

## **Abschlussarbeit**

zur Erlangung des Master of Advanced Studies in Real Estate

Vorfabrizierter Holzbau: Eine ökonomische Nachhaltigkeitsbetrachtung

Verfasser: Altinger

David

Zentralstrasse 34, 8003 Zürich

david.altinger@gmail.com

076 317 47 15

Eingereicht bei: Prof. Dr. Habert, Guillaume

Abgabedatum: 25.08.2021

# Inhaltsverzeichnis

Abl	kürzungsve	erzeichnis	IV
Abl	bildungsve	rzeichnis	V
Exe	ecutive Sur	nmaryV	/II
1.	Einleitun	ıg	. 1
1	.1 Aus	gangslage und Zielsetzung	. 1
2.	Theoretis	scher Teil	. 2
2	2.1 Vor	fabrizierter Holzbau	. 2
	2.1.1	Technische Entwicklung	. 3
	2.1.2	Rolle im Schweizer Wohnungsbaumarkt	. 8
2	2 Akt	ueller Forschungsstand	. 9
	2.2.1	Bauzeitverkürzung: Studie "Was kostet ein Holzbau?"	. 9
	2.2.2	Baukostenvergleich: Studie "Holzbaukennzahlen für Investoren"	12
3.	Empirisc	her Teil	18
3	.1 Met	hodik	18
3	.2 Kos	tenseite: Experteninterviews	19
	3.2.1	Skaleneffekte der Vorfabrikation	19
	3.2.2	Investitionskosten	23
	3.2.3	Finanzierungsmodelle	25
	3.2.4	Kosten: Bewirtschaftung und Unterhalt	26
	3.2.5	Kosten: Versicherungen und Risikobewertung	28
3	.3 Ertr	agsseite: Fallstudie	31
	3.3.1	Höhere Erträge durch Bauzeitverkürzung	31
	3.3.2	Höhere Erträge durch schlanke Bauteile	33
	3.3.3	Einordnung mögliches Alpha	41
	3.3.4	Allfällige CO <sub>2</sub> Besteuerung	42
4.	Fazit und	l Diskussion	44
Lite	eraturverze	eichnis	47

## Abkürzungsverzeichnis

BAFU Bundesamt für Umwelt

BIM Building Information Modeling

BKP Baukostenplan

BSV Brandschutzvorschriften

CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung

DCF Discounted Cash Flow

EFH Einfamilienhaus

ESG Environmental, Social and Governance

GV Gebäudeversicherung

GUSTAVO Genf, Uri, Schwyz, Tessin, Appenzell-Innerrhoden, Vaud,

Obwalden

GVB Gebäudeversicherung Bern

GVG Gebäudeversicherung Graubünden

GVZ Gebäudeversicherung Zürich

IRR Internal Rate of Return

MFH Mehrfamilienhaus

MuKEn Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich

PUR Polyurethan-Hartschaum

SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

U-Wert Wärmedurchgangskoeffizient

VKF Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen

WLC Whole Life Costs

Abbildungsverzeichnis	
Abbildung 1: Whole Life Cost Betrachtung Holzbau und Massivbau	VIII
Abbildung 2: Früher Holzständerbau	3
Abbildung 3: Balloon Framing	4
Abbildung 4: Packaged House System, Konrad Wachsmann (Sumi, 2007, S. 7)	5
Abbildung 5: Konstruktive Elemente des Holzbaus	6
Abbildung 6: Konstruktive Systematik des zeitgenössischen Holzbaus	7
Abbildung 7: Maximale Transportabmessungen Deutschland	8
Abbildung 8: Bauzeitverkürzung durch Vorfertigung im Werk	9
Abbildung 9: Bauzeitverkürzung Holzbau I, Holzbau II & Holzbau III	10
Abbildung 10: Mehrwert gegenüber konventionellem Bau in Schweizer Franken	11
Abbildung 11: Mehrwert gegenüber konventionellem Bau in Prozent	12
Abbildung 12: Baukosten im Vergleich in Schweizer Franken	13
Abbildung 13: Bruttoanfangsrenditen im Vergleich	13
Abbildung 14: Substitutionseffekte auf CO <sub>2</sub> Bilanz	14
Abbildung 15: Vergleich CO <sub>2</sub> der Projekte	15
Abbildung 16: Baukosten und verbaute Menge Bauholz je Kubikmeter GV	15
Abbildung 17: Graue Energie in MJ / m²p.a.	16
Abbildung 18: CO <sub>2</sub> Emissionen in kg CO <sub>2</sub> - äq. / m <sup>2</sup> p.a	16
Abbildung 19: Umfang der Lebenszykluskosten aus schweizerischer Sicht vgl. C	CRB,
2012c, S.10	18
Abbildung 20: Vorproduktion Holzelementbau Erne Holzbau AG	20
Abbildung 21: Vorproduktion Holzmodulbau Erne Holzbau AG	21
Abbildung 22: Entwurf Modulbau Hirteweg Basel (Harry Gugger Studio, 2021)	22
Abbildung 23: Bauablauf Modulbau Hirteweg Basel (Harry Gugger Studio, 2021)	22
Abbildung 24: Grundriss Modulbau Hirteweg Basel (Harry Gugger Studio, 2021)	23
Abbildung 25: Prämienunterscheidung der obligatorischen Gebäudeversicherung	ngen
hinsichtlich Konstruktionsweise	30
Abbildung 26: Alpha in Abhängigkeit der Bauzeitverkürzung	32
Abbildung 27: U-Wert Grenzwert nach MuKEn 2008 (Wärmeschutz von Gebäu	den,
2013, S. 8)	34
Abbildung 28: Bauteilvergleich MuKEn 2008	35
Abbildung 29: U-Wert Grenzwert nach MuKEn 2014 (Mustervorschriften der Kan	tone
im Energiebereich MuKEn, 2014, S. 21)	35
Abbildung 30: Bauteilvergleich MuKEn 2014	36

Abbildung 31: Bauteilvergleich Minergie-P	37
Abbildung 32: Grundrissvergleich MuKEn 2008	38
Abbildung 33: Grundrissvergleich MuKEn 2014	39
Abbildung 34: Grundrissvergleich Minergie-P	39
Abbildung 35: Alpha in Abhängigkeit des U-Wertes	40
Abbildung 36: Alpha in Abhängigkeit des U-Wertes, inklusive	Bauzeitverkürzung
Holzbau III	41
Abbildung 37: Alpha in Abhängigkeit der Lage	42
Abbildung 38: Fallbeispiel Volumen MFH	43
Abbildung 39: Wegleitung für Investoren	46

#### **Executive Summary**

Die vorliegende Abschlussarbeit beleuchtet die ökonomischen Unterschiede eines vorfabrizierten Holzbaus gegenüber einem konventionellen Massivbau in der Whole Life Cost (WLC) Betrachtung für das Marktsegment Wohnungsbau. Das gängige Vorurteil, Holzbau sei per se teurer als ein Massivbau wird hiermit hinterfragt. Im Sinne einer ganzheitlichen Analyse wird der gesamte Lebenszyklus auf der Kosten- und Ertragsseite untersucht. Abbildung 1 stellt eine Übersicht der ökonomischen Vor- und Nachteile des vorfabrizierten Holzbaus gegenüber dem konventionellen Massivbau dar. Die Basiswerte des Massivbaus bilden jeweils die Benchmark für den Holzbau. Bei der Betrachtung der Investitionskosten fallen die höheren Kosten des Holzbaus auf. Bei einem frühen und klaren Bekenntnis zum Holzbau und einer integralen Planung können die Kosten allerdings auch gleich wie im Massivbau sein. Zudem wird hier nur der Fall des Neubaus auf der grünen Wiese verglichen, bei einem Vergleich von Auf- oder Anbauten würde die Bewertung zu Gunsten des Holzbaus ausfallen (vgl. Kapitel 3.2.2). Die Streuung der Investitionskosten zeigt eine höhere Kostensicherheit des Holzbaus durch die tiefgreifende Planung und Vorfertigung. Bei den Betriebs- und Bewirtschaftungskosten gibt es keine grundlegende Unterscheidung, da hier die konstruktive Substanz nicht entscheidend ist (vgl. Kapitel 3.2.4). Die Anpassbarkeit des Gebäudes hat beim Holzbau durch dessen Modularität Vorteile. Bei der Gebäudeversicherung kommt es auf den Kanton an, in dem das Gebäude versichert wird (vgl. Kapitel 3.2.5). In 11 von 26 Kantonen werden die Prämien für unterschiedliche Konstruktionsformen unterschiedlich bewertet. Dort ist mit bis zu doppelt so hohen Sätzen beim Holzbau zu rechnen. Auf der Ertragsseite kann der Holzbau mit einer kürzeren Bauzeit punkten, dies unter Berücksichtigung eines hohen Vorfertigungsgrades und einer ebenso kurzen Planungsphase wie im Massivbau. Dies gelingt wiederum nur mit einer frühen Festlegung auf den Holzbau, sowie einer hohen Bestellerkompetenz, damit keine Planungsschlaufen entstehen (vgl. Kapitel.3.3.1). Gerade bei schwer zugänglichen Parzellen, oder wenn keine Flächen zur Baustelleninstallation zur Verfügung stehen, ist der Holzbau mit der kurzen Bauzeit und der Anlieferung von ganzen Elementen oder Modulen eine sehr interessante Alternative zum Massivbau. Wenn man die Gebäudehülle betrachtet, bietet der Holzbau mit sehr schlanken Querschnitten Potentiale zur Optimierung der Flächeneffizienz. Durch die grösseren Nutzflächen werden die Erträge erhöht, was den entscheidenden Renditevorteil für Investitionsentscheide bringen kann.

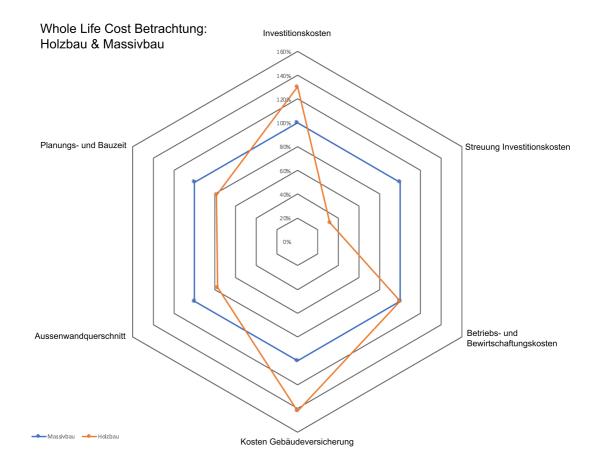


Abbildung 1: Whole Life Cost Betrachtung Holzbau und Massivbau

Zusammenfassend ist ein vorfabrizierter Holzbau unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren dem vorfabrizierten Massivbau ökonomisch mindestens ebenbürtig. Sind die Akteure im Holzbau versiert und entscheidungsfreudig sind sogar ökonomische Vorteile zu erzielen. Bezieht man nun weitere regulatorische Einschränkungen in Folge der derzeitigen geologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen im Rahmen des Klimawandels in die Betrachtung mit ein, können darüber hinaus ökonomische Risiken abgemildert werden.

## 1. Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Durch die aktuelle Klimakrise werden die Treibhausgasemissionen gerade bei der Bauindustrie immer wichtiger, da diese 40 % der weltweiten Emissionen ausmachen. Die Emissionen aus dem Betrieb von Gebäuden werden immer stärker reduziert, weshalb sich die Aufmerksamkeit nun verstärkt auf die Emissionen zur Erstellung von Gebäuden konzentriert (Röck, 2019). Daher bietet die Holzbaukonstruktion zur Reduktion der sogenannten grauen Energie eine interessante Alternative zum Massivbau. Der Rohstoff Holz ist vorhanden und hat bereits durch sein Wachstum CO<sub>2</sub> gebunden. Allerdings repräsentiert der Holzbau aktuell nur einen kleinen Teil des Marktes. Durch den vorfabrizierten Holzbau sind Skaleneffekte realisierbar, die diese Bauform auch konkurrenzfähig gegenüber den konventionellen Baumethoden macht. Da dem Holzbau der Ruf vorauseilt teurer als der Massivbau zu sein, konzentriere ich mich bei der vorliegenden Arbeit auf die ökonomischen Aspekte des vorfabrizierten Holzbaus im Wohnungsbau. Die ökologischen und gesellschaftlichen Nachhaltigkeitsaspekte des 3 Säulenmodells der Nachhaltigkeit sind nicht Teil dieser Untersuchung.

Da der vorfabrizierte Holzbau mit hohen Anfangsinvestitionen verbunden ist, erscheint dieser zunächst als hochpreisige Wahl für den Investor. Gemäss einer aktuellen Studie von Wüest & Partner bewegt sich der Median der Baukosten nach Baukostenplan 2 (BKP 2) für einen Holzbau beim 70 % Quantil eines Massivbaus (Glanzmann S. M., 2020, S. 4). Diese Betrachtung schliesst allerdings diverse Vorzüge des Holzbaus aus. Zum einen verkürzt sich die Bauzeit durch die vorfabrizierte Konstruktion um bis zu 50 %, was die Finanzierungskosten reduziert und einen Mehrwert gegenüber der konventionellen Bauweise darstellt (Glanzmann, 2021, S. 11). Zum anderen können schlankere Außenwand Querschnitte realisiert werden, was die vermietbaren Flächen vergrössert (Pirmin Jung, 2015, S. 22). Die gewonnene Fläche schlägt sich in höheren Cash-Flow nieder.

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit soll geprüft werden, ob der vorfabrizierte Holzbau im Wohnungsbau tatsächlich die teurere Alternative zur konventionellen Bauweise darstellt. Um eine möglichst ökonomisch nachhaltige Investitionsentscheidung treffen zu können, werden im Sinne einer WLC Betrachtung möglichst alle Aspekte der Kosten- und Ertragsseite untersucht. So soll geklärt werden, ob der vorfabrizierte Holzbau ganzheitlich betrachtet teurer ist als ein konventioneller Massivbau.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in fünf Kapitel. Nach der Einleitung in das Thema wird im zweiten Kapitel als theoretischer Teil vertieft auf den vorfabrizierten Holzbau eingegangen. Hier wird die technische Entwicklung, sowie die aktuelle Stellung im Baumarkt erläutert. Als Grundlage für die Untersuchung werden die WLC genauer abgegrenzt und die wichtigsten Parameter angeführt. Zudem wird der aktuelle Forschungsstand anhand von zwei Studien aufgezeigt. Im dritten Kapitel werden die Kosten und die Erträge der beiden Konstruktionsweisen gegenübergestellt. Die Kostenseite wird mit Hilfe von Experteninterviews analysiert, die Ertragsseite wird durch Modellrechnungen untersucht. Im vierten Teil werden die Erkenntnisse auf das wesentliche reduziert, so dass eine prägnante Übersicht gewonnen wird. Im Fazit werden die speziellen Vorzüge und Eigenheiten des Holzbaus kritisch hinterfragt.

#### 2. Theoretischer Teil

#### 2.1 Vorfabrizierter Holzbau

Neben den gesellschaftlichen Entwicklungen zur ökologischen Nachhaltigkeit wird der verstärkte Einsatz vorfabrizierter Holzbauteile durch technische und wirtschaftliche Vorzüge begünstigt. So handelt es sich im Gegensatz zu einem Massivbau um grösstenteils vorgefertigte Elementbauteile. Je nach Vorfertigungsgrad können komplette Fassadenelemente mit eingebauten Fenstern, Elektroverteilungen und vorgehängter Fassadenschalung als Fertigteil auf die Baustelle geliefert werden (Glanzmann, 2021, S. 5). Durch die Leichtbauweise bieten Dachaufstockungen, die in Massivbauweise aufgrund statischer Anforderungen nur schwer technisch und wirtschaftlich umsetzbar wären, zusätzliche Investitionsmöglichkeiten in Bestandsliegenschaften (Rinke, 2020, S. 16). Inzwischen werden aber nicht nur Dachaufbauten und Mehrfamilienhäuser in Holzbauweise erstellt, sondern auch ganze Siedlungen. In der Schweiz ist beispielhaft in der "Lokstadt Winterthur" das Haus "Krokodil" (Baujahr 2019) mit Lebens- und Arbeitsraum für 1'500 Menschen zu erwähnen. In Deutschland sind auf dem ehemaligen Flughafengelände Berlin-Tegel sogar 5'000 Wohnungen in Holzbauweise geplant (Baustart 2021), was das Projekt zum grössten Holzbauviertel der Welt machen würde. Weiterhin erbringt der Holzbau potenziell Imagevorteile, die bei der Vermarktung und Produktplatzierung genutzt werden können. Diese Vorteile sind monetär nur schwer zu bewerten, da sich dies bisher noch in keiner höheren Zahlungsbereitschaft niederschlägt (Gottsmann, 2021).

#### 2.1.1 Technische Entwicklung

Da Holz bereits ein nutzbares Konstruktionsmaterial ist, spielt die Vorfertigung beim Holzbau schon immer ein grosse Rolle. Die Aufteilung in Bearbeitung des Rohmaterials (Abbund) und der Fügung auf der Baustelle hat eine lange Tradition. Bereits Gottfried Semper (1803 – 1879) erläuterte anhand einer "Karaiben Hütte" das Urprinzip der Holzkonstruktion: Eine Fügung immer gleicher vertikaler Pfähle, gefasst durch horizontale Balken am Boden und am oberen Ende (Rinke, 2020, S. 27). Diese Art der Rahmenbildung hat sich zu einer frühen Form der Holzständerbauweise weiterentwickelt (siehe Abbildung 2). Die Bildung von Rahmen mit immer gleichen Elementen erlaubte eine Vorfertigung des Konstruktionsmaterials. Zudem konnten diese Rahmen, oder Fächer mit Geflecht und Lehm befüllt werden und somit ein Fachwerkhaus ausbilden. Durch horizontales Stapeln von stabförmigen Holzelementen wurde ein massiver Holzbau in Form eines Blockbaus errichtet. Die Holzstäbe waren konstruktives Tragelement und räumlicher Abschluss in einem. Die Verfügbarkeit von geradem Holz und dessen möglicher Transport zum Sägewerk und zur Baustelle bestimmten das Mass von etwa 6 Metern. Dieses hatte dann auch indirekt Einfluss auf die Grundrissgestaltung der Häuser (Rinke, 2020, S. 28).

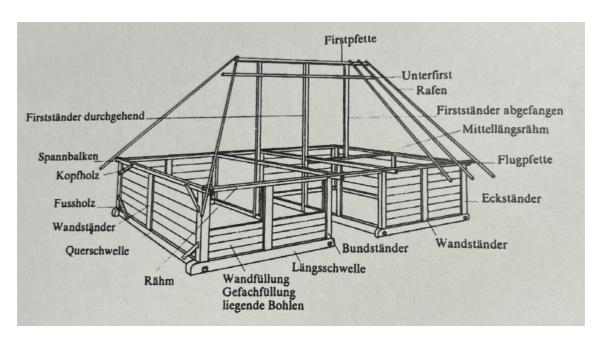


Abbildung 2: Früher Holzständerbau (Rinke, 2020, S. 28)

Mitte des 19. Jahrhunderts hat das starke Bevölkerungswachstum eine hohe Nachfrage nach Wohngebäuden generiert. Da Holz als Rohmaterial in grossem Umfang vorhanden war und dieses auch gut transportiert werden konnte, wurden vor allem aus diesem Material Häuser gefertigt. Die amerikanischen Siedler hatten nur unzureichend ausgebildete Handwerker, daher wurde die aus Europa bekannte Holzständerbauweise

durch das stark vereinfachte "Balloon Framing" ersetzt (siehe Abbildung 3). Durch den Einsatz standardisierter Elemente und einer sehr einfachen Fügung mit Nägeln erfolgte praktisch die gesamte Vorfertigung im Sägewerk mit dem Zuschnitt. So war es auch Farmern mit ungelernten Hilfskräften möglich ein Haus aufzurichten (Rinke, 2020, S. 29).

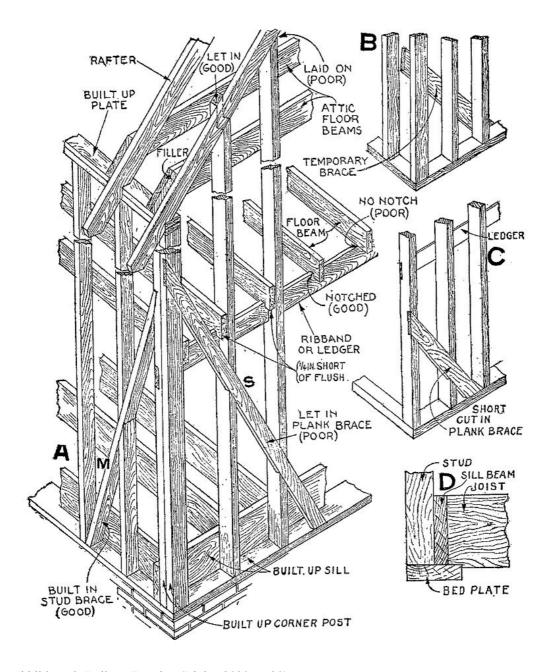


Abbildung 3: Balloon Framing (Rinke, 2020, S. 30)

Im Holzrahmenbau wurden die geschosshohen Pfosten zusammen mit den Schwellen, Balken und der Beplankung vorgefertigt. Diese Verbundelemente waren in Summe stabiler und konnten so schlanker ausgeführt werden. Nun war nicht nur die Vorfertigung eines einzelnen Bauteils im Fokus, sondern die von ganzen Elementen, was den Vorfertigungsgrad deutlich erhöhte (Rinke, 2020, S. 30).

Der deutsche Architekt Konrad Wachsmann (1901 – 1980), der zunächst für das Unternehmen Christoph & Unmack Militärbaracken, sowie vorfabrizierte Wohnbauten für englische Kolonien entwickelte, hat mit Walter Gropius (1883 – 1969) zusammen das Patent für ein vorgefertigtes Haus aus Holzpaneelen eingereicht. Dieses Projekt hatte den Namen "Packaged House System" und bildete ein beliebig erweiterbares, transportables Wohngebäude (siehe Abbildung 4). Die Reduktion auf ein einziges Anschlussdetail, also einen universellen Knoten, für alle modularen Elemente war ein sehr radikaler Ansatz, der den Vorfertigungsgrad weiter erhöhte. Die Verbindung der Elemente geschah nun nicht mehr auf der Baustelle durch Nagelverbindungen, sondern bereits im Werk. Das Projekt hatte wirtschaftlich auf Grund mangelnder Nachfrage keinen Erfolg (Rinke, 2020, S. 30-31).

