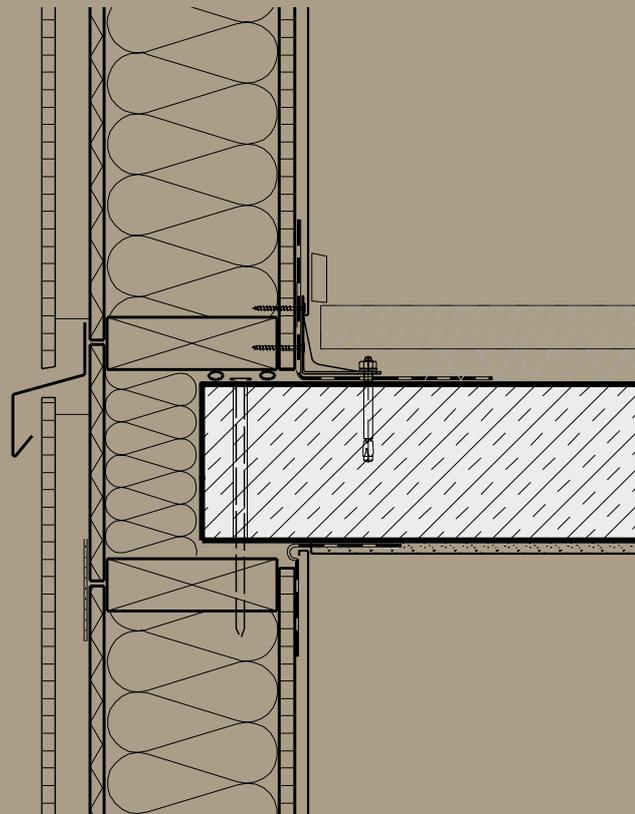




Holzkonstruktionen in Mischbauweise



Inhalt

Seite 4	_ Editorial	Seite 17	2.1.4 _ Mischung von Bauteilen
6	1 _ Einführung	18	2.2 _ Verbundbauteile
6	1.1 _ Mischbauweise	18	2.2.1 _ Materialkombination innerhalb eines Bauteils bei losem Materialverbund
6	1.2 _ Stand der Entwicklung	18	2.2.2 _ Kompositbauteile mit statisch wirksamem Verbund
6	1.2.1 _ Mischbauweise in Deutschland	19	3 _ Bautechnische Grundlagen
7	1.2.2 _ Mischbauweise in europä- ischen Nachbarländern	19	3.1 _ Wesentliche Baustoffe im Mischbau
8	1.3 _ Akzeptanz der Mischbauweise	19	3.2 _ Bautechnische Aspekte
8	1.4 _ Baurechtliche Bedingungen	19	3.2.1 _ Brandschutz
9	1.4.1 _ Brandschutz	21	3.2.2 _ Schallschutz
9	1.4.2 _ Schallschutz	22	3.2.3 _ Wärmeschutz
9	1.4.3 _ Wärmeschutz	23	3.2.4 _ Feuchteschutz
9	1.4.4 _ Holzschutz	23	3.2.5 _ Luft- und Winddichtheit
10	1.5 _ Einsatzpotenziale	24	3.2.6 _ Holzschutz
14	2 _ Formen der Mischbauweise	24	3.3. _ Bauteile
14	2.1 _ Kombination von Bau- und Gebäudeteilen	24	3.3.1 _ Bauteil Wand
14	2.1.1 _ Geschossweise Mischung	28	3.3.2 _ Bauteil Decke
15	2.1.2 _ Sektionale Mischung	29	3.3.3 _ Bauteil Dach
16	2.1.3 _ Trennung zwischen Trag- struktur und Gebäudehülle		

Impressum

Herausgeber:

HOLZABSATZFONDS
Absatzförderungsfonds der
deutschen Forst- und Holzwirtschaft
Godesberger Allee 142-148
D-53175 Bonn
02 28 / 30 83 8-0
02 28 / 30 83 8-30 Fax
info@holzabsatzfonds.de
www.holzabsatzfonds.de
V.i.S.d.P.: Ludger Dederich

Projektleitung / Konzeption:

