

Holzhybridhochhäuser im Vergleich mit herkömmlichen Hochhäusern

Timber hybrid high-rise buildings in comparison with conventional high-rise buildings

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science in Engineering (BSc)

der Fachhochschule FH Campus Wien

Bachelorstudiengang: Bauingenieurwesen - Baumanagement

Vorgelegt von:

Sebastian Wiesinger

Personenkennzeichen

c2010324119

Erstbegutachter oder Erstbegutachterin:

Dipl.-Ing. Dr. Tobias Steiner

Eingereicht am:

02.10.2023

Eigenständigkeitserklärung:

Ich erkläre, dass die vorliegende Abschlussarbeit von mir selbst verfasst wurde und ich keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet bzw. mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe (wie z. B. ChatGPT oder ähnlichen auf künstlicher Intelligenz basierenden Programmen) bedient habe. Ich versichere, dass diese Arbeit keine personenbezogenen Daten enthält und dass ich sämtliche urheber-, lizenz- sowie bildrechtliche Fragen im Zusammenhang mit der elektronischen Veröffentlichung dieser Arbeit geklärt habe, widrigenfalls werde ich die FH Campus Wien von Ersatzansprüchen Dritter schad- und klaglos halten. Ich versichere, dass ich diese Abschlussarbeit bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass die von mir eingereichten Exemplare (ausgedruckt und elektronisch) identisch sind.

Datum: 02.10.2023 Unterschrift: S. Wüj

Danksagung

Diese Bachelorarbeit widme ich meiner Familie, die mich während der gesamten Zeit des Studiums immer unterstützt hat. Dabei denke ich besonders an meine Mutter, die mir in stressigen Momenten immer zur Seite gestanden ist.

Ein großer Dank geht an meinen Betreuer, Herrn Dipl.-Ing. Dr. Tobias Steiner, der mir mit seinem Fachwissen und hilfreichen Anregungen stets weitergeholfen hat.

Außerdem möchte ich mich bei dem Architektenbüro Handler und im Speziellen bei Herrn BM Ing. Peter Schönfeldinger für die Bereitstellung vieler Planunterlagen des Holzhybridhochhauses HoHo und für die Zusendung des Buches „HoHo (Das) Buch: Die Geschichte einer Vision“ bedanken.

Des Weiteren gilt mein Dank Frau Ing. Angelika Rettenbacher vom Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie für die Möglichkeit der Benützung der Software Eco2Soft für den ökologischen Vergleich der beiden Hochhaussysteme.

Abschließend möchte ich mich an dieser Stelle recht herzlich bei allen Menschen und vor allem allen Studienkollegen und Studienkolleginnen bedanken, die mich während dieser Zeit motiviert haben.

Kurzfassung

Diese Bachelorarbeit „Holzhybridhochhäuser im Vergleich mit herkömmlichen Hochhäusern“ befasst sich mit der Auseinandersetzung und Beschreibung der beiden Hochhaussysteme. Diese Arbeit bezieht sich hauptsächlich auf die Ausbildung der Hochhäuser mit einem Stahlbeton Tragsystem.

Am Beginn dieser Arbeit werden die für die Konstruktion eines solchen Hochhauses möglichen Tragwerkssysteme näher erläutert und deren Eigenschaften beschrieben. Besonders wird hierbei auf die räumlichen Tragwerke eingegangen, welche speziell für die Holzhybridbauweise bevorzugt werden.

Im Hauptteil werden die beiden Bauweisen samt deren Eigenschaften näher beschrieben und verglichen. Dieser Vergleich der Stahlbeton- und Holzhybridkonstruktion kann nur in mehreren einzelnen Schritten erfolgen. Zuerst werden die Grundlagen wie etwa Brandschutz und technische Herausforderungen erläutert und danach näher ins Detail eingegangen.

Anhand von einem Beispielobjekt, das HoHo Wien, wird der ökologische und wirtschaftliche Vergleich ausgearbeitet. Mit Hilfe der Software der Baubook Gruppe wird zuerst der ökologische Vergleich mit dem Bauteilrechner und anschließend der wirtschaftliche Vergleich mit dem Amortisations- und Wirtschaftlichkeitsrechner durchgeführt.

Abstract

This bachelor thesis "Wood hybrid high-rise buildings in comparison with conventional high-rise buildings" deals with the discussion and description of the two high-rise building systems. This work mainly relates to the formation of high-rise buildings with a reinforced concrete load-bearing system.

At the beginning of this work, the two structural systems possible for the construction of such a high-rise building are explained in more detail and their properties are described. Particular attention is paid to the spatial supporting structures, which are particularly preferred for hybrid wood construction.

In the main part, the two construction methods and their properties are described and compared in more detail. This comparison of reinforced concrete and wood hybrid construction can only be done in several individual steps. First, the basics such as fire protection and technical challenges are explained and then discussed in more detail.

An ecological and economic comparison is made using an example property, the HoHo Vienna. With the help of the software from the Baubook Group, the ecological comparison is first carried out with the component calculator and then the economic comparison with the amortization and profitability calculator.

Abkürzungsverzeichnis

AWR	Amortisations- und Wirtschaftlichkeitsrechner
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
EPS	Polystyrol-Partikelschaumstoff
ETK	Einheits-Temperatur-Kurve
GK	Gebäudeklasse
GWP	Globales Erwärmungspotential
HBV	Holz-Beton-Verbund
i.d.R.	in der Regel
m	Meter
max.	Maximal
OI	Ökoindex
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
PE	Primärenergieinhalt
PS	Polystyrol
STB	Stahlbeton
usw.	und so weiter
uvw.	und viele weitere
XPS	Polystyrol-Extruderschaumstoff
z. B.	zum Beispiel
%	Prozent

Schlüsselbegriffe

Globales Erwärmungspotential	global warming potential
Hochhaus	skyscraper
Holzhybridbauweise	wood hybrid construction
Kerntragwerk	core structure
Schichtaufbau	layer structure
Stahl-Beton-Außenwand	Steel-concrete outer wall
Tragwerkssystem	structural system
Wärmedurchgangskoeffizient	heat transfer coefficient

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	I
KURZFASSUNG	II
ABSTRACT	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
SCHLÜSSELBEGRIFFE	V
INHALTSVERZEICHNIS	VI
1. EINLEITUNG	1
1.1. Das Hochhaus	1
1.2. Definition Hochhaus.....	1
1.3. Bedeutung von Hochhäusern in der heutigen Gesellschaft	2
1.4. Eigenschaften von Hochhäusern.....	2
2. TRAGWERKSYSTEME VON HOCHHÄUSERN	4
2.1. Aussteifungstragwerke.....	5
2.1.1. Stockwerkrahmen	5
2.1.2. Fachwerke	6
2.1.3. Wandscheiben	7
2.1.4. Gekoppelte Systeme	8
2.2. Räumliche Tragwerke	9
2.2.1. Kerntragwerke (mit Auslegersystem)	10
2.2.2. Röhrentragwerke	14
3. HOCHHÄUSER IN HERKÖMMLICHER STB-BAUWEISE	22
3.1. Tragsysteme	22
3.2. Konstruktive Schutzmaßnahmen.....	23
3.2.1. Dämmstoff	23
3.2.2. Abdichtungen.....	26
3.3. Konstruktiver Brandschutz	28
3.3.1. Feuerwiderstandsklassen	29
3.3.2. Hochtemperaturverhalten von Stahlbeton	30
3.3.3. Mindestabmessungen von STB-Bauteilen	31
4. HOLZHYBRIDHOCHHÄUSER	32
4.1. Tragsysteme	32
4.2. Brandverhalten und Brandschutz.....	34

4.3.	Holzschutz	39
4.4.	Vorfertigung.....	41
5.	BEISPIELOBJEKT HOHO WIEN	42
6.	ÖKOLOGISCHE ASPEKTE	44
6.1.	Ergebnis des ökologischen Vergleichs	45
6.2.	Wärmedurchgangskoeffizient.....	46
6.3.	OI-Klasse nach BG0.....	47
7.	WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE	51
8.	FAZIT	55
	QUELLENVERZEICHNIS.....	57
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	60
	ANHANG.....	63

1. Einleitung

In einer Zeit, in der Wohnraum immer knapper und Grundstücke immer teurer werden, benötigt es einen richtigen Ausgleich zwischen bebautem Grund und dabei erhaltener Wohnnutzfläche. Diesen Ansatz nach ständig wachsenden Bedürfnissen der Bevölkerung für mehr Wohnraum, erfüllt das Konzept der klassischen Hochhauskonstruktion. Hierbei wird anstelle der Bebauung auf kostbaren und benötigten Grünlandschaften ein kleinerer Bauplatz benötigt, welcher in die Vertikale verbaut wird. Hierdurch erhält die Stadt mehr Wohnfläche auf kompakterem Raum.

1.1. Das Hochhaus

Um die verschiedenen Bauarten des Hochhauses vergleichen zu können, muss zuerst festgelegt werden, was genau die Eigenschaften und Besonderheiten von einem Hochhaus sind und welche Bauobjekte zu dieser Gruppe zählen.

1.2. Definition Hochhaus

„Die Stadt Wien definiert Hochhäuser laut §7f der Wiener Bauordnung als solche, wenn der oberste Abschluss inklusive aller Dachaufbauten mehr als 35 Meter über dem tiefsten Punkt des anschließenden Geländes beziehungsweise der anschließenden Verkehrsfläche liegt.“¹

Den Grundstein für die heutzutage gebauten Hochhäuser in Wien setzten COOP Himmelb(l)au/Synthesis 1991 mit dem Hochhauskonzept. Dieses wurde 1994 in den Wiener Stadtentwicklungsplan mit aufgenommen und stellte die Basis der Baubedingungen der damaligen Hochhäuser dar.

¹Hochhäuser. In: <https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Hochhäuser.at>
(letzter Zugriff 28.04.2023)

1.3. Bedeutung von Hochhäusern in der heutigen Gesellschaft

Um den stetig wachsenden Anforderungen der Bevölkerung für mehr Wohnraum nachzukommen, braucht es mehr Wohnungen in der Stadt. Damit jedoch nicht zu viel Grünlandschaft weggenommen und die Stadt immer mehr in die Weite verbaut wird, muss dieser Bauplatz in die Vertikale verschoben werden.

„Es beginnt also nicht bei den Einzelheiten, die sich am Ende zum triumphalen Wolkenkratzer fügen, sondern bei den Bedürfnissen, denen dieser gerecht werden muß, noch lange bevor er “an sich selber denkt“. Das Recht auf Einzigartigkeit und Individualität wird dem Hochhaus dadurch nicht abgesprochen (im Gegenteil), und Wirtschaftlichkeit ist speziell im Wohnungsbau unwidersprochene Grundvoraussetzung. Beide werden aber durch vorgegebene Qualitätserfordernisse ergänzt.“²

1.4. Eigenschaften von Hochhäusern

Eine besondere Eigenschaft, die sich unter anderem fast alle Hochhäuser teilen, ist dass sie einen Mehrwert für die Gesellschaft und die Stadt, in der sie gebaut werden, schaffen sollen. Vor allem für Wohnnutzflächen in einem Gebäude muss der Mensch mit seinen jeweiligen Bedürfnissen im Vordergrund stehen.

„Weiters haben diese Bauten eine zu erfüllende Funktion, wobei die Architektur und die Optik des äußeren Erscheinungsbildes dementsprechend gestaltet werden muss und nicht nur aus einer skulpturalen eintönigen Baumasse konzipiert werden sollte.“³

Ein wichtiger Aspekt, der bei der Planung nicht vergessen werden sollte, der untypischerweise wenig mit der konstruktiven Planung zu tun hat, ist jener der sozialen Auseinandersetzung der Menschen, die innerhalb dieses Komplexes

² Klasmann, Karl Jaan: Das (Wohn-) Hochhaus: Hochhaus und Stadt. Wien: Springer Verlag Wien New York 2004. S.12.

³ Was macht ein gutes Hochhaus aus. In: <https://news.hslu.ch/was-macht-ein-gutes-hochhaus-aus/#:~:text=Ab%20welcher%20Höhe%20sprechen%20wir,sind%20in%20etwa%20acht%20Gesc%20hosse> (letzter Zugriff 11.06.2023)

wohnen, arbeiten und sich aufhalten. „Häufig sind Hochhäuser monofunktionale und unflexible Gebäude für bestimmte Menschengruppen oder Nutzungen und es findet keine Durchmischung statt.“⁴

⁴ Was macht ein gutes Hochhaus aus. In: <https://news.hslu.ch/was-macht-ein-gutes-hochhaus-aus/#:~:text=Ab%20welcher%20Höhe%20sprechen%20wir,sind%20in%20etwa%20acht%20Geschosse> (letzter Zugriff 11.06.2023)

2. Tragwerksysteme von Hochhäusern

Jedes Hochhaus, das geplant wird, hat andere Beanspruchungen und Anforderungen. Damit ist jedes Objekt ein Unikat. Um diesen Anforderungen Stand zu halten, benötigt es ein auf das Gesamtsystem abgestimmtes Tragwerk, das eine wichtige Balance zwischen der Wirtschaftlichkeit und den auszuhaltenden Einwirkungen einhält.

„Aus wirtschaftlichen und technologischen Gründen, die sich vor allem aus dem Verhältnis der horizontalen Steifigkeit zur Materialquantität ergeben, ist die Anwendung der einzelnen Aussteifungsvarianten in den komplexen Tragsystemen in Abhängigkeit von der Bauhöhe zu gestalten.“⁵ Diese Voraussetzung ist eindeutig in dem untenstehenden Bild zu erkennen. Hier werden sämtliche Konstruktionstragwerke im Verhältnis zu ihrer möglichen Bauhöhe gestellt.

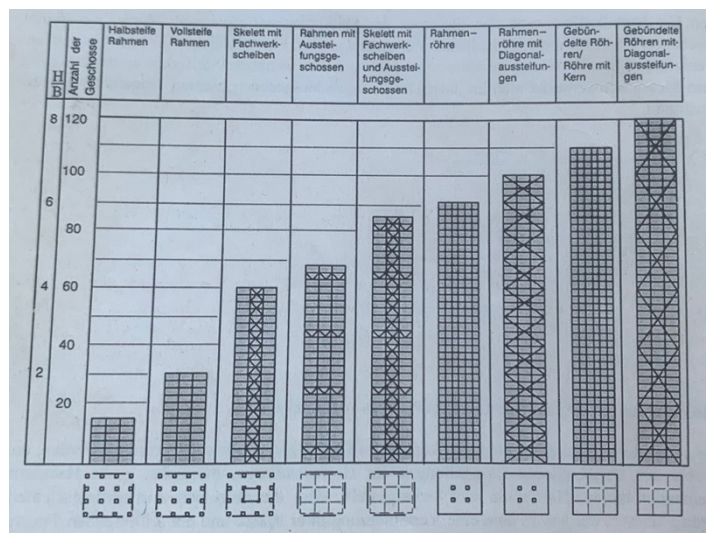


Abbildung 1: Hochhaus-tragssysteme im Verhältnis der Gebäudehöhe

Ebenfalls müssen die folgenden Punkte bei der Planung des richtigen Tragwerkssystems beachtet werden:

- „Vertikallasten sollen auf dem kürzesten Wege in die Gründung abgetragen werden,

⁵ Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.84.

- Lastumwege sind nur dann angemessen, wenn dadurch andere Vorteile zu gewinnen sind,
- ständige Lasten sollten für die Abtragung der Horizontallasten genutzt werden (Zugkräfte überdrücken),
- Konstruktion und Installation sind nach Möglichkeit zu trennen,
- Bauverfahren und Tragwerk bedingen einander,
- wichtige Konstruktionsdetails müssen in einem frühen Planungsstadium bis zur Ausführungsreife durchgearbeitet werden.“⁶

2.1. Aussteifungstragwerke

Die Aufgabe der Aussteifungstragwerke ist, dass sie die horizontalen Lasten in das Fundament ableiten und somit die Standsicherheit des Hochhauses gewährleisten. Durch einen großen Hebelarm bei vertikalen Aussteifungselementen wird das System bei gleichbleibender Lasteinwirkung weniger beansprucht.⁷

Im Nachfolgenden werden die wichtigsten Aussteifungstragwerke genannt, diese in Bezug zu den Hochhäusern gestellt und ihre Eigenschaften bzw. Funktionen näher erläutert.

2.1.1. Stockwerkrahmen

Rahmentragwerksysteme werden aus Zwei- bzw. Dreigelenrahmen oder eingespannten Rahmen erstellt. Sie können vertikale Lasten als auch horizontale Lasten ableiten. Durch die biegesteife Verbindung zwischen dem Rahmenstiel und dem Rahmenriegel, übernehmen diese in einem Stockwerkrahmen die vertikale Aussteifungskomponente.

Dadurch wird es ermöglicht weniger Material verbauen zu müssen und die restlichen Stützen können als leichte Pendelstützen ausgebildet werden.

Da die Stockwerkrahmen sowohl die Rolle der Abtragung der vertikalen Lasten als auch der Aussteifung des Systems übernehmen, bleiben die Felder zwischen den Stielen der Stützen frei. Dies ermöglicht eine frei nutzbare Geschoßfläche.

⁶ Wannke, Marvin: Aussteifung von Hochhäusern mit Outriggers. Dortmund: Universität Dortmund. Fachbereich Bauwesen. Diplomarbeit. März 2001. S.8.

⁷ Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.83-84.

Ein weiterer Vorteil ist, wenn die Querschnittsflächen der Stützen mit vertikal abtragenden Lasten so geplant werden, dass alle Stützen unter annähernd gleichen Spannungszuständen stehen und somit die Stauchung aller Stützen fast gleich groß ist, können Probleme wie etwa eine unterschiedliche Verformung des Querschnittes vermieden werden.

Durch die biegesteife Knotenverbindung werden die Biegemomente in die Rahmenstiele eingeleitet und dies verhindert eine Verdrehbarkeit der Riegelenden. Dies ermöglicht wiederum eine geringere Biegebeanspruchung der Riegel selbst.

Eine besonders genaue Planung erfordert die Ausbildung der Rahmenecken. Diese werden durch horizontale Lasteinwirkungen im Stiel und Riegel sowohl auf Biegezug- als auch auf Biegedruckkräfte beansprucht.

Um die Torsionsspannungen im Grundriss so gering wie möglich zu halten, sollte eine symmetrische Anordnung der Rahmen in horizontaler und vertikaler Ebene des Grundrisses angestrebt werden. Unregelmäßige Gebäudeformen in beiden orthogonalen Richtungen sollten vermieden werden. Weiters muss sich das Steifigkeitszentrum in der Nähe vom Massezentrum befinden.

2.1.2. Fachwerke

Im Vergleich zu Stockwerkrahmen sind Fachwerke viel steifer und können mit einer geringeren Querschnittsabmessung konstruiert werden. Beachtet man die Theorie 2. Ordnung, bekommen die Stäbe als Schnittgröße primär Axialkräfte, die Biegemomente haben hierbei nur eine untergeordnete Rolle.

Greifen die Lasten idealerweise im Knotenpunkt an, so entstehen hauptsächlich Lasten, die über Längsdruck- und Längszugkräfte abgetragen werden.

Ein weiterer großer Vorteil bei Fachwerken ist, dass die Stäbe frei von ungünstigen Beanspruchungen wie etwa Torsion, Schub und Biegung sind. Dies geht auf den Aufbau der Fachwerke aus Stabdreiecken in Kombination mit einer gelenkigen Verbindung der Stäbe zurück.

„Im Vergleich zu V-Aussteifungsverbänden, bewirken X-Verbände, gemessen am Gewicht der Tragkonstruktion, die größte horizontale Steifigkeit.“⁸

2.1.3. Wandscheiben

Ein Tragwerksystem mit Wandscheiben wirkt wie ein im Fundament eingespannter Kragträger. Die horizontalen Kräfte können durch die steifen Tragwände, die wie Biegeträger funktionieren, abgeleitet werden. Durch ihre relativ starke Steifigkeit bekommen die Wände nur wenig Horizontalverschiebungen und sind für außergewöhnliche Lastfälle, wie etwa Erdbeben, gut geeignet.

Um die horizontale Auslenkung der Wände bzw. Tragwerke so gering wie möglich zu halten, sollten die aussteifenden Wandscheiben eine gewisse Querschnittsdicke haben. Denn je schmaler sie ausgebildet werden, desto mehr horizontale Kräfte wirken auf sie ein.

Um die Schubbeanspruchung ebenfalls so gering wie möglich zu halten, sollte die Wandquerschnittsfläche von zwei im rechten Winkel stehenden Wandscheiben nicht unterhalb eines bestimmten %-Satzes der Bruttogrundrissfläche fallen.

„Ist n die Stockwerkanzahl oberhalb des betrachteten Querschnitts, so soll dieser Prozentsatz 1,5 für $n > 5$ betragen.“⁹

„Die Schlankheit der Scheiben wird durch das Verhältnis der Wandhöhe h_w zu Wandlänge l_w bestimmt, wobei die Scheiben mit $h_w/l_w \geq 3$ als schlank und jene mit $h_w/l_w < 3$ als gedungen gelten.“¹⁰

Die schlanken Wandscheiben verhalten sich statisch wie Biegeträger und haben nur geringe Querkräfte, die auf die Verformung wirken. Gedrungene Wandscheiben

⁸ Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.88.

⁹ Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.90.

¹⁰ Tasevski, Darko: Bewertung der Aussteifungseigenschaften von Tragwerken im Hochhausbau. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Bauingenieurwesen. Diplomarbeit. 2012. S.30.

hingegen haben große Bereiche, in denen die Horizontallasten abgetragen werden können und haben dadurch ebenfalls nur eine geringe Verformung.