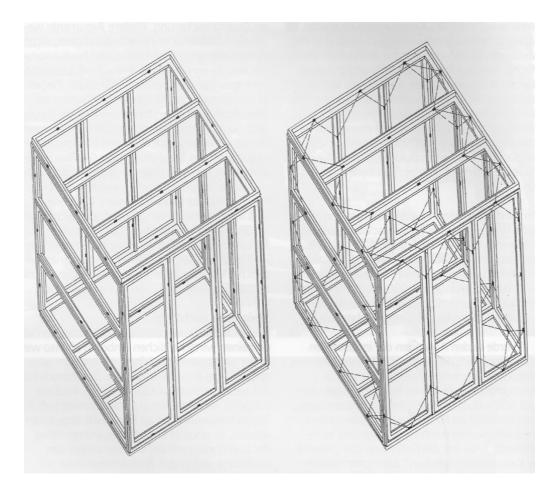


Abbildung 4: Packaged House System, Konrad Wachsmann (Sumi, 2007, S. 7)

Der moderne Holzelementbau lässt sich in drei Grundkonstruktionsformen aufteilen:

- 1. Skelettbau
- 2. Holzrahmenbau

#### 3. Holzmassivbau

Diese gliedern sich in vertikale und horizontale Bauteile (siehe Abbildung 5). Bei der Skelettbauweise löst sich der Holzbau in Stützen und Balken auf. Die Holzmassivbauweise wird entweder durch Brettstapel oder Brettsperrholzelemente realisiert. Bei der Holzmassivbauweise werden einzelne Stäbe miteinander verleimt. Werden diese aneinandergereiht spricht man von Brettstapeldecken oder einer Blockbauweise. Wenn die Bretter miteinander kreuzverleimt werden, spricht man von Brettsperrholz. Im Holzrahmenbau werden Pfosten und Riegel durch Holzplatten zusammengefasst, wodurch kompakte Module entstehen. Zudem können hier Wärmedämmung und allfällige Installationen in den Zwischenbereichen untergebracht werden.

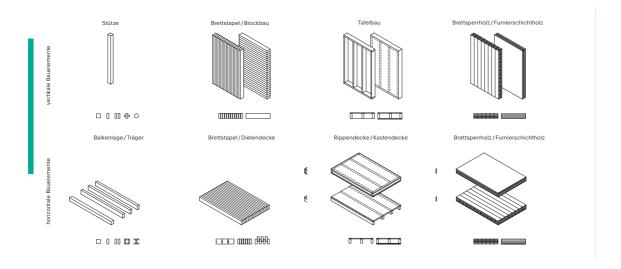


Abbildung 5: Konstruktive Elemente des Holzbaus (Rinke, 2020, S. 48)

In Ihrer Reinform werden die vertikalen und horizontalen Elemente in der gleichen Konstruktionsart miteinander kombiniert (siehe Abbildung 6). Je nach Anspruch an Transport, Wärmedämmung, Brandschutz, Statik, Vorfertigungsgrad und Ästhetik können diese aber auch beliebig miteinander kombiniert werden (Rinke, 2020, S. 49).

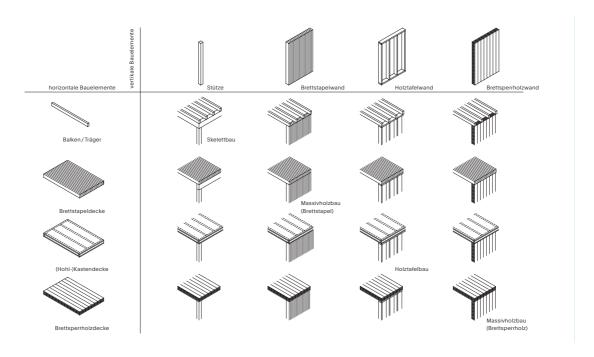


Abbildung 6: Konstruktive Systematik des zeitgenössischen Holzbaus (Rinke, 2020, S. 48)

Der höchste Vorfertigungsgrad mit der kürzesten Bauzeit wird durch die Modulbauweise ermöglicht. Hier werden komplette räumliche Einheiten vorproduziert und auf die Baustelle geliefert. Diese sehr tiefgreifende Form der Vorfabrikation eignet sich aber nur bei entsprechender räumlicher Struktur, da eine wirtschaftliche Umsetzung erst ab ungefähr 20 gleichen Einheiten möglich ist (Rinke, 2020, S. 51). Zudem wird der Entwurf dadurch sehr stark eingeschränkt und der Transportweg muss geprüft werden. Die grössten Elemente, die ohne eine Sondergenehmigung realisierbar sind, beschränken sich auf die Dimension eines Sattelschleppers von 13,5 m x 4,5 m (siehe Abbildung 7).

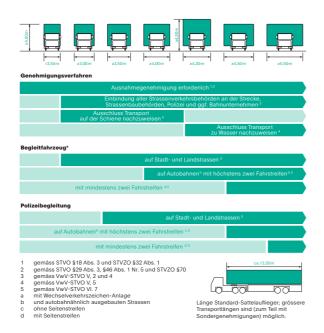


Abbildung 7: Maximale Transportabmessungen Deutschland (Rinke, 2020, S. 50)

## 2.1.2 Rolle im Schweizer Wohnungsbaumarkt

vorfabrizierten Holzbau kommt eine immer grössere Bedeutung im Dem Wohnungsbaumarkt zu. Die Marktanteile bewegen sich je nach Segment in einem Nischenbereich zwischen 10,7 % bei Mehrfamilienhäusern (MFH) – 18,8 % bei Einfamilienhäusern (EFH). Im Durchschnitt betrug der Anteil im Jahr 2018 14,2 % (Glanzmann, 2021, S. 4). Die Marktanteile nehmen stetig zu, im Jahr 2009 war der Marktanteil bei nur 6,5 % (MFH) – 14,2 % (EFH) (Neubauer-Lesch, 2015, S. 27). Unter dem wachsenden Druck auf Investoren ihr Portfolio gemäss Environmental, Social and Governance (ESG) Kriterien zu strukturieren, dürfte die Nachfrage nach Holzbauten weiter steigen. Die aktuelle Rohstoffpreisentwicklung und diejenige des Holzes im Speziellen bestätigt diese Erwartung. Gemäss Angaben von Holzindustrie Schweiz ist die globale Nachfrage nach Holz im Jahr 2021 so hoch wie nie zuvor, vor allem getrieben durch den Immobilienboom in den USA (Holzindustrie Schweiz, 2021). Erschwerend hinzu kommen schwierige politische Rahmenbedingungen für eine Erhöhung des Exportvolumens von Holz aus Kanada, so dass die USA vermehrt Holz aus Europa importieren. Da nun die grossen Exporteure verstärkt in die USA exportieren, kommt es zu Engpässen in Europa und Asien, wo die Nachfrage aktuell ebenfalls hoch ist. Durch diese Konstellation kam es per 31. März 2021 im Vergleich zum 30. November 2020 zu einer Preissteigerung von 10 % - 35 % (Holzindustrie Schweiz, 2021). Zudem verlängern sich die Lieferfristen von wenigen Tagen auf mehrere Wochen. Diese Entwicklung kann

Tagespreisen gehandelt und Bestellungen müssen viel weiter im Voraus getätigt werden, als dies normalerweise der Fall ist. Die grössten Preissteigerungen betreffen vor allem Produkte, die zuvor eine geringe Wertschöpfung produzierten. Bei Schweizer Verarbeitern sind die Preise nur moderat gestiegen (Holzindustrie Schweiz, 2021). Somit ist die aktuelle Marktsituation eine Chance für die hochpreisigen Schweizer Holzproduzenten. Gerade Kunden mit langjährigen Lieferantenbeziehungen müssen weniger starke Preissteigerungen hinnehmen. Im Zuge dieses sehr hohen Nachfragedrucks sind Investoren gut beraten auf regionale Wertschöpfungsketten zu vertrauen (Holzindustrie Schweiz, 2021).

## 2.2 Aktueller Forschungsstand

## 2.2.1 Bauzeitverkürzung: Studie "Was kostet ein Holzbau?"

Durch die Vorfertigung ist es möglich ein Mehrfamilienhaus in wenigen Tagen komplett aufzurichten. Dies verkürzt nicht nur die Bauzeit, sondern senkt witterungsbedingte Produktionsrisiken und sorgt für den früheren Bezug von Cash-Flow. Die Vorfabrikation erhöht damit die Kostensicherheit und sorgt für einen schnelleren Kapitalumschlag bei geringen Kostenrisiken. Dementsprechend können die Erstellungskosten präziser ermittelt werden und sind insgesamt mit einem geringeren unternehmerischen Risiko behaftet. Während die Baustelleninstallationen und Aushubarbeiten auf der Baustelle fortschreiten, werden im Werk parallel dazu die Holzelemente und Module hergestellt (Glanzmann, 2021, S. 10).

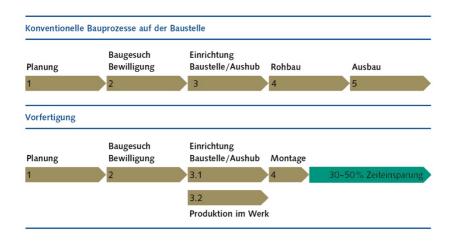


Abbildung 8: Bauzeitverkürzung durch Vorfertigung im Werk (Glanzmann, 2021, S. 10)

Des weiteren ergeben sich durch den hohen Vorfertigungsgrad weniger Schnittstellen auf der Baustelle und somit auch weniger unternehmerisches Risiko (Rinke, 2020, S. 50). Je nachdem wie integral die Planung ist und wie hoch der Vorfertigungsgrad ist, lassen sich zwischen 30 % - 50 % der Bauzeit einsparen (siehe Abbildung 8).

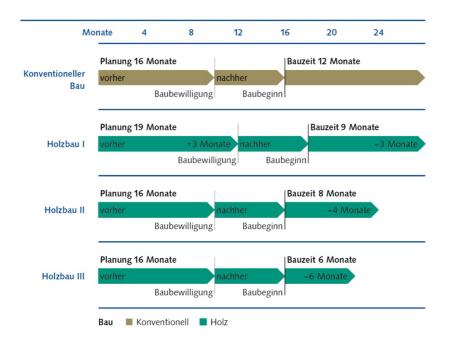


Abbildung 9: Bauzeitverkürzung Holzbau I, Holzbau II & Holzbau III (Glanzmann, 2021, S. 10)

Das Immobilienberatungsunternehmen Wüest & Partner hat in Zusammenarbeit mit der Plattform der Schweizer Holzwirtschaft Lignum eine Modellinvestitionsrechnung erstellt, um den ökonomischen Mehrwert einer Bauzeitverkürzung in Abhängigkeit der Lagequalität abzuschätzen (Glanzmann, 2021, S. 10-11). Dabei wird zwischen Holzbau I, Holzbau II und Holzbau III unterschieden. Dies soll die Tiefe der Vorfertigung, sowie der integralen Holzbauplanung repräsentieren (siehe Abbildung 9). Unter der Annahme eines MFH mit 10 Wohnungen, mit 16 Monaten Planungs- und 12 Monaten Bauzeit wird mittels der Residualwertmethode der potenzielle Jahresertrag ermittelt und mit der Renditeerwartung eines Investors kapitalisiert. Von dem resultierenden Ertragswert werden die Erstellungskosten abgezogen. Diese Modellrechnung wird für zwei unterschiedliche Lagen erstellt: einmal an einer durchschnittlichen Lage mit einem Mietpreispotential von 260 CHF / m²p.a. und einmal an einer guten Lage mit einem Mietpreispotential von 350 CHF / m²p.a. Die Finanzierungskosten werden zwischen 0.6 % p.a. (Planung vor Baubewilligung), 1.65 % p.a. (Planung nach Baubewilligung) und 2.7 % p.a. (Bauzeit) angenommen.

Der entstehende Ertragswert liegt bei 8,8 Mio. CHF an einer guten Lage und 5,5 Mio. CHF an einer durchschnittlichen Lage. Wenn man die Erstellungskosten und die Entwicklungsrisiken abzieht, ermittelt sich ein Landwert von 5 Mio. CHF (gute Lage) und 2 Mio. CHF (durchschnittliche Lage).

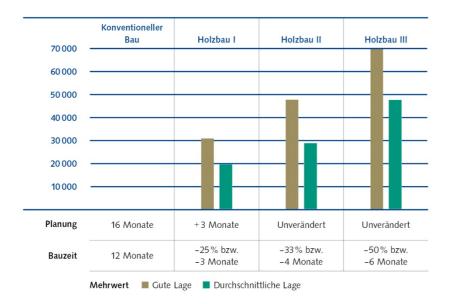


Abbildung 10: Mehrwert gegenüber konventionellem Bau in Schweizer Franken(Glanzmann, 2021, S. 11)

Die Mehrwerte bewegen sich je nach Holzbauausführung und Lagequalität zwischen 20'000 CHF und 76'000 CHF, dies entspricht relativen Mehrwerten von 0,6 % - 2,3 %, (siehe Abbildung 10). Der Mehrwert ist also an guten Lagen etwas höher, was sich mit höheren Refinanzierungskosten für das teurere Grundstück erklären lässt. Somit fällt hier die Bauzeitverkürzung in absoluten Zahlen stärker ins Gewicht.

In der relativen Betrachtung äussert sich der Mehrwert bei den durchschnittlichen Lagen stärker, da der Anteil der Finanzierungskosten im Verhältnis zum Landwert höher ist (Glanzmann, 2021, S. 11).

Somit sind bei einer optimalen Holzbauplanung Steigerungen des Marktwertes von über 2 % möglich (siehe Abbildung 11).

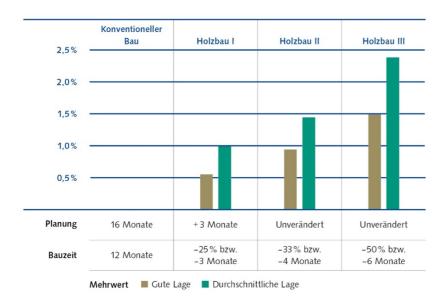


Abbildung 11: Mehrwert gegenüber konventionellem Bau in Prozent (Glanzmann, 2021, S. 11)

Die Studie zeigt den grössten Mehrwert beim sogenannten Holzbau III, mit der kürzesten Planungs- und Bauzeit. Die Tiefe des Vorfertigungsgrades wird noch in Kapitel 3.2.1 kritisch hinterfragt. Diese hat je nach Typologie oder wirtschaftlichem Anspruch einen Grenznutzen. Zudem wird in der Studie eine Modellrechnung an einem konkreten Beispielprojekt erstellt, um eine bestimmte Rendite zu ermitteln. Um eine möglichst allgemeingültige Aussage, unabhängig von der Projektgrösse, zu ermitteln wird eine Modellrechnung mit der jeweiligen Internal Rate of Return (IRR) durchgeführt (siehe Kapitel 3.3.1).

## 2.2.2 Baukostenvergleich: Studie "Holzbaukennzahlen für Investoren"

Die Studie "Holzbaukennzahlen für Investoren" (Glanzmann S. M., 2020) von Wüest und Partner in Zusammenarbeit mit Lignum und im Auftrag vom Bundesamt für Umwelt hat sich zum Ziel gesetzt relevante Holzbaukennzahlen im Holzbau zu erarbeiten und mit dem hauseigenen Datensatz abzugleichen. Es wurden 8 Mehrfamilienhäuser mit untergeordnetem Gewerbeanteil und Erstellungskosten BKP 1 – 5 von über 10 Mio. CHF miteinander verglichen. Es sind alle drei relevanten Bauweisen in der Stichprobe vertreten: Rahmenbau, Skelettbau und Massivholzbau. Der Abgleich mit den Kosten für Massivbauten zeigt auf, dass die Holzbauten bei den Erstellungskosten BKP 2 im 70 % Quantil der Massivbauten liegen (sieh Abbildung 12). Hier ist zu beachten, dass die Holzbauten einen hohen Ausbaustandard und mindestens den Minergie Standard aufweisen. Die Projekte haben zusätzlich höhere Investitionen benötigt, da sie durchweg Pioniercharakter hatten.

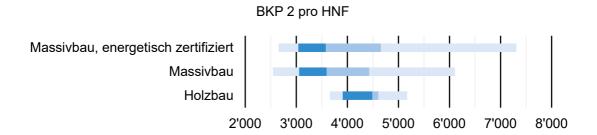


Abbildung 12: Baukosten im Vergleich in Schweizer Franken (Glanzmann S. M., 2020, S. 3)

Zudem fällt auf, dass die Streuung bei den Holzbauten viel geringer ausfällt. Die Planungs- und Baukosten lassen sich dank der sehr präzisen Detailplanung, Elemententwicklung und dem hohen Vorfertigungsgrad besser einschätzen. Durch die sehr weit entwickelte Bauweise ist eine Einbindung in die Building Information Modeling (BIM) Planung sehr gut möglich.

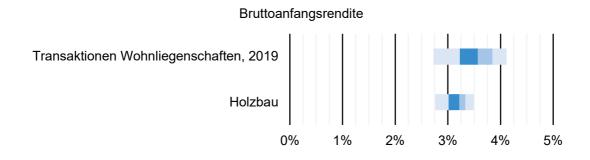


Abbildung 13: Bruttoanfangsrenditen im Vergleich (Glanzmann S. M., 2020, S. 4)

Die Fallstudien befinden sich an Orten mit hohem Mietzinspotential. Wie das Diagramm in Abbildung 13 zeigt, ist die Renditeerwartung trotz der hohen Baukosten immer noch realistisch.

Die Brandschutzvorschriften (BSV) wurden durch die Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) im Jahr 2015 stark angepasst. Im Zuge dessen sind nun Holzbauten den Massivbauten gleichgestellt, sofern Sie die Anforderungen an das Brandverhalten erfüllen. So können Holzbauteile, mit nicht brennbaren Materialien versehen, bis zu einem Feuerwiderstand von 90 min eingesetzt werden. Bei Sprinklern ist es sogar möglich über der Hochhausgrenze von 30 m mit sichtbaren Holzbauteilen zu arbeiten.

Um das Potential der Treibhausgasemissionen zu betrachten, werden drei Studien untersucht, die gebaute Gebäude in beiden Konstruktionsweisen ausgewertet haben. Hier ist zu beachten, dass das Holz in möglichst unbearbeiteter Form verwendet wird, da bei

aufwendigen Verleimungen der Vorteil gegenüber dem Massivbau schwindet. In der Schweiz sollen bis zum Jahr 2030 die CO<sub>2</sub> Emissionen halbiert werden und bis zum Jahr 2050 sollen grundsätzlich keine Emissionen mehr emittiert werden. Dabei kommt Holz auf Grund folgender Eigenschaften eine wichtige Rolle zu (siehe Abbildung 14).

- CO<sub>2</sub> Senke: Es kann Holz im Wald behalten werden, um CO<sub>2</sub> zu speichern
- CO<sub>2</sub> Speicher: In Möbeln, Bauteilen etc. wird CO<sub>2</sub> gebunden und zurückgehalten
- Materialsubstitution: Wenn Holz anstelle Beton eingesetzt wird, wirkt sich dies gleich doppelt positiv auf die Bilanz aus
- Energieträger: Am Ende des Nutzungszeitraums kann Holz als Brennstoff eingesetzt werden

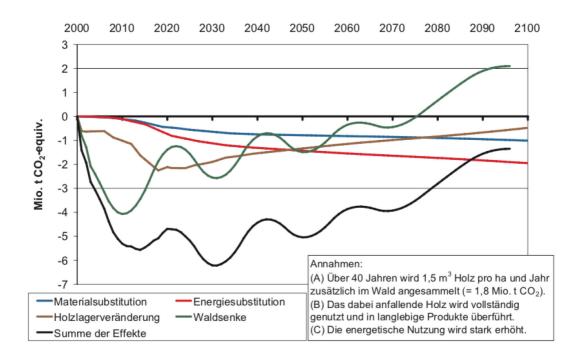


Abbildung 14: Substitutionseffekte auf CO<sub>2</sub> Bilanz (Glanzmann S. M., 2020, S. 36)

Kohlenstoff hat einen Anteil von 50 % am Holz, dieses hat eine Darrdichte von ca. 500 kg / m³, somit sind in einem Kubikmeter Holz ca. 250 kg CO<sub>2</sub> gebunden. Es werden 3,67 kg CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre benötigt, um 1kg Kohlenstoff anzureichern. Das ergibt 917 kg gebundenes CO<sub>2</sub> je Kubikmeter Holz, was der Einfachheit halber in 1t CO<sub>2</sub> / m³ Holz übersetzt werden kann.

Fallbeispiel-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Verbaute Menge Bauholz, in Tonnen	825	102	285	1' 126	315	261	2' 399	450
Verbautes Bauholz pro m² o.i. GF, in Kilo- gramm	81	20	71	101	84	39	144	99
Gebundenes CO <sub>2</sub> , in Tonnen	1'650	205	569	2' 252	630	521	4' 797	900
Anzahl Flüge ZHR JFK, retour, Economy	565	70	195	775	215	180	1'650	310
Anzahl Weltumrundungen im Mittelklassewa- gen	131	16	45	179	50	41	381	72

Abbildung 15: Vergleich CO<sub>2</sub> der Projekte (Glanzmann S. M., 2020, S. 29)

Abbildung 15 veranschaulicht wieviel CO<sub>2</sub> jeweils in den Gebäuden gebunden wird. Das Holz kann nach der Nutzungsdauer zur Energiegewinnung verfeuert werden. Damit wird allerdings das CO<sub>2</sub> wieder in den Kreislauf zurückgegeben.

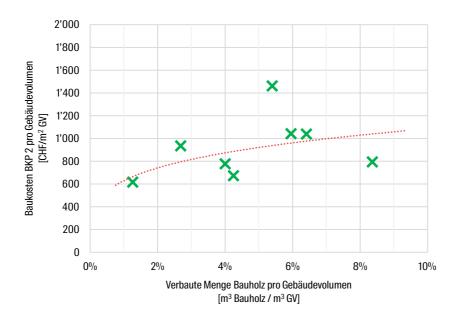


Abbildung 16: Baukosten und verbaute Menge Bauholz je Kubikmeter GV (Glanzmann S. M., 2020, S. 25)

Abbildung 16 zeigt einen Zusammenhang zwischen dem Holzanteil und den Baukosten. Allerdings ist die Datenmenge recht klein, um eine verlässliche Aussage zu treffen. Ausserdem liegt das Projekt mit über 8 % Holzanteil im unteren Mittelfeld, was die Baukosten angeht.

	Holzrah	menbauweise	Massiv	Massivholzbauweise		ıssivbauweise
	MuKEn	Minergie-P	MuKEn	Minergie-P	MuKEn	Minergie-P
Gebäude unter Terrain	8	11	8	11	8	11
Aussenwand	7	8	9	11	10	12
Fenster, Balkone	23	24	23	24	24	25
Decken, Innenwände	16	16	14	14	18	18
Dächer	7	8	7	8	7	8
Innenausbau	19	20	22	23	19	20
Haustechnik	18	22	18	22	18	22
Total	100	109	102	113	105	116

Abbildung 17: Graue Energie in MJ / m<sup>2</sup>p.a. (Glanzmann S. M., 2020, S. 33)

Bei der Berechnung der grauen Energie sieht man in Abbildung 17, dass die Holzrahmenbauweise am besten abschneidet. Die Massivbauweise ist je nach energetischem Standard um 5 % - 7 % schlechter. Die Massivholzbauweise liegt jeweils zwischen der Rahmenbauweise und der Massivbauweise, was durch den hohen Energieaufwand für die Verleimung der Holzstücke zu Stande kommt.

