

Bericht zum Förderprojekt AZ 28356

Entwicklung eines Bausystems zur Errichtung
von Geschossbauten in Holzbauweise

Abschlussbericht

Verfasser:

Arthur Schankula / Schankula Architekten

Sebastian Pint / Schankula Architekten

Dr. Mandy Peter / Bauart Konstruktions GmbH

Josef Huber / Huber & Sohn

Bewilligungsempfänger:

Fa. Huber und Sohn GmbH & Co. KG

München, Juni 2011

Projektteilnehmer / Ansprechpartner

Huber & Sohn GmbH & Co. KG
Wasserburger Straße 4
83549 Bachmehring

Ansprechpartner: Josef Huber

SCHANKULA Architekten
Garmischer Straße 35
81373 München

Ansprechpartner: Arthur Schankula, Sebastian Pint

bauart Konstruktions GmbH & Co. KG
Destouchestraße 65
80796 München

Ansprechpartner: Dr. Mandy Peter

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az 28356

Referat **25**

Fördersumme

124.608,00€

Antragstitel **Errichtung eines Bausystems zur Errichtung von Geschossbauten in Holzbauweise**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
12 Monate	09.03.2010	09.03.2011	1

Zwischenberichte über Forschungsarbeit bis zum 09.09.2010

Bewilligungsempfänger Huber & Sohn GmbH & Co. KG
Wasserburger Straße 4
83549 Bachmehring

Tel 08071 / 919-101
Fax 08071 / 919-140

Projektleitung
Josef Huber

Bearbeiter
Johann Peteratzinger

Kooperationspartner SCHANKULA Architekten
Garnischer Straße 35; 81373 München

Bauart Konstruktions GmbH & Co.KG
Destouchestraße 65; 80796 München

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Im Hochbaubereich herrschen die Materialien Beton, Stahl und Ziegel-, Kalksand- oder Betonsteine vor. Dies ist Stand der Technik. Holz als Baustoff spielt trotz regionaler Unterschiede nur eine untergeordnete Rolle. Ziel des Vorhabens ist es, durch intensive Forschung neue Einsatzgebiete für das Holz als Baustoff zu erschließen. Mit der Entwicklung eines Bausystems für die Errichtung von bis zu achtgeschossigen Gebäuden soll vor allem dazu beigetragen werden, dass sich der Holzbau im Bereich des Geschosswohnungsbaus etabliert, in dem er bisher eine sehr geringe Bedeutung hat. Holz soll auch für Bauteile wie Balkone und Aufzugturm verwendet werden, für die dies bisher nicht üblich ist. Langfristig kann so durch die hauptsächliche Verwendung des nachwachsenden Rohstoffs in großem Umfang ein wichtiger Beitrag zur Schonung der Ressourcen geleistet werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

In enger Zusammenarbeit von Holzbaufirma, Architekt und Tragwerksplaner wurde die Entwicklung des Bausystems hinsichtlich technischen, wirtschaftlichen und gestalterischen Aspekten betrieben.

Wesentliche Elemente des Systems sind Massivholzwände und -decken, die das Tragwerk der Gebäude bilden. Es galt, die Elemente in ihrem Tragverhalten und ihrer Aussteifungswirkung zu optimieren und Details zu entwickeln, die eine einfache, schnelle Montage bei einem sehr hohen Vorfertigungsgrad ermöglichen, den hohen Anforderungen an den Wärmeschutz genügen und zugleich eine kostengünstige Lösung darstellen. Neben der rechnerischen Untersuchung wurden auch Belastungstests durchgeführt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Systems ist der Brandschutz. Es wurden hier Konzepte erarbeitet, um den Anforderungen bis Gebäudeklasse 5 zu genügen, sowohl in Bezug auf den vorbeugenden Brandschutz als auch in Bezug auf den baulichen Brandschutz. Ein Hauptziel dabei war es, dass Holzoberflächen im Innenraum und auch an der Fassade sichtbar bleiben, um den wesentlichen Baustoff des Gebäudes auch zu zeigen und dessen positive Auswirkung auf die Behaglichkeit zu nutzen.

Ebenfalls von großer Bedeutung für die Akzeptanz beim Nutzer sind ein funktionierender Schallschutz und die integrierte technische Ausstattung. Auch hier wurden Konzepte und technische Lösungen erarbeitet werden, um dies mit dem neuen System zu leisten.

Neben der Entwicklungsarbeit und Tests an Bauteilen wurden im Zuge des Projektes zwei Gebäude realisiert und das System planungs- und ausführungsbegleitend optimiert.

Ergebnisse und Diskussion

Unter Berücksichtigung der wesentlichen Aspekte Tragwerk, Brandschutz und Schallschutz wurden Bauteile entwickelt, mit denen das erste Bauvorhaben, ein viergeschossiges Wohngebäude, realisiert wurde:

- tragende Massivholz-Innenwände mit Gipsfaser-Beplankungen
- tragende Massivholz-Außenwände, vorgefertigt einschließlich Holzschalung als Fassadenbekleidung und werkseitig eingebauten Fenstern
- Massivholz-Decken
- Balkone aus Furnierschichtholz-Platten
- Aufzugturm aus Massivholzwänden

Das Brandschutzkonzept ermöglichte die Ausführung von sichtbaren Holzoberflächen der Decken im Innenraum sowie von Holzschalung an der Fassade, so dass der wesentliche Baustoff des Gebäudes wahrnehmbar bleibt. Für die Wandkonstruktionen wurden Zulassungen erwirkt, die die geforderten Feuerwiderstandsklassen garantierten und hinsichtlich des Schallschutzes konnten die erhöhten Anforderungen nach VDI 4100 für Decken und Wände eingehalten werden. Die Funktionsfähigkeit der Balkonkonstruktion wurde durch einen Belastungstest nachgewiesen.

Aufgrund des sehr hohen Vorfertigungsgrades konnte eine sehr kurze Montagezeit von einem Tag pro Geschoss realisiert werden.

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Errichtung des viergeschossigen Gebäudes erfolgte anschließend eine Optimierung des Bausystems mit dem Ziel, auch Gebäude an Hochhausgrenze errichten zu können. Ein wichtiger Aspekt war hier die Entwicklung von Typengrundrissen, die einerseits die vom Nutzer gewünschte Flexibilität bieten, andererseits aber auch auf die erhöhten Anforderungen des Tragwerks und des Brandschutzes abzustimmen waren. Das Ergebnis war ein Gebäudetypus, der mit einem integrierten Treppenhaus aus Stahlbeton und einer Laubengang-Erschließung eine optimale Sicherheit des Rettungsweges bietet und zugleich die nötige Aussteifung gegen Windkräfte bewerkstelligt.

Um mit dem Betonkern nicht die Vorteile der kurzen Bauzeit zu verspielen, wurde auch dieser in Fertigteilen geplant, deren Montage in sehr kurzer Zeit möglich war. Das Zusammentreffen der verschiedenen Baustoffe musste allerdings auch kritisch betrachtet werden: Um das unterschiedliche Setzungsverhalten kalkulieren zu können, wurden Setzungsversuche anhand von Auflagerdetails durchgeführt.

Schließlich folgte die Realisierung des entwickelten Typus in einem achtgeschossigen Wohn- und Bürogebäude in Bad Aibling: Es wurden dabei Wohnungen als Zweispänner, Dreispänner und rollstuhlgerichte Zweispänner sowie Büros umgesetzt. Die tragenden Wände blieben dabei unberührt, so dass eine spätere Umnutzung nur durch Anpassung des Ausbaus möglich ist. Nachdem innerhalb von drei Wochen der Stahlbeton-Treppenkerne errichtet wurde, folgte in weiteren drei Wochen die Montage des Holzbaus.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

- Symposium „Holzbau in der Wohnungswirtschaft“ zur Errichtung des viergeschossigen Gebäudes, unter Teilnahme u.a. von Günther Hoffmann (Abteilungsleiter Bau im Bundesbauministerium) und Vertreter von bundesweiten Wohnungsbaugesellschaften
- Veröffentlichung in „Modernisierungsmagazin“, Mai 2011: „Ein Achtgeschosser bringt Holz in die Stadt“
- Veröffentlichung in „Mikado“ 10/2010, Oktober 2010: Interview "Mehrgeschossiger Holzbau"
- Fernsehbeitrag in „Schwaben und Altbayern“, Bayerischer Rundfunk, 12.06.2011
- Teilnahme an den „Architektouren 2011“ mit dem viergeschossigen Gebäude
- Vortrag beim „Forum Bois Construction“ in Beaune 03. - 04.02.2011
- diverse weitere Vorträge, u.a. beim 16. Internationalen Holzbauforum Garmisch-Partenkirchen 2010

Fazit

Es wurde ein Holzbau-System entwickelt, das die Voraussetzungen für eine Anwendung im Geschosswohnungsbau erfüllt, indem es Lösungen für grundsätzliche holzbauspezifische Problemstellungen für Gebäude an der Hochhausgrenze bietet, die in ein nutzungstechnisch flexibles, gestalterisch ansprechendes Gesamtkonzept integriert sind. Schließlich ist es gelungen, das Konzept anhand des ersten achtgeschossigen Holzgebäude Deutschlands erfolgreich zu erproben.

Inhaltsverzeichnis

A. Einleitung	2
B. Hauptteil	4
1. Entwicklung der Komponenten	4
1.1 Wände	4
1.2 Decken / Dach	6
1.3 Balkone	7
1.4 Aufzugschächte	9
1.5 Tragwerk und Statik - Problemstellungen und Lösungsansätze	10
1.6 Brandschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze	11
1.7 Schallschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze	16
1.7.1 Decken	16
1.7.2 Wohnungstrennwände	16
1.7.3 Außenwand	17
2. Realisierung eines Viergeschossigen Gebäudes	18
2.1 Konzept	18
2.2 Fertigung / Montage	19
3. Weiterentwicklung und Realisierung eines Achtgeschossigen Gebäudes	23
3.1 Analyse der Fertigung und Montage des viergeschossigen Gebäudes	23
3.1.1 Deckengleiche Unterzüge	23
3.1.2 Rauchdichtheit	23
3.1.3 Aussteifung des Gebäudes	24
3.1.4 Ausbildung der horizontalen Gebäudefuge an den Geschoss-Stößen	24
3.2 Grundrisskonzept des achtgeschossigen Gebäudes	25
3.2.1 Optimierung hinsichtlich Statik und vorbeugendem Brandschutz	25
3.2.2 Optimierung hinsichtlich Förderkriterien	29
3.3 Gestaltungskonzept des achtgeschossigen Gebäudes	31
3.4 Tragwerk und Statik - Problemstellungen und Lösungsansätze	33
3.5 Schallschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze	37
3.6 Brandschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze	38
3.7 Fertigung und Montage	39
C. Fazit	41

Bildverzeichnis

Abb. 1	Schema Massivwand	5
Abb. 2	Schema Deckensystem	6
Abb. 3	Schema Dachsystem	7
Abb. 4	Versuchsaufbau Belastungsprüfung Holzbalkon	9
Abb. 5	Isometrie der Deckenaufleger mit Betonstempeln	10
Abb. 6	Ausbildung des Anschlusses Wand/Decke mit Rähm aus Furnierschichtholz	11
Abb. 7	Kapselkriterium von Holzbauteilen	12
Abb. 8	Aufbau einer tragenden, raumabschließenden Wand, Feuerwiderstandsklasse REI 60	13
Abb. 9	Überprüfung der mechan. Beanspruchbarkeit der Massivholzwand	14
Abb. 10	Schnitt durch die Massivholzwand nach 90 Minuten Brandbeanspruchung	15
Abb. 11	Grundriss Erdgeschoss / 1. Obergeschoss	18
Abb. 12	Grundriss 2. Obergeschoss / 3. Obergeschoss	19
Abb. 13	Produktion Massivwand	20
Abb. 14	Montage Beplankung	20
Abb. 15	Endmontage	20
Abb. 16	Montage von einem Geschoss pro Tag	21
Abb. 17	Montage von Innenwand- bzw. Deckenelementen	22
Abb. 18	Montage von Aufzugturm und Balkonen	22
Abb. 19	Gebäude nach der Fertigstellung	22
Abb. 20	Deckengleiche Stahlunterzüge	23
Abb. 21	Anschluss an Stahlzugglieder an den Keller / am Geschoss-Stoß	24
Abb. 22	Einbau der Stahlzugglieder im Werk	24
Abb. 23	Auf der Baustelle montierte Deckenstirn-Bekleidung	25
Abb. 24	Grundrisskonzept mit Innenliegendem Treppenkern	26
Abb. 25	Grundrisskonzepte mit Laubengang-Erschließung	27
Abb. 26	Typengrundriss mit tragenden Wänden (rot)	28
Abb. 27	Typengrundriss Wohnung 2-Spänner / 3-Spänner	29
Abb. 28	Typengrundriss Wohnung 2-Spänner rollstuhlgerecht / Penthouse	30
Abb. 29	Typengrundriss Büro	30
Abb. 30	Holzschalung mit deckender Beschichtung	31
Abb. 31	Geschossweise Ausbildung der horizontalen Stoßfuge der Wände	32
Abb. 32	Stahlbalkone	33
Abb. 33	Detail zur Kopplung der Zugstangen in den Wänden	33
Abb. 34	Setzungsversuch mit Prüfkörper des Anschlusses Außenwand/Decke	34
Abb. 35	Kraft-Weg-Diagramm für Anschluss Decke/Außenwand - einzelne Wegaufnehmer	35
Abb. 36	Kraft-Weg-Diagramm Innenwandbauteil - einzelne Wegaufnehmer	36

Abb. 37 Aufbau Dachterrasse	37
Abb. 38 Anschluss raumabschließende Wand / Decke mit Brandschutzdichtschnur	38
Abb. 39 Anschluss raumabschließenden Wand / Decke mit Steinwolle­dämmstreifen	39
Abb. 40 Montage Betonkern	39
Abb. 41 Montage Holzbau	40

Zusammenfassung

Ziel des Projektes war es, ein Holzbau-System zu entwickeln, mit dem die Errichtung von bis zu achtgeschossigen Geschosswohnungsbauten ermöglicht wird. Es galt, Lösungen für die holzbau-spezifischen Problemstellungen vor allem in den Bereichen Tragwerk, Brandschutz und Schallschutz zu finden und diese in gestalterisch ansprechende und gleichzeitig montagetechnisch optimierte Konzepte zu integrieren.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wurden Bauteile entwickelt, mit denen das erste Bauvorhaben, ein viergeschossiges Wohngebäude, realisiert wurde:

- tragende Massivholz-Innenwände mit Gipsfaser-Beplankungen
- tragende Massivholz-Außenwände, vorgefertigt einschließlich Holzschalung als Fassadenbekleidung und werkseitig eingebauten Fenstern
- Massivholz-Decken
- Balkone aus Furnierschichtholz-Platten
- Aufzugturm aus Massivholzwänden

Das Brandschutzkonzept ermöglichte die Ausführung von sichtbaren Holzoberflächen der Decken im Innenraum sowie von Holzschalung an der Fassade, so dass der wesentliche Baustoff des Gebäudes wahrnehmbar bleibt. Für die Wandkonstruktionen wurden Zulassungen erwirkt, die die geforderten Feuerwiderstandsklassen garantierten und hinsichtlich des Schallschutzes konnten die erhöhten Anforderungen nach VDI 4100 für Decken und Wände eingehalten werden. Die Funktionsfähigkeit der Balkonkonstruktion wurde durch einen Belastungstest nachgewiesen.

Aufgrund des sehr hohen Vorfertigungsgrades konnte eine sehr kurze Montagezeit von einem Tag pro Geschoss realisiert werden.

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Errichtung des viergeschossigen Gebäudes erfolgte anschließend eine Optimierung des Bausystems mit dem Ziel, auch Gebäude an der Hochhausgrenze errichten zu können. Ein wichtiger Aspekt war hier die Entwicklung von Typengrundrissen, die einerseits die vom Nutzer gewünschte Flexibilität bieten, andererseits aber auch auf die erhöhten Anforderungen des Tragwerks und des Brandschutzes abzustimmen waren. Das Ergebnis war ein Gebäudetypus, der mit einem integrierten Treppenhaus aus Stahlbeton und einer Laubengang-Erschließung eine optimale Sicherheit des Rettungsweges bietet und zugleich die nötige Aussteifung gegen Windkräfte bewerkstelligt.

Um mit dem Betonkern nicht die Vorteile der kurzen Bauzeit zu verspielen, wurde auch dieser in Fertigteilen geplant, deren Montage in sehr kurzer Zeit möglich war. Das Zusammentreffen der verschiedenen Baustoffe musste allerdings auch kritisch betrachtet werden: Um das unterschiedliche Setzungsverhalten kalkulieren zu können, wurden Setzungsversuche anhand von Auflagerdetails durchgeführt.

Schließlich folgte die Realisierung des entwickelten Typus in einem achtgeschossigen Wohn- und Bürogebäude in Bad Aibling: Es wurden dabei Wohnungen als Zweispänner, Dreispänner und rollstuhlgerechte Zweispänner sowie Büros umgesetzt. Die tragenden Wände blieben dabei unberührt, so dass eine spätere Umnutzung nur durch Anpassung des Ausbaus möglich ist.

Nachdem innerhalb von drei Wochen der Stahlbeton-Treppenkern errichtet wurde, folgte in weiteren drei Wochen die Montage des Holzbaus.

A. Einleitung

Im Bereich des Hochbaus spielt Holz derzeit nur eine untergeordnete Rolle. Stand der Technik ist die Verwendung der Materialien Beton, Stahl und Ziegel-, Kalksand- oder Betonsteine.

Die Bestrebungen der letzten 50-60 Jahre im Bauwesen hatten das Ziel, Holz durch andere Baustoffe zu ersetzen. So zum Beispiel Holzbalkendecken deren Standard bei weitem nicht mehr den heutigen Anforderungen entspricht und die daher für eine geringe Wohnqualität stehen. Der geringe Anteil des Holzes am Baugeschehen ist also unter anderem auch auf dessen geringe Wertschätzung zurückzuführen. Erst in den letzten 10-20 Jahren hat sich dies im süddeutschen Raum im Bereich des Eigenheimbaus teilweise verändert, aber das Potenzial ist deutschlandweit bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

Ziel des Forschungsprojektes war es, eine Bauweise zu entwickeln, mit dessen Hilfe Holzbau auch verstärkt im Mehrfamilienhausbereich bzw. Bürobau eingesetzt werden kann, beides Bereiche in denen Holz bisher besonders schwach vertreten ist. Langfristig kann so durch die hauptsächliche Verwendung des nachwachsenden Rohstoffs in großem Umfang ein wichtiger Beitrag zur Schonung der Ressourcen geleistet werden.