Die Mindestabmessung der Wandstärke beträgt in etwa 15 bis 30 cm. Für höhere Stabilitätsanforderungen ist es ratsam Randverstärkungen anzubringen, welche zur Aufnahme oder Verankerung von Riegeln dienen und geringes seitliches Ausbeulen verhindern.

Da es immer wieder vorkommt, dass es Öffnungen in den Wandsystemen gibt, wie zum Beispiel für Aufzugs- oder Treppenhaustüren, ist es wichtig, die Horizontallasten und infolgedessen die Biege- und Schubverformungen exakt zu berechnen. Um eine möglichst genaue Lösung zu bekommen, werden Systeme mit geschlossenen Wänden und welche mit Öffnungen verschieden berechnet.

„In Wandscheiben mit Öffnungsspalten (gegliederte oder gekoppelte Wandscheiben), spaltet sich das Kragstützenmoment aus der Horizontalbelastung in Momente der Teilwände und in ein Moment, das durch Längskräfte der Teilwände gebildet wird.“¹¹

Dadurch wird die horizontale Lasteinwirkung über die Wandhöhe ungleichmäßig verteilt bzw. abgetragen. Zuerst muss die Stockwerksquerkraftverteilung und die einwirkende Querkraft der einzelnen Wandscheiben berechnet werden. Danach können die für jede Wand und jedes Stockwerk einwirkende Kraft und das Moment ermittelt werden.

2.1.4. Gekoppelte Systeme

Die Haupteigenschaft von gekoppelten Systemen zur Erhöhung der Steifigkeit ist, dass die Tragelemente unter gleicher Belastung unterschiedliche Verformungsverhalten bilden. Durch diese Besonderheit bekommt das Tragsystem alle Vorteile der verschiedenen gekoppelten Systemen im selben Moment.

¹¹ Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.91.

Zum Beispiel wird ein Skeletttragwerk sehr oft mit Wandscheiben verbunden, da diese die Steifigkeit verbessern und es zu einem ausgewogeneren Tragverformungsverhalten kommt.

Ein weiterer Vorteil ist, dass es durch die starr eingebauten Deckenscheiben zu einer gemeinsamen Verschiebung in der horizontalen Ebene kommt und die inneren Beanspruchungen auf den Querschnitt verteilt werden. Hierbei übernimmt die Wandscheibe die Biegeverformungen und der Stockrahmen die Schubverformungen. Aufgrund dessen, dass die Horizontalverschiebung gezwungenermaßen gleich ist, nimmt der Rahmen einen Teil der einwirkenden Kräfte auf und entlastet somit die Wandscheibe im oberen Bereich. Diese Stützkkräfte werden fast vollständig in den unteren Teil der steifen Wandscheibe eingeleitet.

Bei dieser Art von gekoppelten Tragwerksystemen ist es wichtig, auf die verschiedenen Materialien und deren Eigenschaften der einzelnen Systeme zu achten. Zum Beispiel muss bei einer Verbindung von Tragwerksrahmen mit Stahlbeton Wandscheiben besonders auf die unterschiedlichen Stauchungen in der vertikalen Ebene der Tragelemente achtgegeben werden. Weiters ist auch ein besonderes Augenmerk auf die elastischen und besonders bei Beton auf die zeitabhängigen Stauchungen wie etwa Kriechen und Schwinden zu legen.

2.2. Räumliche Tragwerke

Die Konstruktion der räumlichen Tragwerke besteht hauptsächlich aus mehreren miteinander schubsteif verbundenen Tragelementen, welche in verschiedene Richtungen montiert werden, um so ein räumliches Tragwerk zu erhalten. Durch diese Verbindung kann das System als ein Ganzes betrachtet werden und eignet sich sowohl für vertikale als auch horizontal einwirkende Lasten. Bei den räumlichen Tragwerken kann zwischen den Kern- und Röhrentragwerken unterschieden werden. Diese unterscheiden sich grundsätzlich von ihrer Anordnung im Grundriss des Hochhauses und dem Abstand ihres inneren Hebelarms. Eine Besonderheit

beider ist, dass sie eine große räumliche Steifigkeit und Stabilität besitzen und weniger schadensanfällig sind als andere Tragsysteme.¹²

2.2.1. Kerntragwerke (mit Auslegersystem)

Die Tragsysteme mit innenliegendem Kern haben die Eigenschaft, dass sie nicht nur als Tragelement dienen, sondern auch für Erschließungselemente wie etwa Aufzüge, Treppen oder Versorgungsleitungen verwendet werden können. Zu dem Verhältnis der Grundrissfläche besitzt die Bruttogeschossfläche des Kerns nur etwa ein Viertel. Somit ist die Schlankheit des tragenden Kerns etwa 2 bis 2,5-mal höher als die des restlichen Objektes. Damit die Beanspruchungen aus der Torsion so klein wie möglich gehalten werden, sollte der Kern so nah wie möglich zentral in der Mitte des Hochhauses konstruiert werden. Weiters sollte der tragende Kern eine geschlossene Röhre darstellen, welche möglichst durch keine oder zumindest sehr wenige Durchbrüche gestört werden sollte. Diese Durchbrüche, zum Beispiel für Treppen- oder Aufzugstüren, sollten ebenfalls über die gesamte Gebäudehöhe regelmäßig angeordnet sein. Hierdurch kann die Steifigkeit der Kerntragglieder maximiert werden.¹³

Im Folgenden werden die wichtigsten Arten der Kerntragwerke mit ihren Vor- sowie Nachteilen beschrieben und im Verhältnis zu der Gebrauchstauglichkeit und Verwendbarkeit für Hochhäuser gestellt.

Kern mit Stockwerkrahmen

Um den großen Anforderungen an die Steifigkeit des Kerntragwerks gerecht zu werden, werden oft mehrere Kerne aus räumlichen Stockwerkrahmen an den äußeren Eckbereichen des Hochhauses schubsteif miteinander verbunden. Dabei werden Fachwerkträger oder Vierendeelträger verwendet. Durch diese Verbindungsträger werden die Kerne miteinander schubsteif gekoppelt und

¹² Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.95.

¹³ Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.96.

ermöglichen eine gemeinsame Ableitung der Horizontalbelastung, ebenfalls haben sie den Vorteil die vertikal einwirkenden Lasten in die Kerne einzuleiten.

Die räumlichen Stockwerkrahmen bilden die einzelnen Kerne des Gebäudes. Alle Knotenpunkte werden hierbei in beide Richtungen biegesteif miteinander errichtet. Durch diese Verbindung werden die Vorteile des Auslegersystems verwendet. Dadurch entsteht die Ableitung des inneren Momentes aufgrund von Horizontalbelastung als Kräftepaar von den Kernen weg. Dabei übernehmen die Kerntragwerke die Funktion einer Megastütze mit einem besonders großen Systemhebelarm. Die dabei entstehende hohe Vorspannung aus vertikalen Belastungen verhindert bei horizontalen Einwirkungen die Entwicklung von Zugkräften in der Kernstütze.

Das Verhalten der Verformung ähnelt einer Kombination zwischen Stockwerkrahmen und Wandscheiben, da das Tragsystem Druck- und Zugkräfte in den Stützen aufgrund von horizontalen Einwirkungen entwickelt.

Je nach Nutzungsart können die horizontalen Schubträger am Rand oder in der Mitte des Gebäudes positioniert werden.

Ein wirtschaftlicher Nachteil ist, dass die Biegespannungen in den Tragwerksstäben im Vergleich zu einem Fachwerksystem höher sind und diese den Querschnitt bemessen und es daher zu einem erhöhten Materialaufwand kommt.

Kerntagwerke mit Stockwerkrahmen werden entweder aus Stahl oder Stahl-Beton-Verbundbauweise konstruiert. Es ist wichtig, dass die Tragglieder und die daraus gebauten Profile in der Ebene eine hohe Biegesteifigkeit erreichen. Durch Doppel-T-Profile oder Doppel-U-Querschnitte kann genau eine solch hohe geforderte Biegetragfähigkeit der Knotenpunkte ermöglicht werden. Ebenfalls ist es auch noch möglich, Rechteckprofile, die normalerweise eine hohe Beanspruchung durch Momente haben, einzusetzen, wenn die Knoten gegossen werden.¹⁴

¹⁴ Tasevski, Darko: Bewertung der Aussteifungseigenschaften von Tragwerken im Hochhausbau. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Bauingenieurwesen. Diplomarbeit. 2012. S.51.

2. Tragwerksysteme von Hochhäusern

Ein großer Vorteil dieses Systems ist die geometrische Anordnung bzw. Struktur und die viereckigen Öffnungen zwischen den Tragelementen. Diese ermöglichen besondere Ausbildungen, geschosshohe Räume und dienen gleichzeitig als Ebene für die Gebäudeinstallationen.

Kern aus ausgesteiften Stockwerkrahmen

Das besonders häufig in Amerika verwendete System mit einem Kern in der Mitte, welcher als ausgesteifte Stahlkonstruktion mit einer Brandschutzverkleidung dient, wird meist aus Stahl- oder Stahl-Beton-Verbundbauweise gebaut.

Durch die axialkraftbeanspruchten Tragglieder kann das System wesentlich effizienter geplant werden und verbraucht somit auch weniger Material.

Die Tragglieder werden aus warmgewalzten und geschweißten Doppel-T-Profilen hergestellt. Die Basis für die Aussteifungsdiagonalen bilden U-Profile oder Winkelprofile.¹⁵

Die Verbindungen der Diagonalen werden mit Hilfe von Knotenblechen, welche wiederum an die Tragglieder, die Stützen und die Riegel geschweißt sind, erzielt. Der Anschluss der Knotenpunkte auf die Diagonalen kann geschraubt und angeschweißt oder nur geschraubt sein.

Die Ausbildung von Knotenpunkten im mehrläufigen Fachwerkkern ist für den ununterbrochenen Kraftfluss von enormer Bedeutung, diese Verbindungsmittel leiten die entwickelten Kräfte vollständig ein und aus.

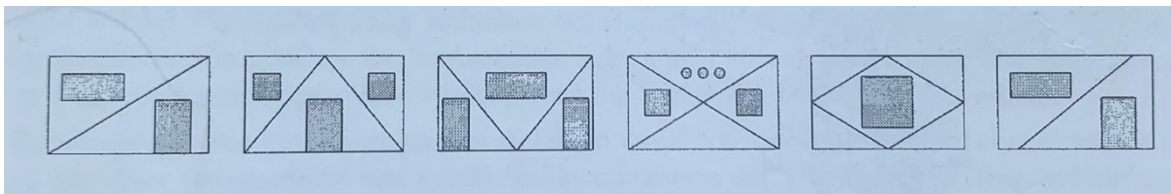


Abbildung 2: Aussteifungsgeometrien

¹⁵ Tasevski, Darko: Bewertung der Aussteifungseigenschaften von Tragwerken im Hochhausbau. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Bauingenieurwesen. Diplomarbeit. 2012. S.53.

Die Steifigkeitskriterien und die Nutzungsanforderungen in der Mitte des Kernbereiches bestimmen die richtige Auswahl der Struktur des Fachwerkes.

Das optimale Aussteifungsverhältnis von 8:10 (Höhe:Breite) bei zentrisch aussteiften Stockwerkrahmensystemen wird oft wegen der architektonischen Erschließungsanforderungen in ein etwas schlechteres und weniger günstigeres Geometrieverhältnis adaptiert.

Für die aussteifenden Verbände, welche gegenüber den Stützen/Riegel verlaufen, ist der Konstruktionswinkel von 45° optimal.

Die auf reine Zugkraft beanspruchten Diagonalen sollten bestmöglich in einem Winkel von $30-60^\circ$ gegenüber den durch Druckkräfte beanspruchten Aussteifungsgliedern montiert werden.

Hauptsächlich werden Nutzungsöffnungen, die nahe am oder sogar im Kernbereich liegen und über mehrere Stockwerke verlaufen, mit einem V-förmigen aussteiften Verband mit druckbeanspruchten Diagonalen entworfen.

Kern aus Wandscheiben

Tragsysteme mit einem Kern aus Wandscheiben können horizontale und auch vertikale Kräfte bzw. Lasten gut aufnehmen und haben günstige Steifigkeitsverhältnisse. Durch die Aufnahme der Geschossschwerlast erhält das System eine positive Druckvorspannung, welche zu einer Verringerung der Biegebewehrung der Wandscheibe führt und sich günstig auf die Kippsicherheit und damit die erforderliche Gründung auswirkt.

Für die Nutzung und die Erschließung werden in den Wänden Durchbrüche unbedingt erforderlich sein. Damit diese Reduktion der Steifigkeit so gering wie möglich bleibt, sollten diese Durchbrüche im Kernbereich regelmäßig in gewissen Abständen angeordnet werden. Es ist darauf zu achten, dass der Biegewiderstand der einzelnen Ebenen der Wandscheiben im Druckbereich nicht starke Veränderungen erhält und dass der Schubwiderstand ebenfalls über alle Ebenen erhalten bleibt. Durch die Einhaltung dieser Konstruktionsregeln kann die Biegeüberfestigkeit bei einer horizontalen Einwirkung erreicht werden.

Hierfür gibt es zwei Ausbildungsmöglichkeiten:

Zuerst kann dies mit einer Fachwerksstruktur erzielt werden, dabei werden die Durchbrüche jeweils um ein Feld der benachbarten Geschosse versetzt gebaut. Diese Bauart ermöglicht die Ausbildung von Druck- und Zugdiagonalen, wie es bei einem Fachwerk üblich ist.

Die andere Möglichkeit ist eine regelmäßige Anordnung der Durchbrüche auf der gleichen Stelle durch alle Geschosse hindurch. Diese Struktur ähnelt einem Rahmensystem. Hierbei erhalten die jeweiligen einzelnen Wandbereiche unterschiedliche Formen des Querschnitts. Dadurch kann man sie als gekoppelte Wandprofile, welche durch Riegel schubsteif verbunden sind, heranziehen. Aufgrund dessen, dass in einem solchen Fall die Hypothese des Bernoulli „Ebenbleiben der Querschnitte“ nicht anwendbar ist, muss bei einem solchen Kernquerschnitt die Nachgiebigkeit der Kopplungsriegel und deren Einfluss unbedingt kontrolliert werden. Dadurch können auch die Schnittgrößen der einzelnen Teilquerschnitte ermittelt werden.¹⁶

2.2.2. Röhrentragwerke

Die Besonderheit der Röhrentragwerke ist, dass sie mit dem Querschnitt eines Hohlkastens eine sehr große räumliche Torsions-, Stabilitätssteifigkeit und Schlankheit besitzen. Daher sind diese besonders wirtschaftlich für Hochhäuser ab einer Höhe von etwa 200 Metern. Um die horizontalen Einwirkungen abtragen zu können, wird bei diesem System kontinuierlich an den Ecken und am Rand des Gebäudes eine räumlich geschlossene Einheit in Form eines hohlkastenartigen Tragwerks verbaut. Dabei werden die äußeren Wände schubsteif miteinander verbunden.

Damit die Röhrensteifigkeit erhöht werden kann, gibt es die Möglichkeit Mischsysteme bzw. Röhrentragwerke mit verschiedenen Aussteifungssystemen, die im Folgenden kurz näher beschrieben werden, zu kombinieren und die Traggliedergeometrie räumlich anders anzuordnen.

¹⁶ Tasevski, Darko: Bewertung der Aussteifungseigenschaften von Tragwerken im Hochhausbau. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Bauingenieurwesen. Diplomarbeit. 2012. S.53-56.

Stockwerkrahmenröhre

Das Tragwerksystem bei den Stockwerkrahmenröhren besteht aus mehreren Schubsteif verbundenen Stockwerkrahmen, die einheitlich eine Hülle ergeben. Hierbei verwendet man den Grundsatz der „starken Riegel weichen Stützen“. Damit eine hohe Biegesteifigkeit erreicht werden kann, benötigt es einen geringen Achsenabstand der Stützen von 1,2 bis max. 3,5 Meter und eine Riegelkonstruktionshöhe von 0,60 bis 1,2 Meter. Durch diese Anforderungen entsteht die Schubverformung der Stütze nur zwischen den Riegeln, ähnlich wie bei dem Prinzip eines Stützenmechanismus. Die Riegel selbst können als Fachwerk oder vollwandige Brüstungsträger ausgebildet werden.¹⁷

Fachwerkrohre

Fachwerkrohre bestehen aus diagonal aussteifenden Stockwerkrahmen oder aus Fachwerkträgern. Ihre Struktur ähnelt sehr stark dem eines dreidimensionalen Tragwerksystems. Durch die verbundenen Schnittpunkte der Diagonalglieder an den Eckbereichen bekommt die Tragstruktur die benötigte Kontinuität. Dadurch erhält das Fachwerk in beiden Ebenen, in den Ecken des Gebäudes und in der Röhre, seine tragende Struktur. Aufgrund dessen, dass das Fachwerk nur Normalkräfte durch horizontale Einwirkungen erhält, ist die Fachwerkrohre ein sehr steifes System, welches nur Biegeverformungen hervorruft. Ein positiver Aspekt der Fachwerkstruktur ist, dass es zu einem wesentlich geringeren Materialaufwand als zum Beispiel bei einem Stockwerkrahmen kommt. Ebenfalls ist eine größere Ausbildung der Fassadenfläche möglich.

¹⁷ Tasevski, Darko: Bewertung der Aussteifungseigenschaften von Tragwerken im Hochhausbau. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Bauingenieurwesen. Diplomarbeit. 2012. S.56

2. Tragwerksysteme von Hochhäusern

Die Hauptaufgabe der um 45° geneigten Diagonalen ist, dass sie die Spannungen der Belastung aus der vertikalen Ebene in die vertikal liegenden Fachwerkglieder ausgleichen. Dadurch bekommen die horizontalen Träger, abgesehen von dem oberen Teil, eine Zugbeanspruchung. Durch diese Umverteilung der Einwirkungen können die Querschnittsabmessungen geringer bemessen werden und dies hat auch positiven Einfluss auf die Ausbildung des Fundamentes durch eine Verringerung der Kippgefährdung des Systems. Bekommt das System eine Horizontalbelastung, leitet es diese Kräfte in Längsrichtung durch die Diagonalen in alle Systemstützen der Flanschebene des Rohrsystems weiter und werden so gleichmäßig aufgeteilt. Hierbei bilden sich oberhalb und unterhalb der Schnittpunkte der Aussteifung, der zusammengesetzten Träger in der vorderen Ebene der Flansche, eine Beanspruchung auf Zug und Druck aus. Die Tragebene hinter den Flanschen erfahren die Belastung genau in die andere Krafrichtung.

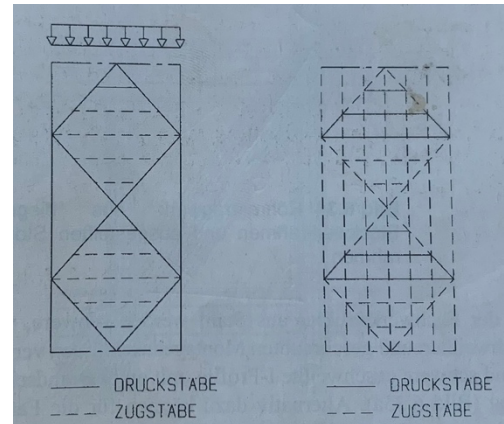


Abbildung 3: Kräfteverlauf

Bildet man das Hochhaus in Fachwerkrohrsystemen aus, bekommt es keine Shear-Lag Effekte und somit tragen die Geschossdecken auch nicht mehr zur Aussteifung der Horizontalebene bei.

Es ist auch möglich, eine Kombination zwischen Stockwerkrahmenröhre und Fachwerkrohr zu konstruieren. Durch dieses Prinzip erhält man die positiven Eigenschaften des jeweiligen Systems und der Shear-Lag Effekt kann dadurch auch massiv verringert werden. Ein weiterer Vorteil wäre die Ausbildung eines Fachwerks in Form von Winkelprofilen mit aussteifenden Verbänden in den Ecken des Gebäudes, um eine Erhöhung der Widerstandskräfte gegen die Biegeverformungen der Einwirkungen aus der horizontalen Ebene entgegen zu setzen.

Die Konstruktion des Fachwerkrohrsystems kann aus schwerem Stahl, in Form von teilweise geschosshohen Knotenblechen, die mit geschraubten oder geschweißten Montageverbindungen versehen sind, ausgebildet werden. Die Diagonalen und Stützen des Systems können entweder aus schweren I-Profilen,

welche geschweißt und mit einer Brandschutzlegierung und einer Verkleidung aus Blechen versehen sind, oder für die Fachwerksstruktur aus geschweißten Hohlprofilen ausgebildet werden.

Die Konstruktion des Röhrentragwerks in einer Stahlbetonbauweise verlangt einige besondere Anforderungen an das System. Unter anderem ist es notwendig, dass alle Durchdringungen der Stockwerkrahmenröhren zwischen den horizontalen und vertikalen Tragsystemen mit Wandscheibensystemen verbaut werden. Durch diese Betonpaneele können sowohl Axial- als auch Schubkräfte in das System aufgenommen werden. Damit erhält man aus einer solchen Kombination ein effizienteres System und die Shear-Lag-Effekte werden verringert.

