke

Bei der Herstellung des Details vom Anschluss der Geschosdecke und der Außenwand ist die Ausführung durch schlichte Auflagerung der Holzbauelemente auf die Außenwand aufgrund der hohen Querpressungen nicht möglich. Durch die geringe zulässige Druckkraft die Holzbauteile normal zur Holzfaser aufnehmen können, ist der Einsatz von anderen Baustoffen, wie Stahl und Beton für dieses Detail besser geeignet. Beim Einsatz von Stahl muss dieser aus Brandschutzgründen immer mit Beplankungen oder Anstrichen geschützt werden.

#### Bemessung der Querdruckspannungen bei der Lastableitung

Für die Ausführungsvariante, bei der sich die Decken auf die Außenwände spannen, sind die Querdruckbemessungen in Tabelle 3.9 dargestellt. Durch die großen Öffnungen verringern sich die Wandstreifen zu einzelnen Pfeilern, die zu einer Konzentration der Lasten in den Außenwänden führen. Dies führt dazu, dass sich bereits für die 2. Obergeschossdecke eine direkte Auflagerung der BSP-Platten auf den schmalen Außenwandplatten aus BSP nicht herstellen lässt. Es ist daher nötig einen speziellen Außenwandknoten zu entwickeln, der die Lasten weiterleiten kann, ohne zu versagen bzw. sich zu verformen.

In den Vorlageprojekten in Kapitel 2.7 zeigten sich hierfür drei Lösungen:

- ◆ umlaufender Ringzuganker aus Stahlbeton
- ◆ direkte Lastweiterleitung durch Vorsetzen der Deckenauflagerung, ohne Holzbauteile auf Querpressung zu beanspruchen
- ◆ umlaufender Stahlträger (HEB-Träger)

Tabelle 3.9: Querdruckbemessung Außenwand-Geschossdeckendetail bei HBV-Variante

Querdruckbemessung Außenwand/Geschossdecke					
Geschoss	Wandstärke	$N_{ED}$	$\frac{N_{90,d}}{k_{c,90} \cdot A_{ef}} \leq k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{Y_M}$	$\eta$	
	[cm]	[kN/m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	Ausnutzung
4.OG Decke	10	90	0,49	≤ 1,02	48 %
3.OG Decke	10	180	0,99	≤ 1,02	97 %
2.OG Decke	10	280	1,54	≤ 1,02	150 %
1.OG Decke	12	370	1,76	≤ 1,02	172 %
EG Decke	12	420	2,00	≤ 1,02	195 %

Bei ausgeführten Projekten sind Werkstoffe, wie Beton und Stahl, für die Lastweiterleitung am Außenwandknoten eine vielversprechende Lösung. Beim Wohnhaus C13 (siehe Kapitel 2.7.7) wurde ein umlaufender HEB Träger und beim HoHo und LCT ONE ein Ringzuganker aus Stahlbeton (siehe Kapitel 2.7.8) angewendet. Verzichtet werden kann auf diese Ausführung, falls eine direkte Lastweiterleitung der Wände stattfindet, ohne Holzbauteile auf Querdruck zu belasten. Eine direkte Lastweiterleitung wurde bei den Tafelbauelementen der Wohnhäuser des Zollfreilagere (siehe Kapitel 2.7.6) und Bridport House (siehe Kapitel 2.7.3) durchgeführt. Beim ersteren wurde das Problem mit der Querpressung von Holz mit dem Entfall der Schwellen behoben. Beim zweiten Projekt sind diese Anschlussknoten bei einer Innenwand mit einer Art Verzahnung hergestellt worden, um eine direkte Lastweiterleitung der Wände zu garantieren.

Beim Vorzeigeprojekt werden für die Auflagerung der Brettsperrholzdecken, bei der die Außenwand nichttragend ausgeführt wird, die Tafelbauelemente gemeinsam mit den Wohnungstrennwänden aus Brettsperrholz montiert. Bei der Verlegung der Geschossdecken werden diese mit Vollgewindeschrauben konstruktiv verbunden. Die aufgehende Wand wird anschließend mit Formblechen an die Decke angeschlossen (siehe Abbildung 3.41). Falls die nichttragenden Wände vor die Geschossdecken gesetzt werden, sind die Fugen zum darüberliegenden Geschoss abzudichten, um den Brand- und Schallschutz zu erfüllen. Diese Ausführung kommt bei einer nachträglichen Montage der Außenwände vor.

Bei der Auflagerung der HBV-Decke, welche die Außenwand als Auflagerung nutzt, stützt sich die Geschossdecke auf einen durchlaufenden Stahlwinkel ab (siehe Abbildung 3.42). Dieser kann bereits im Werk vormontiert werden und die Decke kann auf der Baustelle ohne zusätzliche Arbeiten auf diesem aufgesetzt und verschraubt werden. Durch die vorgesezte Auflagerung der Decke ist es möglich die Lastableitung der Außenwand mit durchgehend stehenden Brettsperrholzwänden herzustellen, ohne diese mit einer querverlaufenden Schicht aus Holz zu unterbrechen. Für die nächste Geschossebene ist dabei immer eine ebene Fläche für den weiteren Bau vorhanden. Der Fugenverguss der HBV-Decke begünstigt eine zeitgerechte Weiterarbeit und bildet eine zusätzliche raumabschließende Schicht für den Brandschutz. Um einen ausreichenden Brandwiderstand des Stahlwinkels zu erreichen, wird dieser an der Unterseite durch eine zusätzliche GKF-Platte direkt beplankt.

Klar ersichtlich ist bei diesem Regelknoten, dass sich folgende Problemstellungen hinsichtlich der Normalkraftkonzentration in den Außenwandpfeilern ergeben. Durch den hohen Grad an Öffnungen an der Außenhaut verringert sich die Aufstandsfläche der Holzwände und führt zu einer Spannungskonzentration im Decken-Außenwand-Knoten. Dies hat zur Folge, dass die Decke

nicht mehr für die Kraftdurchleitung der Außenwände herangezogen werden kann und Sonderlösungen zu konstruieren sind, wie in Abbildung 3.42, bei denen die Decke vor der Außenwand an einer Stahlkonsole aufgelagert wird.

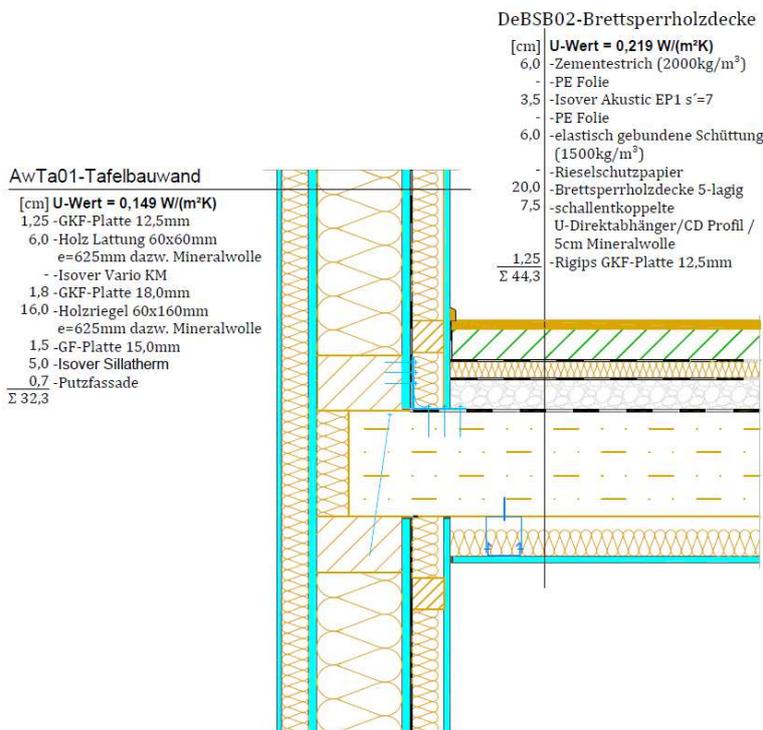


Abbildung 3.41: Anschlussdetail der nichttragenden Außenwand mit einer BSP-Decke

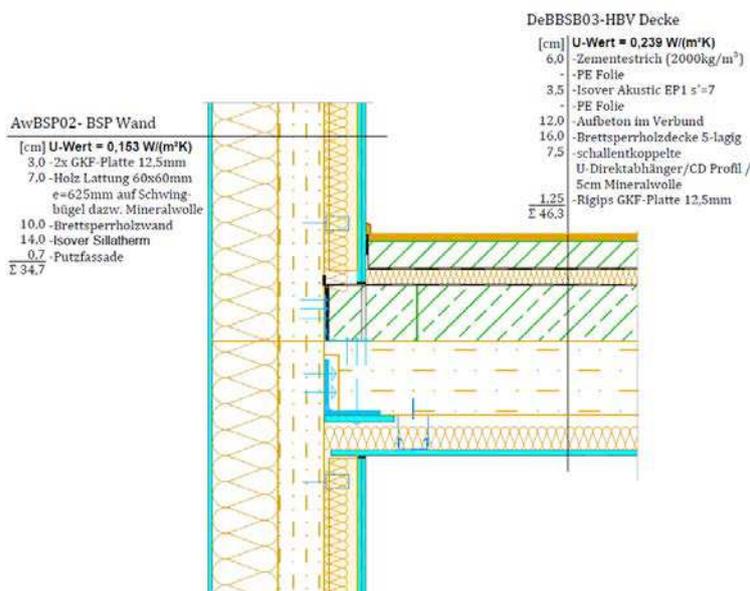


Abbildung 3.42: Anschlussdetail der tragenden Außenwand mit einer HBV-Decke

### 3.12.5 Anschlussdetail der Wohnungstrennwand zu der Geschosdecke

Falls sich die Geschosdecken auf die Querwände spannen, wie es im Vorlageprojekt mit BSP-Platten geplant ist, wird die Querdruckbemessung in Tabelle 3.10 dargestellt. Im Gegensatz zur Außenwand sind die Trennwände zu keiner Lastkonzentration durch Öffnungen verleitet. Der Nachweise wurde für die Durchlaufdecke mit der weitesten Spannweite der Deckenfeldlänge (6,3

m - 6,3 m) bemessen. Zusammenfassend ist zu sagen, dass keine speziellen Maßnahmen für die Deckenauflagerung auf Trennwände für einen Wohnbau mit 6 Obergeschossen erforderlich sind. Würden HBV-Decken zum Einsatz kommen, wird durch die höhere Deckenlast eine Maßnahme erforderlich sein, um die Last der Trennwände bis in das Fundament durchleiten zu können. Dies würde jedoch eine Lösung zum Vorschein bringen, wie es in Kapitel 2.7.8 mit den Ringzugankern aus Stahlbeton gezeigt wird. Falls die Ausführung als Stahlbeton durch einen Stahlträger (I-Träger) ersetzt wird, könnte dieser direkt auf die Trennwand aufgesetzt und die Decken auf den unteren Flansch eingeschoben werden. Die darüberliegende Wand kann ihre Last direkt in bzw. auf den Stahlträger und dieser direkt in die unterhalb liegende Wand durchleiten.

Beim vorgestellten Projekt Via Cenni in Mailand (siehe Kapitel 2.7.4) sind für die Reduzierung der Wandlasten und der damit geringeren Querpressungen an den Geschossdecken eine geschossweise Änderung der Deckenspannrichtung gewählt worden. Es wurde somit erreicht, dass die Lasten auf alle Wände gleichmäßig verteilt werden und dadurch ermöglicht, die Wände des Neugeschosses direkt auf die Brettsper Holzdecken zu stellen. Dieses Vorgehen ist nur möglich, wenn der Grundriss und deren möglichen Deckenspannrichtungen dies zulässt.

**Tabelle 3.10: Querdruckbemessung Trennwand-Geschossdeckendetail der BSP-Variante**

Querdruckbemessung Außenwand/Geschossdecke					
Geschoss	Wandstärke	$N_{ED}$	$\frac{N_{90,d}}{k_{c,90} \cdot A_{ef}}$	$\leq k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{Y_M}$	$\eta$
	[cm]	[kN/m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	Ausnutzung
4.OG Decke	10	90	0,30	$\leq 1,60$	19 %
3.OG Decke	10	180	0,59	$\leq 1,60$	37 %
2.OG Decke	10	280	0,92	$\leq 1,60$	58 %
1.OG Decke	12	370	1,08	$\leq 1,60$	68 %
EG Decke	12	420	1,23	$\leq 1,60$	77 %

$k_{c,90}=1,9$        $\gamma=1,25, k_{mod}=0,8$

Bei der Erfüllung der Schall- und Brandschutzanforderungen wirkt sich der Einsatz einer entkoppelten Decken- und Wandbeplankung positiv aus. Es kann somit auf einen Einsatz von elastischen Entkopplungsprofilen auf den Auflagerpunkten der Geschossdecke verzichtet werden. Der Schall, der über die flankierenden Bauteile eingeleitet wird, ist wirksam durch den mehrschichtigen Aufbau gedämpft (siehe Abbildung 3.43). Die Beplankung der Wände könnte entfallen (je nachdem ob eine Sichtqualität gefordert wird), falls diese als Doppelwand ausgeführt werden würde. Weiters müsste die Auflagerung der Geschossdecken durch eine elastische Entkoppelung getrennt werden. Eine einschichtig unbeplankte Variante ist aus Schallschutzgründen nicht möglich und hätte für den Brandfall eine erheblichen Überdimensionierung zufolge. Wird zusätzlich die Decke auf Sicht belassen, würde neben der elastischen Auflagerung eine Deckentrennung bei der Trennwand notwendig sein (siehe Kapitel 2.2.6).

Wenn die Deckenspannrichtung vom Kernbauteil zur Außenwand erfolgt, können die Schall- und Brandschutzanforderungen einfach erfüllt werden. Somit liegt eine einfache Detailausführung, wie in Abbildung 3.44 vor, die ohne spezielle Maßnahmen zu erfüllen sind. Je nachdem, ob in diesem Fall die Decke auf Sicht belassen wird, sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Es sollte jedoch eine detaillierte Schallmessung dieses Anschlusses für den Schallschutz vorgenommen werden.

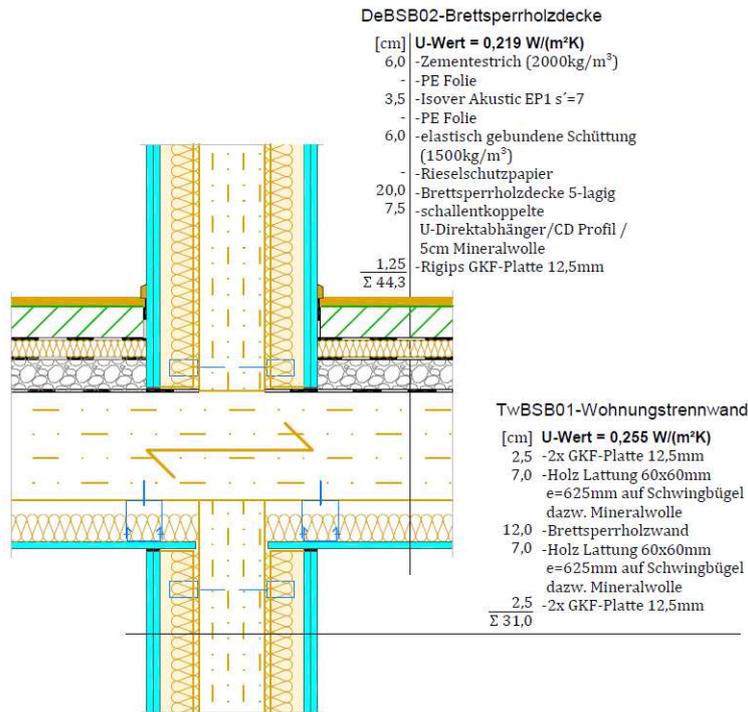


Abbildung 3.43: Anschlussdetail der tragenden Trennwand

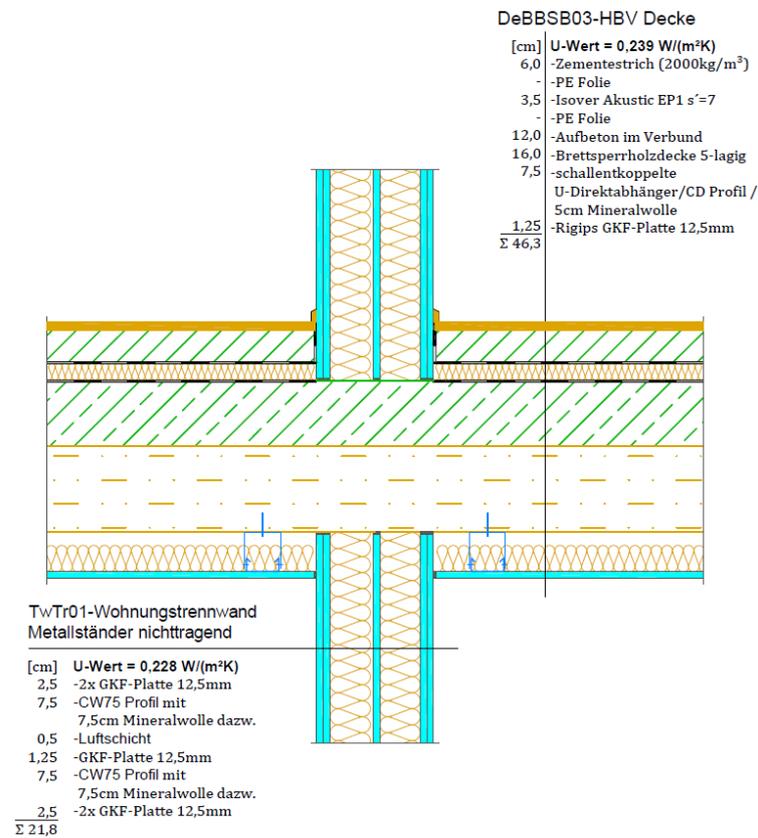


Abbildung 3.44: Anschlussdetail der nichttragenden Trennwand

### 3.13 Balkon und Loggia

Der Einsatz von Holz im Außenbereich, wie beispielsweise bei Balkonen oder Loggien, ist durch die Feuchteanfälligkeit von Holz und Holzwerkstoffen mit äußerster Planungs- und Ausführungssorgfalt verbunden. Im vorliegenden Beispielprojekt werden die ausgeführten Balkonplatten aus Stahlbeton mit einem Isokorb [110] an die Geschosdecke eingespannt. Eine direkte Durchdringung der Balkon- und Loggiendecken in den Innenraum sollte bei einer Holzbauausführung, wegen der bauphysikalischen und holzschutztechnischen Konstellationen, unterlassen werden. Durch das Arbeitsverhalten des Holzes können sich Fugen und Risse bilden, welche die Luft- und Winddichtigkeit an den Anschlussstellen beeinträchtigen. Dies kann im Weiteren zu Kondensationsproblemen führen, die eine Schimmelbildung sowie Vermoderung des Holzes begünstigen. Daher werden üblicherweise im Holzbau Balkonplatten an der Außenwand gelenkig angebunden und an der Auskragung durch Abstützungen oder Rückverhängungen an die Außenwand abgestützt (siehe Abbildung 3.45). An den Anschlussstellen zur Außenwand, die bevorzugt mit Stahlkonsolen hergestellt werden, ist die schall- und wärmetechnische Entkoppelung sicherzustellen. Die Entkoppelung des Balkons vom Gebäude führt weiters zu einem einfachen Austausch der Elemente im Falle eines Schadens an der Konstruktion.

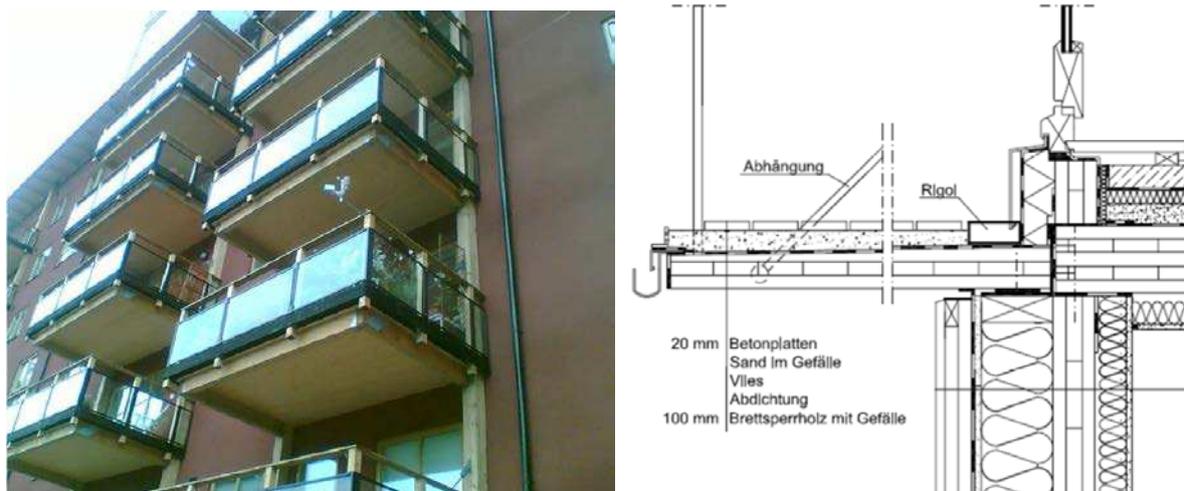


Abbildung 3.45: Ausführungsdetail eines Balkon in Holzbauweise [21]

Für die Holzbauvariante eignen sich Brettsper Holzplatten. Diese passen sich an die Geometrie der vorliegenden Balkone an und durch die punktuellen Auflagerpunkte ist die zweiachsige Tragfähigkeit der Platte optimal dafür geeignet. Als Alternative könnte eine umlaufende Einfassung mit Stahlträgern und einer Ausfachung mit Holz ausgeführt werden. Diese Vorgehensweise ist jedoch nicht im Sinne eines Holzbaus, außerdem wird eine werkübergreifende Firma für die Stahlbauarbeiten benötigt. Als Betonbauvariante könnten hier Fertigteile aus Stahlbeton eingehoben werden, die von der Tragfähigkeit ähnliche Eigenschaften haben wie die Variante mit Brettsper Holz.

Bei der Ausführung in Holzbauweise ist auf die Anforderungen der OIB-Richtlinie 2 [1] zu achten. Diese erfordert eine Ausführung der Balkone mit einem Brandwiderstand von R30 oder einem Brandverhalten von A2 (siehe Kapitel 2.2.2). Der Balkon ist auf die erforderliche Brandbeanspruchung zu bemessen, da mit Holz die Forderung A2 nicht erreicht werden kann. Im Gegensatz zur Gebäudeklasse 5 >6 Obergeschosse wären hierbei beide Anforderungen gleichzeitig notwendig und würden eine Holzbauausführung nicht ermöglichen.

In der Ausgabe der OIB-Richtlinie 2 des Jahr 2019 [1] wird für die Gebäudeklasse 5 ≤6 Obergeschoss eine Verwendung von einer vollflächigen Deckenplatte verlangt und macht eine Balkenausfachung zwischen Stahlträger ohnehin nicht ausführbar.

### 3.14 Innenwände in den Wohneinheiten

Für Innenwände, die in den jeweiligen Wohneinheiten ausgeführt werden, eignen sich Metallständerwände mit Gipskartonbeplankung (siehe Abbildung 3.46), wie sie beim Vergleichsprojekt aus Stahlbeton ausgeführt werden. Diese sind sehr einfach herzustellen und zu versetzen. Laut den OIB-Richtlinien [10] wird an diese Wände keine Anforderung an Tragfähigkeit, Brandschutz, Schallschutz sowie Wärmeschutz gestellt. Im untersuchten Objekt leisten diese nur eine raumtrennende Eigenschaft sowie die Möglichkeit zur Leitungsführung. Die Verfüllung der Ständerwand mit Mineralwolle führt zu einer Verbesserung des Schallschutzes zwischen den Innenräumen, welche zu einer erhöhten Behaglichkeit in der Wohneinheit führt.

Für die Umkonzeptionierung in einen Holzwohnbau, wird dieser Wandaufbau als bewertete Methode angesehen und nicht weiter untersucht. Die Innenwände in den Wohneinheiten bleiben gleich wie beim Stahlbetonbau.

Als Alternativvariante könnten anstatt den Metallprofilen Holzständer verwendet werden. Diese Abänderung hätte jedoch für die eingesetzten Ressourcen keinen nennenswerten Einfluss auf Ökologie oder Ökonomie bzw. den behandelten Themen in den OIB-Richtlinien [10]. Aus Sicht des Verfassers sollte bei der Konstruktionswahl der Zwischenwände lediglich auf die Baukosten geachtet werden, falls keine erhöhten Anforderungen an den Schallschutz gestellt werden.

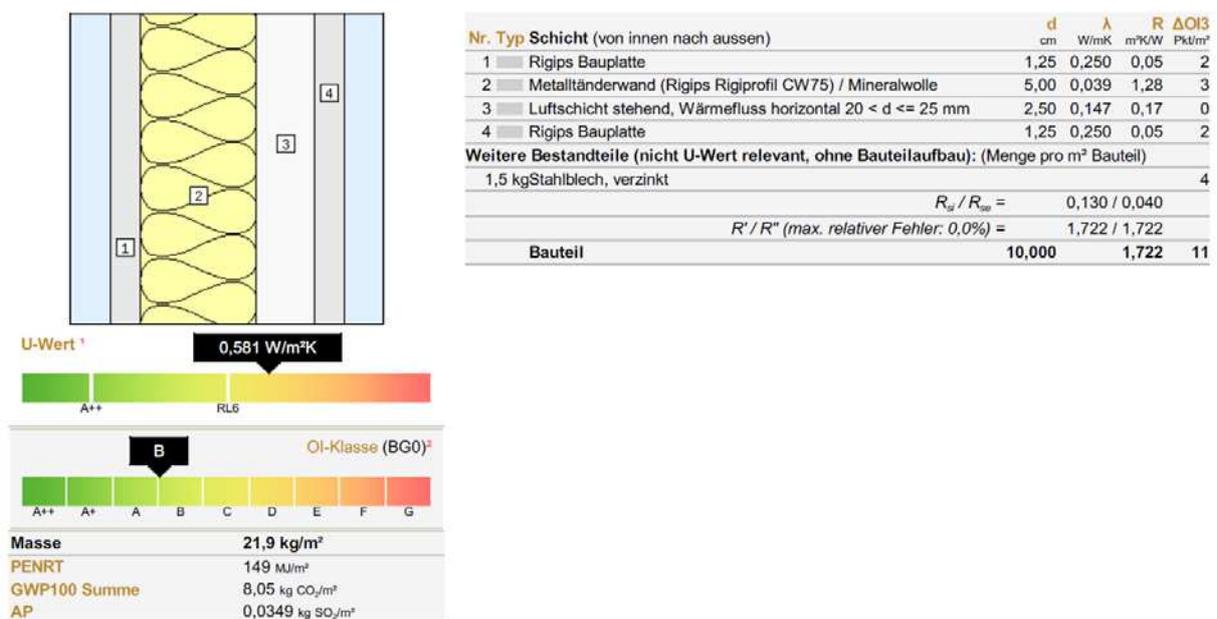


Abbildung 3.46: Innenwand in den Wohneinheiten [111]

## 4 Ökonomische Randbedingungen für den Holzwohnbau

### 4.1 Vorfertigung und Montage

In dieser Masterarbeit ist mehrmals das Potenzial der Vorfertigung gefallen, in welchen der Holzbau eine seiner Stärken besitzt. Bei der Entwicklung der Aufbauten, in Kapitel 4, ist immer der Drang nach Vorfertigung zu erkennen gewesen. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Beispielprojekten aus 2.7. Die Vorfertigung verdichtete sich hierbei umso mehr, desto strukturierter die Geometrie im Grund- und Aufriss wurde. Von den vorgestellten Wohnbauten zeigte sich die starke Vorfertigung bei den Außenfassaden, die bei den Projekten HoHo, LCT ONE, Commons und Woodie (siehe Kapitel 2.7) nur mehr eine Verklebung der Stoßstellen der Elemente erforderte. Gleichfalls ist dieses Vorgehen auch bei den Geschossdecken anzusehen. Für diese mehrgeschossigen Holzbauten ist diese Beliebtheit für die im Werk gefertigten Bauteilen, aus folgenden Gründen gewählt worden:

- ◆ sehr kurze Bauzeiten auf der Baustelle
- ◆ maßgenaue Bauteilabmessungen durch Werkstattbedingungen und Kontrollmöglichkeiten
- ◆ gute Planbarkeit der Bau- und Zeitabläufe im Gegensatz zum traditionellen Holzbau
- ◆ weit fortgeschrittener Planstand vor Beginn der Ausführung/Montage
- ◆ leichtes Transportgewicht der fertigen Bauteile (Transportkosten)
- ◆ Versetzen der leichten Bauteile mit Mobilkränen möglich
- ◆ weniger Personal auf der Baustelle
- ◆ mehr geschultes Fachpersonal (weniger Leiharbeiter)

Im Vorzeigeprojekt bedeutet dies, dass eine Vorfertigung einer Baustellenherstellung vorzuziehen ist. Werden die vorgefertigten Bauteile mit einem regelmäßigen Grund- und Aufriss des Wohngebäudes kombiniert, sind Serienfertigungen möglich, welche die Effizienz hinsichtlich Zeit, Fehleranfälligkeit und Planungsaufwand erheblich steigern (siehe LCT ONE 2.7.8, welches mit nur 4 Standardbauteilen gefertigt wurde). Es ist bei diesem Vorgehen zu erwarten, dass Bauzeitüberschreitungen, die im Bauwesen tagtäglich passieren, verringert werden. Bei der Firma „Stora Enso Wood Products GmbH“ wurde aus einem Experteninterview mit Herrn Troppmann [33] erwähnt, dass die Fertigung und Auslieferung von Brettsper Holzplatten am selben Tag stattfindet. Dies hängt neben der getakteten Planung mit den bedingten Lagerplätzen zusammen. Beim Vorlageprojekt zeigt sich jedoch, dass durch die starke Unregelmäßigkeit von Decken und Wänden eine Serienfertigung nicht möglich ist. Zudem sind bei den Planungsschritten alle Elemente im Einzelnen zu untersuchen. Bei der Werkfertigung ist ein erhöhter Aufwand zu erwarten, um die Bauteile mit den richtigen Abmessungen, Schrägen, usw. herzustellen.