Folgende Vorteile des Baustoffes Holz sollten dabei genutzt werden und bei der Entwicklung des Bausystems als oberste Ziele zugrunde liegen:

- Hoher Vorfertigungsgrad:

Das geringe spezifische Gewicht von Holz erleichtert die Herstellung von großen Bauteilen im Werk und deren Montage auf der Baustelle. Der so problemlos umsetzbare sehr hohe Vorfertigungsgrad bringt zahlreiche Vorteile mit sich: Aufgrund der optimalen Arbeitsbedingungen im Werk können Fehler, die ansonsten auf der Baustelle auftreten, deutlich reduziert werden. Zudem kann die Arbeitszeit auf der Baustelle auf ein Minimum reduziert werden, so dass von einem Montagetrupp in einer Woche ein Rauminhalt von ca. 2000 m³ errichtet werden kann. Das Gebäude ist zu diesem Zeitpunkt dann schon geschlossen und mit fertiger Fassade versehen. Anschließend erfolgt nur noch der Innenausbau.

Die kurze Bauzeit führt schließlich zu einer geringeren Beeinträchtigung von Nachbarn und des Verkehrs und bietet daher gerade für den Wohnungsbau in Ballungsräumen einen entscheidenden Vorteil.

Ein sehr hoher Vorfertigungsgrad ist aus diesen Gründen für alle Komponenten des Bausystems unumgänglich.

- Ökologische Bilanz:

Durch die Verwendung von Holz als Baustoff kann ein bedeutender Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden: Die Bäume nehmen während ihres Wachstums große Mengen des klimaschädlichen Gases CO₂ auf und lagern den enthaltenen Kohlenstoff ein. So kann über das Holz eine große Menge CO₂ in Gebäuden gebunden werden, während beim Nachwachsen von neuen Bäumen, die an Stelle der geschlagenen Bäume gepflanzt werden, der Atmosphäre weiteres CO₂ entzogen wird.

Zudem wird durch die Verwendung von Holz als Baustoff ein Beitrag zur Einsparung von Energie geleistet, da zur Produktion und Montage von Holzbauteilen deutlich weniger Energie benötigt wird als zur Errichtung eines Gebäudes in konventioneller Bauweise mit Stahlbeton, Mauerwerk und Dämmputz.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Möglichkeit, beim Rückbau von Gebäuden das Altholz zu verwerten. Sowohl die stoffliche Verwertung für die Herstellung von Holzwerkstoffen als auch die

energetische Verwertung sind möglich.

Langfristig betrachtet kann die Verwendung des nachwachsenden Rohstoffs auch einen Kostenvorteil darstellen: Da die Preise für knapp werdende Ressourcen ansteigen, wie sich in der jüngsten Vergangenheit am Beispiel Stahl deutlich gezeigt hat, besteht der Vorteil von nachwachsenden Rohstoffen darin, dass sie nicht zu Ende gehen werden.

Aus diesen Gründen soll die Verwendung von Holz im Bausystem nicht nur auf die Tragkonstruktion beschränkt werden: Neben der Verwendung für die Fertigung von Fenstern, Türen und Fassadenbekleidung wird auch die Herstellung von möglichst vielen ergänzenden Bauteilen aus Holz angestrebt. Ein Beispiel hierfür sind Balkone. Auch die Errichtung von Aufzugsschächte in Holzbauweise wird untersucht.

- Wohnqualität

Ein weiterer Vorteil von Holz im Vergleich zu den meisten anderen Materialien, die für Tragkonstruktionen verwendet werden können, ist die deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit. Daher wird die Erzielung von guten Dämmwerten der Außenhülle erleichtert und auch Wärmebrücken können deutlich reduziert werden, was zusätzlich die Gefahr von Tauwasserausfall reduziert.

Auch das Wohnklima wird durch die Verwendung von Holz verbessert: Durch seine Temperatur und Feuchte regulierende Wirkung sorgt es für eine konstant hohe Behaglichkeit im Wohnraum. Zudem trägt auch die hohe Akzeptanz des Materials Holz an sich zu einem hohen Wohlbefinden der Nutzer bei. Aus diesem Grund ist es von großer Bedeutung, dass im Gebäudeinneren das Holz als Baustoff auch im fertigen Zustand wahrnehmbar bleibt und zumindest die Decken nicht mit einer zusätzlichen Bekleidung versehen werden, wie es bei bereits realisierten, mehrgeschossigen Holzbauten häufig der Fall ist.

Die Entwicklung von Lösungen für die holzbauspezifischen Brand- und Schallschutzprobleme sind weitere Aspekte, die beachtet werden müssen, um die gewünschte Wohnqualität und Sicherheit der Nutzer zu gewährleisten.

Die Aufgabenstellung für das Projekt war es, in enger Zusammenarbeit von Architekt, Holzbaufirma sowie Brandschutz- / Tragwerks- und Schallschutzplaner die Bauweise derart weiterzuentwickeln, dass die Errichtung von mehrgeschossigen Wohnungsbauten mit dem System möglich ist.

B. Hauptteil

1. Entwicklung der Komponenten

Mit den genannten Voraussetzungen als Grundlage wurden die einzelnen Komponenten des Bausystems entwickelt die komplett vorgefertigt im Werk hergestellt werden sollen.

1.1 Wände

Grundsätzlich sind zwei Konstruktionsprinzipien für Wände im Holzbau üblich:

Entweder werden sie als Blockwand mit liegenden Holzquerschnitten hergestellt oder als Ständerwand mit einzelnen Ständern die beidseitig mit einer Schalung oder einem Plattenmaterial (für gewöhnlich Gipsplatten) beplankt wird. Blockwände sind sehr setzungsanfällig und wenig tragfähig, da das Holz quer zur Faser beansprucht wird. Zudem ist es bei Blockwänden schwierig, eine ausreichende Schalldämmung zu erzielen.

Auch die in den meisten Fällen eingesetzten Ständerwände sind nur in begrenztem Maße tragfähig. Bei mehrgeschossigen Gebäuden ist es deshalb häufig nötig, zusätzlich lastabtragende Stützen vorzusehen. Da dies wiederum zu hohen Pressungen an den Stützen führt, stellt die Lasteinleitung auf die Holzbauteile häufig ein Problem dar, das nur mit Hilfe von Verbindungsteilen aus Stahl gelöst werden kann. Bei Holzbauten bis zur Hochhausgrenze, die nach diesem Prinzip realisiert wurden, sind sehr aufwendige Stahlteile zur Verbindung von Holzdecken und Stützen bzw. Unterzügen nötig geworden. Aufgrund von in die Holzbauteile eingreifenden Schlitzblechen wird zudem der Ablauf der Montage erschwert, da praktisch keine Toleranzen aufgenommen werden können.

Die bei Ständerwänden zur Gebäudeaussteifung nötigen Diagonalverbände aus Stahl stellen aus den gleichen Gründen einen zusätzlichen Aufwand dar. Wenn die Diagonalverbände in die Außenwand integriert werden sollen um deren Platzbedarf möglichst zu reduzieren, sind zudem wegen der hohen Leitfähigkeit des Stahls bauphysikalische Probleme zu meistern.

Es wurde daher ein Wandsystem entwickelt, das die nötige Tragfähigkeit besitzt, um bei üblichen Wohnungsgrundrissen auf Stützen und Diagonalverbände verzichten zu können: Mit Hilfe einer Massivholzwand werden die Lasten aus den darüberliegenden Decken auf die gesamte Wandlänge verteilt, so dass die Kraftübertragung auch ohne zusätzliche Stahlteile funktioniert. Die Decken liegen einfach auf den Wänden auf und werden mit diesen verschraubt. Zudem können die Wände die Aussteifung des Gebäudes übernehmen, ohne dass der aufwendige Einbau von Aussteifungsdiagonalen aus Stahl notwendig ist.

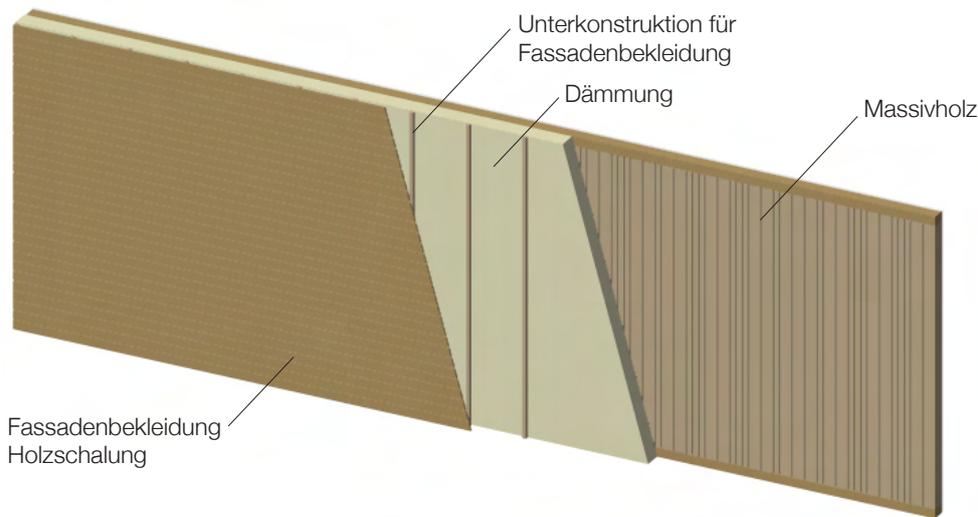


Abb. 1 Schema Massivwand

Als tragender Holzquerschnitt dienen in den Wänden nicht Halbzeuge wie Brettschichtholz oder Kreuzlagenholz, sondern einzelne Vollholz-Steher. Dies hat den Vorteil, dass für die einfache Produktion der Steher wenig Energie benötigt wird und sich damit ökologische und finanzielle Vorteile ergeben.

Die Wandtafeln werden so aus vertikal eingebauten Vollholzbalken gebildet, die dicht an dicht gestellt werden und über einen Riegel oben und einen Riegel unten gehalten sind. Elemente von bis zu 13m Länge, auch über größere Fensteröffnungen hinweg sind so möglich. Je nach Anwendungsfall muss eine brandtechnisch notwendige Beplankung mit Gipsplatten (Kapselung) angebracht werden, die innen zusätzlich den Vorteil hat, dass in Mietwohnungen die Renovierbarkeit der Oberflächen bei Beschädigungen und Verschmutzungen erleichtert wird. Diese Platten sorgen außerdem dafür, dass die einzelnen Steher in ihrer Position gehalten werden und machen eine Verbindung der Steher untereinander unnötig.

Zudem tragen die Platten erheblich zur Aussteifung des Gebäudes bei.

Zur Dämmung dieser Außenwände wird die Massivholzwand außen mit Fassaden-Dämmplatten belegt, die das gesamte Gebäude in ihrer vollen Stärke umschließen. Auf diese Weise lässt sich die Dämmwirkung optimieren. Die Dämmplatten werden in ihrer Lage fixiert, indem außen montierte Holzleisten, die gleichzeitig als Unterkonstruktion für die Fassade dienen, mit langen Schrauben durch das Dämmpaket in der Massivwand verankert werden. Zudem wird es durch den geschichteten Aufbau erleichtert, bei einem Rückbau des Gebäudes die Materialien zu trennen und insbesondere die Holzteile zu verwerten.

Im Werk sollen in die Elemente sowohl die Fenster eingebaut als auch die fertige Fassadenbekleidung angebracht werden, so dass sie auf der Baustelle als komplett fertige Außenwandelemente montiert werden können. Im gleichen System ist auch die Herstellung der tragenden Innenwände beabsichtigt.

Gegenüber den Ständerwänden haben die Massivwände auch psychologische Vorteile:

Da Ständerwände von vielen Nutzern aufgrund der fehlenden Massivität skeptisch betrachtet werden ist eine bessere Akzeptanz für die massiven Wände zu erwarten.

Andererseits muss beachtet werden, dass auch eine Verschwendung des Baustoffes Holz zu

vermeiden ist: Für nicht tragende Innenwände ist daher die Verwendung von Ständerwänden sinnvoller und auch bei tragenden Wänden kann eventuell der Holzanteil auf das statisch nötige Maß reduziert und die entstehenden Zwischenräume mit Dämmung ausgefüllt werden.

1.2 Decken / Dach

Wie die Wände sollen auch die Decken im Wesentlichen aus Holz bestehen. Bisher im Holzbau üblich ist vor allem die Verwendung von Holzbalkendecken und Brettstapeldecken.

Balkendecken weisen wegen der notwendigen statischen Höhe der Einzelbalken je nach Spannweite relativ große Deckenstärken auf. Dies ist auch auf die geringere Querverteilung von Balkendecken zurückzuführen, da höhere Verkehrslasten anzusetzen sind.

Brettstapeldecken hingegen benötigen geringere statische Höhen sind aber im Fall von vernagelten Brettstapeln wegen der „trockenen“ Fugen zwischen den einzelnen Brettern aus Sicht des Schallschutzes wenig leistungsfähig.

Geht man von der Verwendung der beschriebenen tragenden Wänden aus, so ergeben sich bei im Wohnungsbau üblichen Gebäudetiefen von 12 m bei zwei tragenden Außenwänden und einer tragenden Innenwand Deckenspannweiten von nicht mehr als ca. 6 m. Für ein wirtschaftliches Deckensystem ist daher auch von diesen Spannweiten auszugehen.

Es wurde ein Deckensystem mit Massivholzdecken entwickelt, die bei einer Konstruktionshöhe von ca. 20 cm eine sinnvolle Lösung darstellt. Verschiedene Alternativen sind hier die Verwendung von Elementen aus Kreuzlagenholz, Brettschichtholz oder verleimten Brettstapeln. Die Varianten unterscheiden sich in ihren statischen Werten, in ihrem Aussehen und in den verfügbaren Elementabmessungen, sind aber generell alle geeignet. Je nach Anwendungsfall und Grundrisskonstellation kann das geeignete Material gewählt werden.

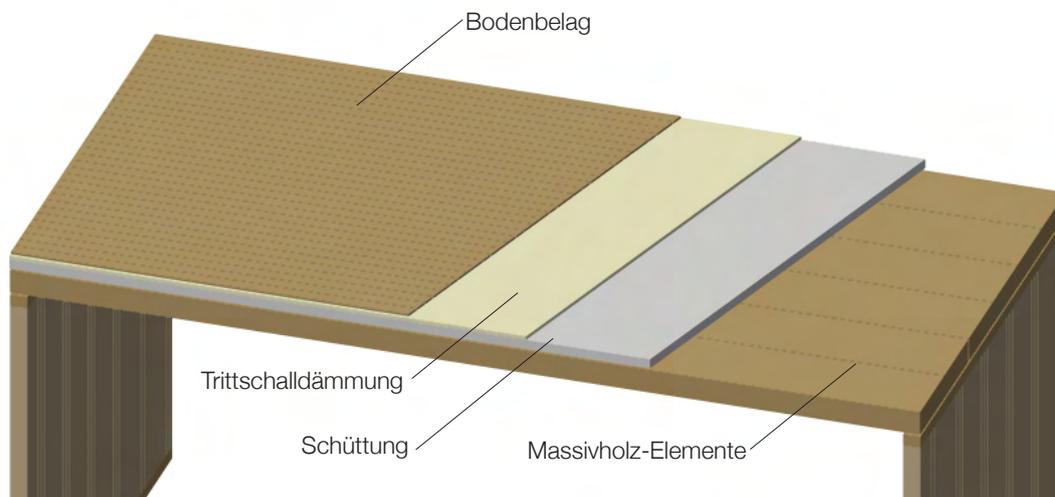


Abb. 2 Schema Deckensystem

Auf Holz-Beton-Decken, wie sie bei vielen mehrgeschossigen Holzbauten zum Einsatz kommen, soll in jedem Fall verzichtet werden, um so möglich die Bauzeit von mindestens einer Woche pro Geschoss (wie mit Beton) auf ein bis zwei Tage pro Geschoss zu verkürzen. Zudem bleibt der Eintrag von Feuchtigkeit über den Beton aus. Eine Schüttung auf den Deckenelementen sorgt für die Verbesserung des Schallschutzes und kann zudem als Ebene zur Führung von Leitungen genutzt werden. Das lockere Gefüge der Schüttung weist schalltechnisch eine höhere Effizienz auf als der Aufbeton der Verbunddecken.

Während die Ausführung vergleichbarer Deckensysteme mit einer brandtechnisch wirksamen Bekleidung der Unterseite bereits Stand der Technik ist, bleiben beim entwickelten System die Holzoberflächen sichtbar. Aufgrund des erarbeiteten Brandschutzkonzeptes (siehe unten) kann auch auf eine Brandschutzbeschichtung sowie eine Kompensation durch Sprinklerung verzichtet werden.

Für die Dachelemente, auf die eine geringere Auflast wirkt, aber eine sehr gute Wärmedämmung nötig ist, ist eine sinnvolle Alternative zur Massivholzdecke die Verwendung von Kastenträgern oder Balkendecken. Hier kann zwischen den tragenden Balken ein großer Teil der nötigen Dämmung eingebracht werden. Oben wird das Element mit einer Holzwerkstoffplatte geschlossen, unten wird die nötige Dampfsperre durch eine weiteren Platte verdeckt.