Röhre aus Wandscheiben

Das Tragsystem der Röhren aus Wandscheiben wird aus einzelnen schubsteifen miteinander verbundenen Wandscheiben errichtet. Dieses Tragsystem ähnelt einer Abweichung von einem idealisierten Kragbalkensystem. Um eine maximale Steifigkeit zu erhalten, sollten so wenig Öffnungen und Durchdringungen im Röhrensystem wie möglich geplant werden. Aufgrund dieses Faktors wäre eine Ausbildung nur in der Mitte eines Gebäudes, also im tragenden Kern, sinnvoll. Andernfalls kommt es zu einer starken Einschränkung in der architektonischen Ausbildung der Fassade und des äußeren Erscheinungsbildes. Die einzelnen Elemente der Stockwerkrahmenröhren werden aus hochfesten STB-Stabgliedern gefertigt.¹⁸

Eine Alternative wäre die Ausbildung aus STB-Verbundbauweiseelementen. Diese haben den wirtschaftlichen und statischen Vorteil, dass sie eine kürzere Dauer in der Herstellung benötigen, und eine hohe Druckfestigkeit und Brandschutzeigenschaften besitzen. Dies schließt auf die Kombination der Materialien aus Stahl und Beton, welche ihre jeweiligen positiven Eigenschaften in das System übertragen. Eine übliche Bauweise wäre die Ausbildung eines leichten Stahlskeletts mit einer nachträglichen Bewehrung, welches betoniert wird.

¹⁸ Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.118-120.

2. Tragwerksysteme von Hochhäusern

Für die verbesserte Stabilität der Stahlstiele werden diese durch schwache Stahlriegel unterstützt. Die Stahlriegel selbst haben fast keinen Einfluss auf die Querschnittsfestigkeit oder die Systemsteifigkeit.

Ein weiterer Vorteil der STB-Verbundbauweise ist die vereinfachte Ausbildung der Knotenverbindung in dem biegesteifen Stahlrahmensystem, welche es auch ermöglicht, hybride Baukonstruktionen zu planen. Jedoch ist hierbei darauf zu achten, dass die Stockwerkrahmenröhre im oberen und unteren Teil des Gebäudes nur aus Stahl oder STB-Verbundbauweise gebaut werden kann. Sobald ein solches System erstellt wird, ist es erforderlich, einige Schweißnahtverbindungen an verschiedenen Materialien und Teilen zu fertigen, damit die benötigte Biegesteifigkeit erreicht wird.

Das Stahlskelett dient in allen vorherig genannten Konstruktionen als Hilfskonstruktion für den Aufbau des Tragsystems. Hierdurch kann der Bauablauf wesentlich schneller erfolgen, da dieses Skelett als Aussteifung in der horizontalen Ebene die Einwirkungen aufnehmen kann. Falls es eine zu geringe Steifigkeit besitzt, wird es zusätzlich mit Aussteifungsverbänden verstärkt. Eine solche Bauweise kann in der nachstehenden Abbildung erkannt werden.

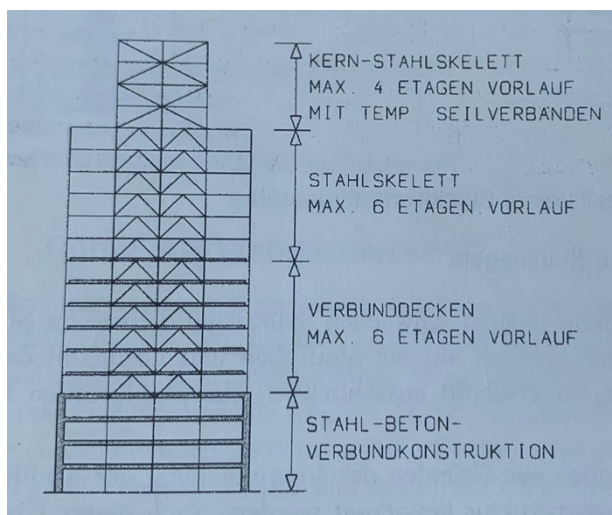


Abbildung 4: Stockwerkrahmen

Damit zeitgerecht mit dem Betonieren angefangen werden kann, benötigt das Stahlskelett eine Vorlaufzeit von bis zu zehn Geschossen. Dies bedeutet, dass in den unteren Ebenen, wo das Skelett bereits aufgebaut wurde, schon mit den Betonarbeiten begonnen werden kann. Dieser Vorgang für das Betonieren der Verbundkonstruktion, wird mithilfe einer selbstkletternden Schalung gefertigt.

Röhre als Gitterstruktur

Die Ausbildung eines Hochhauses in eine Röhre als Gitterstruktur ermöglicht eine materialeinsparende und effiziente Herstellung. Die Tragelemente, welche vertikal in der Ebene verdreht werden, erhalten vorwiegend Zug- und Druckkräfte, welche als Fachwerk mit engen Stabvernetzungen verglichen werden können. Damit das System geschlossene Fachwerkdreiecke erhält, müssen die Diagonalen mit den Deckenscheiben und den horizontalen Rundträgern verbunden werden. Aufgrund dessen, dass die Tragitterstruktur eine geringere Effizienz bei der Abtragung der Vertikaleinwirkungen in das Fundament hat, können diese mit einer geringeren Querschnittsabmessung geplant werden.

Es ist darauf zu achten, dass es für eine gleiche Belastung der einzelnen Tragglieder auch einen gleichmäßigen Kraft-Weglängen Verlauf mit der entsprechend gleichen Richtung gibt.

Eine Besonderheit stellt die Ausbildung einer rechteckigen Röhre dar. Diese benötigt für die schubsteife Verbindung zwischen den Tragebenen der Gitter eine Konstruktion von vertikalverlaufenden Traggliedern in den Eckbereichen. Diese setzen die Umleitung der im Hohlkasten resultierenden Einwirkungen und Kräfte durch.

Im Vergleich zu einer rechteckigen Röhrenausbildung hat ein kreisförmiger Röhrenquerschnitt mit einer Gitterstruktur eine wesentlich effektivere Tragwirkung bei horizontaler Belastung. Ein weiterer Vorteil ist, dass in diesem System keine schubsteif miteinander verbundenen vertikalen Tragelemente benötigt werden, sondern es werden vertikale Sondertragglieder eingesetzt. Durch den effektiveren Einsatz benötigt das System nur eine gleichmäßig verteilte, umlaufende Gitterstruktur in der äußersten Ebene und horizontale Ringträger, welche das Hochhaus in einzelne Sektoren teilt und die einwirkenden Zug- und Druckkräfte aufnimmt bzw. weiterleitet. Sobald es zu einer ungleichmäßigen Belastung in der horizontalen Ebene kommen kann, werden die Ringträger konstruktiv biegesteif in das System befestigt. Die Tragglieder der Gitterebene werden aus zwei diagonalen Streben, die jeweils über zwei Geschosshöhen überkreuzend verlaufen, hergestellt. Bei besonderen Anforderungen, schlechtem Tragverhalten und bei erhöhter Belastung können zur Unterstützung im Inneren des Gebäudes Stützen montiert

werden. Jedoch nimmt die äußere Hülle, die Gitterstruktur mit den Traggliedern, in erster Linie fast die gesamten Einwirkungen aus der horizontalen Ebene auf und stellt die größte Aussteifungskomponente des Systems dar. Ein wesentlicher Nachteil bei dem Konstruieren eines solchen Gebäudes ist der hohe und notwendige Detailierungsgrad der einzelnen Verbindungen der Fassade mit dem Rest des Tragwerkes.¹⁹

Rohr in Rohr

In der Bauweise eines Rohr-in-Rohr Systems werden die positiven Eigenschaften der beiden verbundenen Tragwerke, von einem inneren Kern und einem Röhrentragwerk, vereint. Hierdurch können die Tragfähigkeiten gegen vertikal und horizontal einwirkender Belastungen deutlich erhöht werden. Wesentlich ist dabei eine sachgemäße schubsteife Verbindung zwischen dem inneren Kern und dem Röhrentragwerk des Systems. Dies wird durch den Verbund der Deckenscheiben oder in einzelnen Fällen auch durch Auslegersysteme ermöglicht. Aufgrund dieser Kopplung der zwei Tragwerkssysteme ist es möglich, einen freien Bereich ohne Stützen zwischen dem Kern und der Fassade zu schaffen. Durch dieses Prinzip werden die vertikalen Lasten von den Deckenscheiben zu den jeweiligen Stützen abgetragen. Die maximale Spannweite dieses Bereiches kann sich auf bis zu 10 bis 12 m ausweiten. Bekommt das Gebäude eine horizontale Belastung und trägt diese Kraft ab, verformen sich beide Systeme gleichmäßig linear. Das Ergebnis der Kombination der oben genannten Verbindung zweier Systeme ist eine erhöhte Steifigkeit durch die Addition der einzelnen Steifigkeiten des jeweiligen Tragwerkstyps und eine Vergrößerung der Kippsicherheit des Hochhauses. Das an der äußeren Ebene liegende Röhrentragwerk hat aufgrund seiner großen Steifigkeit und effektiven Tragwerkstiefe einen mehrheitlichen Anteil an dieser Steifigkeitsverbesserung, wohingegen das innere Kerntragwerk die Schubsteifigkeit des Gebäudes massiv erhöht.

¹⁹ Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2005. S.120-124.

Es hat sich herausgestellt, dass das Rohr-in-Rohr Tragsystem einen wirtschaftlichen Vorteil bei gewissen Voraussetzungen, bis zu einer Grenze von etwa 80 Geschosshöhen hat.²⁰

²⁰ Tasevski, Darko: Bewertung der Aussteifungseigenschaften von Tragwerken im Hochhausbau. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Bauingenieurwesen. Diplomarbeit. 2012. S.73-75.

3. Hochhäuser in herkömmlicher STB-Bauweise

Seit vielen Jahrzehnten ist die herkömmliche Bauweise in Stahl-Beton der Standard aller Konstruktionen. Diese hat sowohl gute tragwerkstechnische als auch langlebige Eigenschaften. Diese Bauweise ist flexibel mit verschiedenen Tragwerkssystemen einzusetzen und bedarf nur weniger zusätzlicher Maßnahmen nach der Fertigstellung. Jedoch wird diese Bauweise aufgrund des großen ökologischen Fußabdruckes seit kürzerer Zeit kritisch betrachtet. Im Folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften und Voraussetzungen einer STB-Bauweise näher erläutert und anderen Bauweisen gegenübergestellt.

3.1. Tragsysteme

Die Ausbildung von Hochhäusern in herkömmlicher STB-Bauweise im Verhältnis zu Holzhybridhäusern ist vielfältiger und es kann aus mehreren Tragsystemen gewählt werden. Trotz der größeren Auswahlmöglichkeit werden diese Hochhäuser, meistens aufgrund von wirtschaftlichen Faktoren und Gegebenheiten, so einfach wie möglich ausgebildet. Hierbei kann durch die im Folgenden verschiedenen Faktoren und Berücksichtigungen das richtige Tragwerksmodell gefunden werden:

- „architektonische und standortspezifische Vorgaben
- geometrische Randbedingungen (Spannweite, Zwangspunkte etc.)
- Eigenschaften des Untergrundes
- Wahl des Baustoffes (Festigkeit/Steifigkeit/Dauerhaftigkeit) und damit einhergehend die Wahl von statischen Grundsystemen
- Fertigungs-, Transport- und Logistikfragen
- bauphysikalische Randbedingungen (Wärme/Schall/Brand)²¹

²¹ Holz im Hochbau: Theorie und Praxis. Pech, Anton u.a. 1.Auflage. Basel: Birkhäuser Verlag 2016. S.130.

3.2. Konstruktive Schutzmaßnahmen

Um den Anforderungen heutzutage standhalten zu können und ebenfalls technisch auf dem neuesten Stand zu sein, benötigt es bestimmte Maßnahmen und konstruktive Eingriffe in die Bauelemente. Im Folgenden werden die bekanntesten und wichtigsten Veränderungen bzw. Ergänzungen zu den jeweiligen Bauteilen kurz erläutert und auf die Eigenschaften dieser näher eingegangen.

3.2.1. Dämmstoff

Heutzutage werden in den meisten Fällen eines neu errichteten Gebäudes in STB-Bauweise immer mehr und höhere Anforderungen an den Wärmeschutz, Brandschutz, Schallschutz und viele weitere Eigenschaften benötigt. Um diesen erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz gerecht zu werden, wird Beton in Verbindung mit hocheffizienten Dämmstoffen verbaut. Jedoch können diese Dämmstoffe unter bestimmten modifizierten Voraussetzungen auch positive Eigenschaften für die Verbesserung der Trittschalldämm- und Luftschalldämmwerte haben. Die nachstehende Tabelle gibt einen groben Überblick, in welchen Bereichen die verschiedenen Dämmstoffe ihre Anwendung finden und in welchen sie nicht verwendet werden dürfen. Im folgenden Kapitel werden auch die einzelnen Gruppen von Dämmmaterialien kurz näher beschrieben und ihre Vorteile, sowie ihre produktspezifischen Eigenschaften kurz beleuchtet.²²

	gebundene Mineralwolle WW	expandiertes Polystyrol EPS	extrudiertes Polystyrol XPS	Dämmkork DK	Schaumglas CG	Holzwole-Dämmplatten WW	Holzspan-Dämmplatten WS
1 Außendämmung							
Hinterlüftung		1)	1)	1)			
unter Dünnputz		EPS-F	XPS-R	DK-F			
unter Dickputz	MW-WD	EPS-F		DK-F			
Perimeterdämmung			XPS-G				
2 Kerndämmung						WW	WS
3 Hohraumdämmung							
4 Dächer							
Wärmdach	MW-WD	EPS-W					
Umkehrdach			XPS-G				
Kaltdach		2)	2)				
5 unter Estrich							
erhöhter Druck	MW-WD	EPS-W30		DK-D		WW WW-H	WS
Trittschalldämmung	MW-T	EPS-T				WWH-MW- WWH	

MW-WD	druckbelastbar, für Wärmedämmung von Dächern und Fassaden
MW-T	belastbar, für Trittschalldämmung
EPS-F	expandierter Polystyrol-Partikelschaumstoff für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme
EPS-W	expandierter Polystyrol-Partikelschaumstoff für Wärmedämmung, jedoch nicht für WDVS
EPS-T	expandierter und elastifizierter Polystyrol-Partikelschaumstoff für Trittschalldämmung
XPS-R	Polystyrol-Extruderschaumstoff, druckbelastbar, raue Oberfläche, gute Putzhaltung
XPS-G	Polystyrol-Extruderschaumstoff, glatte Oberfläche, Belastbarkeitsstufen 15-70, feuchtigkeitsbelastbar, druckbelastbar (z.B. Parkdecks für LKWs, Feuerwehrfahrzeuge)
DK-F	Wärmedämmplatte für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme
DK-D	Wärmedämmplatte mit erhöhter Druckbelastung
WW	magnesit- oder zementgebundene Holzwole-Dämmplatten
WWH	Mantelbetonplatte mit hoher Biegezug- und Druckfestigkeit
WWH-MW- WWH	Dreischichtverbundplatte
WS	zementgebundene Holzspan-Dämmplatte, bevorzugt verwendet für Mantelbetonplatten

1) nicht für Hochhäuser zugelassen 2) Abdeckung mit nicht brennbaren Baustoffen erforderlich

Abbildung 5: Anwendungsmöglichkeit von Dämmstoffen

²² Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik 1998. S.69-71

Die Haupteigenschaft, die alle Dämmstoffe besitzen, welche bei der Errichtung von Gebäuden verwendet werden, ist die eines hohen Gehaltes der Porosität und einer einhergehenden verhältnismäßigen niedrigen Rohdichte. Die Eigenschaften der einzelnen Dämmstoffe können durch die Veränderung des Porengefüges, womit die Poren gefüllt sind und die Steifigkeit modifiziert werden. Diese Änderungen bestimmen auch in welche Gruppe sie eingeteilt werden und in welchen Bereichen die Stoffe verwendet werden dürfen.

Faserdämmstoff:

Die Faserdämmstoffe können in druckbelastbare und nicht druckbelastbare Materialien unterteilt werden. Das am weitesten verbreitete Anwendungsgebiet ist die Wärmedämmung, der Trittschallschutz und der Dämpfung der Hohlräume. Diese Dämmstoffe besitzen einen Dampfdiffusionswiderstand, welcher der Luft sehr ähnelt. Weiters können sie nach der Herkunft ihrer Ausgangsstoffe eingeteilt werden. Daher gibt es die Produkte der mineralischen und pflanzlichen Faserdämmstoffe. Erstere werden hauptsächlich aus Glas, Gestein oder Schlackenschmelze erzeugt. Die Pflanzendämmstoffe werden aus gebundenen Koks- oder Hanffasern produziert.

Kork:

Dieser Dämmstoff ist im Handel als druckbelastbare Wärmeplatte erhältlich. Er wird aus expandiertem Korngranulat, welchem korneigene Harze beigefügt werden, gefertigt.

Anorganische Schaumstoffe:

Diese sind auch bekannt unter dem Namen Schaumglas und werden aus silikatischem Glas, welches durch die Beigabe von Treibmitteln aufgeschäumt wird, gefertigt. Es kann sowohl mit oder ohne Board, sogenannten Deckschichten, in Form von Platten hergestellt werden. Hierdurch erhält es eine geschlossene Glasmatrix und ein wasserdampfdichtes Zellsystem, welches eine hohe Belastung

widersteht. Daher ist es sehr gut für den Bau von druckverteilten Bodenplatten, unter befahrbaren Nutzflächen oder als Perimeterdämmung geeignet.

Organische Schaumstoffe:

Von allen bereits genannten Dämmstoffen ist die Gruppe der organischen Schaumstoffe die mit Abstand am weitesten verbreitete und verwendete Art. Die Herstellung basiert aus dem Grundmaterial Polystyrol oder auch kurz PS genannt. Es kann zwischen den zwei Arten EPS und XPS unterschieden werden, welche sich im Herstellungsverfahren voneinander differenzieren. Das EPS oder auch bekannt als Polystyrol-Partikelschaumstoff wird aus expandierbarem Polystyrolgranulat mit einer speziellen Behandlung durch Wärmeeinwirkung gefertigt. Es zeichnet sich durch eine verkittete, geschlossene und zellenförmige PS-Perle aus. Die Anwendungsbereiche für EPS sind durchaus sehr variabel und flexibel. Es kann beispielsweise für eine Wärmedämmung ohne Feuchtigkeitsbelastung oder als WDVS, Wärmedämmverbundsystem im Außenbereich, angewendet werden. Wenn es durch ein spezielles Verfahren aufbereitet und somit elastifiziert wird, kann es auch als Trittschalldämmung verwendet werden.

Dagegen entsteht das XPS oder auch Polystyrol-Extruderschaumstoff durch das Extrudieren von Polystyrol unter gleichzeitiger Beimengung eines Treibmittels. Aufgrund dieses Herstellungsverfahrens erhält das XPS in einer harten PS-Matrix eine geschlossene, mit Luft gefüllte Zelle. Es hat ähnliche Eigenschaften wie die Schaumglas-Dämmung. Somit ist es belastbar gegen Feuchtigkeit und kann hohen Krafteinwirkungen standhalten. Daher wird es häufig als Dämmung unter befahrbaren Flächen, Parkgaragen oder als Perimeterdämmung eingesetzt.²³

Holzwolle- und Pflanzenfasern-Dämmstoff:

Diese Dämmstoffe werden entweder aus mineralisch gebundener Holzwolle oder aus Holzspänen in Form von Platten produziert. Anderenfalls ist eine Herstellung in Verbindung mit anderen hochwertigen Materialien auch möglich. Hierbei werden

²³ Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik 1998. S.71.

hauptsächlich Mineralwolle, EPS, XPS oder Dämmkork verwendet, diese können als Zwei oder Mehrschichtplatten ausgeführt werden. Eine erwähnenswerte Besonderheit dieser Dämmstoffe ist, dass sie als integrierte Schalttafel, Schalstein oder Schalplatte für Mantelbetonsysteme, aufgrund ihrer Form als Platte, verwendet werden können. Hierdurch können die positiven Eigenschaften dieser Platte genutzt werden. Diese sind unter anderem die brennhemmende Beschichtung der Holzspäne, die hohe Biegezugfestigkeit, der ebene Putzuntergrund und die sehr gute Verbundeigenschaft in Verbindung mit einem Kernbeton.

3.2.2. Abdichtungen

Aufgrund dessen, dass Beton bei einer gewissen Bauteilstärke eine hohe Festigkeit und eine geringe Porenanzahl besitzt und somit gut gegen Wasser geschützt ist, werden in manchen Fällen keine weiteren Abdichtungsarbeiten mehr durchgeführt. Jedoch kann es bei bestimmten Anforderungen vorkommen, dass dies allein nicht ausreicht und weitere Maßnahmen benötigt werden. Dafür ist die Nutzungsart des Gebäudes meist ausschlaggebend. Zur Abdichtung des Gebäudes können die nachstehenden Maßnahmen ergriffen werden:

- „Abdichtungsbahnen, sind Bahnen aus Bitumen, kunststoffmodifiziertem Bitumen oder aus Kunststoff, wobei besonders erstere durch verschiedene Einlagen verstärkt werden.
- Abdichtungsaufstriche werden i.d.R. aus einem kaltflüssigen, schnelltrocknenden Voranstrich auf Bitumenbasis mit mindestens zwei folgenden kaltflüssigen Deckaufstrichen gebildet.
- Sperrputze bestehen aus Sand mit Zement als Bindemittel, wobei zur Verbesserung der Abdichtungswirkung hydrophobierende (d.h, wasserabweisende) Mittel zugesetzt werden.
- Dichtungsschlämme sind Schlämme auf mineralischer Basis mit einem fein abgestimmten Kornaufbau, die als millimeterdicke Beschichtung

aufgetragen werden. Zur Herabsetzung der Sprödigkeit und Rißneigung erhalten Dichtungsschlämme meist einen Zusatz aus Kunststoffen.“²⁴

Während der gesamten Nutzungsdauer und die weit darüber hinaus dauernde Lebensdauer eines solchen Gebäudes muss die Abdichtung speziellen Anforderungen standhalten. Die wichtigsten Eigenschaften werden nun im Folgenden kurz näher beschrieben:

- „Standicherheit bei vorgegebenen Verformungsgrenzen
- Wasserdichtheit, i.d.R. Wasserdampfdurchlässigkeit, jedoch auch für besondere Fälle Wasserdampfdurchlässigkeit
- Widerstandsfähigkeit gegen thermische Beanspruchung (in vorgegebenen Grenzen) und aggressives Wasser sowie gegenüber Mikroorganismen bei geforderter Wurzelfestigkeit
- Optimale Verarbeitungstechnik, handwerkgerechte Anwendung
- Einfache Behebbarkeit im Schadensfall“²⁵

²⁴ Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik 1998. S.71.