Dipl.-Ing. (FH) Architekt Ludger Dederich
Dipl.-Ing. (FH) Jens Koch

Technische Anfragen an

Überregionale Fachberatung:
0 18 02 / 46 59 00 (0,06 Euro / Gespräch)
fachberatung@infoholz.de
www.informationsdienst-holz.de

Erscheinungsdatum

September 2006

Seite 30	4	_ Konstruktionen	Seite 60	5.5.1	_ Folgearbeiten außen
30	4.1	_ Kombination von Bau- und Gebäudeteilen	60	5.5.2	_ Folgearbeiten innen
32	4.1.1	_ Toleranzen	61	6	_ Wirtschaftliche Aspekte
33	4.1.2	_ Ausführungsvarianten	61	6.1	_ Herstellung
41	4.1.3	_ Schnittstellen zu nachfolgenden Gewerken	62	6.2	_ Betrieb
44	4.1.4	_ Schnittstellen zu den Gewerken der technischen Gebäudeausrüstung	63	6.3	_ Rückbau
46	4.2	_ Kompositbauteile	65	7	_ Ausblick
47	4.2.1	_ Prinzip und Tragverhalten	66	8	_ Ausgeführte Beispiele
49	4.2.2	_ Konstruktionsweisen	68	8.1	_ Wohnbebauung Martinstraße, Darmstadt
54	5	_ Transport und Montage	76	8.2	_ Bürogebäude Leipziger Straße, Erfurt
56	5.1	_ Montage vorgestellter, nicht tragender Holztafeln	84	8.3	_ Studentenwohnheim Burse, Wuppertal
57	5.2	_ Montage eingestellter, nicht tragender Holztafeln	94	8.4	_ Wohn- und Geschäftshaus, Arnberg
57	5.3	_ Montage tragender Holztafeln	102	8.5	_ Umweltbundesamt, Dessau
58	5.4	_ Geschossweise Herstellung von Massivbau und Holztafeln	112	9	_ Exemplarische Bemessung
60	5.5	_ Folgearbeiten	128	10	_ Literatur
			130	11	_ Bildnachweis

Bearbeitung

hwp – hullmann, willkomm & partner,
Hamburg
Dipl.-Ing. Barbara Bredenbals
Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Hullmann
Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Willkomm
Bauhaus-Universität Weimar,
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Rautenstrauch
Dipl.-Ing. Bettina Franke
Dipl.-Ing. Steffen Franke
Dr.-Ing. Steffen Lehmann

Für den Abschnitt „Holz-Beton-Verbund-
Bauweise zur Ertüchtigung im Bestand“
(Kapitel 4.2.2): Prof. Dr.-Ing Wolfgang Rug,
Eberswalde/Wittenberge

Für den Abschnitt
„Exemplarische Bemessung“ (Kapitel 9)
Dipl.-Ing. (FH) Cornelius Back, Lübeck

Fachredaktion

Fachagentur Holz, Düsseldorf
Dipl.-Ing. Architekt Martin Mohrmann
Dipl.-Ing. Architekt Arnim Seidel

Editorial

»Wir sind nun also auf der besten ausgerüstet, um, falls wir wirklich ernsthaft danach suchen wollen, Lösungen für den Plan des modernen Hauses finden zu können. Ich erinnere Sie an den „ohnmächtigen Plan“ des Steinhauses und an die Fortschritte, die wir mit dem Haus aus Eisen oder Eisenbeton erzielt haben:

Freier Grundriß, freie Fassade, unabhängiges Haus skelett, Fensterband oder Glaswand, Stützpfiler, Dachgarten; und im Innern ist das Haus mit „Schrankkästen“ ausgerüstet und befreit von sperrigen Möbeln. «

aus:

Le Corbusier, „Der Plan des modernen Hauses“, 1929

Massiv oder hölzern? Schwer oder leicht?

Schwarz oder Weiß?

Die oft beschworene „Reinheit“ der Konstruktion, die aus nur einem einzigen Baustoff besteht, ist Utopie. Wenn gebaut wird, wird gemischt!

Wenn wir beginnen, Bauwerke zu planen – vom Errichten soll an dieser Stelle noch gar nicht die Rede sein – denken wir in den unterschiedlichsten Materialien, gehen wir von der Kombination verschiedener Baustoffe aufgrund der jeweiligen Anforderungen und Materialeigenschaften aus. Die Frage „Schwarz oder Weiß?“ lässt sich nur in den seltensten Fällen eindeutig beantworten.