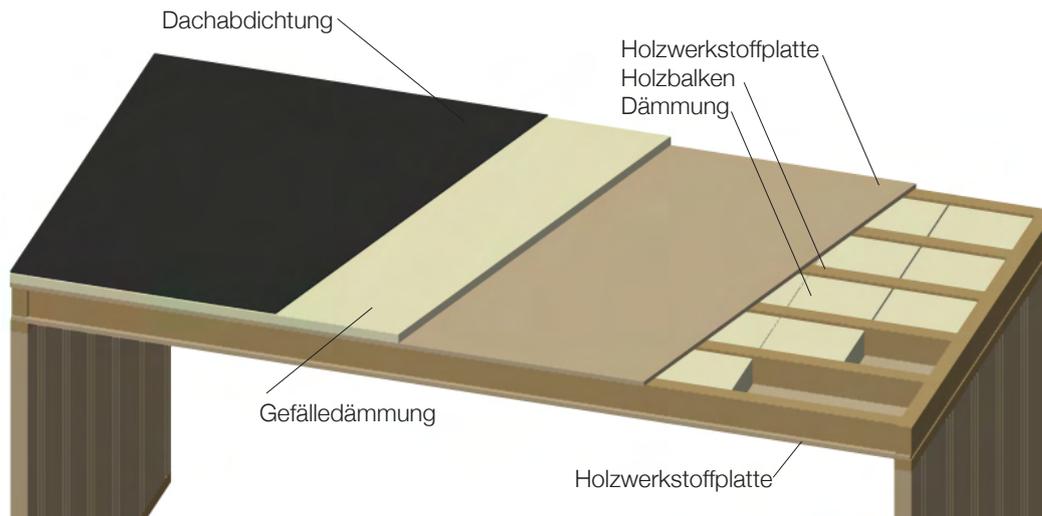


Abb. 3 Schema Dachsystem

Natürlich können auch im Dachbereich die Massivholz-Deckenelemente verwendet werden, die dann mit Dämmung von entsprechender Stärke zu belegen sind.

Die Produktion der Decken- und Dachelemente kann in Elementgrößen von bis zu 2,5 x 13 m vollständig im Werk erfolgen. Auf der Baustelle werden sie dann geschossweise auf den vorher montierten Wandelementen aufgelegt und in ihrer Lage fixiert. Der geschossweise Verbund der Elemente untereinander kann über eine kreuzweise Verschraubung hergestellt werden. Nach der Montage der Dachelemente kann umgehend die vorkonfektionierte Dachbahn ausgelegt werden. Das Gebäude ist somit unmittelbar nach der Montage geschlossen und dicht, so dass im Innenraum störungsfrei mit dem Ausbau begonnen werden kann.

1.3 Balkone

Die Verwendung von Holzkonstruktionen für Balkone ist traditionell als aus Ziegelmauern auskragende Bauteile bekannt. Ein Problem stellte oft dar, dass die tragenden Balken im Mauerwerk, das nicht selten feucht war, von außen unsichtbar verfaulten und daher ohne große Vorwarnung scheinbar plötzlich ihre Tragfähigkeit verloren. Aber auch auf eigenen Stützen vorgestellte Balkone aus Holz sind sehr stark der Witterung ausgesetzt und müssen daher gut gegen Fäulnis geschützt werden.

Ein wichtiger Aspekt bei der Verwendung von Holz als wesentlichen Baustoff der Balkone ist daher der Schutz der tragenden Holzplatten vor der Witterung:

Hierfür wurden zahlreiche Kunststoff-Beschichtungen des Plattenmaterials untersucht, die jedoch

letztlich keinen befriedigenden Schutz bieten konnten, da sie bei Beschädigungen ihre Schutzwirkung verlieren. Zudem beinhalten sie meist Stoffe, die nicht umweltverträglich sind und wurden daher auch aus ökologischen Gründen abgelehnt. Schließlich wurden alle Holzteile gemäß ihrer Gefährdungsklasse 3 mit einer Kesseldruckimprägnierung ausgeführt. Da diese tief in das Material eindringt, bleibt ihre Schutzwirkung auch bei oberflächlichen Beschädigungen erhalten.

Das Dach sowie der Boden der Balkone werden zudem oberseitig mit einer Abdichtungsbahn belegt, so dass hier ein optimaler Schutz vor Regen gewährleistet ist.

Die Haupttragelemente des Balkons werden aus einachsigen gespannten Dach- und Bodenplatten gebildet, die über seitliche Scheiben am Bauwerk verankert werden. Sämtliche Tragelemente werden aus Furnierschichtholzplatten hergestellt. Die Plattenelemente des Dachelementes bestehen aus 42 mm dicken Furnierschichtholz-Platten, die wandseitig mit dem tragenden Fenstersturz verschraubt werden. Stirnseitig wird die Dachscheibe über ein Stahlprofil auf die Seitenteile abgelastet. Die Bodenplatte besteht ebenfalls aus Furnierschichtholzplatten. Ihre Dicke beträgt zur Aufnahme der vertikalen Beanspruchungen aus den Nutzlasten 63 mm. Die Auflagerung erfolgt wandseitig direkt auf der Fußschwelle der Elementwände. Stirnseitig wird ein U-Profil U180 angeordnet und über seitliche Stahllaschen mit den Seitenwänden verschraubt.

Die seitlich angeordneten Furnierschichtholzplatten dienen sowohl dem Lastabtrag als auch als Absturzsicherung und Witterungsschutz. Um auch einen Ausblick bzw. eine Belichtung seitlich zu ermöglichen, werden diese mit einer größeren Öffnung ausgestattet. Wandseitig sind senkrechte Balken aus Furnierschichtholz mit den Seitenteilen kontinuierlich verklebt. Diese seitlichen Tragelemente können am Gebäudekörper kraftschlüssig befestigt werden. Die auftretenden Zugkräfte werden mittels Gewindestangen in die jeweiligen Deckenelemente rückverankert. Dadurch können große Zugkräfte bei vergleichsweise geringen Bauteilabmessungen übertragen werden.

Auf diese Weise können die Balkone auch geschossweise unabhängig voneinander platziert werden, da sie immer nur nach hinten in die Decken verankert werden müssen. Die Ausführung mit Dach und den beiden statisch nötigen Seitenteilen garantiert trotz der individuellen Anordnung für jeden Balkon die nötige Privatsphäre.

Die statische Bemessung der tragenden Bauteile wurde mit Hilfe eines Fachwerkmodells durchgeführt. Da es sich bei den gewählten Bauteilen (Furnierschichtholz) um flächige Bauteile handelt und zudem durch die vorhandenen Öffnungen mit Kerbspannungen in den eingeschnittenen Seitenteilen zu rechnen ist, wurde das statische System durch einen Traglastversuch an der MPA Bau - Prüfstelle Holzbau der Technischen Universität München verifiziert.

Der Traglastversuch wurde an einem im Maßstab 1:1 gebauten Balkonprototypen durchgeführt. Die Lagerung und Befestigung des Bauteils wurde entsprechend den Vorgaben der statischen Berechnung und der geplanten Ausführung ausgeführt. Um die Beanspruchungen in der späteren Einbausituation infolge von Schneeeinwirkungen zu berücksichtigen, wurde auf die Dachkonstruktion eine Last von 1,36 kN/m² mittels Sandsäcken aufgebracht. Die Nutzlast auf den Balkonboden wurde durch einen Hydraulikzylinder und einen lastverteilenden Stahlprofilbalken im vorderen Drittel über annähernd die gesamte Balkonbreite zwischen den Seitenwänden des Balkons aufgebracht. Neben der aufgetragenen Vertikallast wurden über neun Wegaufnehmer Verformungen an verschiedenen signifikanten Stellen gemessen. Der Prüfkörper wurde bis zum Eintreten der Bruchlast geprüft. Die Belastung wurde dabei konstant bis zum Versagen gesteigert.



Abb. 4 Versuchsaufbau Belastungsprüfung Holzbalkon

Als Versagen beim Belastungsvorgang trat ein duktiler Durchbruch des Balkonbodens ein. Dabei konnte ein kontinuierlich fortschreitendes Ausbrechen des Bodens aus der seitlichen Einnutung beobachtet werden. An den seitlichen Furnierschichtholz-Platten konnte eine vertikale Rissbildung im hinteren Bereich der eingeschnittenen Öffnung festgestellt werden. Eine Schädigung über die gesamte Dicke der Furnierschichtholzseitenteile war nicht zu erkennen. An den seitlich angebrachten vertikalen Elementen (Seitenteile) konnte augenscheinlich keine Schädigung festgestellt werden. Die aufgebrauchte Prüflast betrug zum Zeitpunkt des Bruches 172,64 kN.

Aufgrund des festgestellten Versagensmechanismus konnten die Annahmen der statischen Berechnung als hinreichend genau verifiziert werden. Die Bruchlast betrug 172,64 kN (charakteristische Last) und liegt damit im Vergleich zur anzusetzenden Nutzlast von 23,0 kN um das 7,4 fache höher. Damit konnte für den Balkon eine hinreichende Tragreserve bei einem anzusetzenden Sicherheitsbeiwert von 5,0 ermittelt werden.

1.4 Aufzugschächte

Um eine Kontinuität der Materialverwendung zu erzielen und somit die Produktions- und Montageabläufe zu vereinfachen, kann der Aufzugsschacht ebenfalls in Massivholzbauweise ausgeführt werden. Hierfür werden Wände aus Kreuzlagenholz verwendet, die einen tragfähigen, steifen und verwindungsfreien Schacht herstellen, der für die Montage der Aufzugstechnik geeignet ist. Hierbei sind nur sehr geringe Toleranzen hinsichtlich der Verformung sowie der Schwingungsbegrenzung zulässig.

Die Verankerung an der Aufzugsunterfahrt aus Beton erfolgt über einbetonierte Gewindestangen, die mit entsprechender Vorholzlänge über ein Druckwiderlager mit dem Kreuzlagenholz verbunden sind. Somit wird für auftretende Horizontalkräfte ein steifer Anschluss an den Massivbau

geschaffen. Die Notwendigkeit eines nicht duktilen Anschluss an den Massivbau ergibt sich aus den Anforderungen an die Verformungsbegrenzung, welche sich aus der Nutzung als Aufzugsschacht ergibt. Der Aufzugsschacht wird zudem konstruktiv mit den Gebäudedecken verschraubt. Aufgrund der steifen Ausbildung mit Kreuzlagenholz kann für den Aufzugsschacht ein hohes Maß an Vorfertigung erreicht werden, so dass dieser als Gesamtkonstrukt auf die Baustelle geliefert werden kann.

1.5 Tragwerk und Statik - Problemstellungen und Lösungsansätze

Gegenüber den bislang errichteten Holzgebäuden geringer Höhe sind für den mehrgeschossigen Holzbau aufgrund der Struktur des natürlichen Baustoffes Holz und der damit verbundenen elastomechanischen Eigenschaften eine Reihe von Problemstellungen zu lösen.

Hierzu zählt beispielsweise die geringe Tragfähigkeit des Holzes quer zu seiner Faserrichtung. Der charakteristische Wert der Querdruckfestigkeit beträgt für üblicherweise verwendetes Vollholz aus Nadelholz der Festigkeitsklasse C24 nach DIN 1052:2008 nur $2,5 \text{ N/mm}^2$. Demgegenüber steht eine charakteristische Festigkeit längs zur Faser von 21 N/mm^2 , die somit den 8,4-fachen Wert aufweist.

Bei mehrgeschossigen Gebäuden treten hohe vertikale Beanspruchungen für die Wände der unteren Geschosse infolge der Summation der Beanspruchungen aus den Nutzlasten der Decken sowie den Eigenlasten der Wände und Decken auf. Bei den verwendeten Massivholzdecken in Form von Brettschichtholz- oder Brettsperrholzdecken verlaufen die Fasern in Richtung der Deckenscheiben und somit senkrecht zu den angeschlossenen Wänden. Durch diesen Wechsel der Faserrichtungen treten hohe Querpressungsbeanspruchungen in den Decken sowie den oberen und unteren Wandriegeln auf. Um eine ausreichende Querdrucktragfähigkeit für diese Anschlüsse sicher zu stellen, wurde ein Anschlusssystem entwickelt, das aufgrund einer Materialkombination mit stabilen Stempeln aus Mörtel in der Lage ist, die auftretenden Lasten im Anschlussbereich übertragen zu können. Hierzu werden bei den Massivholzdecken, die als 2-Feld- oder 3-Feldträger ausgebildet sind, die Deckenelemente im Bereich der Mittelaufleger mit kreisförmigen Kernbohrungen versehen. Anschließend werden die Kernbohrungen mit Quellbeton der Güte C25/30 verfüllt. Hierbei ist der Querschnittsschwächung der Decke im Bereich der Mittelaufleger Rechnung zu tragen. Zu beachten sind zudem die Beanspruchung der Betonstempel und der Wandschwellen bzw. Wandriegel. Die Lastabtragung der Vertikallasten kann somit über die Betonstempel erfolgen. Eine Beanspruchung der Deckenelemente quer zur Faserrichtung wird vermieden.

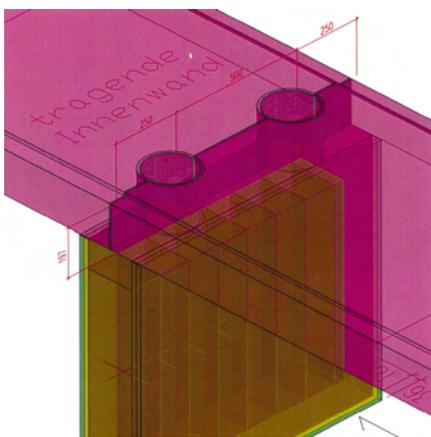


Abb. 5 Isometrie der Deckenaufleger mit Betonstempeln

Insbesondere bei mehrgeschossigen Holzgebäuden ab vier und mehr Obergeschossen, treten infolge der Windbeanspruchungen auf das Gebäude hohe Zugbelastungen an den Anschlüssen der Wände unter-einander sowie der Wände mit den Geschossdecken auf. Diese Anschlüsse werden derzeit durch Schrägverschraubungen mit selbstbohrenden Holzschrauben gelöst. Es handelt sich hierbei um eine Einzellösung. Um zukünftig, insbesondere bei sieben- und achtgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise, bei denen sehr hohe Zugkräfte auftreten, optimale Anschlussdetails bereitstellen zu können, ist an dieser Stelle weiterer Entwicklungsbedarf erforderlich. Es gilt, standardisierte Anschlüsse zu entwickeln, die sowohl höchste Ansprüche an die erforderliche Kraftübertragung als auch die praxiserichte und wirtschaftliche Ausführung der Verbindung erfüllen.

Eine weitere Alternative besteht in der Übertragung der vertikalen Lasten im Bereich der Deckenanschlüsse über stehendes Holz wie beispielsweise Stempeln aus Furnierschichtholz. Hier wird die Kraft längs zur Faserrichtung des Holzes übertragen. Analog wird auch der Anschluss der Außenwände ausgeführt, die über Rähm und Schwelle aus Furnierschichtholz aufeinander gestellt werden.

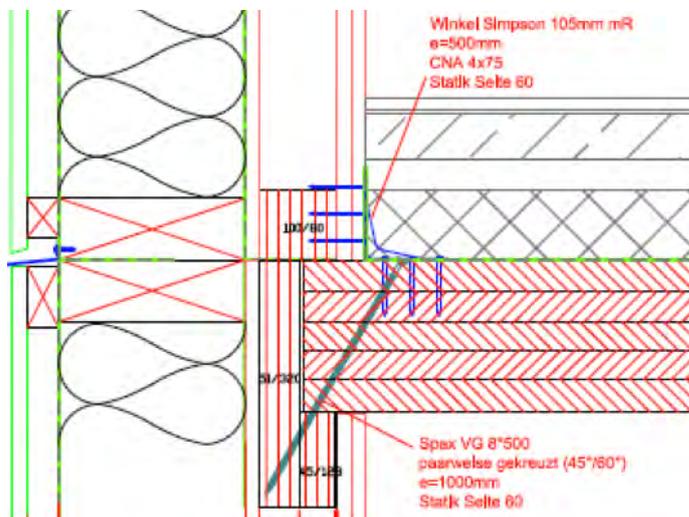


Abb. 6 Ausbildung des Anschlusses Wand/Decke mit Rähm aus Furnierschichtholz

1.6 Brandschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze

An Gebäude in Holzbauweise ab einer Höhe des obersten Geschossfußbodens mit Aufenthaltsräumen von mehr als 7 m über der Oberkante des Geländes im Mittel werden besondere Anforderungen an den Brandschutz gestellt. Dies betrifft Gebäude ab der Gebäudeklasse 4 nach Musterbauordnung der Fachkommission Bauaufsicht, die zwischenzeitlich ebenfalls in den meisten Bundesländern als neue Gebäudeklasse bauaufsichtlich eingeführt ist.

Die Gewährleistung der konstruktiven Umsetzung dieser Forderungen erfordert eine gewissenhafte Planung und Ausführung. Hersteller dieser Bauteile müssen im Hinblick auf die Qualitätssicherung gemäß § 24 der MBO sowie Abschnitt 5 und 6 der M HFHHolzR eigen- und fremdüberwacht sein. Darüber hinaus müssen alle Bauteile über einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis, beispielsweise in Form eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses verfügen. Das Errichten von Konstruktionen nach der Holzbaurichtlinie darf nur von Unternehmen erfolgen, die nach § 55 der MBO für diese Arbeiten geeignet sind.

Die Übereinstimmung der Bauausführung mit dem Brandschutznachweis in Übereinstimmung mit

den Anforderungen der Holzbaurichtlinie ist nach § 81 MBO vom Nachweisersteller oder einem Prüfenieur bzw. Prüfsachverständigen zu bescheinigen.