Bei der modernen Holzbaufertigung wird moderne Software eingesetzt, welche die stab- oder plattenförmigen Ausgangsmaterialien maßgenau zurechtschneiden. Es ist damit möglich, komplexe Bauteile mit weniger Abbundfehlern zu fertigen, als dies beim traditionellen zimmermannsmäßigen Abbund passiert. Diese Forcierung auf komplexe Detailausführungen, welche derzeit bei den Holzbaufirmen vorgenommen wird, verhilft jedoch nicht zu einer effizienten Bauteilfertigung. Bei der Umkonzeptionierung des vorliegenden Stahlbetonwohnbaus war die richtige Systemwahl der einzelnen Bauteile eine große Herausforderung. Im Kapitel 3 sind einige Systeme aus den unzähligen am Markt herangezogen und ausgearbeitet worden, die sich anhand von statischen und bauphysikalischen Randbedingungen herauskristallisierten. Würden kosten-

und fertigungstechnische Aspekte näher ausgearbeitet werden, hätten sich womöglich nochmals andere Systeme ergeben. Somit ist die Wahl des richtigen Systems ein sehr viel komplexeres Thema als bei einem konventionellen Wohnbau aus Stahlbeton, wie es beim Vorlageprojekt der Fall ist. Dort ist neben den massiven Vollquerschnitten aus Stahlbeton, deren Außenfassade mit einem WDVS und Decken mit einem schwimmenden Estrichaufbau ausgebildet sind die Regel. Aus Sicht des Verfassers sind damit ein wesentlicher Bedarf an Regelaufbauten und Regeldetails zu schaffen, um die Komplexität in der Bauteil- und Detailwahl zu senken und Planer sowie Bauherrn nicht abzuschrecken einen Holzaufbau zu wählen.

Ein weiterer wichtiger Punkt liegt in der Vorfertigung der Bauteile, welche die Außenhaut des Gebäudes bilden. Eine Fertigstellung der Außenhaut im Werk kann die Kosten eines Gerüsts sowie weitere Kraneinsätze minimieren bzw. zur Gänze entfallen lassen. Die Kraneinsätze können auf einzelne Hübe mit einem Mobilkran vorgenommen werden und erfordern nicht den Dauereinsatz eines Turmdrehkrans, welcher sich wesentlich mehr in den Kosten bemerkbar macht. Zusätzlich entfallen die Arbeiten im Außenbereich und die Arbeiter sind vor den direkten Witterungsbedingungen und gefährlichen Arbeiten (Absturzhöhen, Beengtheit am Gerüst usw.) geschützt. Sind bei der Montage die Witterungen ungünstig, können flächendeckende Schutzmaßnahmen, wie in Abbildung 4.1 gezeigt angewendet werden.



**Abbildung 4.1: Witterungsschutz für Konstruktion und Arbeiter durch eine Zeltüberdachung [74]**

Die vorauseilende Planung zwingt die Planer sich früher mit den nachfolgenden Gewerken auseinanderzusetzen. Somit entsteht ein vernetztes Arbeiten aller Bauschritte, welches besser aufeinander abgestimmt ist, als es in der konventionellen Bauweise derzeit der Fall ist. Bei der vorzeitigen Planung wird verhindert, dass die Gewerke, die zu einem späteren Zeitpunkt am Bau beteiligt sind, sich an die „falschen“ Ausführungen anpassen müssen. Es ist bereits in der Entwurfsphase eine Abstimmung mit Spezialisten notwendig, um beispielsweise den Brandschutz vor der Behörde rechtfertigen zu können. Bei der Elementfertigung werden zudem Fassade, Fenster usw. bereits miteingebunden, was Spezialisten ebenso vorzeitig miteinbindet. Der Bauherr ist aufgefordert, sich mit all diesen Komponenten zu befassen.

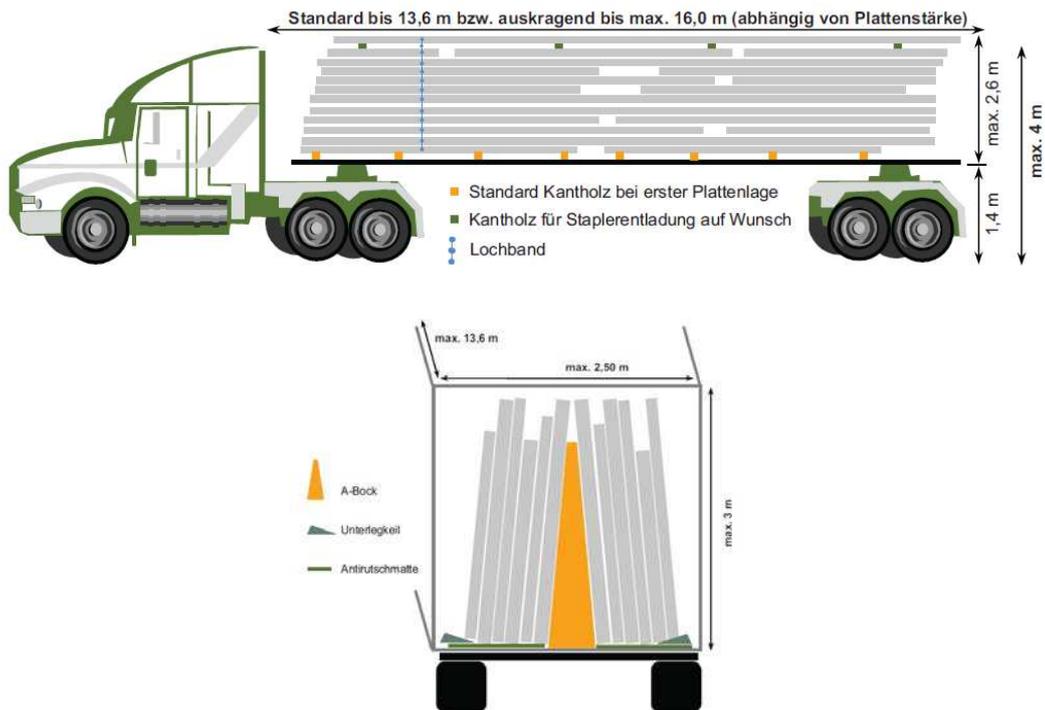
Für eine noch effizientere Abwicklung des Bauvorhabens sollte zudem versucht werden andere Gewerke durch das Holzbaugewerk auszuführen, welches geringere Abstimmungsarbeit mit sich bringt. Damit könnte sich eine neue Berufsgruppe entwickeln, wie es bereits in Österreich mit den Fertigteilhausbauern, welche sich sogar mit elektrischen Installationen beschäftigt, der Fall ist.

Im urbanen Raum, in dem begrenzte Platzverhältnisse herrschen, ist eine zeiteffiziente Bauabwicklung vorteilhaft. Dies kann vermeiden unzählige Behördengänge für Straßensperrungen usw. vornehmen zu müssen. Obendrein begünstigt die rasante Bauabwicklung entgangene Mieteinnahmen, die durch längere Bauzeiten entstehen. Beim Bridport House (siehe Kapitel 2.7.3) war zudem ein wesentlicher Faktor die Bewohner, die bereits im bestehenden Wohnhaus lebten, schnellstmöglich in den Neubau (Ersatzbau) zurück in deren neuen Wohnungen übersiedeln zu können.

Abschließend ist eine Verringerung der Unfälle zu erwarten. Bei einer Herstellung von vor Ort betonierten Bauteilen ist die Gefahr von herausstehender und herumliegender Bewehrung, an dem sich Arbeiter verletzen können, hoch. Zuzüglich fordert das Hantieren mit schweren Schalungsmaterialien, Bewehrung etc. die körperliche Gesundheit der Arbeiter. Bei Holzbaufertigteilen (wie auch bei Betonfertigteilen) kann im Werk mittels Hallenkräne und Staplern schwere Bauteile direkt am benötigten Platz versetzt werden. Liegt die Vorfertigung hoch sind körperlich schwere Arbeiten bei der Baustellenmontage wesentlich geringer.

Eine physische Verringerung an den menschlichen Körper sind durch die fehlende Lärmbelastung zu erwarten. Beim Versetzen der Elemente sind nur noch Lärm durch den Kran und der Schraubgeräte zu erwarten. Die Lärmbelastung entlastet neben den Menschen auf der Baustelle auch die Anrainer.

Eine Besonderheit für den Holzbau ist, dass sich fertiggestellte Bauteilelemente ohne übermäßige Kosten, transportieren lassen. Dies ist der Vorteil durch den leichten Werkstoff Holz. In Zukunft wird sich für die maximale Beladungslast von LKWs von rund 25 Tonnen, eine Beladungslänge von 13,6 m und eine Beladungsbreite von 2,95 m (siehe Abbildung 4.2) in Österreich [29] nichts ändern. Daher wird dies dem Betonbau eine hochgradige Vorproduktion im Werk aus transporttechnischer Sicht und den damit verbundenen Kosten verwehren. Beim Einsatz von HBV-Verbunddecken könnte eine neue Innovation eine direkte Betonage neben der Baustelle darstellen laut einem Expertengespräch mit der Firma „KLH Massivholz GmbH“. Anschließend müssten die schweren Verbunddecken nicht über so weite Wegstrecken transportiert werden.



**Abbildung 4.2: Liegend- und Stehendverladungsmöglichkeiten von flächigen Bauteilen [29]**

Für eine weitere Optimierung der Arbeitsabläufe ist es essenziell, die Arbeitsschritte zu automatisieren, wie es bei der Herstellung von Stahlbauten der Fall ist. Somit sollte aus den Erkenntnissen dieser Arbeit folgendes beim Holzwohnbau forciert werden:

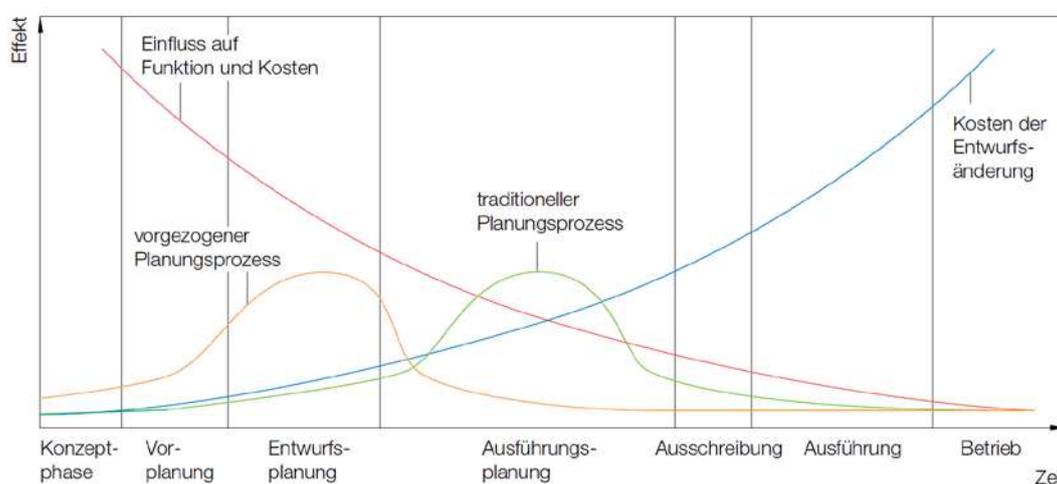
- ◆ Wiederholen von gleichen Elementen und Elementaufbauten
- ◆ Arbeitsteilung in übersichtliche Einzelschritte
- ◆ Erfahrungen in der Ablauforganisation
- ◆ Spezialisierung und diese mech- und automatisieren um damit Quantität schaffen
- ◆ Regelmäßigkeit im Grund- und Aufriss inkl. kürzere Deckenspannweiten bei Verwendung reiner Holzdecken (siehe Kapitel 3.7)

Diese angeführten Punkte sind wiederum speziell bei den Skelettbauten in Kapitel 2.7.8 und dem Modulbau in Kapitel 2.7.9 zum Einsatz gekommen. Bei den restlichen Wohnbauten in Kapitel 2.7 sowie dem Vorlageprojekt in Kapitel 3.2 ist klar zu erkennen, dass sich diese Empfehlungen nur schwer mit den architektonischen Forderungen verbinden lassen. Eine gute Zusammenarbeit von Architekten und den ausführenden Firmen sollte daher schon in der Entwurfsphase in Betracht gezogen werden, damit sich die Fertigung sehr einfach ausführen lässt und ein guter Kompromiss zwischen architektonischen und fertigungstechnischen Gegebenheiten einstellt.

## 4.2 Kalkulation

### 4.2.1 Gegenüberstellung des Projektablaufes

Bei der Planung eines mehrgeschossigen Holzwohnbaus ist die Veränderung des Projektablaufes zu berücksichtigen. Bei der Verwendung der hochgradig vorgefertigten Bauteile verschieben sich einige Planungsschritte nach vorne (siehe Abbildung 4.3). Entscheidungen, wie beispielsweise die Form, Farbe und Abmessung von Fenster und Türen, müssen bereits bei Werkfertigung klar sein, um den fertigen Tür- bzw. Fensterstock in die Fertigteile integrieren zu können. Der generelle Planungsaufwand liegt durch den hohen Vorfertigungsgrad wesentlich höher als bei einer mineralischen Bauweise, bei dem die Mehrheit der Bauteile vor Ort hergestellt werden. Die intensive Planungsarbeit wird dann bei der kürzeren Herstellungszeit auf der Baustelle wieder gutgeschrieben. Der gesamte Bauablauf kann bei einem industriellen Holzbauweise geringer gehalten werden, ohne einen Großteil der Planung während der Ausführung noch vornehmen zu müssen (siehe Abbildung 4.4).



**Abbildung 4.3: Planungsphasen im traditionellen Betonbau- und Holzbau mit vorgezogener Planung [25]**

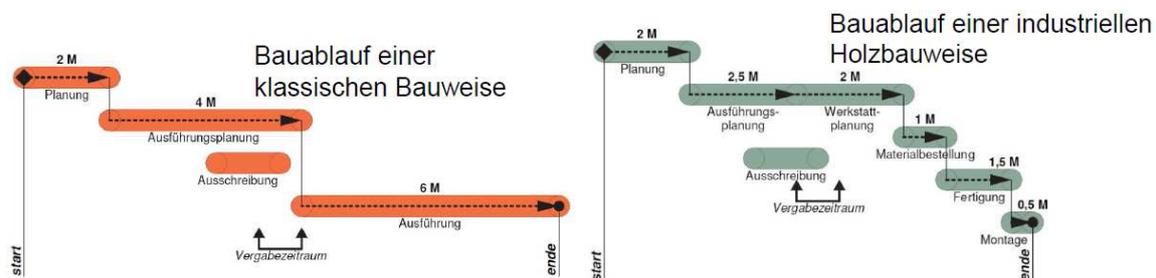
Zusätzlich sind bei der vorgezogenen Planung, Entscheidungen bezüglich Brandschutzes, Vorfertigung, Energiekonzept und weitere bauphysikalische Details weitaus früher zu treffen, da sich hier nachträgliche Änderungen nur schwer bis gar nicht beheben lassen. Wird die Miteinbeziehung von Tragwerks- und Brandschutzplaner sowie Bauphysiker schon am Anfang der Entwurfsplanung vorgenommen, wird es viel einfacher sein ein Projekt, das den strengen Auflagen an den Holzbau unterliegt, leichter bei der Behörde einzureichen. Eine vorzeitige Absprache mit der Feuerwehr sollte zudem für den reibungslosen Behördengang vorzeitig eingeplant werden.

Grundsätzlich gilt für den Projektablauf folgendes zu berücksichtigen: [25]

- ◆ Vorentwurfsphase: Anforderungen definieren bzgl. Brandschutz, Schallschutz, Tragwerksplan, Vorfertigung, etc. und in die Entwicklung des Raumkonzepts einarbeiten
- ◆ Entwurfsphase: für die definierten Anforderungen Konzepte entwickeln und abklären
- ◆ Ausführungsplanung: detaillierte Ausarbeitung der Konzepte der Entwurfsplanung und Festlegen der Montageabläufe und Fügemethoden
- ◆ Montageplanung: Zusammensetzung der Ausführungspläne der Architekten und Tragwerksplaner

Bei der Vorfertigung von Holzbaueilen ist es daher nötig die Planungsphase soweit abzuschließen, um die Bauteile fertigen zu können. Beim konventionellen Stahlbetonbau überschneidet sich der Planungs- und Ausführungsprozess maßgeblich. Dies führt meistens zu aufwendigen Änderungen und den damit verbundenen Nachträgen. In Mitteleuropa hat sich dieses Vorgehen aufgrund des herrschenden Zeitdrucks eingebürgert.

Für die nötigen Zeitgewinne im Holzbau ist eine genaue Aufstellung des Projektablaufes vonnöten. Somit können während der Planungsphase des Holzbaus Vorleistungen, wie Erdarbeiten, Fundierungen und Stahlbetonbauteile (Keller, Kernbauteil etc.), durchgeführt werden. Nach Errichtung der erschließenden Bauteile in Holzbauweise ist Rücksicht auf die nachfolgenden Gewerke zu geben, damit diese den Zeitvorsprung nicht zunichtemachen. Eine Herangehensweise wäre damit zukünftig, diese Nachfolgearbeiten zum Teil von der ausführenden Holzbaufirma zu übernehmen, um diese Schnittstellen geringer zu halten. Weiters können damit Ausführungsmängel vermindert werden.



**Abbildung 4.4: Vergleich des Bauablaufs einer klassischen Bauweise und einer industriellen Holzbauweise [112]**

Die Vorfertigung kann im besten Fall soweit gehen, dass sich Raumzellen vorfertigen lassen, die bereits im Werk bezugsbereit gebaut werden (siehe Kaufmann Bausysteme GmbH [113]). Der Arbeitsaufwand in den Innenräumen ist nach Versetzen der Module auf der Baustelle gegen Null.

#### 4.2.2 Grundlagen zur Kostenermittlung der einzelnen Bauteile

Bei der Kostenermittlung für einen mehrgeschossigen Holzwohnbau bzw. generell Holzbauten sind nur wenige Datengrundlagen in der öffentlichen Literatur vorhanden. Für Holzbaufirmen bieten firmeninterne Grundlagen und Erfahrungswerte für eine Kostenaufstellung oftmals die einzige Datengrundlage. Durch den höheren Kubikmeterpreis von Holz im Gegensatz zu Stahlbeton müssen mehrere Randbedingungen miteinbezogen werden, damit die Kostenaufstellung in der Liga eines mineralischen Bauwerks liegen. Für solch eine Kostenermittlung würden jedoch viel firmeninternes Knowhow und Kostenansätze von ausführenden Firmen eingefordert werden, um eine sinnvolle Ermittlung durchführen zu können. Standard Literaturquellen, wie beispielsweise der BKI<sup>1</sup> oder Sirados<sup>2</sup>, enthalten, obwohl sie sehr umfangreich aufgebaut sind, in Sachen Holzbau wenig Inhalte. Durch zahlreiche Anfragen an Firmen wurde klar, dass jegliche Preisansätze oftmals nicht Preis gegeben werden. Somit ist es bis dato schwierig zielführende Quellen zu finden, um eine Kostenaufstellung vornehmen zu können. Es sind aus Sicht des Verfassers unbedingt Preisgrundlagen in Form einer öffentlichen Literatur zu schaffen, um Kostenaufstellungen vornehmen zu können.

<sup>1</sup> <https://www.bki.de/>

<sup>2</sup> <https://www.sirados.de/>

Der den erhöhte Bauteilpreis (rund 6-7 % [114]) soll nicht bedeuten, dass der Holzbau keine vertretbare Bauvariante darstellt. Es sind ferner folgende Punkte miteinzubeziehen, die sich positiv auf den Preis der Holzbauteile auswirken: [114]

- ◆ erhöhte Wohn-/Nutzfläche um 3 %
  - führt zu zusätzlichem Miet- und Verkaufserlöse
- ◆ Reduktion des Gewichtes um 80 bis 90 % (im Kapitel 4.3 beim Vorlageprojekt wird eine Reduktion vom vorgestellten Projekt von rund 50 bis 60 % ermittelt)
  - Reduktion des Fundaments, Rohbaus und Erdbaus (weniger LKW-Bewegungen)
- ◆ beachtliche Verkürzung der Bauzeit durch vorgefertigte, trockene Bauteile
  - rascher Ausbau des Rohbaus und der gesamten Ausbaustufe

Aus Sicht von Herrn Dr. Jörg Koppelhuber [115] sind zuzüglich zu den aufgelisteten Punkten die Kosten eines bzw. mehrere Turmdrehkräne miteinzubeziehen. Bei einer Montage einer leichten Holzbauvariante sind stattdessen nur einzelne Einsätze mit einem mobilen Autokran nötig, der über die Bauzeit viel weniger Kosten beansprucht als ein fix montierter Turmdrehkran, der über eine lange Zeit auf der Baustelle verbleibt. Für die weiteren Bestandteile sind durch die verkürzte Bauzeit geringere Kosten durch Material-, Magazin- sowie Mannschaftscontainer zu erwarten.

Für die Zukunft liegt laut des Verfassers eine weitere Kostenoptimierung darin, den Vorfertigungsgrad soweit zu erhöhen, dass ein Einsatz von einem umlaufenden Gerüst (für Fassade usw.) zur Gänze entfallen könnte und die einzigen Bauteilstöße nur durch den Einsatz einer Scheren- oder Teleskoparbeitsbühne fertiggestellt werden. Dabei ist zu erwähnen, dass sich bei der Kostenoptimierung zu sehr auf das reine Bauteil versteift wird, anstatt die umliegenden Prozesse zu optimieren.

Für die Montage sind zudem geringere Mannschaftsstärke vonnöten (lt. Koppelhuber 4-6 Monteure auf der Baustelle [115]). Welche zum Teil natürlich in der Produktionshalle verstärkt auftreten. Für den gesamten Produktionsablauf sind jedoch spezialisierte Fachkräfte nötig, die zu der Reduktion von Hilfskräften führt.

Eine wesentliche Kostenfalle sind lt. Koppelhuber [115] für einen mehrgeschossigen Holzwohnbau zudem die wesentlich höheren Erwartungen an die Qualität. Neben hochwertigen Holzfenstern, Holztüren, Parkettböden, auf Sicht belassene Holzoberflächen etc. in einem Holzwohnbau sind keine sinnvollen Kostenvergleiche zu einer Bauvariante aus STB zu erstellen, wo unterm Strich nur die schlussendlichen Quadratmeter Baukosten zählen. Zusätzlich kommt noch die Art des Ausschreibens, welches meist direkt an den mineralischen Bau angepasst wird und somit gar nicht an die Vorgehensweise im Holzbau bzw. ausführungstechnischer Sinnhaftigkeit entspricht. Der Holzbau wird noch immer als Alternativvariante angeboten.

Das hochwertige Naturprodukt Holz weist im Vergleich zum Beton einen relativ hohen Materialpreis auf. Der sorgfältige Umgang mit dieser Ressource hat neben der ökologischen Komponente einen wirtschaftlichen Hintergedanken. Die reinen Rohbaukosten eines Holzwohnbaus sind rund 10-12 % [65] höher als die des konventionellen mineralischen Wohnbaus in der Gebäudeklasse 5. Vergleichsweise ist dieser Unterschied bei der Gebäudeklasse 4 nur bei rund 3-4 % [65]. Diese Unterschiede ergeben sich vorwiegend durch die erhöhten Brandschutzanforderungen. Aus Sicht des Verfassers lässt sich dieser erhöhte Preis mit baulichen Maßnahmen nicht lösen. Da sich der erforderliche Brandwiderstand in den beiden Klassen von 60 auf 90 Minuten erhöht (lt. OIB-

Richtlinie 2 [1]), sind diese nur mit den zusätzlichen Maßnahmen in Form von Überdimensionierung oder Beplankungen zu kompensieren. Der mineralische Wohnbau erfüllt diese Anforderungen bereits ohne zusätzliche Maßnahmen.

### 4.3 Fundamentlasten der verschiedenen Bauweisen

Für den mehrgeschossigen Holzwohnbau sind im Besonderen die geringeren Ablastungen auf das Fundament ein wichtiger Faktor, der beachtet werden sollte. Im Kapitel 2.7.3 wurde der bereits realisierten Holzwohnbau „Bridport House“ erst aufgrund der geringeren Abtastungen, die infolge der leichten Holzbaukonstruktion zustande kamen, möglich. Hierbei verlief ein Hauptabwasserkanal unter dem Bestandsgebäude, welches keine zusätzlichen Mehrlasten bewältigen könnte. Jedoch ist bei Neubauten ein ebenso positiver Effekt in Form einer weitaus geringeren Fundamentabmessung zu erwarten. Außerdem kann im besten Fall (für den Holzbau) auf spezielle Fundamentierungsausführung (Pfahl-Plattengründungen, Schlitzwände etc.) verzichtet werden, welche sich enorm auf die Kosten niederschlagen würde.

In der Tabelle 4.1 sind eine Variante in reiner Stahlbetonbauweise, eine Variante in reiner Brettsperrholzbauweise sowie eine Variante in Mischbauweise mit Brettsperrholz mit HBV-Decken angeführt. Die Aufbauten wurden in Kapitel 3 gewählt und mit den vom Beispielprojekt vorhandenen Flächen multipliziert. Eine wesentliche Gewichtsreduktion ist speziell bei sämtlichen Holzwänden zu verzeichnen. Diese lassen sich in der Holzbauweise auf rund ein Viertel der Stahlbetonbauwände reduzieren. Bei den Geschossdecken ist dies bei reiner Holzbauweise immerhin noch rund ein Halb und bei einer HBV-Decke rund drei Viertel gegenüber der mineralischen Geschossdecke. Eine weitere Gewichtseinsparung ist an den Decken aufgrund der benötigten Massen für die Schwingungsanfälligkeit und des Schallschutzes nur schwer zu erreichen.

Betrachtet man die Ausführungsvarianten im Ganzen lässt sich grob sagen, dass sich in einem mehrgeschossigen Wohnbau in Holzbauweise eine Halbierung der Fundamentablastungen erreichen lässt (siehe Tabelle 4.1) ohne das Kernbauteil (hier in Stahlbetonbauweise) miteinzubeziehen. Eine Reduktion von 80-90 % der Auflast auf die Fundierung, wie in der Masterarbeit von Zügner [114] ermittelt (siehe Kapitel 4.2.2), kann beim Beispielprojekt nicht erreicht werden. Die Gewichtsreduktion ähnelt jedoch der Gewichtseinsparung, wie beim Bridport House (siehe Kapitel 2.7.3), bei dem die Ablasten des achtgeschossigen Holzbaus, die des viergeschossigen mineralischen Bestandsobjekts nur leicht übersteigen.

Eine Ausführung des Kernbauteils in Holzbauweise wäre mit dem Argument der Gewichtseinsparung zu untermauern, falls dies eine wesentliche Entscheidungsgrundlage darlegen würde. In Österreich wäre hierfür eine Einsparung einer möglichen Tiefgründung ein wesentlicher Anhaltspunkt, der bei Bauherrn und Planern vorgebracht werden könnte.