Betrachtet man die Kombination von Holzbau teilen mit massiven Bauteilen in der Umsetzung im größeren Maßstab, müssen wir feststellen, dass es von heute aus betrachtet gilt, verloren gegangene Optionen wieder zu erschließen. Selbst der Fachwerkbau stellt eine Mischung dar, die – regional bedingt in mannigfaltiger Variation – der Unterschiedlichkeit der verwendeten Baustoffe Rechnung trägt.

In der zweiten Hälfte der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts gab es hierzulande einen schüchtern zu nennenden Ansatz des Instituts für das Bauen mit Kunststoffen e.V. im Deutschen Architekten- und Ingenieurverband e.V., auf die Möglichkeiten und die Reize des kombinatorischen Umgangs von Baustoffen und Bauweisen hinzuweisen¹⁾. Im Vordergrund standen damals die Suche nach „neuen Wegen“ des Bauens sowie Aspekte der Weiterentwicklung des vorgefertigten Wohnungsbaus und der Verwendung von leichten Konstruktionen in Ergänzung massiver

Gebäudekerne. 1969 wurden im Rahmen einer Dokumentation entsprechende Beispiele aus den westeuropäischen Ländern zusammengetragen.

Damals fiel auf, dass die vorgestellten Konzepte in der Bundesrepublik nicht umzusetzen waren, da mit den geltenden Anforderungen an den Brandschutz wesentliche baurechtliche wie technische Hürden nicht zu nehmen waren.

Diese Situation hatte sich im Wesentlichen bis in die jüngste Vergangenheit hinein nicht verändert. Das Prinzip der Mischung – nicht zu verwechseln mit der Kombination im Detail – kam von Ausnahmen, die im weiteren Verlauf dieses Werk dargestellt sind, nicht zur Umsetzung²⁾.

Neben der Weiterentwicklung hinsichtlich der Komponenten für den Holzbau (Vollholzprodukte, Holzwerkstoffe usw.) wie die fortschreitende technische Unterstützung zur Planung (CAD u.ä.) und zur Ausführung des Holzbaus (CNC-gestützter Abbund, Vorfertigung und dergleichen) ermöglichte in der Folge der Ölkrise in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts die kontinuierliche Fortschreibung der Anforderungen an den Wärmeschutzstandard von Gebäudehüllen dem Holzbau neue Einsatzgebiete. Daraus resultiert, dass sich im Wettbewerb der Bauweisen für die mineralischen Systeme insbesondere im Hinblick auf wirtschaftliche Lösungen Grenzen abzeichnen, während parallel dazu mit der Novellierung der Muster-Bauordnung [MBO] in der Fassung vom November 2002 in Verbindung mit der Veröffentlichung der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise [M-HFH HolzR] im Juli 2004 der Verwendung von

Holzbauteilen in der Gebäudehülle im Geschossbau neue Einsatzfelder eröffnet wurden – im Neubau wie im Bestand.

Dabei gilt weiterhin, dass die Mischbauweise unter besonderer Berücksichtigung von vorgefertigten, hochwärmedämmten Holzbauteilen in der Gebäudehülle in der Bundesrepublik einen deutlichen Vorsprung seiner europäischen Nachbarn aufzuholen hat. In Skandinavien, aber auch in der Schweiz und in Österreich werden Großbauvorhaben z.B. des Wohnungsbaus fast mit schöner Regelmäßigkeit in Mischbauweise umgesetzt, sondern erfahren zudem – wie etwa in Wien – besondere öffentlich-administrative Unterstützung, von der das Bauen mit Holz hierzulande einstweilen nur zu hoffen wagt. Ende 2003 lobte der Wohnfonds Wien den Bauträgerwettbewerb ‚Holz- und Holz-mischbauweise‘ aus, in dessen Folge drei Projekte mit insgesamt 254 Wohneinheiten in Mischbauweise realisiert werden konnten.