In der Gebäudeklasse 4 müssen tragende, aussteifende und raumabschließende Wände die Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile erfüllen (Tabelle 1). Derartige Konstruktionen müssen, sofern sie in Holzbauweise errichtet werden, neben einem Feuerwiderstand von 60 Minuten zusätzlichen konstruktiven Bedingungen genügen. Die Bauteile sind mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung zu versehen. Als Dämmstoffe sind bislang ausschließlich nichtbrennbare mineralische Faserdämmstoffe mit einem Schmelzpunkt von mindestens 1000 °C zugelassen. Die Spezifikation dieser Anforderungen erfolgt in der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise – M-HFHolzR (Muster-Holzbaurichtlinie). Sie legt fest, dass eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung gegeben ist, wenn die Holzkonstruktion während der relevanten Branddauer von 60 Minuten die Entzündungstemperatur von ca. 300 °C nicht erreicht („Kapselkriterium“ - K₂60). Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 14135 „Brandschutzbekleidungen – Bestimmung der Brandschutzwirkung“. Dabei darf während der festgelegten Prüfzeit von 60 Minuten kein Zusammenbrechen der Brandschutzbekleidung oder Teilen davon auftreten und es zu keinem Feuer in einem etwaigen Hohlraum hinter der Brandschutzbekleidung kommen. Außerdem darf die mittlere Temperatur an tragenden bzw. aussteifenden Bauteilen aus brennbaren Baustoffen (z.B. Holztragkonstruktionen oder Holzwerkstoffplatten) die Anfangstemperatur um nicht mehr als 250 °C überschreiten; die maximale Temperatur an einer beliebigen Stelle darf die Anfangstemperatur um nicht mehr als 270 °C überschreiten (Bild 3). Damit kann eine Selbstentzündung des Holzes ausgeschlossen werden. Mit dieser Forderung soll der Gefahr von Hohlraumbränden sowie einem Glimmen der Wärmedämmung und dem damit verbundenen Risiko einer Nachentzündung nach Abschluss der Löschmaßnahmen entgegen gewirkt werden. Die brandschutztechnische Bekleidung muss der Klassifikation K₂60 nach DIN EN 13501-2:2003-12 entsprechen. Die Erfüllung des Kapselkriteriums erfordert eine Dimensionierung der Bekleidung mit Gipsbauplatten in einem solchen Umfang, dass de facto ein Feuerwiderstand der Bauteile von mindestens 90 Minuten erreicht wird. So hat ein K₂60-gekapseltes Bauteil wegen der hohen Schutzfunktion der Bekleidung nicht selten eine Feuerwiderstandsdauer von 120 Minuten (F 120-B).

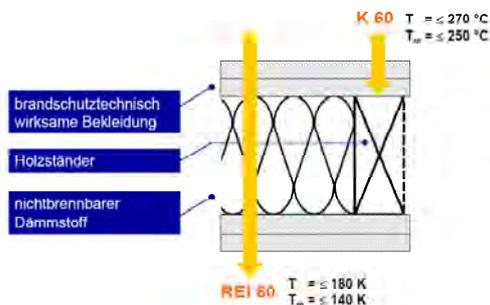


Abb. 7 Kapselkriterium von Holzbauteilen

Bauteil	Bauordnungsrechtliche Anforderung nach MBO:2002	Klassifizierung nach DIN EN 13501-2:2003-12
Stützen	hochfeuerhemmend	R 60 in Verbindung mit einer K ₂ 60-Brandschutzbekleidung
Tragende, nicht raumabschließende Wände im Normalgeschoss (im Kellergeschoss)	hochfeuerhemmend	R 60 in Verbindung mit einer K ₂ 60-Brandschutzbekleidung (R 90)
Tragende, raumabschließende Wände im Normalgeschoss (im Kellergeschoss)	hochfeuerhemmend	REI 60 in Verbindung mit einer K ₂ 60-Brandschutzbekleidung (REI 90)
Nichttragende, raumabschließende Trennwände (Normalgeschoss)	hochfeuerhemmend	EI 60 in Verbindung mit einer K ₂ 60-Brandschutzbekleidung
Decken (Normalgeschoss)	hochfeuerhemmend	REI 60 in Verbindung mit einer K ₂ 60-Brandschutzbekleidung
Wände notwendiger Treppenträume	hochfeuerhemmend, auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung	REI-M 60 in Verbindung mit einer K ₂ 60-Brandschutzbekleidung
Wände anstelle von Brandwänden nach MBO (Brandwandersatzwände)	hochfeuerhemmend, auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung	REI-M 60 in Verbindung mit einer K ₂ 60-Brandschutzbekleidung

Tabelle 1: Brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile für die Gebäudeklasse 4 nach MBO

Die Prüfung der Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile erfolgt auf der Grundlage der europäisch harmonisierten Norm DIN EN 1363-1:1999-10. Nach diesen Normen werden ausschließlich die Tragfähigkeit und der Raumabschluss der Bauteile beurteilt. Für die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung ist eine getrennte Überprüfung der Klassifikation K₂60 nach DIN EN 13501-2:2003-12 erforderlich. Für die Konstruktionen müssen bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise vorliegen. Diese können in Form allgemeiner bauaufsichtlicher Prüfzeugnisse (abP) erbracht werden. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in DIN 4102-4 angegebenen Konstruktionsaufbauten der Feuerwiderstandsklasse F 60-B nicht die Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile erfüllen. Sie sind nur unter Verwendung der zusätzlichen brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung in der Gebäudeklasse 4 anwendbar. Für die Klassifizierung K₂60 können hierzu folgende Bekleidungen eingesetzt werden:

- 2 x 18 mm Gipsplatten Typ F nach DIN EN 520 (früher Gipskartonfeuerschutzplatten GKF) oder
- 2 x 18 mm Fermacell Gipsfaser-Platten

Zwischenzeitlich verfügen eine Reihe von Wand- und Deckenkonstruktionen in Holztafelbauweise über allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse, die eine Einstufung der Bauteile in die geforderte Klassifizierung „hochfeuerhemmend“ bescheinigen (Bild 4).

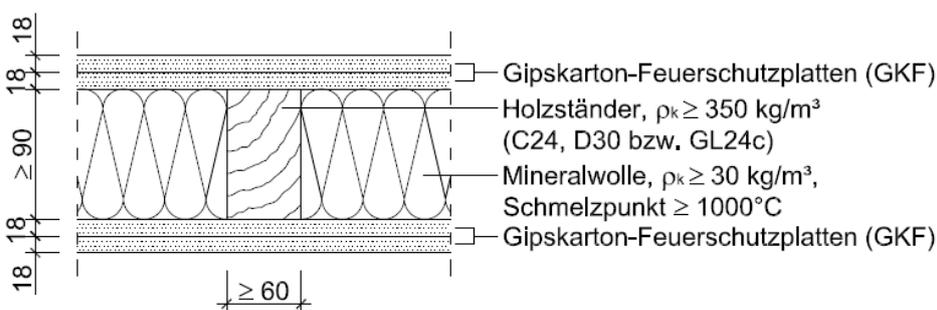


Abb. 8 Aufbau einer tragenden, raumabschließenden Wand, Feuerwiderstandsklasse REI 60 gemäß DIN EN 13 501 2 in Verbindung mit einer K₂60-Brandschutzbekleidung

Für massive Holzbauteile sind derartige für die Anwendung in Bauwerken erforderliche bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise bislang nicht verfügbar. Im Rahmen des Projektes wurde die in Abschnitt 2.1 dargestellte massive Holzwand in Brandprüfungen hinsichtlich der gestellten Anforderungen als raumabschließende Wand sowie zusätzlich als Gebäudeabschlusswand überprüft. Diese Gebäudeabschlusswände können in der Gebäudeklasse 4 entsprechend der Musterbauordnung anstelle von Brandwänden eingesetzt werden. Sie müssen auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung hochfeuerhemmend sein und somit folgender Klassifizierung entsprechen:

REI-M 60 nach DIN 13501-2 in Verbindung mit einer K₂60-Brandschutzbekleidung

Die besondere Anforderung an diese Wände bezieht sich neben dem erforderlichen Feuerwiderstand von 60 Minuten auf die zusätzliche mechanische Beanspruchung. Hierzu wird nach Abschluss der Brandbeanspruchung von der nichtbeflammten Seite eine Stoßenergie von 3000 Nm aufgebracht, die über einen Bleisack, der mit 200 kg aus 3 m Höhe fallen gelassen wird, simuliert wird (Bild 5). Um eine wirtschaftliche Konstruktion hinsichtlich der Wanddicke zu erzielen und gleichzeitig kostenintensive Brandversuche auf ein Minimum zu begrenzen, wurden zunächst Kaltschlagversuche an unterschiedlichen Wänden mit unterschiedlichen dicken Holzstehern durchgeführt. Als Ergebnis dieser Überprüfungen hat sich gezeigt, dass bereits Wände mit Stehern in einer Dicke von 80 mm geeignet sind, diese hohe Stoßenergie ohne Schäden an der Wandkonstruktion aufzunehmen (Bild 6). Anhand einer Überprüfung in einem Brandversuch an der Materialforschungs- und Prüfanstalt für das Bauwesen in Leipzig konnte gezeigt werden, dass diese Wand auch unter einer 90-minütigen Brandbeanspruchung alle an Gebäudeabschlusswände gestellten Anforderungen erfüllt. Als Ergebnis dieser Prüfung konnte ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis mit folgender Klassifizierung ausgestellt werden:

„Tragende, raumabschließende Wandkonstruktionen in Massivholzbauweise mit einer beidseitig, zweilagigen Beplankung aus FERMACELL-Gipsfaserplatten und mechanischer Beanspruchbarkeit (Stoßbeanspruchung) der Feuerwiderstandsklasse REI 90-M gemäß DIN EN 13501-2 in Verbindung mit einer K₂60-Brandschutzbekleidung bei einseitiger Brandbeanspruchung gemäß DIN EN 13501-2“

Diese Wand kann ebenfalls als raumabschließende Wand zur Unterteilung der Gebäude in Nutzungseinheiten (Wohnungen und Büro) eingesetzt werden. Aufgrund der sehr wirtschaftlichen Konstruktion mit einer Mindestdicke der Steher von 80 mm waren keine weiteren Überprüfungen mittels Brandversuchen mehr erforderlich, da diese Dicke aufgrund weiterer Anforderungen hinsichtlich Tragfähigkeit und Schallschutz ohnehin mindestens erforderlich ist.



Abb. 9 Überprüfung der mechan. Beanspruchbarkeit der Massivholzwand nach einer Brandbeanspruchungsdauer von 90 Minuten

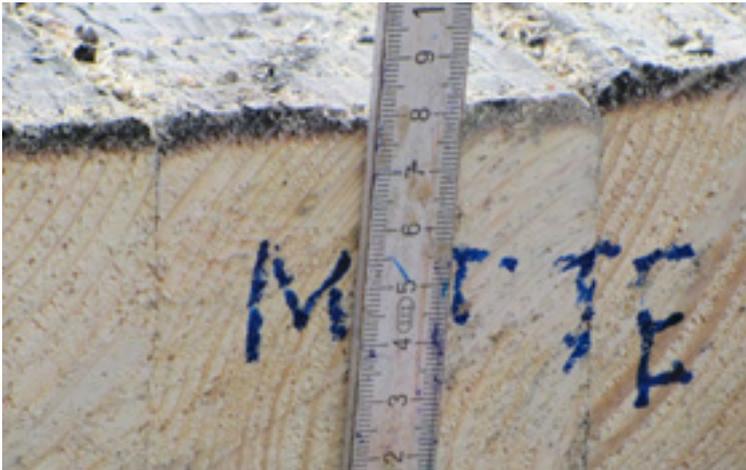


Abb. 10 Schnitt durch die Massivholzwand nach 90 Minuten Brandbeanspruchung

Somit stehen zukünftig für den Einsatz im mehrgeschossigen Holzbau sehr wirtschaftliche Wandkonstruktionen mit gültigen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweisen für einen Einsatz als raumabschließende Wände zwischen Wohnungen und/oder Büroeinheiten sowie für den Einsatz als Gebäudeabschlusswand zu Nachbargebäuden zur Verfügung.

Die Bauaufsichtsbehörden können Abweichungen von den bauaufsichtlichen Anforderungen zulassen, wenn nachgewiesen wird, dass das mit den bauaufsichtlichen Vorschriften beabsichtigte Sicherheitsniveau auf andere Weise erreicht wird. Hierzu sind in der Regel im Rahmen von ganzheitlichen Brandschutzkonzepten Kompensationsmaßnahmen zu erarbeiten.

Häufig ist es der Wunsch des Bauherrn, nicht nur mit Holz zu bauen, sondern dieses auch in der Konstruktion und in den Räumen sichtbar zu zeigen. Eine Möglichkeit hierzu besteht beispielsweise im Verzicht der unterseitigen Bekleidungen (Kapselung) der Geschossdecken. Dies bedeutet jedoch, dass die Decken mit brennbaren Oberflächen in den Nutzungseinheiten vorhanden sind. Um ein vergleichbares Sicherheitsniveau gegenüber Decken zu erzielen, die über eine Brandbeanspruchungsdauer von 60 Minuten in der Art gekapselt sind, dass sie sich über diesen Zeitraum nicht am Brand beteiligen, wurde für das Pilotgebäude des viergeschossigen Holzbaus in Bad Aibling ein Konzept entwickelt, das darauf basiert, die Nutzer innerhalb kürzester Zeit über das gesamte Gebäude von einem Brandereignis zu informieren sowie eine sichere Evakuierung zu gewährleisten. Hierzu wurden zum einen die über die vom Bayerischen Staatsministerium des Innern zur Ausstattung von Wohnungen mit Rauchwarnmeldern veröffentlichten Empfehlungen funk- und drahtvernetzte Rauchwarnmelder innerhalb einer Nutzungseinheit eingesetzt. Diese gewährleisten, dass bei Auslösung eines Melders das Alarmsignal innerhalb der gesamten Nutzungseinheit deutlich gehört werden kann.

Um eine schnellere und sichere Evakuierung der Nutzer sicher stellen zu können, wurde der Treppenraum mit höheren als nach der Landesbauordnung des Bundeslandes Bayern gestellten brandschutztechnischen Anforderungen ausgestattet. Hierbei wurde die Qualität des notwendigen Treppenraumes an die für Sicherheitstreppe gestellten Anforderungen ausgerichtet. Sie sind so zu konstruieren, dass bei einem Brandereignis Brand und Rauch nicht in den Treppenraum eindringen können. Um dieses Schutzziel zu erfüllen, wurde der notwendige Treppenraum offen vor das Gebäude gestellt. Die notwendige Treppe ist somit als offene Außentreppe ausgeführt, bei der der Rauch im Falle eines Brandereignisses ungehindert abströmen kann. Die Wohnungseingangstüren wurden darüber hinaus als vollwandige, dicht- und selbst-schließende Türen ausgebildet. Auf der Grundlage der beschriebenen Maßnahmen war es möglich, den Wünschen des Bauherrn nach sichtbaren Holzoberflächen zu entsprechen. Es handelt sich hierbei um eine sehr positive Entwicklung, da durch das Sichtbarwerden der Holzkonstruktionen die Präsenz des Baustoffes

Holz in der Bevölkerung deutlich erhöht werden kann und zum anderen die Akzeptanz dieses nachwachsenden Rohstoffes für den mehrgeschossigen Holzbau gesteigert wird.

1.7 Schallschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze

An moderne Wohngebäude werden in zunehmendem Maße besondere Anforderungen an den Schallschutz gestellt. Grundlage für einen adäquaten Schallschutz stellen die Grenzwerte für einen erhöhten Schallschutz gemäß Beiblatt 2 zur DIN 4109 bzw. VDI 4100 SSt II dar. Im Zuge der Erarbeitung von Lösungen für eine entsprechende Schalldämmung der trennenden Bauteile wurde ebenfalls besonderes Augenmerk auf das resultierende Schalldämmmaß unter Berücksichtigung der an der Schallübertragung beteiligten Bauteile und Nebenwege im eingebauten Zustand gelegt. Im allgemeinen ist für den Schallschutz bei Einsatz von Holzbauteilen zu beachten, dass Holz im Gegensatz zu Beton oder Mauerwerk eine deutlich geringere Dichte und somit raumbezogene Masse aufweist. Für die einzelnen Konstruktionen wurden daher verschiedene Lösungsansätze erarbeitet.

1.7.1 Decken

Gemäß Beiblatt 2 zur DIN 4109 bzw. VDI 4100 SSt II sind für Wohnungstrenndecken erforderliche Luftschalldämmmaße von erf. $R'w \geq 55$ dB bzw. erf. $R'w \geq 56$ dB und Trittschalldämmmaße $L'n,w \leq 46$ dB vorgesehen. Um die entsprechenden Schallschutzanforderungen zu erfüllen, wurde daher folgender Deckenaufbau erarbeitet:

- 60 mm Zementestrich, $m' = 140$ kg/m²
- 40 mm Mehrschichtdämmplatte. $s' < 7$ MN/m³
- 90 mm latexgebundener Splitt, $m' = 180$ kg/m²
- 200 mm Massivholzelement

Für diesen Deckenaufbau wurden gemäß Berechnung folgende Werte prognostiziert:

- bewertetes Schalldämm-Maß $R'w$: 60 ± 3 dB
- bewerteter Normtrittschallpegel $L'n,w$: 44 ± 3 dB

Die prognostizierten Werte erfüllen die Mindestanforderung nach DIN 4109, die Anforderung nach Beiblatt 2 zur DIN 4109 bzw. VDI 4100 SSt II werden zudem mit hoher Wahrscheinlichkeit erfüllt.

Messungen am viergeschossigen Gebäude (Pilotprojekt) haben im Nachlauf folgende Messwerte ergeben:

Messung 1: $R'w = 59$ dB;
 $L'n,w = 43$ dB

Messung 2: $R'w = 57$ dB
 $L'n,w = 45$ dB

Damit erfüllen die Wohnungstrenndecken die Grenzwerte für einen erhöhten Schallschutz gemäß Beiblatt 2 zur DIN 4109 bzw. VDI 4100 SSt II.

1.7.2 Wohnungstrennwände

Gemäß Beiblatt 2 zur DIN 4109 ist für Wohnungstrennwände ein Schalldämmmaß von erf.

$R'w \geq 55$ dB erforderlich, nach bzw. VDI 4100 SSt II sollte dieser Wert mindestens $R'w \geq 56$ dB erreicht werden. Für die Wohnungstrennwände wurde eine zweischalige Konstruktion mit einer durchlaufenden Trennfuge mit folgendem Aufbau gewählt:

- 2x18 mm Gipsfaserplatten, $m' = 40$ kg/m²
- 100 mm Massivholzwand (Nadelholz), $m' = 45$ kg/m²
- 20 mm Luftschicht
- 100 mm Holzständerwerk
- 2x18 mm Gipsfaserplatten, $m' = 40$ kg/m²

Für diesen Wandaufbau wurde ein rechnerischer Schalldämmwert von $R'w = 56$ dB ermittelt. Die prognostizierten Werte erfüllen damit die Anforderungen nach Beiblatt 2 zur DIN 4109 sowie VDI 4100 SSt II.

Messungen am fertig gestellten viergeschossigen Gebäude (Pilotprojekt) haben folgenden Messwert ergeben:

$R'w = 66$ dB

Damit erfüllen die Wohnungstrenndecken die Grenzwerte für einen erhöhten Schallschutz gemäß Beiblatt 2 zur DIN 4109 bzw. VDI 4100 SSt II.