**Tabelle 4.1: Belastung auf Fundamentierungsbauwerk von Stahlbeton- und Holzbauvariante, ohne Kernbauwerk und Nutzlasten**

<b>Stahlbetonausführung</b>		Masse [kN/m <sup>2</sup> ]	ständige Belastung auf Fundamentierung
DaSTB01	DG Decke	6,10	3904 kN
AwSTB01	DG Außenwand	4,40	1056 kN
DeSTB01	Regelgeschossdecken	6,15	24908 kN
AwSTB01	Regelgeschoss Außenwand	4,40	6160 kN
TwSTB01	Trennwand	4,40	8360 kN
			<b>44388 kN</b> <b>100%</b>

<b>BSP Ausführung</b>		Masse [kN/m <sup>2</sup> ]	ständige Belastung auf Fundamentierung
DaBSB02	DG Decke	2,30	1472 kN
AwBSP01	DG Außenwand	1,15	276 kN
DeBSB02	Regelgeschossdecken	3,20	12960 kN
AwBSP01	Regelgeschoss Außenwand	1,15	1610 kN
TwBSB01	Trennwand	1,10	2090 kN
			<b>18408 kN</b> <b>41%</b>

<b>BSP Ausführung mit HBV-Decken</b>		Masse [kN/m <sup>2</sup> ]	ständige Belastung auf Fundamentierung
DaBSB02	DG Decke	2,30	1472 kN
AwBSP01	DG Außenwand	1,15	276 kN
DeBBSB02	Regelgeschossdecken	4,45	18023 kN
AwBSP01	Regelgeschoss Außenwand	1,15	1610 kN
TwBSB01	Trennwand	1,10	2090 kN
			<b>23471 kN</b> <b>53%</b>

Die geringeren Fundamentlasten spiegeln eine sehr hohes wirtschaftliches Einsparungspotential aufgrund der Vereinfachung der Fundamentausführung. Zum einen wird bei einer Plattengründung die Fundamentplattenstärke und deren Bewehrungsgehalt verringert. Zuzüglich kann bei schlechten Untergrundverhältnissen womöglich auf spezielle Tiefgründungsmaßnahmen verzichtet werden. Andererseits ist, wie beim Vorlageprojekt, durch die unterschiedliche Rastergebung von Tiefgarage (Untergeschoss) und Wohnbau (Obergeschosse) die Ausführung der Kellerdecke (Abfangedecke) und deren Unterzüge wesentlich weniger Last ausgesetzt, welche sich ebenso günstig auf die Beton- und Bewehrungsstahlkubatur in diesen Bauteilen auswirkt.

In Wien muss ein typischer Wohnbau Stellplätze für deren Bewohner bereitstellen. Durch die geringere Auflast des Wohnbaus kann eine effizientere Gestaltung des Kellerbauwerks mit deren Fundierung, Stützen, Wänden sowie Decken geschaffen werden, der oftmals sehr eingeschränkt mit seinen Platzverhältnissen ist. Andererseits könnten weitere Spannweiten in der Tiefgarage überbrückt werden, ohne große Bauteilabmessungen zu erhalten.

## 5 Zusammenfassung & Ergebnisse

In der Einleitung dieser Diplomarbeit wurde auf den Stand der Technik für den mehrgeschossigen Holzwohnbau eingegangen, forciert auf die Gebäudeklasse 5 mit maximal 6 Obergeschossen. Die Sinnhaftigkeit bei der Verwendung von Holz in dieser Gebäudeklasse stellte dabei die Kernfrage dar. Der direkte Vergleich einzelner Tragwerkssysteme, Bauteile sowie Baustoffe an einem bestehen mehrgeschossigen Wohnbau in Wien mit 6 Obergeschossen in mineralischer Bauweise diente dabei als Grundlage. Es sind Vergleiche mit verschiedenen Alternativlösungen in Holzbauweise aufbereitet worden, an denen direkt die Unterschiede dargelegt wurden. Der Vergleich behandelte statische, bauphysikalische, schalltechnische und ökologische Randbedingungen sowie zusätzliche Erläuterungen zu den ökonomischen Einflüssen. Vor der Ermittlung der Aufbauten ist zusätzlich die Überlegung miteingeflossen, wie das Tragwerk ausgerichtet werden soll, um die jeweiligen Tragwerksteile optimal auszunutzen, was vorwiegend bei den Deckenkonstruktionen/-wahl und der Positionierung der tragenden Wände wichtig ist. Als Ergebnisse ergaben sich wesentliche Ausführungsvarianten und Herangehensweisen, bei denen in der Planung und der Ausführung eines Holzwohnbaus geachtet werden soll.

Die Erarbeitung dieses Themas wurde vorgenommen, da nach zahlreicher Expertenmeinungen der Holzbau im mehrgeschossigen Wohnbau im Aufstreben ist. Nach der Meinung von DI Alfred F. Mayerhofer von PCD-ZT GmbH [88] besteht ein großes Potential: *„Er sehe ein großes Potential für den Holzbau, durch das immer stärkere Aufkommen von Holzbauprodukten und deren Einsatzmöglichkeiten in diversen Projekten im Unternehmen“.*

### 5.1 Diskussion

Im Folgenden werden die gewonnen Erkenntnisse dieser Arbeit diskutiert. Es beziehen sich sämtliche Punkte auf Holzbauten der Gebäudeklasse 5 unter 7 Obergeschossen, welche in dieser Arbeit behandelt wurden. Diese Ergebnisse werden aus Sicht des Verfassers interpretiert und schlussgefolgert. Die einzelnen Resultate der Vergleichsaufbauten sind im Kapitel 3.5 bis 3.14 enthalten und die ökonomischen Einflüsse dazu werden in Kapitel 4 aufgezeigt. Als Grundlage dienen die Anforderungen die in Kapitel 2.2 bis 2.6 erläutert wurden, bereits errichteten Projekte (siehe Kapitel 2.7) sowie dem Vergleichswohnbau (siehe Kapitel 3.2 bis 3.4). Beim Vorlageprojekt handelt es sich um einen Wohnbau, der in konstruktiver Sicht den Bauten ähnelt, wie sie zu genüge in Wien geplant und gebaut werden.

Bei der Bauweise fällt die erste Wahl klar auf eine Massivbauweise aus Holz. An die Grundrisse sowie Aufrisse des Vergleichsprojekts lässt sich eine aufgelöste Skelettstruktur sowie ein Zellenbau schwer integrieren und würden deren Vorteile der Serienfertigung von gleichen Bauteilen gänzlich wegfallen lassen. Die Einbindung eines Skelett- oder Zellenbaus könnte in einem Nachgang lokal eingefügt werden, falls die Gegebenheiten es zulassen. Ein Rahmenbau würde sich für das oberste Geschoss anbieten. Im obersten Staffelgeschoss liegen die statischen und brandschutztechnischen Anforderungen niedriger als in den Regelgeschossen und es können deren Vorteile bzgl. Bauteildicke, Gewicht und Ökologie ausgenutzt werden. Eine Konstruktion bei der das zentrale Kernbauwerk in mineralischer Bauweise ausgeführt wird und die vertikale und horizontale Lastabtragung übernimmt, ist als optimal anzusehen. Beim Vorlageprojekt ist durch das schmale Kernbauwerk eine zusätzliche Aussteifung in den umliegenden Bauteilen (Trennwände)

erforderlich. Dies ist bei einer Konstruktion, bei der die Wohnungstrennwände zur Lastabtragung herangezogen werden, ohne Zusatzmaßnahmen möglich. Bei der Ausführung mit nichttragenden Trennwänden kann durch Ausbildung einzelner Trennwände, als massive BSP-Elemente, die Aussteifung erzielt werden. Es sollte bei der Planung immer ein zentraler und annähernd quadratischer Kern anvisiert werden, um auf diese zusätzliche Aussteifung verzichten zu können, gleich wie es bei den Beispielprojekten in Kapitel 2.7 angesteuert wurde. Eine Einbindung der Außenfassade mit zahlreichen Durchbrüchen ist alleine aus den Steifigkeitsunterschieden zum Kernbauteil zu unterlassen. Die Herstellung des Kernbauteils ist infolge der hohen Brandschutzanforderungen in Österreich und anderen europäischen Ländern nicht zu empfehlen, da sich durch die notwendigen Kompensationen deren Komplexität erheblich steigern würde, was die Bauabwicklung unattraktiv macht. Wird der „notwendige“ Stahlbetonkern zentrisch eingebettet, ist es möglich, durch die nicht allzu üppige Gebäudehöhe in der Gebäudeklasse 5 die vertikalen Holzelemente gänzlich der Aussteifung zu entziehen. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Trennung des Maurer- und Holzbaugewerkes, da das zentrische Aussteifungsbauwerk vorseilend und unabhängig vom Holzbau gefertigt werden kann.

Für den Holzwohnbau ist in Zukunft der wesentliche Punkt, eine neue Überdenkung an die Herangehensweise an solche Projekte zu schaffen. Planung und Ausführung unterscheiden sich stark gegenüber dem mineralischen Bau, dass sich durch einen reinen Austausch der Bauteile kein sinnvoller Holzbau fertigen lässt. Beim Vorzeigeprojekt zeigt sich dies in den unterschiedlichen Spannweiten der Decke, die zu ungleich hohen Deckenelementen führen und daher mit unterschiedlichen Aufbauhöhen ausgeglichen werden müssen. Die ungleichmäßige Aufbauhöhe der Decken führt zudem zu einer höheren Bauteildicke der Decken, welche zu Einbußen der Wohnnutzfläche führt. Ist zudem die Anordnung der Deckendurchbrüche sowie der Grundrissgebung so unregelmäßig wie im Vorlageprojekt, führen Deckenplatten mit einer biaxialen Lastabtragung zu einer erheblichen Erleichterung in der Planung und Ausführung.

Für die Tragwerksplanung eines Holzwohnbaus eignet sich die Ausführung als kurz gespannte Decken aus BSP, die als Durchlaufsystem besser wirken als weitgespannte Decken in einer HBV-Deckenlösung aus Brettsperrholz. Das ist jedoch nur der Fall, wenn das Gebäude wie im Vorlageprojekt als reiner Wohnbau (gleichmäßige Raumaufteilung in den Geschossen) ohne eine spätere Umnutzung geplant wird. Falls unterschiedliche Rastergebungen und Raumnutzungen in den einzelnen Geschossen sowie zukünftige Umnutzungen für die Räumlichkeiten vorgesehen werden, sind diesbezüglich die HBV-Varianten, die sich vom Kernbauteil zur Außenwand spannen, zu bevorzugen.

Diese Bevorzugung der BSP-Decke bildet sich durch:

- ◆ die wesentlich höheren Bauteilkosten bei weiten Deckenspannweiten (siehe Abbildung 2.31) bei Verwendung einer HBV-Konstruktion
- ◆ der günstigen Spannweite von Zweifeldträgern aus BSB-Decken bis 6,75 m bei gemäßigter Gesamtdeckenhöhe (siehe Abbildung 3.19), welche für Wohnräume ausreichend erscheinen
- ◆ das Erreichen des geforderten Brandschutzes von REI90 ohne Überdimensionierung und Kapselung ab einer Deckenstärke von 16 cm (ab 4,25 m siehe Abbildung 3.18)
- ◆ bei Verwendung von Innenwandelementen, die zusätzlich zur Kernaussteifung benötigt werden und gleichzeitig als Auflager der Decken dienen. Außenwandelemente können daher der statischen Funktion entzogen werden.

◆ Potential zur Verbesserung des Aufbaus hinsichtlich Ökologie

Die Auswahl einer HBV-Decke würde sich erst bei der unterschiedlichen Nutzung und späterer Umnutzung der Räumlichkeiten eignen. Ein Wohnbauprojekt das wie beim Vorlageprojekt mit Wohnungstrennwänden alle 4-6 m unterbrochen wird, eignet sich sehr schlecht für eine flexible Raumgestaltung und würde bei der Wahl von tragenden Trennwänden auf viele Auswechslungen im Fall von Umbauarbeiten stoßen. Rein aus der Sicht der Bauhöhen sollten die HBV-Decken im Wohnbau bei einer Spannweite von ca. 8,25 m begrenzt werden, da sich darüber bereits sehr üppige Deckenhöhen ergeben würden (siehe Abbildung 3.19). Zudem ist deren Ausführung als Fertigteile zu bevorzugen, da hierbei die Trocknungszeit der Elemente wegfällt, empfindliche Bauteile nicht in Berührung mit dem Frischbeton kommen sowie keine Gewerksüberschneidungen bei der Deckenmontage erfolgen.

Stellt man diese beiden Holzdeckensysteme den mineralischen Decken gegenüber, ergibt sich eine leicht höhere Gesamtstärke bei den reinen BSP-Decken gegenüber der Stahlbetondecke jedoch bei einem nur halb so hohen Eigengewicht (inkl. Aufbau). Die HBV-Decke liegt Höhentechnisch in der Größenordnung der STB-Decke und bei einem Eigengewicht (inkl. Aufbau) von nur drei Viertel der mineralischen Decke. Es sollte jedoch bedacht werden, dass unter der Spannweite von ca. 6,75 m die statisch bemessene BSP-Decke den Brandschutz (R90) nicht mehr erfüllt und Zusatzmaßnahmen erforderlich sind. Bei den vorhandenen unregelmäßigen Spannweiten sind bei den Holzbaudecken sehr unterschiedliche Höhen der Gesamtdeckenstärken ermittelt worden welche zusätzlichen Ressourcen (Schüttung) benötigt, um die Fußbodenoberkante auf der selben Höhe halten zu können. Dies erfordert eine Erhöhung der Gesamtdeckenstärke. Bei den mineralischen Decken können diese Unregelmäßigkeiten mit der Anpassung des Bewehrungsgehalts überbrückt werden.

Bemerkenswert ist die geringe Gesamthöhe der Hohldielecke, die ab einer Spannweite von ca. 6,0 m, in statischer, bauphysikalischer und ökologischer Hinsicht hierbei von allen anderen Deckensystemen abhebt. Diese Deckenart würde aufgrund der Unregelmäßigkeit im Grundriss sowie Durchbruchsanzahl mit zahlreichen Auswechslungen auszuführen sein die beispielsweise bei einer vergleichbaren HBV-Decke aus BSP nicht erforderlich wären.

Eine Konstruktion aus linear gespannten Decken ist nicht zu empfehlen, da sich die schlechte Schubsteifigkeit dieser durch zusätzlichen Aufwand hinsichtlich schubsteifen Beplankungen sowie Zusatzmaßnahmen in der Lasteinleitung zu den vertikalen Aussteifungselementen, zeigt. Rippendecken in Holzbauweise scheiden klar aus, für die Verwendung im Holzwohnbau. Die Kombination aus schlechten Brand- und Schallschutzeigenschaften sowie Bauhöhe lassen sich nicht durch die leicht besseren ökologischen Kennwerte wegdiskutieren.

Aus der Betrachtung der Nachhaltigkeit (in der Herstellung) unterscheidet sich kein Deckensystem, bis auf die Hohldiele, von einem anderen wesentlich. Je größer die Deckenspannweite desto mehr Baustoff befindet sich in einem Quadratmeter Bauteil, welches sich auf die ökologischen Kennwerte auswirkt. Dafür können ökologischere Trennwände angewendet werden, welche in Summe (Trennwand, Außenwand und Decke) diese Ausführung nachhaltiger erscheinen lassen. Bei den leichten Decken aus BSB, werden die negativen Auswirkungen der Beschüttung in den ÖKO-Kennzahlen neben der ökologischen Tragstruktur klar. Diese schlechte Bewertung kann jedoch durch das geringere Gewicht und der daraus geringeren Belastung auf das Fundamentbauwerk in eine nachhaltigere Sichtweise, durch die Ressourceneinsparung, gezogen werden. Die Hohldiele hat neben der geringen Bauhöhe und der geringen Flächenlast, die besten ÖKO-Kennwerte sowie den geringsten Ausstoß an primären Energiebedarf und geht hierbei klar als ökologischste Deckenvariante in der Herstellungsphase hervor. Bei sämtlichen Vergleichen der Decken

wurde angenommen, dass sich die Nutzungsdauer der Aufbauten auf 50 Jahre und die der tragenden Decken auf 100 Jahre bezieht.

Bei der Deckenwahl kann zusammengefasst werden, dass bei einer reinen Betrachtung von statischen sowie brandschutz- und schallschutztechnischen Vergleich von der flachen Stahlbetondecke zur Brettsperrholzdecke in jedem Punkt die Stahlbetondecke besser abschneidet. Die ökologische Bilanzierung (OI3) liegt hierbei ebenfalls auf gleicher Höhe, könnte jedoch durch ein ökologischeres Schüttmaterial auf der BSP-Decke verbessert werden. In der Aufbautenwahl ist für sämtliche Holzdecken ein schwerer Fußbodenaufbau als ein Muss erachtet worden, um die Schallschutzanforderungen auf dem Niveau der mineralischen Bauweise zu halten. Allein bei Betrachtung der Bilanz des Treibhauspotentials ( $GWP_{100}$ ) zeigt die Brettsperrholzdecke ein hohes Speicherpotential an  $CO_2$  sowie die enorme Gewichtseinsparung, welche zu einer Verringerung des Kellerbauwerks führt. Bei den HBV-Decken ist diese Aussagen ebenso passend in einer abgeschwächten Form. Beim benötigten Primärenergiebedarf liegen die Holzdecken leicht über der Stahlbetonausführung. Der Quadratmeter Deckenpreis liegt bei der BSP-Decke ebenso über dem der STB-Decke (Abbildung 2.31). Es ist bei Holzwohnbauten klar das positive Verhalten auf Treibhausgaseinsparungen hervorzuheben gegenüber der rein mineralischen Bauweise.

Bei den HBV-Decken aus BSP sind, wie schon erwähnt, durch den Einsatz bei hohen Deckenspannweiten eine hohe Flexibilität in der Raumgestaltung möglich. Im Vergleich zur STB-Decke sind die gesamte Deckenstärke im selben Bereich, jedoch ist das Deckengewicht bei dieser Höhe der tragenden Struktur verhältnismäßig hoch. Die statischen und bauphysikalischen Eigenschaften der HBV-Decke liegen hierbei genau zwischen der STB- und der BSP-Decke. Bei Betrachtung der ökologischen Bilanzierung ergab sich bei der BSP-Decke, dass sich die wesentlichen Baustoffe, die für die Verschlechterung der Ökobilanzierung führen, von der Tragschicht in den Aufbau verschieben. Ein ökologischer Vorteil der Holzbauelemente lässt sich durch die verringerten Beton- und Bewehrungsmassen am Fundamentbauwerk rückführen, jedoch ist dieser Vorteil bei der Verwendung von Hohldeckendecken ebenso gegeben.

Bei der Ausführung des Dachtragwerks (Flachdach) liegen die Ergebnisse in einem ähnlichen Bereich wie bei den Geschossdecken. Der wesentliche Unterschied liegt bei den geringeren Anforderungen hinsichtlich des Brandschutznachweises und dem Nachweis der Schwingung. Zusammengefasst kann hier auf eine Ausführung einer HBV-Variante verzichtet werden, da sich hier deren Vorteile nicht hervorheben, die Kosten des Bauteils jedoch hoch bleiben. Resultierend aus den Brandschutzanforderungen ist als einziger sinnvoll zu verwendende Dämmstoff die Mineralwolle gewählt worden, die sich sehr negativ auf die Ökobilanz auswirkt. Die Holzbauausführungen sind somit hinsichtlich OI3-Index (siehe Tabelle 3.5) in der selben Größenordnung einzuordnen wie die mineralische Ausführung. Eine Verbesserung der Nachhaltigkeit könnte nur mit einer Erleichterung in der Normgebung bewerkstelligt werden, wie dies bereits für Dachtragwerke mit einer nichtbrennbaren Tragstruktur (KAT A) erfolgt ist. Somit könnten bei Holzdecken nachhaltigere Dämmmaterialien verwendet werden.

Für die Außenwände in Holzbau gilt, wie bei den Decken, der Aufbau als primärer Verschlechterungspunkt für die ökologische Bewertung. Dieser kann durch die derzeit herrschenden Brandschutzbestimmungen nicht verbessert werden, da die Verwendung von Mineralwolle (nichtbrennbar) an der Außenfassade den einzigen Dämmstoff für Holzaufbauten darstellt. Jedoch sind Außenwandaufbauten in Holzbauweise durch ihren hohen Vorfertigungsgrad, schnelle Montage und durchaus geringeren Wandstärke ein guter Ersatz für eine STB-Wand.

Für Wände und Decken gilt beiderseits, dass eine Beplankung dieser die meisten Vorteile mit sich bringt. Hierbei ist es möglich die Schallweiterleitung bestmöglich zu unterbinden sowie den Brandwiderstand zu erhöhen ohne Überdimensionierungen der Holzbauteile vornehmen zu müssen. Weiters ist die Oberflächenbeschaffenheit in den Wohnräumen gleich, wie in der mineralischen Bauweise, welche von den Mietern sowie Bauherrn üblicherweise bevorzugt wird. [33] Für die Ausführung der Außenwände ist hierbei eine enorme Gewichtseinsparung der massiven und der Tafelbauwand zu verzeichnen die wesentlich zu einer Reduzierung der Fundamentbelastungen beitragen. Der OI3-Index liegt nur bei der Tafelbauvariante wesentlich unter der massiven Wand aus Stahlbeton. Bei der massiven Holzbauwand kann jedoch eine wesentliche Einsparung des Treibhauspotentials ( $GWP_{100}$ ) verzeichnet werden, die sogar im negativen Bereich liegt. Gleiches gilt bei den Wohnungstrennwänden. Bei den raumtrennenden Wänden, die für eine lastabtragende Nutzung herangezogen werden ist dennoch eine massive Bauweise ratsam, um eine kontinuierliche Lastweiterleitung über die gesamte Wandlänge bewerkstelligen zu können. Bei Wohnungstrennwände ohne statischer Nutzung liegt der klare Vorteil bei einer Ständerbauweise, welche in einem Nachgang zu den restlichen tragenden Elementen eingebaut werden kann.

Damit der Holzbau im Herstellungsprozess als Nachhaltiger einzustufen wäre, sind Anpassungen oder Lockerungen in der OIB-Richtlinie 2 nötig, welche die Verwendung von nachhaltigeren Dämmstoffen zulassen würde. Eine Vergleichbare Ausnahmeregelung gibt es hinsichtlich EPS-Dämmstoffen an der Fassade bei einer Stahlbetonbauweise. Alternativ sind neue Innovationen bei Dämmstoffen möglich, die während des Brandes fest im Aufbau eingebunden bleiben (siehe Kapitel 3.10.3).

Schlussendlich ist für die Verwendung von Holzdecken und Holzwänden eine Betrachtung, die sich rein auf den Bauteil beziehen, nicht zu einem positiven Ergebnis zu führen. Hierbei muss beispielsweise die Recyclingfähigkeit bzw. Entsorgung, Bauzeitminimierung (siehe Kapitel 2) usw. viel stärker miteinfließen.

Bei den ermittelten Bauteilanschlüssen liegt die klare Empfehlung bei der Beibehaltung von einfachen Verbindungsmitteln, wie Schrauben, Formbleche und Formprofile aus Stahl. Diese reichen für die notwendige Festigkeit und Duktilität für statische und dynamische Lasten in dieser Gebäudegröße aus (siehe Kapitel 3.12). Formteile aus Stahl die keine Brandbeanspruchung stand halten können einfach durch Beplankungen im Deckenaufbau bzw. Deckenabhängung geschützt werden (siehe Kapitel 3.12.2 und 3.12.4). Die Anschlüsse zum Kernbauteil sind ähnlich, wie beim Stahlbetonbau auszuführen, nur dass anstatt der Anschlussbewehrung Schweißgründe eingelegt werden, an denen der umlaufende Holzbau angeschlossen wird (siehe Kapitel 3.12.2). An diesen Punkten kann somit die Lasteinleitung, bestehend aus vertikalen und horizontalen Lasten auf das Gebäude, fachgerecht eingeleitet werden. Für die vertikalen Wände sind die Anschlüsse untereinander sowie ins Fundamentbauwerk mit Schrauben und Blechformteile als ausreichend zu erachten (siehe Kapitel 3.12.3). Lediglich bei den tragenden Außenwänden ist durch deren hohen Lastkonzentrationen (Wandpfeiler) eine Weiterleitung durch die querliegenden Holzdecken aufgrund der hohen Querdruckspannungen und den damit verbunden Setzungen zu vermeiden (siehe Kapitel 3.12.4).

Rein aus den Ergebnissen in dieser Arbeit stellt sich für das Vergleichsprojekt eine Beibehaltung der mineralischen Tragstruktur als sinnvoll heraus. Außenwände können mit nichttragenden Modulen in Holzbauweise nachträglich eingehängt werden. Diese weisen einen hohen Vorfertigungsgrad auf und können nach den Stahlbetonbauarbeiten ausgeführt werden. Weiters bieten

diese Vorteile von geringen Fassadenarbeiten auf der Baustelle bei einem schlussendlich gleichwertigen Erscheinungsbild, wie beim mineralischen Wohnbau.

Für eine äußerst effiziente Konstruktionswahl in den einzelnen Geschossen ist eine Empfehlung mit den Konstruktionen geschossweise zu wechseln. Hierbei könnte von unten nach obenhin ein kontinuierlicher Übergang von Stahlbeton- und Massivholzwänden bis hin zu Rahmenbauwänden für Trenn- und Außenwände stattfinden. Dieses Vorgehen richtet sich vor allem an die statischen und aussteifenden Anforderungen der Bauteile.

## 5.2 Ausblick für mehrgeschossige Holzwohnbauten

Für den mehrgeschossigen Holzwohnbau ist die Erleichterung der OIB-Richtlinie 2 [1] im Jahr 2015 für Objekte der Gebäudeklasse 5  $\leq$  6 Obergeschosse als sehr positiv zu erachten. Somit können die Bauteile im Gebäude gefertigt werden, ohne ein Brandschutzkonzept und eine Risikoanalyse zum Erreichen der Schutzziele zu fertigen. Nichtsdestotrotz ist die Behauptung, dass der Holzwohnbau gegenüber dem Stahlbetonbau nichts nach hat, keineswegs auf den ersten Blick zu bestätigen. Es sollte sich die Fertigung eines Holzwohnbaus auf die spezifisch unterschiedlichen Vorteile konzentrieren, die über eine reine Betrachtung der Bauteilebene hinausgehen.

Wohngebäude in Holzbauweise sind, nach den Erkenntnissen, die in dieser Arbeit gemacht wurden, durchaus sinnvoll. Die Errichtung von Holzbauten  $\leq$  6 Obergeschosse ist aus statischer Sicht durchwegs berechtigt, ohne komplizierte Detailausführung vornehmen zu müssen. Es sollte jedoch durchwegs auf die möglichen Stärken gegenüber der mineralischen Bauweise der Fokus gesetzt werden, um einen Holzbau in dieser Größenordnung zu einer Alternative von wirtschaftlicher Hinsicht zu machen. Im Folgenden wird die Zusammenfassung der SWOT-Analyse, welche in dieser Arbeit durchgeführt wurde, angegeben und die sich auf den mehrgeschossigen Holzwohnbau mit 6 Obergeschossen und mineralischer Kernaussteifung bezieht:

### ◆ Stärken

- Bauzeit bzw. Vorfertigung und Planbarkeit
- Regelmäßigkeit fördert die Vorfertigung
- Wohnkomfort
- CO<sub>2</sub> Speicherfähigkeit der Bauteile
- Einsparung am Fundamentbauwerk
- trockene Bauweise
- gute Wärmedämmeigenschaft (speziell für Außenwände)
- weniger anfällig auf Wärmebrücken (durch Dämmwirkung der Tragstruktur)
- hohe Bauteil und Bauwerksqualität durch werkgefertigte Bauteile
- weniger bzw. kürzere Verwendung von Baustelleneinrichtung (Kräne, Fassadengerüst, etc.)
- geringere Lohnkosten durch geringeres Personal
- nachhaltigere Zustellung der Bauteile durch geringeres Bauteilgewicht
- Minimierung der Fassadenarbeiten durch Werkvorfertigung

### ◆ Schwächen

- Brandschutz
- Schallschutz
- Deckenhöhe (außer HBV-Decken)
- kostenintensivere Bauteilaufbauten
- geringe Querpressungswiderstand von Holzbauteilen (Knotenausbildung)

### ◆ Chancen

- Optimierungspotential in sämtlichen Bereichen von Planung bis Entsorgung, welcher im modernen Holzbau in einem größeren Ausmaß gemacht werden kann als im altbekannten STB-Bau
- Entwicklung neuer Bauverfahrenstechniken

- Standardisierung von Bauteilen, Produktionsschritten und Bauabläufen
- mehrfeldrig gespannte HBV-Deckensysteme
- Vereinfachte Rechenmodelle für Anschlüsse (Erdbeben)
- Erhöhung des Vorfertigungsgrad bis schlüsselfertig
- Verringerung der beteiligten Gewerke auf der Baustelle (Schnittstellen)
- ökologischere Bauweise möglich durch Austausch des mineralischen Dämmstoffes bei sämtlichen Bauteilen sowie einer nachhaltigeren Schüttung im Bodenaufbau

◆ Risiken

- Witterungsanfälligkeit bei Montage
- gewerksübergreifende Schnittstellen können Zeitvorsprung zunichtemachen
- schwingungsanfällige Decken
- Unwissenheit und Unklarheit in einigen Punkten der Ausführung
- komplexe Detailausbildungen
- Kosten fallen vorzeitiger an (vorzeitiges Miteinbeziehen von Experten, Fenstereinbau, usw.)