Vor diesem Hintergrund ist diese Publikation als Hin- und Einführung zum Bauen mit Holz in der Kombination mit anderen Systemen erstellt. Genommen werden sollen – nicht im übertragenen Sinne – Berührungsvorbehalte, die sowohl bei den Verfechtern der zu mischenden Systeme wie auch bei denjenigen, die neue Wege im Bauen gehen möchten, bestehen. Deutlich gemacht werden sollen die bautechnischen wie gestalterischen Qualitäten, die aus dem kreativen Nebeneinander der modernen Holzbauweisen mit anderen Bauweisen entstehen. Dabei werden die Hinweise und Argumente zur möglichen Wahl der Kombinatorik mit der detaillierten

Präsentation gebauter Beispiele der jüngsten Vergangenheit – aus dem vielleicht doch nur scheinbar überschaubaren Fundus der Ausnahmen – gestützt. Die Argumente reichen über den mit einfachen Mitteln zu bewerkstelligen überdurchschnittlichen Wärmedämmstandard der Holzbauelemente für die Gebäudehülle und die damit einhergehende Reduzierung der Konstruktionsgrundfläche bis hin zum hohen Vorfertigungsgrad des Holzbaus bei gleichzeitig geringem Gewicht und der damit verbundenen Verkürzung der Bauzeiten.

Zurück zu Le Corbusier: Er stellt in der Folge die Frage nach den Vorteilen, die man aus diesen Freiheiten z.B. der der Fassade ziehen kann. Beantwortet wird diese Frage von ihm unter anderem mit dem Hinweis auf – selbstverständlich – die „Schönheit“. Aber zuvor nennt Le Corbusier die „Wirtschaftlichkeit“, die „Leistungsfähigkeit“ und die „unzähligen modernen Funktionen“.

In diesem Sinne gilt (auch) heute wieder:
Wer mischt ist klar im Vorteil!

Ludger Dederich

Leiter Holzbaufachberatung
Holzabsatzfonds

¹⁾ „Leichtfassaden im mehrgeschossigen Wohnungsbau“ in: Bauen mit Holz, Februar 1970

²⁾ Bredenbals, Hullmann,: „Holztafelbauweise für den mehrgeschossigen Wohnungsbau“, Bauforschung für die Praxis Band 18, IRB Verlag, 1996

1 _ Einleitung

Aus ästhetischen wie aus technischen Gründen werden seit Jahrtausenden die spezifischen Eigenschaften unterschiedlichster Materialien beim Bauen sinnvoll kombiniert. Holz als einem der gebräuchlichsten Baustoffe kam und kommt dabei immer eine wichtige Rolle zu. Anfangs eher in Form eines „Nebeneinander“, wenn etwa Wände aus Stein und Dächer aus Holz hergestellt werden. Später wurde es auch ein „Miteinander“ unterschiedlicher Materialien innerhalb eines Bauteils wie beispielsweise beim Fachwerkbau. Grundsätzlich steht dabei das Interesse im Vordergrund, verschiedene Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften so zu kombinieren, dass die jeweiligen Stärken genutzt und Schwächen ausgeglichen werden. Die Eigenschaften ergänzen sich und bieten bei guter Planung funktionale, konstruktive sowie ökonomische Vorteile.

1.1 _ Mischbauweise

Mischbauweisen als Kombination von Bauteilen aus Holz oder Holzwerkstoffen, tragend oder nichttragend, mit solchen aus mineralischen oder auch metallischen Materialien sind in unterschiedlichsten Formen möglich. Die häufigste Form, eine Kombination von Bauteilen aus mineralischen Baustoffen (im Folgenden auch Massivbauweise genannt) mit nichttragenden Elementen in Holzbauweise wird in dieser Veröffentlichung systematisch dargestellt. Den Holzbauteilen kommt dabei im Wesentlichen die Funktion des Raumabschlusses nach außen zu, während Baustoffe wie Mauerwerk, Beton oder Stahl als Wände, Decken und Stützen tragende und aussteifende Funktionen im Inneren des Gebäudes übernehmen. Diese Art der Aufgabenteilung wird am häufigsten bei Wohn- und Verwaltungsgebäuden umgesetzt. Daraus ergeben sich für Planer und Bauherren zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, im Neubau und beim Bauen im Bestand. Die Dokumentation von ausgeführten Bauwerken in Kapitel 8 zeigt Beispiele für unterschiedliche Bauaufgaben.