1.7.3 Außenwand

Für die Außenwände wurde eine Konstruktion mit einer Außendämmung und einer hinterlüfteten Außenwandbekleidung in Form einer geschlossenen Nut- und Federschalung mit folgendem Aufbau gewählt:

- 65 mm Holzaußenwandbekleidung auf Lattung/Konterlattung
- 200 mm Wärmedämmung, Rockwool, $m' = 50$ kg/m²
- 18 mm Gipsfaserplatten, $m' = 20$ kg/m²
- 140 mm Massivholzwand (Nadelholz), $m' = 45$ kg/m²
- 2x18 mm Gipsfaserplatten, $m' = 40$ kg/m²

Für diesen Wandaufbau wurde rechnerisch ein Schalldämm-Maß von $R'w = 53$ dB ermittelt. Das resultierende Schalldämm-Maß ist abhängig vom Schalldämmmaß der eingebauten Fenster und vom prozentualen Anteil der Fensterfläche an der Gesamtfläche des Bauteils. So können bei einer prozentualen Fensterfläche von 35% und einem Schalldämm-Maß des Fensters von $R'w = 45$ dB resultierende Schalldämm-Maße von $R'w, res = 48$ dB erreicht werden. Die Außenwandkonstruktion ist somit für die Lärmpegelbereiche I bis V geeignet und kann somit auch im innerstädtischen Bereich Anwendung finden.

2. Realisierung eines Viergeschossigen Gebäudes

2.1 Konzept

Die erste Anwendung des Bausystems erfolgte bei der Errichtung eines viergeschossigen Wohngebäude in Bad Aibling. Die Konstruktion der Bauteile wurde während des Planungsprozesses ständig optimiert, so dass anhand des konkreten Anwendungsfalles die beschriebenen tragfähigen und umsetzbaren Lösungen entwickelt werden konnten.

Ein wichtiges Ziel des Pilotprojektes war es, zu zeigen, dass trotz eines optimierten Bausystems auch individuelle Grundrisse und verschiedene Wohnungsgrößen angeboten werden können. Es wurden daher in den sechs Wohnungen drei verschiedenen Grundrisstypen von 60 m² bis 125 m² realisiert. In Form der geschossweise unabhängig angeordneten Balkone konnten jeder Wohnung Freiflächen angeboten werden. Die Erschließung der Wohnungen erfolgt über einen außenliegende Stahlterre und einen Aufzug.



Abb. 11 Grundriss Erdgeschoss / 1. Obergeschoss

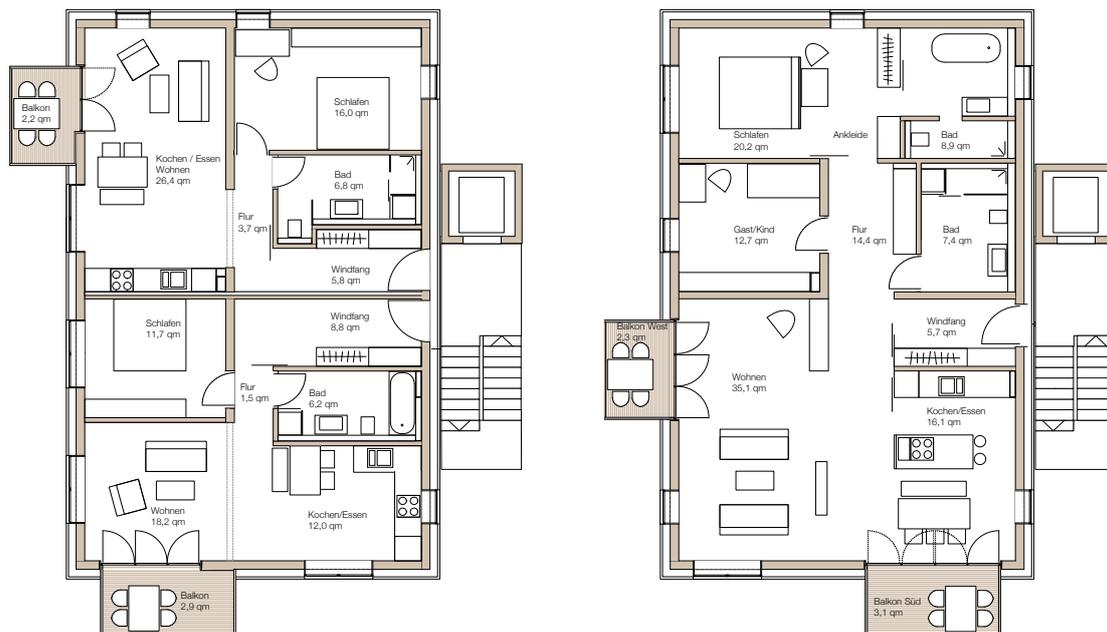


Abb. 12 Grundriss 2. Obergeschoss / 3. Obergeschoss

2.2 Fertigung / Montage

Bei Produktion und Montage der entwickelten Elemente konnte im Grundsatz auf Verfahren zurückgegriffen werden, wie sie aus dem Holzrahmenbau üblich sind. Der aus wirtschaftlichen und technischen Gründen gewünschte hohe Vorfertigungsgrad verlangt aber eine umfangreiche Weiterentwicklung dieser Verfahren.

Eine Holzmassivwand mit Brandschutzverkleidung wiegt in der nötigen maximalen Einzelteilgröße bis zu 6 t. Die im Holzrahmenbau üblichen Trageschlaufen als Transportaufhängung für Wände sind mit diesen Gewichten weit überfordert. Als vor allem im Hinblick auf die Arbeitssicherheit akzeptable Aufhängung diene eine Stahltraverse, die mittels Ankerstangen und -muttern, wie sie im Betonbau eingesetzt werden, mit der Wand verbunden sind. Da durch den Einbau von Fenstern in verschiedenen Größen und Lagen die Ankerpunkte sehr unterschiedlich beansprucht werden, war neben der grundsätzlichen statischen Überprüfung dieser Aufhängung eine detaillierte Überprüfung für alle ausgeführten Wandelemente nötig.

Die einzelnen Wandelemente sollten mit möglichst hohem Vorfertigungsgrad im Werk gefertigt werden. Dies bedeutet:

- Fenster mit allen Anschlüssen fertig eingebaut
- Fassadenverkleidung fertig auf den Außenwänden montiert
- Innenbeplankung fertig zum Spachteln
- Bauphysikalisch und konstruktiv notwendige Anschlussfolien, Elastomerlage und Dichtbänder vormontiert



Abb. 13 Produktion Massivwand



Abb. 14 Montage Beplankung



Abb. 15 Endmontage

Für Fenstereinbau und Fassadenverkleidung sind die Standardverfahren aus dem Holzrahmenbau anwendbar. Die Integration der bauphysikalisch notwendigen Folien und Dichtelemente muss hingegen den Besonderheiten der gewählten Bauweise angepasst werden. Neben zeichnerischen Ansätzen wurde hier eine Reihe von kleinen 1:1 Modellen erstellt, um auch die baupraktisch korrekte Umsetzbarkeit der Verbindung der verschiedenen Anschlusselemente zu überprüfen.

Die Montage der Elemente auf der Baustelle erfolgte schließlich mit dem Autokran in einer Zeit von nur 4 Tagen.



Abb. 16 Montage von einem Geschoss pro Tag



Abb. 17 Montage von Innenwand- bzw. Deckenelementen



Abb. 18 Montage von Aufzugturm und Balkonen



Abb. 19 Gebäude nach der Fertigstellung

3. Weiterentwicklung und Realisierung eines Achtgeschossigen Gebäudes

3.1 Analyse der Fertigung und Montage des viergeschossigen Gebäudes

Als erster Schritt zur Weiterentwicklung des Systems war es nötig, den Ablauf von Montage und Fertigung der Elemente des viergeschossigen Gebäudes genau zu analysieren um eine Optimierung dieser Prozesse zu ermöglichen. Dies musste schon in einem sehr frühen Stadium der Realisierung eines Folgeprojektes geschehen, da nur so auch grundsätzliche Maßnahmen wie Anpassungen der Tragstruktur usw. möglich waren.

Folgende Aspekte galt es zu optimieren:

3.1.1 Deckengleiche Unterzüge

Im Montageablauf erwiesen sich die als deckengleiche Unterzüge konzipierten Stahlträger als ungünstige Lösung. Es entsteht dabei ein erhöhter Montageaufwand durch eine größere Anzahl an Deckenelementen, die dazu aufwendig „eingefädelt“ werden müssen. Dazu erhöht sich die Anzahl der Fugen, welche hinsichtlich Rauchdichtheit und Schall grundsätzlich problematisch sind. (siehe hierzu auch die Ausführung zu 3.1.2)

Beim Nachfolgeprojekt des achtgeschossigen Holzgebäudes sollte bei der Erstellung der statischen Grundkonzeption darauf geachtet werden, auf deckengleiche Unterzüge zu verzichten.



Abb. 20 Deckengleiche Stahlunterzüge

3.1.2 Rauchdichtheit

Am viergeschossigen Gebäude wurden Nebeltests durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Gebäudehülle vom Grundsatz her luftdicht ist, aber an verschiedenen Stellen innerhalb des Gebäudes zwischen den einzelnen Wohnungen jedoch Undichtigkeiten aufgetreten sind.

In Bezug auf die Rauchdichtheit der Konstruktion erwiesen sich insbesondere die Anschlüsse der Brettschichtholzdecken an die Außenwände und an die Unterzüge in den jeweils übereinanderliegenden Wohnungen als problematisch.

Vorort wurde die Problematik dann durch nachträgliches Einziehen einer Folie mit Verkleben an die jeweiligen Anschlüsse gelöst.

Beim Nachfolgeprojekt des 8-geschossigen Holzhauses sollte die Thematik der Rauchdichtheit bereits in der Entwicklungsphase der Anschlussdetails verstärkt berücksichtigt werden.

3.1.3 Aussteifung des Gebäudes

Ein wesentlicher Bestandteil der Aussteifung des viergeschossigen Gebäudes sind Stahlschweißteile, die an den Geschoss-Stößen die Außenwandelemente untereinander auf Zug verbinden und im Übergang vom Erdgeschoss zum Kellergebäude an die Betonaußenwände des Kellers angeschlossen werden.

Aufgrund des gewünschten hohen Vorfertigungsgrades sind die einzelnen Stahlschweißteile im Werk eingebaut worden. Dabei ist eine extrem hohe Genauigkeit erforderlich. Dies erwies sich insbesondere bei der Montage der Bauteile, die bis zu 6 Tonnen Gewicht aufweisen, als vergleichsweise aufwendig. Ebenfalls als aufwendig erwies sich die Verankerung durch Dübelung der Stahlteile an die Kelleraußenwände.

Eine Änderung dieser Konzeption musste beim nachfolgenden 8-geschossigen Holzgebäude bereits bei den ersten Grundüberlegungen der statischen Berechnung berücksichtigt werden.



Abb. 21 Anschluss an Stahlzugglieder an den Keller / am Geschoss-Stoß



Abb. 22 Einbau der Stahlzugglieder im Werk

3.1.4 Ausbildung der horizontalen Gebäudefuge an den Geschoss-Stößen

Die beim viergeschossigem Gebäude gewählte Konzeption, im Bereich des Geschoss-Stosses die bei der Holzfassadenschalung notwendige Blechschräge (hier aus gestalterischen Gründen in

doppelter Ausführung) sowie die notwendige Dämmung im Bereich des Deckenanschlusses auf der Baustelle auszuführen, hat sich ebenfalls als sehr aufwendig erwiesen.

Ziel beim achtgeschossigen Gebäude war es, durch ein geeignetes Detail diese aufwendigen Arbeiten von der Baustelle weg in die Vorproduktion in das Werk zu verlagern.

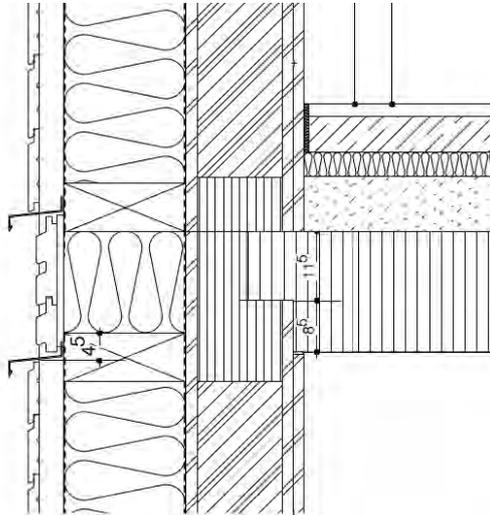


Abb. 23 Auf der Baustelle montierte Deckenstirn-Bekleidung

3.2 Grundrisskonzept des achtgeschossigen Gebäudes

Nachdem sich das Bausystem grundsätzlich beim viergeschossigen Gebäude bewährt hatte, wurde als nächstes Projekt die Realisierung eines achtgeschossigen Gebäudes angestrebt. Da deutschlandweit bisher kein achtgeschossiges Holzgebäude existiert, war dies auch ein wichtiger Schritt, um die Möglichkeiten des Geschosswohnungsbau in Holz öffentlichkeitswirksam zu präsentieren.

Im Vordergrund stand dabei die Entwicklung eines hinsichtlich Statik und Nutzbarkeit optimierten Gebäudetypus bei gleichzeitiger Optimierung der Konstruktion hinsichtlich Vorfertigung und Montage.

Diese Aspekte mussten schon in einem sehr frühen Stadium des Projekts, also bei der Entwicklung der Grundrisse, berücksichtigt werden.

3.2.1 Optimierung hinsichtlich Statik und vorbeugendem Brandschutz

Eine grundsätzliche Überlegung zu Beginn galt der Erschließung des Gebäudes und deren Integration in das Konzept für den vorbeugenden Brandschutz: Aufgrund der Konstruktion des Gebäudes aus Holz zusammen mit der Tatsache, dass sieben Geschosse auf die Fluchtmöglichkeit über das Treppenhaus angewiesen sind, bestand eine erhöhte Anforderung an das Treppenhaus: Neben der Feuerwiderstandsklasse F90 für die tragenden Bauteile musste auch eine Verrauchung des Treppenraums verhindert werden.

Es wurden hierzu folgende Konzepte untersucht:

- außenliegende Stahltreppe

Bei dem Konzept, das beim viergeschossigen Gebäude umgesetzt wurde, konnte eine Verrauchung des Fluchtweges dadurch verhindert werden, dass die Treppe im Freien angeordnet wurde. Die gleiche Sicherheit wie ein abgeschlossener Treppenraum, der effektiv vor Rauch geschützt wird, wird aber nicht geboten. Desweiteren ist eine achtgeschossige offene Treppe aufgrund größerer Windgeschwindigkeiten nutzungstechnisch nicht ideal. Hinzu kommt das subjektive Sicherheitsempfinden der Nutzer und die Gefahr von Eisglätte.

Statisch stellt die außenliegende eine zusätzliche Belastung für das Gebäude dar, da sie ihrerseits Lasten in das Gebäude einleitet.

- Innenliegender Treppen Kern

Ein Vorteil dieses Konzeptes ist die Möglichkeit, den Treppen kern einschließlich Aufzug mit seinem relativ hohen Anteil an Wänden ohne Öffnungen zur Aussteifung des Gebäudes heranzuziehen und damit die übrigen Wände zu entlasten. Brandtechnisch ist allerdings diese Lösung nicht realisierbar, da sie den erhöhten Anforderungen an die Verhinderung der Verrauchung des Fluchtweges nicht gerecht wird.

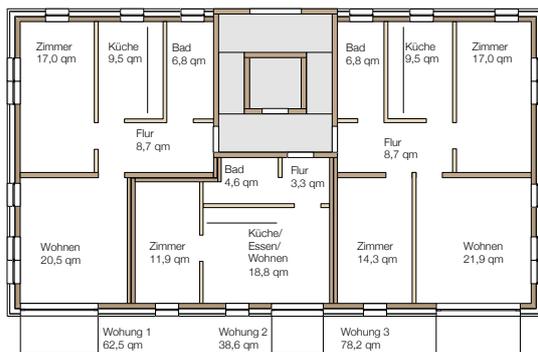


Abb. 24 Grundrisskonzept mit Innenliegendem Treppen kern

- Laubengang-Erschließung mit integrierter Treppen kern und vorgestelltem Aufzug

Ein Konzept um die Fluchtweg-Situation zu verbessern ist die Ausführung einer Laubengang-Erschließung: Da sich die Laubengänge im Freien befinden, wird eine Verrauchung des Treppenraums nahezu unmöglich. Durch den vorgestellten Aufzugsturm wird zwar der Platz innerhalb der thermischen Gebäudehülle gespart, die Wohnungszuschnitte werden aber durch einen relativ großen Flächenanteil der Flure ungünstig bzw. unflexibler.



Abb. 25 Grundrisskonzepte mit Laubengang-Erschließung

- Laubengang-Erschließung mit integriertem Treppenkern und Aufzug

Mit der Integration des Aufzugturmes und des Treppenkerns in das Gebäude unter Beibehaltung der Laubengang-Erschließung konnte eine Grundrisskonstellation hergestellt werden, bei der eine optimale Fluchtsituation geschaffen wird, der Kern zur Aussteifung des Gebäudes beiträgt und die Flächenzuschnitte gut geeignet für die Unterbringung von verschiedenartigen Wohnungen und Büros sind.

Da sich herausstellte, dass eine Ausführung des Treppenkerns aus Holz aus Gründen des Brandschutzes nicht möglich ist, sollte er in Stahlbeton ausgeführt werden. Auf diese Weise wird auch die Aussteifung des Gebäudes um ein vielfaches erleichtert, da der Stahlbetonkern in der Lage ist, einen Großteil der Lasten aufzunehmen. Die Belastung des Holzes mit Horizontallasten wurde dadurch minimiert und die beim viergeschossigen Gebäude noch nötigen, aufwendigen Zugverankerungen an den Außenwänden konnten entfallen.

Da der hohe Vorfertigungsgrad der Bauteile und damit eine kurze Montagezeit ein wesentlicher Vorzug des entwickelten Bausystems ist, wurde dieser Weg auch für den Treppenkern gewählt: Er wurde in großformatigen Fertigteilen geplant, die auf der Baustelle nur aufeinandergestellt, statisch verbunden und vergossen werden müssen und damit ebenfalls eine kurze Bauzeit und erhöhte Präzision garantieren.