Über diese Punkte hinaus sind im Holzbau noch wesentliche Entwicklungs- bzw. Optimierungspotenziale hinsichtlich Tragwerks, Aufbauten, Kalkulation, Fertigung und Montage möglich, hingegen sich im Stahlbetonbau diese Punkte bereits in einem weit fortgeschrittenen Stadium befinden.

Die Fertigung eines Holzwohnbaus mit Brandschutzkonzepten die Sprinkleranlagen, Kapselungen, Prüfungen von Bauteilanschlüssen usw. benötigen (wegen Brandverhalten Klasse A2) ist aus Sicht des Verfassers nicht zielführend. Dadurch, dass sich der Holzbau in den vorgegangenen Punkten bereits ohne Kompensationen nur schwer vertreten lässt, ist schwer denkbar diesen mit zusätzlichen Sondermaßnahmen aus wirtschaftlichen und ökologischen Standpunkten vertreten zu können. Darum wurde die Ausführung des Stiegenhauses nicht in Betracht gezogen und wird auch nicht empfohlen.

Ein Holzbau, der in eine Gebäudeklasse mit den Anforderungen der nichtbrennbaren Tragstruktur fällt, wird sich auch in Zukunft (aus Sicht des Verfassers) etablieren können. In Österreich, bei der sich die 6 Obergeschosse ohne der Klasse A<sub>2</sub> Anforderung errichten lassen, könnte jedoch bereits ein Großteil der Wohnbauten in Wien gedeckt werden, da sich der Hauptanteil der zu errichtenden Gebäude in dieser Größenordnung befindet.

Abschließend lässt sich für die Verwendung von Holz in einem mehrgeschossigen Wohnbau mit 6 Obergeschossen ein Verwendungspotential bei Decken, Außenwänden und Trennwänden erkennen. Das Potential liegt hierbei jedoch nicht am Bauteil selber, sondern an den Randbedingungen, die in den oben genannten Stärken angeführt wurden.

Diese Bauteile benötigen für eine lukrative Verwendung bei Planern und Ausführenden erheblich mehr Standards, um die Anforderungen einfach nachzuweisen. Daher müssen zu diesen Konstruktionen einigen Regelaufbauten und Regeldetaile entwickelt werden, um am Markt kostengünstig auftreten zu können und nicht bei jedem Projekt neu durchdacht werden zu müssen. Die Errichtung von mehrgeschossigen Holzwohnbauten macht für den Einsatz bis zur Gebäudeklasse 5 unter 7 Obergeschossen durchaus Sinn, erfordert jedoch ein höheres Maß an Knowhow, um aus

den Tatsachen der SWOT-Analyse das Optimum herausarbeiten zu können. Folgt man der tendenziellen Erleichterungen in den Brandschutzanforderungen in der OIB-Richtlinie 2 [1] über die Jahre, lässt sich jedoch erwarten, dass sich die Anforderungen mildern und die Ausführung des mehrgeschossigen Holzwohnbau in der behandelten Gebäudeklasse mehr und mehr in wirtschaftlichere und ökologischere Bauwerke entwickeln lassen.



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

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Marktbeitiegung von Holz, Naturstein, Eisen und Beton im Hochbau [7] .....	18
Abbildung 2.2: geschichtliche Entwicklung des Holzbaus [8].....	18
Abbildung 2.3: Holzwohnbau am ehemaligen Gelände der Hummelkaserne in Graz [9].....	19
Abbildung 2.4: Komponenten der Brandschutzmaßnahmen .....	21
Abbildung 2.5: Brandabschnittseinteilung und deckenübergreifende Außenwandstreifen bei Wohngebäuden lt. OIB-Richtlinie 2 [11].....	22
Abbildung 2.6: Zuordnung der Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile [13] .....	23
Abbildung 2.7: Anforderungen an Gebäude der Gebäudeklasse 5 ≤6 Geschosse [19].....	26
Abbildung 2.8: Anforderungen an Gebäude der Gebäudeklasse 5 >6 Geschosse [19].....	26
Abbildung 2.9: Abbrandraten von Holzbauteilen nach ÖNORM EN 1995-1-2 [14] .....	28
Abbildung 2.10: Ländervergleich der Brandschutzanforderungen für Holzwohnbauten [27]....	31
Abbildung 2.11: Wärme- und Feuchteleckagen in der luft- und winddichten Ebene [21] .....	33
Abbildung 2.12: Lärmstörung bei Tag und/oder bei Nacht bei Menschen in ihrem Wohnbereichen – Datenerhebung des Mikrozensus 2015 [32] .....	34
Abbildung 2.13: Schwingbügel mit elastischer Entkoppelung (links) und Federschien (rechts) [21].....	35
Abbildung 2.14: Schallübertragung über die flankierenden Bauteile [34] .....	35
Abbildung 2.15: Kohlenstoffkreislauf von Holz [39] .....	37
Abbildung 2.16: Konzept der Kohlenstoffspeicherung bei Holzbauten [37].....	39
Abbildung 2.17: Marktanteil unterschiedlicher Dämmstoffe in Österreich im Jahr 2013 [43] ...	39
Abbildung 2.18: Lebenszyklusstadien eines Gebäudes eingeteilt in Module A bis D [46] .....	44
Abbildung 2.19: Aufbau einer Elementdecke [45].....	45
Abbildung 2.20: Querschnitt einer Spannbetonhohlplatte [45] .....	46
Abbildung 2.21: Aufbau einer Balkendecke (links) und Holzrahmendecke (rechts) [56] .....	47
Abbildung 2.22: Brettstapeldecke und Brettsperrholzdecke [56].....	48
Abbildung 2.23: Holz-Beton-Verbunddecke [56].....	49
Abbildung 2.24: Versetzarbeiten einer vorgefertigten HBV-Decke [59] .....	50
Abbildung 2.25: Hohlwandelemente mit werkseitiger Außendämmung (links) und mit integrierter Dämmelemente (rechts) [53] .....	51
Abbildung 2.26: Aufbau einer Tafelbauwand (links) und Brettsperrholzwand (rechts) [62] .....	53
Abbildung 2.27: Trägervergleich bei gleicher Tragfähigkeit für Auswechslungen [25].....	54
Abbildung 2.28: Verschiedene Holzbausysteme [63].....	57
Abbildung 2.29: Vorauseilende Betonbaukerne [64] .....	58
Abbildung 2.30: Seriell vorgefertigtes Holzbausystem - Cree GmbH [57].....	59
Abbildung 2.31: Kosten verschiedener Deckenaufbauten abhängig von der Spannweite in einem Hochhaus [66].....	61
Abbildung 2.32: Wohnhausanlage Wagramer Straße – Wien [68].....	64
Abbildung 2.33: Halfenschiene zur Anbindung des Holzbaus an den Aussteifungskern [69] .....	64
Abbildung 2.34: Wohnhausanlage Hummelkaserne – Graz [9] .....	65
Abbildung 2.35: Wohnhausanlage Bridport House – London [73] .....	66
Abbildung 2.36: Knotenausbildung der Geschossdecke zur lastabtragenden Trennwand – Bridport House , London [74].....	67

Abbildung 2.37: Wohn- und Gewerbebau Via Cenni – Mailand [75] .....	67
Abbildung 2.38: Auflagerkonstruktion der tragenden Wände für die Verankerung von Schub- und Abhubkräften infolge Erdbeben des Via Cenni – Mailand [75] .....	68
Abbildung 2.39: duktile Knotenausbildung an den Geschosdeckenauflagern des Via Cenni – Mailand [75] .....	69
Abbildung 2.40: Wohn- und Gewerbebau Badenerstraße – Zürich [8].....	69
Abbildung 2.41: Wohnbau Zollfreilager - Zürich [77] .....	70
Abbildung 2.42: Wohn- und Gewerbebau C 13 – Berlin [78].....	71
Abbildung 2.43: Wohnbau HoHo - Wien [79], Bürobau LCT ONE - Dornbirn [57] und Studentenwohnheim Brock Common - Vancouver [80].....	72
Abbildung 2.44: Deckenauflagerungen auf Stützen – HoHo (links) [79], LCT ONE (mitte) [57] und Broke Common (rechts) [25] .....	75
Abbildung 2.45: Dornenverbindungen der Deckenaufleger an der Außenwand und am Aussteifungskern des LifeCycle-Tower ONE [57] .....	75
Abbildung 2.46: Dornenverbindung der Deckenaufleger an der Außenwand und am Aussteifungskern des Wohnbau HoHo [79] .....	75
Abbildung 2.47: Studentenwohnheim Woodie – Hamburg [82] .....	76
Abbildung 2.48: Entwicklung des Holzbaus in Wien [86] .....	83
Abbildung 3.1: Allgemeines Ablaufschema bei der Tragwerk- und Bauteilermittlung .....	85
Abbildung 3.2: Ansicht der Rohbauplanung des Wohnbaus aus Stahlbeton [88].....	86
Abbildung 3.3: Grundriss 1. Obergeschoss des Wohnbaus in Stahlbetonbauweise [87] .....	88
Abbildung 3.4: Schnitt durch den Wohnbau in Stahlbetonbauweise [87] .....	88
Abbildung 3.5: Deckenspannrichtung der Regelgeschosse in Stahlbetonvariante – mit Isokorb Balkonanschlüssen (grün) und Wandanschlüssen (rosa) [88].....	90
Abbildung 3.6: Tragwerksentwurf für Deckenspannrichtung auf die Querwände 1. OG .....	95
Abbildung 3.7: Tragwerksentwurf für Deckenspannrichtung auf Kern und Außenwände 1. OG .....	95
Abbildung 3.8: Tragwerksentwurf des Dachgeschossflachdachs 1. DG .....	96
Abbildung 3.9: Plattenstoß entlang der Längsseite mit eingefrästen Stoßdeckungsleiste, Stufenfalz oder gekreuzten Vollgewindeschrauben [93] .....	99
Abbildung 3.10: ungünstige Anordnung (oben) und günstige Anordnung (unten) von Aussteifungselementen [94] .....	100
Abbildung 3.11: Lastableitung einer vertikalen Aussteifungsscheibe [93] .....	101
Abbildung 3.12: Scheibenwirkung diverser Holzbautrennwände [25] .....	102
Abbildung 3.13: Reduzieren des Körperschalls über Trennwände durch eine Vorsatzschale (links) oder durch elastische Zwischenschichten (rechts) [98] .....	108
Abbildung 3.14: Maßnahmen zur Reduzierung des Flankenübertrages für den Schallschutz [21] .....	108
Abbildung 3.15: Auswechselträger aus Stahl mit DeltaBeam® [102] .....	109
Abbildung 3.16: ermittelten Geschosdeckensysteme mit Aufbauten für einen Wohnbau der Gebäudeklasse 5 ≤60G.....	110
Abbildung 3.17: ermittelte Deckenhöhen mit Aufbau und deren Gesamtmasse .....	112
Abbildung 3.18: Spannweitenabhängige Höhe der tragenden Deckenhöhe ohne Aufbau .....	113
Abbildung 3.19: Spannweitenabhängige Höhe der gesamten Deckenhöhe mit schwimmenden Zementestrichaufbau.....	113
Abbildung 3.20: Gegenüberstellung der Trittschalldämmung der Deckenvarianten .....	114

Abbildung 3.21: OI3-Ökoindizes und GWP100 Summe der ermittelten Deckenvarianten mit schweren Deckenaufbau .....	115
Abbildung 3.22: OI3-Ökoindizes und Primärenergiebedarf der ermittelten Deckenvarianten mit schweren Deckenaufbau .....	115
Abbildung 3.23: OI3-Ökoindizes der ermittelten Deckenvarianten mit schweren Deckenaufbau getrennt in Tragstruktur und Aufbau .....	116
Abbildung 3.24: ermittelten Geschosdeckensysteme mit Aufbauten für einen Wohnbau der Gebäudeklasse 5 $\leq$ 60G.....	121
Abbildung 3.25: ermittelten Außenwandsysteme .....	127
Abbildung 3.26: ermittelte Wandstärken mit Aufbau und deren Gesamtmasse.....	128
Abbildung 3.27: Gegenüberstellung des Schalldämmmaß $R_w$ der Außenwandaufbauten .....	128
Abbildung 3.28: OI3-Ökoindizes und GWP100 Summe der ermittelten Außenwandvarianten	129
Abbildung 3.29: OI3-Ökoindizes und Primärenergiebedarf der ermittelten Außenwandvarianten .....	129
Abbildung 3.30: OI3-Ökoindizes der ermittelten Deckenvarianten mit schweren Deckenaufbau, getrennt in Tragstruktur und Aufbau .....	130
Abbildung 3.31: Vergleich der Kennwerte von verschiedenen WDVS-Dämmstoffen bei selben Wärmedämmwerten des gesamten Aufbaus [48] .....	131
Abbildung 3.32: solide Zellulosedämmung für verbesserten Brandschutz [105].....	132
Abbildung 3.33: ermittelte tragende Wohnungstrennwandsysteme.....	136
Abbildung 3.34: ermittelte nichttragende Wohnungstrennwandsysteme .....	136
Abbildung 3.35: Formbleche zur Verankerung von Holzbauwänden [107].....	138
Abbildung 3.36: Anschluss des Holzbaus an Aussteifungskern mittels Stahlbauteil (links) und Schweißgrund für Betonbauteil [108] .....	140
Abbildung 3.37: An- und Draufsicht auf ein vertikal verschiebliches Kernanschlussdetail zwischen Stahlbetonkern und Holzbauteil [109].....	140
Abbildung 3.38: Anschluss der Brettsperrholzdecke an Kernbauteil (vertikal verschieblich)..	141
Abbildung 3.39: Anschluss der HBV-Decke an Kernbauteil .....	142
Abbildung 3.40: Anschluss der tragenden (links) und nichttragenden (rechts) Außenwand an die Kellerdecke.....	143
Abbildung 3.41: Anschlussdetail der nichttragenden Außenwand mit einer BSP-Decke .....	145
Abbildung 3.42: Anschlussdetail der tragenden Außenwand mit einer HBV-Decke .....	145
Abbildung 3.43: Anschlussdetail der tragenden Trennwand .....	147
Abbildung 3.44: Anschlussdetail der nichttragenden Trennwand.....	147
Abbildung 3.45: Ausführungsdetail eines Balkon in Holzbauweise [21].....	148
Abbildung 3.46: Innenwand in den Wohneinheiten [111].....	150
Abbildung 4.1: Witterungsschutz für Konstruktion und Arbeiter durch eine Zeltüberdachung [74].....	152
Abbildung 4.2: Liegend- und Stehendverladungsmöglichkeiten von flächigen Bauteilen [29] .	154
Abbildung 4.3: Planungsphasen im traditionellen Betonbau- und Holzbau mit vorgezogener Planung [25].....	155
Abbildung 4.4: Vergleich des Bauablaufs einer klassischen Bauweise und einer industriellen Holzbauweise [112].....	156

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Brandverhalten verschiedener Baustoffe .....	24
Tabelle 2.2: Mindestanforderungen von Betonplatten bei Brandeinwirkung [24] .....	29
Tabelle 2.3: Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile in einem Wohnhaus lt. OIB-Richtlinie 6 [28] .....	33
Tabelle 2.4: Mindestanforderung der Schalldämmung für Wohngebäude lt. OIB-Richtlinie 5 [35] .....	35
Tabelle 2.5: mindesterforderliche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz in Wohngebäuden lt. OIB-Richtlinie 5 [35].....	36
Tabelle 2.6: höchster zulässiger bewerteter Standard-Trittschallpegel in Wohngebäuden lt. OIB-Richtlinie 5 [35] .....	36
Tabelle 2.7: Elastizitätsmodul verschiedener Baustoffe [54] [55] [16] .....	46
Tabelle 2.8: wirtschaftliche Deckenspannweiten in Holzbauweise [52] .....	47
Tabelle 2.9: Ausführungsvarianten im mehrgeschossigen Holzbau anhand gebauter Beispiele Teil 1 .....	78
Tabelle 2.10: Ausführungsvarianten im mehrgeschossigen Holzbau anhand gebauter Beispiele Teil 2 .....	79
Tabelle 3.1: Neuerungen in der OIB-Richtlinie 2 [1].....	91
Tabelle 3.2: Vorhandene Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) der Stahlbetonbauvariante und Mindestanforderungen lt. OIB-Richtlinie 6 [28] .....	92
Tabelle 3.3: Gängige Deckentragsysteme im mehrgeschossigen Wohnbau und deren Eigenschaften (Inhalt entnommen aus [52]).....	104
Tabelle 3.4: Lastaufstellung der einzelnen Deckenvariationen .....	111
Tabelle 3.5: bauphysikalische und ökologische Kennwerte der Dachtragwerkssysteme .....	122
Tabelle 3.6: Lastaufstellung der tragenden Außenwand im EG und 2.OG in Holzbauweise .....	127
Tabelle 3.7: Lastaufstellung der tragenden Innenwand im EG und 2. OG in Holzbauweise.....	136
Tabelle 3.8: bauphysikalische und ökologische Kennwerte der ermittelten Wohnungstrennwände.....	136
Tabelle 3.9: Querdruckbemessung Außenwand-Geschossdeckendetail bei HBV-Variante .....	144
Tabelle 3.10: Querdruckbemessung Trennwand-Geschossdeckendetail der BSP-Variante.....	146
Tabelle 4.1: Belastung auf Fundamentierungsbauwerk von Stahlbeton- und Holzbauvariante, ohne Kernbauwerk und Nutzlasten .....	160

## Literaturverzeichnis

- [1] Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 2 – Brandschutz OIB-330.2-012/19; 2019
- [2] ÖNORM EN ISO 13501-1 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1; 2019
- [3] Berufsfeuerwehr Wien, [Online]; Available: [http://berufsfeuerwehr-wien.at/images/Anhang/Gegen%C3%BCberstellung\\_GK\\_OIB\\_2.pdf](http://berufsfeuerwehr-wien.at/images/Anhang/Gegen%C3%BCberstellung_GK_OIB_2.pdf); [Zugriff am 22.10.2018]
- [4] P. Cheret, K. Schwaner und A. Seidel; Handbuch und Planungshilfe Urbaner Holzbau; DOM publishers; 2014
- [5] Charta von Athen; [Online]; Available: <https://www.jeder-qm-du.de/ueber-die-platte/detail/charta-von-athen/>; [Zugriff am 03.03.2019]
- [6] [www.holzhaus.org](http://www.holzhaus.org); [Online]; Die Geschichte des Holzhauses; Available: <http://holzhaus.org/>; [Zugriff am 29.12.2018]
- [7] Cheret P., Seidel A.; [Online]; Available: <https://informationsdienst-holz.de/urbaner-holzbau/>; [Zugriff am 05.01.2019]
- [8] [www.zuschnitt.at](http://www.zuschnitt.at); Zuschnitt 43 – Die Außenwand; proHolz Austria; 2011
- [9] merz kley partner ZT GmbH; [Online]; Available: <https://www.mkp-ing.com/>; [Zugriff am 27.04.2019]
- [10] Österreichisches Institut für Bautechnik, Begriffsbestimmungen OIB-330-001/19; 2019
- [11] Teiblinger M.; Zuschnitt Attachment - Brandschutzvorschriften in Österreich - Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2, 3. Auflage; proHolz Austria; Juni 2015
- [12] ÖNORM EN ISO 13501-2 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2; 2016
- [13] Teiblinger M.; Feuerwiderstand von Holzbauteilen; der Teiblinger, Holzbau im Detail; 15.11.2017
- [14] ÖNORM EN 1995-1-2 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; 2011
- [15] [www.dataholz.eu](https://www.dataholz.eu); [Online]; Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter und/oder zugelassener Holz- und Holzwerkstoffe, Baustoffe, Bauteile und Bauteilfügen für den Holzbau freigegeben von akkreditierten Prüfanstalten; Available: <https://www.dataholz.eu/>
- [16] ÖNORM EN 1995-1-1 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1 Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; 2019
- [17] ÖNORM B 1995-1-1 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Nationale Festlegungen; 2019
- [18] Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Leitfaden Richtlinie 2 – Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte OIB-330.2-020/19; 2019

- [19] Eder I.; [Online]; Available: <http://www.proholz.at/bauholz/2018-1/modul4/rechtliche-voraussetzungen-oib2-stand-der-technik-2018-sowie-outlook/>; [Zugriff am 05.02.2019]
- [20] ÖNORM B 2332; Brandschutztechnische Ausführung von Fassaden aus Holz und Holzwerkstoffen in den Gebäudeklassen 4 und 5; 2015
- [21] Teiblinger M., Matzinger I., Dolezal F.; Bauen mit Brettsperrholz im Geschossbau, Fokus Bauphysik, Planungsproschüre, 3.Auflage; Holzforschung Austria; Juli 2018
- [22] ÖNORM B 1991-1-2 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke; 2013
- [23] ÖNORM EN 1991-1-1 Einwirkungen auf Tragwerke; 2011
- [24] ÖNORM B 1992-1-2 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken- Tragwerksbemessung für den Brandfall; 2011
- [25] H. Kaufmann, S. Krötsch und S. Winter; Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Detail Business Information GmbH, München; 2017
- [26] Eugen C.; Diplomarbeit - Holzhochhausbau – Eine vergleichende Betrachtung mit der konventionellen Massivbauweise unter Wind- und Erdbebenbeanspruchung; Technische Universität Wien; 2015
- [27] [www.zuschnitt.at](http://www.zuschnitt.at); Zuschnitt 59 –In Zukunft Stadt; proHolz Austria; 2015
- [28] Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz OIB-330.6-026/19; 2019
- [29] Stora Enso Wood Products - Building Solutions, Technical folder; Stora Enso Wood Products GmbH; 2015
- [30] J. Bachinger, B. Nusser; Planungshilfe Flachdach Leitfaden Version 1.0; Holz Forschung Austria; Okt 2018
- [31] Lärmkarten; Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus; [Online] Available: <http://www.laerminfo.at/laermkarten.html>
- [32] Mikrozensus 2015; [Online]; Available: [http://www.laerminfo.at/ueber-laerm/laermbetroffenheit/mikrozensus\\_2015.html](http://www.laerminfo.at/ueber-laerm/laermbetroffenheit/mikrozensus_2015.html); 2015
- [33] Bernd Troppmann; Verkäufer bei Stora Enso Wood Products GmbH.; [Interview]; 06.11.2018
- [34] Schallschutz für CLT von Stora Enso; Stora Enso Division Wood Products; Version 03.2016
- [35] Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 5 – Schallschutz OIB-330.5-002/19; 2019
- [36] ÖNORM B 8115-2 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz; 2013
- [37] [www.zuschnitt.at](http://www.zuschnitt.at); Zuschnitt 65 – Kreislauf Holz; proHolz Austria; 2017
- [38] [www.holzistgenial.at](http://www.holzistgenial.at); [Online]; Available: <https://www.holzistgenial.at/blog/im-wald-waechst-unser-rohstoff-nummer-1/>; [Zugriff am 06.02.2018]

- [39] Salthammer T.; Marutzky R.; Bauen und Leben mit Holz; Informationsdienst Holz; März 2013
- [40] Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude Version 4.0; IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH; Oktober 2018
- [41] www.oib.or.at; [Online]; Available: <https://www.oib.or.at/sites/default/files/bpv.pdf>; [Zugriff am 04.06.2019]
- [42] www.holzistgenial.at; [Online]; Wälder für nachhaltige Städte; Available: <https://www.holzistgenial.at/blog/waelder-fuer-nachhaltige-staedte/>; [Zugriff am 11.06.2018]
- [43] Koppelhuber D.; Masterarbeit - Ökologie als Planungsaufgabe im Geschossbau; Institut Baubetrieb und Bauwirtschaft; TU Graz; März 2017
- [44] DIN EN 15804; Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; 2014
- [45] Pech A. et. Al; Holz im Hochbau, Theorie und Praxis; Birkhäuser Verlag GmbH; 2006
- [46] DIN EN 15978; Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; 2012
- [47] IBO Verein und GmbH; [Online]; Available: <https://www.ibo.at/>
- [48] baubook; [Online]; Datenbank für ökologisches Bauen und Sanieren; baubook GmbH; Available: [www.baubook.info](http://www.baubook.info)
- [49] ÖKOBAUDAT; [Online]; Informationsportal Nachhaltiges Bauen; Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat; Available: <https://www.oekobaudat.de/>
- [50] DIN EN ISO 14040; Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen; 2009
- [51] DIN EN ISO 14044; Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen; 2018
- [52] Koliha M.; Diplomarbeit - Leitfaden zur Wahl der optimalen Deckenkonstruktion; Institut für Architektur und Entwerfen Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau; Technische Universität Wien; Mai 2016
- [53] www.oberndorfer.at; [Online]; Available: <https://www.oberndorfer.at/>; [Zugriff am 13.04.2019]
- [54] ÖNORM EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; 2015.
- [55] ÖNORM EN 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten; 2014
- [56] www.zuschnitt.at; Zuschnitt 54 – Holzdecken; proHolz Austria; 2014
- [57] Cree GmbH; [Online]; Available: <https://www.creebyrhomburg.com/de/>
- [58] Neff Leonie; Team Planung und Systematisierung bei Cree GmbH; [Interview]; 21.03.2019
- [59] MMK Holz Beton-Fertigteile GmbH; [Online]; Available: <https://www.holzbetonverbund.at/>; [Zugriff am 03.04.2019]

- [60] ÖNORM B 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Nationale Festlegungen; 2018
- [61] Pech A. et. Al; Baukonstruktionen Band 4, Wände; SpringerWienNewYork; 2005
- [62] www.zuschnitt.at; Zuschnitt 71 – Wohnbau mit System; proHolz Austria; 2018
- [63] www.zuschnitt.at; Zuschnitt 50 – Konfektionen in Holz; proHolz Austria; 2013
- [64] Binderholz GmbH; [Online]; Available: <https://www.binderholz.com/bauloesungen/wohnbau/wohnbau-wagramer-strasse-wien-oesterreich/>; [Zugriff am 05.04.2019]
- [65] Mittendorfer M.; Diplomarbeit - Vergleich von mineralischen Massiv- mit Holz- und Holzmischbauweise bei Planung und Realisierung von großvolumigen Bauten; Technische Universität Wien; 2018
- [66] Müllner A.; Diplomarbeit - Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungssystems für Deckenkonstruktionen bei Holzhochhäusern; Technische Universität Wien; 2018
- [67] Hölzl S.; Masterarbeit – wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken; Technische Universität Graz; 2014
- [68] www.architecture.at; [Online]; Available: [http://www.architecture.at/index.php?article\\_id=39&clang=0](http://www.architecture.at/index.php?article_id=39&clang=0); [Zugriff am 27.03.2019]
- [69] Dworsky A., Projektanalyse SS2013, Wohnhausanlage Wagramerstraße, 2013
- [70] Schluder M.; [Online]; Urbanes Bauen mit Holz – am Beispiel Wien, Wagramer Straße; 18. Internationales Holzbau-Forum; Available: [http://www.forum-holzbau.com/pdf/ihf12\\_schluder.pdf](http://www.forum-holzbau.com/pdf/ihf12_schluder.pdf); 2012
- [71] Holzwohnbau Hummelkaserne; [Online]; Available: <https://www.dataholz.eu/anwendungen/holzbauprojekte/holzwohnbau-hummelkaserne-at.htm>; [Zugriff am 10.05.2019]
- [72] Holzwohnbau Hummelkaserne; [Online]; <https://www.holzistgenial.at/blog/holzwohnbau-hummelkaserne-graz/>; [Zugriff am 10.05.2019]
- [73] www.proholz.at; [Online]; Available: <http://www.proholz.at/haeuser/bridport-house-londongb/>; [Zugriff am 28.03.2019]
- [74] Green M., Taggart J.; Hoch bauen mit Holz – Technologie, Material, Anwendung; Birkhäuser Verlag GmbH, Basel; 2017
- [75] Bernasconi A.; Überbauung Via Cenni Mailand –4 Holzhochhäuser mit je 9 Geschossen; 18. Internationales Holzbau-Forum 2012; 2012
- [76] System TopWall; [Online]; Available: <https://www.steko.ch/steko-gebaeudehuel-len/system-topwall/>; [Zugriff am 12.03.2019]
- [77] Wohnbau Zollfreilager - Schweiz; [Online]; Available: <https://www.holzbau-schweiz.ch/de/first/magazine-online/detail/magazin-artikel/freilager-zuerich-ein-urbanes-leuchtsignal/magazin-backlink/58/>; [Zugriff am 12.03.2019]
- [78] Wohn- und Gewerbebau C 13 - Berlin; [Online]; Available: <http://www.kadenundlager.de/projects/c13/>; [Zugriff am 03.04.2019]