1.2 _ Stand der Entwicklung

Zwischen handwerklich vor Ort hergestellten Gebäuden einerseits und industriell hergestellten Systemen mit hohem Vorfertigungsgrad andererseits liegt eine große Bandbreite. Dem Holzbau entspricht ursprünglich die handwerkliche Form

der zimmermannsgemäßen Herstellung auf der Baustelle, während industriell vorgefertigte Systeme beispielsweise in der Fertighausindustrie seit langem eingeführt sind. Auch für den Bereich des Massivbaus – unter diesem Begriff wird hier Mauerwerks- und Betonbau unabhängig von seinem Vorfertigungsgrad verstanden – ist immer noch eine ebenso große Bandbreite zwischen handwerklicher und industrialisierter Herstellung zu beobachten.

1.2.1 _ Mischbauweise in Deutschland

Seit den 1970er Jahren wurden die Anforderungen an die thermische Qualität von Gebäuden – zunächst nur von Neubauten – deutlich erhöht. Die Wärmeschutzverordnung von 1977 wurde 1984 und nochmals 1995 mit deutlich verschärften Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäude-Außenhaut novelliert. Gleichzeitig gab es Bestrebungen, in so genannten Niedrigenergiehäusern einen gegenüber diesen Anforderungen noch weit verbesserten Dämmstandard zu realisieren – bis hin zum so genannten Passivhaus, dessen Energiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung nahezu gegen null geht. Die Energieeinsparverordnung aus dem Jahr 2002 [1] erhöhte nochmals die Anforderungen gegenüber den vorangegangenen Wärmeschutzverordnungen ungefähr auf das Niveau, das bis dahin als Niedrigenergiestandard bezeichnet worden war.

Die immer weiter verschärften Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäudehülle führten dazu, dass viele der bis dahin üblichen Bauweisen von Außenwänden den Anforderungen nicht mehr gerecht werden konnten. Es setzten sich im Massivbau mehrschichtige Bauweisen durch, deren Erstellung beispielsweise gegenüber monolithischem Mauerwerk zu erhöhten Kosten führte. Ein angemessener Wärmeschutz mit minimalen Wärmebrücken war teilweise auch technisch nur noch schwer herstellbar. Hier lag ein wichtiger Grund, warum sich Planer vermehrt mit Mischbauweisen und ganz besonders mit dem Holzbau auseinander setzten, der einen optimalen Wärmeschutz im Hinblick auf die Gebäudehülle gewährleisten kann und zudem technisch und ökonomisch günstig zu realisieren ist.

Inzwischen sind Projekte in Mischbauweise als Wohn- und Verwaltungsbauten sowie Schulen erfolgreich realisiert worden. Sie dienen als gute Beispiele nicht nur in Hinblick auf hohe bauphysikalische Qualität, sondern auch auf ansprechende Architektur, rationelle Herstellung und wirtschaftlichen Betrieb. Dabei geht es nicht nur um die Kombination von Außenbauteilen in Holzbauweise mit massiven Tragstrukturen, sondern auch um Mischbauweisen, bei denen die tragende Struktur aus Stahl- und aus Holzbauteilen besteht.

1.2.2 _ Mischbauweisen in europäischen Nachbarländern

Die Anwendung der Mischbauweise ist in den europäischen Nachbarländern sehr unterschiedlich, was sowohl durch die – ebenfalls sehr unterschiedliche – Bautradition der jeweiligen Länder bedingt ist als auch mit den Gegebenheiten des Marktes zusammenhängt.

Die skandinavischen Länder Schweden, Norwegen und Finnland haben eine besonders lange Tradition in der Kombination von tragenden und

aussteifenden Massivbauteilen mit nichttragenden, hochwärmedämmten Außenwandelementen in Holzbauweise. Die Gründe liegen einerseits im Flächengewinn, der auch bei hohem Dämmstandard aufgrund der konstruktiv dünnen Außenwände entsteht (in einem üblichen Mehrfamilienhaus ca. 3 - 6 % mehr nutzbare Wohnfläche), andererseits in der erhöhten Produktivität bei der Herstellung der Gebäude. Man schätzt den Marktanteil dieser Bauweise im mehrgeschossigen Wohnungsbau, der auch den Schwerpunkt für die Mischbauweise bildet, auf mindestens 90 % [2].