	Holzrah	menbauweise	Massiv	Massivholzbauweise		assivbauweise
	MuKEn	Minergie-P	MuKEn	Minergie-P	MuKEn	Minergie-P
Gebäude unter Terrain	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9
Aussenwand	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7
Fenster, Balkone	1.6	1.7	1.6	1.7	1.8	1.8
Decken, Innenwände	1.2	1.2	1.3	1.3	1.8	1.8
Dächer	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6
Innenausbau	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6
Haustechnik	1.2	1.4	1.2	1.4	1.2	1.4
Total	7.1	7.6	7.4	8.0	8.3	8.8

Abbildung 18: CO<sub>2</sub> Emissionen in kg CO<sub>2</sub> - äq. / m<sup>2</sup> p.a. (Glanzmann S. M., 2020, S. 33)

Bei den Treibhausgasemissionen ergibt sich ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 18). Am besten schneidet die Holzrahmenbauweise ab, vor der Massivholzbauweise und der Massivbauweise.

Sind hohe Schallschutzanforderungen vorhanden, kann der Massivbau durch seine Masse punkten, der Holzbau muss hier auf aufwendigere Detaillösungen zurückgreifen. Die verleimten Produkte können den ökologischen Vorsprung egalisieren. Bei hohen Dämmanforderungen hat der Holzbau einen Vorteil.

Da in der Schweiz im Jahr 2019 rund 24 % des CO<sub>2</sub> Ausstosses von dem Gebäudepark verursacht wurden, liegt hier ein grosser Hebel. Damit Holz wirksam eingesetzt werden kann ist folgendes zu beachten:

- Kaskadennutzung: Das Holz sollte möglichst langlebig eingesetzt werden um so in stofflicher Form, aber auch als Energieträger nutzbar gemacht zu werden, so entstehen zwei Substitutionseffekte.
- Es sollten vor allem inländische Holzprodukte verwendet werden.
- Die Holzprodukte sollten in der Schweiz bearbeitet werden, da die Klimawirkung besser ausfällt und die Wertschöpfung erhöht wird (Potential 2Mia. CHF, 27`000 Arbeitsplätze).

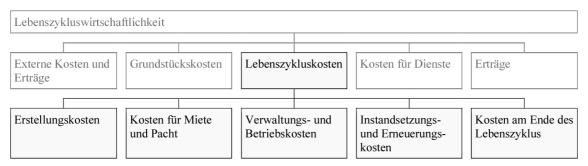
Dem Beitrag des Holzbaus zur Erreichung der Klimaziele kommt eine wichtige Rolle zu, da er als einziger Baustoff CO<sub>2</sub> speichern kann. Die Fallstudie hat aufgezeigt, dass die Renditeerwartungen dank der hohen Mietzinspotentiale erfüllt werden können. In peripheren Lagen mit weniger hohem Potential muss der Holzbau günstiger werden, um konkurrenzfähig eingesetzt werden zu können. Die Bauzeitverkürzung ist dabei ein wichtiger Hebel.

Die Kennzahlen der Studie werden nachfolgend kritisch hinterfragt, durch Aussagen von erfahrenen Holzbauexperten (siehe Kapitel 3.2.2). Die Angaben zur CO<sub>2</sub> Speicherung in Holzbauten bildet die Basis für die Untersuchung der Folgen einer allfälligen CO<sub>2</sub> Besteuerung auf Gebäude (siehe Kapitel 3.3.4).

#### 3. Empirischer Teil

#### 3.1 Methodik

In der Schweiz ist gemäss Schweizerischer Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB) eine Betrachtung der Lebenszykluskosten gebräuchlich, bei der sämtliche Kosten für Planung, Ausführung und Betrieb berücksichtigt werden. Diese teilen sich in fünf Blöcke auf: Erstellungskosten, Kosten für Miete und Pacht, Verwaltungs- und Betriebskosten, Instandsetzungs- und Erneuerungskosten und Kosten am Ende des Lebenszyklus (siehe Abbildung 19). Da sich die Erträge bei beiden Bauweisen durch ihre spezifischen Eigenschaften unterscheiden, werden diese in der vorliegenden Arbeit im Sinne einer Whole Life Cost Betrachtung untersucht.



Der Betrachtungszeitraum richtet sich nach der tatsächlichen Erneuerung, diese liegt in

Abbildung 19: Umfang der Lebenszykluskosten aus schweizerischer Sicht vgl. CRB, 2012c, S.10

der Stadt Zürich für den Zeitraum 2001 – 2015 bei 1,5 % p.a.. Das bedeutet, dass im Schnitt alle 67 Jahre alle Häuser ersetzt werden. In den Jahren 2014 – 2016 lag dieser Wert sogar bei 2 % p.a. und hat sich im Anschluss bei 1,8 % p.a. eingependelt. Bei letzterem Wert wäre eine Erneuerung aller Häuser nach 56 Jahren erfolgt (www.stadtzuerich.ch, 2021). Durch die regulatorischen Eingriffe, was die Energieanforderungen an Gebäude gemäss MuKEn 2014 angeht, sowie die baulichen Potentiale, die sich durch die Revision der BZO Zürich 2016 ergeben haben, ist mit einem Verbleiben der Erneuerungsquote auf einem hohen Niveau zu rechnen (www.stadt-zuerich.ch, 2021). Daher wird in den Modellrechnungen von einer Lebensdauer von 60 Jahren ausgegangen. Um die Kostenseite zu vergleichen werden unterschiedliche Aspekte untersucht. Hier ist die aktuelle Datenlage beschränkt, da der moderne Holzbau erst seit ungefähr zwanzig Jahren besteht und daher die Langzeiterfahrung fehlt. Um dennoch eine Einschätzung hierzu abgeben zu können, wurden fünf Experten aus unterschiedlichen Fachgebieten über die Vor- und Nachteile des vorfabrizierten Holzbaus gegenüber der konventionellen Bauweise befragt:

- 1. Interview 18.06.2021: Roger Schmid, Leiter Modulbau Erne Holzbau AG
- 2. Interview 21.06.2021: Hans Peter Kolb, Prof. Berner FH Architektur, Holz und Bau
- 3. Interview 23.06.2021: David Sauser, Brandschutzexperte VKF, Leiter Brandschutz Team West, Gebäudeversicherung Bern
- 4. Interview 01.07.2021: Torsten Gottsmann, Bereichsleiter Development & Construction CS Asset Mgmt AG
- 5. Interview 19.07.2021: Markus Feltscher, Direktor Gebäudeversicherung Graubünden

Auf der Ertragsseite gibt es zwei Faktoren, die für einen Holzbau sprechen: Zum einen die Bauzeitverkürzung (siehe Kapitel 2.2.1). Um diese Studie einordnen zu können, betrachten wir nun die Erträge in einer IRR Berechnung. Des Weiteren ergeben schlanke Holzbauteile, gerade in der Gebäudehülle, wesentliche Flächenvorteile. Dies wird zum Teil in der Forschung ergänzend erwähnt (Pirmin Jung, 2015, S. 22), nicht aber monetär ausgewertet. Anhand einer Fallstudie wird der jeweilige IRR betrachtet. Ein Beispielprojekt mit 10 Wohnungen mit je drei unterschiedlichen Dämmansprüchen dient dabei zur Flächenkalkulation.

## 3.2 Kostenseite: Experteninterviews

#### 3.2.1 Skaleneffekte der Vorfabrikation

Ein Besuch bei einem der grössten Holzbauunternehmer der Schweiz, der Erne Holzbau AG, mit anschliessendem Experteninterview mit dem Teamleiter Modulbau Herr Roger Schmid hat tiefgreifende Einblicke in die Skalierbarkeit des Holzbaus aufgezeigt. Das Unternehmen ist spezialisiert auf Holzelement-, Modul- und Hybridbauweise. So werden je nach Aufgabenstellung der Vorfertigungsgrad und der Materialeinsatz bestimmt. Da die Holzbauer seit Jahren im 3D planen sind diese auch kompetent in der BIM Planung. Sie sind auf versierte Fachplaner und Architekten angewiesen, um das Projekt möglichst komplett im BIM abzuwickeln.

Das Holz kommt bereits abgebunden und abgelängt in die Holzelementproduktion. Es werden an mehreren Produktionsstrassen die Holzbalken nach Vorgaben aus dem BIM Modell von Zimmerleuten verschraubt und mit Steinwolle ausgedämmt. Zusätzlich werden Leerrohre für Installationen eingelegt. Die fertigen Elemente werden codiert und sind somit direkt für den Montageablauf koordinierbar. So ist eine witterungsunabhängige, termingerechte und vollständig planbare Produktion möglich. Je

nach Kundenwunsch und Aufgabenstellungen werden die Holzelemente auf der Baustelle aufgestellt oder zu Modulen weiterverarbeitet (siehe Abbildung 20).



Abbildung 20: Vorproduktion Holzelementbau Erne Holzbau AG

Wenn die Aufgabenstellung es erfordert, dass die Bauzeit maximal verkürzt wird, ist eine Vorfertigung bis hin zu fertigen Raumzellen möglich. Dies kann gerade bei der Beibehaltung bestehender Mietverhältnisse oder bei schwer zugänglichen Parzellen sehr interessant sein. Gemäss Herr Schmid ist eine Modulproduktion ab ca 40 - 50 Modulen mit 2 - 3 Grundvarianten wirtschaftlich interessant (Schmid R. , 2021). Dabei sollten diese möglichst einheitlich sein, gerade was die Grundstruktur angeht, die Oberflächen können individuell gestaltet werden. So ist eine Vorfertigungstiefe bis 95 % möglich, da komplette Sanitärräume, Fenster und Oberflächen eingebaut werden. Auf der Baustelle werden dann noch die Fassaden montiert und das Dach erstellt. Dies reduziert die Schnittstellen auf der Baustelle und ermöglicht einen rationellen Bauablauf.

In der Produktion werden 3 Module pro Tag erstellt, die hier besichtigten Module für das Projekt "Hirtehof" in Basel wurden in 3 Wochen erstellt und werden "just in time" produziert und geliefert (siehe Abbildung 21). Dies bedingt eine definitive Planfreigabe inklusive Festlegung aller Details bis hin zur Platzierung der Steckdosen. Dies erfordert eine hohe Eigendisziplin des Bestellers und eine integrale Planung mit dem Holzbauunternehmer und Holzbauingenieur bereits ab Schweizer Ingenieur- und Architekten Verein (SIA) Vorprojekt Phase. Der gesamte Prozess von der Holzbauplanung ab Planfreigabe (1 - 2 Monate) über die Materialbestellung (2 - 3 Monate

inklusive Fenster) bis hin zur Fertigung (ca. 2 Monate) und zur Montage vor Ort benötigt rund 6 Monate (Schmid R., 2021). Damit die Module termingerecht platziert werden können muss die Baustelle entsprechend bereit sein, Verzögerungen sind schwierig zu kompensieren da dies eine kostspielige Zwischenlagerung erfordern würde.

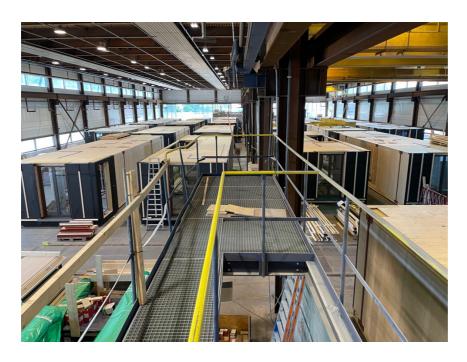


Abbildung 21: Vorproduktion Holzmodulbau Erne Holzbau AG

Das Projekt am "Hirteweg" Basel von Harry Gugger Studio zeigt sehr exemplarisch die Zusammenhänge zwischen Architektur und vorfabriziertem Modulbau auf (siehe Abbildung 22). So beruht die Grundkonzeption auf einem repetitiven Modul, dass seriell aneinandergereiht wird (siehe Abbildung 23). Eine Varianz der Fassade entsteht durch die gestaffelte Setzung. Grosszügige seitliche Öffnungen in den Modulen ermöglichen eine räumliche Tiefe der Wohnungen über die Raumdiagonalen. Somit muss der architektonische Entwurf mit neuen Spielregeln auskommen, die Raumgrössen und Individualität einschränken. In der vertikalen Ausdehnung gibt es ebenfalls Einschränkungen, bedingt durch die Anforderungen an die Gebäudeaussteifung und Erdbebensicherheit. So sind aktuell 4 bis maximal 5 Geschosse in Holzmodulbauweise denkbar.

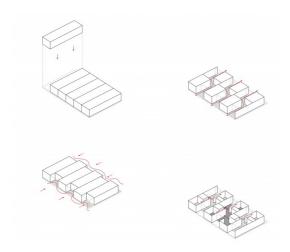


Abbildung 22: Entwurf Modulbau Hirteweg Basel (Harry Gugger Studio, 2021)



Abbildung 23: Bauablauf Modulbau Hirteweg Basel (Harry Gugger Studio, 2021)

Der Grundriss zeigt sehr offenkundig die räumlichen Sachzwänge, die sich in Folge der konsequenten Umsetzung der Modulbauweise ergeben. Da die Module immer gleiche Breiten aufweisen, ergeben sich entsprechend gleich breite Räume. So hat ein Wohnzimmer, eine Küche, sowie ein Schlafzimmer immer die gleiche Breite von ca. 3,3 m. Der Anspruch an ein Wohnzimmer (min. ca. 4,5 m) und an eine Küche (ca. 3,5 m) sind aber andere als an ein Schlafzimmer (min. ca. 3 m). So kommt es zu einer räumlichen Übergewichtung der Schlafzimmer zu Lasten der Küche und des Wohnzimmers. Zudem leidet die Grosszügigkeit der Wohnung (siehe Abbildung 24). Auffällig sind die verhältnismässig überproportionierten wohnungsinternen Trennwände. Durch die Module entstehen doppelte Wände mit Querschnitten von ca. 35 cm. Dies erzeugt hervorragend schallentkoppelte Wohnräume, geht aber klar zu Lasten der vermietbaren Fläche. So wird der sehr wirtschaftliche, rationelle Bauablauf mit minimierten Bauzeiten durch effektiv geringere Mietflächen teuer erkauft. Dieses System bietet sich also nicht für jede Lagequalität oder Nutzung an. In Beherbergungsbetrieben wie Hotels würde sich die serielle Bauweise mit vielen Nasszellen und den akustischen Vorzügen des Modulbaus bestens ergänzen. Es kommt also sehr stark auf die geforderte Typologie und Nutzung des Objekts an. Im Einzelfall kann es sehr sinnvoll sein in Modulbauweise zu

bauen, gerade wenn die Bauzeit von höchster Wichtigkeit ist, wenn zum Beispiel bestehende Mieter gehalten werden sollen. Ausserdem birgt dieses Bauprinzip grosses Potential an schwer zugänglichen Bauplätzen, da durch den sehr hohen Vorfertigungsgrad der Aufwand auf der Baustelle minimiert werden kann.

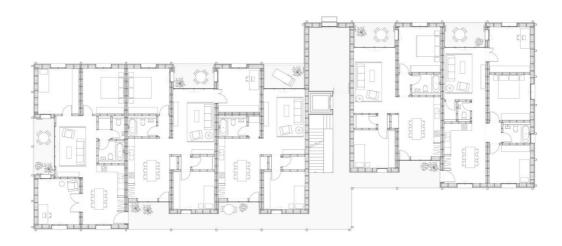


Abbildung 24: Grundriss Modulbau Hirteweg Basel (Harry Gugger Studio, 2021)

Auf der Produktionsseite sind die grossen Holzbauer wie Renggli, Erne, oder Blumer Leemann auf eine grosse Infrastruktur angewiesen, die entsprechend ausgelastet werden muss (Kolb, 2021). Deshalb erschliessen Sie weitere Märkte wie zum Beispiel Deutschland, um wirtschaftlich arbeiten zu können.

Wer an den diversen Vorteilen des vorfabrizierten Holzbaus, wie Witterungsunabhängigkeit, weniger Schnittstellen auf der Baustelle und rationelle Bauabläufe partizipieren möchte, nicht aber die Einschränkungen des Modulbaus hinnehmen will, sollte auf die Holzelementbauweise setzen. Hier wird zwar nicht die maximale Vorfertigungstiefe erreicht, die Bauzeiten sind aber immer noch vergleichsweise sehr kurz und auch kleinere Handwerksbetriebe können diese Elemente produzieren (Kolb, 2021).

#### 3.2.2 Investitionskosten

Gemäss der Studienlage aus Kapitel 2.2.2 sind die Investitionskosten bei einem Holzbau im 70% Quantil des Massivbaus. Dies unter Berücksichtigung des hohen Ausbaustandards, des energetischen Standards (mindestens Minergie) und des Pioniercharakters der verglichenen Projekte.

Um eine aktuelle Einschätzung aus der Praxis aufzuzeigen, wurden hierzu Experten befragt. Im Interview sieht Herr Gottsmann (Gottsmann, 2021) die ökonomischen Vorteile des Holzbaus bei Speziallösungen:

"Auf der grünen Wiese ist der Baustoff Holz eher uninteressant, da die höheren Anfangsinvestitionen nicht aufgewogen werden können. Bei Projekten mit grossen Spannweiten, also bei Hallen oder bei Aufstockungen ist es sehr interessant."

Dem entgegnet Herr Schmid von Erne Holzbau im Interview:

"Beim Projekt «S22» in Rotkreuz war der Anspruch maximal genauso teuer zu sein wie ein vergleichbarer Massivbau. Dies ist gelungen, zudem war der Holzbau rund 15% schneller fertig. Dadurch haben sich frühere Mieteinnahmen ergeben. Dabei ist der Anteil der Planungszeit leicht erhöht, da zum Teil Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, unterm Strich wird aber Zeit gewonnen."

Bei einem frühen Bekenntnis zum Holzbau ist also sogar ein Erstellen des Holzbaus zum gleichen Preis, wie dem eines Massivbaus möglich. Des Weiteren gibt Herr Schmid an, dass die richtige Kombination der Materialien entscheidend für einen rationellen Ablauf und wirtschaftlichen Erfolg ist:

"Der Erfolg stellt sich ein, wenn die Materialstärken miteinanderkombiniert werden: z.B. je nach Aufgabenstellung ein Tragwerk aus Stahl und die Fassaden in Holz oder Holz-Verbunddecken mit den kombinierten Vorteilen von Beton und Holz."

Hier ist allerdings kritisch anzumerken, dass hinsichtlich der Recyclierung der Aufwand steigt, wenn verschiedene Materialien miteinander verbunden werden, so gibt Herr Prof. Kolb an:

"Aktuell werden Bausysteme verbaut, die sich wenig für eine Recyclierung eignen: z.B. Holz Beton Verbunddecken, oder stark verleimte Teile."

Eine differenzierte Auseinandersetzung mit dem Material und dessen Kombination ist also unabdingbar, um die individuellen Vorteile hinsichtlich des Brandschutzes, des Schallschutzes und der Nachhaltigkeit effizient zu nutzen. Es wird auch immer wieder die Entwicklungsarbeit für die Holzbauprojekte aufgezeigt, hier steckt sicherlich ein grosses Potential hinsichtlich Verkürzung der Planungszeit, wenn auf bewährte Systeme zurückgegriffen wird.

#### 3.2.3 Finanzierungsmodelle

Gegenüber dem Massivbau hat der vorfabrizierte Holzbau bei entsprechender Planung die Möglichkeit einer Wiederverwendung, die eine Demontage und anschließend eine Montage an einem anderen Bestimmungsort ermöglicht. Diese befristete Nutzung ermöglicht wiederum alternative Finanzierungsmodelle, ähnlich einem Fahrzeugleasing. Zur Beurteilung der Marktsituation für diese Geschäfte wurden Experten interviewt.

Herr Schmid von "Erne Holzbau" gibt folgende Auskunft aus der Praxis eines Totalunternehmers:

"Die Erne AG hat eine Mietflotte von rund 20`000 m² die vermietet sind. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Schulen. Darüber hinaus gibt es weitere Flächen aus Kauf-Rückkauf Geschäften. Hier gibt es Bonus-Malus-Regelungen analog zum Fahrzeugkauf. Somit hat der Kunde eine hohe Flexibilität und keine hohen Rückbaukosten. Der Kunde zahlt einen vereinbarten Preis für das Gebäude und die Montage, nach ca. 4 - 5 Jahren gibt es einen Preis für die Demontage und ungefähr 20 – 35 % Erstattung des Kaufpreises. Die Preiserstattungen werden je nach Marktchancen berechnet. Dies bietet eine ökologische und wirtschaftliche Lösung für den Investor und den Totalunternehmer. Auf der Behördenseite ist dies allerdings eine Herausforderung, da es hier nur zwei Fälle gibt: Neubau und Umbau und eben nicht "Second Hand". Die wiedergenutzten Gebäude werden zu ca. 80 % der Baumasse weitergenutzt, es gibt meist einzelne Anpassungen wie zum Beispiel am Dach oder an der Fassade. Bankprovisorien werden besonders häufig auf- und abgebaut mit bis zu 8 – 12 Standorten und einer 20 - jährigen Nutzung. Schulen hingegen werden oft schon bei der Zweitnutzung dauerhaft genutzt. Dieses Modell macht also vor allem bei kurzzyklischen Nutzungen Sinn. Im Wohnungsbau wäre dies nur bei sehr einheitlichen Überbauungen mit 1 - 2 Zimmerwohnungen denkbar. Es wäre aber schwierig umzusetzen, was die Baubewilligung angeht, da hier die behördlichen Ansprüche sehr hoch sind."

In der Zerlegbarkeit und Modularität des Holzbaus steckt also ein sehr grosses Potential, gerade wenn es um kurzzyklische Nutzungen geht. Dies ermöglicht alternative Finanzierungsmodelle die bei voller Flexibilität bis 35 % der Investitionskosten, abzüglich der Demontagekosten, einsparen können. Im Wohnungsbau ist dies allerdings schwer zu nutzen, da zum einen die Nutzungszyklen zu lang sind und zum anderen die behördlichen Auflagen sehr streng sind.

Herr Prof. Kolb beurteilt die Situation ähnlich:

"Im Wohnungsbau gibt es dies aktuell eher nicht. Dies ist vor allem interessant bei Verkaufsräumen, oder bei Räumen mit beschränkten Nutzungszeiten. Aber auch dort sieht man die dauerhafte Nutzung von Provisorien. Grundsätzlich sind Finanzierungsmodelle im Wohnungsbau vorstellbar, dies müsste man vertieft anschauen bei Forschung und Entwicklung."

Herr Gottsmann teilt diese Einschätzung und wendet ein:

"Bei Provisorien sinnvoll, im Wohnungsbau nicht wirklich, da die Nutzungsdauer zu lange ist. Beim Investment Vergleich Kauf oder Leasing / Kauf- Rückkauf hielten sich die Angebote die Waage und waren nicht entscheidend."

Diese Einschätzung entkräftet den Wunsch Leasingmodelle auf den Wohnungsbau anzuwenden, da die Angebote offenbar derzeit keinen Mehrwert bringen. Dies ist wohl auch im Zusammenhang mit den behördlichen Auflagen zu betrachten.

## 3.2.4 Kosten: Bewirtschaftung und Unterhalt

Bei der Bewirtschaftung und im Unterhalt wurden Experten interviewt, um herauszufinden, ob es hier eine unterschiedliche Einordung gibt.