²⁵ Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik 1998. S.71.

3.3. Konstruktiver Brandschutz

Im Laufe der Konstruktion eines Hochhauses gibt es viele bauliche Schutzmaßnahmen, auf die der Entwerfer achten muss. Eine der wichtigsten ist der vorbeugende Brandschutz und die damit verbundenen baulichen Maßnahmen. Durch geeignete brandschutztechnische Überlegungen soll ein Gebäude im Verhältnis von seinem Sachwert zu den Gefahrenrisiken der darin befindlichen Menschen so konzipiert sein, dass die Primärtragstruktur des Systems in einem Brandfall eine bestimmte Zeit und Intensität, durch die europäische Union und internationale vereinbarte Norm, widersteht und noch tragfähig ist. Diese Norm, welche weiter unten als Grafik ersichtlich ist, wird die Einheit-Temperatur-Kurve oder auch kurz ETK genannt. Trotz dieser Vereinbarung der ETK mit allen europäischen Ländern weicht ein Naturbrand teilweise stark von diesem Diagramm ab. Der „echte Temperatur- Zeitverlauf von einem Brand“ hängt nämlich von vielen verschiedenen Faktoren ab. Unter anderem von den baulichen Konstruktionen, den verwendeten Schutzmaßnahmen, eventuellen Ventilatoren und gefährlichen Gefahrenstoffe die als Brandlasten nicht zu vernachlässigen sind. Nichtsdestotrotz geht aus vielen Studien hervor, dass die Hauptgefahr eines solchen Brandes nicht unbedingt die Gefährdung der Tragstruktur ist, sondern die giftige Rauchentwicklung und das Einatmen toxischer Gase.

Für die Berechnung der Traglasten in einem Brandfall oder sogar in einem Vollbrand ist es wichtig zu erwähnen, dass nicht gleichzeitig alle Einwirkungen auf das Gebäude angesetzt werden müssen.

Es ist darauf zu achten, dass die Brandschäden lokal begrenzt werden und eine Sanierung im Nachhinein mit so wenig Aufwand wie möglich durchführbar ist, um den Soll-Zustand wiederherzustellen. Hierbei haben Bauwerke mit einer Beton Konstruktion den Vorteil, dass sie von Anfang an ohne aufwendige Baumaßnahmen schon eine sehr hohe Sicherheit gegen hoher Hitze-Beanspruchungen und Brände haben. Wie in der nachstehenden Grafik zu erkennen ist, entwickelt sich ein Brand immer über zwei Stufen. Zuerst entsteht die Phase der Brandentwicklung, in

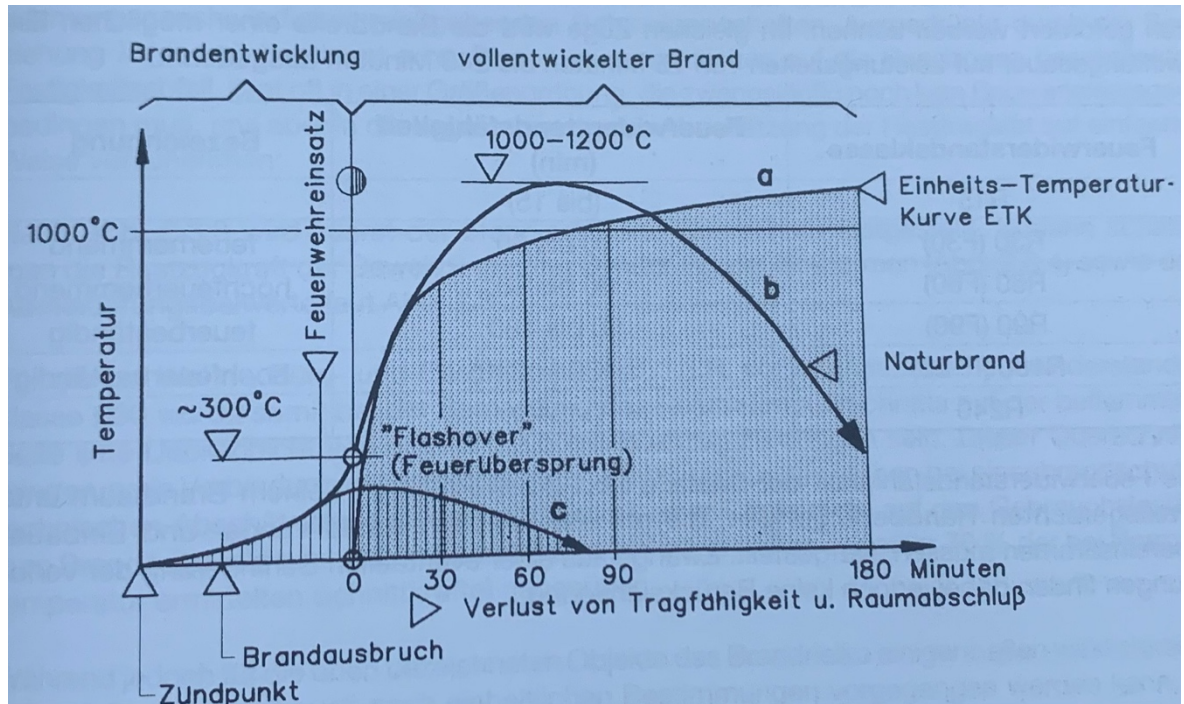


Abbildung 6: Einheits-Temperatur-Kurve

welcher mit den ersten Brandbekämpfungsmaßnahmen begonnen werden sollte. In der zweiten Phase, dem vollentwickelten Brand, kann es ab circa 300°C zu einem Flashover des Feuers kommen.

3.3.1. Feuerwiderstandsklassen

Die Feuerwiderstandsklassen werden durch die jeweiligen Widerstände der Materialien gegen Brandfälle, denen sie ausgesetzt werden können, ohne Verluste der Tragfähigkeit eingeteilt. Die genauere Einteilung der Klassen in der Bauordnung erfolgt nach der Dauer der Brandeinwirkung und beginnt von nur feuerhemmend bis hochfeuerbeständig und entspricht 30 bis 180 Minuten.

In der Zukunft soll es auch noch eine harmonisierte einschlägige Vorschrift für die definierte Resttragfähigkeit mit dem Zeichen R für die Tragfähigkeitskriterien geben.²⁶

Damit die genaue Widerstandsklasse einer Konstruktion bei einem Brand bestimmt und überprüft werden kann, wird dieser bei einer Prüfung in einem speziellen

²⁶ Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik 1998. S.101.

Gebäude unter realitätsnahen Bedingungen nachgestellt und erhält damit die exakte Dauer, die das Material aushält.

3.3.2. Hochtemperaturverhalten von Stahlbeton

In einem Brandfall, der mit sehr hohen Temperaturen einhergeht, fällt auf, dass temperaturbedingt zuerst die Festigkeiten der Konstruktionen abnehmen. Die nachstehende Grafik erläutert den Abfall der Betondruck- bzw. der Stahlfestigkeit inkl. der jeweiligen E-Module.

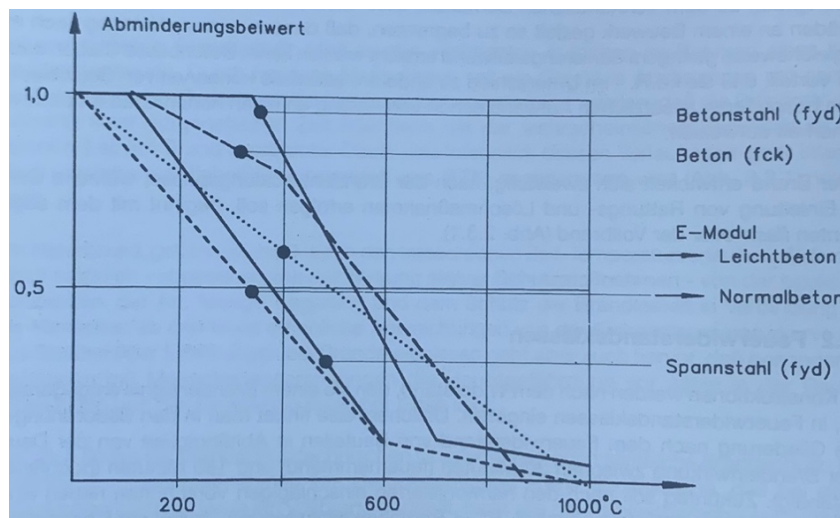


Abbildung 7: Abnahme der Stahlzug- und Betonfestigkeit und des E-Moduls

Es kann daraus gelesen werden, dass im Falle eines Brandes zuerst der Normalbeton seine Festigkeit verliert und erst als letztes der Stahl. Dies liegt darin, dass der Betonstahl von Beginn an eine gewisse Schutzschicht durch die Mindestbetondeckung erhält.

Weiters ist in der Grafik erkennbar, dass erst nach dem Normalbeton der Leichtbeton seine Tragfähigkeit und seine Festigkeit beginnt zu verlieren. Dies kann auf die Eigenschaft des Leichtbetons mit seinem großen Dämmvermögen zurückgeführt werden. Dadurch wird die Wärme langsamer übertragen und es kommt somit zu einer verringerten Temperaturerhöhung als bei anderen Betonsorten. Denselben Vorteil haben, wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, Schalplatten aus mineralisierten Holzspänen in Verbindung mit Mantelbeton, die auch als Dämmstoff verwendet werden können.

Konstruiert man ein System, das statisch unbestimmt ist, hat dies den Vorteil im Vergleich zu einem Einfeldträger, dass dies eine höhere Traglast aufnehmen kann und dass Bereiche, die an die Grenzen der Tragfähigkeit gekommen sind, diese Lasten auf benachbarte Teile umlagern kann, welchen noch genug Reserven zur Verfügung stehen. Dieser Vorteil wird häufig in Gebäuden mit Betonsystemen angewandt. Durch den hohen Anteil der Homogenität bekommt ein Hochhaus eine größere Systemsicherheit, Erdbebensicherheit und verringerte Schadensbildung.

Aufgrund der hohen Menschenansammlungen und Sicherheitsfaktoren werden die Feuerwiderstandsklassen bei Hochhäusern meist höher angesetzt als normal. Dies erfordert einen größeren baulichen Aufwand und mehr technische Maßnahmen für die Gesamtstabilität.

3.3.3. Mindestabmessungen von STB-Bauteilen

Die bereits im Vorhinein erwähnte Norm für die Feuerwiderstandsklassen müssen bei den Abmessungen der Bauteile durch die Art der Einwirkung des Brandes auf die Konstruktion ergänzt werden. Besonders bei Flachdecken ist es wichtig dies zu berücksichtigen. Denn schon durch eine kleine Beschädigung an der Betondruckzone im Bereich der Stütze kann es zu einem Durchbruch der Decke ohne jeweilige Ankündigungen oder Vorhersagen kommen. Daher sollte die Plattendicke mindestens 20 cm betragen, wobei dies bei einer Durchstanzbewehrung bereits schon eine Voraussetzung der Mindestgröße ist.

Weiters sollte zur Norm für die Mindestabmessung für Bauteile im Außenbereich z. B. Wände, Fassadengestaltung, usw. eine erhöhte Sicherheitsanforderung in Betracht gezogen werden. Unter Umständen kann es in einem Brandfall durch die Brandausbreitung auf der äußeren Seite des Gebäudes auch auf andere Geschosse übergreifen. Hierbei ist die Windeinwirkung ein negativer Einfluss für die Übertragung des Feuers auf andere Bauteile und Geschossebenen.²⁷

²⁷ Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik 1998. S.105.

4. Holzhybridhochhäuser

Heutzutage wird das Mischen von verschiedenen Bauweisen und Materialien immer öfters geplant. Hierdurch können die verschiedenen Elemente immer so kombiniert werden, dass die jeweiligen Eigenschaften den jeweiligen Anforderungen bestmöglich entsprechen. Durch diese Kombination erhält das Objekt eine höhere Entwurfsfreiheit und einen größeren Anwendungsbereich.

In der Holzhybridbauweise, vor allem im mehrgeschossigen Holzbau, werden oft die tragenden Kerne, die Brandwände oder der Sockelbereich aus Stahl-Beton gebaut, um den technischen und konstruktiven Anforderungen zu entsprechen und der Rest des Objektes wird mit einer Holzkonstruktion gebildet.

Eine typische Verbindung dieser zwei Materialien ist die Ausbildung aus tragenden Innenwänden oder Kern in Massivbauweise und die Fassade, die äußeren Wände bzw. die Decken in Holz- oder Holzverbundbauweise. Diese Form der Konstruktion hat wärmeschutz-, schallschutz- und brandschutztechnische Vorteile. Speziell bei den Decken wird oft eine direkte Kombination zweier Materialien und deren positiven Eigenschaften verwendet. Der bis heute bekannteste Hybridbauteil mit Holz und Beton ist die Holz-Beton-Verbunddecke oder auch kurz HBV-Decke genannt. Das in Österreich bekannteste und höchste Holzhybrid-Bauwerk ist das HoHo in Wien. Dies dient in dieser Arbeit auch als Vergleichsobjekt und ist ebenfalls aus einem Holzhybridbau mit tragendem Innenkern ausgebildet.

4.1. Tragsysteme

Wie bereits im Kapitel 2 Tragwerksysteme ausführlich beschrieben, gibt es mehrere Möglichkeiten zur Ausbildung eines Tragsystems in einem Hochhaus. Wesentlich hierbei sind vor allem die zu verwendenden Materialien. Hier ist klar erkennbar, dass ein Hochhaus in Stahl-Beton-Bauweise mit fast allen Tragwerkssystemen konstruierbar ist. Dies ist auch der große Unterschied zu den Holzhybridhochhäusern, welche hauptsächlich mit der Bauweise der räumlichen Tragwerke oder meistens mit einem tragenden Kern gebaut werden.

Wie bereits im Kapitel 3.1 Tragsysteme aufgezählt, können diese Faktoren auch auf Holzhybridbauten angewendet werden. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte

kann das richtige und maßgebende Tragwerksystem als Hochhaus ausgewählt werden.

Eine wichtige Untergruppe bei der Entscheidung des passenden Systems ist das Setzungsverhalten und somit die Tragstrukturkombination. Wie in der nebenstehenden Abbildung zu erkennen ist, gibt es hierfür drei Ausbildungsmöglichkeiten.



Abbildung 8: Tragstrukturkombinationen

Die erste und auch meistens bei den STB-Bauweisen verwendete ist die der einheitlichen Tragstruktur. In dieser Ausbildung wird das Objekt als eine Gesamteinheit betrachtet und ausgebildet. Bei der zweiten Möglichkeit, in der Mitte sichtbar, wird der Ansatz der entkoppelten Mischbauweise verwendet. Diese Ausführung wurde auch bei dem Beispielobjekt HoHo durchgeführt. „An den massiven Erschließungskern dockt die räumliche Hülle in Holzbauweise an.“²⁸ Somit wird zum Beispiel das Treppenhaus, welches meistens aus STB gefertigt wird, entkoppelt und unabhängig davon ein zweites Tragwerk aus Holz rundherum gebaut. Die zwischen den Bauteilen verbaute Dilatationsfuge nimmt alle eventuell auftretenden Verformungen auf. Die letzte Variante ist die der gekoppelten Mischbauweise. Diese hat Ähnlichkeiten mit der mittleren Bauweise, jedoch werden hierbei keine Dilatationsfugen eingebaut und es muss somit auf die einzelnen Verformungen der Tragsysteme und Materialien Rücksicht genommen werden. Ein Vorteil wäre aber der geringe Raumverlust durch die Wände und ein von Anfang an relativ guter Schutz gegen Brandanforderungen.²⁹

²⁸ HoHo Wien: Das Buch: Die Geschichte einer Vision. Hoffmann, Romana u.a. Wien: cetus Baudevelopment GmbH 2019. S.78.

²⁹ Holz im Hochbau: Theorie und Praxis. Pech, Anton u.a. 1.Auflage. Basel: Birkhäuser Verlag 2016. S.133-134.

4.2. Brandverhalten und Brandschutz

Wie bereits im vorherigen Kapitel unter den konstruktiven Schutzmaßnahmen erwähnt, hängt die Entwicklung eines Brandes einerseits von der Ausbreitung des Feuers, der Temperaturentwicklung, den verschiedenen Phasen und der Konfiguration des Gebäudes ab. Letzteres wird speziell von dem Österreichischen Institut für Bautechnik, kurz auch OIB genannt, in der Richtlinie von 2015 in OIB 2 weiter unterteilt. Hier können die verschiedenen Gebäudeklassen von GK1 bis GK 5 angenommen werden, wobei in dieser Arbeit hauptsächlich auf GK 5 für Hochhäuser Bezug genommen wird.³⁰

Aufgrund dessen, dass der Brandschutz im Holzbau eine der am herausforderndsten technischen Maßnahme ist, wurde von der Landesbauordnung der Einsatz von Holz in tragenden Konstruktionen oder an angrenzenden Bauteilen des Fluchtweges in der GK 5 verboten.³¹ Diese Bauordnung legt fest, dass alle tragenden oder aussteifenden Systeme eines Hochhauses aus feuerbeständigen und nicht brennbaren Materialien zu konstruieren sind. Hierdurch wird der Baustoff Holz als tragenden Kern oder Tragsystem in mehrgeschossigen Gebäuden durch die Brandschutzanforderungen ausgeschlossen. Daher wird hierfür meistens ein Tragsystem aus Stahl-Beton verwendet.

Um die Anforderungen der Brandschutzbauordnungen erfüllen zu können, werden die Baustoffe in ihre jeweiligen Feuerwiderstandsklassen eingeteilt. Nachstehend ist ein Auszug dieser Bemessung der Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102 Teil 2.

³⁰ Schuster, Nicole: Mehrgeschossiger Holzwohnbau in Österreich. Ein nachhaltiger, umsetzbarer Weg in die Zukunft?. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Immobilienmanagement und Bewertung. Masterarbeit. April 2019. S.14.

³¹ Erfolgspotentiale der Holzhybridbauweise in der Immobilienentwicklung. Wagner Benjamin u.a.: Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2022. S.36.

Bemessung der Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102 Teil 2				
Feuerwiderstandsklasse	Baustoffklasse nach DIN 4102 Teil 1 der in den geprüften Bauteilen verwendeten Baustoffe		Kurzbezeichnung ¹⁾	bauaufsichtliche Benennung ¹⁾
	wesentliche Teile ¹⁾	übrige Bestandteile die nicht unter den Begriff der Spalte 2 fallen		
F30	B	B	F30-B	fh = feuerhemmend
	A	B	F30-AB	fh und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen
	A	A	F30-A	fh und aus nichtbrennbaren Baustoffen
F60	B	B	F60-B	–
F90	B	B	F90-B	–
	A	B	F90-AB	fb = feuerbeständig
	A	A	F90-A	fb und aus nichtbrennbaren Baustoffen

1) Erläuterungen hierzu siehe DIN 4102 Teil 2

Abbildung 9: Bemessung der Feuerwiderstandsklassen

Diese Werte geben an, welche Funktionen die Bauteile in einem Brandfall mindestens erfüllen müssen. Der Feuerwiderstand F gibt an, wie viele Minuten ein Bauteil unter Vollbrand funktionsfähig bleibt und seine Tragfähigkeit sowie die Funktion des Raumabschlusses beibehält. Weiters können die Baustoffe nach ihrer Widerstandsfähigkeit, kurz REI genannt, bewertet werden. Diese Anforderungen unterteilen sich in die Tragfähigkeit R, den Raumabschluss E und die Isolation I. Aufgrund dieser Einteilung kann jedes Bauteil genau klassifiziert werden.

Die Landesbauordnung gibt auch für die jeweiligen GK ein Brandschutzkonzept vor, das die Anforderungen der oberflächlichen Bauteile und deren

Feuerwiderstandsklasse enthält. Durch diese Verordnung kann ein Gebäude in brandschutztechnischer Hinsicht gut im Voraus geplant werden. Weiters enthält ein solches Konzept auf das Gesamtsystem abgestimmte Maßnahmen zum vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz. Unter anderem enthält es die Verwendung von Rauchmeldern, Rettungs- und Fluchtwegekonzepte, Sprinkleranlagen, Brandmeldeanlagen und viele weitere.³²

Damit in einem Brandfall das Feuer und der lebensgefährliche Rauch so weit wie möglich eingeschränkt werden kann, benötigt es Brandabschnitte im Gebäude. Diese werden laut der OIB Richtlinie 2 wie folgt eingeteilt. Bei Wohn- oder Bürogebäuden oder sonstiger Nutzung ist eine max. Längsausbreitung von 60 Meter genehmigt. Weiters ist pro Brandabschnitt eine max. netto Grundfläche von 1600 m² bei Bürogebäuden und 1200 m² bei sonstiger Nutzung zugelassen. Ebenfalls, wie in der nachstehenden Grafik zu erkennen ist, wird die Anzahl der Geschosse in einem Gebäude auf vier Stück pro Brandabschnitt begrenzt.