- [79] R. Woschitz; [Online]; Urban renewal of the school with clt modular elements; Available: <http://www.wooddays.eu/de/documentation/>; 2016
- [80] Studentenheim Commons Vancouver - Canada; [Online]; Available: <https://www.ac-tonostry.ca/project/brock-commons-tallwood-house/>; [Zugriff am 30.04.2019]
- [81] Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 2.3 – Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m OIB-330.2-015/19; 2019
- [82] Studentenwohnheim Woodie – Hamburg; [Online]; Available: <http://www.mkp-ing.com/projekte/wohnen-buro-hotel/universal-design-quartier-hamburg>; [Zugriff am 29.03.2019]
- [83] Kaufmann C.; [Online]; WOODIE Hamburg –so baut man mit Modulen; 23. Internationales Holzbau-Forum; Available: [https://www.forum-holzbau.com/pdf/29\\_IHF2017\\_Kaufmann.pdf](https://www.forum-holzbau.com/pdf/29_IHF2017_Kaufmann.pdf); 2017
- [84] ÖNORM EN 1998-1: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; 2013
- [85] Wohnservice-Wien; [Online]; Available: <https://wohnservice-wien.at/wohnen/kommunaler-wohnbau/>; [Zugriff am 20.02.2019]
- [86] [www.proholz.at](http://www.proholz.at); [Online]; <http://www.proholz.at/news/news/detail/studie-holzbauanteil-in-oesterreich-und-wien/>; [Zugriff am 23.03.2019]
- [87] ARGE Architekten Stammersdorf; Hermann und Valentiny u. Partner Architekten ZT GmbH; Rainergasse 4, A - 1040 Wien
- [88] PCD ZT – GmbH, Münchreiterstraße 4, A - 1130 Wien
- [89] Calculatis by Stora Enso, Bemessungsprogramm; [Online]; Available: <https://calculatis.clt.info/>
- [90] ÖNORM B 1991-1-1 Einwirkungen auf Tragwerke – Nationale Festlegungen; 2017
- [91] Ökologische Materialien und Dämmstärken; [Online]; Available: <http://www.no-est.or.at/downloads/OekoBauen/5/waermedaemmung-infobl-bauen.pdf>; [Zugriff am 22.04.2019]
- [92] Cree GmbH; [Online]; Available: [https://www.creebyrhomburg.com/fileadmin-client/creebyrhomburg.com/Downloads/PlanningManual/Cree\\_Planungshandbuch\\_Stand\\_September\\_2018\\_high.pdf](https://www.creebyrhomburg.com/fileadmin-client/creebyrhomburg.com/Downloads/PlanningManual/Cree_Planungshandbuch_Stand_September_2018_high.pdf); [Zugriff am 05.02.2019]
- [93] Wallner-Novak M., Koppelhuber J., Pock K.; Brettsperrholz Bemessung - Grundlagen für Statik und Konstruktion nach Eurocode; proHolz Austria; Juli 2013
- [94] [www.zuercher-holzbau-ag.ch](http://www.zuercher-holzbau-ag.ch); [Online]; [https://www.zuercher-holzbau-ag.ch/libraries.files/Lignatec\\_Erdbeben\\_Anriiss1.pdf](https://www.zuercher-holzbau-ag.ch/libraries.files/Lignatec_Erdbeben_Anriiss1.pdf); [Zugriff am 10.03.2019]
- [95] ÖNORM B 8110-3: 2012 Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung; 2012
- [96] ÖNORM B 8115-4 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 4 Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen; 2003
- [97] [www.rothoblaas.de](http://www.rothoblaas.de); [Online]; Available: <https://www.rothoblaas.de/produkte/schalldammung/schalldambander>; [Zugriff am 09.04.2019]

- [98] Binderholz GmbH, Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH; Massivholzhandbuch 2.0 1.Auflage; Dezember 2018
- [99] Dolezal F.; Research – Building Physics and Sustainability of Building Products; IBO – Austrian Institute for Building and Ecology; [Interview]; 14.03.2018
- [100] Holtz F.; Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken; Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 3; Informationsdienst Holz; 1999
- [101] ÖNORM EN ISO 12354 Bauakustik – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen; 2017
- [102] DELTABEAM®; [Online]; Available: <https://www.peikko.at/produkte/deltabeam-slim-floor-konstruktionen/ubersicht/>; [Zugriff am 18.04.2019]
- [103] Kaden T.; Kaden + Lager GmbH; [Interview]; 02.04.2019
- [104] Matzinger I., Holzforschung Austria - Österreichische Gesellschaft für Holzforschung; [Interview]; 08.04.2019
- [105] [www.empa.ch](https://www.empa.ch/web/s604/isofloc?inheritRedirect=true); [Online]; Available: <https://www.empa.ch/web/s604/isofloc?inheritRedirect=true> [Zugriff am 17.4.2019]
- [106] Teiblinger M., Matzinger I., Dolezal F.; Holzrahmenbauweise im Geschossbau, Fokus Bauphysik, Planungsproschüre; Holzforschung Austria; Mai 2014
- [107] Simpson Strong-Tie GmbH; [Online]; Available: <https://www.strongtie.de>
- [108] Wirz N.; Aussteifung und Stabilisierung – Konzepte für den mehrgeschossigen Holzbau; Holzbautag Biel 2013; Available: [http://www.forum-holzbau.com/pdf/hbt13\\_wirz.pdf](http://www.forum-holzbau.com/pdf/hbt13_wirz.pdf); 2013
- [109] Dederich L., Koch J.; Holzkonstruktionen in Mischbauweise; Holzbau Handbuch Reihe 1, Teil 1, Folge 5; Informationsdienst Holz; September 2006
- [110] [www.schoeck.at](https://www.schoeck.at/de-at/isokorb); [Online]; Available: <https://www.schoeck.at/de-at/isokorb>; [Zugriff am 13.03.2019]
- [111] [www.rigips.com](https://www.rigips.com); Produktbroschüre: Planen und Bauen Metall-Einfachständerwände; Stand 02.01.2017
- [112] ROZYNSKI, D.; KOCH, P.; Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau; Forschungsarbeit; Fraunhofer IRB Verlag; 2009
- [113] [kaufmann zimmerei und tischlerei gmbh](https://www.kaufmannzimmerei.at/holzmodulbau); [Online]; Available: <https://www.kaufmannzimmerei.at/holzmodulbau>; [Zugriff am 01.2019]
- [114] Zügner D.; Masterarbeit; Die Holz-Massivbauweise im mehrgeschossigen Wohnbau – ein kalkulatorischer Vergleich zur mineralischen Massivbauweise; Technische Universität Graz; 2013
- [115] Koppelhuber J.; Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Technische Universität Graz; [Interview]; 08.04.2019
- [116] Landesrecht Wien, Wiener Stadtentwicklungs-, Stadtplanungs- und Baugesetzbuch (Bauordnung für Wien – BO für Wien); Stand 17.11.2018

- [117] Stephan D.; Diplomarbeit – Nachhaltigkeit im Bauwesen: Ökologische Analyse von Baustoffen und Bauteilen; Technische Universität Wien; 2018
- [118] ÖNORM B 8110-7; Wärmeschutz im Hochbau – Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte; 2013
- [119] ÖNORM EN ISO 6946 Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren; 2018



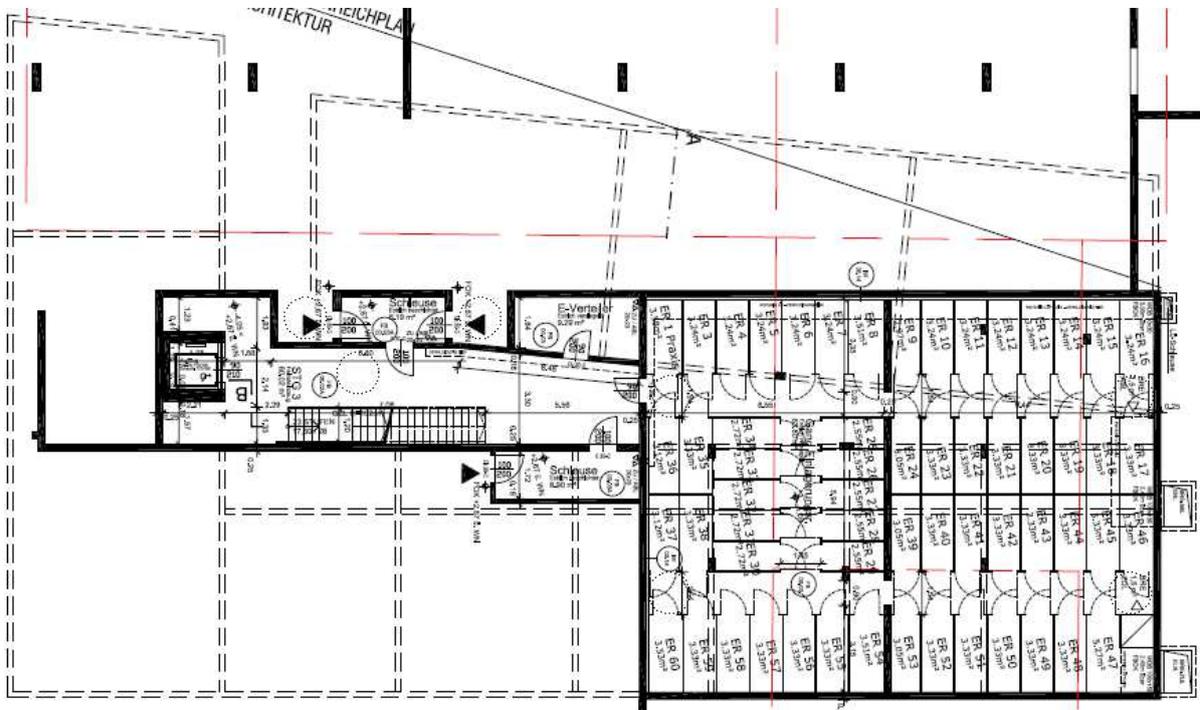
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Anhang

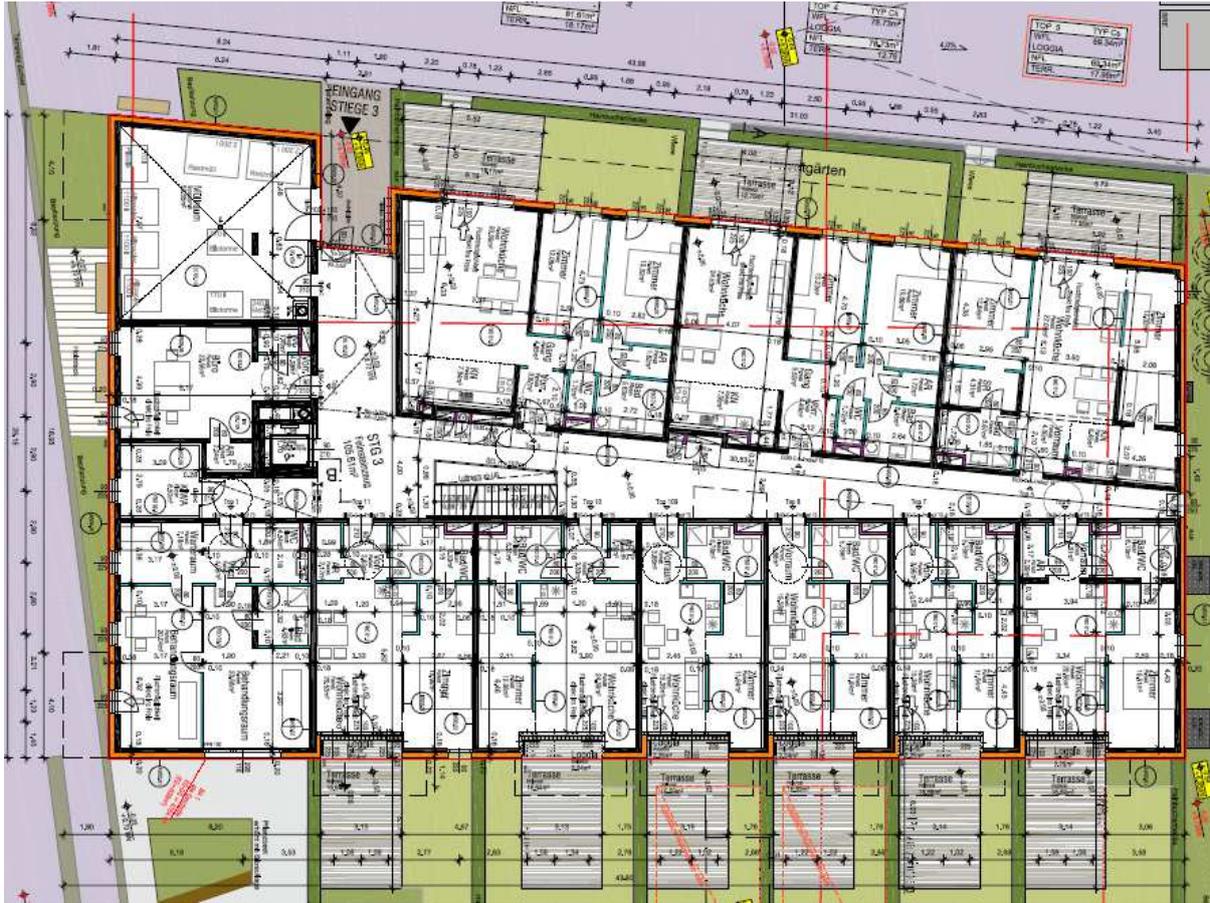
## A.1 Plangrundlagen des Stahlbetonbaus



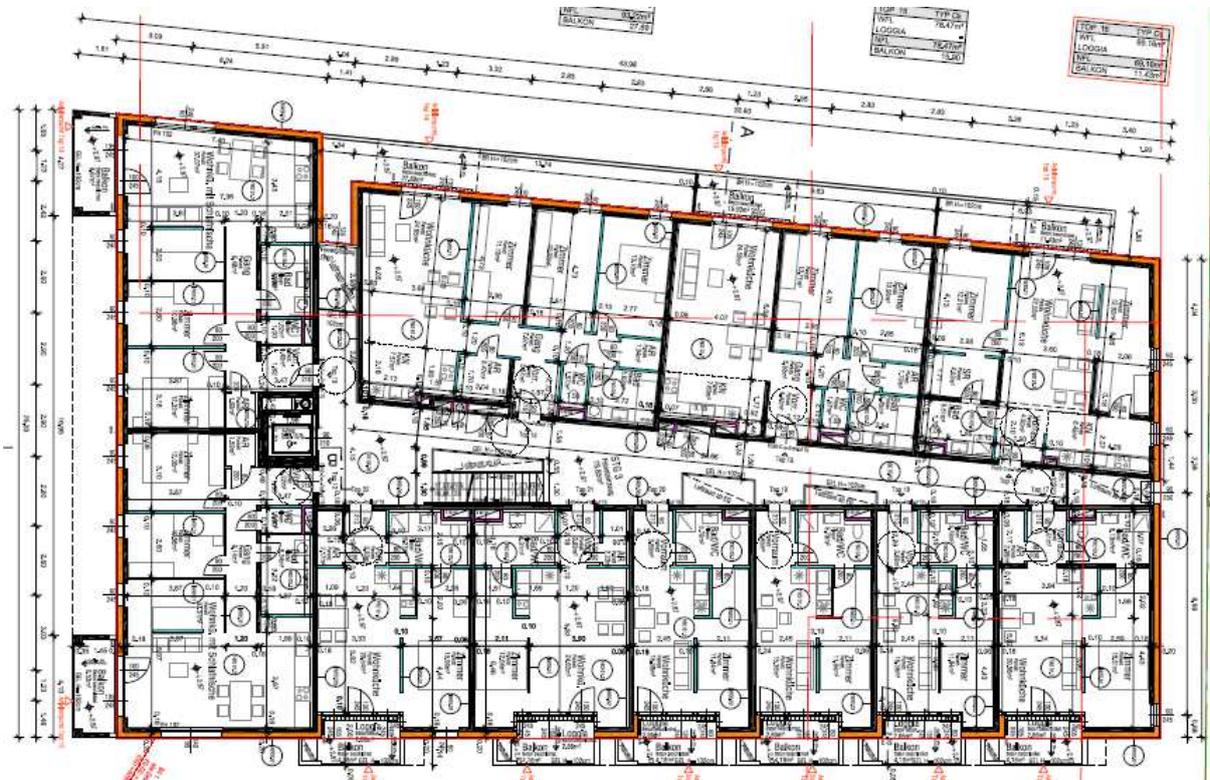
Lageplan des Bauplatz 1



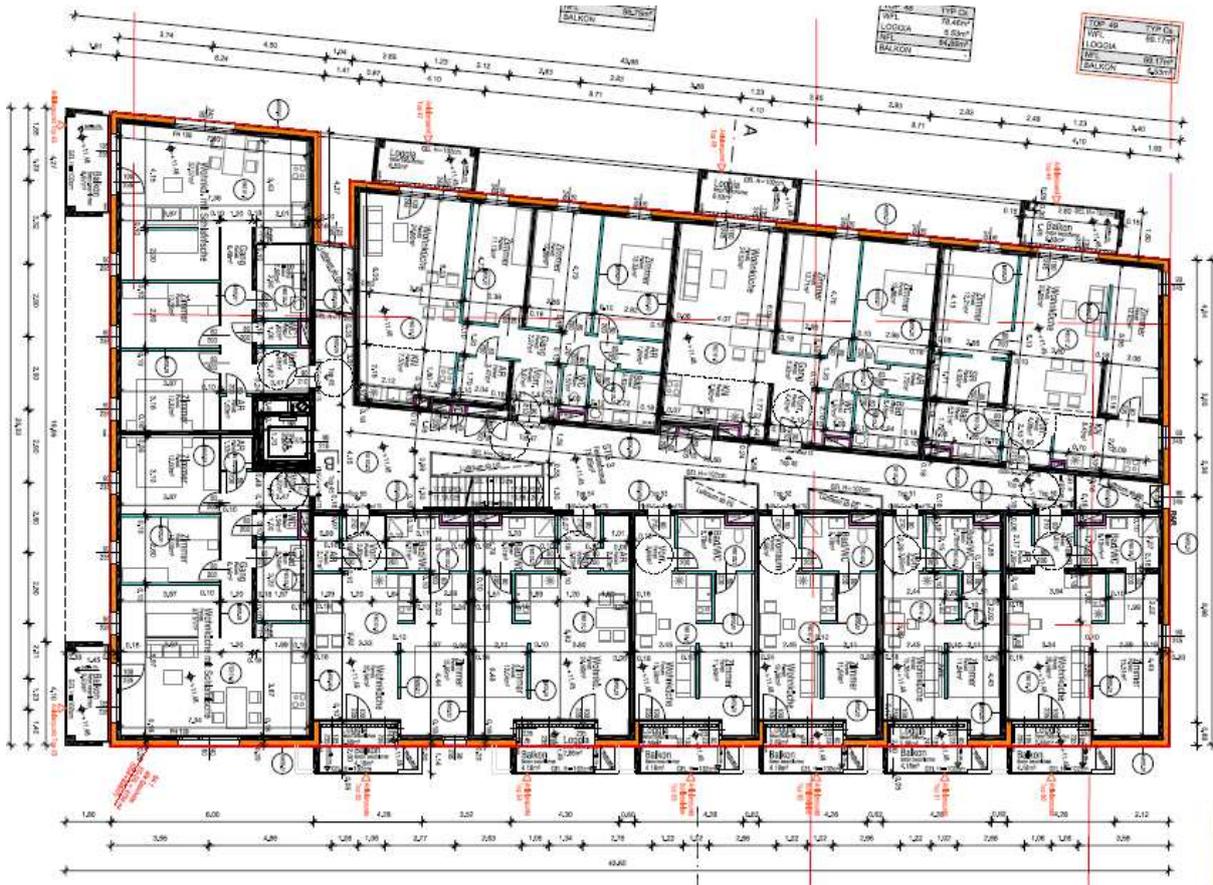
Grundriss Kellergeschoss STB-Bauweise



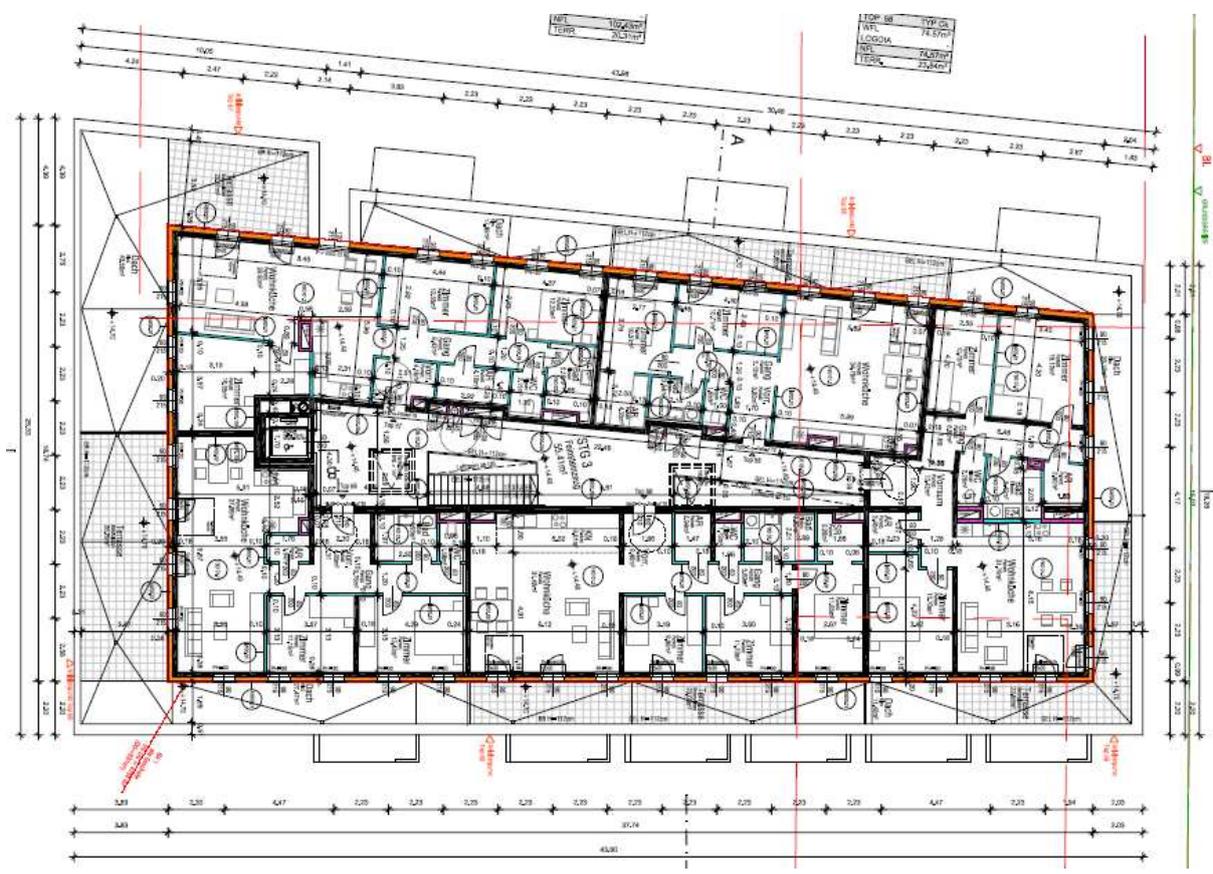
**Grundriss Erdgeschoss STB-Bauweise**



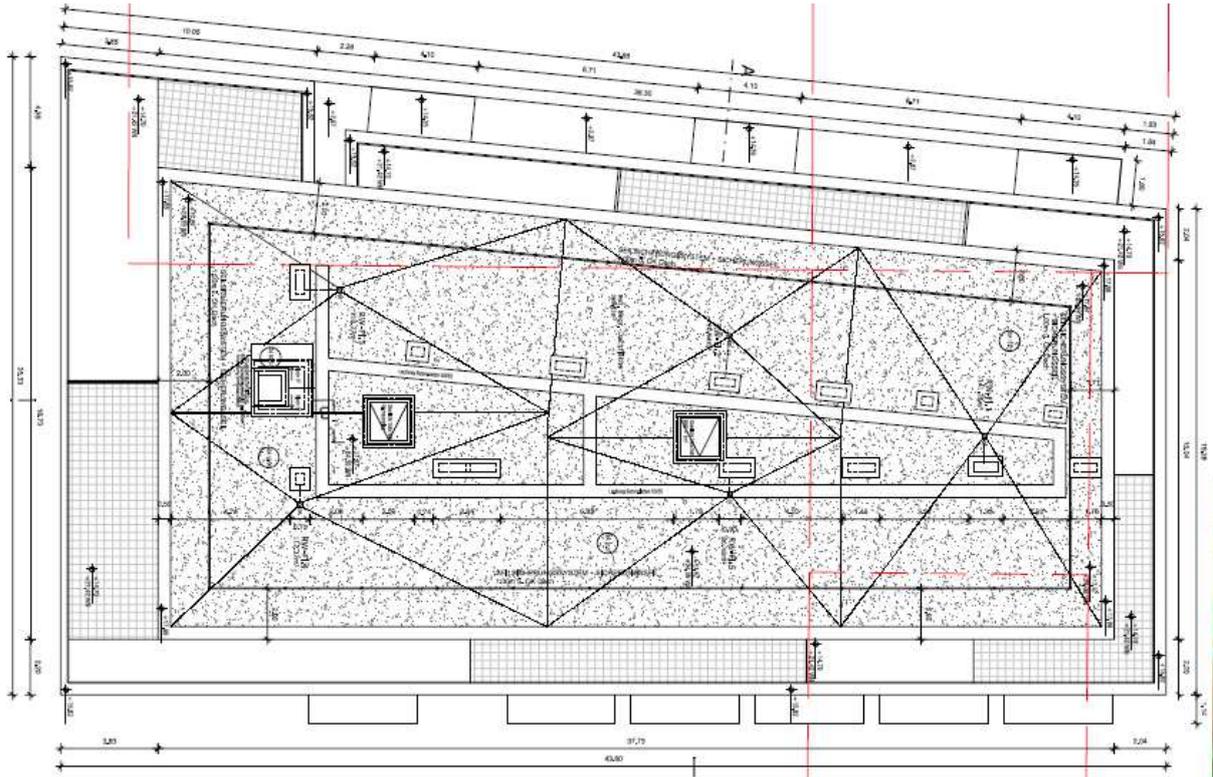
**Grundriss 1. 2. und 3. Obergeschoss STB-Bauweise**