Herr Schmid von Erne Holzbau gibt wie folgt Auskunft:

"Die Bewirtschaftungs- und Unterhaltskosten sind gleich, da bei der Tragkonstruktion keine Kosten anfallen. Die Kostenverursacher Dach, Fassade und Haustechnik sind unabhängig von der Konstruktion. Beim Umbau oder bei Anpassungen hat der Holzbau den Vorteil, dass man einfacher an die Bauteile herankommt, so können einzelne Platten demontiert werden, ohne dass aufwändige Spitzarbeiten nötig sind. Ein Holzbau kann grundsätzlich auch aufgestockt werden wie ein Massivbau, dies muss allerdings bereits bei der Planung berücksichtigt werden, was in der Regel der Fall ist."

Diese Argumentation ist nachvollziehbar, da eine Holztragkonstruktion eben so lange wie Massivbauten genutzt werden können, sofern diese nicht beschädigt werden. Um eine spätere Umnutzungsflexibilität zu gewährleisten, sollte also bereits in der Planung der Holzbau für eine spätere Aufstockung dimensioniert werden. Zur Nutzungsdauer gibt Herr Schmid an:

"Die ältesten Gebäude auf der Welt sind Holzbauten. Der Holzelementbau und Modulbauten sind vorfabriziert und dauerhaft. Einschränkend auf eine lange Nutzung

wäre eine häufige Neuplatzierung. Eine Nutzung von 80 - 100 Jahren ist denkbar, dies zu bemessen ist nicht möglich da es den modernen Holzbau noch nicht so lange gibt."

Das Beispiel mit den ältesten Holzbauten zeigt eindrücklich wie lange ein Holzbau überdauern kann. Das ein Gebäude nach häufigen Neuplatzierungen weniger dauerhaft ist, ist auch gut nachzuvollziehen. Diese Möglichkeit hat aber auch nur der Holzbau und nicht der Massivbau, also sollte dies in der Betrachtung nicht zum Nachteil ausgelegt werden.

## Herr Gottsmann gibt an:

"Es fallen keine unterschiedlichen Kosten an. Es gibt eine absolute Gleichbehandlung, da die Tragkonstruktion nicht entscheidend ist für diese Kosten."

Herr Prof. Kolb gibt ähnliche Einschätzungen ab:

"Wenn gleichwertig geplant wird und eine saubere Systemtrennung vorhanden ist, spielt die Materialisierung der Tragkonstruktion keine Rolle. Die Unterhaltskosten fallen bei Haustechnik, oder Oberflächenbekleidungen an, dies betrifft aber nicht die Tragkonstruktion. Dies unter der Voraussetzung, dass es keine Bauschäden gibt."

Hier kommt noch ein weiterer wichtiger Faktor hinzu, eine saubere Planung die vor allem eine saubere Systemtrennung berücksichtigt. Also keine Mischung der Haustechnik mit der Tragkonstruktion. So wird eine spätere Zugänglichkeit und Ersatz gewährleistet. Dies ist ebenso im Massivbau zu berücksichtigen. Eine schlechte Planung, die zu Bauschäden führt, hat allerdings im Holzbau weitreichendere Folgen, als im Massivbau. Hierzu gibt Herr Prof. Kolb zu Bedenken:

"Gerade im Fassadenbereich und in der Detailplanung ist grosse Sorgfalt geboten, um bauphysikalische Probleme zu verhindern. Bauschäden sind bei einem Holzbau weit tragischer, da bei später Entdeckung bei Feuchteschäden die Tragkonstruktion ersetzt werden muss. Ein Worst Case (realer Fall) Beispiel: Ein Aussenhahn mit undichter Wasserleitung wird erst sehr spät und per Zufall entdeckt. Die Folge war ein kompletter Ersatz der Holzelemente im Erdgeschoss, da diese komplett durchfeuchtet waren. Dies sind aber absolute Ausnahmen."

Eine saubere Planung ist also unverzichtbar, um einen dauerhaften und robusten Holzbau zu erstellen. Aus Sicht von Herr Prof. Kolb sind folgende Faktoren wichtig für einen ökonomisch erfolgreichen Holzbau: "Eine sehr frühzeitige Bekenntnis zum Holzbau ist sehr wichtig. Dieser muss integral mit dem Holzbauingenieur geplant werden, damit wird dieser besser und ökonomischer. So lassen sich auch Brandschutz- und Schallschutzprobleme frühzeitig beheben. Eine klare Bestellung des Investors ist sehr wichtig, insbesondere was die Anforderungen und die Qualität angeht. Der Holzbauingenieur und Architekt sollten die konkrete Bestellung frühzeitig einholen und mit Kompetenz unterstützen."

So ist also eine frühzeitige Entscheidung zu Gunsten dem Material Holz zu treffen, damit von Anfang an im Holzbau geplant wird. Dies verhindert grosse Anpassungen und Verzögerungen durch Umplanungen.

Herr Gottsmann teilt diese Ansichten:

"Es muss in einer frühen Phase alles entschieden werden. Auf keinen Fall darf es eine rollende Planung geben. Zudem ist mit einem grösseren Aufwand bei der Planung zu rechnen. Späte Planänderungen lösen unverhältnismässige Kosten aus."

Also ist bei integraler Holzbauplanung mit einem frühen Commitment des Investors mit gleichen Betriebs- und Unterhaltskosten, wie im Massivbau zu rechnen. Auf Seiten Besteller werden entsprechende Kompetenzen benötigt, um frühzeitig Entscheide fällen zu können. Sind diese nicht vorhanden, sollte Unterstützung durch fachkundige Architekten und Holzbauingenieure beigezogen werden.

## 3.2.5 Kosten: Versicherungen und Risikobewertung

Um die Risikobewertung zu beurteilen, wurden Experten gefragt, ob diese sich bei der Holzbauweise zur konventionellen Bauweise unterscheidet.

Herr Gottsmann beurteilt vor allem die Investitionsseite wie folgt:

"Nein, es gibt eine Gleichbehandlung in Finanzierung und Investitionsrechnung. Schon gar nicht im Diskontfaktor, da dieser Hebel viel zu stark ist."

Dies ist eine sehr interessante Auskunft, dass auf Investorenseite die Risikobeurteilung gleich ist. Allenfalls wird mit einer etwas längeren Planungszeit kalkuliert. In den Investitionsrechnungen gilt die Gleichbehandlung.

Herr Schmid von Erne Holzbau antwortete wie folgt:

"Versicherungen machen erfahrungsgemäss keinen Unterschied bei Schadensfällen."

Herr Prof. Kolb gibt eine differenziertere Antwort auf die Frage:

"Es gibt Unterschiede bei den Gebäudeversicherungen, da diese kantonal geregelt sind. Bei der Gebäudeversicherung Zürich gibt es keinen Unterschied bei den Prämien, da der Kanton einen modernen Gebäudepark mit wenigen modernen Holzbauten aus den letzten 10-15 Jahren hat. Diese sind nach den aktuellen Baunormen erstellt und werden daher gleichbehandelt. Bei der Gebäudeversicherung Bern wird auf Grund des alten Bestandes traditioneller Holzhäuser mit älterem Baustandard das Risiko entsprechend höher eingestuft. Somit fallen die Prämien für einen Holzbau höher aus. Dies führt zu einer Benachteiligung der modernen Holzbauten. Allerdings ist es schwierig einen Systemwechsel zu vollziehen."

Daher wurde ein weiteres Experteninterview mit Herr Sauser, Brandschutzexperte VKF und Leiter Brandschutz Team West der Gebäudeversicherung Bern (GVB) geführt. Er gab folgende Auskunft:

"Im Kanton Bern werden ca. doppelt so hohe Prämien für einen Holzbau verrechnet, als für einen Massivbau. Bei einer Mischbauweise kommt es jeweils auf den Anteil Holzbau / Massivbau an. Dies lässt sich durch den hohen Bestand an alten Holzhäusern erklären. Generell werden Holzbauten im Verhältnis zu den tatsächlich anfallenden Schäden zu stark belastet. Moderne Holzbauten, die den gleichen Brandschutzanforderungen genügen wie ein Massivbau werden überproportional belastet. Gerade bei alten Holzhäusern fallen bei Schäden wie Blitzschlag oder Überschwemmungen höhere Schadenssummen an. Rational betrachtet sollten moderne Holzbauten risikoadjustiert prämiert werden. In anderen Kantonen, wie z.B. Zürich fallen die Prämien unabhängig von der Konstruktionsweise an."

Diese Auskunft der zuständigen Fachperson hat den Hinweis von Herr Prof. Kolb bestätigt und auch die Argumentation, die diese Unterscheidung erbrachte, unterstrichen. Diese Information bezüglich der unterschiedlichen Prämienbeurteilung von zwei kantonalen Gebäudeversicherungen (GV) der 26 Schweizer Kantone, bildet die Grundlage für die nachfolgende Untersuchung. Bei den sieben GUSTAVO Kantonen (Genf, Uri, Schwyz, Tessin, Appenzell Innerrhoden, Wallis, Obwalden) gibt es keine kantonale Monopolstellung der Gebäudeversicherung, hier werden die Prämien von der privaten Versicherungswirtschaft individuell erstellt. Um eine Aussage treffen zu können, inwiefern sich das Berner Modell bei Kantonen mit einem hohen Anteil an alten Holzbauten wiederfindet, wurde eine Anfrage an die restlichen 17 Kantone erstellt. Das

Resultat der Recherche ist, der Argumentation folgend zwar logisch, aber dennoch bemerkenswert. Von den 19 Kantonen mit obligatorischer Gebäudeversicherung unterscheiden 11 kantonale GV hinsichtlich der Konstruktionsweise. Die geografische Verteilung folgt der Argumentation der Gebäudeversicherung Bern (GVB). Es zeigt sich, dass vor allem im historisch rural geprägten Mittelland bei den Prämien hinsichtlich der Konstruktionsweise unterschieden wird (siehe Abbildung 25). Die GV der Metropolregionen Zürich, Basel-Stadt und zum Teil auch die ihrer Agglomerationen unterscheiden nicht bei der Konstruktionsweise. Dies könnte durch eine höhere Erneuerungsquote und einem hohen Anteil an modernen Holzbauten liegen. Die Metropolregion Genf, sowie die anderen sechs GUSTAVO Kantone haben die Gebäudeversicherungen privatrechtlich geregelt, weshalb diese beim Vergleich herausfallen.

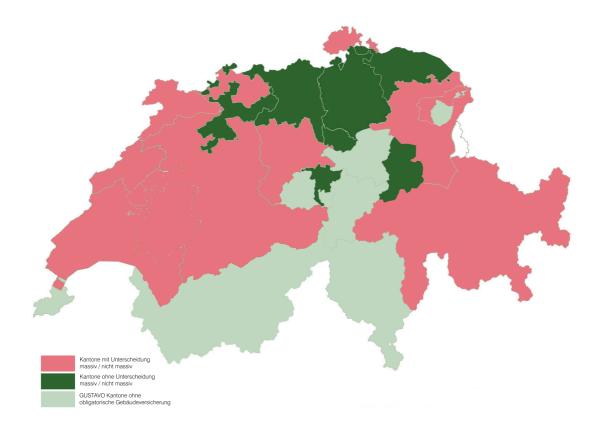


Abbildung 25: Prämienunterscheidung der obligatorischen Gebäudeversicherungen hinsichtlich Konstruktionsweise

Weiter wird bei der Nutzung und Prämierung unterschieden. Die Analyse von Herr Sauser, hinsichtlich der zu hohen Prämien für moderne Holzbauten, wurde offensichtlich auch schon andernorts angestossen. So werden die Prämien bei der Gebäudeversicherung Graubünden (GVG) voraussichtlich im Jahr 2022 angeglichen, so dass nicht mehr wie

bisher bei der Gebäudekonstruktion unterschieden wird. Im Gespräch mit Herr Feltscher, dem Direktor der GVG, gibt er folgende Begründung: "Die tatsächliche Schadenssumme gleicht sich bei modernen Holzbauten gegenüber den Massivbauten an. Lediglich im Falle eines Vollbrandes sind grössere Schäden in Folge der Löscharbeiten bei einem Holzbau gegenüber einem Massivbau zu befürchten. Aber diese Nuancen werden nicht weiter unterschieden. " (Feltscher, 2021).

Beim Kostenfaktor Risikobeurteilung und Versicherungen ist also festzuhalten, dass auf der Investitionsseite nicht zwischen Massivbau und Holzbau unterschieden wird. Bei den Versicherungen grundsätzlich nicht. Bei obligatorischen auch den Gebäudeversicherungen allerdings schon, mit 11 von 26 Kantonen beurteilen fast die Hälfte der Kantone die Prämien unterschiedlich. Da dies aber nicht die tatsächlichen Schadenssummen widerspiegelt und da moderne Holzbauten in der Risikobeurteilung gleich zu bemessen sind, wie ein Massivbau ist hier mit Anpassungen in den nächsten Jahren zu rechnen. Erste Gebäudeversicherungen, wie die GVG passen im Jahr 2022 die Prämienregelung an und entsprechen somit der Forderung einer Gleichbeurteilung von de facto gleichen Risiken. Gleichwohl ist dieses Thema beachtenswert, da teilweise mit bis zu doppelt so hohen Versicherungsprämien zu rechnen ist.

## 3.3 Ertragsseite: Fallstudie

## 3.3.1 Höhere Erträge durch Bauzeitverkürzung

Die Studie "Was kostet ein Holzbau?" aus Kapitel 2.2.1 zeigt sehr anschaulich den Einfluss der Bauzeit auf den Projekt Mehrwert. Dies ist gekoppelt an eine Modellrechnung mit einem bestimmten Projektanlagewert. Da nun der Einfluss der Projektgrösse untersuchen werden soll, wird unabhängig von eine Vergleichsrechnung mittels IRR erstellt. Die IRR, auch interner Zinsfuss genannt, gibt die innere Rendite eines Investitionsvorhabens an. Die IRR ist der Zinssatz, bei dem der Net Present Value (NPV) gleich Null ist. Damit können die relativen Unterschiede durch eine Bauzeitverkürzung aufgezeigt werden. Um die Potentiale auf der Ertragsseite einordnen zu können betrachten wir nun das mögliche Alpha, also die Überrendite, die durch einen vorfabrizierten Holzbau gegenüber einem konventionellen Massivbau erwirtschaftet werden kann. Die Modellrechnung berücksichtigt Baukosten, Landkosten, einen Diskontsatz von 2.5 % und eine Inflation von 1 %, zudem Betriebskosten von 10 % der Mieteinnahmen. Der Lebenszyklus ist analog zur tatsächlichen Erneuerung der Stadt Zürich bei 60 Jahren. Die Benchmark bei einem konventionellen Massivbau ergibt eine IRR von 3.84 %. Die Bauzeitverkürzung fällt je nach Vorfertigungsgrad stärker aus.

Die Abstufung wurde gemäss der Studie aus Kapitel 2.2.1 übernommen: Holzbau I (0 Monate Bauzeitverkürzung), Holzbau II (4 Monate Bauzeitverkürzung) und Holzbau III (6 Monate Bauzeitverkürzung). Diese Bauzeitverkürzung sorgt für einen früheren Bezug von Cash-Flow und damit für steigende Renditen. Um diesen Einfluss ökonomisch einordnen zu können untersuchen wir nun das Alpha. Dieses bezeichnet eine mögliche Überrendite (positives Alpha) einer Anlagemöglichkeit gegenüber der Benchmark. In Abbildung 26 wird ersichtlich, dass die Überrendite bei 4 Monaten Bauzeitverkürzung etwas über 0.04 % und bei 6 Monaten bei etwas über 0.06 % gegenüber dem konventionellen Massivbau liegt. Der lineare Verlauf gibt Rückschlüsse über allfällige längere oder kürzere Bauzeitverkürzungen.

#### Alpha in Abhängigkeit der Bauzeitverkürzung

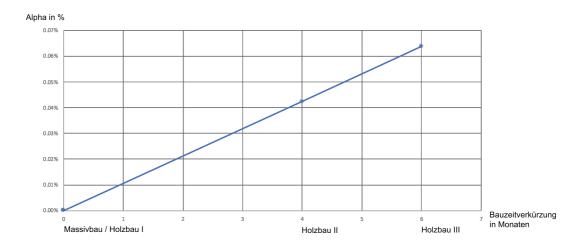


Abbildung 26: Alpha in Abhängigkeit der Bauzeitverkürzung

Über einen Lebenszyklus von 60 Jahren sind allerdings die 4 – 6 Monate Bauzeitverkürzung allein noch kein starker Renditetreiber. Sie können einen positiven Beitrag für den Holzbau leisten, dieser ist aber noch nicht ausschlaggebend.

## 3.3.2 Höhere Erträge durch schlanke Bauteile

Der vorfabrizierte Holzbau hat gegenüber dem konventionellen Massivbau den Vorteil, dass die Dämmebene in der tragendenden Konstruktionsebene liegt (Pirmin Jung, 2015, S. 22). Dieser führt effektiv zu schlankeren Wandquerschnitten und somit zu Flächengewinnen, die gerade in höherpreisigen Lagen einen Mehrwert darstellen. Beim konventionellen Massivbau wird hingegen die Dämmung auf die Wand appliziert, dadurch wird der Wandquerschnitt sehr gross. So ist die Annahme, dass gerade bei hochenergieeffizienten Gebäuden mit einer Holzbaukonstruktion der Wandquerschnitt deutlich verkleinert werden kann. Dieser Zusammenhang soll nachfolgend geprüft werden. So werden die Wandquerschnitte in drei Fällen gegenübergestellt. Im ersten Fall wird der Minimum Grenzwert für den U-Wert gemäss MuKEn 2008 angenommen. Im zweiten Fall wird der U-Wert gemäss MuKEn 2014 angenommen und im dritten Fall gemäss Minergie-P. Die MuKEn 2014 wurde bereits im Jahr 2015 verabschiedet, mit dem Ziel diese per Anfang 2020 schweizweit einzuführen. Bis heute ist diese in rund einem Drittel der Kantone umgesetzt, für den Kanton Zürich ist mit einer Umsetzung im Zeitraum 2022 - 2023 zu rechnen (www.energie360.ch, 2021). Um eine bessere Vergleichbarkeit her zu stellen, wird in beiden Fällen mit einer vorgehängten Fassade geplant. Das Fassadenmaterial ist für den Aufbaustärkenvergleich unerheblich und könnte beispielsweise eine Holzschalung, Eternit oder eine Photovoltaikanlage sein. Sonderbaustoffe wie Spezialdämmungen (PUR, Aerogel oder Vakuumdämmungen) oder Spezialträger (Kerto) werden nicht berücksichtigt. Darüber hinaus wird von üblichen Vertikallasten eines Mehrfamilienhauses ausgegangen, ohne Berücksichtigung allfälliger Erdbebensicherheitszuschläge. Sämtliche Wandaufbauten wurden unter der Prämisse eines möglichst schlanken Querschnittes entwickelt. Die U-Werte wurden anhand der SN EN ISO 6946 berechnet. Die Grenzwerte betragen gemäss MuKEn 2008 für eine Aussenwand  $0.2W / (m^2 * K)$  (siehe Abbildung 27).

	m	/ <sub>//</sub> in W/(m <sup>2</sup> ·K)  iit  kennachweis	Grenzwerte <i>U</i> <sub>//</sub> in W/(m <sup>2</sup> ⋅K) <b>ohne</b> Wärmebrückennachweis		
Bauteil gegen	Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich	unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich	Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich	unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich	
opake Bauteile - Dach, Decke - Wand, Boden	0,20	0,25 0,28	0,17	0,25	
opake Bauteile mit Flächenheizungen	0,20	0,25	0,17	0,25	
Fenster, Fenstertüren und Türen	1,3	1,6	1,3	1,6	
Fenster mit vorgelagerten Heizkörpern	1,0	1,3	1,0	1,3	
Tore (Türen > 6 m <sup>2</sup> )	1,7	2,0	1,7	2,0	
Storenkasten	0,50	0,50	0,50	0,50	

Abbildung 27: U-Wert Grenzwert nach MuKEn 2008 (Wärmeschutz von Gebäuden, 2013, S. 8)

Im konstruktiven Vergleich der Wandaufbauten des konventionellen Massivbaus und des vorfabrizierten Holzbaus zeigen sich erhebliche Einsparpotentiale. Bei einem gleichem U-Wert von 0,2 W / m² \* K ist der Querschnitt beim Massivbau bei 42 cm und beim Holzbau bei 32,5 cm. Somit ergibt sich eine Einsparung von ca 9,5 cm beim Wandquerschnitt, was zu einer Einsparung von rund 23 % der Konstruktionsfläche Aussenwand und entsprechend grösserer Hauptnutzfläche führt. Der Vergleich der beiden Wandaufbauten mit einem U-Wert von 0,2 W/m² \* K zeigt eine Differenz von 9,5 cm (siehe Abbildung 28).

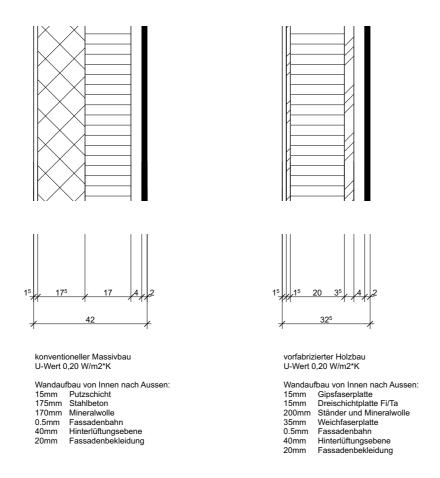


Abbildung 28: Bauteilvergleich MuKEn 2008

Die Grenzwerte gemäss MuKEn 2014 betragen für eine Aussenwand  $0,17~\mathrm{W}~/~(\mathrm{m}^2*\mathrm{K})$  (siehe Abbildung 29).

	Grenzwerte <i>U<sub>li</sub></i> in W/(m²·K) mit Wärmebrückennachweis		
Bauteil gegen	Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich	unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich	
Bauteil			
opake Bauteile (Dach, Decke, Wand,			
Boden)	0,17	0,25	
Fenster, Fenstertüren	1,0	1,3	
Türen	1,2	1,5	
Tore (gemäss SIA Norm 343)	1,7	2,0	
Storenkasten	0,50	0,50	

Abbildung 29: U-Wert Grenzwert nach MuKEn 2014 (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich MuKEn, 2014, S. 21)

Bei einem gleichen U-Wert von  $0,17~W/m^2*K$  ist der Querschnitt beim Massivbau bei 45 cm und beim Holzbau bei 36,5 cm. Somit ergibt sich eine Einsparung von rund 8,5 cm

beim Wandquerschnitt, was zu einer Einsparung von rund 19 % der Konstruktionsfläche Aussenwand und entsprechend grösserer Hauptnutzfläche führt. Der Vergleich der Wandaufbauten mit einem U-Wert von 0,17 W / m² \* K zeigt eine Differenz von 8,5 cm (siehe Abbildung 30).