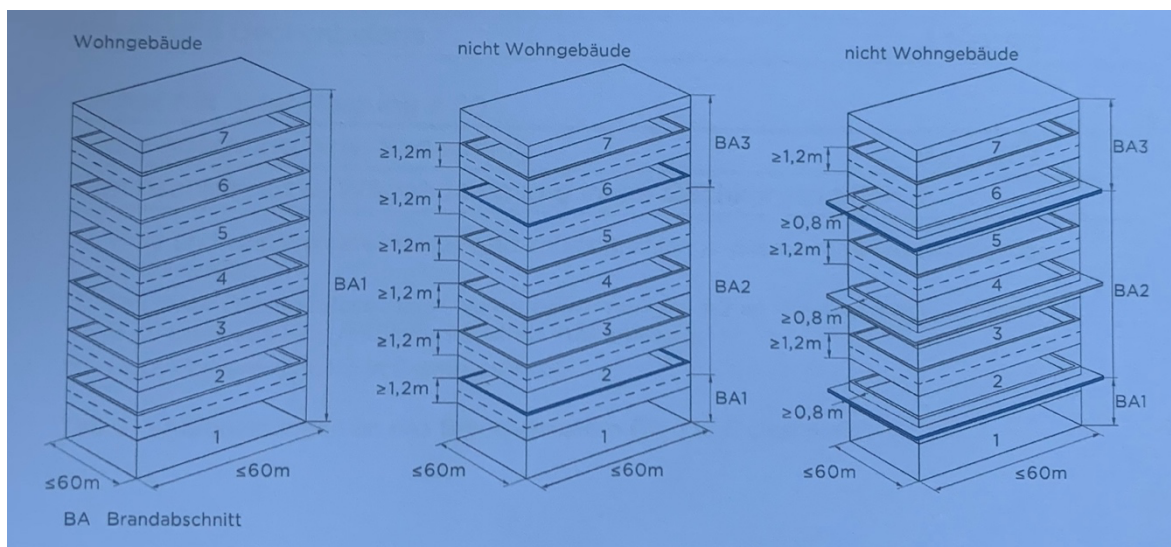


Abbildung 10: Brandabschnitteinteilung in einem mehrgeschossigen Gebäude

Jeder dieser Brandabschnitte muss durch Bauteile mit einer bestimmten Feuerwiderstandsklasse abgegrenzt werden. Durchbrüche in Form von Türen und Fenstern müssen mit einer selbstschließenden Funktion ausgestattet sein und

³²Holzbau Atlas. Herzog, Thomas u.a. 4.Auflage. München: Birkhäuser Verlag 2003. S.72.

haben dieselben Klassifizierungen wie die angrenzenden brandabschnittsbildenden Bauteile aufzuweisen. Speziell bei der GK 5 gibt es besondere Anforderungen an die Abschnitte. Diese müssen entweder mit einer brandabschnittsbildenden Decke der Klasse A2 oder anlagetechnischen Alternativen wie etwa zum Beispiel mit Sprinkleranlagen versehen werden.³³

Ausführungshinweise:

Aufbauend auf die Brandabschottung bzw. die Brandabschnitte sind einige Ausführungshinweise zu beachten. Besonders im Holzbau bzw. auch im Holzhybridbau sind die Hohlräume genauer zu kontrollieren und zu planen. Dies liegt daran, dass sich ein Brand in diesen nicht sichtbaren Hohlräumen unbemerkt entflammen kann. Um dies zu verhindern oder zumindest das Risiko stark zu senken, sollten möglichst alle Hohlräume mit einer Dämmung oder ähnliches ausgebildet werden. Dies hat ebenfalls positive Einwirkungen auf den Schall und den Wärmeschutz. Weiters müssen diese Auslassungen so verbaut werden, dass sie von allen Seiten geschlossen sind, um den geforderten Brandschutz zu erhalten. Ein besonderes Augenmerk ist auf alle Durchbrüche, wie etwa Leitungsrohre oder Elektrik-Leitungen zu legen.³⁴

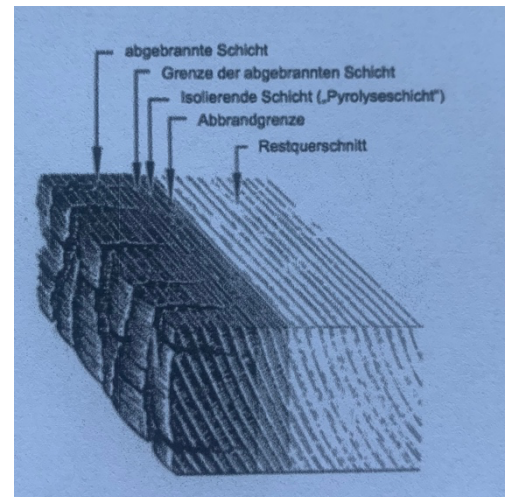


Abbildung 11: Unter Brand stehendes Massivholz

Der positive Aspekt von Holz ist, dass er eine Konstante Abbrandgeschwindigkeit und ein günstiges Verhalten im Brandfall aufweist. Die abgebildete Grafik zeigt ein unter Brand stehendes Massivholzelement.

³³ Habenreich, Philipp: Untersuchung der Anwendbarkeit von Holzbauweise an aktuellen Wiener Wohnbauten. Wien: Fachhochschule FH Campus Wien. Masterstudiengang Architektur – Green Building. Masterarbeit. Juni 2018. S.22.

³⁴ Holzbau Atlas. Herzog, Thomas u.a. 4.Auflage. München: Birkhäuser Verlag 2003. S.72.

Dies bedeutet, dass nach der ersten abgebrannten Schicht sich eine Holzkohle bildet, welche natürliche Dämmeigenschaften hat. Hierdurch wird das dahinter liegende unbeschädigte Holz vor einer schnellen Aufheizung durch das Feuer eine gewisse Zeit lang geschützt und der Verlust der Tragfähigkeit hinausgezögert. Im Vergleich zu reinen Stahlkonstruktionen bleibt Holz somit länger Formstabil. Eine Ausnahme sind hier jedoch die Stahl-Beton-Konstruktionen, da diese eine Brandhemmende Betondeckung besitzen. Ein weiterer Vorteil von Holz zu STB-Systemen ist, dass das Holz Versagensankündigungen in Form von Knarrgeräuschen wiedergibt.

Die nebenstehende Abbildung zeigt einen unter Brand stehenden Holzquerschnitt. Dieser wird von allen vier Seiten dem Feuer ausgesetzt. Es zeigt die Abbrenngeschwindigkeit in Abhängigkeit des Temperaturverlaufes an. Dadurch kann erkannt werden, dass nur die äußeren Schichten abgebrannt werden und es weiterhin einen tragenden Kern gibt. Dies geht auf die bereits vorher erwähnte isolierende oder dämmende Schutzschicht aus Holzkohle zurück.

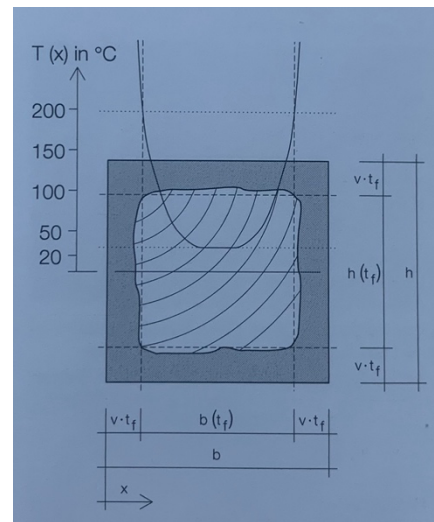


Abbildung 12: Temperaturverlauf für einen unter Brand beanspruchten Holzquerschnitt

Holz ist somit eindeutig ein brennbarer Baustoff, welcher dem Feuer in einem Brandfall wesentlich mehr Brennmaterial abgibt als Beton. Jedoch zeigt sich, dass in den meisten Schadensfällen nicht der Baustoff Holz als ausschlaggebende Brandursache gilt, sondern die falsche Kombination mit anderen Baustoffen oder eine gefährliche Brandlast, die die Ausbreitung des Brandes vorantreiben.³⁵

³⁵ Holzbau Atlas. Herzog, Thomas u.a. 4.Auflage. München: Birkhäuser Verlag 2003. S.73.

4.3. Holzschutz

Aufgrund dessen, dass Holz ein natürliches Material ist hat es leider auch dementsprechend einige Gefährdungen. Die größte und am häufigsten vorkommende ist die Gefahr durch Pilze und Insekten, welche das Holz zerstören oder verfärben können. Grundsätzlich bilden sich diese bei einer Einlagerung von Wasser in den Zellhohlräumen des Holzes. Daher sollte die Holzfeuchte nicht über 20 Prozent betragen. Die am häufigsten verwendete Methode zur Begrenzung dieser Feuchte ist die bauliche Schutzmaßnahme. Hierbei werden alle möglichen bauphysikalischen oder konstruktiven Methoden verwendet, um den Zugang von Insekten oder Pilzen zu verhindern. Ebenfalls wird hierbei auf die kritische Holzfeuchte geachtet, damit diese unter dem Grenzwert bleibt und keine schädlichen Pilze und dementsprechend infolge nachteiliger Verformungen aufgrund von Quellen und Schwinden das Holz beeinflussen. Somit kann durch diese Maßnahmen eine niedrige Gefährdungsklasse erreicht werden. Falls die vorherig beschriebenen Vorkehrungen trotzdem nicht ausreichen sollten, gibt es noch die Möglichkeit spezielle resistente Holzarten einzusetzen.³⁶

Eine andere Konstruktionsmöglichkeit wäre die sichtbare Anordnung des Holzes. Bei dieser Vorgehensweise wird das Holz nicht wie bei dem baulichen Schutz komplett verbaut, sondern zum Beispiel Stützen oder Träger von einer Skelettbauweise offen und sichtbar gelassen. Hierdurch ist die Kontrolle des Holzes wesentlich effektiver und einfacher. Jedoch müssen auch bei dieser Bauweise manche Bauteile für Insekten unzugänglich konstruiert werden.³⁷

In manchen Fällen kann der wirksame Schutz für das Holz unter Umständen trotz der oben erwähnten und verwendeten Maßnahmen nicht ausreichend genügen. In diesen Konstruktionen wird das Holz mit vorbeugenden chemischen Mitteln behandelt. Hierbei kommen biozide Wirkstoffe zum Einsatz. Diese haben ihre

³⁶ Holz im Hochbau: Theorie und Praxis. Pech, Anton u.a. 1.Auflage. Basel: Birkhäuser Verlag 2016. S.42.

³⁷ Holzbau Atlas. Herzog, Thomas u.a. 4.Auflage. München: Birkhäuser Verlag 2003. S.60.

jeweiligen Prüfprädikate mit den entsprechenden Anwendungsgebieten und Gefährdungsklassen.³⁸

Eine der größten Unterschiede bei der Konstruktion von Stahl-Beton- zu Holzhybridhochhäusern ist der Prozess der Planung. Dieser ist bei Holzkonstruktionen um einiges aufwendiger, da die verschiedenen Schutzmaßnahmen und deren Herstellung mitberücksichtigt werden müssen. Dabei ist vor allem die Baukörpergeometrie des Holzbauteiles und der notwendigen Materialklasse ausschlaggebend. Damit die richtige Materialauswahl getroffen wird, kann diese bei Holzwerkstoffen in zwei große Obergruppen unterteilt werden. Ersteres in die geeignete Holzart bezüglich der Resistenz gegen äußerliche Beanspruchungen und zweitens in die Holzwerkstoffklasse für die genaueren Anwendungsgebiete. Weiters gibt es Bereiche, an denen der Einbau von Holz eher vermieden werden sollte. Zum Beispiel wäre dies bei einem Hochhaus der Sockelbereich, der witterungsbeständig, spritzwassergeschützt und sicher gegen Schnee sein muss.³⁹

³⁸ Holz im Hochbau: Theorie und Praxis. Pech, Anton u.a. 1.Auflage. Basel: Birkhäuser Verlag 2016. S.46.

³⁹ Holzbau Atlas. Herzog, Thomas u.a. 4.Auflage. München: Birkhäuser Verlag 2003. S.60-62.

4.4. Vorfertigung

Die Vorfertigung ist eine serien- und fabrikmäßige Produktion von Bauteilen, welche in unterschiedlichen Vorfertigungsgraden gefertigt werden können. Diese müssen anschließend nur mehr auf die Baustelle transportiert und montiert werden. Vor allem im Holz und Holzhybridbau etabliert sich diese Fertigung zunehmend.⁴⁰ Mögliche Gründe sind die Vorteile der Wirtschaftlichkeit, Qualität und der Produktivität. Hierdurch sind eine witterungsunabhängige Anfertigung, höhere Qualität, Planung und Genauigkeit, schnellere Montage, geringere Emissionen und detailliertes Vorplanen möglich.⁴¹

„Die Standardisierung macht eine Serienproduktion von Bauteilen möglich, die eine wirtschaftliche und qualitätsvolle und vor allem aber rasche Herstellung von Wohnraum in Städten bewerkstelligt.“⁴²

Eine solche Vorfertigung der Bauteile wurde auch beim Beispielobjekt HoHo angewendet. Hier sind Bauteile in Form eines Baukastensystems gefertigt worden. Dazu wurden beispielsweise Decken als HBV-Deckenelemente ausgebildet, welche in Verbindung von Holz mit Beton besonders gute physikalische und technische Eigenschaften besitzen.⁴³ Ebenfalls wurden die Wände und Träger in Holzbauweise im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle nur mehr zusammen montiert. Durch diese Effizienz in der Planung, der Arbeitszeit, dem Materialaufwand und der Umsetzung während des Baus, wird eine Ersparnis in allen wichtigen Bereichen der Wirtschaft, Technik und Ökologie ermöglicht.⁴⁴

⁴⁰ Holzbau: Raummodule. Huß, Wolfgang u.a. 1.Auflage. München: Detail Verlag 2018. S.26-30

⁴¹ Schuster, Nicole: Mehrgeschossiger Holzwohnbau in Österreich. Ein nachhaltiger, umsetzbarer Weg in die Zukunft?. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Immobilienmanagement und Bewertung. Masterarbeit. April 2019. S.20.

⁴² Schuster, Nicole: Mehrgeschossiger Holzwohnbau in Österreich. Ein nachhaltiger, umsetzbarer Weg in die Zukunft?. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Immobilienmanagement und Bewertung. Masterarbeit. April 2019. S.20.

⁴³ Hochwimmer, Edwin: Untersuchung des Holzhochhausbaus hinsichtlich der Nachhaltigkeit und möglicher Potenziale für die Zukunft. Wien: Fachhochschule FH Campus Wien. Masterstudiengang Bauingenieurwesen – Baumanagement. Masterarbeit. Juli 2019. S.15-20.

⁴⁴ Schuster, Nicole: Mehrgeschossiger Holzwohnbau in Österreich. Ein nachhaltiger, umsetzbarer Weg in die Zukunft?. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Immobilienmanagement und Bewertung. Masterarbeit. April 2019. S.21.

5. Beispielobjekt HoHo Wien

Für diese Arbeit und im speziellen für den ökologischen und wirtschaftlichen Vergleich wird die Holzaußenwandschicht des HoHo Wien als Beispielaufbau herangezogen. Der genaue Schichtaufbau ist im ökologischen Vergleich als Plan ersichtlich.

Der unten stehende Plan zeigt den Grundriss des Holzhochhauses oder kurz auch HoHo genannt. Hier ist gut zu erkennen, dass der innere Kern aus Stahlbeton gefertigt wurde und die Außenwände und Fassade aus Holzmassivbauteilen mit einer WDVS konstruiert wurden.⁴⁵

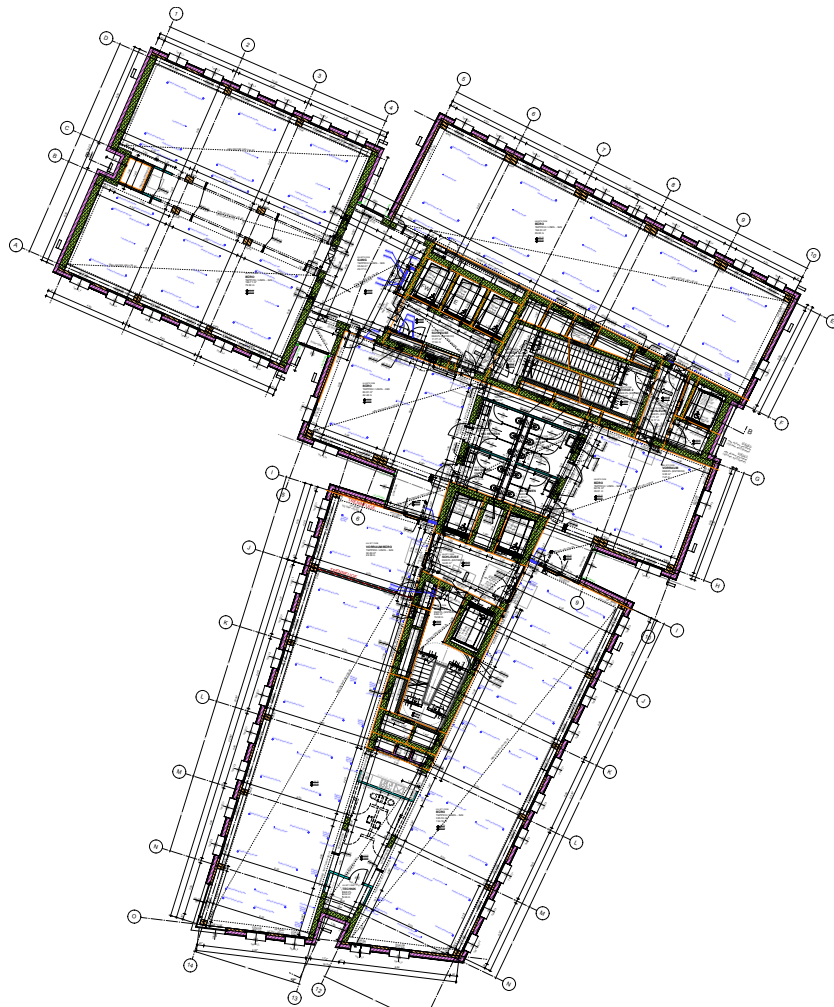


Abbildung 13: Grundrissplan HoHo

⁴⁵ HoHo Wien: Das Buch: Die Geschichte einer Vision. Hoffmann, Romana u.a. Wien: cetus Baudevelopment GmbH 2019. S.62.

Der Baubeginn des HoHo war im Oktober 2016. Schon damals war dieses Projekt einzigartig und eine Innovation. Die gesamte Bauweise basiert auf einer Holzhybridkombination. Der tragende Kern mit den wichtigen brandschutztechnischen Einrichtungen, den Treppen und dem Aufzug wurde aus Stahlbeton gefertigt und der Rest des Objektes in Holzmassivbau bzw. Holzhybridbau in Verbindung mit Stahlbeton gebaut.⁴⁶

Im Jahr 2019 wurde das Hochhaus fertiggestellt und war zu seiner Zeit das höchste Holzhaus der Welt.

⁴⁶ Hochwimmer, Edwin: Untersuchung des Holzhochhausbaus hinsichtlich der Nachhaltigkeit und möglicher Potenziale für die Zukunft. Wien: Fachhochschule FH Campus Wien. Masterstudiengang Bauingenieurwesen – Baumanagement. Masterarbeit. Juli 2019. S.48.

6. Ökologische Aspekte

Für den ökologischen Vergleich der beiden Bauweisen, der Holzhybridbauweise und dem Stahl-Beton-Bau, wird die Software Baubook vom IBO verwendet. Als Vergleichs- und Beispielobjekt wurde der Wandaufbau des HoHo in Wien herangezogen. Es werden hierbei sowohl die Wärmeleitzahlen als auch die OI-Klasse miteinander verglichen. Durch die Bereitstellung der Pläne und Aufbauten des Holzhybridhochhauses kann eine realistische Gegenüberstellung zu einer Bauweise in STB erfolgen. Der unten stehende Schnitt zeigt sehr gut den Aufbau der Außenwände bzw. des Fassadensystems. Dieser dient als Grundlage für die Bauweise in Holz. Als Aufbau für die STB-Bauweise wird ein herkömmlicher Wandaufbau mit Außen-, Innenputz, Wärmedämmung und Stahlbeton geplant.