Neben dem Treppenkern war ein weiterer grundrissbestimmender Aspekt des Tragwerks die Position der tragenden Holzwände. Folgende Faktoren waren hier entscheidend:

- Optimierte Deckenspannweite

Eine Untersuchung der Wirtschaftlichkeit der Deckenspannweiten ergab, dass für Holzdecken im Wohnungsbau eine Spannweite von 5 bis 7m ideal ist, je nachdem ob als Deckenmaterial Dübelsperholz, Brettsperholz oder Leimholz eingesetzt wird. Auch die Ausführung von Holz-Beton-Verbunddecken wurde untersucht, letztlich aber aufgrund des Nachteils der längeren Montagezeiten verworfen.

- Durchlaufwirkung der Decken

Um das Schwingungsverhalten der Decken zu optimieren sollten die Decken möglichst als Durchlaufträger ausgeführt werden. Da in der Mitte des Gebäudes eine schalltechnische Trennung erforderlich war um zwei voneinander unabhängige Einheiten (z.B. Wohnungen) zu ermöglichen, ist eine Durchlaufwirkung an dieser Stelle nicht möglich. Die Durchlaufwirkung der Decken innerhalb dieser Einheiten konnte jedoch ermöglicht werden, indem in jeder Einheit eine zusätzliche tragende Wand angeordnet wurde.

- Vermeidung von tragenden Außenwänden

Die Ausführung von Außenwänden als tragende Außenwände sollte möglichst vermieden werden, da durch die Tragwirkung die Flexibilität bei der Position der Fensteröffnungen stark eingeschränkt wird. Es wurde daher eine Deckenspannrichtung gewählt, bei der nur an den kurzen Seiten des Gebäudes tragende Außenwände benötigt wurden.

- Vermeidung von deckengleichen Unterzügen

Wegen der beschriebenen Erschwernis bei der Montage sollte auf deckengleiche Unterzüge verzichtet werden. Ein weiterer Grund war, dass der Einsatz von Stahl aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen minimiert werden sollte. Mit der Grundrisskonstellation ist es gelungen, dass die Flächen der entstehenden Räume zwischen den tragenden Wänden groß genug für jede normale Wohn- und Büronutzung sind, so dass eine Erweiterung des Raumes über die tragende Wand hinaus im Normalfall nicht nötig ist. Durchbrüche in den tragenden Wänden sind nur als Durchgänge bzw. Türöffnungen nötig, die ohne gestalterische Nachteile mit normalen Holz-Unterzügen ausgeführt werden können, auf die die Deckenelemente aufgelegt werden. Da die tragenden Wände nicht entlang der Flurzone angeordnet sind, sondern quer dazu, ist auch die Anzahl der benötigten Durchbrüche sehr begrenzt.

- Erweiterbarkeit des Systems

Mit der Möglichkeit der Erweiterung des Systems zu längeren Gebäuden mit mehreren Treppenhäusern konnte ein weiteres Ziel erreicht werden: Die tragende Außenwand wird dabei zu einer tragenden Innenwand und in der nicht tragenden Außenwand sind zusätzliche Fensteröffnungen ausführbar.

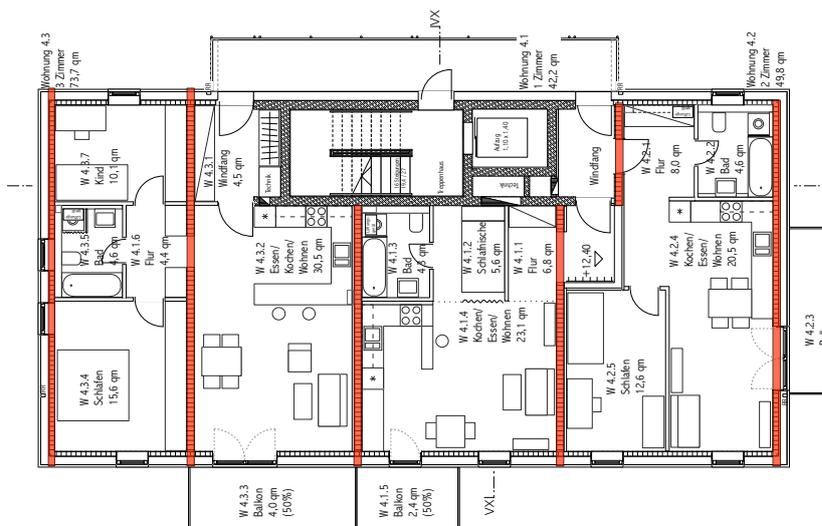


Abb. 26 Typengrundriss mit tragenden Wänden (rot)

3.2.2 Optimierung hinsichtlich Förderkriterien

Ein weiteres Ziel, das mit dem Typengrundriss erreicht werden sollte, ist die Flexibilität, geschossweise unabhängige Büros und Wohnungen von verschiedenen Größen herstellen zu können.

Hinzu kommt, dass es unumgänglich ist, die verschiedenen Förderkriterien der Bundesländer für den sozialen Wohnungsbau einzuhalten, um das System am Markt zu etablieren. Es wurden deshalb vier verschiedene Grundrisse entwickelt, in denen flexibel nutzbare Büros, Wohnungen als 3-Spänner, Wohnungen als 2-Spänner und rollstuhlgerechte Wohnungen als 2-Spänner angeboten werden können. Alle Wohnungen sind zudem barrierefrei und mit den Wohnflächen von 43 / 50 / 74 / 90 qm und der entsprechenden geforderten Anzahl der Räume konnten die Förderkriterien der für den Wohnungsmarkt bedeutendsten Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg eingehalten werden.

Auch die Realisierung von verschieden großen Büroeinheiten ist möglich. Zusätzlich zu den genannten Typen wurde beim achtgeschossigen Gebäude im 7.OG ein Penthouse mit großzügiger Dachterrasse geplant.

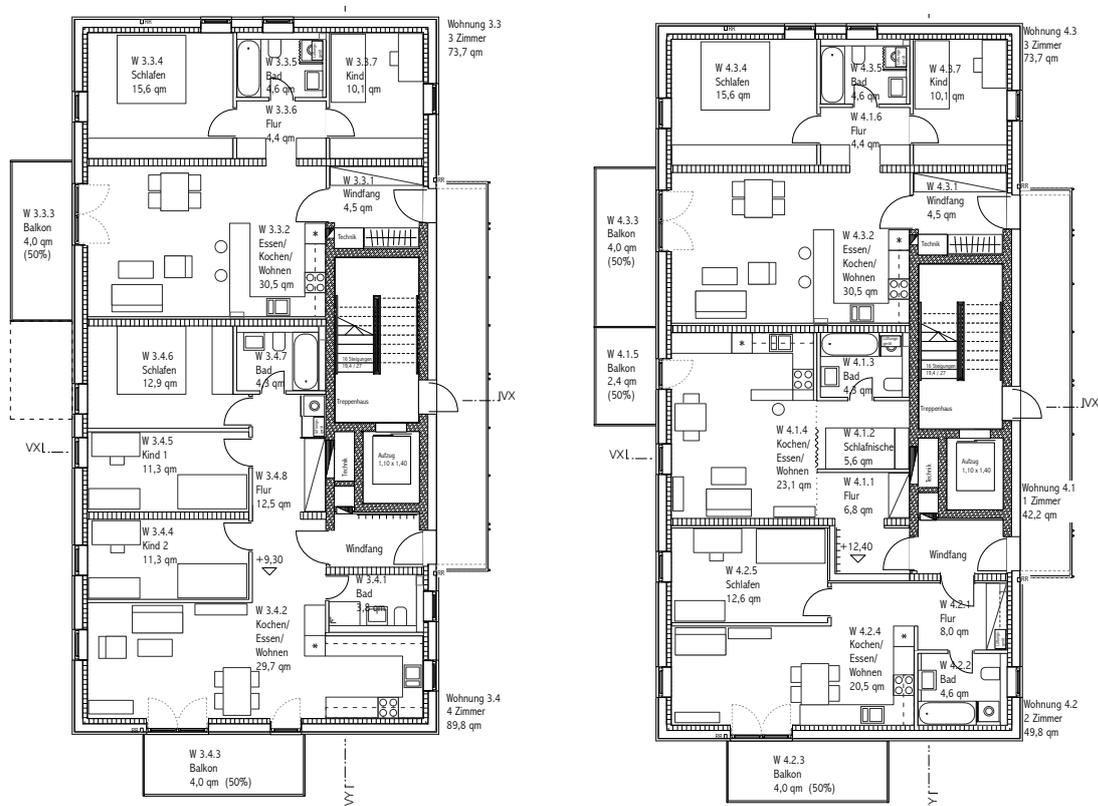


Abb. 27 Typengrundriss Wohnung 2-Spänner / 3-Spänner

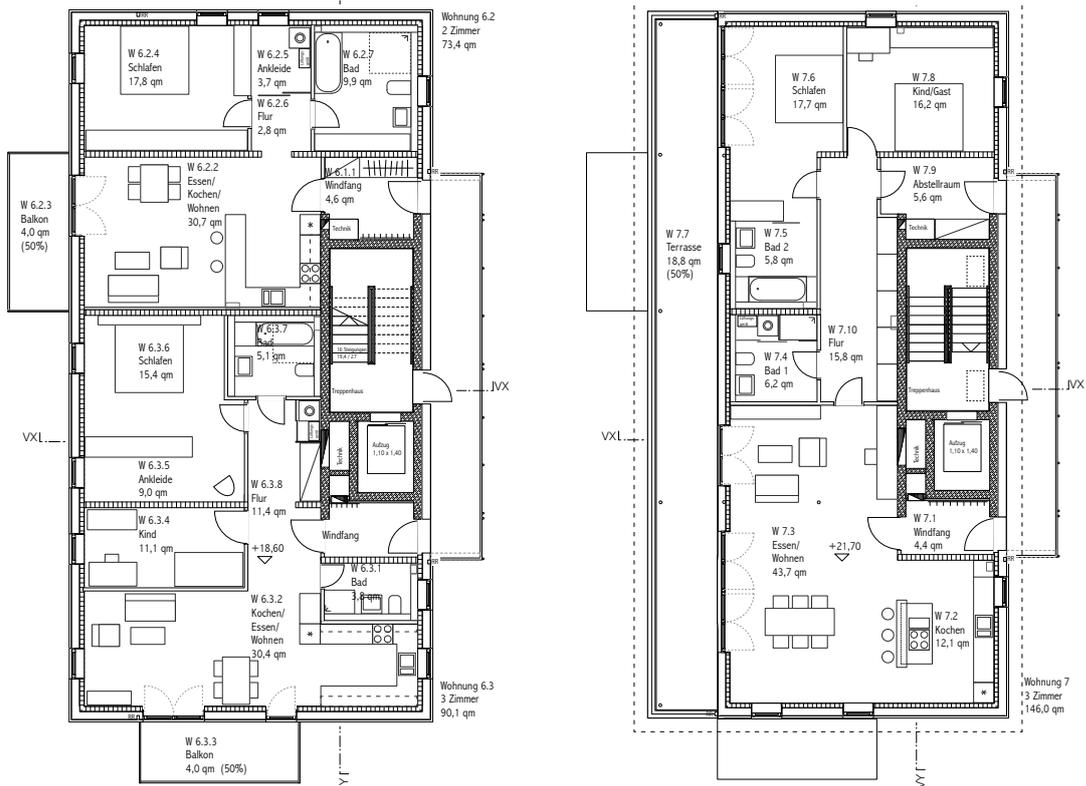


Abb. 28 Typengrundriss Wohnung 2-Spänner rollstuhlgerecht / Penthouse

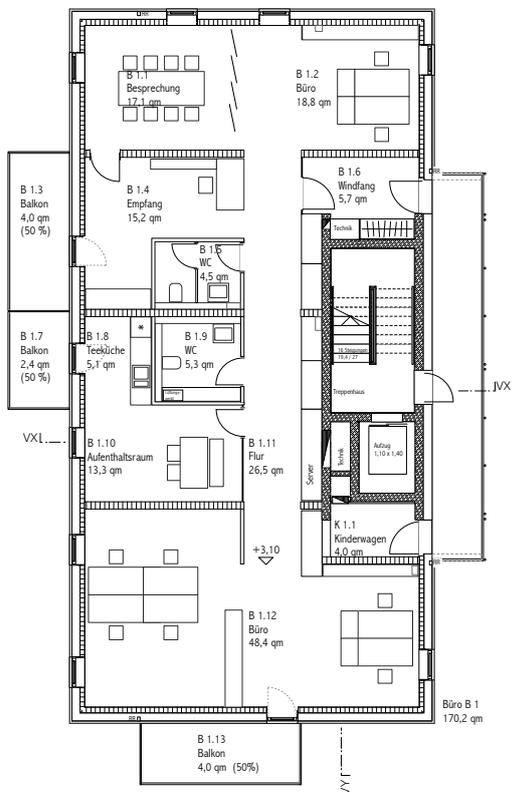


Abb. 29 Typengrundriss Büro

Die tragenden Wände bleiben von allen Grundrissvarianten unberührt und sind in allen Geschossen gleich. Die unterschiedlichen Grundrisse werden dann allein durch den Ausbau hergestellt. So können auch zu einem sehr späten Zeitpunkt Umplanungen vorgenommen werden und auch ein späterer Umbau wird ermöglicht. Einzig durch die vorher definierte Lage der Fenster und der Installationsschächte bestehen Einschränkungen.

3.3 Gestaltungskonzept des achtgeschossigen Gebäudes

Ein bestimmender Aspekt des Gestaltungskonzeptes für das achtgeschossige Gebäude war es, wie schon beim Viergeschossiger, den wesentlichen Baustoff des Gebäudes zu zeigen.

So konnten Konzepte entwickelt werden, die es auch beim achtgeschossigen Gebäude erlauben, im Innenraum die Holzoberflächen der Decken teilweise sichtbar zu lassen (siehe Abschnitt Brandschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze).

Zudem wurde die Fassadenbekleidung in Holz geplant, was brandtechnisch mit den gleichen Maßnahmen wie beim viergeschossigen Gebäude möglich gemacht wurde. Da ein häufiger Wunsch von Investoren jedoch auch die Ausführung von Putzoberflächen ist, die außerdem auch wirtschaftliche Vorteile aufweisen, wurden auch große Teile des Gebäudes mit Putz belegt, nämlich die Fassade des Treppenhauses, die Flächen unter den Balkonen, das Erdgeschoss und die Westfassade des Penthouses.

Damit wurde gleichzeitig auch für eine gleichmäßige Verwitterung der Holzoberflächen gesorgt, da sie sich nur in Bereichen ohne Überdachung befinden und somit gleichmäßig dem Regen ausgesetzt sind. Unschöne Verläufe der Holzfarbe, die sonst unweigerlich entstehen, sollen so vermieden werden.

Während die Holzoberflächen beim viergeschossigen Gebäude noch farblos lasiert wurden, wurde beim achtgeschossigen Gebäude ein farbiger Anstrich der Fassade vorgesehen: Es konnte ein Anstrich ausfindig gemacht werden, der eine Garantie von 10 Jahren für die Anwendung auf sägerauhem Holz besitzt und somit einen geringen Renovierungsaufwand garantiert. Obwohl die Beschichtung dafür deckend sein muss, bleibt das Holz als Material wahrnehmbar, da die Farbe metallische Partikel enthält, die die Struktur hervorbringen. Es können somit sichtbare Holzoberflächen an der Fassade ermöglicht werden, deren Wartungsintervalle ähnlich sind wie bei anderen Fassadenbekleidungen.



Abb. 30 Holzschalung mit deckender Beschichtung

Ein weiterer Aspekt der Fassadengestaltung war die Ausführung der horizontalen Stoßfugen der Wände. Beim viergeschossigen Gebäude wurde wie oben erwähnt der Bereich der Deckenstirn erst auf der Baustelle geschlossen und zeichnete sich als eigene Zone in der Fassade ab. Da dies einen erhöhten Montageaufwand bedeutete wurde für das achtgeschossige Gebäude ein Detail

entwickelt, dass es technisch ermöglichte, hier mit nur sehr geringem Aufwand auf der Baustelle auszukommen. Gestalterisch führte dies dazu, dass die Stoßfuge nur in Form des brandtechnisch erforderlichen Blechs in Erscheinung tritt und eine geschosshohe Schalung aus vertikalen Holzbrettern ausgeführt werden konnte.

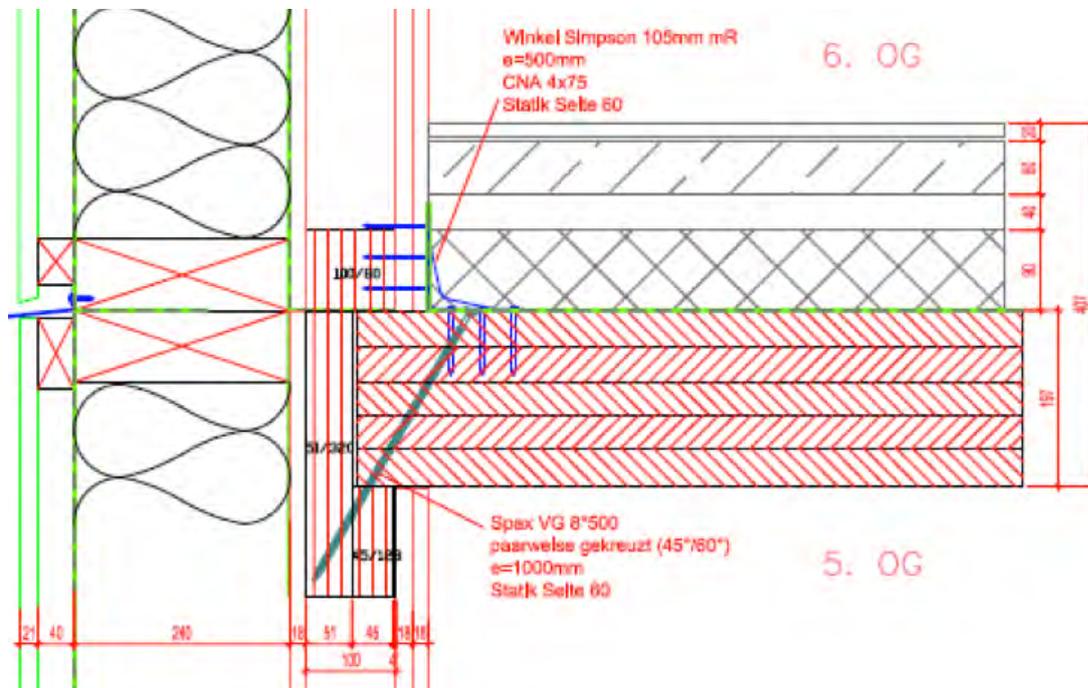


Abb. 31 Geschossweise Ausbildung der horizontalen Stoßfuge der Wände

Für die Balkone sollte eine andere Variante als beim viergeschossigen Gebäude getestet werden: Die dort verwendeten Holzbalkone hatten zwar den Vorteil, dass sie geschossweise unabhängig angeordnet werden konnten, wiesen aber aufgrund des erhöhten Komforts mit Dach und Seitenteilen auch wirtschaftliche Nachteile auf.