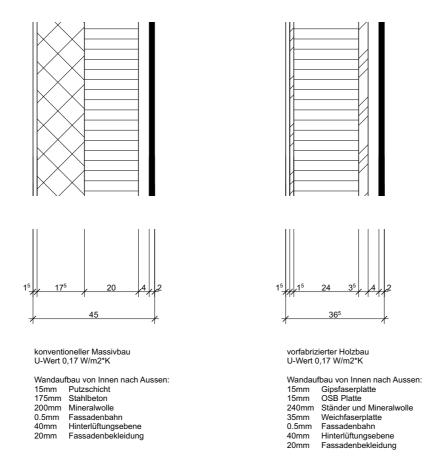


Abbildung 30: Bauteilvergleich MuKEn 2014

Die Grenzwerte gemäss Minergie-P betragen 70 % des Anspruchs gemäss MuKEn 2014 (Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE / MINERGIE-P / MINERGIE-A, 2021, S. 11): U-Wert Aussenwand 0,12 W / (m<sup>2</sup> \* K)

Bei einem gleichem U-Wert von 0,12 W / m² \* K ist der Querschnitt beim Massivbau bei 53 cm und beim Holzbau bei 47,5 cm. Somit ergibt sich eine Einsparung von ca 5,5 cm beim Wandquerschnitt, was zu einer Einsparung von rund 10 % der Konstruktionsfläche Aussenwand und entsprechend grösserer Hauptnutzfläche führt. Der Vergleich der Wandaufbauten mit einem U-Wert von 0,12 W / m² \* K zeigt eine Differenz von 5,5 cm (siehe Abbildung 31).

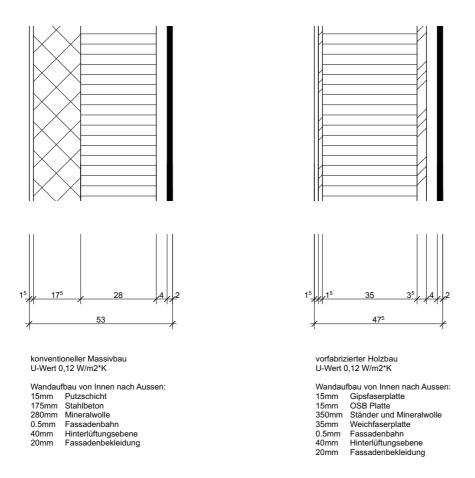


Abbildung 31: Bauteilvergleich Minergie-P

Zusammenfassend kann man bei allen Ansprüchen an den U-Wert mit einem effektiven Flächengewinn rechnen. Dieser reicht von 5,5 cm bis 9,5 cm, oder 10 % - 23 % der Konstruktionsfläche. Der Vorteil der Holzkonstruktion gegenüber dem Massivbau schwindet mit steigendem Anspruch an den Wärmedurchgangskoeffizienten. Dies liegt Holzbaukonstruktion, nachdem die daran, dass bei einer statisch nötige Konstruktionsstärke erreicht ist, ebenso wie der Massivbau weitere Dämmung hinzugefügt werden muss, ohne diese in der Konstruktionsstärke unterbringen zu können. Diese logische Schlussfolgerung widerlegt die Grundannahme, dass vor allem bei hochgedämmten Häusern der Wandquerschnitt durch den Holzbau schlanker wird. Die 23 % grössten Potentiale mit der Konstruktionsfläche werden bei Mindestanforderungen gemacht, sprich bei jedem Bau ist eine Holzkonstruktion der Aussenwand mit einem Flächengewinn verbunden. Dies ist auch bei Sanierungen sehr interessant, da hier die Grenzwerte von Minergie-P 90 % des Anspruchs gemäss MuKEn 2014 (Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE / MINERGIE-P / MINERGIE-A, 2021, S. 11) betragen und somit einen U-Wert der Aussenwand von  $0.15W / (m^2 * K)$  erfordern.

Da die U-Wert Berechnung bei der Dachkonstruktion den gleichen Parametern folgt, kann man hier mit analogen Gewinnen im Querschnitt des Konstruktionsteils rechnen. Dies führt zwar nicht zu Flächengewinnen, allerdings zu einem Höhengewinn, der gerade im stark reglementierten Wohnungsbau die entscheidenden Vorteile für die Realisierung der maximalen Geschossanzahl und somit der Ausnützungsfläche bringen kann. Zur qualitativen Bewertung der Flächengewinne werden die Flächen für ein dreigeschossiges Mehrfamilienhaus mit 10 Wohnungen berechnet. Für den Vergleich wird die Kennzahl der in der Wohnungsvermarktung üblichen Bruttowohnfläche (BWF) ausgewählt, diese umfasst die gesamten Innenflächen einer Wohnung ohne die Aussenwände. Bei einem U-Wert von 0,2 gemäss MuKEn 2008 ergibt sich auf das gesamte Gebäude eine Mehrfläche (BWF) von 24 m² (siehe Abbildung 32).

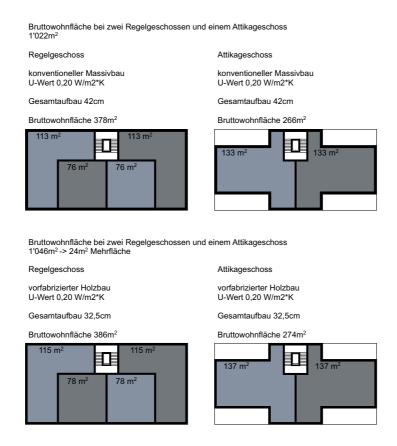


Abbildung 32: Grundrissvergleich MuKEn 2008

Bei einem U-Wert von 0,17 gemäss MuKEn 2014 ergibt sich eine Mehrfläche von 22 m<sup>2</sup> (siehe Abbildung 33).

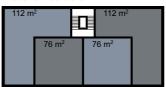
Bruttowohnfläche bei zwei Regelgeschossen und einem Attikageschoss 1'016m<sup>2</sup>

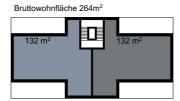
Regelgeschoss

konventioneller Massivbau konventioneller Massivbau U-Wert 0,17 W/m2\*K U-Wert 0,17 W/m2\*K

Gesamtaufbau 45cm

Bruttowohnfläche 376m²





Attikageschoss

Attikageschoss

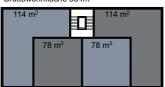
vorfabrizierter Holzbau U-Wert 0,17 W/m2\*K

Gesamtaufbau 45cm

Bruttowohnfläche bei zwei Regelgeschossen und einem Attikageschoss  $1'038m^2 -> 22m^2$  Mehrfläche

vorfabrizierter Holzbau U-Wert 0,17 W/m2\*K

Gesamtaufbau 36,5cm Bruttowohnfläche 384m<sup>2</sup>



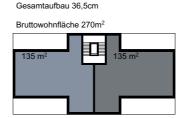


Abbildung 33: Grundrissvergleich MuKEn 2014

Bruttowohnfläche bei zwei Regelgeschossen und einem Attikageschoss

Regelgeschoss

konventioneller Massivbau U-Wert 0,12 W/m2\*K

Gesamtaufbau 53cm Bruttowohnfläche 368m²

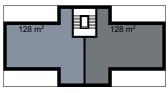
75 m<sup>2</sup>

Attikageschoss

konventioneller Massivbau U-Wert 0,12 W/m2\*K

Gesamtaufbau 53cm

Bruttowohnfläche 256m<sup>2</sup>



Bruttowohnfläche bei zwei Regelgeschossen und einem Attikageschoss  $1'010 \, \mathrm{m}^2$  ->  $18 \, \mathrm{m}^2$  Mehrfläche

Regelgeschoss

vorfabrizierter Holzbau U-Wert 0,12 W/m2\*K

Gesamtaufbau 47.5cm Bruttowohnfläche 374m<sup>2</sup>

Attikageschoss

vorfabrizierter Holzbau U-Wert 0,12 W/m2\*K

Gesamtaufbau 47.5cm

Bruttowohnfläche 262m2



Abbildung 34: Grundrissvergleich Minergie-P

Bei einem U-Wert von 0,12 gemäss Minergie-P ergibt sich eine Mehrfläche von 18 m<sup>2</sup> (siehe Abbildung 34). Somit ergibt sich folgerichtig auch bei der Grundrissbetrachtung ein abnehmender Mehrwert bei steigendem Anspruch an den U-Wert. In jedem Szenario ergibt sich eine Mehrfläche zwischen 18 m<sup>2</sup> – 24 m<sup>2</sup>.

Um den effektiven Mehrwert zu berechnen, wird nun die IRR berechnet, um dann im nächsten Schritt eine allfällige Überrendite berechnen zu können. Analog zu Kapitel 3.3.1 wird wiederum ein Lebenszyklus von 60 Jahren mit den gleichen Kennzahlen angenommen. Das Diagramm in Abbildung 36 zeigt das mögliche Alpha des Holzbaus gegenüber dem konventionellen Massivbau in Abhängigkeit des U-Wertes. Etwas kontraintuitiv scheint die abnehmende Rendite mit steigendem U-Wert Anspruch. Bei genauerer Betrachtung ist dies aber logisch nachvollziehbar, da nur bis zu einem gewissen Grad die Dämmung in die Tragkonstruktionsebene integriert werden kann, alles was darüber hinaus geht muss auch im Holzbau hinzugefügt werden. Die Werte, gemäss Abbildung 35, zwischen 0.7 % bis 0.9 % zeigen durchaus ein nennenswertes Potential, dass im Vergleich zur kürzeren Bauzeit noch schwerer wiegt. Es ist also hier besondere Aufmerksamkeit gefragt, was die Aussenbauteilstärken angeht und dies nicht nur bei Minergie-P Bauten, sondern gerade auch bei Gebäuden, die lediglich den Mindestanforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten entsprechen.

#### Alpha in Abhängigkeit des U-Wertes

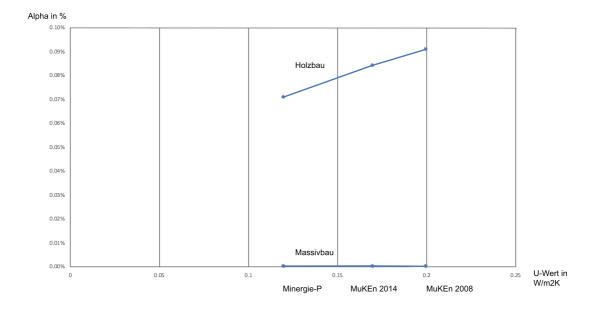
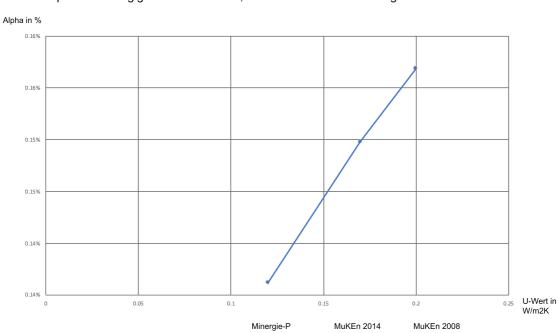


Abbildung 35: Alpha in Abhängigkeit des U-Wertes

## 3.3.3 Einordnung mögliches Alpha

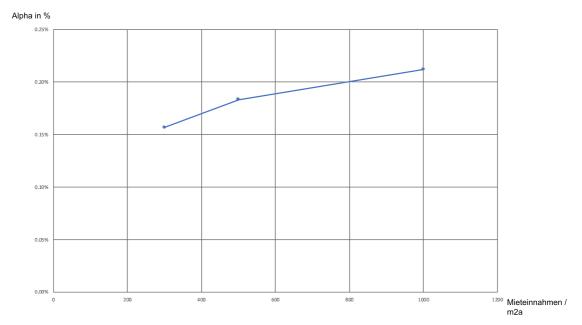
Wenn man nun die beiden möglichen Überrenditen überlagert ergibt sich ein mögliches % bis 0.16 % Alpha von 0.14 ie nach Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten (siehe Abbildung 36). Diese Grössenordnung scheint auf den ersten Blick nicht viel zu sein. Im heutigen Niedrigzinsumfeld mit entsprechend verringerten Renditeerwartungen auf Seiten der Investoren, ist eine Mehrertrag von 0.16 % durchaus nicht vernachlässigbar und kann einen Investitionsentscheid beeinflussen.



Alpha in Abhängigkeit des U-Wertes, inklusive Bauzeitverkürzung Holzbau III

Abbildung 36: Alpha in Abhängigkeit des U-Wertes, inklusive Bauzeitverkürzung Holzbau III

Im nächsten Schritt untersuchen wir den Zusammenhang zwischen der Lagequalität und einem möglichen Alpha. In Abbildung 37 wird zudem eine Bauzeitverkürzung von Holzbau III und ein Mindestdämmanforderung gemäss MuKEn 2008 angenommen. Mit zunehmender Lagequalität steigt das Alpha gegenüber dem konventionellen Massivbau an. Dies erstaunt wenig, da höhere Flächenmieten auch den früheren Bezug von Cash-Flow, sowie zusätzliche Mieteinnahmen durch grössere Mietflächen beeinflussen. So sind Überrenditen von über 0.2 % ab 800 CHF Miete je Quadratmeter und Jahr möglich. Gerade in hochpreisigen Lagen lohnt also eine Überlegung einen Holzbau zu erstellen. Zumal in hochpreisigen Lagen mit geringeren Renditen kalkuliert wird und ein solcher Vorsprung bei Preisverhandlungen den entscheidenden Vorteil geben kann.



Alpha in Abhängigkeit der Lagequalität

Abbildung 37: Alpha in Abhängigkeit der Lage

# 3.3.4 Allfällige CO<sub>2</sub> Besteuerung

Ein mögliches Zukunftsszenario ist eine Besteuerung von Treibhausgasemissionen bei Neubauten. Dies würde die Erstellungskosten des Holzbaus klar begünstigen, da nicht mit einer Besteuerung je erzeugter Tonne CO<sub>2</sub> zu rechnen wäre, sondern mit einem Bonus je gebundener Tonne CO2. Dies würde das Thema Life-Cycle-Costs und das Stichwort 4R (Reduce, Reuse, Repair, Recycle) noch stärker in den Fokus rücken. Konsequent gedacht würde bei einer Verfeuerung nach Abbruch mit entsprechender Freisetzung des CO<sub>2</sub> auch beim Holzbau die Steuer wieder fällig werden. Dies würde modulare Konzepte mit klarer Systemtrennung begünstigen, die einen nahtlosen Rückbau von Haustechnik und Ausbau unabhängig von den tragenden Bauteilen ermöglichen. Um den Einfluss einer allfälligen CO<sub>2</sub> Besteuerung abschätzen zu können, folgt eine Modellrechnung für ein Mehrfamilienhaus. Derzeit fällt je Tonne CO2 eine Steuer durch die nationale Lenkungsabgabe für Heizöl, Erdgas und Kohle in Höhe von 96 CHF an. Unter der Annahme, dass die CO<sub>2</sub> Lasten bei der Gebäudeerstellung besteuert würden, wäre der Ansatz also bei rund 100 CHF / t CO<sub>2</sub> naheliegend (ezv.admin.ch, 2021). Gemäss der Aufstellung in Kapitel 2.3.1 liegen die Holzanteile der acht Holzgebäude aus der Studie zwischen 1.6 % - 8.2 %, der Mittelwert liegt bei 4.4 %.

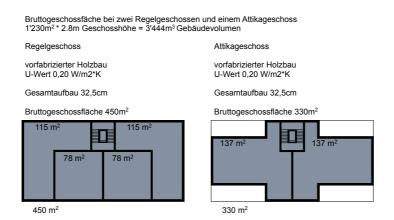


Abbildung 38: Fallbeispiel Volumen MFH

Bei einem Mehrfamilienhaus mit 10 Wohnungen und einer Bruttogeschossfläche von 1'230 m² ergeben sich bei einer Geschosshöhe von 2.8 m ein Gebäudevolumen von 3'444 m³ (siehe Abbildung 38). Nimmt man nun den Mittelwert in Höhe von 4.4 % Holzanteil je Kubikmeter GV ergibt sich eine Holzmasse von rund 150 m³ Holz. Wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, kann man etwa 1 Tonne atmosphärisch gebundenes CO₂ je verbaute Tonne Holz rechnen. Dies würde bedeuten, dass im Fallbeispiel 150 t CO₂ gebunden würden. Wenn man nun eine CO₂ Besteuerung analog zur Heizölbesteuerung mit 100 CHF/t CO₂ annimmt ergibt dies (150t CO₂) \* (100 CHF / tCO₂) = 15'000 CHF. Diese Summe wäre als Bonus zu betrachten, da diese Menge CO₂ im Bau gebunden wird, anstatt dieses auszustossen. Wenn beim späteren Abbruch das CO₂ durch Verfeuerung wieder freigesetzt würde, wäre die Steuer wieder fällig. Hier kommt aber der Zeitwert des Geldes zum Tragen, da die Ausgaben im Jahr Null viel schwerer wiegen, als die Ausgaben im Jahr 60.

Somit bietet ein Holzbau einen Bonus, wenn es zu einer Besteuerung des CO<sub>2</sub> Ausstosses in der Gebäudeproduktion kommen sollte. Dies kommt den Erstellungskosten entsprechend zugute.

### 4. Fazit und Diskussion

Unter Berücksichtigung der grössten Treiber für Kosten und Erträge im Sinne einer Whole Life Cost Betrachtung komme ich zu dem Schluss, dass ein vorfabrizierter Holzbau gegenüber einem konventionellen Massivbau nicht zwingend teurer sein muss, sondern im Gegenteil auch ökonomische Vorteile haben kann. Auf der Kostenseite sind vor allem die Investitionskosten für eine schlechtere ökonomische Bewertung verantwortlich, dies muss allerdings genau analysiert werden, da unter gewissen Rahmenbedingungen ein Holzbau zum gleichen Preis eines Massivbaus erstellt werden kann. Dies bedingt allerdings von Beginn an eine klare Holzbauorientierung, sowie die Anwendung bewährter Holzbaukonzepte. Werden Überbauungen mit Pioniercharakter erstellt, können die Kosten durch höhere Planungsaufwendungen schnell steigen. Bei den Versicherungen können höhere Kosten durch die Gebäudeversicherungen anfallen, dabei zeichnet sich aber ein Trend hin zur Gleichbehandlung von Massivbau und Holzbau ab. Die Risikobewertung ist auf Investorenseite gleich, wie bei einem Massivbau, es wird allenfalls mit einer längeren Planungszeit kalkuliert. Die Instandsetzungs- und Bewirtschaftungskosten sind ebenfalls gleich zu behandeln, da diese unabhängig von der Konstruktionsart anfallen. Wird der Holzbau konsequent und von Beginn an integral geplant, sind ökonomische Vorteile zu erzielen. Diese entstehen durch die kurze Planungs- und Bauzeit, sowie durch die schlanken Bauteilquerschnitte der Aussenhülle. Dabei ist aber genau zu beachten, wie hoch der Vorfertigungsgrad ist. Das Beispiel der Modulbauweise aus Kapitel 3.2.1 zeigt die Grenzen des ökonomischen Nutzens auf. Es wird zwar die Bauzeit sehr stark verkürzt, dies aber zu einem sehr hohen Preis in Form der sehr stark eingeschränkten Grundrissgestaltung, sowie der hohen Flächenverluste durch zu starke Zimmertrennwände. Es gilt also die richtige Konstruktionsmethode individuell für das Projekt, unter Berücksichtigung der Nutzung, der Lage und den baulichen und energetischen Ansprüchen zu eruieren. Verfügt der Investor nicht über die nötige Bestellerkompetenz müssen proaktive Partner auf der Planerseite (Architekt & Holzbauingenieur), sowie der Unternehmerseite zu einem entscheidungsfreudigen Team vereint werden. Die Entscheidungen müssen mit Augenmass und Konsequenz gefällt werden, um spätere Änderungen zu vermeiden. Dies führt beim Holzbau zu Komplikationen und hohen Mehrkosten, da alle Ausführungsschritte einen längeren Vorlauf durch die Vorproduktion haben. Je nach Anspruch den an Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) können effektiv vermietbare Flächen, oder im Schnitt gedacht die entscheidenden Zentimeter in der Höhe, gewonnen werden. Dieser klare Renditevorteil kann bei sehr knappen Investitionsentscheidungen eine Rolle spielen.

Auch dabei ist jedoch genau zu prüfen, welcher Dämmanspruch der richtige ist, um die grösste Überrendite zu erzielen. Wägt man nun die Vor- und Nachteile des vorfabrizierten Holzbaus gegenüber dem konventionellen Massivbau ab, kommt man zur Einsicht, dass ein Holzbau keinesfalls zwingend teurer sein muss als ein konventioneller Massivbau. Wenn man nun einen Blick in die Zukunft wagt, zeichnet sich ein noch klareres Bild für die ökonomischen Vorteile des Holzbaus ab. Die aktuellen geologischen Phänomene wie Naturkatastrophen und Wetterveränderungen erhöhen den Druck auf Gesellschaft und Politik die Klimaschutzziele ernsthaft umzusetzen. Dieses Umfeld begünstigt eine allfällige Besteuerung des CO<sub>2</sub> im Gebäudepark Schweiz. Dies hätte konkrete Auswirkungen auf die Konstruktionsmethode, da diese unterschiedliche Speicherungskapazitäten haben. Die Kaskadennutzung des Holzes, erst als Bauholz und später zur Energiegewinnung bilden eine CO2 Senke. Bei einer Besteuerung würde der Holzbau konsequenterweise einen Steuerbonus auslösen, da im Gebäude effektiv CO2 gebunden wird. Ein Massivbau hingegen würde als CO<sub>2</sub> Erzeuger Mehrkosten auslösen. Davon abgesehen treffen die negativen Externalitäten in Form des Klimawandels nicht nur die Gesellschaft im Allgemeinen, sondern über die steuerlichen Abgaben, die infolgedessen geleistet werden müssen, jeden Einzelnen. Darüber hinaus ist mit Zunahme des verbauten Holzbauvolumens mit einem sinkenden Preis für die Investitionskosten zu rechnen. Dies zum einen, da sich die Holzbausysteme bewähren und nicht für jedes Projekt neu entwickelt werden müssen. Zum anderen, da eine grössere Nachfrage auch zu grösserer Konkurrenz führen wird. Aktuell steigen die Holzbaupreise sehr stark an, dies ist aber mit kurzzeitigen Verschiebungen im Holzbaumarkt durch eine erhöhte Nachfrage aus den USA begründet. Die Preissteigerungen beziehen sich vor allem auf verarbeitetes Holz, der Rohstoff Holz ist allgemein noch in sehr grossen Mengen ungenutzt vorhanden. Daher lohnt sich der Einbezug des vorfabrizierten Holzbaus als Konstruktionsmethode, denn er leistet einen wichtigen Beitrag zur ökonomischen Nachhaltigkeit.

Wenn man nun die Kriterien abwägen will, hilft die nachfolgende Abbildung 39. Sie bietet einen Überblick für die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Entscheidung der Konstruktionsmethode. Nach dem Entscheid sind die wichtigsten Erfolgsfaktoren ein frühzeitiger Einbezug der Holzbauspezialisten, sowie eine klare Entscheidungsfähigkeit bis zur kleinsten Detailfrage, um aufwendige Planungsschlaufen zu vermeiden.