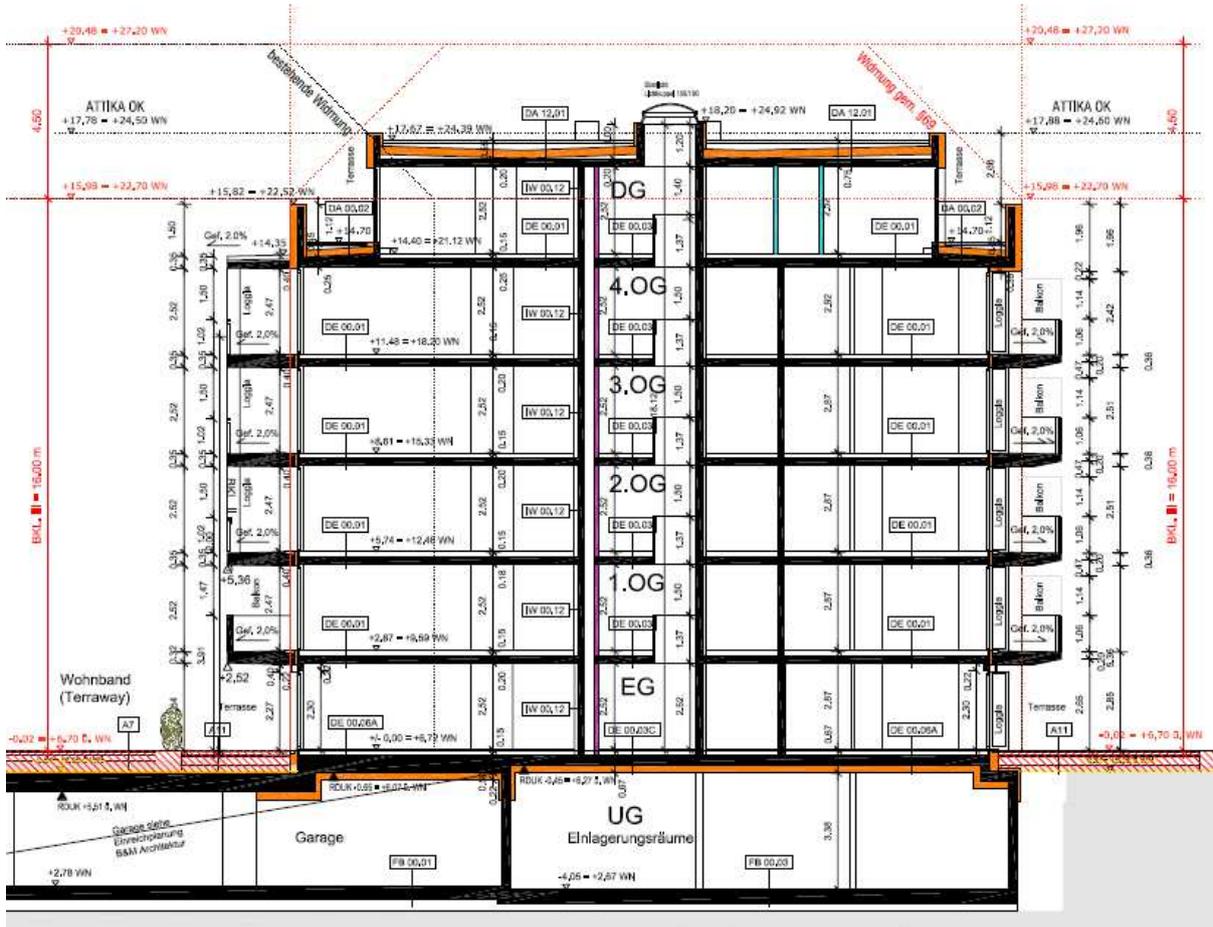
Grundriss 4.Obergeschoss STB-Bauweise



Grundriss Dachgeschoss STB-Bauweise



**Grundriss Dachdraufsicht STB-Bauweise**



**Schnitt STB-Bauweise**



Ostansicht STB-Bauweise

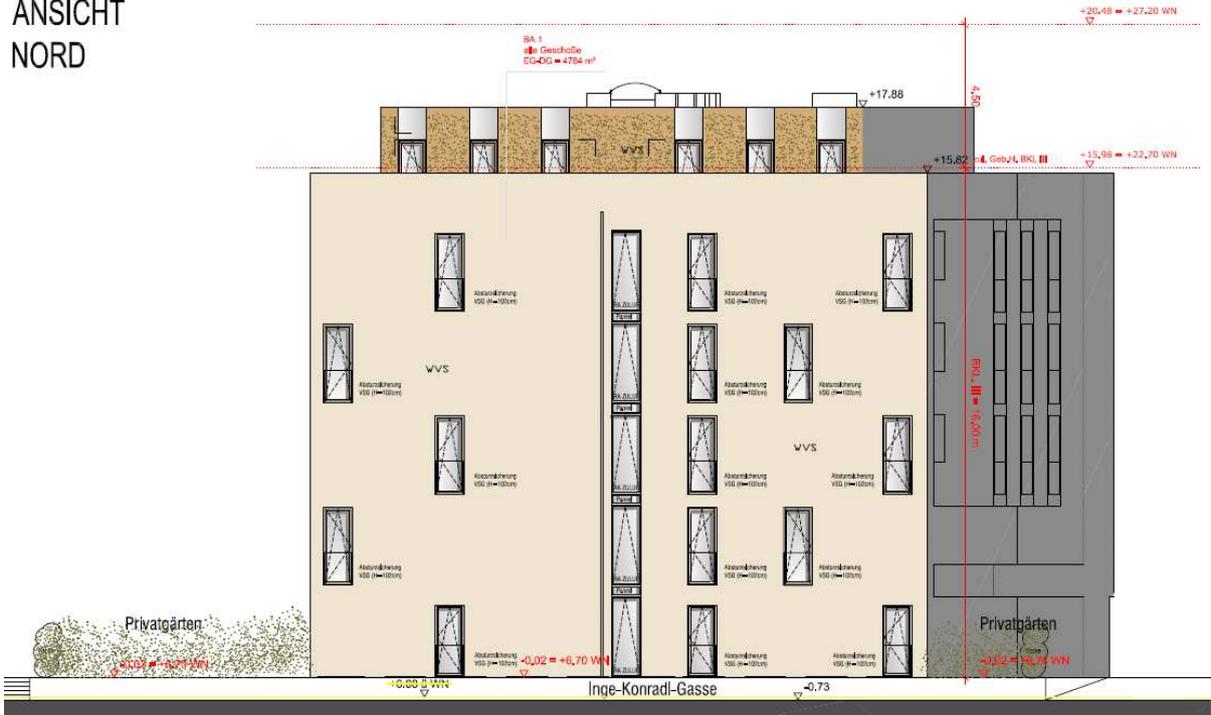


Südansicht STB-Bauweise



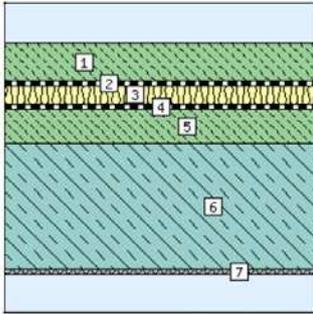
Westansicht STB-Bauweise

ANSICHT  
NORD



Nordansicht STB-Bauweise

### DeSTB01-Stahlbetondecke 20cm



U-Wert:	0,723 W/m <sup>2</sup> K <sup>1</sup>
Masse	615,3 kg/m <sup>2</sup>
PENRT	984 MJ/m <sup>2</sup>
GWP100 Summe	95,4 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
AP	0,251 kg SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

Decke, Dach: Decke innerhalb von beheizten Wohn- und Betriebseinh. ohne U-Wert-Anforderung (BG0)

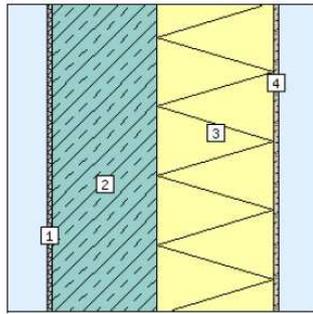
Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> /KW	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>
1	Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )		6,00	1,330	0,05	11
2	PE-Folie		0,02	0,500	0,00	1
3	AUSTROTHERM EPS T650 s'=20		3,00	0,044	0,68	2
4	Dampfbremse Polyethylen (PE)		0,02	0,500	0,00	1
5	Polystyrolbeton (500kg/m <sup>3</sup> )		5,50	0,150	0,37	15
6	Stahlbeton 100 kg/m <sup>3</sup> Armierungsstahl (2325kg/m <sup>3</sup> )		20,00	2,300	0,09	52
7	Spachtelung		0,20	0,800	0,00	0
				$R_{ei} / R_{es} =$		0,100 / 0,100
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =		1,384 / 1,384
<b>Bauteil</b>			<b>34,740</b>	<b>1,384</b>	<b>82</b>	

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

### Aufbau Regelgeschossdecke - STB-Bauweise [48]

### AwSTB01-Stahlbetonwand 18cm WDVS-EPS

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)



**0,149 W/m<sup>2</sup>K** U-Wert<sup>1</sup>

A++ RL6

OI-Klasse (BG0)<sup>2</sup> **D**

A++ A+ A B C D E F G

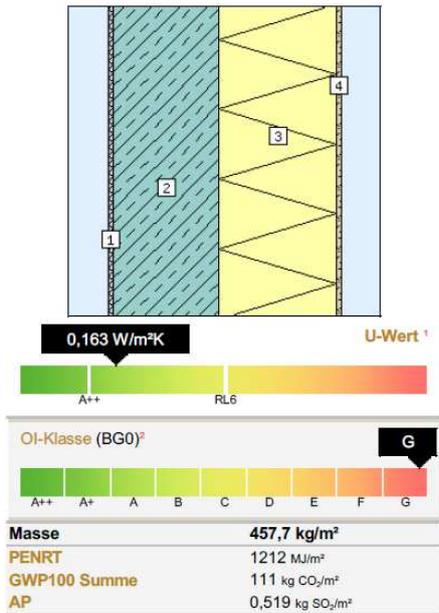
Masse	436,9 kg/m <sup>2</sup>
PENRT	1012 MJ/m <sup>2</sup>
GWP100 Summe	77,7 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
AP	0,227 kg SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> /KW	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>
1	Spachtelung		0,20	0,800	0,00	1
2	Stahlbeton 100 kg/m <sup>3</sup> Armierungsstahl (2325 kg/m <sup>3</sup> )		18,00	2,300	0,08	47
3	AUSTROTHERM EPS F PLUS		20,00	0,031	6,45	19
4	Putzfassade		0,70	0,800	0,01	11
				$R_{ei} / R_{es} =$		0,130 / 0,040
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =		6,711 / 6,711
<b>Bauteil</b>			<b>38,900</b>	<b>6,711</b>	<b>77</b>	

### Aufbau Außenwand mit EPS - STB-Bauweise [48]

### AwSTB02-Stahlbetonwand 18cm WDVS-Mineralwolle

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)

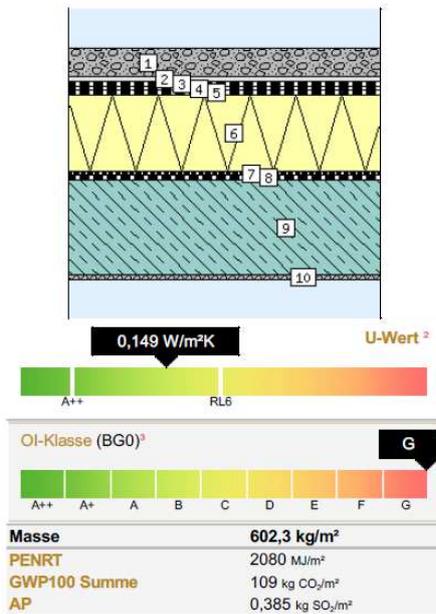


Nr.	Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	$\lambda$ W/mK	R m²K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m²
1	Spachtelung	0,20	0,800	0,00	1
2	Stahlbeton 100 kg/m³ Armierungsstahl (2325 kg/m³)	18,00	2,300	0,08	47
3	ISOVER SILLATHERM WVP 1- 035	20,00	0,034	5,88	70
4	Putzfassade	0,70	0,800	0,01	11
				$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,040
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =	6,142 / 6,142
<b>Bauteil</b>		<b>38,900</b>	<b>6,142</b>	<b>128</b>	

### Aufbau Außenwand mit Mineralwolle - STB-Bauweise [48]

#### DaSTB01-Stahlbetonflachdach 20cm

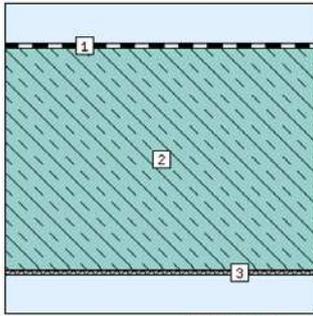
Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



Nr.	Typ Schicht	d cm	$\lambda$ W/mK	R m²K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m²
1	Kies	6,00	1	1	1
2	Gummigranulatmatte	0,60	1	1	10
3	Bauder Elastomerbitumen EKV 5	0,50	0,170	0,03	11
4	Bauder Elastomerbitumen EKV 5	0,50	0,170	0,03	11
5	Bauder Elastomerbitumen ULK	0,30	0,170	0,02	7
6	BauderPIR Kompakt Flachdachdämmplatten	16,00	0,025	6,40	30
7	BauderFLEX DNA Elastomerbitumen-Dampfsperbahn	0,40	0,170	0,02	13
8	Bauder Voranstrich LF	0,10	0,230	0,00	3
9	Stahlbeton 100 kg/m³ Armierungsstahl (2325 kg/m³)	20,00	2,300	0,09	52
10	Spachtelung	0,20	0,800	0,00	1
				$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,040
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =	6,734 / 6,734
<b>Bauteil</b>		<b>44,600</b>	<b>6,734</b>	<b>139</b>	

### Aufbau Flachdach - STB-Bauweise [48]

### Balkon-/Loggiaplatte STB



U-Wert:	3,213 W/m²K
Masse	517,4 kg/m²
PENRT	838 MJ/m²
GWP100 Summe	72,1 kg CO <sub>2</sub> /m²
AP	0,195 kg SO <sub>2</sub> /m²

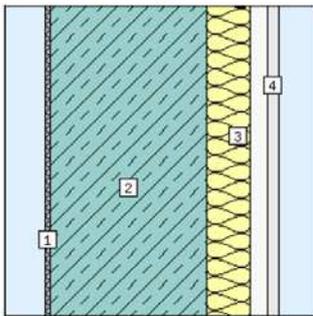
Decke, Dach: Decke innerhalb von beheizten Wohn- und Betriebseinh. ohne U-Wert-Anforderung (BG1)

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1		Balkonbeschichtung	0,30	0,230	0,01	8
2		STB-Decke i.M. 22cm	22,00	2,300	0,10	57
3		Spachtel - Gipsputz	0,20	0,800	0,00	1
			$R_{si} / R_{se} = 0,100 / 0,100$			
			$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) = 0,311 / 0,311			
<b>Bauteil</b>			<b>22,500</b>	<b>0,311</b>	<b>66</b>	

### Aufbau Balkone und Loggien - STB-Bauweise [48]

### TwSTB01-Wohnungstrennwand 18cm

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)



U-Wert <sup>1</sup> **0,637 W/m²K**

A++ RL6

Ol-Klasse (BG0) <sup>2</sup> **E**

Masse	435,3 kg/m²
PENRT	636 MJ/m²
GWP100 Summe	56,7 kg CO <sub>2</sub> /m²
AP	0,165 kg SO <sub>2</sub> /m²

Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1		Spachtelung	0,20	0,800	0,00	1
2		Stahlbeton 100 kg/m³ Armierungsstahl (2325 kg/m³)	18,00	2,300	0,08	47
3		Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralwo	7,00			
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technis	7,00	0,120	0,58	0
4		Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m² Bauteil)</b>						
0,2 kg Stahlblech, verzinkt						
					$R_{si} / R_{se} = 0,130 / 0,040$	
					$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 2,0%) = 1,601 / 1,539	
<b>Bauteil</b>			<b>26,450</b>	<b>1,570</b>	<b>53</b>	

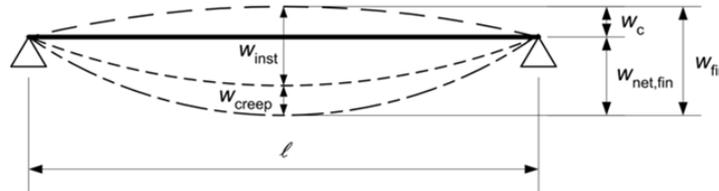
### Aufbau Trennwand - STB-Bauweise [48]

## A.2 Statische Bemessung

### Gebrauchstauglichkeit Holzbaudecken

Bei der Bemessung für Decken, die aus Holz- und Holzwerkstoffen gefertigt werden, ist der Nachweis für die Verformung sowie der Schwingung äußerste Aufmerksamkeit zu widmen. Grund dafür ist das geringe Elastizitätsmodul von Holz welches Holzbauteile auf diese Einflüsse anfällig macht.

In der ÖNORM B 1995-1-1 [17] werden Grenzwerte für die Durchbiegung definiert.



Bauteil	Empfohlener Grenzwert der Durchbiegung	
Durchbiegung infolge Einwirkungskombination	$w_{inst}$	$w_{net,fin}$
Auswirkungen am Tragwerk	nicht umkehrbar	umkehrbar
Decken, begehbare Dächer	1/300	1/250
nicht begehbare Decken und Dächer	1/200	1/150

$w_{inst}$  elastische Anfangsdurchbiegung  
 $w_{net,fin}$  gesamtenddurchbiegung  
 $l$  Bezugslänge des betrachteten Bauteils

### Grenzwerte der Durchbiegung von Decken lt. ÖNORM B 1995-1-1 [17]

Für den Nachweis der Schwingung ist die Nutzung, der Deckenaufbau und ein modaler Dämpfungsgrad  $\zeta$  lt. ÖNORM B 1995-1-1 [17] ausschlaggebend. Im Folgenden stehen 3 Nachweisformate zur Verfügung: [17]

1. Frequenzkriterium
2. Steifigkeitskriterium
3. Schwingbeschleunigung

Die einzelnen ständigen und veränderlichen Lasten auf die ermittelten Deckenaufbauten werden in der folgenden Abbildung dargestellt.

NR.	Bauteil	Eigengew.	Aufbau	$\Sigma$ Ständig	Nutzlast	Schneelast
		$g_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$s$ [kN/m <sup>2</sup> ]
DeSTB01	Stahlbetondecke 20cm	4,65	1,60	6,25	2,0 + 0,8	-
DeSTB02	Stahlbetondecke 25cm	5,85	1,60	7,45	2,0 + 0,8	-
DeHo01	Spannbeton Hohldecke 20cm	2,80	1,60	4,40	2,0+0,8	-
DeBSB01	Brettsperrholzdecke 16cm	0,80	2,30	3,10	2,0+0,8	-
DeBSB02	Brettsperrholzdecke 20cm	1,00	2,30	3,30	2,0+0,8	-
DeBBSB01	Holz Beton Verbunddecke 10+14cm	3,00	1,40	4,40	2,0+0,8	-
DeBBSB02	Holz Beton Verbunddecke 10+16cm	3,10	1,40	4,50	2,0+0,8	-
DeBBSB03	Holz Beton Verbunddecke 12+16cm	3,60	1,40	5,00	2,0+0,8	-
DeHrB01	Holzrippen Beton Verbunddecke 20cm	2,80	1,40	4,20	2,0+0,8	-
DeRBSB01	Brettsperrholz Rippendecke 38cm	0,90	2,40	3,30	2,0+0,8	-

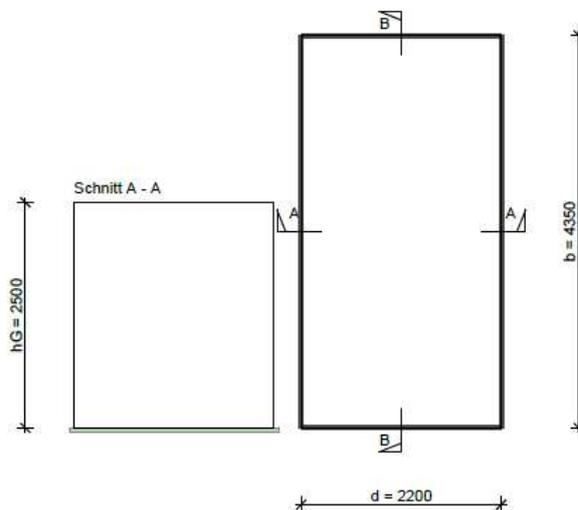
### Lastansätze für alle ermittelten Deckenbauteile

## Eingabe

<b>Ort</b>		
Wien - Floridsdorf (21. Bezirk) - Floridsdorf (21. Bezirk)		
Seehöhe: 164 m	$q_{0,0} = 0.46 \text{ kN/m}^2$	$v_{0,0} = 27 \text{ m/s (97,20 km/h)}$
Schneezone: 2	$s_k = \text{wird berechnet}$	
Erdbebenzone: 2	$a_{gR} = 0.7 \text{ m/s}^2$	
<b>Schnee</b>		
aufgeständerte Solarpaneele vorhanden:	Nein	
<b>Wind</b>		
Geländekategorie	II	
Druckbeiwerte	nach EN 1991-1-4	
Abminderung der Basisgeschwindigkeit aufgrund der Seehöhe	Nein	
<b>für die Berechnung der Gesamtwindkraft</b>		
Innendruck berücksichtigen	Ja	
Strukturbeiwert $c_s c_d$	1	
Wände Reibungsbeiwert $c_{fr}$	0.01	
Dach Reibungsbeiwert $c_{fr}$	0.01	

## Form

<b>Gebäude</b>		
b	4350	cm
d	2200	cm
$h_G$	2500	cm
<b>Dachüberstand</b>		
$D_l$	0	cm
$D_r$	0	cm
$D_v$	0	cm
$D_h$	0	cm
<b>Öffnung</b>		
	[%]	[m <sup>2</sup> ]
l	0,00	0,00
r	0,00	0,00
v	0,00	0,00
h	0,00	0,00



$c_e$	$c_t$	$c_a$	$s_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$
1	1	1	1,36

$s_k$  wurde laut Formel B.1 ÖNORM B1991-1-3 berechnet

<b>Formbeiwert</b>		
$\mu_1$	Dachfläche	0,80
<b>Lastfall</b>		
Fall(i) unverweht	Dachfläche	1,09 kN/m <sup>2</sup>
Schneeüberhang	Traufe	0,54 kN/m

## Schneelastermittlung<sup>1</sup> für Projektstandort - 1210 Wien

<sup>1</sup> konkret V5.5 – Statik Programm

## A.3 Bauphysikalische Berechnung und Randbedingungen

### A.3.1 Brandschutz

#### Allgemeine Anforderungen

Für den Brandschutz sind folgende Punkte (Grundgedanken) zu behandeln die sich in der Wiener Bauordnung [116] zum Teil wiederfinden:

- ◆ Personenschutz – Sicherung von Leben und Gesundheit von Bewohnern und Rettungsmannschaft - § 91 [116]
- ◆ Sachschutz – Sicherung von Hab und Gut
- ◆ Umweltschutz – Minimierung von Rauch, toxischen Gasen und Löschwasser
- ◆ die Tragfähigkeit des Bauwerks für einen bestimmten Zeitraum - § 92 [116]
- ◆ die Ausbreitung vom Brand im (§ 93 [116]) und an benachbarte (§ 94 [116]) Gebäude zu minimieren -

Diese Anforderungen sind weitestgehend von

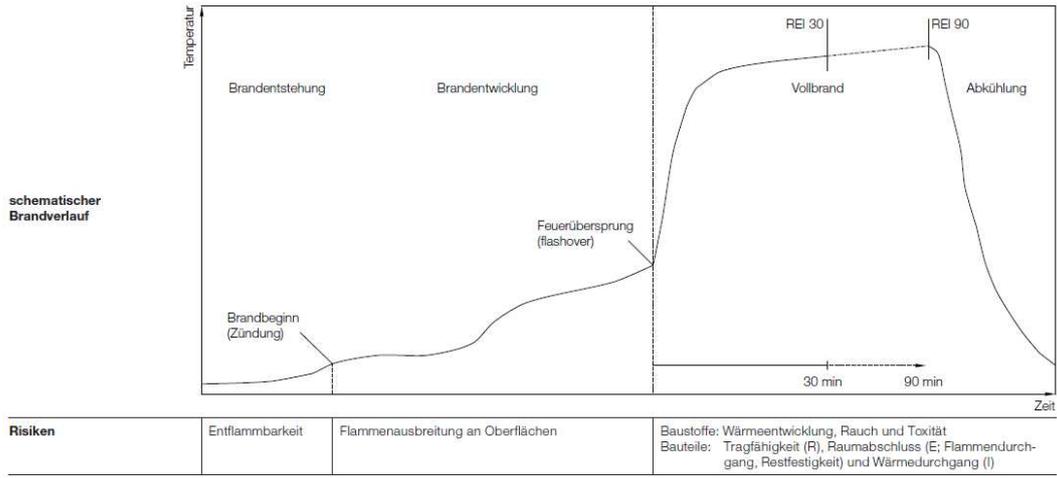
- ◆ Größe der Brandabschnitte
- ◆ Brandlasten in den Räumlichkeiten
- ◆ Flucht- und Rettungswege (§ 95 [116])
- ◆ Nachbarbebauung und Zugangs/-fahrtsmöglichkeiten (§ 96 [116])
- ◆ Fassadenkonstruktion
- ◆ Anlagen für vorbeugenden Brandschutz (z.B.: Sprinkler)

abhängig. [1]

Für die Sicherheit der Bewohner ist dabei die Gefahr in einem Holzwohnbau nicht größer als bei einer Konstruktion aus unbrennbaren tragenden Bauteilen, die in massiver Bauweise gefertigt sind. Bei einem Brand und den daraus folgende Brandtoten sowie Verletzten sind im Normalfall die toxischen Gase (CO), einatmen von Rauch und Erstickungen die maßgebenden Faktoren. Für die Feuerausbreitung und Feuerentstehung sind anfangs die Einrichtungsgegenstände, wie beispielsweise Sofas und Vorhänge, ausschlaggebender als der verwendete tragende Baustoff.

#### Brandphasen

Bei der Entstehung von einem Brand wird grundsätzlich in zwei Brandphasen unterschieden. In der ersten Phase wird in eine Zünd- und Schwellbrandphase unterschieden. In diesem Zeitraum verlaufen der Brand und der Temperaturanstieg ebenso sehr langsam. Der maßgebende Indikator für die Brandentstehung sind hierbei die Einrichtungsgegenstände sowie deren Baustoffverhalten und nicht die Konstruktion. Beim sogenannten flash-over kommt es zu einem rapiden Temperaturanstieg und leitet die zweite Brandphase, dem Vollbrand ein. In dieser Phase werden alle brennbaren Stoffe sowie Gase schlagartig entzündet. Die zweite Phase wird in Erwärmung und Abkühlphase eingeteilt und ist der Teil des Brandes an dem der bauliche Brandschutz (der Bauteile) maßgebend zum Schutz (REI-Anforderungen) beiträgt. Näheres kann aus der folgenden Abbildung entnommen werden.



### Brandentwicklungsphasen [25]

## **Definition der Gebäudeklassen lt. OIB-Richtlinie [10]**

### ◆ Gebäude der Gebäudeklasse 1 (GK1)

Freistehende, an mindestens drei Seiten auf eigenem Grund oder von Verkehrsflächen für die Brandbekämpfung von außen zugängliche Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen, mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7,00 m und insgesamt nicht mehr als 400 m<sup>2</sup> Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse, bestehend aus nicht mehr als zwei Wohnungen oder einer Betriebseinheit.

### ◆ Gebäude der Gebäudeklasse 2 (GK2)

(a) Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7,00 m von insgesamt nicht mehr als 400 m<sup>2</sup> Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse,

(b) Reihenhäuser mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7,00 m, bestehend aus Wohnungen bzw. Betriebseinheiten von jeweils nicht mehr als 400 m<sup>2</sup> Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse,

(c) Freistehende, an mindestens drei Seiten auf eigenem Grund oder von Verkehrsflächen für die Brandbekämpfung von außen zugänglichem Gebäude mit ausschließlicher Wohnnutzung mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7,00 m von insgesamt nicht mehr als 800 m<sup>2</sup> Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse.

### ◆ Gebäude der Gebäudeklasse 3 (GK3)

Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7,00 m, die nicht in die Gebäudeklassen 1 oder 2 fallen.

### ◆ Gebäude der Gebäudeklasse 4 (GK4)

(a) Gebäude mit nicht mehr als vier oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 11 m, bestehend aus mehreren Wohnungen bzw. mehreren Betriebseinheiten von jeweils nicht mehr als 400 m<sup>2</sup> Nutzfläche der einzelnen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in den oberirdischen Geschossen,

(b) Gebäude mit nicht mehr als vier oberirdischen Geschossen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 11 m, bestehend aus einer Wohnung bzw. einer Betriebseinheit ohne Begrenzung der Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschosse.

### ◆ Gebäude der Gebäudeklasse 5 (GK5)

Gebäude mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 22 m, die nicht in die Gebäudeklassen 1, 2, 3 oder 4 fallen.

### ◆ Fluchtniveau

Höhendifferenz zwischen der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen oberirdischen Geschosses und der an das Gebäude angrenzenden Geländeoberfläche nach Fertigstellung im Mittel.