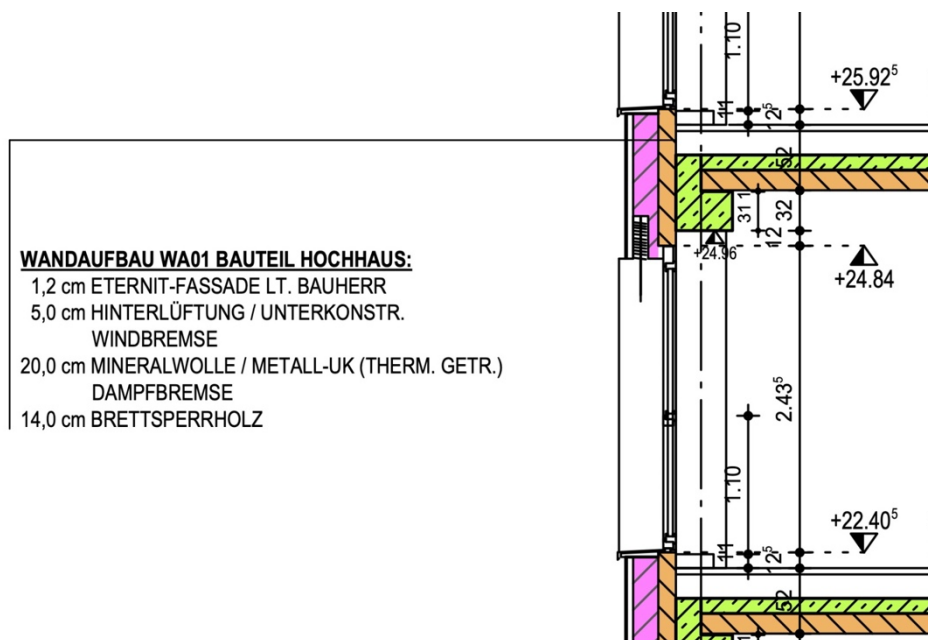


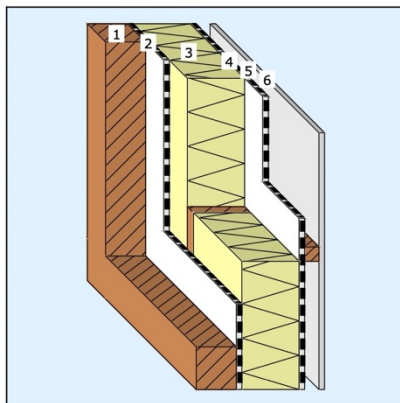
Abbildung 14: Schnitt vom HoHo Wandaufbau

6.1. Ergebnis des ökologischen Vergleichs

Nachstehend sind die Ergebnisse der jeweiligen Schichtaufbauten, welche mittels der Software Baubook berechnet worden sind. Der einzige Unterschied in der Holzhybridbauweise wurde in der Fassadengestaltung durchgeführt. Hier wurde laut dem Bauherrn eine Eternit Fassade geplant, diese gibt es jedoch in der Software Baubook nicht. Daher wurde hier anstelle von Eternit eine Faserzementplatte mit der Stärke 1,2 mm verwendet. Im Folgenden werden die einzelnen Begriffe der Energiewerte kurz näher erläutert und das Ergebnis der beiden Aufbauten verglichen.

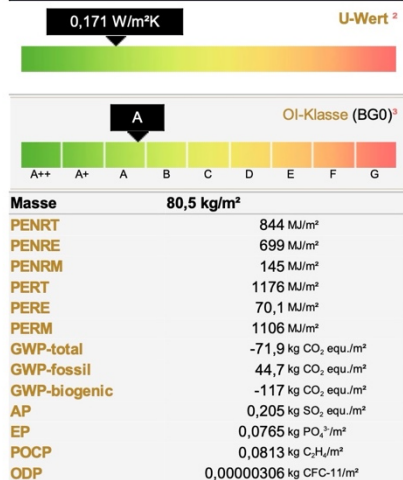
HoHo Außenwand

Wand: gegen Außenluft - hinterlüftet (BG0) – IBO-Richtwerte 2020



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W
1	Brettsper Holz	(HASSLACHER Brettsper Holz) (HASSLACHER CROS	14,00	-	-
2	Dampfbremse	(Dampfbremse Polyethylen (PE))	0,01	0,500	0,00
3	Inhomogen	(Elemente vertikal)	20,00	-	-
		60 cm (92%) FLAPORplus Fassaden-Dämmplatte EPS-F	20,00	0,031	6,45
		5 cm (8%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLACHER	20,00	0,120	1,67
4	Windbremse	(ISOCELL OMEGA Winddichtung)	0,06	0,220	0,00
5	Inhomogen	(Elemente horizontal)	5,00	-	-
		55 cm (92%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach unten $46 < d \leq$	5,00	0,227	0,22
		5 cm (8%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLACHER	5,00	0,120	0,42
6	Faserzementplatten	(2000 kg/m ²)	0,12	1,500	0,00
			$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,130	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 1,4%) =	5,942 / 5,778	
Bauteil			39,19	5,860	

Bemerkung: Importiert am 16. 07. 2019: Bauteil "AWH 01 a Brettstapel-Außenwand, hinterlüftet" aus Gebäude ""

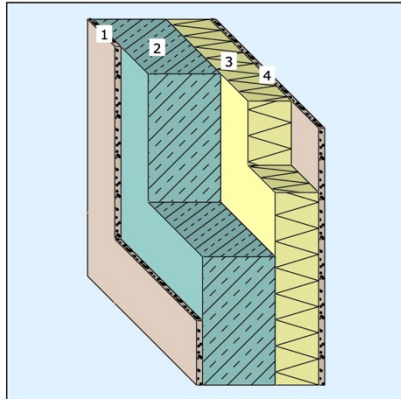


¹ nicht relevant ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. ³ Für die Ol-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Abbildung 15: HoHo Außenwand Schichtaufbau ökologischer Vergleich Baubook

6. Ökologische Aspekte

Stahl-Beton Außenwand



0,319 W/m²K U-Wert¹



OI-Klasse (BG0) ²	
A++	A+
A	B
C	D
E	F
G	

Masse	523,2 kg/m²
PENRT	1579 MJ/m²
PENRE	1579 MJ/m²
PENRM	0 MJ/m²
PERT	58,5 MJ/m²
PERE	58,5 MJ/m²
PERM	0 MJ/m²
GWP-total	143 kg CO ₂ equ./m²
GWP-fossil	143 kg CO ₂ equ./m²
GWP-biogenic	-0,0344 kg CO ₂ equ./m²
AP	0,517 kg SO ₂ equ./m²
EP	0,247 kg PO ₄ ³⁻ /m²
POCP	0,151 kg C ₂ H ₄ /m²
ODP	0,00000528 kg CFC-11/m²

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0) – IBO-Richtwerte 2020

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W
1 RÖFIX 150 Gips-Kalk-Innenputz	0,80	0,470	0,02
2 Stahlbeton 160 kg/m³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	20,00	2,500	0,08
3 RÖFIX FIRESTOP 034-040 Mineralwolle-Fassadendämmplatte	12,00	0,042	2,86
4 Baumit KalkzementPutz KZP 65	1,00	0,830	0,01
		$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,040
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	3,136 / 3,136
Bauteil	33,80		3,136

Bemerkung: Importiert am 16. 07. 2019: Bauteil "AWH 01 a Brettstapel-Außenwand, hinterlüftet" aus Gebäude ***

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Abbildung 16: Stahl-Beton-Außenwand ökologischer Vergleich Baubook

6.2. Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient oder auch U-Wert genannt, gibt an, welcher Wärmestrom durch ein Bauteil in Abhängigkeit des Temperaturunterschiedes zwischen der warmen und kalten Seite fließt. Dieser Wert wird in der Einheit W/m²K angegeben. Somit ist dies die durch das Bauteil hindurch fließende Energie pro m² Kelvin. Durch diesen Vorgang bzw. Rechenweg kann die Dämmeigenschaft eines Objektes oder im speziellen eines Bauteilsaufbaues ermittelt werden. Als Grundprinzip gilt, dass niedrige U-Werte immer besser sind als höhere, da diese

eine effektivere Dämmwirkung besitzen. Somit ist ein Bauteil mit kleinem U-Wert durch einen geringeren Wärmefluss durch den Schichtaufbau bestimmt.

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist von den folgenden Parametern abhängig:

- die verwendeten Materialien
- die Geometrie des Bauteils
- die Wärmeübergangswiderstände

Wie auf den beiden Auswertungen klar erkennbar ist, hat die Holzkonstruktion einen wesentlich geringeren U-Wert als die STB-Bauweise. Dies ist daraus begründet, dass Holz von Anfang an einen besseren Wärmeleitfähigkeitswert, mit circa 0,15 W/m²K, als Stahlbeton mit circa 2,3W/m²K hat.⁴⁷

Durch diese Eigenschaft des Holzes bekommt die Bauweise einen niedrigen U-Wert von nur 0,171 W/m²K. Die Stahl-Beton-Konstruktion weist einen nicht viel schlechteren Wert von 0,319 W/m²K auf. Dies liegt jedoch nicht an dem STB-Bauteil, sondern vielmehr an dem verwendeten Dämmstoff. Diese Eigenschaft ist auch deutlich in der Tabelle mit dem Schichtaufbau der STB-Außenwand erkennbar. Hier hat der Stahlbeton den schlechtesten Wärmeleitfähigkeitswert von allen verwendeten Materialien.

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist für die Objekte für den ökologischen Vergleich der maßgebende Wert, jedoch gibt es auch noch einige andere wichtige Faktoren, die für die Bilanz des Ökoindex von höchster Bedeutung sind. Diese werden im folgenden Kapitel näher erläutert und mit den Beispielobjekten in Vergleich gesetzt.

6.3. OI-Klasse nach BG0

„Der OI3 umfasst die Ökokennzahlen Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial und den Bedarf an nicht-erneuerbarer Primärenergie und kann auf Ebene von Baustoffen, Konstruktionen und gesamten Gebäuden berechnet werden. Als Einzahlangabe trifft der Indikator eine quantitative Aussage für das Potenzial das

⁴⁷ Habenreich, Philipp: Untersuchung der Anwendbarkeit von Holzbauweise an aktuellen Wiener Wohnbauten. Wien: Fachhochschule FH Campus Wien. Masterstudiengang Architektur – Green Building. Masterarbeit. Juni 2018 S.30.

Klima zu erwärmen, die Umwelt zu versauern (Stichwort saurer Regen) und nicht-erneuerbare Energieressourcen zu verbrauchen.“⁴⁸

Im Vergleich ist klar erkennbar, dass sich die OI-Klasse mit den BG0 Werten bei den verschiedenen Bauarten deutlich unterscheidet. Durch das im Verhältnis weniger verbrauchte Gewicht an Material auf die Masse, auf einen m² gemessen, hat Holz eine Klassifizierung von 80,1 kg/m² mit der OI-Klasse A. Dies steht im großen Unterschied zu Stahlbeton mit einem sehr ungünstigen Wert von 532,2 kg/m² mit der schlechtesten Klasse G.

Die genauere Aufteilung der OI-Klasse zeigt, dass das Verbauen von Holz vereinzelt sogar positive Auswirkungen auf die ökologische Umwelt hat. Im Folgenden werden die verschiedenen Umweltfaktoren, die Einfluss auf die OI-Klassifizierung haben, näher erläutert.

Die ersten drei Bezeichnungen, welche PENRT, PENRE und PENRM heißen, beschreiben die nicht erneuerbare Primärenergie oder auch kurz PE genannt, welche zur Herstellung des Bauteils verbraucht wird und diese wird in MJ angegeben. Inkludiert ist hierbei auch der Bedarf, der für die energetischen Ressourcen benötigt wird, wie etwa zum Beispiel Kohle, Erdöl, Gas, usw.. PENRT enthält die energetischen und die stofflich verwendeten und verbrauchten Ressourcen, wohingegen PENRE nur die energetischen und PENRM nur die stofflichen Ressourcen analysiert. In dem Vergleich ist gut zu erkennen, dass die Herstellung in Holzbauweise wesentlich weniger Ressourcen und Energie verbraucht als eine Stahl-Beton-Bauweise. Genauer gesagt fast die Hälfte mit nur 839 MJ/m² für PENRT für Holz im Gegensatz zu 1579 MJ/m² für Stahl-Beton. Dies geht auf die kosten- und energieintensive Herstellung von Beton und Stahl zurück. Ähnlich dazu sind die Werte PERT, PERE und PERM. Diese geben auch die für die Herstellung erforderliche Primärenergie und den Bedarf der benötigten Ressourcen an. Der einzige große Unterschied ist, dass diese Werte die Ressourcen auf Basis von erneuerbaren Materialien, wie etwa zum Beispiel Biomasse, berechnen. Dabei fällt auch auf, dass die Bauweise in Holz wesentlich größere Werte in diesem

⁴⁸OI-Klasse. In: <https://www.baubook.info/de/oekoprogramme/oekoindex/downloads/oi-einfuehrung.pdf> (letzter Zugriff 23.06.23)

Bereich erhält als der Stahl-Beton. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Holz von Beginn an ein natürlicher Rohstoff aus unserer Umwelt ist.

Der für die ökologischen Auswirkungen auf die Umwelt wichtigste Wert ist der des globalen Erwärmungspotentials im Totalen, auch kurz GWP genannt. Dieser teilt sich in den totalen GWP und die beiden dafür addierten Werte, genannt GWP-fossil und GWP-biogenic. Im Folgenden werden die jeweiligen Werte kurz anhand ihrer Definition laut dem Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie näher erläutert.

„Der Indikator „GWP-fossil“ berücksichtigt das GWP durch Treibhausgasemissionen und -bindung in allen Medien, die durch die Oxidation oder Reduktion von fossilen Brennstoffen oder fossilen Kohlenstoff enthaltenden Stoffen entstehen (z. B. Verbrennung, Lagerung auf Deponien usw.). Dieser Indikator beinhaltet außerdem die Bindung oder Emission von Treibhausgasen in anorganischen Materialien (z. B. Calzinierung, Carbonatisierung von Baustoffen auf Zement- oder Kalkbasis). Die Beiträge der Treibhausgase werden über einen Zeithorizont von 100 Jahren und in kg-CO₂-Äquivalenten (kg CO₂-Äq.) angegeben.“⁴⁹

Durch diese Auswertung kann erkannt werden, dass die Herstellung eines Stahlbeton-Bauteils und die Auswirkung auf die Umwelt mehr als dreimal so schädlich für die Ökologie der Erde ist, als die Bauteilschicht mit Holz. Die Holzwand erhält damit nur einen Wert von 44,3 kg CO₂ equ./m² im Gegensatz zu der Stahlbeton-Außenwand mit einem beachtlichen Wert von 143 kg CO₂ equ./m².

Das total globale Erwärmungspotential kann jedoch durch den Wert des biogenen GWPs beeinflusst werden und somit sogar einen positiven Einfluss auf die Umwelt haben. Dieser Wert kann wie im Folgenden beschrieben und definiert werden:

Der Indikator „GWP-biogenic“ berücksichtigt die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommene und über die Lebensdauer des Materials gebundene Menge an CO₂ sowie biogene Emissionen in die Luft durch

⁴⁹OI-Klasse.

In:

https://www.baubook.at/m/PHP/Fragezeichen.php?S_oezk_Typ=5&SW=5&LU=1823787981&qJ=6&LP=kn1yO&SBT_open=590134 (letzter Zugriff 24.06.2023)

Oxidation oder Zerfall von Biomasse (z. B. Verbrennung). Übergänge von biogenem Kohlenstoff aus früheren Produktsystemen in das zu untersuchende Produktsystem bzw. Übergänge in nachfolgende Produktsysteme (z.B. bei Holzrecycling) sind ebenso zu berücksichtigen.

Die Aufnahme von biogenem CO₂ in Biomasse und Übergänge von früheren Produktsystemen müssen in der Ökobilanz als negativer Wert (-1 kg CO₂-equ./kg CO₂) dargestellt werden, Emissionen von biogenem CO₂ aus Biomasse und Übergänge von Biomasse in nachfolgende Produktsysteme als positiver Wert (+1 kg CO₂-equ./kg CO₂) charakterisiert werden.⁵⁰

Durch diese Beschreibung ist klar zu erkennen, dass der Holzwerkstoff einen immensen Vorteil gegenüber dem Bauteil Beton hat, da dieser nicht nur weniger Energie zur Herstellung braucht, sondern auch noch eine positive Einwirkung auf das Klima hat und somit die Umwelt ökologisch verbessert. Daher hat der Baustoff mit Holz im Vergleichsbeispiel einen negativen Wert von -117 kg CO₂ equ./m², welcher gegenübergestellt zur Stahlbetonwand mit einem Wert von circa 0 Kg CO₂ equ./m², eine deutliche Verbesserung und infolge dessen positiven Einfluss auf die Ökobilanz hat.

Um den GWP-total ermitteln zu können müssen die beiden Werte, GWP-fossil und GWP-biogenic, miteinander addiert werden. Durch diese Addition erhält man das gesamte Ergebnis des globalen Erwärmungspotentials. Hierbei kann festgestellt werden, dass das Resultat der beiden zu vergleichenden Schichtaufbauten wesentliche Differenzen hat. Der Schichtaufbau mit Holz hat im Gegensatz zur Stahl-Beton-Außenwand einen gesamten positiven Einfluss auf die Umwelt und ist somit laut den GWP-Werten klimaneutral. In Verhältnis dazu hat die Stahl-Beton-Wand gravierende, negative Eigenschaften auf das Klima. Mit einem GWP-total von 143 kg CO₂ equ./m² beeinflusst sie langfristig schädlich die Umwelt und hat daher die schlechteste Ökoindex-Klasse mit einem G.

⁵⁰GWP-Wert.

In:

https://www.baubook.at/m/PHP/Fragezeichen.php?S_oez_Typ=6&SW=5&LU=1823787981&qJ=6&LP=kn1yO&SBT_open=590134 (letzter Zugriff am 24.06.2023)

7. Wirtschaftliche Aspekte

Um den wirtschaftlichen Vergleich der beiden Bauteile bestmöglich ermitteln zu können, wurde die Software AWR verwendet. Dieser Amortisations- und Wirtschaftlichkeitsrechner, der zur Softwaregruppe der Baubook Seite gehört, berechnet die ökologische Amortisation von geplanten Dämmmaßnahmen.

„Der Fokus liegt dabei auf einer lebenszyklischen Betrachtung - Aufwände für die Herstellung des Dämmsystems werden den Einsparungen bei der Beheizung gegenüber gestellt bzw. gemeinsam in Diagrammen dargestellt. Aus dieser gemeinsamen Betrachtung sind ökologisch optimale Dämmstoffstärken einfach ersichtlich.“⁵¹

Weiters kann durch diese Berechnung die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Maßnahmen ermittelt und in Vergleich zu den beiden gewählten Schichtaufbauten gestellt werden. Im Folgenden werden die beiden Bauarten, auf Grundlage der berechneten Diagramme von der Software AWR, miteinander verglichen und die wichtigsten Eigenschaften und Besonderheiten näher erläutert. Dabei wird hauptsächlich auf die Kosten der Errichtung, des Betriebes und die jeweilige Verbindung zum Ökoindex eingegangen.

Die Abbildung auf der nächsten Seite gibt die wichtigsten Grundlagen zur Berechnung der AWR Software an, beschreibt die Richtwerte für die Erhaltung des Gebäudes und zählt spezielle Grunddaten für den Betrachtungszeitraum auf. Aufgrund der derzeitigen hohen Inflation und der ebenso hohen Zinsen, wird von den Richtwerten ein wenig abgewichen und mit höheren Prozentsätzen für die Preissteigerung und die Zinsen gerechnet. Diese Änderungen werden für beide Schichtaufbauten gleich verwendet. In den Fixkosten der Dämmung ist die Arbeitszeit, eventuell benötigte Geräte, Gerüste und ähnliches bereits enthalten. Diese wird mit 40 €/m² angenommen. Die variablen Kosten betragen 2,076 €/m² und pro cm Dämmschichtdicke. Dieser Wert wird von der Preisliste 2023 von Austrotherm herangezogen.⁵² Dabei wird der Preis von der Dämmschichtdicke von

⁵¹AWR: Amortisations- und Wirtschaftlichkeitsrechners. In: <https://www.baubook.info/de/werkzeuge/awr-amortisationsrechner> (letzter Zugriff 21.06.2023)

⁵² Preisliste 2023. In: <https://www.austrotherm.at/downloads/preisliste> (letzter Zugriff 21.06.2023)

7. Wirtschaftliche Aspekte

20 cm genommen. Diese 34,60 € werden mit der Mehrwertsteuer noch multipliziert und durch 20 dividiert, damit sich der Preis pro cm ergibt. Hierdurch berechnet sich ein Wert der Dämmung von 2,076 €/m² und pro cm Dämmschichtdicke. Dieser Vorgang ist ebenso bei beiden Bauweisen gleich.

In den beiden unten dargestellten Abbildungen sind die oben erwähnten Informationen enthalten. Diese dienen als Grundlage für den Amortisations- und Wirtschaftlichkeitsrechner.