#### Wegleitung für investoren

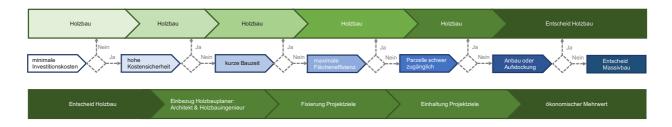


Abbildung 39: Wegleitung für Investoren

#### Literaturverzeichnis

- ezv.admin.ch. (24. Juli 2021). Von https://www.ezv.admin.ch/ezv/de/home/information-firmen/steuern-und-abgaben/einfuhr-in-die-schweiz/lenkungsabgabe-auf-co.html abgerufen
- Feltscher, M. (19. Juli 2021). Direktor GVG. (D. Altinger, Interviewer)
- Glanzmann. (2021). Was kostet ein Holzbau? Zürich: Lignum.
- Glanzmann, S. M. (2020). *Holzbaukennzahlen für Investoren*. Zürich: Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Gottsmann, T. (1. Juli 2021). Bereichsleiter Development & Construction, CS Asset Mgmt AG. (D. Altinger, Interviewer)
- Harry Gugger Studio. (25. Juni 2021). www.hgugger.ch. Von https://www.hgugger.ch/projects/hirtenweg abgerufen
- Holzindustrie Schweiz. (4. April 2021). *Medienmitteilung vom 8. April 2021*. Bern, Bern, Schweiz.
- Kolb, H. (21. Juni 2021). Prof. (D. Altinger, Interviewer)
- (2014). Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich MuKEn. Konferenz Kantonaler Energiefachstellen.
- Neubauer-Lesch. (2015). *Holzendverbrauch Schweiz 2012*. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Pirmin Jung, B. f. (2015). Holzbau vs. Massivbau ein umfassender Vergleich zwqeier Bauweisen im Zusammenhang mit dem SNBS Standard. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- (2021). Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE / MINERGIE-P / MINERGIE-A. Minergie.
- Röck, S. B. (2019, November 28). Embodied GHG emissions of buildings The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*.
- Rinke, K. H. (2020). Architektur fertigen. Zürich: Triest.

- Schläpfer, K. M. (2020). Studie zur Kreislaufwirtschaft: Strategien im Umgang mit Bestandsbauten. Zürich: Bundesamt für umwelt (BAFU).
- Schmid. (2016). Argumente für Holz. Zürich: Lignum.
- Schmid, R. (18. Juni 2021). (D. Altinger, Interviewer)
- Sumi, C. (2007). Konrad Wachsmann, Pionier des modernen Holzbaus. Zürich.
- (2013). Wärmeschutz von Gebäuden. Konferenz Kantonaler Energiefachstellen.
- www.energie360.ch. (15. Mai 2021). Von https://www.energie360.ch/magazin/de/erneuerbare-energien-nutzen/muken-2014-so-setzen-die-kantone-sie-um/ abgerufen
- www.stadt-zuerich.ch. (19. Juli 2021). Von https://www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/staedtebau/planung/bzo/bzo\_teilrevision.html abgerufen
- www.stadt-zuerich.ch. (19. Juli 2021). Von https://www.stadt-zuerich.ch/prd/de/index/statistik/publikationen-angebote/publikationen/webartikel/2020-04-07\_Bauliche-Verdichtung-aktuell.html abgerufen
- Zea, C. M. (2019). Immobilienwirtschaftliche Lösungsansätze zur Ausschöpfung des Potenzials des Holzbaus Entwicklung von DCF und LCAA Modellen sowie Datenbanken für den Holzbau. Zürich: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

## IRR Berechnung Bauzeit: Massivbau

Landkosten	5'400'000.00
Gebäudekosten	3'000'000.00
Investitionskosten	8'400'000.00
Fläche	1'000.00
Miete je m² p.a.	300.00
Miete gesamt p.a.	300'000.00
Betriebskosten	0.10
Nettomiete ges. p.a.	270'000.00
Diskontzinssatz	2.50%
Inflation	1.00%
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00

	1.00	2.00	3.00	59.00	60.00
Investition	-4'242'000.00	-4'284'420.00			
Sanierung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Miete	0.00	0.00	309'090.30	539'612.88	545'009.01
Betriebkosten	0.00	0.00	-30'909.03	-53'961.29	-54′500.90
Verkauf					7'646'610.51
Netto-Cashflow	-4'242'000.00	-4'284'420.00	278'181.27	485'651.59	8'137'118.62

IRR	3.84%
Alpha	0.00%

#### IRR Berechnung Bauzeit: Holzbau I Bauzeitverkürzung Total 0 Monate

Landkosten	5'400'000.00
Gebäudekosten	3'000'000.00
Investitionskosten	8'400'000.00
Fläche	1'000.00
Miete je m² p.a.	300.00
Miete gesamt p.a.	300'000.00
Betriebskosten	0.10
Nettomiete ges. p.a.	270'000.00
Diskontzinssatz	2.50%
Inflation	1.00%
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00

	1.00	2.00	3.00	59.00	60.00
Investition	-4'242'000.00	-4'284'420.00			
Sanierung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Miete	0.00	0.00	309'090.30	539'612.88	545'009.01
Betriebkosten	0.00	0.00	-30'909.03	-53'961.29	-54'500.90
Verkauf					7'646'610.51
Netto-Cashflow	-4'242'000.00	-4'284'420.00	278'181.27	485'651.59	8'137'118.62

IRR	3.84%
Alpha	0.00%

### IRR Berechnung Bauzeit: Holzbau II Bauzeitverkürzung Total 4 Monate

Sanierung Miete Betriebkosten Verkauf <b>Netto-Cashflow</b>	0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 102′010.00 -10′201.00 -4′192′611.00	0.00 309'090.30 -30'909.03 <b>278'181.27</b>	0.00 539'612.88 -53'961.29 <b>485'651.59</b>	0.00 545'009.01 -54'500.90 7'646'610.51 <b>8'137'118.62</b>
Sanierung Miete Betriebkosten	0.00 0.00	0.00 102'010.00	309'090.30	539'612.88	545'009.01 -54'500.90
Sanierung Miete	0.00 0.00	0.00 102'010.00	309'090.30	539'612.88	545'009.01
Sanierung	0.00	0.00			
			0.00	0.00	0.00
IIIVESCICIOII	7 272 000.00				
Investition	-4'242'000.00	-4'284'420.00			
	1.00	2.00	3.00	59.00	60.00
ungsdauer in Jahren	80.00				
atz					
<del>-</del>					
t p.a.					
).a.					
osten					
ten	3'000'000.00				
	5'400'000.00				
1	osten	een 3'000'000.00 osten 8'400'000.00 1'000.00 .a. 300'000.00 er p.a. 300'000.00 en 0.10 ess. p.a. 270'000.00 atz 2.50% ingsdauer in Jahren 80.00	en 3'000'000.00 osten 8'400'000.00 1'000.00 .a. 300.00 .p.a. 300'000.00 en 0.10 es. p.a. 270'000.00 atz 2.50% ingsdauer in Jahren 80.00	en 3'000'000.00 osten 8'400'000.00 1'000.00 .a. 300.00 p.a. 300'000.00 en 0.10 es. p.a. 270'000.00 atz 2.50%	en 3'000'000.00 osten 8'400'000.00 1'000.00 .a. 300.00 p.a. 300'000.00 en 0.10 es. p.a. 270'000.00 atz 2.50% ingsdauer in Jahren 80.00

#### IRR Berechnung Bauzeit: Holzbau III Bauzeitverkürzung Total 6 Monate

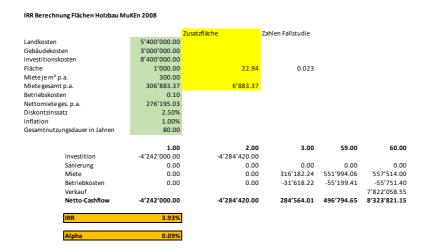
Landkosten	5'400'000.00
Gebäudekosten	3'000'000.00
Investitionskosten	8'400'000.00
Fläche	1'000.00
Miete je m² p.a.	300.00
Miete gesamt p.a.	300'000.00
Betriebskosten	0.10
Nettomiete ges. p.a.	270'000.00
Diskontzinssatz	2.50%
Inflation	1.00%
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00

	1.00	2.00	3.00	59.00	60.00
Investition	-4'242'000.00	-4'284'420.00			
Sanierung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Miete	0.00	153'015.00	309'090.30	539'612.88	545'009.01
Betriebkosten	0.00	-15'301.50	-30'909.03	-53'961.29	-54'500.90
Verkauf					7'646'610.51
Netto-Cashflow	-4'242'000.00	-4'146'706.50	278'181.27	485'651.59	8'137'118.62

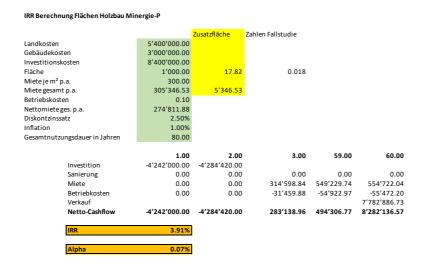
IRR	3.91%
Alpha	0.06%

#### IRR Berechnung Flächen: Massivbau Zusatzfläche 5'400'000.00 Landkosten Gebäudekosten 3'000'000.00 Investitionskosten 8'400'000.00 1'000.00 0.00 Miete je m² p.a. 300.00 300'000.00 0.00 Miete gesamt p.a. Betriebskosten 0.10 Nettomiete ges. p.a. 270'000.00 Diskontzinssatz 2.50% 1.00% Gesamtnutzungsdauer in Jahren 80.00 **2.00** -4'284'420.00 1.00 3.00 59.00 60.00 -4'242'000.00 Investition 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 Sanierung Miete 0.00 0.00 309'090.30 539'612.88 545'009.01 Betriebkosten 0.00 0.00 -30'909.03 -53'961.29 -54'500.90 Verkauf 7'646'610.51 Netto-Cashflow -4'242'000.00 -4'284'420.00 278'181.27 485'651.59 8'137'118.62 0.00% Alpha

Anhang 5: IRR Berechnung Flächenmaximierung Massivbau



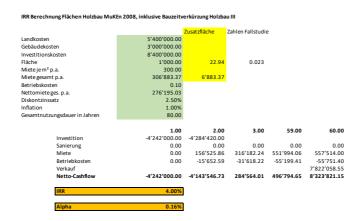
#### IRR Berechnung Flächen Holzbau MuKEn 2014 Zahlen Fallstudie Zusatzfläche 5'400'000.00 3'000'000.00 8'400'000.00 Landkosten Gebäudekosten Investitionskosten 1'000.00 0.021 Miete je m² p.a. Miete gesamt p.a. Betriebskosten Nettomiete ges. p.a. 300.00 306'358.38 0.10 275'722.54 Diskontzinssatz Inflation 2.50% 1.00% Gesamtnutzungsdauer in Jahren **1.00** -4'242'000.00 **2.00** -4'284'420.00 60.00 Investition Sanierung Miete Betriebkosten 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 315'641.35 556′560.26 -55′656.03 0.00 551'049.76 0.00 0.00 -31′564.13 -55'104.98 7'808'677.40 **8'309'581.63** -4'242'000.00 -4'284'420.00 284'077.21 495'944.79 Netto-Cashflow 3.93% IRR



Anhang 8: IRR Berechnung Flächenmaximierung Holzbau bei Minergie-P

#### IRR Berechnung Flächen: Massivbau 5'400'000.00 3'000'000.00 8'400'000.00 Landkosten Gebäudekosten Investitionskosten 1'000.00 0.00 Miete je m² p.a. Miete gesamt p.a. 300.00 300'000.00 Betriebskosten Nettomiete ges. p.a. 0.10 270'000.00 2.50% 1.00% 80.00 Diskontzinssatz Inflation Gesamtnutzungsdauer in Jahren 1.00 2.00 3.00 59.00 60.00 Investition -4'242'000.00 0.00 545'009.01 Sanierung Miete 0.00 0.00 539'612.88 -54′500.90 7′646′610.51 Betriebkosten 0.00 -30'909.03 -53'961.29 Verkauf Netto-Cashflow -4'242'000.00 -4'284'420.00 278'181.27 485'651.59 8'137'118.62

Anhang 9: IRR Berechnung Flächenmaximierung und Bauzeitverkürzung Massivbau



Anhang 10: IRR Berechnung Flächenmaximierung und Bauzeitverkürzung Holzbau MuKEn 2008

IRR Berechnung Flächen Holzbau MuKEn 2014 inklusive Bauzeitverkürzung Holzbau III							
		Zusatzfläche	Zahlen Fallstudie				
Landkosten	5'400'000.00						
Gebäudekosten	3'000'000.00						
Investitionskosten	8'400'000.00						
Fläche	1'000.00	21.19	0.021				
Miete je m² p.a.	300.00						
Miete gesamt p.a.	306'358.38	6'358.38					
Betriebskosten	0.10						
Nettomiete ges. p.a.	275'722.54						
Diskontzinssatz	2.50%						
Inflation	1.00%						
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00						
	1.00	2.00		59.00	60.00		
Investition	-4'242'000.00	-4'284'420.00					
Sanierung	0.00	0.00		0.00	0.00		
Miete	0.00	156'258.09	315'641.35	551'049.76	556'560.26		
Betriebkosten	0.00	-15'625.81	-31′564.13	-55′104.98	-55'656.03		
Verkauf					7'808'677.40		
Netto-Cashflow	-4'242'000.00	-4'143'787.72	284'077.21	495'944.79	8'309'581.63		
IRR	3.99%						
Alpha	0.15%						

Anhang 11: IRR Berechnung Flächenmaximierung und Bauzeitverkürzung Holzbau MuKEn 2014

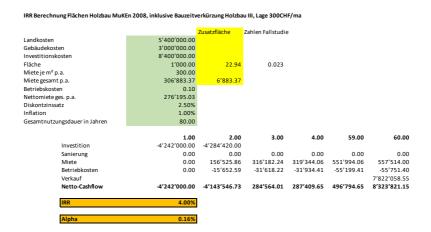
IRR Berechnung Flächen Holzbau Minergie-P inklusive Bauzeitverkürzung Holzbau III							
		Zusatzfläche	Zahlen Fallstudie				
Landkosten	5'400'000.00						
Gebäudekosten	3'000'000.00						
Investitionskosten	8'400'000.00						
Fläche	1'000.00	17.82	0.018				
Miete je m² p.a.	300.00						
Miete gesamt p.a.	305'346.53	5'346.53					
Betriebskosten	0.10						
Nettomiete ges. p.a.	274'811.88						
Diskontzinssatz	2.50%						
Inflation	1.00%						
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00						
	1.00	2.00	3.00	59.00	60.00		
Investition	-4'242'000.00	-4'284'420.00					
Sanierung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Miete	0.00	155'742.00	314'598.84	549'229.74	554'722.04		
Betriebkosten	0.00	-15'574.20	-31'459.88	-54'922.97	-55'472.20		
Verkauf					7'782'886.73		
Netto-Cashflow	-4'242'000.00	-4'144'252.20	283'138.96	494'306.77	8'282'136.57		
IRR	3.98%						
Alpha	0.14%						

Anhang 12: IRR Berechnung Flächenmaximierung und Bauzeitverkürzung Holzbau Minergie-P

### IRR Berechnung Flächen: Massivbau Lage 300CHF/ma

		Zusatzfläche		
Landkosten	5'400'000.00			
Gebäudekosten	3'000'000.00			
Investitionskosten	8'400'000.00			
Fläche	1'000.00	0.00		
Miete je m² p.a.	300.00			
Miete gesamt p.a.	300'000.00	0.00		
Betriebskosten	0.10			
Nettomiete ges. p.a.	270'000.00			
Diskontzinssatz	2.50%			
Inflation	1.00%			
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00			
	1.00	2.00	59.00	60.00
Investition	-4'242'000.00	-4'284'420.00		
Sanierung	0.00	0.00	0.00	0.00
Miete	0.00	0.00	539'612.88	545'009.01
Betriebkosten	0.00	0.00	-53'961.29	-54′500.90
Verkauf				7'646'610.51
Netto-Cashflow	-4'242'000.00	-4'284'420.00	485'651.59	8'137'118.62
IRR	3.84%			
Alpha	0.00%			

Anhang 13: IRR Berechnung Lagequalität 300 CHF /  $\mathrm{m}^2$  p.a. Massivbau



Anhang 14: IRR Berechnung Lagequalität 300 CHF / m² p.a. Holzbau

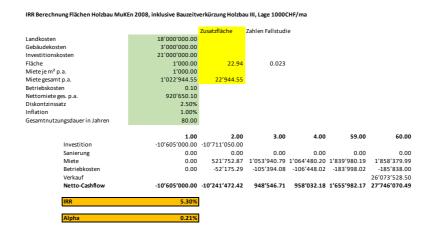
IRR Berechnung Flächen: Massivbau L	age 500CHF/ma				
		Zusatzfläche			
Landkosten	9'000'000.00				
Gebäudekosten	3'000'000.00				
Investitionskosten	12'000'000.00				
Fläche	1'000.00	0.00			
Miete je m² p.a.	500.00				
Miete gesamt p.a.	500'000.00	0.00			
Betriebskosten	0.10				
Nettomiete ges. p.a.	450'000.00				
Diskontzinssatz	2.50%				
Inflation	1.00%				
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00				
	1.00	2.00	3.00	59.00	60.00
Investition	-6'060'000.00	-6'120'600.00			
Sanierung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Miete	0.00	0.00	515'150.50	899'354.80	908'348.35
Betriebkosten	0.00	0.00	-51'515.05	-89'935.48	-90'834.83
Verkauf					12'744'350.85
Netto-Cashflow	-6'060'000.00	-6'120'600.00	463'635.45	809'419.32	13'561'864.36
IRR	4.48%				
Alpha	0.00%				

IRR Berechnung Flächen Holzbau MuK	En 2008, inklusive Bauzeitv	erkürzung Holzba	iu III, Lage 500CHI	-/ma		
		Zusatzfläche	Zahlen Fallstudie			
Landkosten	9'000'000.00					
Gebäudekosten	3'000'000.00					
Investitionskosten	12'000'000.00					
Fläche	1'000.00	22.94	0.023			
Miete je m² p.a.	500.00					
Miete gesamt p.a.	511'472.28	11'472.28				
Betriebskosten	0.10					
Nettomiete ges. p.a.	460'325.05					
Diskontzinssatz	2.50%					
Inflation	1.00%					
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00					
	1.00	2.00	3.00	4.00	59.00	60.00
Investition	-6'060'000.00	-6'120'600.00				
Sanierung	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
Miete	0.00	260'876.43		532'240.10	919'990.09	929'189.99
Betriebkosten	0.00	-26'087.64	-52'697.04	-53'224.01	-91'999.01	-92'919.00
Verkauf						13'036'764.25
Netto-Cashflow	-6'060'000.00	-5'885'811.21	474'273.36	479'016.09	827'991.08	13'873'035.24
IRR	4.67%					
Alpha	0.18%	Ì				

Anhang 16: IRR Berechnung Lagequalität 500 CHF /  $\rm m^2$  p.a. Holzbau

IRR Berechnung Flächen: Massivbau L	age 1000CHF/ma				
		Zusatzfläche			
Landkosten	18'000'000.00				
Gebäudekosten	3'000'000.00				
Investitionskosten	21'000'000.00				
Fläche	1'000.00	0.00			
Miete je m² p.a.	1'000.00				
Miete gesamt p.a.	1'000'000.00	0.00			
Betriebskosten	0.10				
Nettomiete ges. p.a.	900'000.00				
Diskontzinssatz	2.50%				
Inflation	1.00%				
Gesamtnutzungsdauer in Jahren	80.00				
	1.00	2.00	3.00	59.00	60.00
Investition	-10'605'000.00	-10'711'050.00			
Sanierung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Miete	0.00	0.00	1'030'301.00	1'798'709.60	1'816'696.70
Betriebkosten	0.00	0.00	-103'030.10	-179'870.96	-181'669.67
Verkauf					25'488'701.69
Netto-Cashflow	-10'605'000.00	-10'711'050.00	927'270.90	1'618'838.64	27'123'728.72
IRR	5.09%				
Alpha	0.00%				

Anhang 17: IRR Berechnung Lagequalität 1000 CHF /  $\mathrm{m}^2$  p.a. Massivbau



Anhang 18: IRR Berechnung Lagequalität 1000 CHF / m² p.a. Holzbau

# Abklärung Kantonale Gebäudeversicherungen 12.07.21

Unterscheidung zwischen massiv / nicht massiv

	Ja	Nein	Kommentar
Schaffhausen	Χ		
Nidwalden		Χ	Abklärung per Mail
Solothurn		Χ	Abklärung per Mail
Graubünden	Χ		Ab 2022 voraussichtlich nicht mehr
Aargau		Χ	Abklärung per Mail
St Gallen	Χ		Abklärung per Mail
Thurgau		Χ	Abklärung per Mail
Fribourg	Χ		Abklärung per Mail
Zürich		Χ	Abklärung per Mail
Bern	Χ		Abklärung per Mail
Neuchatel	Χ		Abklärung per Mail
Zug		Χ	Abklärung per Mail
Luzern	Χ		Abklärung per Mail
Jura	Χ		Abklärung per Mail
Baselland	Χ		Telefonische Auskunft 12.07.21 Frau Laub
Baselstadt		Χ	Abklärung per Mail
Glarus		Χ	Abklärung per Mail
Appenzell Ausserrohden	Χ		Telefonische Auskunft 12.07.21 Herr Bleiker
Waadt	Χ		Telefonische Auskunft 12.07.21 Frau Roussy

GUSTAVO Kantone haben keine kantonale Gebäudeversicherung, die Elementarschadenversicherung wird von privaten Verischerungen abgedeckt und individuell prämiert.

Genf Uri Schwyz

Tessin

Appenzell Innerrohden

Wallis

Obwalden

# Holzbaukennzahlen für Investoren

Projektnummer	verbaute Menge Bauholz (m3) / verbauter Kubikmeter (m3), siehe Seite 25
1	1.60%
2	2.40%
3	4%
4	4.10%
5	4.70%
6	6.00%
7	6.20%
8	8.20%
Mittelwert	4.40%

# Daten für Spinnendiagramm

# Investitionskosten (BKP2 / m2 HNF), gemäss Studie Holzbaukennzahlen, Seite 3 Baukostenvergleic

Massivbau	3300	100%
Holzbau	4300	130%
Benchmark Massivhau	3300	

# Streuung Kostensicherheit gemäss Studie Holzbaukennzahlen, Seite 3 Baukostenvergleich

Massivbau	2600	7300	4700	100%
Holzbau	3600	5100	1500	32%

Benchmark Massivbau 4700

# Betriebs- und Bewirtschaftungskosten, gemäss einhellige Aussagen Interviews

Massivbau 100% Holzbau 100%

## Planungs- und Bauzeit, gemäss Studie Was kostet ein Holzbau S.10 und Interview mit Erne Holzbau

Massivbau	28	100%
Holzbau	22	79%

Benchmark Massivbau 28

# Kosten Gebäudeversicherung, gemäss Eigenrecherche

Massivbau	100%
Holzbau	142%
Renchmark Massivhau	100%

Kantone mit bis zu doppelten Kosten	11	42%
keine doppelten Kosten	8	31%
GUSTAVO / k.A.	7	27%
Total	26	

# Flächeneffizienz, gemäss eigenen Berechnungen bei MuKEn 2008, Abb. 28

Massivbau	42	100%
Holzbau	32.5	77%

Benchmark Massivbau 42

# Anhang 21: Datengrundlage Spinnendiagramm

Experte (RS): Roger Schmid, Teamleiter Modulbau, Erne Holzbau Fragen (DAL): David Altinger, Dipl Ing TH

Ort: Erne Holzbau, Rüchlingstrasse 53, 4332 Stein

Datum: 18.06.21

#### Frage 1

DAL: Was sind aus ihrer Sicht die Hauptargumente für einen Holzbau, wie entgegnen Sie Vorurteilen?