Für das achtgeschossige Gebäude wurde ein System mit übereinandergestellten Stahlbalkonen entwickelt: Geschossweise kann der gesamte Balkon in der Werkstatt vormontiert werden, die Montage erfolgt dann jeweils durch Aufstellen auf den darunterliegenden Balkon und Rückverankerung der Stützen-Kopfpunkte in der Decke. Aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades und der geringen Wärmebrücken an den Befestigungspunkten fügt sich das Balkonsystem sehr gut in das Gesamtkonzept ein.



Abb. 32 Stahlbalkone

Farbige Stäbe als Geländerausfachung der Balkone, die sich auch auf die Fassade erstrecken, verleihen dem Gebäude ein markantes Aussehen, was für die Wahrnehmung des Gebäudes ein nicht unwichtiger Aspekt ist.

3.4 Tragwerk und Statik - Problemstellungen und Lösungsansätze

Wie oben erwähnt sollte das Treppenhaus des Gebäudes aus Stahlbeton ausgeführt werden. Aufgrund der auftretenden Beanspruchungen aus Wind zur Gebäudeaussteifung war dies erforderlich, um zum Einen die Holzquerschnitte in wirtschaftlichen Abmessungen herstellen und zum Anderen eine hohe Flexibilität in der Grundrissgestaltung gewährleisten zu können.

Die Aussteifungskräfte, die auf die tragenden Wände wirken, wurden auf diese Weise minimiert, so dass hier auf die aufwendigen Stahlteile in den Außenwänden verzichtet werden konnte. Stattdessen ist die vereinzelte Anbringungen von Zugstangen, die in entsprechend Bohrungen in den Wänden eingeschoben und geschossweise gekoppelt werden ausreichend.

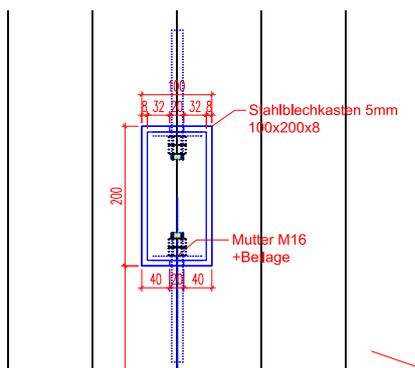


Abb. 33 Detail zur Kopplung der Zugstangen in den Wänden

Die Kombination der unterschiedlichen Materialien Holz und Beton birgt jedoch auch konstruktive Problemstellungen dadurch, dass beide ein sehr unterschiedliches Verformungsverhalten aufweisen. Diese Eigenschaften können sich insbesondere in den Anschlusspunkten der Elemente aus Holz und Stahlbeton auswirken. Zur Einschätzung dieses Einflusses ist es erforderlich, das

genaue Verformungsverhalten der Holzbauteile bei bis zu achtgeschossigen Gebäuden zu kennen. Die Gesamtverformung über die Gebäudehöhe setzt sich dabei aus der Verformung der einzelnen Bauteile selbst, der Verformung in den Anschlussbereichen sowie den Stauchungen von Fugen zwischen den Bauteilen zusammen. Über diese Verformungen gibt es in bislang wenig Erkenntnisse aus der Fachliteratur sowie weiteren Untersuchungen. Zur Überprüfung des Verformungsverhaltens wurden Materialprüfamt der Technischen Universität München Belastungsversuche an Prüfkörpern in Bauteilgröße durchgeführt, die für die Ausführung der Anschlüsse des achtgeschossigen Gebäudes geplant wurden. Die Prüfkörper bestanden aus Anschlusskonstruktionen der Wände mit den Decken. Es wurden sowohl Innen- als auch Außenwandanschlüsse überprüft. Bei Prüfkörper 1 handelte es sich um die Modellierung eines Stoßes der Außenwand. Bei Prüfkörper 2 wurde ein Stoß der Innenwand untersucht. Zur Begrenzung der Querpressung des Holzes und der Verformungen im Anschlussbereich wurde die Decke entlang des Auflagers mit zylinderförmigen Aussparungen ausgestattet, die anschließend mit Beton ausgefüllt wurden. Die Prüfkörper wurden mit kontinuierlich gesteigerten Vertikalbelastungen bis zur der für den Wandstoß zu erwartenden Maximalbeanspruchung belastet. Die Beanspruchung erfolgte in Anlehnung an die Belastungsrampe zur Überprüfung des Trag- und Verformungsverhaltens von Verbindungen nach DIN EN 26891:1991 07 „Holzbauwerke; Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln; Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens“.

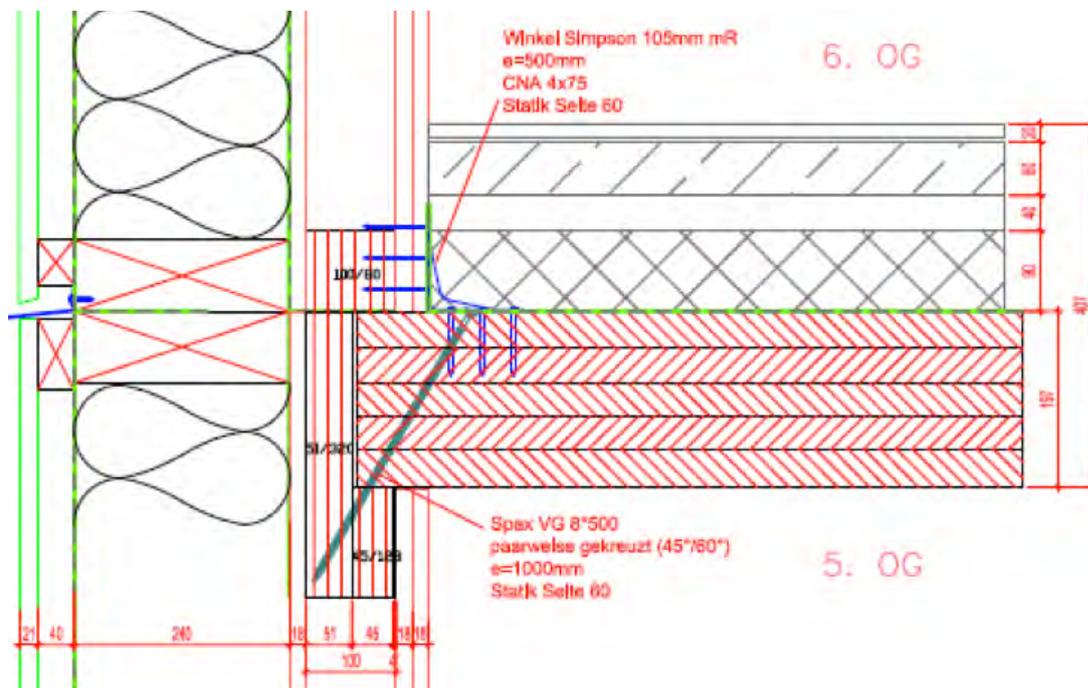


Abb. 34 Setzungsversuch mit Prüfkörper des Anschlusses Außenwand/Decke

Zu Beginn der Versuche wurden zunächst die Beanspruchungen aus den Eigenlasten des Rohbaus stufenweise aufgebracht. Die Lastaufbringung für ein Geschoss erfolgte dabei über einen Zeitraum von 180 s. Nach einer Haltezeit von 300 s wurde die nächste Laststufe für die Simulation eines weiteren Geschosses aufgebracht. Nach Steigerung der Beanspruchung auf das maximale Eigenlastniveau aus allen Geschossen wurde die Beanspruchung auf das Lastniveau inklusive sämtlicher Ausbaulasten gesteigert. Als höchste Laststufe wurde im folgenden das maximale Traglastniveau aufgebracht und wiederum für 300 s gehalten. Abschließend wurde auf die quasi-ständige Gebrauchslast zurück-gefahren. Diese wurde gemäß DIN 1052:2008-12 mit den vollen Eigenlasten und 30% der maximalen Nutzlasten angesetzt. An den beiden Prüfkörpern wurden

insgesamt sechs Wegaufnehmer angeordnet, um sowohl die Verformungen einzelner Bereiche zu messen als auch Mittelwerte des Formänderungsverhaltens zu ermitteln. Die Messaufnehmer 1 bis 4 wurden jeweils direkt im oberen Massivholzelement befestigt und durch die Brettsper Holzdecke mittels Bohrung auf das untere Massivholzelement geführt. Durch entsprechende Bohrungen in der Beplankung wurde sichergestellt, dass keine Beeinflussung der Messergebnisse durch die aufbrachte Gipsfaserbekleidung stattfinden konnte. Zu beiden Prüfkörperseiten wurden jeweils Verformungsmessungen zwischen Furnierschichtholz-Schwelle und dem darunterliegenden Furnierschichtholz-Rähm vorgenommen (Messaufnehmer 5 und 6).

Bei den vorgenommenen Lastversuchen konnte für die beiden Prüfkörper ein unterschiedliches Lastverformungsverhalten festgestellt werden. Dabei ergibt sich für Prüfkörper 1 (Außenwandstoß) ein deutlich nichtlinearer Verlauf, welcher sich dadurch auszeichnet, dass bereits bei geringen Lasten deutliche Verformungen auftreten. Bei den zugehörigen Last-Dehnungskurven ist zudem zu erkennen, dass bis zu einer Last von ca. 40 kN deutliche Unterschiede in den Messungen der einzelnen Wegaufnehmer zu erkennen sind. Teilweise wurden negative Stauchungen gemessen. Dieses Verhalten, welches bei geringen Laststufen auftritt, deutet darauf hin, dass aufgrund des in Querrichtung unsymmetrischen Aufbaus des Deckenstoßes sich anfänglich leichte Schiefstellungen einstellen bzw. vorhandene Schiefstellungen sich ausmitteln, bis sich ein Lastgleichgewicht einstellen kann. Bei zunehmenden Lasten werden die bezogenen Verformungen geringer. Es stellt sich ein nahezu lineares Last-Verformungsverhalten ein. Zudem kann festgestellt werden, dass bei höheren Lasten die einzelnen Wegaufnehmer eine deutlich größere Übereinstimmung im Diagramm der Kraft-Verformungslinie aufweisen. Die entsprechenden Werte sind in folgender Abbildung zusammenfassend dargestellt.

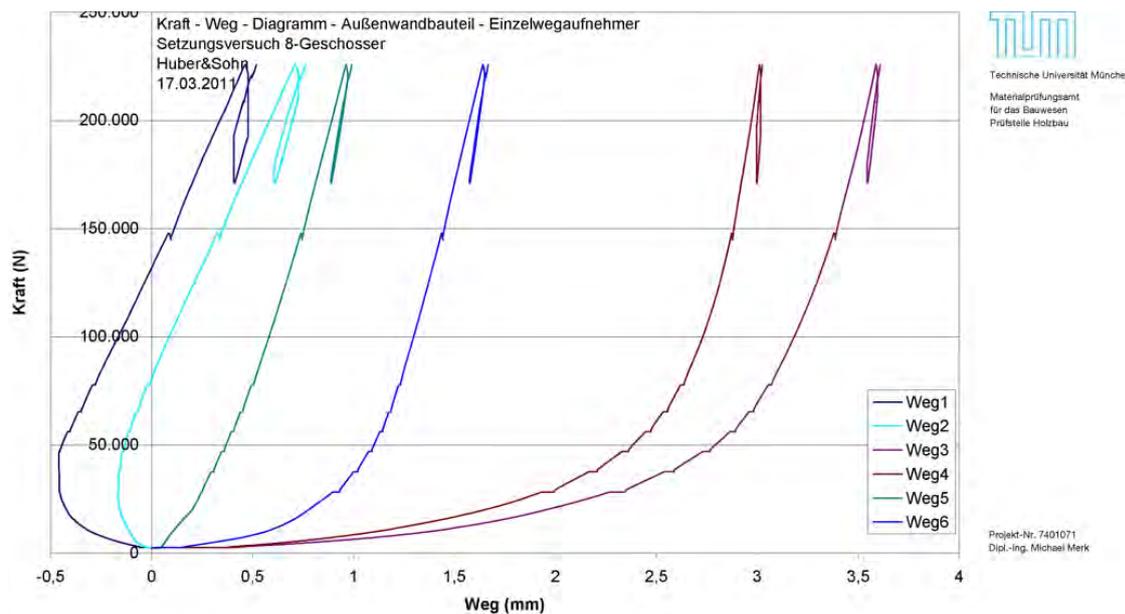


Abb. 35 Kraft-Weg-Diagramm für Anschluss Decke/Außenwand - einzelne Wegaufnehmer

Das Last-Verformungsverhalten stellt sich für höhere Lasten somit für alle Anschlussarten gleich dar und entspricht dem zu erwartenden Spannungs-Dehnungsverhalten der eingesetzten Werkstoffe. Bei Verringerung der Beanspruchung auf die quasi ständige Gebrauchslast und anschließend erneuter Laststeigerung auf das maximale Traglastniveau konnte zudem ein nahezu elastisches Werkstoffverhalten festgestellt werden. Dies legt die Schlussfolgerung nahe, dass sich bereits alle plastischen Verformungen der Anschlussbereiche und Stauchungen in den Bauteilfugen bei geringem Lastniveau einstellen. Die Eigenlasten welche bereits in der Rohbauphase auf

die Außenwandkonstruktion aufgebracht werden sind somit ausreichend, um Stauchungen in den Bauteilfugen und mögliche plastische Verformungen in den Anschlüssen auszulösen. Das für größere Laststufen zunehmende linear elastische Verformungsverhalten kann durch die derzeit zur Verfügung stehenden Rechenmodelle hinreichend genau erfasst werden. Für das Verformungsverhalten der Außenwand kann somit eine realitätsnahe Abschätzung der auftretenden vertikalen Verformungen bereits in der Planungsphase erfolgen.

Für den Prüfkörper 2 (Deckenanschluss an Innenwand) konnte innerhalb der Versuche ein deutlich abweichendes Verformungsverhalten im Vergleich zum Außenwandstoß festgestellt werden. Im Gegensatz zu Prüfkörper 1 trat bereits bei geringen Belastungen zunächst ein lineares Last-Verformungsverhalten auf. Das Kraft-Weg Diagramm zeigt, dass analog zu Prüfkörper 1 mit zunehmender Beanspruchung ein steiferes Materialverhalten auftritt, wenn auch deutlich weniger ausgeprägt. Dies legt die Annahme nahe, dass sich Stauchungen in den Bauteilfugen ebenfalls schon bei geringeren Lasten einstellen. Nach Aufbringen der Ausbaulast und anschließender Laststeigerung auf das maximale Traglastniveau konnte jedoch eine leichte Abflachung der Kraft-Dehnungslinie der einzelnen Wegaufnehmer festgestellt werden, was auf einen stärkeren Einfluss von visko-elastischen Verformungen hindeutet. Nach Aufbringung der maximalen Einwirkungen auf den Probekörper wurde das Lastniveau auf die quasi ständige Gebrauchslast zurückgefahren. Dabei kann deutlich erkannt werden, dass der Entlastungsast deutlich abfällt. In Abbildung 3 sind die gemessenen Werte der Verformungen dazu graphisch dargestellt. Der steilere Verlauf des Entlastungsastes, lässt darauf schließen, dass die Verformungen bei hoher Traglast überwiegend plastischen Charakter besitzen. Dies schließt auch den quasi ständigen Lastzustand mit ein. Der Einfluss des elastischen Materialverhaltens tritt hier in den Hintergrund.

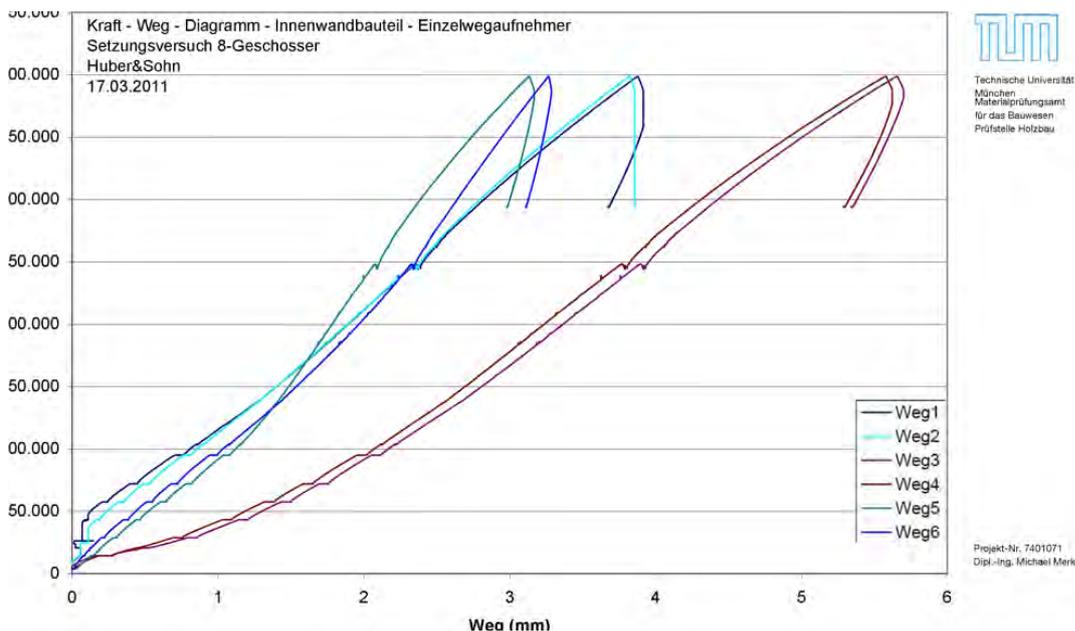


Abb. 36 Kraft-Weg-Diagramm Innenwandbauteil - einzelne Wegaufnehmer

Die Ursachen für dieses Last-Verformungs-Verhalten des Prüfkörpers für den Anschluss der Innenwand können mit dem vorliegenden Datensatz nicht abschließend belegt werden. Als mögliche Ursache kann ein Einhängeneffekt der Schwelle bzw. des Rähmes zwischen den zylinderförmigen Betonstempeln genannt werden. Ein Anteil von kurzzeitig lastabhängigen plastischen Verformungen des visko-elastischen Baustoffes Beton an dem beobachteten Verformungsverhalten kann nicht ausgeschlossen werden. Der Anteil von plastischen Verformungen bei kurzzeitigen Belastungen von Beton wird im allgemeinen jedoch als gering bewertet. Aufgrund des großen

Anteils plastischer Verformungen an den Gesamtverformungen unter Gebrauchslastniveau ist eine rechnerische Erfassung und damit mögliche Vorhersagesicherheit nur in begrenztem Umfang möglich. Für diesen Typ eines Wand-Deckenstoßes werden daher weitergehende Untersuchungen empfohlen.