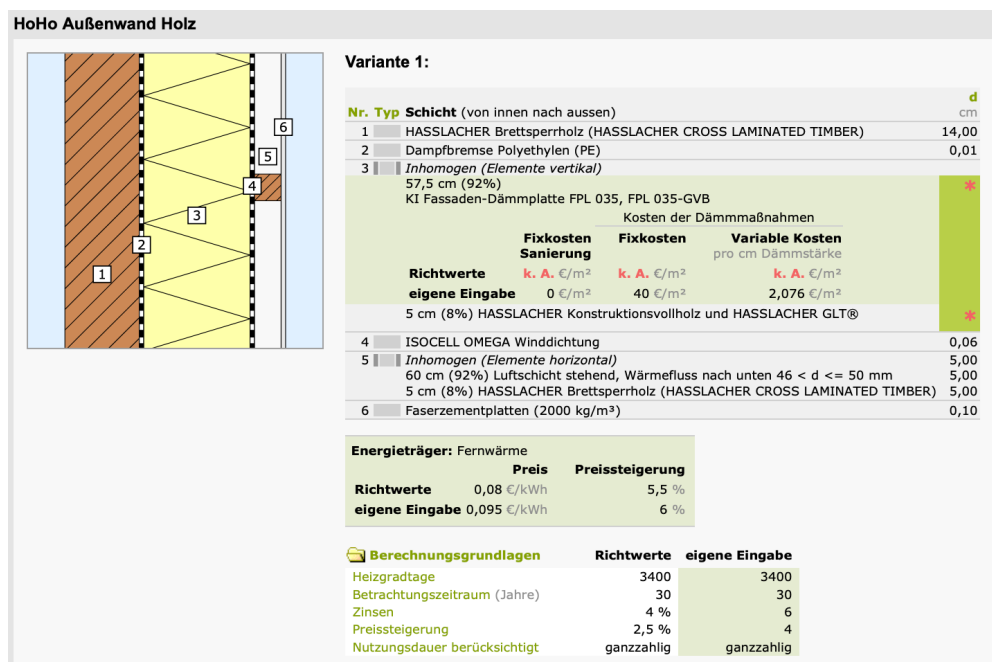


Abbildung 17: Wirtschaftlicher Vergleich HoHo Außenwand AWR

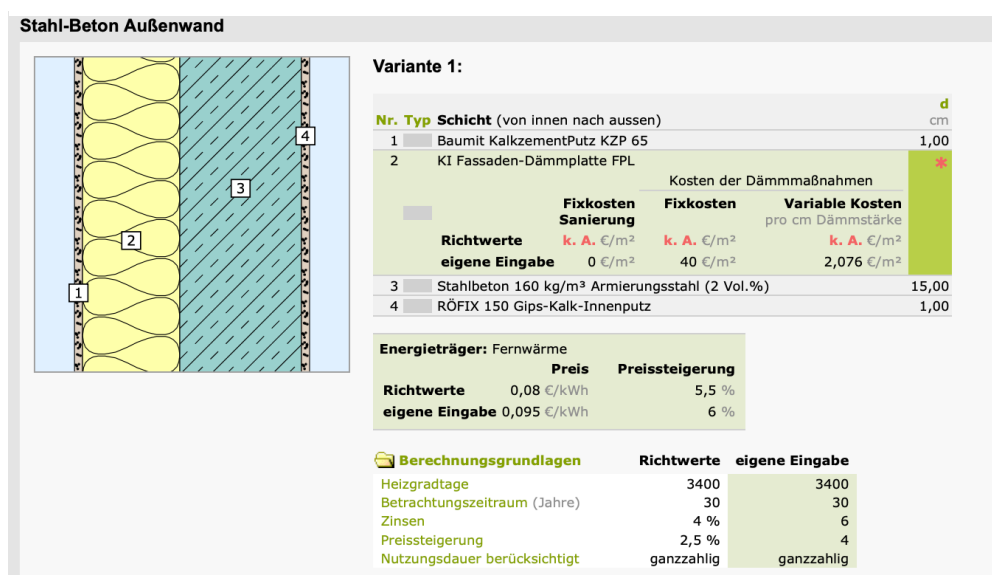


Abbildung 18: Wirtschaftlicher Vergleich Stahl-Beton-Außenwand AWR

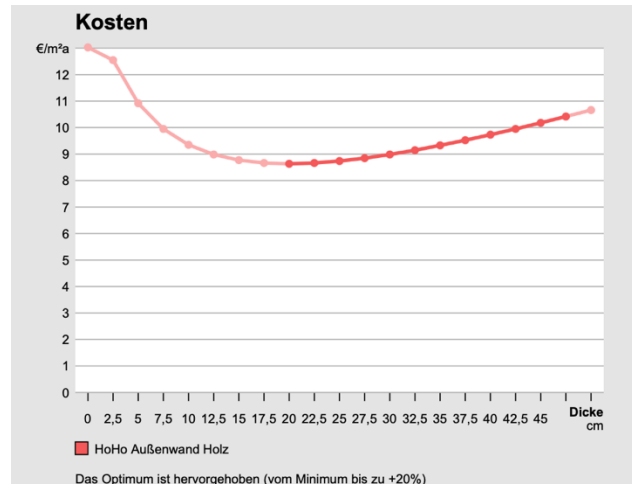


Abbildung 19: Kosten der Dämmung bei Holz

In der oberen Abbildung kann erkannt werden, dass für die Kosten einer Dämmung für den Schichtaufbau einer Holzwand eine Dicke ab 20 cm optimal ist. Hierbei betragen die Kosten in etwa knapp 9 €/m²a. In diesen Kosten sind sowohl die Errichtung als auch die laufenden Kosten enthalten. Beide ergeben jeweils in etwa 50% der Gesamtkosten der Dämmung. In dieser Berechnung wird das Objekt auf eine Laufzeit von 30 Jahren betrachtet.⁵³ Je dicker die Dämmschicht wird, desto mehr kostet diese jährlich. Daher sollte ein Wert von 20 cm plus maximal 20% bei einer Holzbauweise angestrebt werden.

Vergleicht man diesen Wert mit jenem von dem Schichtaufbau einer STB-Bauweise fällt auf, dass die Dämmdicke einen ähnlichen optimalen Wert hat. In der nachstehenden Abbildung ist die Grafik der Kosten einer Dämmung für eine STB-Wand ersichtlich.

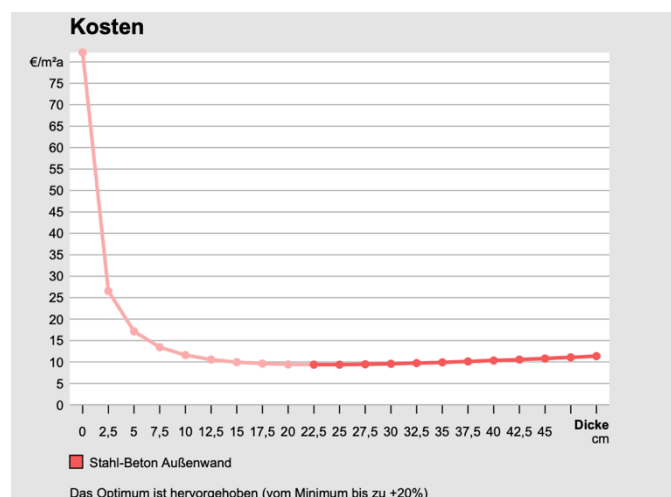


Abbildung 20: Kosten der Dämmung bei einer STB-Wand

⁵³ AWR. In: <https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&LP=37nvU&Ing=1> (letzter Zugriff 29.06.2023)

7. Wirtschaftliche Aspekte

Der optimale Wert beträgt hier 22,5 cm. Hingegen ist der jährliche Aufwand an Kosten bei einer STB-Außenwanddämmung leicht erhöht mit circa 10 €/m²a.

Die weiteren Ergebnisse dieser Berechnung und Auswertung sind im Anhang ersichtlich. Diese enthalten zu den bereits im Vorhinein erwähnten wirtschaftlichen Kosten auch noch Aspekte der Ökologie im Verhältnis zu den Dicken der Bauteilschichten und deren Kosten.

8. Fazit

Um den ständig wachsenden Bedürfnissen der Menschen in den Städten nach mehr Wohnraum auf kleinerer Fläche nachzukommen, bietet sich die kompakte Bauweise eines Hochhauses als geeignete und zukunftsorientierte Lösung an. Hierdurch kann mit der jeweils richtigen Bauweise ein ökologisch positiver Einfluss auf die Umwelt und die Bewohner und Bewohnerinnen geschaffen werden.

Durch den Vergleich der beiden Bauweisen, in Holzhybrid und Stahl-Beton, wurde festgestellt, dass beide Aufbauten durch verschiedene Tragwerkssysteme gebildet werden können. Jedoch wurde hier hauptsächlich das Augenmerk auf die Bauweise der räumlichen Tragwerke mit tragendem Kern gelegt. Mit dieser Bauweise können beide Schichtaufbauten ausgebildet und bestmöglich miteinander verglichen werden. Hierdurch lässt sich erkennen, dass beide Systeme unabdinglich einen innen liegenden Massivkern aus Stahl-Beton benötigen. Besonders die Holzhybridbauweise benötigt durch geregelte Normen einen solchen Aufbau. Dies ist auf die schlechteren Brandeigenschaften im Vergleich zu einer Stahl-Beton-Wand zurückzuführen. Deshalb müssen Holzwände durch spezielle Aufbereitungen oder konstruktive Maßnahmen verdeckt und vor Feuer und eindringende Faktoren von außen geschützt werden. Ein weiterer Unterschied ist der bei dem Holz benötigte Holzschutz vor Schädlingen und Pilzen. Bei der Ausbildung einer Holzhybridbauweise mit Vorfertigungssystemen können jedoch alle oben genannten Anforderungen bereits im Werk erfüllt und ausgearbeitet werden. Durch diese Vorfertigung verringert sich ebenfalls die Bauzeit. Diese bereits ab Werk fertig erstellten Bauteile, welche sowohl Wände als auch Decken sein können, sind ebenfalls in Verbindung mit einer dünnen Betonschicht mit den jeweiligen positiven Eigenschaften des Materials konstruierbar. Dieses Verfahren wurde im Beispielobjekt HoHo Wien verwendet. Hier sind Montagedecken in HBV-Bauweise konstruiert worden, welche als Baukastensystem fungieren.

Im direkten Vergleich der ökologischen Auswirkungen der Bauweisen auf die Umwelt wird erkannt, dass beide Schichtaufbauten ähnliche Wärmedurchgangskoeffizienten und damit Energieeffizienz haben. Die Holzhybridbauweise hat einen U-Wert von $0,171 \text{ W/m}^2\text{K}$ und der Wandaufbau in Stahl-Beton $0,319 \text{ W/m}^2\text{K}$, wobei hier die Dämmschicht ein wenig dünner ist als

beim Holzbauteil. Hingegen sind bei der OI-Klasse gravierende Unterschiede festzustellen. In diesen Ökokennzahlen, welche das Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial und den Bedarf an nicht-erneuerbarer Primärenergie betrachtet und analysiert, berechnet sich eine Klasse A für die Holzhybridbauweise und eine Klasse G für die Stahl-Beton-Wand. Die schlechteste Klasse G lässt sich auf die vor allem energieintensive und umweltschädliche Herstellung des Betons zurückführen.

Im wirtschaftlichen Vergleich stellt sich heraus, dass beide Aufbauten ähnliche Kosten in der Herstellung und während des Betriebes haben. Bei einer Betrachtungszeit des Gebäudes von 30 Jahren kostet die Dämmung bei der Holzhybridbauweise in etwa 9 €/m²a und bei der STB-Bauweise nur geringfügig mehr mit 10 €/m²a.

Abschließend kann erwähnt werden, dass die Fertigung eines Hochhauses in Holzhybridbauweise mit einzelnen Stahl-Beton-Elementen eine zukunftsorientierte Bauweise mit vielen Vorteilen ist. Hierdurch erhält das System die Kombination der jeweils positiven Eigenschaften der Materialien. Es erhält eine gute Energieeffizienzklasse und hat somit einen positiven klimatischen Einfluss und Fußabdruck auf die Umwelt.

Quellenverzeichnis

Selbstständig erschienene Publikationen

Erfolgspotenziale der Holzhybridbauweise in der Immobilienprojektentwicklung.
Wagner, Benjamin u.a. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag 2022.

HoHo Wien: Das Buch: Die Geschichte einer Vision. Hoffmann, Romana u.a.
Wien: cetus Baudevelopment GmbH 2019.

Holzbau Atlas. Herzog, Thomas u.a. 4.Auflage. München: Birkhäuser Verlag
2003.

Holzbau: Raummodule. Huß, Wolfgang u.a. 1.Auflage. München: Detail Verlag
2018.

Holz im Hochbau: Theorie und Praxis. Pech, Anton u.a. 1.Auflage. Basel:
Birkhäuser Verlag 2016.

Klasmann, Karl Jaan: Das (Wohn-) Hochhaus: Hochhaus und Stadt. Wien:
Springer Verlag Wien New York 2004.

Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf.
Düsseldorf: Verl. Bau+Technik 1998.

Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G.
Teubner Verlag 2005.

Diplom- oder Masterarbeiten

Habenreich, Philipp: Untersuchung der Anwendbarkeit von Holzbauweise an aktuellen Wiener Wohnbauten. Wien: Fachhochschule FH Campus Wien. Masterstudiengang Architektur – Green Building. Masterarbeit. Juni 2018.

Hochwimmer, Edwin: Untersuchung des Holzhochhausbaus hinsichtlich der Nachhaltigkeit und möglicher Potenziale für die Zukunft. Wien: Fachhochschule FH Campus Wien. Masterstudiengang Bauingenieurwesen – Baumanagement. Masterarbeit. Juli 2019.

Schuster, Nicole: Mehrgeschossiger Holzwohnbau in Österreich. Ein nachhaltiger, umsetzbarer Weg in die Zukunft?. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Immobilienmanagement und Bewertung. Masterarbeit. April 2019.

Tasevski, Darko: Bewertung der Aussteifungseigenschaften von Tragwerken im Hochhausbau. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Bauingenieurwesen. Diplomarbeit. 2012.

Wannke, Marvin: Aussteifung von Hochhäusern mit Outriggers. Dortmund: Universität Dortmund. Fachbereich Bauwesen. Diplomarbeit. März 2001.

Texte aus dem Internet

AWR. In:
<https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&LP=37nvU&lng=1>
(letzter Zugriff 29.06.2023)

Baubook. In: <https://www.baubook.info/de> (letzter Zugriff 29.06.2023)

GWP-Wert. In:
https://www.baubook.at/m/PHP/Fragezeichen.php?S_oekz_Typ=6&SW=5&LU=1823787981&qJ=6&LP=kn1yO&SBT_open=590134 (letzter Zugriff am 24.06.2023)

Hochhäuser. In: <https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Hochhäuser.at>
(letzter Zugriff 28.04.2023)

OI-Klasse. In:
<https://www.baubook.info/de/oekoprogramme/oekoindex/downloads/oi-einfuehrung.pdf> (letzter Zugriff 23.06.23)

Ökoindex3. Einführende Information. In:
<https://www.baubook.info/de/oekoprogramme/oekoindex/downloads/oi-einfuehrung.pdf> (letzter Zugriff 23.06.2023)

Preisliste 2023. In: <https://www.austrotherm.at/downloads/preisliste> (letzter Zugriff 21.06.2023)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hochhaustragsysteme im Verhältnis der Gebäudehöhe.....	4
Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag, 2005. S.84.	
Abbildung 2: Aussteifungsgeometrien.....	12
Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag, 2005. S.106.	
Abbildung 3: Kräfteverlauf.....	16
Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag, 2005. S.115.	
Abbildung 4: Stockwerkrahmen	18
Phocas, C. Marios: Hochhäuser: Tragwerk und Konstruktion. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag, 2005. S.120.	
Abbildung 5: Anwendungsmöglichkeit von Dämmstoffen	23
Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik, 1998. S.70.	
Abbildung 6: Einheits-Temperatur-Kurve	29
Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik, 1998. S.101.	
Abbildung 7: Abnahme der Stahlzug- und Betonfestigkeit und des E-Moduls.....	30
Pauser, Alfred: Beton im Hochbau: Handbuch für den konstruktiven Vorentwurf. Düsseldorf: Verl. Bau+Technik, 1998. S.102.	
Abbildung 8: Tragstrukturkombinationen	33
Holz im Hochbau: Theorie und Praxis. Pech, Anton u.a. erste Auflage. Basel: Birkhäuser Verlag 2016. S.133.	
Abbildung 9: Bemessung der Feuerwiderstandsklassen	35
Holzbau Atlas. Herzog, Thomas u.a. vierte Auflage. München: Birkhäuser Verlag 2003. S.71.	

Abbildung 10: Brandabschnitteinteilung in einem mehrgeschossigen Gebäude ...36	
	Habenreich, Philipp: Untersuchung der Anwendbarkeit von Holzbauweise an aktuellen Wiener Wohnbauten. Wien: Fachhochschule FH Campus Wien. Masterstudiengang Architektur – Green Building. Masterarbeit. Juni 2018. S.22.
Abbildung 11: Unter Brand stehendes Massivholz37	
	Schuster, Nicole: Mehrgeschossiger Holzwohnbau in Österreich. Ein nachhaltiger, umsetzbarer Weg in die Zukunft?. Wien: Technische Universität Wien. Fakultät für Immobilienmanagement und Bewertung. Masterarbeit. April 2019. S.15.
Abbildung 12: Temperaturverlauf für einen unter Brand beanspruchten Holzquerschnitt.....38	
	Holzbau Atlas. Herzog, Thomas u.a. vierte Auflage. München: Birkhäuser Verlag 2003. S.73.
Abbildung 13: Grundrissplan HoHo42	
	Handler Bau GmbH: Abteilung Hochbau 1 & 4
Abbildung 14: Schnitt vom HoHo Wandaufbau.....44	
	Handler Bau GmbH: Abteilung Hochbau 1 & 4
Abbildung 15: HoHo Außenwand Schichtaufbau ökologischer Vergleich Baubook.....45	
	Baubook: Rechner für Bauteile. In: https://www.baubook.at/btr/ (letzter Zugriff 24.06.2023)
Abbildung 16: Stahl-Beton-Außenwand ökologischer Vergleich Baubook46	
	Baubook: Rechner für Bauteile. In: https://www.baubook.at/btr/ (letzter Zugriff 24.06.2023)
Abbildung 17: Wirtschaftlicher Vergleich HoHo Außenwand AWR.....52	
	AWR. In: https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&LP=37nvU&Ing=1 (letzter Zugriff 29.06.2023)

Abbildung 18: Wirtschaftlicher Vergleich Stahl-Beton-Außenwand AWR 52
AWR. In:
[https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&L
P=37nvU&Ing=1](https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&L P=37nvU&Ing=1) (letzter Zugriff 29.06.2023)

Abbildung 19: Kosten der Dämmung bei Holz 53
AWR. In:
[https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&L
P=37nvU&Ing=1](https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&L P=37nvU&Ing=1) (letzter Zugriff 29.06.2023)

Abbildung 20: Kosten der Dämmung bei einer STB-Wand 53
AWR. In:
[https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&L
P=37nvU&Ing=1](https://www.baubook.at/awr/?SW=33&LU=1823787981&qJ=1&L P=37nvU&Ing=1) (letzter Zugriff 29.06.2023)

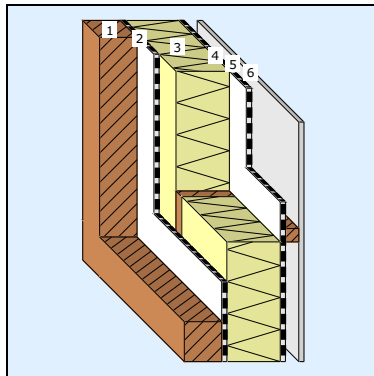
Anhang

23. 6. 2023
Sebastian Wiesinger (P28435)



HoHo Außenwand

Wand: gegen Außenluft - hinterlüftet (BG0) – IBO-Richtwerte 2020



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W
1	Brettsper Holz	(HASSLACHER Brettsper Holz (HASSLACHER CROS	14,00		
2	Dampfbremse	(Dampfbremse Polyethylen (PE))	0,01	0,500	0,00
3	Inhomogen	(Elemente vertikal) 60 cm (92%) FLAPORplus Fassaden-Dämmplatte EPS-F 5 cm (8%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLACHER	20,00	0,031	6,45
4	Windbremse	(ISOCELL OMEGA Winddichtung)	0,06	0,220	0,00
5	Inhomogen	(Elemente horizontal) 55 cm (92%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach unten $46 < d \leq$ 5 cm (8%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLACHER	5,00	0,227	0,22
6	Faserzementplatten	(2000 kg/m³)	0,12	1,500	0,00
			$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,130
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 1,4%) =		5,942 / 5,778
Bauteil			39,19	5,860	

Bemerkung: Importiert am 16. 07. 2019; Bauteil "AWH 01 a Brettstapel-Außenwand, hinterlüftet" aus Gebäude ""

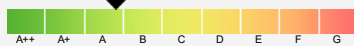
0,171 W/m²K

U-Wert ²



A

OI-Klasse (BG0) ³

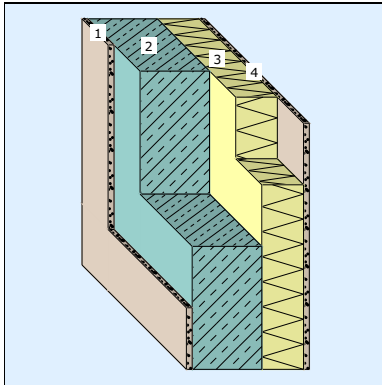


Masse	80,5 kg/m²
PENRT	844 MJ/m²
PENRE	699 MJ/m²
PENRM	145 MJ/m²
PERT	1176 MJ/m²
PERE	70,1 MJ/m²
PERM	1106 MJ/m²
GWP-total	-71,9 kg CO ₂ equ./m²
GWP-fossil	44,7 kg CO ₂ equ./m²
GWP-biogenic	-117 kg CO ₂ equ./m²
AP	0,205 kg SO ₂ equ./m²
EP	0,0765 kg PO ₄ ³⁻/m²
POCP	0,0813 kg C ₂ H ₄ /m²
ODP	0,00000306 kg CFC-11/m²