Wohnungsbauten in den Niederlanden sind ebenfalls im Vergleich mit Deutschland durch eine stärkere Standardisierung und industrielle Herstellung gekennzeichnet. Das erleichtert die Anwendung der Mischbauweise sowohl bei Ein- und Zweifamilienhäusern – häufig Reihenhäuser – als auch im mehrgeschossigen Wohnungsbau. Der Anteil der Mischbauweise im Wohnungsbau wird auf ca. 50 % geschätzt [2]. Dabei wird eine Kombination mit Mauerwerk ebenso angewandt als auch mit Stahlbeton, in Einzelfällen auch mit Stahl. Im Nichtwohnungsbau ist ebenfalls ein steigender Einsatz von Mischbauweisen zu beobachten. Dies wird auf zunehmendes Interesse an gestalterisch hochwertigen Gebäuden in diesem Sektor zurückgeführt.

In Österreich ist die Verbesserung des Wärmeschutzes ein wesentliches Argument zur Anwendung der Mischbauweise. Hinzu kommen ökologische Gesichtspunkte, die einen verstärkten Einsatz nachwachsender Rohstoffe, hier also Holz und Holzwerkstoffe, nahe legen. Insbesondere im Wohnungsbau, aber auch in anderen Anwendungsbereichen wurden Projekte realisiert, die zum Teil mit innovativen Techniken zur rationellen Energieversorgung und zur Nutzung der Solarenergie ausgestattet sind. Von dem deutlichen Innovationsschub, den die

Abb. 1:

Jacob-Burkhardt-Haus in Basel

Planung: ZWIMPFER PARTNER Architekten SIA,

Basel/Zug und Jakob Steib, Architekt BSA/SIA, Zürich

Mischbauweise – auch ein Stück weit aufgrund politischer Förderungen – erfahren hat, zeugen zwei aktuelle Veröffentlichungen [3] [4].



Für die Schweiz sind Gebäude in Mischbauweise zahlreich dokumentiert, die bei hohem gestalterischen Anspruch gleichzeitig hohen ökologischen Anforderungen genügen. So wird beispielsweise in Basel ein Gebäudekomplex in Mischbauweise errichtet, der gewerblich genutzte Räume in bis zu sechs oberirdischen Geschossen umfasst. Die Fassade besteht aus nichttragenden Holztafeln, die tragende Gebäudestruktur aus Stahlbeton [5]. Häufig werden in der Schweiz auch Decken in Brettstapelbauweise sowie als Holz-Beton-Verbunddecken eingesetzt.

Die Argumente, die in den genannten Ländern zu einer Anwendung der Mischbauweise geführt haben, sind ökonomischer, ökologischer und konstruktiver Art mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Es ist anzunehmen, dass sie auch in weiteren Ländern eine zunehmende Anwendung der Mischbauweise bewirken. Insbesondere in den östlichen Nachbarländern ist mittelfristig auch ein steigender Bedarf für die Umsetzung der Mischbauweise bei der Modernisierung industriell hergestellter Wohnbauten zu erwarten.

1.3 _ Akzeptanz der Mischbauweise

Anders als beispielsweise in den skandinavischen Ländern haben Leichtbausysteme im deutschen Wohnungsbau nach wie vor ein weniger posi-

ves Image als Massivbausysteme. Die Gründe können aus den frühen Zeiten der Fertighausindustrie stammen, sie mögen auch in schlechten Erfahrungen mit leichten Trennwänden im Geschossbau liegen. Eventuell sind sie auch aus einer noch älteren Tradition bedingt, in der nur Massivbauten, wie man sie von Sakralbauten, Burgen oder Klöstern kannte, als wirklich solide galten. So sehr diese Argumente auch durch positive Beispiele widerlegt werden, sind sie dennoch häufig unbewusst bei potenziellen Bewohnern, Bauherren und Investoren vorhanden.