## Anforderungen an das Brandverhalten von Bauteilen für Gebäudeklasse 5 [1]

	Gebäudeklasse 5 ≤ 6 oberirdische Geschosse	Gebäudeklasse 5 > 6 oberirdische Geschosse
<b>1. Fassaden</b>		
1.1 Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme	C-d1	C-d1
1.2 Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete		
1.2.1 Gesamtsystem	B-d1 <sup>1</sup>	B-d1
1.2.2 Einzelkomponenten		
Außenschicht	A2-d1 <sup>2</sup>	A2-d1 <sup>3</sup>
Unterkonstruktion	D / A2	C / A2
Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	B <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>
<b>2. Gänge und Treppen außerhalb von Wohnungen: Bekleidungen, Beläge, abg. Decken</b>		
2.1 Wandbekleidungen		
2.1.1 Gesamtsystem oder	B	B
2.1.2 Einzelkomponenten		
Außenschicht	B	B
Unterkonstruktion	A2 <sup>4</sup>	A2 <sup>4</sup>
Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2	A2
2.2 abgehängte Decken	B-s1, d0	B-s1, d0
2.3 Wand- und Deckenbeläge	B-s1, d0	B-s1, d0
2.4 Bodenbeläge	C <sub>fl</sub> -s1	C <sub>fl</sub> -s1
<b>3. Treppenhäuser: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken</b>		
3.1 Wandbekleidungen	A2	A2
3.2 abgehängte Decken	A2-s1, d0	A2-s1, d0
3.3 Wand- und Deckenbeläge	A2-s1, d0	A2-s1, d0
<b>4. Dächer mit einer Neigung ≤ 60°</b>		
4.1 Dacheindeckung bzw. Bedachung <sup>7</sup>	B <sub>ROOF</sub> (t1) <sup>5</sup>	B <sub>ROOF</sub> (t1) <sup>5</sup>
4.2 Dämmschicht bzw. Wärmedämmung in der Dachkon:	B <sup>6</sup>	B <sup>6</sup>

1) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig, wenn das Gesamtsystem die Klasse D-d0 erfüllt

2) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 oder aus Holz und Holzwerkstoffen in D zulässig

3) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 zulässig

4) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig

5) Bei Dächern mit einer Neigung ≥ 20° müssen Dacheindeckung, Lattung, Konterlattung und Schalung der Klasse A2 entsprechen; abweichend davon sind für Lattung, Konterlattung und Schalung auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;

6) Es sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E bei Dächern mit einer Neigung < 20° zulässig, wenn diese in A2 hergestellt sind und die erforderliche Feuerwiderstandsdauer auch die Leistungseigenschaften E und I erfüllt wird

7) Bei Dächern mit einer Neigung < 20° genügt als oberste Schicht auch 5 cm Kies oder Gleichwertiges

## Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen der Gebäudeklasse 5 [1]

	Gebäudeklasse 5 ≤ 6 oberirdische Geschosse	Gebäudeklasse 5 > 6 oberirdische Geschosse
<b>1 tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)</b>		
1.1 im obersten Geschoß	R 60	R 60
1.2 in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 90	R 90 und A2
<b>2 Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)</b>		
2.1 im obersten Geschoß	REI 60 / EI 60	REI 60 / EI 60
2.2 in oberirdischen Geschoßen	REI 90 / EI 90	REI 90 und A2 / EI 90 und A2
<b>3 brandabschnittsbildende Wände und Decken</b>		
3.1 sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decke	REI 90 / EI 90	REI 90 und A2 / EI 90 und A2
<b>4 Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤ 60°</b>		
4.1 Trenndecken über dem obersten Geschoß	REI 60	REI 60
4.2 Trenndecken über sonst. oberirdischen Geschoßen	REI 90	REI 90 und A2
<b>5 Balkonplatten</b>		
	R 30 oder A2	R 30 und A2 <sup>1</sup>

1) Bei Einzelbalkonen genügt eine Ausführung in R 30 oder A2, wenn die Fläche nicht mehr als 10 m<sup>2</sup>, die Auskrantung nicht mehr als 2,50 m und der Abstand zwischen den Einzelbalkonen mindestens 2,00 m beträgt.

## Anforderungen an Treppenhäuser im Verlauf des einzigen Fluchtweges [1]

	Gebäudeklasse 5 Mit mechanischer Belüftungsanlage	Gebäudeklasse 5 Mit automatischer Brandmeldeanlage und Rauchabzugseinrichtung	Gebäudeklasse 5 Mit Schleuse und Rauchabzugseinrichtung
<b>1 Wände von Treppenhäusern und Schleusen</b>			
1.1 in oberirdischen Geschoßen <sup>1</sup>	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2
<b>2 Decke über dem Treppenhaus<sup>2</sup></b>			
	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2
<b>3 Treppenläufe und Podeste</b>			
3.1 in Treppenhäusern	R 90 und A2	R 90 und A2	R 60 und A2

1) Anforderungen an den Feuerwiderstand sind nicht erforderlich für Außenwände von Treppenhäusern, die aus Baustoffen A2

2) Von den Anforderungen kann abgewichen werden, wenn eine Brandübertragung von den angrenzenden Bauwerksteilen auf das Treppenhaus durch geeignete Maßnahmen verhindert wird

## Räume mit erhöhter Brandgefahr

Bauteile mit erhöhter Brandgefahr sind Heiz-, Brennstofflager- und Abfallsammelräume. Für diese Räume müssen Decken und Wände in REI90 bzw. EI90 ausgeführt werden und raumseitig mit einer nichtbrennbaren A2 bekleidet sein. [1] Diese Anforderungen wird bei Wohnbauten im Regelfall im Erdgeschoss benötigt, wo sich die Abfallräumlichkeiten befinden.

Der Nutzen des Feuerwiderstandes von Bauteilen wird in der Vollbrandphase (2. Brandphase) relevant. Der Feuerwiderstand wird in der ÖNORM EN 13501-2 [12] geregelt. Bei dieser europäischen Norm wird in tragende und/oder brandabschnittsbildende Bauteile unterteilt.

## Brandschutzbemessung von Holzbauteilen

Bei der Einwirkungsseite kann, laut ÖNORM EN 1991-1-2 [22], die Einwirkungskombinationsregeln nach ÖNORM EN 1991-1-1 [23] für die außergewöhnliche Bemessungssituation zu kombinieren oder vereinfacht zum Zeitpunkt  $t=0$  ein Abminderungsbeiwert  $\eta_{fi}$  (aus ÖNORM EN 1995-1-2 [14]) zu der Bemessungsgröße  $E_d$  der maßgebenden Beanspruchung zu multiplizieren, um die konstante Bemessungsgröße für den Brandfall  $E_{fi,d}$  zu erhalten (siehe Formel A.1). [22]

$$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi} * E_d \quad (A.1)$$

Beim Brandfall sind die Festigkeitseigenschaften  $f_{d,fi}$  und Steifigkeitseigenschaften  $S_{d,fi}$  vom Holz nicht mit der 5%-Fraktile, wie bei einer Kaltbemessung zu wählen, sondern mit der 20 %-Fraktile. Anschließend wird dieser mit einem Modifikationsbeiwert  $k_{mod,fi}$  und Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,fi}$  lt. ÖNORM EN 1995-1-2 [14] und den dazugehörigen nationalen Anhang, abzumindern (siehe Formel A.2 und A.3).

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} * \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (A.2)$$

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} * \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (A.3)$$

Für die anschließende Ermittlung der Festigkeit und Steifigkeit des tragenden Bauteils steht die Methode des reduzierten Querschnitts und die der reduzierten Eigenschaften zur Verfügung [14]. Ersteres ist mittels Abzugs der nichttragenden abgebrannten Schicht  $d_{ef}$  die sich laut Formel A.4 zusammensetzt [14].

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 * d_0 \quad (A.4)$$

Zweiteres kann der Brandfall mit einem Modifikationsbeiwert  $k_{mod,fi}$  in Formel A.5 für die Biege-, Zug-, Druckfestigkeit sowie E-Modul angewendet werden, die mit unterschiedlichen Beiwerten  $x$  (lt. Norm) ermittelt werden [14]. Der Abminderungsbeiwert ist abhängig vom Umfang des dem Feuer ausgesetzten Restquerschnitts  $p$  und die Fläche des Restquerschnitts  $A_r$  abhängig.

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{x} * \frac{p}{A_r} \quad (A.5)$$

### A.3.2 Wärmeschutz

Wesentlich für den Wärmeschutz ist die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] und die vorhandene Stoffdicke  $d$  im Wandaufbau. Diese Leitfähigkeit gibt an, wie viel Wärmemenge durch einen Stoff geht bei einem Temperaturunterschied von einem Grad (Kelvin) zwischen einem Meter dicken Stoff pro  $m^2$  aufrechtzuerhalten. Für die Wärmedämmeigenschaften ist somit ein geringerer Wert vorteilhaft. Wesentliche Wärmeleitfähigkeitswerte von Baustoffen für den Wohnbau der Gebäudeklasse 5  $\leq$  6 Geschosse sind in der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert = Kehrwert vom Wärmedurchgangswiderstand  $R_T$ ) in  $W/(m^2 \cdot K)$  gibt die Wärmemenge an, die bei einem Kelvin Temperaturdifferenz pro  $m^2$  durch einen Körper dringt. Dieser ergibt sich durch die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  und der Baustoffdicke  $d$  sowie an den Außenschichten angesetzte pauschalen Übergangswiderständen  $R_{si}$  und  $R_{se}$  (siehe Formel A.6). [45]

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (A.6)$$

In der Bauphysik wird die Eigenschaft der Wärmespeicherung mit der spezifischen Wärmespeicherkapazität  $c$  [ $J/(kg \cdot K)$ ] und der vorhandenen Stoffdichte [ $kg/m^3$ ] ausgedrückt. Diese gibt an wie viel Energie benötigt wird, um 1 kg Stoff um einen Grad (Kelvin) zu erwärmen. Wichtige Stoffe sind ebenfalls in der folgenden Tabelle angegeben.

**Dichte, Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  und Wärmekapazität  $c$  verschiedener Baustoffe lt. [118]**

Baustoffbezeichnung	Dichte	$\lambda$	$c$
	$kg/m^3$	$W/(m \cdot K)$	$J/(kg \cdot K)$
Stahl	7850	60,000	480
Stahlbeton (1% Bewehrung)	2300	2,300	1000
Hochlochziegelmauerwerk im Dünnbettmörtel	625	0,110	1000
	825	0,130	1000
Porenbeton	475	0,135	1000
Beton mit EPS-Zuschlag	600	0,160	1000
Zementestrich	2200	1,580	1080
Kalkzementputz	1800	0,800	1100
Kalkgipsputz	1300	0,700	1000
Nutzholz Weich	475	0,120	1600
Nutzholz Hart	675	0,160	1600
Massivholzplatte (Fichte/Tanne)	475	0,120	1600
Gipskartonplatte	900	0,250	1000
OSB-Platte/Holzspanplatte	650	0,130	1700
EPS (expandiertes Polystyrol)	20	0,040	1450
XPS (extrudiertes Polystyrol)	40	0,032	1450
PUR (Polyurethan-Hartschaum)	32	0,029	1400
MW-W	50	0,035	1030
MW-T (Trittschalldämmplatten)	80	0,035	1030
MW-WF (Steinwolle)	50	0,039	1030
Holzwolleplatten (magn. geb.)	350	0,110	1470
Holzwolleplatten (zem. geb.)	550	0,140	1470
Holzfaserdämmplatten W	180	0,046	1700
Schüttung	1800	0,700	1000

### A.3.3 Schallschutz

Unter Lärm wird störender Schall verstanden, der bis zu gesundheitlichen Schäden führen kann. Somit ist es die Aufgabe bei einer Projektrealisierung diesen auf ein akzeptables Maß in den Innenräumen zu reduzieren. Für den Menschen sind jedoch nur ein bestimmter Frequenzbereich von 20 Hz bis 20000 Hz des Schalls hörbar [21]. Für den Bauakustik liegt der zu dämmende Bereich bei 100 Hz bis 3150 Hz [21], da hier die höchste Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs liegt.



Bei der Berechnung ist zu beachten, dass Schallereignisse nicht einfach addiert werden können. Der Schallpegels  $L_{ges}$  in dB wird mithilfe der Formel A.7 in Schalldrücke  $p_{ges}$  in Pa umgerechnet und diese anschließend addiert.  $p_0$  stellt die Hörschwelle in dB dar. [45]

$$L_{ges} = 10 * \log \frac{p_{ges}^2}{p_0^2} \quad (A.7)$$

Die Formel A.7 zeigt somit, dass zwei äquivalente Schallquellen zu keiner Verdopplung des Schallpegels führen.

### Bauakustische Bewertung

#### Luftschallschutz

Durch die Anregung der Bauteile durch Luft- und Körperschall, wird in den nächststehenden Räumen Luftschall abgestrahlt. Der Parameter für die Luftschalldämmung stellt das Schalldämmmaß  $R$  in dB dar, welches für die schalldämmenden Eigenschaften eines Bauteils herangezogen wird. Dieses wird mittels Verhältnisses des zehnfachen dekanischen Logarithmus der einfallenden Schallleistung  $P_1$  in dB zur abgestrahlten Schallleistung  $P_2$  in dB beschrieben.

$$R = 10 * \log \frac{P_1}{P_2} \quad (A.8)$$

Für die Schalldämmung im Bau werden noch weitere Parameter miteinbezogen, um Nebenwege mitberücksichtigen zu können. Wird das Schalldämm-Maß  $R$  auf die Bauteilfläche  $S$  normiert, erhält man das Bauschalldämm-Maß  $R'$  welches auch Nebenwegeinwirkungen beinhaltet und für Bauteilangaben verwendet wird.[21]

Für Innenbauteile im Bau wird die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  herangezogen für die in den österreichischen Richtlinien, wie OIB-Richtlinie 5 [35] Grenzwerte definiert sind. Die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  setzt sich aus Differenz des Schallpegels in dB im Senderaum und Empfangsraums zuzüglich des zehnfachen Logarithmus des Quotienten aus

der Nachhallzeit  $T$  in Sekunden und einer Bezugsnachhallzeit  $T_0$  in Sekunden (siehe Formel A.9) zusammen. [21]

$$D_{nT} = L_s - L_E + 10 * \log \frac{T}{T_0} \quad (A.9)$$

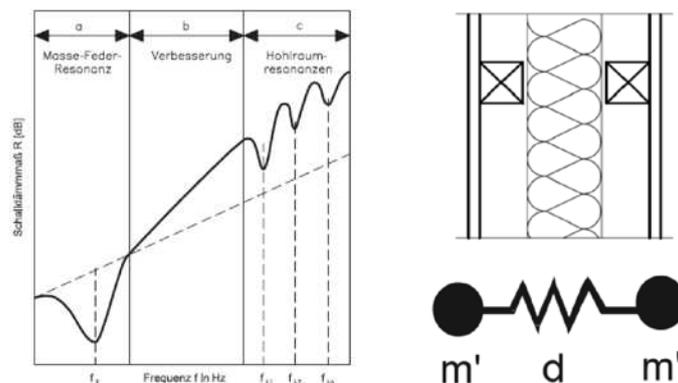
Die Nachhallzeit  $T$  in s kann mittels der „Sabineschen Formel“ ermittelt werden die sich aus dem Verhältnis von Raumvolumen  $V$  in Kubikmeter und äquivalenter Schallabsorptionsfläche  $A$  in Quadratmeter zusammensetzt (siehe Formel A.10). [45]

$$T = 0,163 * \frac{V}{A} \quad (A.10)$$

Für Außenbauteile wird der bewertete resultierende Bauschalldämm-Maß  $R_{res,w}$  der weiters die Schalldämm-Maße, wie beispielsweise von Türen und Fenstern beinhaltet. In der OIB-Richtlinie 5 [35] sind hierfür Grenzwerte für Tag und Nacht vorgegeben die abhängig vom Außenlärmpegel ermittelt werden. Der Außenlärmpegel in Österreich lässt sich vereinfacht mit der ÖNORM B 8115-2 [36] oder mittels Lärmkarten (laerminfo.at [31]) ermitteln. Für das Vorlageprojekt liegt am Ende dieses Kapitels des Schallschutzes eine Außenlärmbeurteilung bei.

Bei der Luftschalldämmung von Bauteilen kann man zunächst zwischen einschaligen und mehrschaligen Bauteilen unterscheiden. Für ersteres ist vorwiegend die flächenbezogene Masse  $m'$  und für zweiteres die flächenbezogene Masse  $m'$ , Massenverhältnisse sowie dynamische Steifigkeit  $s'$  des Fülldämmstoffs der wesentliche Indikator wie gut der Schall gedämmt werden kann.

Die Luftschalldämmung einschaliger Bauteile sind relativ leicht zu bestimmen, da hier rein die Masse  $m'$  und die Frequenz  $f$  einen Einfluss haben. Durch die geringe Maße von Holz ist es praktisch nicht möglich einen ausreichenden Schallschutz mit einschaligen massiven Holzbauwänden zu fertigen. Einschalige Bauteile werden bei geringen Anforderungen an den Schallschutz eingesetzt und dann nur mit schweren Materialien wie Ziegel oder Beton. Bei mehrschaligen Bauteilen muss das richtige Verhältnis der oben beschriebenen Einflussfaktoren gefunden werden. Mehrschalige Aufbauten können so konstruiert werden, dass sie bessere Dämmwerte erreichen als einschalige, können jedoch durch falsche Ausführung erheblich verschlechtert werden, wie beispielsweise durch direkte Kopplung der Außenschalen. Eine wesentliche Verschlechterung des Schalldämmmaßes ist bei Übereinstimmung der Frequenzen des Schalls und der Eigenfrequenz der Konstruktion (Resonanzfrequenz) zu erwarten (siehe folgende Abbildung). [21]



Schalldämmung eines mehrschichtigen Wandaufbau

## Körperschallschutz

Beim Körperschallschutz ist im Wohnbau ist allgemein die Rede von Trittschallschutz. Hier wird der Bauteil durch mechanische Impulse angeregt. Der Trittschall ist somit bei Geschossdecken von Relevanz, die durch Schritte angeregt wird. Für die Trittschallbemessung wird hierbei mit einem Normhammerwerk der Bauteil angeregt und der maximale Schallpegel im Empfangsraum  $L_2$  festgelegt. Der Bezug zur Bauteilfläche wird mit dem NORM-Trittschallpegel  $L_n$  angegeben und durch einbeziehen der Randeinflüsse (Bauzustand bzw. Flankenübertragung) mit  $L_n'$  [21]. In der OIB-Richtlinie 5 [35] sind Grenzwerte angegeben für den bewerteten Standard-Trittschallpegel  $L'_{nT,w}$  (Einzahlangabe) der sich, wie der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L'_{nT}$ , auf die Nachhallzeiten bezieht (siehe Formel A.11).  $L'_{nT}$  ist der Schallpegel  $L_E$  im Empfangsraum, von dem der zehnfache Logarithmus des Quotienten aus der Nachhallzeit  $T$  in s und einer Bezugsnachhallzeit  $T_0$  in s abgezogen wird.

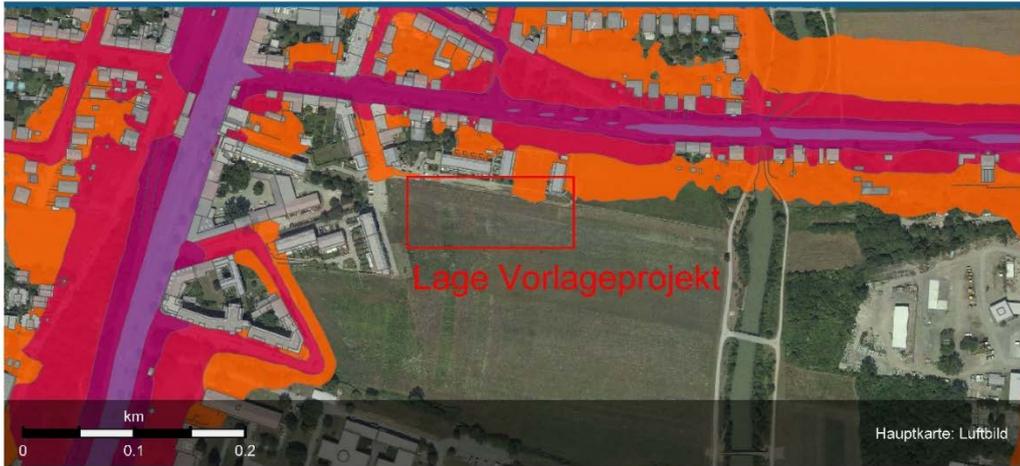
$$L'_{nT} = L_E - 10 * \log \frac{T}{T_0} \quad (A.11)$$

In der folgenden Tabelle wird die Schallschutzberechnung der ermittelten Deckenaufbauten angegeben und in der Abbildung der standortbezogene Außenlärmpegel für den Projektstandort.

### Schallschutzberechnung für die ermittelten Deckenaufbauten lt. ÖNORM B 8115-4 [96]

	Rw	f0	ΔRw	f0	ΔRw UD	Rw,ges	Ln,eq,w	ΔLw	ΔLw UD	Ln,w
	[dB]	[Hz]	[dB]	[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	
DeSTB01	61,3	65	4,3	-		65,7	69,7	29,8		39,9
DeSTB02	64,2	65	2,9	-		67,1	66,5	29,8		36,8
DeHo01	54,7	39	7,6	-		62,4	76,8	36,3		40,5
DeBSB01	46,3	39	11,9	66	11,9	64,1	85,9	36,3	11,9	43,7
DeBSB02	47,5	39	11,3	66	11,3	64,4	84,6	36,3	11,3	42,7
DeBBSB01	54,3	39	7,9	66	7,9	66,1	77,3	36,3	7,9	37,0
DeBBSB02	54,7	39	7,6	66	7,6	66,2	76,8	36,3	7,6	36,6
DeBBSB03	56,6	39	6,7	66	6,7	66,7	74,7	36,3	6,7	35,1
DeRBSB01	46,7	39	11,7	66	11,7	64,2	85,5	36,3	11,7	43,3
DeHrB01	53,3	39	8,4	66	8,4	65,8	78,3	36,3	8,4	37,8

Anm: Bei Vorsatzschalen die an beiden Seiten der massiven Wandschale angebracht sind ist das geringere ΔRw mit der Hälfte anzusetzen UD...Unterdecke



### 2017 Straßenverkehr 24h-Durchschnitt 4m

#### Überblendung

Über Tag, Abend und Nacht gemittelter Lärmpegel von Hauptverkehrsstraßen in 4 m Höhe über Boden. Erfasst sind Straßen in der Zuständigkeit der Bundesländer sowie **Autobahnen und Schnellstraßen**. Für den Abend und die Nacht sind Zuschläge enthalten. In den Ballungsräumen sind alle Straßen berücksichtigt. Berichtsjahr 2017.

**Hinweis:** Außerhalb der Ballungsräume werden die Lärmzonen unterschiedlicher Straßenkategorien nur überblendet. In den Überblendungsbereichen kann es zur **Unterschätzung des tatsächlichen Lärmpegels um bis zu drei Dezibel** kommen.

Koordinaten:  
48.29596° N  
16.42408° E

Maßstab:  
1 : 4.900



#### LEGENDE

2017 Straßenverkehr: 24h-Durchschnitt 4m		
<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: purple;"></span> > 75 dB	<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: purple;"></span> 70 - 75 dB	<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red;"></span> 65 - 70 dB
<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red;"></span> 60 - 65 dB	<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: orange;"></span> 55 - 60 dB	Linienquellen Autobahnen und Schnellstraßen
Linienquellen Landesstraßen	<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: gray;"></span> Gebäude	Lärmschutzwände
<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid red;"></span> Kilometrierung	<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: yellow;"></span> Ballungsraum	<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black;"></span> Ballungsraumgrenzen

### Lärmkarte<sup>1</sup> für Projektstandort in 1210 Wien

<sup>1</sup> maps.laerminfo.at, [Online], Available: [https://maps.laerminfo.at/?g\\_card=strasse\\_17\\_24h](https://maps.laerminfo.at/?g_card=strasse_17_24h), [Zugriff am 28.11.2018]

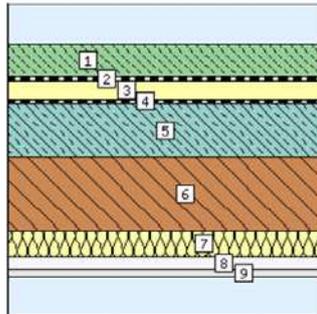
## A.1 Aufbauten für Umkonzeptionierung

Im Folgenden werden sämtliche ermittelte Aufbauten angeführt mit deren Wärmedämmverhalten und ökologischen Kennzahlen lt. *baubook.info* [48]

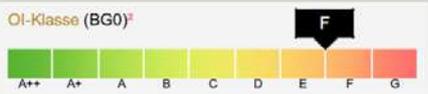
### A.1.1 Geschossdecke

#### DeBBSB01-Holz Beton Verbunddecke 10+14cm

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



0,250 W/m²K U-Wert 1

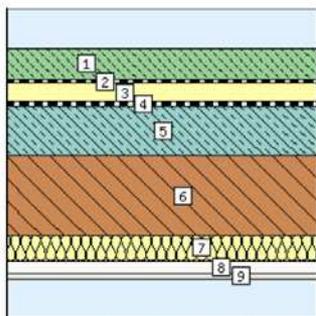


Masse	431,0 kg/m <sup>2</sup>
PENRT	1135 MJ/m <sup>2</sup>
GWP100 Summe	-15,6 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
AP	0,321 kg SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

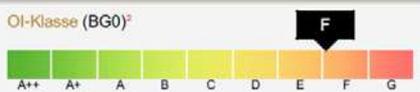
Nr. Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	R ΔOI3 Pkt/m²
1 Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	1,330	0,05	11
2 PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
3 ISOVER AKUSTIC EP 1 s'=7	3,50	0,031	1,13	9
4 PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
5 Stahlbeton 80 kg/m <sup>3</sup> Armierungsstahl (2300 kg/m <sup>3</sup> )	10,00	2,300	0,04	24
6 Brettsperrholz (475 kg/m <sup>3</sup> )	14,00	0,120	1,17	24
7 schallentkoppelte U-Direktabhängiger/CD Profil / Mineralwolle	5,00	0,039	1,28	3
8 Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d ≤ 25 mm	2,50	0,167	0,15	0
9 Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m² Bauteil)</b>				
1 kg Stahlblech, verzinkt				3
		$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,040	
		$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =	4,007 / 4,007	
<b>Bauteil</b>	<b>42,290</b>	<b>4,007</b>	<b>78</b>	

#### DeBBSB02-Holz Beton Verbunddecke 10+16cm

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



0,240 W/m²K U-Wert 1

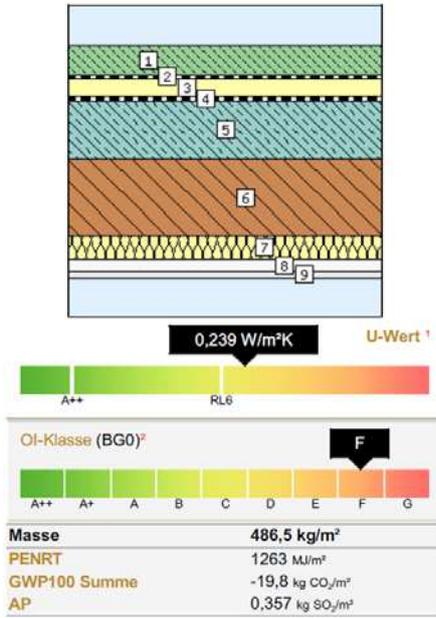


Masse	440,5 kg/m <sup>2</sup>
PENRT	1206 MJ/m <sup>2</sup>
GWP100 Summe	-26,1 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
AP	0,342 kg SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

Nr. Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	R ΔOI3 Pkt/m²
1 Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	1,330	0,05	11
2 PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
3 ISOVER AKUSTIC EP 1 s'=7	3,50	0,031	1,13	9
4 PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
5 Stahlbeton 80 kg/m <sup>3</sup> Armierungsstahl (2300 kg/m <sup>3</sup> )	10,00	2,300	0,04	24
6 Brettsperrholz (475 kg/m <sup>3</sup> )	16,00	0,120	1,33	28
7 schallentkoppelte U-Direktabhängiger/CD Profil / Mineralwolle	5,00	0,039	1,28	3
8 Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d ≤ 25 mm	2,50	0,167	0,15	0
9 Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m² Bauteil)</b>				
1 kg Stahlblech, verzinkt				3
		$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,040	
		$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =	4,174 / 4,174	
<b>Bauteil</b>	<b>44,290</b>	<b>4,174</b>	<b>81</b>	