¹ nicht relevant ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ONORM EN ISO 6946. ³ Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Stahl-Beton Außenwand

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG0) – IBO-Richtwerte 2020

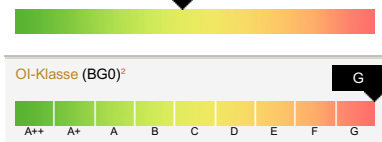


Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W
1 RÖFIX 150 Gips-Kalk-Innenputz	0,80	0,470	0,02
2 Stahlbeton 160 kg/m³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	20,00	2,500	0,08
3 RÖFIX FIRESTOP 034-040 Mineralwolle-Fassadendämmplatte	12,00	0,042	2,86
4 Baumit KalkzementPutz KZP 65	1,00	0,830	0,01
$R_{si} / R_{se} =$			0,130 / 0,040
R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =			3,136 / 3,136
Bauteil	33,80		3,136

Bemerkung: Importiert am 16. 07. 2019: Bauteil "AWH 01 a Brettstapel-Außenwand, hinterlüftet" aus Gebäude ***

0,319 W/m²K

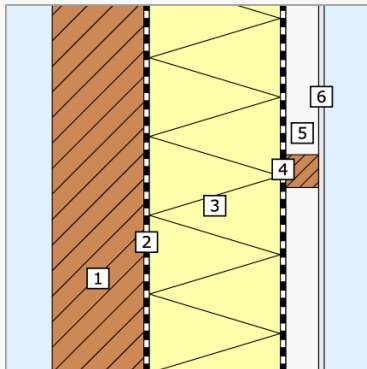
U-Wert ¹



Masse	523,2 kg/m²
PENRT	1579 MJ/m²
PENRE	1579 MJ/m²
PENRM	0 MJ/m²
PERT	58,5 MJ/m²
PERE	58,5 MJ/m²
PERM	0 MJ/m²
GWP-total	143 kg CO ₂ equ./m²
GWP-fossil	143 kg CO ₂ equ./m²
GWP-biogenic	-0,0344 kg CO ₂ equ./m²
AP	0,517 kg SO ₂ /m²
EP	0,247 kg PO ₄ /m²
POCP	0,151 kg C ₂ H ₄ /m²
ODP	0,00000528 kg CFC-11/m²

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

HoHo Außenwand Holz



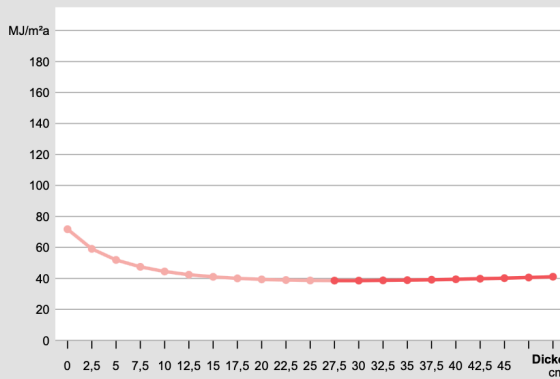
Variante 1:

Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm
1		HASSLACHER Brettsperrholz (HASSLACHER CROSS LAMINATED TIMBER)	14,00
2		Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,01
3		Inhomogen (Elemente vertikal) 57,5 cm (92%) KI Fassaden-Dämmplatte FPL 035, FPL 035-GVB	*
Kosten der Dämmmaßnahmen			
		Fixkosten Sanierung	Variable Kosten pro cm Dämmstärke
Richtwerte	k. A. €/m²	k. A. €/m²	k. A. €/m²
eigene Eingabe	0 €/m ²	40 €/m ²	2,076 €/m ²
5 cm (8%) HASSLACHER Konstruktionsvollholz und HASSLACHER GLT®			
4		ISOCELL OMEGA Winddichtung	0,06
5		Inhomogen (Elemente horizontal) 60 cm (92%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach unten 46 < d ≤ 50 mm 5 cm (8%) HASSLACHER Brettsperrholz (HASSLACHER CROSS LAMINATED TIMBER)	5,00 5,00
6		Faserzementplatten (2000 kg/m ³)	0,10

Energieträger: Fernwärme		
	Preis	Preissteigerung
Richtwerte	0,08 €/kWh	5,5 %
eigene Eingabe	0,095 €/kWh	6 %

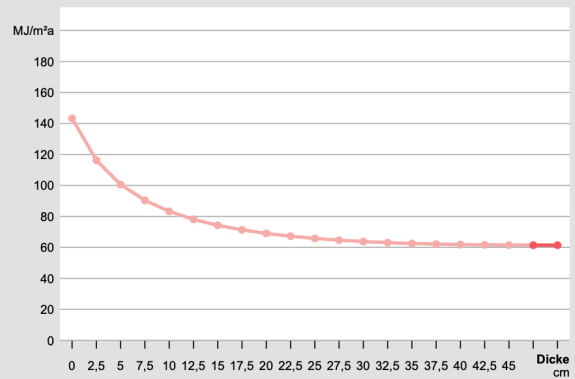
Berechnungsgrundlagen	Richtwerte	eigene Eingabe
Heizgradtage	3400	3400
Betrachtungszeitraum (Jahre)	30	30
Zinsen	4 %	6
Preissteigerung	2,5 %	4
Nutzungsdauer berücksichtigt	ganzzahlig	ganzzahlig

Nicht erneuerbare Primärenergie total, PENRT

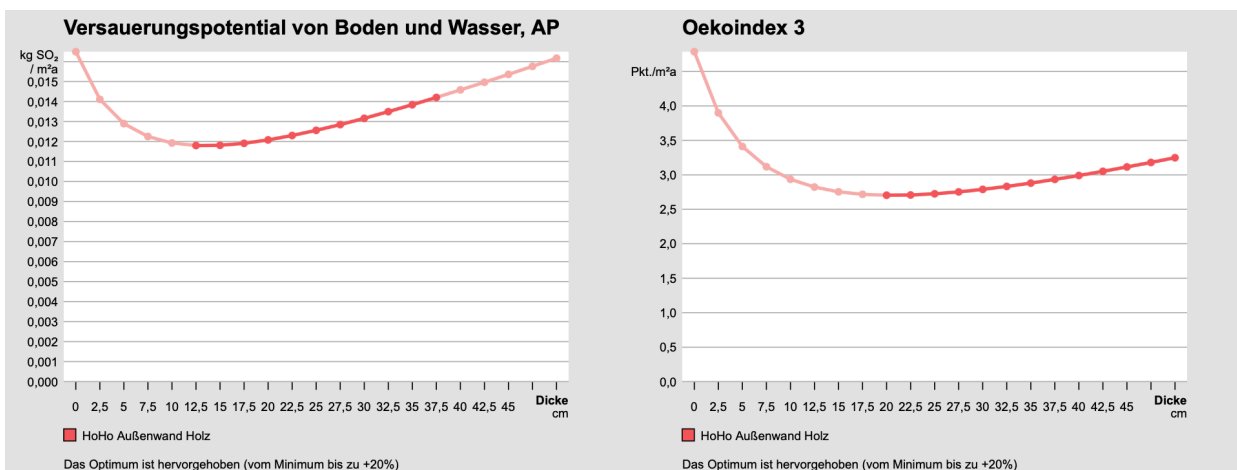
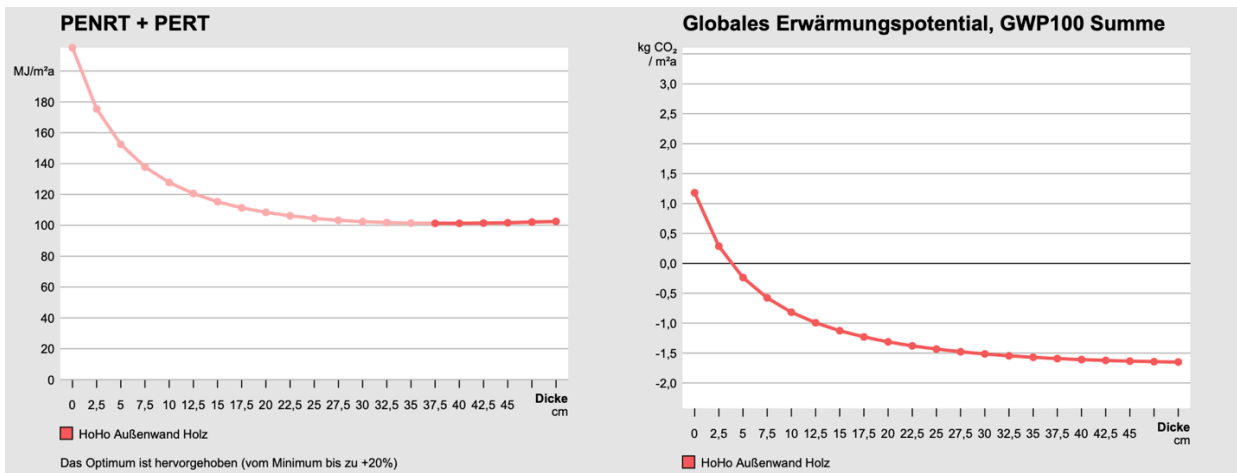


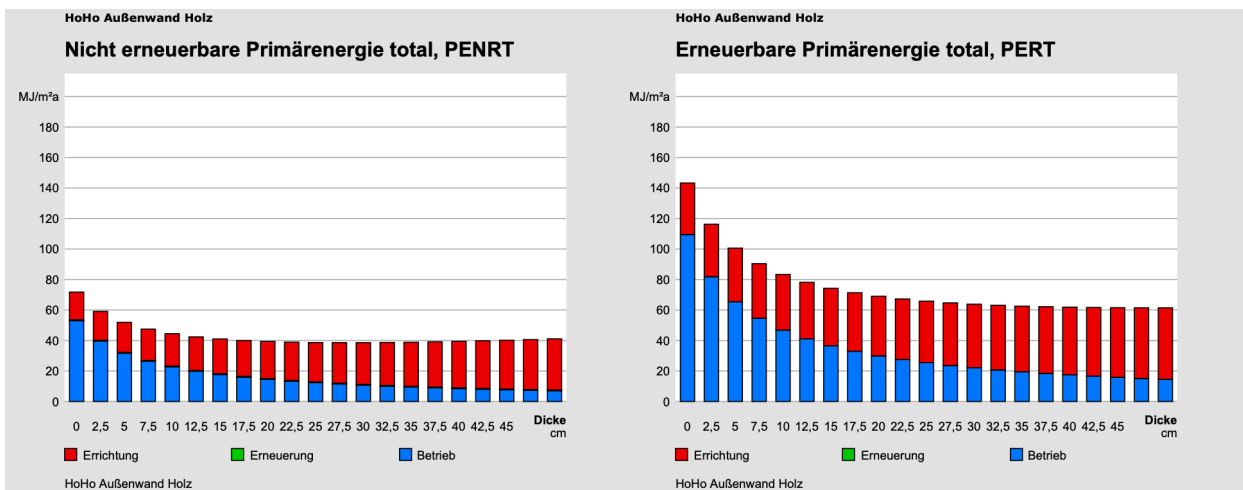
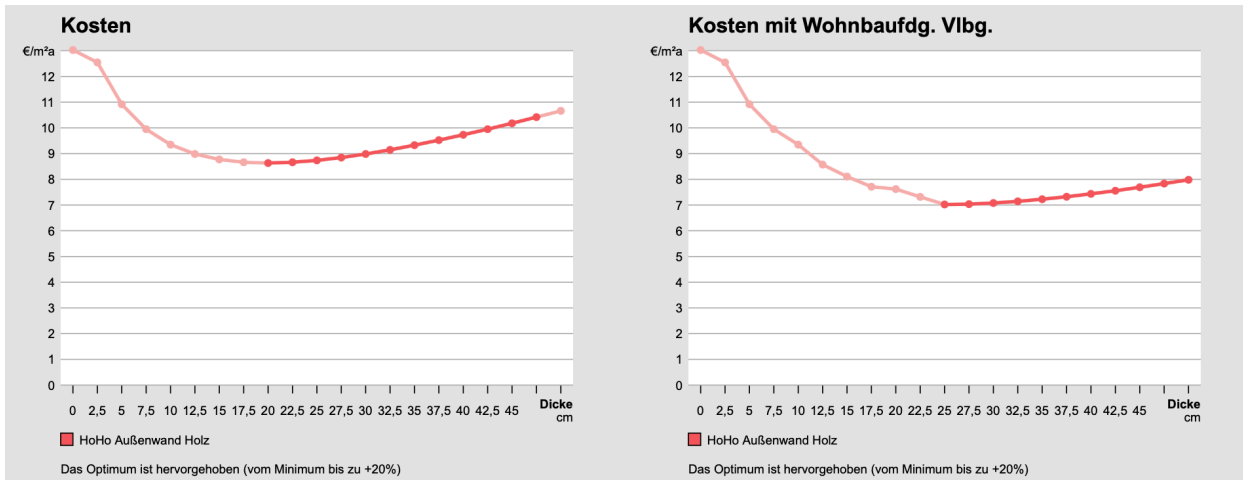
Das Optimum ist hervorgehoben (vom Minimum bis zu +20%)

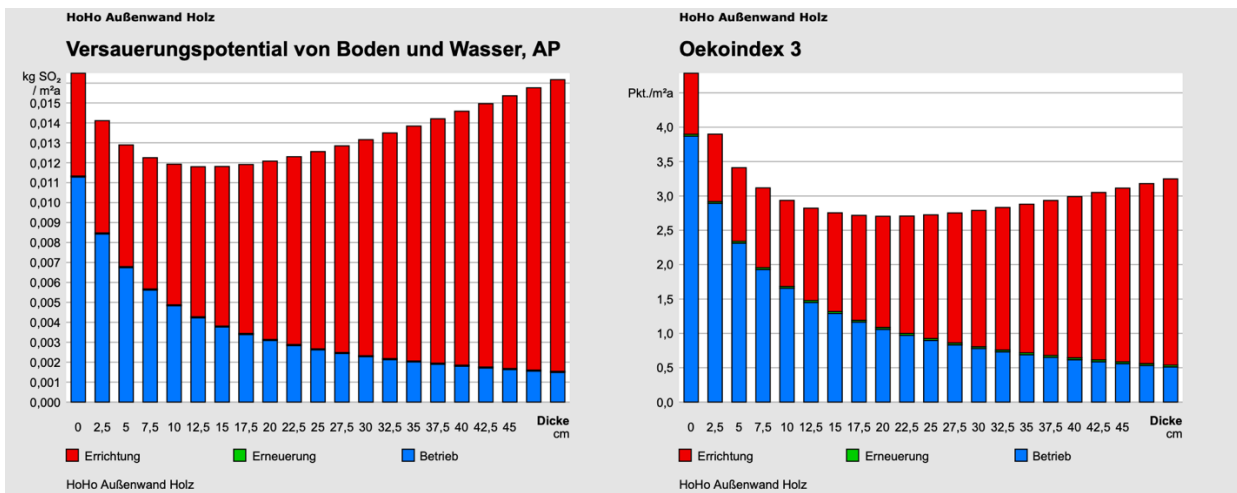
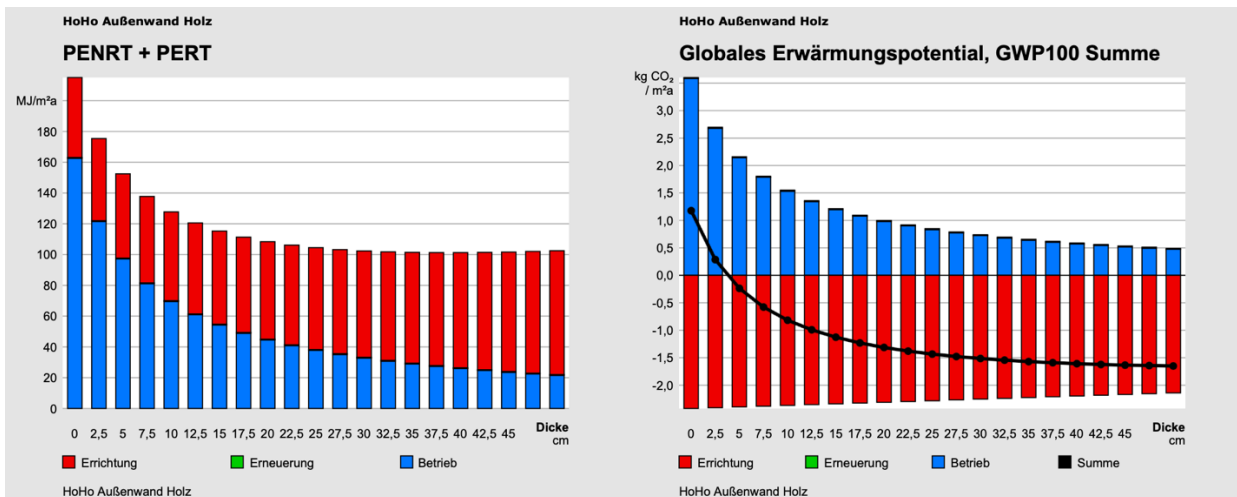
Erneuerbare Primärenergie total, PERT

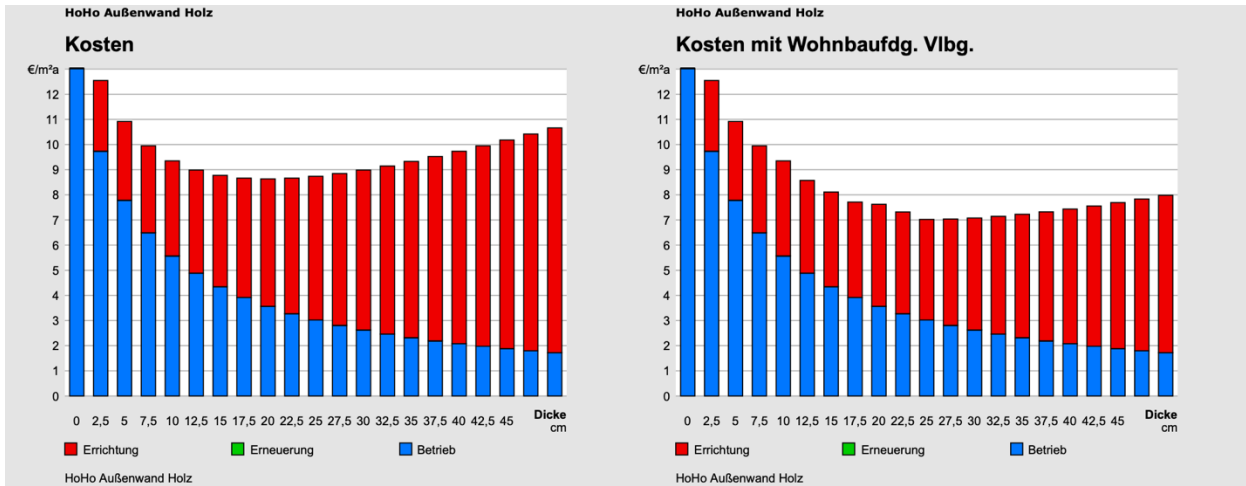


Das Optimum ist hervorgehoben (vom Minimum bis zu +20%)

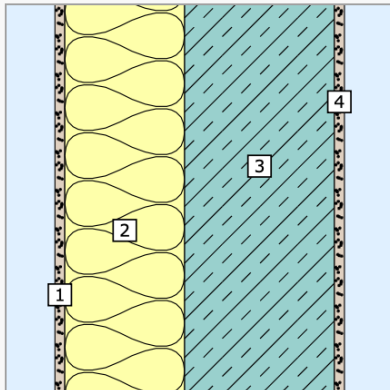








Stahl-Beton Außenwand



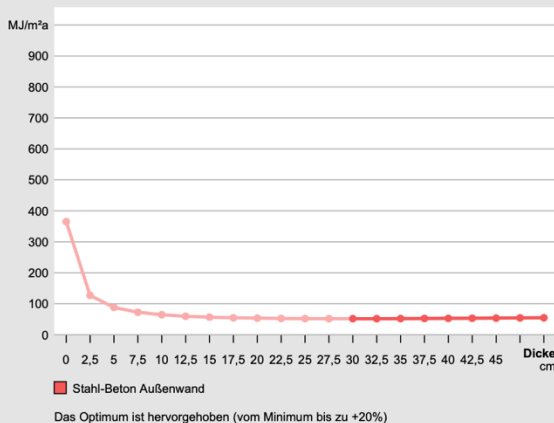
Variante 1:

Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm
1	Baumit KalkzementPutz KZP 65		1,00
2	KI Fassaden-Dämmplatte FPL		*
Kosten der Dämmmaßnahmen			
		Fixkosten Sanierung	Fixkosten
			Variable Kosten
			pro cm Dämmstärke
	Richtwerte	k. A. €/m²	k. A. €/m²
	eigene Eingabe	0 €/m ²	40 €/m ²
			2,076 €/m²
3	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)		15,00
4	RÖFIX 150 Gips-Kalk-Innenputz		1,00

Energieträger: Fernwärme		
	Preis	Preissteigerung
Richtwerte	0,08 €/kWh	5,5 %
eigene Eingabe	0,095 €/kWh	6 %

Berechnungsgrundlagen	Richtwerte	eigene Eingabe
Heizgradtage	3400	3400
Betrachtungszeitraum (Jahre)	30	30
Zinsen	4 %	6
Preissteigerung	2,5 %	4
Nutzungsdauer berücksichtigt	ganzzahlig	ganzzahlig

Nicht erneuerbare Primärenergie total, PENRT



Erneuerbare Primärenergie total, PERT