### RS:

- Behaglichkeit in Innenräumen, keine Restfeuchtigkeit
- Kurze Bauzeit, trockenes System
- Reduzierte CO2 Belastung
- Schallschutz Herausforderung, aber es gibt auch für hohe Ansprüche Lösungen. Es muss dann zusätzliche Masse eingebracht werden, oder die Bauteile werden entkoppelt.
- Beim Brandschutz gibt es den Vorteil vom Abbrandverhalten des Holzes
- Zusätzlich wurden die Normen entsprechend angepasst
- Ein hybrider Einsatz kombiniert mit einem Betonkern bringt zusätzlich Vorteile

#### Frage 2

DAL: Ab welcher Stückzahl (Wohneinheiten, Raumzellen, etc) werden Erstellungskosten eingespart und in welcher Höhe? Sind Skaleneffekte möglich?

## RS:

- Grenzkosten bei Modulbau recht hoch, daher erst ab gewisser Stückzahl ökonomisch. Ab 40 50 Module wird es wirtschaftlich interessant.
- Modulbau bringt weitere Bauzeitverkürzung und weniger Schnittstellen auf der Baustelle.
- Witterungsunabhängigkeit bringt Vorteil
- Vorfertigungstiefe von ca 95% sind angestrebt: Fenster, Türen, Sanitärzellen, Elektro etc
- Kosteneinsparung auf Planungs- und Produktionsseite: Planungszeit wird optimiert (Skalierung bei gleichen Teil möglich), bei Unternehmern durch Rahmenverträge attraktivere Preise (einstelliger Prozentbereich).
- Möglichst einheitliche Module, wenn dann möglichst nur Abweichung in den Oberflächen.
- zB Projekt Hirtenweg Basel im sozialen Wohnungsbau komplett modular konzipiert.

### Frage 3

Wielange dauert die Produktion ab der definitiven Bestellung?

### RS:

 Modulbauprojekt ca 6 Monate ab definitiver Planfreigabe, wenn Lieferfristen «normal» sind: nach 1-2 Monate Materialbestellung

2-3 Monate bis Material da ist (inkl Fenster)

Fertigung 3 Module am Tag, ca 2 Monate

# Frage 4

Wie wichtig ist BIM für die Produktion?

#### RS

- Holzbauer arbeitet grundsätzlich in 3D, im Optimalfall sind die Daten von Fachplanern auch im 3D vorhanden.
- Zentrales Thema

#### Frage 5

Gibt es zum Kauf alternative Finanzierungsmodelle und wie sehen diese aus? Kann ein Leasing- oder Mietmodell auch im Wohnungsbauumfeld Sinn machen?

#### RS:

- Erne Holzbau hat Mietflotte von ca 20'000m2 die vermietet sind, hauptsächlich Schulen
- Desweiteren weitere Flächen aus Kauf Rückkaufgeschäfte, analog zu Gebäudeabnahmen gibt es Bonus Malus Regelungen
- Somit hat Kunde Flexibilität und keine hohen Rückbaukosten
- Kunde Zahlt Preis für Gebäude und Montage, nach ca 4-5 Jahren Preis für Demontage und ca 20-35% des Kaufpreises werden erstattet. Die Preise werden je nach Marktchancen berechnet.
- Dies bietet ökologische und wirtschaftliche Lösung für Investor und Totalunternehmer
- Herausforderung auf Seiten Behörden: es gibt nur Neubau und Umbau und nicht den Fall «Second Hand»
- Die wiedergenutzten Gebäude werden zu ca 80% weitergenutzt, es gibt aber einzelne Anpassungen bei zB Fassaden oder Dach.
- Bankprovisorien werden besonders häufig auf und abgebaut zB 8-12 Standorte, 20 Jahre und halbjährliche Nutzung
- Bei Schulen werden die Provisorien oft schon bei Zweitnutzung dauerhaft genutzt.
- Dieses Modell macht vor allem bei kurzzyklischen Nutzungen Sinn.
- Im Wohnungsbau, wenn dann nur bei sehr einheitlichen Überbauungen mit 1-2
   Zimmerwohnungen denkbar, baubewilligungsmässig allerdings schwierig umzusetzen, da die Ansprüche sehr hoch sind.

#### Frage 6

Sind die Bewirtschaftungs- und Unterhaltskosten anders zu bewerten, als in einem konventionellen Massivbau?

### RS:

- Gleiche Kosten, da grundsätzlich bei der Tragstruktur keine Kosten anfallen
- Dach, Fassade und Haustechnik sind unabhängig vom Material
- Bei Umbau oder Anpassungen hat Holzbau den Vorteil, dass man einfacher an die Bauteile herankommt, da keine Spitzarbeiten notwendig sind.
- Holzbau grundsätzlich aufstockbar (wie Massivbau) muss aber bereits bei Planung mit berücksichtigt werden. Dies wird bei der Planung fast immer mitberücksichtigt, Statik bereits geklärt.

### Frage 7

Wird ein Holzbau in der Risikobewertung als riskanter eingestuft und werden somit höhere Prämien verrechnet?

# RS:

- Versicherungen machen erfahrungsgemäss keinen Unterschied bei Schadensfällen

### Frage

Wielange werden die vorfabrizierten Häuser genutzt?

RS:

- Älteste Gebäude auf der Welt sind Holzbauten
- Holzelementbauten und Modulbauten sind vorfabriziert und dauerhaft
- Einzige Einschränkung wären eine Häufige Neuplatzierung
- 80 100 Jahre denkbar, Holzelementbau gibt es einfach noch nicht solange

#### Frage 9

Wie realistisch stufen Sie eine Wiederverwendung eines Tragwerks ein? Ist dies abhängig von den Nutzungszeiten, oder vielmehr von einer klaren Systemtrennung und einer geschützten Tragkonstruktion?

#### DC.

- Die Tragstruktur wiedernutzen wäre wünschenswert und müsste stärker eingeplant werden.
   Dies bedingt eine strikte Systemtrennung. So wie der Holzbau aufgebaut wird, könnte er auch rückgebaut werden.
- Entsorgung von Holzbau viel nachhaltiger als von Beton, da direkt Energie gewonnen werden

#### Frage 10

Wie ist das Feedback von der Kundenseite?

#### RS

- Gutes Feedback
- Winterfall durch gute Dämmung kein Thema mehr
- Fokus auf sommerlichem Wärmeschutz, zur Förderung der Masse werden zB Holz Beton Verbunddecken eingebaut.

### Frage 1

Was sind aus Ihrer Sicht die wichtigsten Faktoren, um einen Holzbau ökonomisch konkurrenzfähig aufzustellen?

# RS:

- Keine rollende Planung. Die erforderlichen Themen müssen fertig bearbeitet sein.
- Planung im Prozess zu aufwändig.
- zB S22 in rotkreuz war der Anspruch zum gleichen Preis wie der Massivbauer zu produzieren.
- Dies ist gelungen, zudem war der Holzbau 15% schneller fertig. Dadurch frühere
  Mieteinnahmen. Dabei ist der Planungsanteil leicht erhöht da zum Teil Entwicklungsarbeit
  geleistet werden muss, unterm Strich wird aber Zeit gewonnen.

### Frage 12

Ist ein vorfabrizierter Holzbau gegenüber einem konventionellen Massivbau in der «Whole Life Cost» Betrachtung ökonomisch attraktiver?

# RS:

- Kostenseite ähnlich, sogar bei Erstellungskosten.
- Benefit durch schnellere Bauzeit und koordiniertere Bauabläufe
- Erfolg durch Kombination der Materialstärken: zB Tragwerk aus Stahl und Fassaden aus Holz oder Holz Beton Verbunddecken mit den Vorteilen beider Materialien.
- Holz Beton Verbunddecken werden als Elemente vorfabriziert, so werden die Trocknungszeiten von der Baustelle fern gehalten.

Experte (HPK): Hanspeter Kolb, Prof. Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau Fragen (DAL): David Altinger, Dipl Ing TH

Ort: Zoomcall

Datum: 21.06.21

# Frage 1

DAL: Was sind aus ihrer Sicht die Hauptargumente für einen Holzbau, wie entgegnen Sie Vorurteilen?

#### HPK:

- Nachwachsender Rohstoff
- Kurze Transportwqege
- Geringer Energieaufwand für Bearbeitung
- Haltbarkeit bei Systemtrennung
- Kaskadennutzung
- CO2 Speicherung
- Wohlfühlklima, vor allem im Wohnungsbau, Schul- und Bürobauten
- Brandschutz gegenüber Massivbau gleichgestellt bis Hochhausgrenze, gemäss VKF
- Schallschutz: es gibt gute Lösungen die allerdings teilweise recht aufwändig sind, da Hilfe durch Beschwerung und viele Schichten nötig ist. Dies ist aber bei sauberer Systemtrennung gut möglich.

# Frage 2

DAL: Ab welcher Stückzahl (Wohneinheiten, Raumzellen, etc) werden Erstellungskosten eingespart und in welcher Höhe? Sind Skaleneffekte möglich?

# HPK:

- Stückzahlen erhöhen schwierig, da oft Bestellung heterogen ist
- Mit Systembau Varianz möglich
- Modulbau bei Bürobauten, Schulbauten, Beherbergungsbauten und Krankenhäusern ist Einsparung möglich
- Grosse Holzbauer wie Renggli, Erne oder Blumer Lehmann k\u00f6nnen Modulbauten bew\u00e4ltigen m\u00fcssen aber grosse Infrastruktur versorgen. Dies ist schwierig nur mit der Nachfrage auf dem Schweizer Markt zu versorgen, daher wird zB auch der deutsche Markt erschlossen.
- Kleine Holzbauer können kosteneffizient arbeiten, sind aber recht handwerklich unterwegs.
   Diese liefern Elemente an die Baustelle und setzen diese auch schnell auf der Baustelle zusammen.

### Frage 3

Wielange dauert die Produktion ab der definitiven Bestellung?

### HPK:

- Hängt von der Verfügbarkeit der Materialien ab, in den letzten 3 Monaten eine neue Situation: die Beschaffung von verleimten Produkten schwierig.
- Bei der definitiven Bestellung muss alles bestimmt und festgelegt sein, bis zur letzten Steckdose.

## Frage 4

Wie wichtig ist BIM für die Produktion?

#### HPK.

- Holzbauer ist sehr weit in der BIM Planung. Er ist aber abhängig von den Schnittstellen, daher müssen vor allem die Fachplaner ebenso BIM-fähig sein.
- Technisch ist es möglich Sperrzonen für die Baustatik und den Brandschutz einzuplanen. An der Berner FH wird hier geforscht.
- Es wäre sogar möglich den Bewilligungsprozess des Brandschutzes zu automatisieren. Dies aber in Abhängigkeit mit der Gemeinde. Daran wird ebenfalls an der Berner FH geforscht.
- Es gibt einzelne Leuchtturmprojekte, wenn man aber die tiefgehend und integral ansieht wäre noch mehr möglich.
- BIM wäre vor allem für die Bewirtschaftung sehr interessant, zB auch für Anpassungen und Umnutzungen. So könnte man alle Bauteile festhalten, wie zB Brandschutztüren und Haustechnik.

#### Frage 5

Gibt es zum Kauf alternative Finanzierungsmodelle und wie sehen diese aus? Kann ein Leasing- oder Mietmodell auch im Wohnungsbauumfeld Sinn machen?

#### HPK

- Im Wohnungsbau aktuell eher nicht.
- Die ist vor allem interessant bei Verkaufsräumen, oder bei Räumen mit beschränkten Nutzungszeiten.
- Aber auch dort sieht man dauerhafte Nutzungen von Provisorien.
- Finanzierungsmodelle sind im Wohnungsbau vorstellbar, dies müsste man vertieft anschauen bei F&E.

#### Frage 6

Sind die Bewirtschaftungs- und Unterhaltskosten anders zu bewerten, als in einem konventionellen Massiybau?

#### HPK:

- Wenn gleichwertig geplant wird und eine saubere Systemtrennung vorhanden ist, spielt die Materialisierung der Tragkonstruktion keine Rolle.
- Unterhaltskosten fallen bei Haustechnik, oder Oberflächenbekleidungen an, dies betrifft aber nicht die Tragkonstruktion.
- Vorausgesetzt es gibt keine Bauschäden.

# Frage 7

Wird ein Holzbau in der Risikobewertung als riskanter eingestuft und werden somit höhere Prämien verrechnet?

### HPK:

- Unterschiede bei Gebäudeversicherung, da kantonal geregelt zB Bern zu Zürich
- Bei GVZ gibt es keinen Unterschied da moderner Gebäudepark mit wenigen modernen Holzbauten aus den letzten 10-15 Jahren ohne Unterschied zu Massivbau.
- Bei GVB sehr viele traditionelle alte Holzbauten, daher höhere Risikoeinstufung.
- Schwierig hier einen Systemwechsel einzuführen: ab wann passt man die Prämien an, zB alle Holzbauten inkl. die in den letzten 10 Jahre erstellt wurden.

# Frage 8

Wielange werden die vorfabrizierten Häuser genutzt?

# HPK:

- Nutzungsdauer gleich lang wie bei Massivbau, wenn gemäss der Regeln der BAukunde gebaut

#### Frage 9

Wie realistisch stufen Sie eine Wiederverwendung eines Tragwerks ein?

Ist dies abhängig von den Nutzungszeiten, oder vielmehr von einer klaren Systemtrennung und einer geschützten Tragkonstruktion?

#### HPK:

- Kaskadennutzung vorstellbar, dies müsste aber bei Planung und Entwicklung der Bauteile berücksichtigt werden.
- Aktuell werden Bausystem verbaut die sich wenig dafür eignen: zB Holz Beton Verbunddecken oder stark verleimte Teile
- Aktuell werden entnommene Bauteile verhackt und verbrannt oder sie werden zu Spanplatten verarbeitet.
- An der Berner FH wird geforscht an Biokunststoffen aus zerkleinerten Holzpartikeln.
- Alternativ wäre eine klare Systemtrennung, bei Nutzungsänderung würde die Tragstruktur bestehen bleiben und die Raumeinteilung und die Hülle getaucht. Stützen, Wände und Decken müssten entsprechend eingeplant werden. Die Nichttragenden Wände müssten austauschbar sein.

## Frage 10

Wie ist das Feedback von der Kundenseite?

#### HPK:

- Feedback ist sehr gut
- HPK ist auch in der Qualitätssicherung bei Endkunden tätig, in der Regel sind sie sehr begeistert.
- HPK schreibt ebenfalls Gutachten für Bauschäden, diese sind aber nicht übervertreten.
- Gerade im Fassadenbereich und in der Detailplanung ist grosse Sorgfalt geboten, um bauphysikalische Probleme zu verhindern. Bauschäden sind bei einem Holzbau weit tragischer, da bei später Entdeckung bei Feuchteschäden die Tragkonstruktion teilweise ersetzt werden muss.
- zB Worst Case: Aussenhahn mit undichter Wasserleitung, wurde per Zufall erst sehr spät entdeckt -> gesamte Holzelemente im EG waren durchfeuchtet und mussten ersetzt werden.

### Frage 11

Was sind aus Ihrer Sicht die wichtigsten Faktoren, um einen Holzbau ökonomisch konkurrenzfähig aufzustellen?

# HPK:

- sehr wichtig ist eine frühzeitige Planung mit Bekenntnis zum Holzbau
- dieser muss integral mit dem Holzbauingenieur geplant werden, damit wird dieser besser und ökonomischer.
- Schallschutz und Brandschutzprobleme lassen sich auch so sehr früh umschiffen
- Eine klare Bestellung des Bauherren / Investors ist sehr wichtig: was sind die Anforderungen und die Qualität die gefordert werden.
- Holzbauing, und Architekt sollten konkrete Bestellung frühzeitig einholen und mit Kompetenz unterstützen.

### Frage 12

Ist ein vorfabrizierter Holzbau gegenüber einem konventionellen Massivbau in der «Whole Life Cost» Betrachtung ökonomisch attraktiver?

### HPK:

- Aus HPK Erfahrung heraus gleichwertig Die Konkurrenzsituation mit Massivbau findet allerdings zu selten statt, dass ein und dasselbe Objekt einmal in Holzbau und einmal in Massivbau verglichen wird.

Experte (DS): David Sauser, Brandschutzexperte VKF, Leiter Brandschutz Team West, Gebäudeversicherung Bern (GVB)
Fragen (DAL): David Altinger, Dipl Ing TH

Ort: Teamscall

Datum: 23.06.21, 15:30 - 16:00

# Frage 7

Wird ein Holzbau in der Risikobewertung als riskanter eingestuft und werden somit höhere Prämien verrechnet?

#### DS:

- Im Kanton Bern werden ca doppelt so hohe Prämien für einen Holzbau verrechnet, als für einen Massivbau
- Bei Mischbauweise kommt es auf den Anteil an Holzbau/Massivbau an
- Die Prämien lassen sich mit dem relativ hohen Bestand an alten Holzhäusern erklären
- Generell werden Holzbauten im Verhältnis zu den anfallenden Schäden zu stark belastet
- Moderne Holzbauten (ab ca Baujahr 2000), die den gleichen Brandschutzanforderungen entsprechen wie ein Massivbau werden überproportional belastet
- Gerade bei alten Holzhäusern fallen bei Schäden durch Blitzschlag oder Überschwemmungen höhere Schadenssummen an.
- Rational betrachtet sollten moderne Holzhäuser risikoadjustiert prämiert werden
- In anderen Kantonen, wie zB Zürich fallen die Prämien unabhängig von der Konstruktionsweise an.

Experte (MFE): Markus Feltscher, Direktor Gebäudeversicherung Graubünden Fragen (DAL): David Altinger, Dipl Ing TH

Ort: Telefonat

Datum: 19.07.21

### Frage 1

DAL: Ihre Kollegin hat mir mitgeteilt, dass die Gebäudeversicherung Graubünden im nächsten Jahr die Tarife für Holzbau und Massivbau angleichen wird, warum?

#### MFF

- Traditionell hoher Bestand alter Holzbauten, daher die Unterscheidung
- Neue Holzbauten haben die gleichen Risiken, wie Massivbauten, dies ist in den Schadenssummen ersichtlich, daher werden die Prämien angepasst
- Lediglich bei einem Vollbrand mit einer kompletten Löschung des Gebäudes ist allenfalls mit einem höheren Schaden beim Holzbau zu rechnen, da das Löschwasser die Grundsubstanz zerstört. Dies macht aber nur einen kleinen Teil der Schäden aus
- Generell geht es den Gebäudeversicherungen recht gut, daher werden die Prämien Unterscheidungen abgebaut und das Versicherungsmodell vereinfacht.

Experte (TG): Torsten Gottsmann, Bereichsleiter Development & Construction, CS Asset Mgmt AG Fragen (DAL): David Altinger, Dipl Ing TH

Ort: Zoom

Datum: 01.07.21

### Frage 1

DAL: Was sind aus ihrer Sicht die Hauptargumente für einen Holzbau, wie entgegnen Sie Vorurteilen?

#### TG:

- Hoher Vorfertigungsgrad
- Nachhaltigkeit, gerade im Zusammenhang mit Green Property Label
- Skalierungseffekte
- Gute Konstruktionsmöglichkeiten: Grosse Spannweiten, geringes Eigengewicht
- Gute Holzbaufirmen in der Schweiz
- Schallschutz und Brandschutz sind kein Problem bei einem modernen Holzbau

#### Frage 2

DAL: Ab welcher Stückzahl (Wohneinheiten, Raumzellen, etc) werden Erstellungskosten eingespart und in welcher Höhe? Sind Skaleneffekte möglich?

#### TG:

- Sollten besser die Holzbaufirmen beurteilen
- Bei Grossprojekten  $\geq$ 100Mio kommen Skaleneffekte sicherlich zum Tragen.

#### Frage 3

Wielange dauert die Produktion ab der definitiven Bestellung?

### TG:

- Ca 6 Monate
- Bis zur Planfreigabe muss alles sauber definiert sein. Die Planungsphase ist aufwendiger.

## Frage 4

Wie wichtig ist BIM für die Produktion?

# TG:

Bisher noch nicht genutzt, aber bei aktuellen Projekten wird dies kommen.

### Frage 5

Gibt es zum Kauf alternative Finanzierungsmodelle und wie sehen diese aus? Kann ein Leasing- oder Mietmodell auch im Wohnungsbauumfeld Sinn machen?

# TG:

- Bei Provisorien sinnvoll, im Wohnungsbau nicht wirklich da die Nutzungsdauer zu lange ist.
- Beim Vergleich Investment Kauf oder Leasing /Kauf-Rückkauf hielten sich die Angebote die Waage. Diese waren also nicht entscheidend.

# Frage 6

Sind die Bewirtschaftungs- und Unterhaltskosten anders zu bewerten, als in einem konventionellen Massivbau?

#### TG:

- Nein, absolute Gleichbehandlung, da Tragkonstruktion nicht entscheidend ist für diese Kosten.

#### Frage 7

Wird ein Holzbau in der Risikobewertung als riskanter eingestuft und werden somit höhere Prämien verrechnet?

#### TG:

 Nein, Gleichbehandlung in Finanzierung und Investitionsrechnung. Schon gar nicht im Diskontfaktor da dieser Hebel viel zu stark wäre.

#### Frage 8

Wie realistisch stufen Sie eine Wiederverwendung eines Tragwerks ein?

Ist dies abhängig von den Nutzungszeiten, oder vielmehr von einer klaren Systemtrennung und einer geschützten Tragkonstruktion?

#### TG:

- Für CS kein wichtiges Thema mit Nutzungsdauern > 50 Jahre
- Bei Komplettabbruch ist allenfalls ein günstiger Rückbau interessant.
- Nutzungsflexibilität und Marktplatzierung sind wichtiger

#### Frage 9

Wie ist das Feedback von der Kundenseite?

#### TG

- Sehr positives Feedback auf Holzbau
- Aber keine höhere Zahlungsbereitschaft
- Eher als softer Faktor einzuordnen.

#### Frage 10

Was sind aus Ihrer Sicht die wichtigsten Faktoren, um einen Holzbau ökonomisch konkurrenzfähig aufzustellen?

### TG:

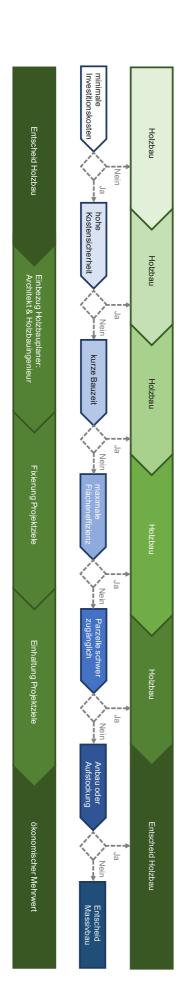
- Es muss in einer frühen Phase alles entschieden werden
- Keine rollende Planung
- Mehraufwand bei Planung
- Späte Planänderungen lösen unverhältnismässige Kosten aus.

### Frage 11

Ist ein vorfabrizierter Holzbau gegenüber einem konventionellen Massivbau in der «Whole Life Cost» Betrachtung ökonomisch attraktiver?