### DeBBSB03-Holz Beton Verbunddecke 12+16cm

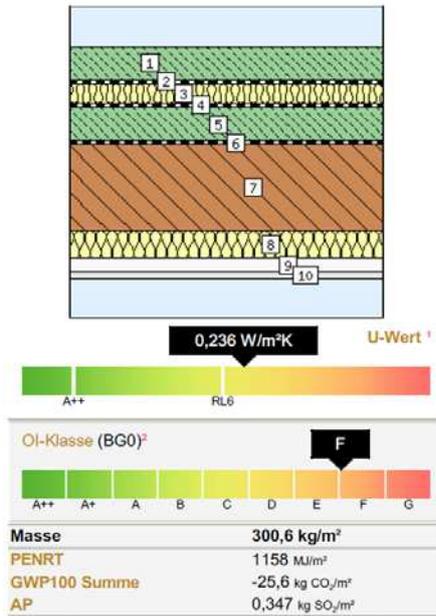
Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> /K	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>
1		Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	1,330	0,05	11
2		PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
3		ISOVER AKUSTIC EP 1 s <sup>-1</sup> =7	3,50	0,031	1,13	9
4		PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
5		Stahlbeton 80 kg/m <sup>3</sup> Armierungsstahl (2300 kg/m <sup>3</sup> )	12,00	2,300	0,05	29
6		Brettsper Holz (475 kg/m <sup>3</sup> )	16,00	0,120	1,33	28
7		schallentkoppelte U-Direktabhängiger/CD Profil / Mineralwolle	5,00	0,039	1,28	3
8		Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d <= 25 mm	2,50	0,167	0,15	0
9		Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m<sup>2</sup> Bauteil)</b>						
1 kg Stahlblech, verzinkt						3
				$R_{0,1} / R_{0,2} =$		0,100 / 0,040
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =		4,182 / 4,182
<b>Bauteil</b>			<b>46,290</b>	<b>4,182</b>	<b>86</b>	

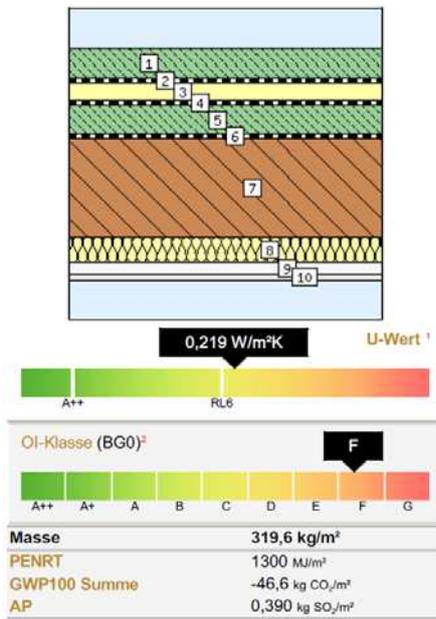
### DeBBSB01-Brettsper Holzdecke 16cm

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> /K	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>
1		Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	1,330	0,05	11
2		PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
3		ISOVER AKUSTIC EP 1 s <sup>-1</sup> =7	3,50	0,031	1,13	9
4		PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
5		elastisch gebundene Schüttung (1500 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	0,600	0,10	23
6		Rieselschutzpapier Sisalex™ 30	0,01	0,180	0,00	0
7		Brettsper Holz (475 kg/m <sup>3</sup> )	16,00	0,120	1,33	28
8		schallentkoppelte U-Direktabhängiger/CD Profil / Mineralwolle	5,00	0,039	1,28	3
9		Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d <= 25 mm	2,50	0,167	0,15	0
10		Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m<sup>2</sup> Bauteil)</b>						
1 kg Stahlblech, verzinkt						3
				$R_{0,1} / R_{0,2} =$		0,100 / 0,040
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =		4,231 / 4,231
<b>Bauteil</b>			<b>40,300</b>	<b>4,231</b>	<b>81</b>	

### DeBSB02-Brettsperrholzdecke 20cm



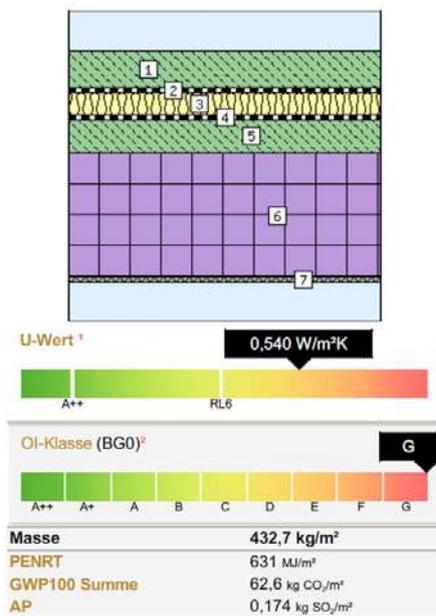
Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)

Nr.	Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> K/W	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>
1	Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	1,330	0,05	11
2	PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
3	ISOVER AKUSTIC EP 1 s'=7	3,50	0,031	1,13	9
4	PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
5	elastisch gebundene Schüttung (1500 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	0,600	0,10	23
6	Rieselschutzpapier Sisalex™ 30	0,01	0,180	0,00	0
7	Brettsperrholz (475 kg/m <sup>3</sup> )	20,00	0,120	1,67	35
8	schallentkoppelte U-Direktabhänger/CD Profil / Mineralwolle	5,00	0,039	1,28	3
9	Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d ≤ 25 mm	2,50	0,167	0,15	0
10	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2

Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m<sup>2</sup> Bauteil)

1 kg Stahlblech, verzinkt				3
	$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,040		
	$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =	4,564 / 4,564		
<b>Bauteil</b>		<b>44,300</b>	<b>4,564</b>	<b>88</b>

### DeHo01-Spannbeton-Hohldecke 20cm



Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)

Nr.	Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> K/W	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>
1	Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	1,330	0,05	11
2	PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
3	ISOVER AKUSTIC EP 1 s'=7	3,50	0,031	1,13	9
4	PE-Folie	0,02	0,500	0,00	1
5	Polystyrolbeton (500kg/m <sup>3</sup> )	5,50	0,150	0,37	15
6	Betonhohldieleckende (1400 kg/m <sup>3</sup> ) VSD- 6-20-C	20,00	1,200	0,17	17
7	Spachtel - Gipsputz	0,20	0,800	0,00	1

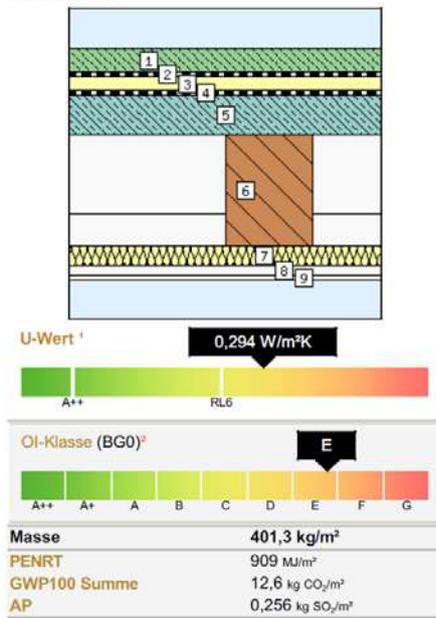
$R_{si} / R_{se} =$  0,100 / 0,040

$R' / R''$  (max. relativer Fehler: 0,0%) = 1,851 / 1,851

<b>Bauteil</b>		<b>35,240</b>	<b>1,851</b>	<b>55</b>
----------------	--	---------------	--------------	-----------

## DeHrB01-Holzrippen Beton Verbunddecke 10+28cm

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



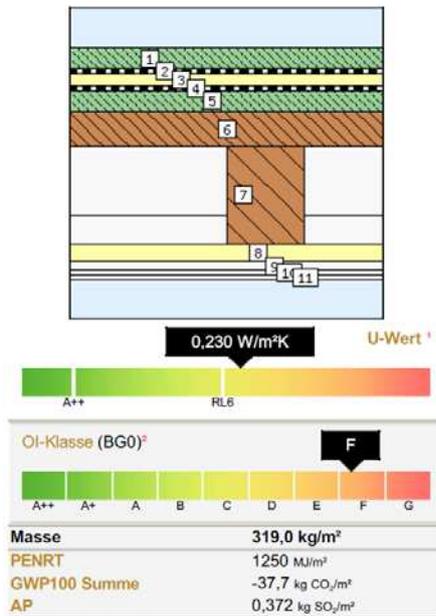
Nr.	Typ	Schicht	d cm	$\lambda$ W/mK	R m <sup>2</sup> /K	$\Delta OI3$ Pkt/m <sup>2</sup>
1	Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )		6,00	1,330	0,05	11
2	PE-Folie		0,02	0,500	0,00	1
3	ISOVER AKUSTIC EP 1 s'=7		3,50	0,031	1,13	9
4	PE-Folie		0,02	0,500	0,00	1
5	Stahlbeton 80 kg/m <sup>3</sup> Armierungsstahl (2300 kg/m <sup>3</sup> )		10,00	2,300	0,04	24
6	Brettschichtholz GL24h b/h=22/28 e=80cm		28,00			
	58 cm (52%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 196 < d		20,00	1,250	0,16	0
	58 cm (21%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 76 < d <		8,00	0,500	0,16	0
	22 cm (28%) Brettschichtholz, verleimt Innenanwendung (475 kg/r		28,00	0,120	2,33	13
7	schallentkoppelte U-Direktabhängiger/CD Profil / Mineralwolle		5,00	0,039	1,28	3
8	Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d <= 25 mm		2,50	0,167	0,15	0
9	Rigips Feuerschutzplatte		1,25	0,250	0,05	2

**Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m<sup>2</sup> Bauteil)**

1 kg Stahlblech, verzinkt						3
	$R_{si} / R_{se} =$		0,100	/	0,040	
	$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 4,2%) =		3,539	/	3,255	
<b>Bauteil</b>			<b>56,290</b>		<b>3,397</b>	<b>67</b>

## DeRBSB01-Brettspertholz Rippendecke 38cm

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



Nr.	Typ	Schicht	d cm	$\lambda$ W/mK	R m <sup>2</sup> /K	$\Delta OI3$ Pkt/m <sup>2</sup>
1	Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m <sup>3</sup> )		6,00	1,330	0,05	11
2	PE-Folie		0,02	0,500	0,00	1
3	ISOVER AKUSTIC EP 1 s'=7		3,50	0,031	1,13	9
4	PE-Folie		0,02	0,500	0,00	1
5	elastisch gebundene Schüttung (1500 kg/m <sup>3</sup> )		6,00	0,600	0,10	23
6	Brettspertholz (475 kg/m <sup>3</sup> )		10,00	0,120	0,83	17
7	Brettschichtholz GL24h b/h=22/28 e=80cm		28,00			
	58 cm (52%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 196 < d		20,00	1,250	0,16	0
	58 cm (21%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 76 < d <		8,00	0,500	0,16	0
	22 cm (28%) Brettschichtholz, verleimt Innenanwendung (475 kg/r		28,00	0,120	2,33	13
8	schallentkoppelte U-Direktabhängiger/CD Profil / Mineralwolle		5,00	0,039	1,28	3
9	Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d <= 25 mm		2,50	0,167	0,15	0
10	Rigips Feuerschutzplatte		1,25	0,250	0,05	2
11	Rigips Feuerschutzplatte		1,25	0,250	0,05	2

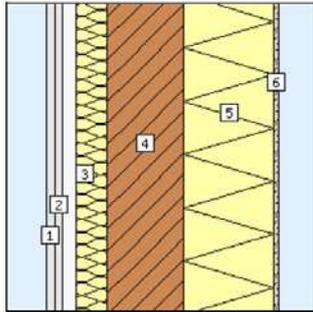
**Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m<sup>2</sup> Bauteil)**

1 kg Stahlblech, verzinkt						3
	$R_{si} / R_{se} =$		0,100	/	0,040	
	$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 3,6%) =		4,508	/	4,195	
<b>Bauteil</b>			<b>63,540</b>		<b>4,352</b>	<b>85</b>

## A.1.2 Außenwand

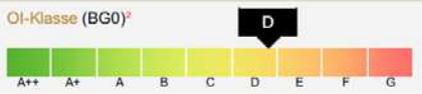
### AwBSP01-Brettsperrholzwand WDVS-MW

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
2	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
3	■	Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralw	7,00			
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technis	7,00	0,120	0,58	0
4	■	Brettsperrholz (475 kg/m³)	12,00	0,120	1,00	21
5	■	ISOVER SILLATHERM WVP 1- 035	14,00	0,034	4,12	49
6	■	Putzfassade	0,70	0,800	0,01	11
					$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,040
					$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,9%) =	6,754 / 6,635
<b>Bauteil</b>			<b>36,200</b>		<b>6,694</b>	<b>87</b>

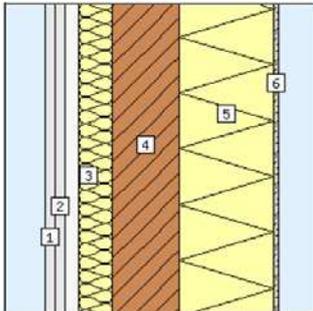
0,149 W/m²K U-Wert †



Masse	110,5 kg/m²
PENRT	1037 MJ/m²
GWP100 Summe	-23,7 kg CO₂/m²
AP	0,423 kg SO₂/m²

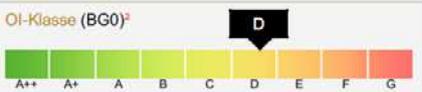
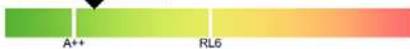
### AwBSP02-Brettsperrholzwand WDVS-MW

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,50	0,250	0,06	2
2	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,50	0,250	0,06	2
3	■	Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralw	7,00			
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technis	7,00	0,120	0,58	0
4	■	Brettsperrholz (475 kg/m³)	10,00	0,120	0,83	17
5	■	ISOVER SILLATHERM WVP 1- 035	14,00	0,034	4,12	49
6	■	Putzfassade	0,70	0,800	0,01	11
					$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,040
					$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,9%) =	6,607 / 6,488
<b>Bauteil</b>			<b>34,700</b>		<b>6,547</b>	<b>84</b>

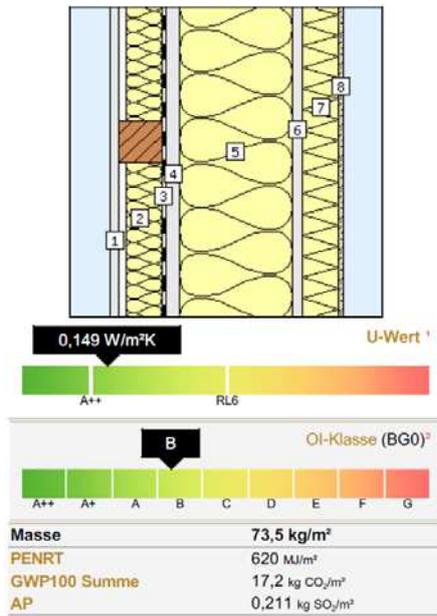
0,153 W/m²K U-Wert †



Masse	105,1 kg/m²
PENRT	980 MJ/m²
GWP100 Summe	-12,6 kg CO₂/m²
AP	0,403 kg SO₂/m²

### AwTa01-Tafelbauwand WDVS-MW

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)

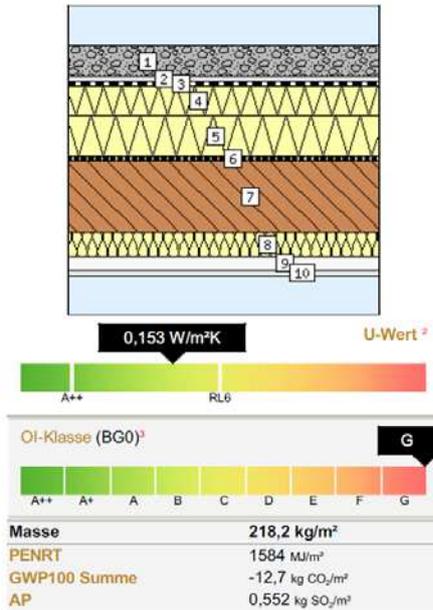


Nr.	Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> K/W	ΔOI3 Pk/m <sup>2</sup>
1	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
2	Holz Lattung (60/60; e=625) / Mineralwolle	6,00			
	56,5 cm (15%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 6 < d <	1,00	0,067	0,15	0
	56,5 cm (75%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - rau, techn:	6,00	0,120	0,50	0
3	ISOVER VARIO KM	0,01	0,500	0,00	0
4	Rigips Feuerschutzplatte	1,80	0,250	0,07	3
5	Holzriegel (6/20; e=62,5cm) / Mineralwolle	16,00			
	56,5 cm (90%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	16,00	0,039	4,10	9
	6 cm (10%) Nutzholz (425 kg/m <sup>3</sup> ) - gehobelt, techn. getrocknet	16,00	0,110	1,45	0
6	Rigips Rigidur Gipsfaserplatte	1,50	0,202	0,07	7
7	ISOVER SILLATHERM WVP 1- 035	5,00	0,034	1,47	18
8	Putzfassade	0,70	0,800	0,01	11
			$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,040	
			$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 2,6%) =	6,898 / 6,546	
<b>Bauteil</b>		<b>32,255</b>	<b>6,722</b>	<b>52</b>	

## A.1.3 Flachdach

### DaBSB01-Brettspertholzflachdach 14cm

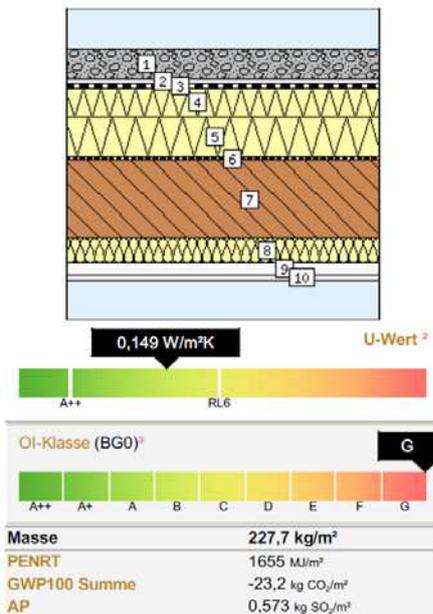
Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> K/W	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>	
1	Kies		6,00			1	
2	Gummigranulatmatte		0,60			10	
3	Abdichtung bituminös - BauderTEC KSA DUO		0,30	0,170	0,02	7	
4	ROCKWOOL Georock 037 Gefälledachsystem		6,00	0,037	1,62	26	
5	ROCKWOOL Hardrock 038		8,00	0,038	2,11	35	
6	Dampfsperre bituminös - BauderTHERM DS1 DUO		0,40	0,170	0,02	13	
7	Brettspertholz (475 kg/m <sup>3</sup> )		14,00	0,120	1,17	24	
8	schallentkoppelte U-Direktabhänger/CD Profil / Mineralwolle		5,00	0,039	1,28	3	
9	Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d <= 25 mm		2,50	0,167	0,15	0	
10	Rigips Feuerschutzplatte		1,25	0,250	0,05	2	
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m<sup>2</sup> Bauteil)</b>							
1 kgStahlblech, verzinkt							3
					$R_{gl} / R_{ge} =$	0,100 / 0,040	
					$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =	6,556 / 6,556	
<b>Bauteil</b>			<b>44,050</b>	<b>6,556</b>	<b>124</b>		

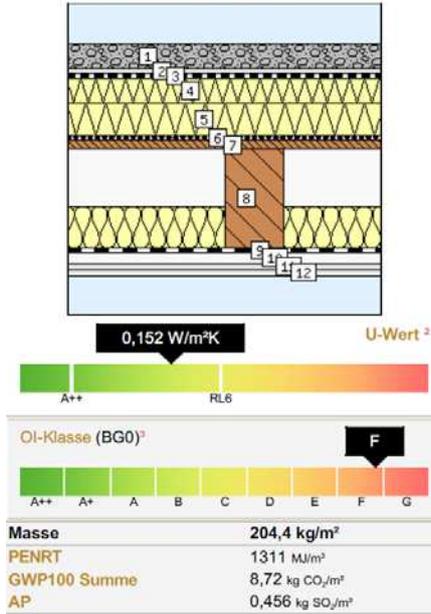
### DaBSB02-Brettspertholzflachdach 16cm

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> K/W	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>	
1	Kies		6,00			1	
2	Gummigranulatmatte		0,60			10	
3	Abdichtung bituminös - BauderTEC KSA DUO		0,30	0,170	0,02	7	
4	ROCKWOOL Georock 037 Gefälledachsystem		6,00	0,037	1,62	26	
5	ROCKWOOL Hardrock 038		8,00	0,038	2,11	35	
6	Dampfsperre bituminös - BauderTHERM DS1 DUO		0,40	0,170	0,02	13	
7	Brettspertholz (475 kg/m <sup>3</sup> )		16,00	0,120	1,33	28	
8	schallentkoppelte U-Direktabhänger/CD Profil / Mineralwolle		5,00	0,039	1,28	3	
9	Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 21 < d <= 25 mm		2,50	0,167	0,15	0	
10	Rigips Feuerschutzplatte		1,25	0,250	0,05	2	
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m<sup>2</sup> Bauteil)</b>							
1 kgStahlblech, verzinkt							3
					$R_{gl} / R_{ge} =$	0,100 / 0,040	
					$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =	6,723 / 6,723	
<b>Bauteil</b>			<b>46,050</b>	<b>6,723</b>	<b>128</b>		

### DaTr01-Balkenflachdach 24cm



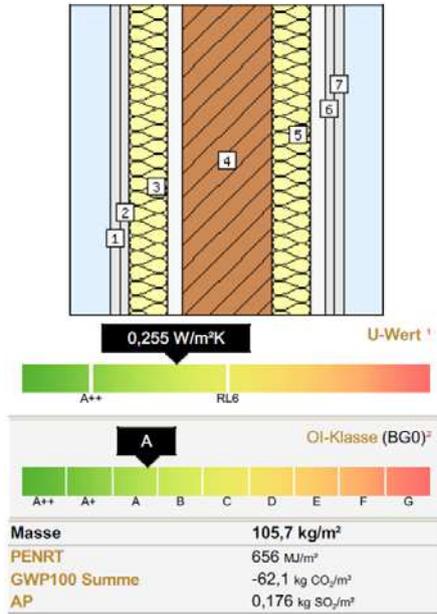
Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben (BG0)

Nr.	Typ	Schicht	d cm	$\lambda$ W/mK	R m²K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m²
1		Kies	6,00			1
2		Gummigranulatmatte	0,60			10
3		Abdichtung bituminös - BauderTEC KSA DUO	0,30	0,170	0,02	7
4		ROCKWOOL Georock 037 Gefälledachsystem	6,00	0,037	1,62	26
5		ROCKWOOL Hardrock 038	8,00	0,038	2,11	35
6		Dampfsperre bituminös - BauderTHERM DS1 DUO	0,40	0,170	0,02	13
7		EGGER OSB 4	2,20	0,130	0,17	5
8		Dämmung 10cm/Balen 14/24 e=70cm	24,00			
		48,5 cm (45%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 135 <	14,00	0,778	0,18	0
		48,5 cm (32%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	10,00	0,039	2,56	5
		14 cm (22%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, techn	24,00	0,120	2,00	-1
9		ISOVER VARIO KM	0,01	0,500	0,00	0
10		Rigips Federschienen	2,70	0,200	0,14	0
11		Rigips Feuerschutzplatte	1,50	0,250	0,06	2
12		Rigips Feuerschutzplatte	1,50	0,250	0,06	2
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m² Bauteil)</b>						
		0,2 kg Stahlblech, verzinkt				1
				$R_{sp} / R_{top} =$	0,100 / 0,040	
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 4,5%) =	6,895 / 6,304	
	<b>Bauteil</b>		<b>53,205</b>		<b>6,600</b>	<b>106</b>

## A.1.4 Wohnungstrennwand

### TwBSB01-WohnungstrennwandEG 12cm

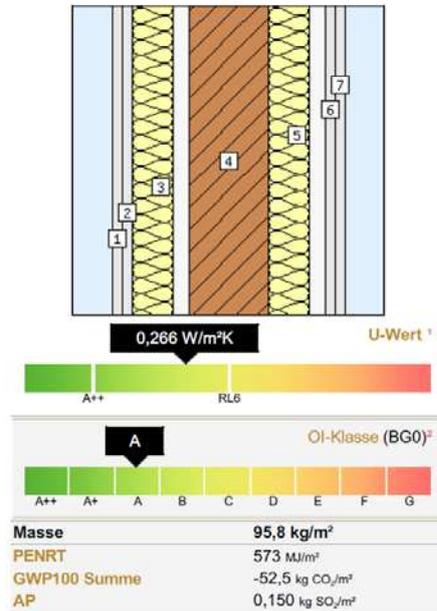
Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> /KW	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>
1	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
2	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
3	■	Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralw	7,00			
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - rau, technis	7,00	0,120	0,58	0
4	■	Brettspertholz (475 kg/m <sup>3</sup> ) 5-lagig	12,00	0,120	1,00	21
5	■	Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralw	7,00			
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - rau, technis	7,00	0,120	0,58	0
6	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
7	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m<sup>2</sup> Bauteil)</b>						
		0,4 kgStahlblech, verzinkt				1
				$R_{gl} / R_{sp} =$	0,130 / 0,040	
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 2,1%) =	4,010 / 3,846	
<b>Bauteil</b>			<b>31,000</b>	<b>3,928</b>	<b>35</b>	

### TwBSB02-Wohnungstrennwand 2.OG 10cm

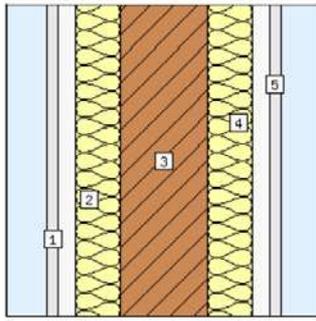
Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)



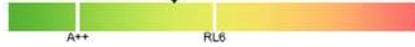
Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m <sup>2</sup> /KW	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>
1	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
2	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
3	■	Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralw	7,00			
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - rau, technis	7,00	0,120	0,58	0
4	■	Brettspertholz (475 kg/m <sup>3</sup> ) 5-lagig	10,00	0,120	0,83	17
5	■	Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralw	7,00			
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - rau, technis	7,00	0,120	0,58	0
6	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
7	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
				$R_{gl} / R_{sp} =$	0,130 / 0,040	
				$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 2,1%) =	3,837 / 3,680	
<b>Bauteil</b>			<b>29,000</b>	<b>3,758</b>	<b>30</b>	

## TwBSB03-Wohnungstrennwand nichttragend

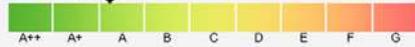
Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)



0,274 W/m²K U-Wert †



**A** OI-Klasse (BG0) ‡

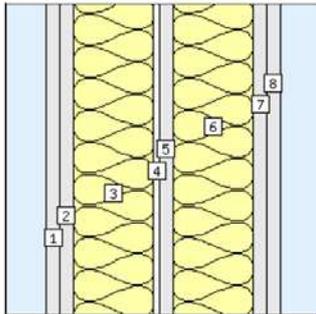


Masse	75,5 kg/m²
PENRT	503 MJ/m²
GWP100 Summe	-55,6 kg CO <sub>2</sub> /m²
AP	0,142 kg SO <sub>2</sub> /m²

Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
2	■	Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralwo	7,00			
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technis	7,00	0,120	0,58	0
3	■	Brettsper Holz (475 kg/m³) 3-lagig	10,00	0,120	0,83	17
4	■	Holz Lattung (60/60; e=625) auf Rigips Schwingbügel / Mineralwo	7,00			
		56,5 cm (65%) ISOVER TRENNWAND KLEMMFILZ TW KF	5,00	0,039	1,28	3
		56,5 cm (26%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 15 < d	2,00	0,118	0,17	0
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technis	7,00	0,120	0,58	0
5	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
			$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040	
			$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 2,1%) =		3,732 / 3,580	
<b>Bauteil</b>			<b>26,500</b>	<b>3,656</b>	<b>26</b>	

## TwTr01-Wohnungstrennwand Metallständer nichttragend

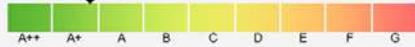
Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0)



0,228 W/m²K U-Wert †



**A+** OI-Klasse (BG0) ‡



Masse	54,9 kg/m²
PENRT	341 MJ/m²
GWP100 Summe	17,5 kg CO <sub>2</sub> /m²
AP	0,0751 kg SO <sub>2</sub> /m²

Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
2	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
3	■	freistehende Vorsatzschale (Rigips Rigiprofil CW75) / Mineralwolle	7,50	0,039	1,92	4
4	■	Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal d <= 6 mm	0,50	0,042	0,12	0
5	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
6	■	freistehende Vorsatzschale (Rigips Rigiprofil CW75) / Mineralwolle	7,50	0,039	1,92	4
7	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
8	■	Rigips Feuerschutzplatte	1,25	0,250	0,05	2
<b>Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau): (Menge pro m² Bauteil)</b>						
2 kg Stahlblech, verzinkt						
			$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040	
			$R' / R''$ (max. relativer Fehler: 0,0%) =		4,385 / 4,385	
<b>Bauteil</b>			<b>21,750</b>	<b>4,385</b>	<b>24</b>	