3.5 Schallschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze

Hinsichtlich des Schallschutzes konnte im Wesentlichen auf die für das viergeschossige Gebäude entwickelten Lösungen zurückgegriffen werden, da die Bauteilaufbauten nahezu identisch sind.

Im Bereich der Wohnungstrennwand, wo mit der zweischaligen Konstruktion beim Viergeschossiger gemessene Werte von $R'w = 66$ dB erreicht wurden, wurde nun eine einfachere, kostengünstigere Konstruktion mit folgendem Aufbau gewählt, mit der die geforderten Werte von $R'w = 56$ dB ebenfalls erreicht werden:

- 2x18 mm Gipsfaserplatten, $m' = 40$ kg/m²
- 100-140mm Massivholzwand (Nadelholz), $m' = 45$ kg/m²
- 2x18 mm Gipsfaserplatten, $m' = 40$ kg/m²
- 43 mm CW-Profil mit Direktschwing-Abhängung; 40mm Dämmung Mineralwolle
- 12,5 mm Schallschutz-Gipskartonplatte $m' = 17,5$ kg/m²

Eine Sonderlösung erforderte die Dachterrasse, bei der der gleiche Trittschallschutz wie bei den Decken hergestellt werden musste: Als Dämmstoff wurde hier eine Vakuumdämmung mit aufgeschichtetem Polystyrol-Dämmschicht verwendet, damit nicht mehr als eine Stufe zum Austreten auf die Terrasse erforderlich wird. Betonplatten im Sandbett ersetzen die Schüttung, da hier in dieser Schicht die Verlegbarkeit von Leitungen nicht nötig war. Die Stahlkonstruktion der Terrasse selbst wird nur über Sylomerlager schallentkoppelt an der Außenwand befestigt, eine schadensanfällige Durchdringung der Dachbahn kann auf diese Weise vermieden werden.

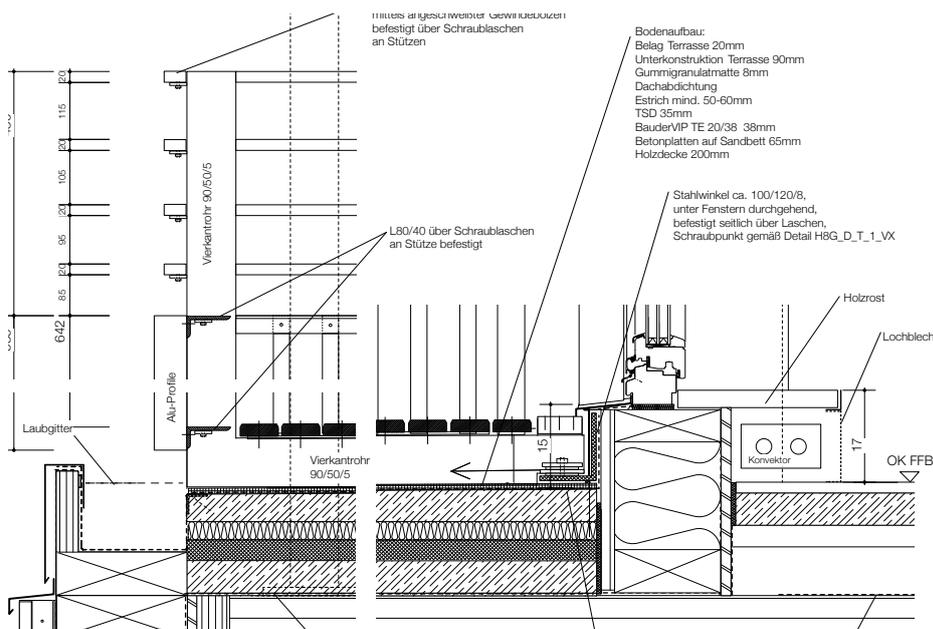


Abb. 37 Aufbau Dachterrasse

3.6 Brandschutz - Problemstellungen und Lösungsansätze

Im Rahmen der Weiterentwicklung der aus den vier- und fünfgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise abgeleiteten Erkenntnisse wurden Lösungen für bis zu achtgeschossige Objekte für Wohn- und Bürogebäude entwickelt. Im ersten achtgeschossigen Gebäude konnten ebenfalls Teilbereiche der Decken mit sichtbaren Holzunterseiten verbleiben. Dies ist zum Beispiel in den Wohnzimmern möglich. Küchen und Abstellräume sowie Räume, die selten oder überwiegend zum Schlafen begangen werden, mit einer unterseitigen brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung der Klassifizierung $K_{2,60}$ nach DIN EN 13501-2 ausgestattet wurden.

Eine Problemstellung bei teilgekapselten Oberflächen liegt in der Entwicklung von Lösungen zur Behinderung eines Einbrandes in die Konstruktion am Anschluss Wand/Decke. Bei Anschlüssen, bei denen sowohl die Wände als auch die Decken gekapselt ausgebildet werden, wird die Fuge vollflächig verspachtelt. Je nach Art der nichtbrennbaren Bekleidung ist darüber hinaus die Ausbildung eines Fugenversatzes der zweilagigen Gipsplattenbekleidung erforderlich. Durch diese Maßnahme ist der Anschluss in gleicher Weise wie die Wand- und Deckenflächen vor einem Einbrand über mindestens 60 Minuten wirksam geschützt. Bei Ausführung von sichtbaren Holzunterseiten der Decken werden diese stumpf auf den Wänden gestoßen. An diesem Übergang kann im Brandfall ein Einbrennen in die Konstruktion erfolgen. Insbesondere bei raumabschließenden Wänden, wie sie zwischen Wohnungen oder Büronutzungseinheiten erforderlich sind, ist dieser Einbrand wirksam zu behindern, um einen Brandübertrag in die benachbarte Nutzungseinheit auszuschließen. Zur Lösung dieses Problems wurden unterschiedliche Detailausführungen entwickelt. Eine mögliche Variante besteht im Einlegen einer Brandschutzdichtschnur in die erste Lage der Gipsplatte am Kopfpunktanschluss zwischen Wand und Decke.

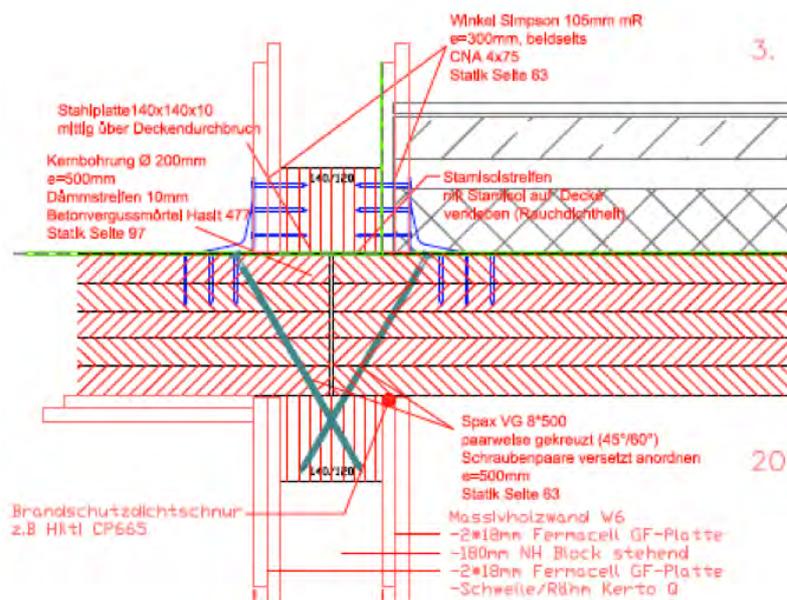


Abb. 38 Anschluss raumabschließende Wand / Decke mit Brandschutzdichtschnur

Eine weitere Alternative besteht darin, die erste Lage Gipsplatten stufenförmig abzusetzen und im Übergang zwischen der Wand und der Decke einen Dämmstreifen aus Steinwolle mit einem Schmelzpunkt von mindestens 1000°C mit Übermaß einzulegen. Beim Auflegen der Decke wird dieser in der Art komprimiert, dass die Fuge dicht schließt und somit ein Einbrand in die Konstruktion wirksam behindert wird.

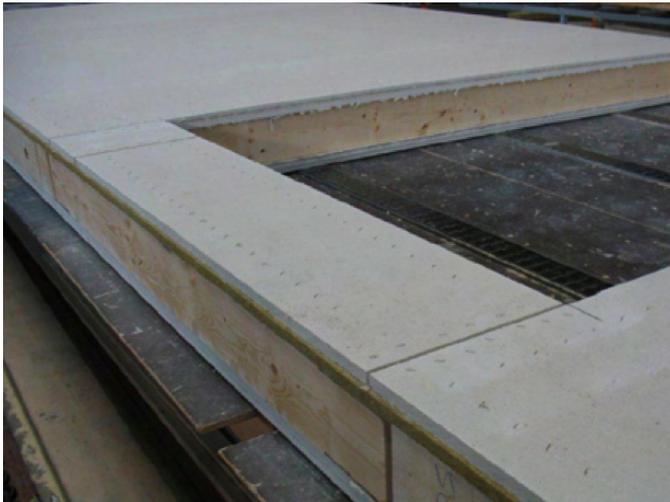


Abb. 39 Anschluss raumabschließenden Wand / Decke mit Steinwolledämmstreifen

Aufgrund der Erkenntnisse bei den Nebeltests beim viergeschossigen Gebäude wurde die Konstruktion des achtgeschossigen Gebäudes hinsichtlich des Rauchschutzes optimiert. Es wurde hierzu nach der Montage der Deckenelemente eines Geschosses vollflächig eine Unterspannbahn aufgebracht und an den Stößen verklebt, so dass sie eine durchgehende rauchdichte Ebene darstellt, die auch nicht durch Wände unterbrochen wird. Zudem bietet diese bei der Montage eine zusätzliche Sicherheit bei unbeständiger Witterung, da sie jedes einzelne Geschoss auch vor Durchfeuchtung bei Regen schützt.

3.7 Fertigung und Montage

Vor dem Holzbau selbst wurde der Treppenkern in Stahlbeton hergestellt: Hierfür wurden zunächst großformatige, winkel- und ringförmige Fertigteile mit Höhe 1,5m sowie die Treppenläufe im Werk produziert. Beinahe alle sichtbaren Oberflächen der Fertigteile waren dabei schalungsglatt, so dass hier nachträglich nur noch ein Anstrich und kein Putz mehr nötig war.



Abb. 40 Montage Betonkern

Die Montage des Treppenkerns einschließlich Aufzugschacht und Laubengang erfolgte dann mittels Autokran innerhalb von drei Wochen. Anschließend konnte mit der Montage des Holzbaus begonnen werden. Die Produktion der vorgefertigten Elemente des Holzbaus verlief im Wesentlichen wie beim viergeschossigen Gebäude. Innerhalb von drei Wochen erfolgte dann die Montage.



Abb. 41 Montage Holzbau

Schließlich wurden noch die Stahlbalkone, Laubenganggeländer und Geländer der Dachterrasse montiert. Aufgrund der hohen Flexibilität der Grundrisse war es möglich, den nutzungsabhängigen Innenausbau erst auszuführen, nachdem die einzelnen Geschosse als Wohnungen bzw. Büros vermietet wurden.

C. Fazit

Im Rahmen des Projektes wurden Lösungen für den mehrgeschossigen Holzbau entwickelt, mit denen es zukünftig möglich sein wird, unter Beachtung statischer, konstruktiver, bauphysikalischer und fertigungstechnischer Aspekte mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise effizienter als bisher auszuführen. Hierzu zählt insbesondere die Entwicklung von Detaillösungen für vier- bis achtgeschossige Wohn- und Bürogebäude in Massivholzbauweise. So wird es möglich sein, bei bis zu vier- und fünfgeschossigen Gebäuden die Decken vollständig mit sichtbaren Holzoberflächen belassen zu können. Bei bis zu achtgeschossigen Gebäuden ist eine Ausstattung mit sichtbaren Holzunterseiten der Decken mindestens in den Wohnräumen möglich. Voraussetzung ist die sichere Ausbildung der Konstruktionen insbesondere im Hinblick auf die Verhinderung eines Einbrandes in die Konstruktion sowie einer Weiterleitung von Brand und Rauch über raumabschließende Bauteile hinweg. Zu dieser Problemstellung konnten praxisgerechte Lösungen entwickelt und fertigungs- und ausführungstechnisch erprobt und dokumentiert werden.

Darüber hinaus wurden Lösungen für statische Problemstellungen wie beispielsweise der Aufnahme und Weiterleitung der Querpressungsbeanspruchung des Holzes im Anschlussbereich Wand/Decke entwickelt.

Alle im Rahmen des Projektes entwickelten Lösungen wurden sowohl an einem viergeschossigen als auch an dem ersten in Deutschland geplanten und errichteten achtgeschossigen Wohn- und Bürogebäude in Holzbauweise erarbeitet und umgesetzt. Um für weitere Planungen mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise abgesicherte Erkenntnisse zu erhalten, aus denen sich praxisgerechte und wirtschaftliche Standardlösungen entwickeln lassen, ist ein weiterführendes Monitoring beider Objekte erforderlich. Hier sind insbesondere die Setzungen und Verformungen zu beobachten und zu dokumentieren.

Darüber hinaus gilt es aufgrund der mit den beiden genannten Projekten gewonnenen Erkenntnisse aus der Planung und Bauausführung Detailanschlüsse hinsichtlich der Erfüllung statischer, bauphysikalischer, brandschutztechnischer und schalltechnischer Eigenschaften zu serienreifen Ausführungen weiter zu entwickeln. Hierzu zählen beispielsweise:

- Wand- und Deckenanschlüsse hinsichtlich des Raumabschlusses in Bezug auf eine mögliche Brand- und Rauchweiterleitung
- Ausbildung von Anschlussdetails zur Verbindung von Bauteilen unterschiedlicher Materialien mit unterschiedlichem Verformungs- und Setzungsverhalten, wie beispielsweise am Übergang von Stahlbetontreppenträumen und Holzbauteilen

Im Hinblick auf mögliche Brandereignisse sind Fragestellungen zu klären, wie beispielsweise nicht gekapselte Decken nach einem Brandereignis saniert werden können. Darüber hinaus sind weiterführende Betrachtungen hinsichtlich möglicher Schäden an Holzbauteilen durch Löschwasser durchzuführen. Im Hinblick auf die Einstufung von mehrgeschossigen Holzgebäuden im Vergleich zu konventionellen Bauweisen wie dem Stahlbeton- und Mauerwerksbau sind Abstimmungen mit den Gebäudeversicherern erforderlich.

Zur Gewährleistung einer höheren Flexibilität der Grundrisse wird eine weitere Optimierung der Deckensysteme erforderlich sein. Hierbei sind insbesondere die Eigenschaften im Hinblick auf das Schwingungsverhalten der Decken sowie deren Schallschutzeigenschaften in den Fokus der Untersuchungen zu stellen. Anhand der gebauten Beispiele wird es möglich sein, durch ein gezieltes Monitoring und eine Durchführung von Schall- und Schwingungsmessungen weiterführende Erkenntnisse zu erhalten aus denen sich optimierte Lösungen entwickeln lassen.

Hinsichtlich der Ökologie des Bausystems lässt sich folgendes feststellen:

Typische Werte der sogenannten Grauen Energie für Gebäude liegen zwischen 1500 MJ und 5000 MJ je m² Geschossfläche (laut Merkblatt des SIA in der Schweiz: SIA 2032 – „Graue Energie im Fokus“), also zwischen 0,4 MWh und 1,2 MWh je m². Bei Gebäuden die zu einem großen Teil

aus Holz bestehen kann davon ausgegangen werden, das hier eher die untere Grenze anzusetzen ist. Umgerechnet auf eine Lebensdauer von 60 Jahren sind das 7 - 20 kWh/m²a, was in etwa dem Heizenergiebedarf von effizienten Bauten entspricht. Das realisierte achtgeschossige Gebäude besitzt beispielsweise einen Heizenergiebedarf von 18kWh/m²a.

Der Vergleich macht deutlich, dass der Energieverbrauch für die Herstellung der Baustoffe, die Erstellung des Gebäudes sowie für den späteren Rückbau und die Entsorgung keineswegs eine vernachlässigbare Größe für die ökologische Bilanz des Gebäudes darstellt.

Während bei Gebäuden mit konventioneller Beton/Ziegel-Bauweise auch die Entsorgung der Baustoffe nach dem Rückbau Energie erfordert, kann aus dem Abbruchmaterial der Gebäude in Holzbauweise Energie gewonnen werden:

Beim viergeschossigen Gebäude wurden 250 m³ Holz mit einem Brennwert von ca. 550 MWh verbaut, beim achtgeschossigen in etwa 750 m³ mit einem Brennwert von 1650 MWh. Umgerechnet auf die Geschossfläche sind dies jeweils ca. 1 MWh/m², die bei der späteren energetischen Verwertung des Holzes frei werden. Es kann somit mindestens die Energie für die Errichtung eines weiteren Gebäudes gewonnen werden bzw. die Energie die zur Beheizung des Gebäudes über seine gesamte Lebensdauer benötigt wird.