# TG:

- Als gleichwertig zu betrachten
- Ökologie alleine nicht massgebend, daher müssen ökonomische Vorteile gegeben sein
- zB bei grossen Spannweiten, also bei Hallen oder Aufstockungen sehr interessant
- auf der grünen Wiese eher uninteressant, da höhere Anfangsinvestitionen nicht aufgewogen werden
- auch bei besonders ökologischen Gebäuden (zB Minergie-P) bringt Holz keinen Vorteil, da dies auch konventionell erreicht werden kann.
- Green Property Gold Siegel kann auch mit Massivbauten erreicht werden, die graue Energie fällt nicht so stark ins Gewicht.



Wegleitung für investoren

Anhang 27: Wegleitung für Investoren

24.08.2021 AW Holz 1 U-Wert 0.2 zu: CUREM\_DAL\_U-Werte

	ch DIN EN ISO				Längen	in mm!	
Berechnung für homoger deren Ständer (Gebälk) r			iomogene Schick	nten,			
Projekt	Kurzbezei		Bautei	il		Beschreibung	
429	Aussen	wand				Aussenwand	
Stoff	homogene	Schicht		inho	mogene	Schicht	
Material/Schicht	Dicke d in mm	Wärmeleit- fähigkeit λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Nummer der inhomogenen Schicht	Breite Ständer in mm	Achs- maß in mm	Gefach λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Gebälk λ <sub>R</sub> in W/(m*K)
Innen		`					
Gipsfaserplatte	15.0	0.32					
OSB-Platte	15.0	0.44					
Ständer / Dämmung	200.0		1	80	625	0.035	0.10
Holzwolleplatte	35.0	0.09					
Hinterlüftungsebene							
Fassadenmaterial							
Aussen							
Wärmeübergangswiderst Wärmeübergangswiderst Zwischenrechnung		R <sub>si</sub> = R <sub>se</sub> =		m²*K/W m²*K/W	d	Gesamtbreite/-fi 6250 mittleres	cm² λ der
Schicht/Material	Fläche → Dicke ↓	5450	800			Schich λ"j	ten F
	Dicke ¥						
Innen			0.32	0.32	0.32	0.3200	0.04
	4.5			0.32		0.3200	0.04
Gipsfaserplatte	15	0.32		0.44	() 44		
Gipsfaserplatte OSB-Platte	15 15 200	0.32 0.44 0.035	0.44	0.44 0.13	0.44		
Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung	15	0.44		0.13	0.44 0.13 0.09	0.0472 0.0900	4.24
Innen  Gipsfaserplatte  OSB-Platte  Ständer / Dämmung  Holzwolleplatte  Hinterlüftungsebene  Fassadenmaterial	15 200	0.44 0.035	0.44 0.13	0.13	0.13	0.0472	4.24
Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene	15 200	0.44 0.035	0.44 0.13	0.13	0.13	0.0472	4.24
Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	15 200	0.44 0.035	0.44 0.13	0.13	0.13	0.0472	4.24
Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen	15 200 35	0.44 0.035 0.09	0.44 0.13	0.13	0.13	0.0472 0.0900	4.24 0.38
Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen Gesamtdicke:	15 200 35	0.44 0.035 0.09	0.44 0.13 0.09	0.13	0.13 0.09	$0.0472$ $0.0900$ $R''_{T} = \sum R_{j}$	4.24 0.389
Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen Gesamtdicke: klassische	15 200 35 35 265	0.44 0.035 0.09	0.44 0.13 0.09	0.13 0.09	0.13 0.09 2.178	0.0472 0.0900 R" <sub>T</sub> = Σ R <sub>I</sub> 1/R" <sub>T</sub> = U"	4.24 0.38 4.88 0.20
Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen Gesamtdicke:	15 200 35	0.44 0.035 0.09	0.44 0.13 0.09	0.13	0.13 0.09	0.0472 0.0900 R" <sub>T</sub> = Σ R <sub>I</sub> 1/R" <sub>T</sub> = U"	4.24 0.38

U = 1/R<sub>T</sub> = 0.200 W/(m²⋅K)

© 2002 by FIW München und IVPU M.H.Spitzner, C. Sprengard

Anhang 28: Berechnung Bauteilstärke Holzbau U-Wert  $0.2~\mathrm{W}$  /  $(\mathrm{m}^2*\mathrm{K})$ 

24.08.2021 AW Holz 2 U-Wert 0.17 zu: CUREM\_DAL\_U-Werte

	nicht parallel verla	ufen.	nomogene Schich	,			
Projekt	Kurzbeze	ichnung	Bautei	il .		Beschreibung	1
429	Aussen	wand				Aussenwand	
Stoff	homogene	Schicht		inho	mogene	Schicht	
Material/Schicht	Dicke d in mm	Wärmeleit- fähigkeit λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Nummer der inhomogenen Schicht	Breite Ständer in mm	Achs- maß in mm	Gefach λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Gebälk λ <sub>R</sub> in W/(m*h
Innen							
<u> </u>							
Gipsfaserplatte	15.0	0.32					
OSB-Platte	15.0	0.44					
Ständer / Dämmung	240.0		1	80	625	0.035	0.
Holzwolleplatte	35.0	0.09					
Hinterlüftungsebene							
Fassadenmaterial							
Aussen							
Wärmeübergangswiders	tand innon	R <sub>si</sub> =	0.13	m²*K/W		Gesamtbreite/-f	läche
Wärmeübergangswiders	tand außen	R <sub>se</sub> =	0.04	m²*K/W	d	6250 mittleres	cm² λ der
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung	Bereich:	R <sub>se</sub> =	0.04 b	С	d	mittleres Schich	cm² λ der
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material	tand außen	R <sub>se</sub> =	0.04	С	d	mittleres	cm² λ der
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material	tand außen  Bereich:  Fläche →	R <sub>se</sub> =	0.04 b	С	d	mittleres Schich	cm² λ der
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen	Bereich: Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a 5450	0.04 b	С		mittleres Schich λ" <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte	Bereich: Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a 5450	0.04 b 800	<b>c</b>	0.32	mittleres Schich \(\lambda''\)_j	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material	Bereich: Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a 5450	0.04 b	0.32 0.44		mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 0.3200 0.4400	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15	R <sub>se</sub> = a 5450	0.04 b 800 0.32 0.44	0.32 0.44	0.32	mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 0.3200 0.4400	cm² λ der ten 0.0 0.0 5.0
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15 240	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472	cm² λ der ten 0.0 0.0 5.0
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte  OSB-Platte  Ständer / Dämmung  Holzwolleplatte  Hinterlüftungsebene	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15 240	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472	cm² λ der ten 0.0 0.0 5.0
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15 240	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472	cm² λ der ten 0.0 0.0 5.0
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte  OSB-Platte  Ständer / Dämmung  Holzwolleplatte  Hinterlüftungsebene  Fassadenmaterial  Aussen  Gesamtdicke:	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓  15 15 240 35	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035 0.09	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13 0.09	0.32 0.44 0.13 0.09	0.32 0.44 0.13 0.09	mittleres Schich λ",  0.3200 0.4400 0.0472 0.0900	Cm <sup>2</sup> λ der ten  0.0 0.0 0.0 5.0 0.3
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte  OSB-Platte  Ständer / Dämmung  Holzwolleplatte  Hinterlüftungsebene  Fassadenmaterial  Aussen  Gesamtdicke:  klassische	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓  15 15 240 35  R <sub>Ti</sub>	R <sub>se</sub> = a  5450  0.32  0.44  0.035  0.09	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13 0.09	0.32 0.44 0.13 0.09	0.32 0.44 0.13 0.09	mittleres Schich  λ" <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472 0.0900  R" <sub>T</sub> = Σ R <sub>j</sub> 1/R" <sub>T</sub> = U"	Cm <sup>2</sup> λ der ten  0.0 0.0 0.0 5.0 0.3
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial  Aussen  Gesamtdicke: klassische U-Wert-	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓  15 240 35  R <sub>Ti</sub> 1/R <sub>Ti</sub> = U <sub>Ti</sub>	R <sub>se</sub> = a  5450  0.32  0.44  0.035  0.09  mm  7.497  0.133	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13 0.09	0.32 0.44 0.13 0.09	0.32 0.44 0.13 0.09	mittleres Schich $\lambda$ ",  0.3200 0.4400 0.0472 0.0900  R", = $\Sigma$ R, $1/R$ ", = $U$ " $\Gamma$ ( $\Sigma$ f,/R, T)- $\Gamma$	Cm <sup>2</sup> λ der ten  0.0 0.0 5.0 0.3  5.7 0.1 5.9
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte  OSB-Platte  Ständer / Dämmung  Holzwolleplatte  Hinterlüftungsebene  Fassadenmaterial  Aussen  Gesamtdicke:  klassische	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓  15 15 240 35  R <sub>Ti</sub>	R <sub>se</sub> = a  5450  0.32  0.44  0.035  0.09	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13 0.09	0.32 0.44 0.13 0.09	0.32 0.44 0.13 0.09	mittleres Schich  λ" <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472 0.0900  R" <sub>T</sub> = Σ R <sub>j</sub> 1/R" <sub>T</sub> = U"	Cm <sup>2</sup> λ der ten  0.0 0.0 5.0 0.3

M.H.Spitzner, C. Sprengard

Anhang 29: Berechnung Bauteilstärke Holzbau U-Wert  $0.17~\mathrm{W}~/~(\mathrm{m}^2*\mathrm{K})$ 

24.08.2021 AW Holz 3 U-Wert 0.12 zu: CUREM\_DAL\_U-Werte

Berechnung für homogen deren Ständer (Gebälk) n			Ü				
Projekt	Kurzbezei		Bautei	ı		Beschreibung	1
429	Aussen	wand				Aussenwand	
Stoff	homogene	Schicht		inho	mogene s	Schicht	
Material/Schicht	Dicke d in mm	Wärmeleit- fähigkeit λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Nummer der inhomogenen Schicht	Breite Ständer in mm	Achs- maß in mm	Gefach λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Gebälk λ <sub>R</sub> in W/(m*K)
Innen							
Gipsfaserplatte	15.0	0.32					
OSB-Platte	15.0	0.44					
Ständer / Dämmung	350.0		1	80	625	0.035	0.10
Holzwolleplatte	35.0	0.09					
Hinterlüftungsebene							
Fassadenmaterial							
Aussen							
Wärmeübergangswiderst Wärmeübergangswiderst		R <sub>si</sub> = R <sub>se</sub> =		m²*K/W m²*K/W		Gesamtbreite/-fi	cm²
Wärmeübergangswiderst Wärmeübergangswiderst Zwischenrechnung	and außen Bereich:				d		cm² λ der
Wärmeübergangswiderst	and außen	R <sub>se</sub> =	0.04	m²*K/W	d	6250 mittleres	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiderst Zwischenrechnung Schicht/Material	Bereich:	R <sub>se</sub> =	0.04 b	m²*K/W	d	6250 mittleres Schich	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiderst Zwischenrechnung Schicht/Material	Bereich: Fläche → Dicke ↓	R <sub>so</sub> = a 5450	0.04 b	m²*K/W		6250 mittleres Schich λ",	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiderst Zwischenrechnung Schicht/Material	Bereich:	R <sub>se</sub> =	0.04 b	m²*K/W	0.32 0.44	6250 mittleres Schich  \[ \lambda''_{j} \]  0.3200	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiderst: Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Gipsfaserplatte	Bereich: Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a 5450	0.04 b 800	c 0.32	0.32	6250 mittleres Schich λ",	cm² λ der
Wärmeübergangswiderst Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44	0.04 b 800 0.32 0.44	0.32 0.44	0.32	6250 mittleres Schich λ"j  0.3200 0.4400	cm² λ der ten  0.04 0.03
Wärmeübergangswiderst Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15 350	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	6250 mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472	Cm <sup>2</sup> λ der ten  F  0.04 0.03 7.42
Wärmeübergangswiderst.  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte  OSB-Platte  Ständer / Dämmung  Holzwolleplatte  Hinterlüftungsebene	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15 350	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	6250 mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472	cm² λ der ten  0.04 0.03 7.42
Wärmeübergangswiderst: Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15 350	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	6250 mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472	Cm <sup>2</sup> λ der ten  0.04 0.03 7.42
Wärmeübergangswiderst: Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15 350	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035 0.09	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	6250 mittleres Schich λ",  0.3200 0.4400 0.0472 0.0900	Cm <sup>2</sup> λ der ten  0.04 0.03 7.42
Wärmeübergangswiderst.  Zwischenrechnung  Schicht/Material  Innen  Gipsfaserplatte OSB-Platte Ständer / Dämmung Holzwolleplatte Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial  Aussen	Bereich: Fläche → Dicke ↓  15 15 350 35	R <sub>se</sub> = a 5450 0.32 0.44 0.035 0.09	0.04 b 800 0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	0.32 0.44 0.13	6250 mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 0.3200 0.4400 0.0472	cm <sup>2</sup> λ der ten  0.04 0.03 7.42 0.38

© 2002 by FIW München und IVPU M.H.Spitzner, C. Sprengard

Anhang 30: Berechnung Bauteilstärke Holzbau U-Wert  $0.12~\mathrm{W}~/~(\mathrm{m}^2*\mathrm{K})$ 

24.08.2021 AW Massiv 1 U-Wert 0.2 zu: CUREM\_DAL\_U-Werte

Berechnung für homoge			iomogene Schicr	iten,			
deren Ständer (Gebälk)							
Projekt	Kurzbeze	ichnung	Bautei	l		Beschreibung	
429	Aussen	wand				Aussenwand	
Stoff	homogene			inho	mogene :	Schicht	
Material/Schicht	Dicke d in mm	Wärmeleit- fähigkeit λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Nummer der inhomogenen Schicht	Breite Ständer in mm	Achs- maß in mm	Gefach λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Gebälk λ <sub>R</sub> in W/(m*K
Innen							
Stahlbeton	175.0	2.3					
Dämmung	170.0	0.035					
Hinterlüftungsebene							
Fassadenmaterial							
Aussen							
Wärmeübergangswiders		R <sub>si</sub> =		m²*K/W		Gesamtbreite/-f	läche
Wärmeübergangswiders Wärmeübergangswiders		R <sub>si</sub> = R <sub>se</sub> =		m²*K/W m²*K/W			cm²
					d	Gesamtbreite/-f mittleres Schich	cm² λ der
Wärmeübergangswiders	stand außen	R <sub>se</sub> =	0.04	m²*K/W	d	mittleres	cm² λ der
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung	Bereich:	R <sub>se</sub> =	0.04	m²*K/W	d	mittleres Schich	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material	Bereich: Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> =	0.04 b	m²*K/W		mittleres Schich \(\lambda''_j\)	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton	Bereich:	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders  Zwischenrechnung  Schicht/Material	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> =	0.04 b	m²*K/W		mittleres Schich \(\lambda''_j\)	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda''\) <sub>j</sub>	cm² λ der ten
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen	Bereich:  Fläche → Dicke ↓  175 170	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c c 2.3	2.3	mittleres Schich \(\lambda\''\j\) 2.3000 0.0350	cm² λ der ten  0.07 4.85
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen Gesamtdicke:	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓  175 170	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c 2.3 0.035	2.3	mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 2.3000 0.0350	cm² λ der ten  0.07 4.85
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen  Gesamtdicke: klassische	stand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓  175 170 170  845	R <sub>se</sub> = a 2.3 0.035	0.04 b	2.3 0.035	2.3 0.035	mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 2.3000 0.0350  R" <sub>T</sub> = Σ R <sub>j</sub> 1/R" <sub>T</sub> = U"	0.07 4.85 5.10 0.15
Wärmeübergangswiders Zwischenrechnung Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen Gesamtdicke:	tand außen  Bereich:  Fläche → Dicke ↓  175 170	R <sub>se</sub> = a	0.04 b	c 2.3 0.035	2.3	mittleres Schich λ" <sub>j</sub> 2.3000 0.0350  R" <sub>T</sub> = Σ R <sub>j</sub> 1/R" <sub>T</sub> = U"	cm² λ der ten  0.07 4.85

 U = 1/R <sub>T</sub> =
 0.196 W/(m²⋅K)

 © 2002 by FIW München und IVPU
 M.H.Spitzner, C. Sprengard

Anhang 31: Berechnung Bauteilstärke Massivbau U-Wert 0.2 W /  $(m^2 * K)$ 

24.08.2021 AW Massiv 2 U-Wert 0.17 zu: CUREM\_DAL\_U-Werte

Berechnung für homoger		bis zu zwei inh			Längen	in mm!	
deren Ständer (Gebälk) r							
Projekt	Kurzbeze	chnung	Bautei	ı		Beschreibung	<u> </u>
429	Aussen	wand				Aussenwand	
Stoff	homogene			inho	mogene	Schicht	ı
Material/Schicht	Dicke d in mm	Wärmeleit- fähigkeit λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Nummer der inhomogenen Schicht	Breite Ständer in mm	Achs- maß in mm	Gefach λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Gebälk λ <sub>R</sub> in W/(m*K)
Innen							
Stahlbeton	175.0	2.3					
Dämmung	200.0	0.035					
Hinterlüftungsebene							
Fassadenmaterial							
Aussen							
M/V 251	to a diament	n -	0.40	m²*K/W		Gesamtbreite/-f	اعمامه
Wärmeübergangswiders Wärmeübergangswiders		R <sub>si</sub> = R <sub>se</sub> =		m²*K/W		Gesambreite/-i	cm <sup>2</sup>
Zwischenrechnung	Bereich:	a	b	С	d	mittleres Schich	λder
						λ"i	R
Schicht/Material	Fläche → Dicke ↓					<b>∧</b> j	
Schicht/Material						ر ۸	•,
Innen	Dicke ↓	2.2	2.2	2.2	2.2	,	
Innen Stahlbeton	Dicke ↓	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3000	0.076
Innen	Dicke ↓	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3 0.035	,	0.07
Innen Stahlbeton	Dicke ↓		-			2.3000	0.076
Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Dicke ↓		-			2.3000	0.076
Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene	Dicke ↓		-			2.3000	0.076
Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Dicke ↓		-			2.3000	0.07
Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Dicke ↓		-			2.3000	0.07
Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Dicke ↓		-			2.3000	0.07
Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen	Dicke ↓  175 200	0.035	-			2.3000 0.0350	0.07
Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Dicke ↓  175 200  375	0.035	0.035	0.035		2.3000	0.07· 5.71·
Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen Gesamtdicke:	Dicke ↓  175 200	0.035	-		0.035	2.3000 0.0350 $R''_{T} = \sum_{i} R_{i}$ 1/R'' <sub>T</sub> = U''	0.07
Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen Gesamtdicke: klassische	Dicke ↓  175 200  201  375  R <sub>TI</sub>	0.035 mm 5.960	0.035	0.035	0.035	2.3000 0.0350 $R''_{T} = \sum_{i} R_{i}$ 1/R'' <sub>T</sub> = U''	0.07 5.71 5.96 0.16

U = 1/R<sub>T</sub> = 0.168 W/(m²⋅K)

© 2002 by FIW München und IVPU M.H.Spitzner, C. Sprengard

Anhang 32: Berechnung Bauteilstärke Massivbau U-Wert  $0.17~\mathrm{W}~/~(\mathrm{m}^2*\mathrm{K})$ 

24.08.2021 AW Massiv 3 U-Wert 0.12 zu: CUREM\_DAL\_U-Werte

	nicht parallel verla						
Projekt	Kurzbeze	ichnung	Bautei	ı		Beschreibung	9
429	Aussen	wand				Aussenwand	
Stoff	homogene	Schicht		inho	mogene	Schicht	
Material/Schicht	Dicke d in mm	Wärmeleit- fähigkeit λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Nummer der inhomogenen Schicht	Breite Ständer in mm	Achs- maß in mm	Gefach λ <sub>R</sub> in W/(m*K)	Gebälk λ <sub>R</sub> in W/(m*K
Innen		, ,					
Stahlbeton	175.0	2.3					
Dämmung	280.0	0.035					
Daminung	200.0	0.033					
Hinterlüftungsebene							
Fassadenmaterial							
Aussen							
Wärmeübergangswiders	tand innen	R <sub>si</sub> =	0.13	m²*K/W		Gesamtbreite/-f	läche
Wärmeübergangswiders	tand außen	R <sub>se</sub> =	0.04	m²*K/W			cm <sup>2</sup>
				С			
Zwischenrechnung	Bereich:	а	b	С	d	mittleres Schich	
Zwischenrechnung Schicht/Material	Bereich: Fläche → Dicke ↓	a	b	С	d		iten
Schicht/Material	Fläche →	a	b	С	d	Schich	iten
Schicht/Material	Fläche → Dicke ↓	·	5			Schich λ",	iten F
Schicht/Material Innen Stahlbeton	Fläche →	2.3	2.3	2.3	2.3	Schich λ", 2.3000	0.07
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung	Fläche → Dicke ↓	·	5			Schich λ",	0.07
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene	Fläche → Dicke ↓	2.3	2.3	2.3	2.3	Schich λ", 2.3000	0.07
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung	Fläche → Dicke ↓	2.3	2.3	2.3	2.3	Schich λ", 2.3000	0.07
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene	Fläche → Dicke ↓	2.3	2.3	2.3	2.3	Schich λ", 2.3000	0.076
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Fläche → Dicke ↓	2.3	2.3	2.3	2.3	Schich λ", 2.3000	0.07
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial	Fläche → Dicke ↓	2.3	2.3	2.3	2.3	Schich λ", 2.3000	0.07
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen	Fläche → Dicke ↓	2.3 0.035	2.3	2.3	2.3	2.3000 0.0350	0.07( 8.00)
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen Gesamtdicke:	Fläche → Dicke ↓  175 280  455	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3	2.3000 0.0350	0.070 8.000
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen  Gesamtdicke: klassische	Fläche → Dicke ↓  175 280  455	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3000 0.0350 R" <sub>T</sub> = Σ R <sub>j</sub> 1/R" <sub>T</sub> = U"	0.07/ 8.00/ 8.24/ 0.12
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen  Gesamtdicke: klassische U-Wert-	Fläche → Dicke ↓  175 280  455  R <sub>Ti</sub> 1/R <sub>Ti</sub> = U <sub>Ti</sub>	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3	Schich $\lambda''_{j}$ 2.3000 0.0350 $R''_{T} = \sum R_{j}$ $1/R''_{T} = U''$ $R'_{T} = (\sum f_{j}/R_{T})^{-1}$	0.07/ 8.00/ 8.24/ 0.12 8.24/
Schicht/Material Innen Stahlbeton Dämmung Hinterlüftungsebene Fassadenmaterial Aussen  Gesamtdicke: klassische	Fläche → Dicke ↓  175 280  455	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3 0.035	2.3000 0.0350 R" <sub>T</sub> = Σ R <sub>j</sub> 1/R" <sub>T</sub> = U"	0.070 8.000

Anhang 33: Berechnung Bauteilstärke Massivbau U-Wert  $0.12~\mathrm{W}~/~(\mathrm{m}^2*\mathrm{K})$ 

# Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema "vorfabrizierter Holzbau: eine ökonomische Nachhaltigkeitsbetrachtung" selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe.

Alle Stellen die wörtlich oder sinngemäss aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angabe der Quelle (auch der verwendeten Sekundärliteratur) als Entlehnung kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen und wurde auch noch nicht veröffentlicht.

Zürich, den 24.08.2021

Ja pm

David Altinger