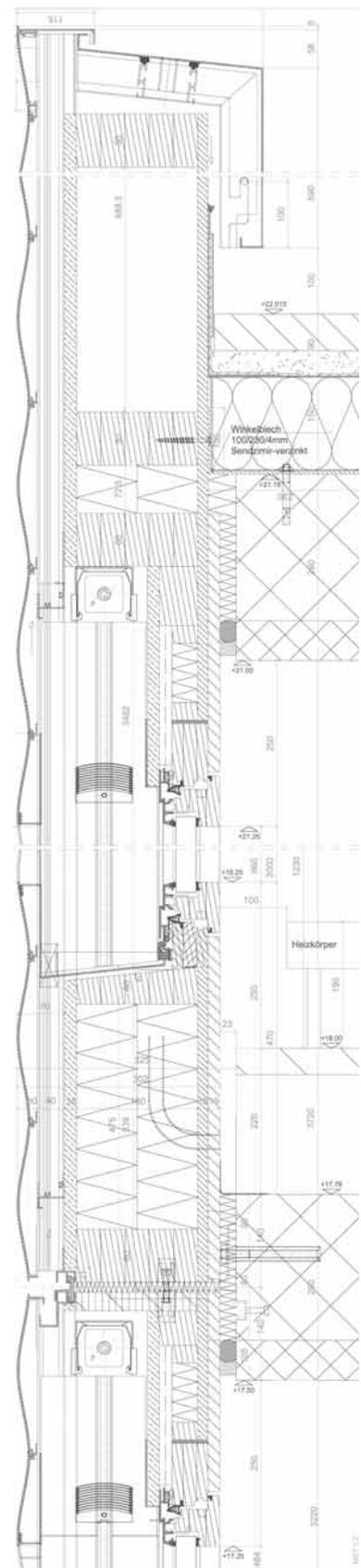
Bei der Mischbauweise kommen zwei unterschiedliche Gewerke zusammen, die in der hier erforderlichen Form nicht immer aufeinander eingespielt sind. Daraus entstehen Koordinationsaufgaben, von den Maßtoleranzen bis hin zur Terminplanung. Mangels vergleichbarer Projektabwicklungen mit gleich bleibenden Projektpartnern muss sich eine entsprechende positive Erfahrung erst noch aufbauen. Auch auf Seiten der Architekten und Tragwerksplaner gibt es bisher wenige Büros, die eine Mischbauweise zur Ausführung vorsehen. Hier mögen die Gründe ähnliche sein, wie oben bereits geschildert. Hinzu kommt, dass nur wenige ausführende Unternehmen bereits Erfahrung gesammelt haben und darum eine anspruchsvolle Detailplanung notwendig ist, welche – jedenfalls für die jeweils ersten in Mischbauweise geplanten Projekte – einen erhöhten Aufwand erfordert.

1.4 _ Baurechtliche Bedingungen

Bei einer Betrachtung der Einsatzmöglichkeiten der Mischbauweise im Hinblick auf die rechtlichen Rahmenbedingungen ergibt sich, dass die Anforderungen der Landesbauordnungen für Gebäude unterhalb der Hochhausgrenze, also in der Regel Gebäude mit bis zu neun Geschossen, erfüllbar sind. In einzelnen Bundesländern können sich zusätzliche Anforderungen ergeben,

Abb. 2:

Fassadenschnitt



die durch projektspezifische Ausführungen lösbar sind. In den Landesbauordnungen ist im Wesentlichen der Brandschutz relevant, während die übrigen Anforderungen eher in Normen und Vorschriften verankert sind.

1.4.1 _ Brandschutz

Die Musterbauordnung [MBO] in der Fassung vom November 2002 sieht die Einteilung in fünf Gebäudeklassen vor. Innerhalb dieser Einteilung eröffnen sich in der Verbindung mit der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise [M-HFH HolzR], die im Juli 2004 veröffentlicht wurde, neue Möglichkeiten für die Verwendung von hochwärmegedämmten Holzbauteilen in der Gebäudehülle von Geschossbauten. Über den ausschließlichen Einsatz des Holzbaus zur Ausführung von Außenwandelementen hinaus beschreibt die M-HFH HolzR die besonderen Maßnahmen bei der Errichtung kompletter Holzgebäude in dieser Gebäudeklasse. Durch reduzierte Anforderungen – Feuerwiderstandsklasse F60 „hochfeuerhemmend“ anstelle von F90 „feuerbeständig“ – in Verbindung mit dem ebenfalls neu eingeführten Kapselkriterium können nun Gebäude bis zu fünf Geschossen in Holzbauweise errichtet werden.

Als Anforderung der Landesbauordnungen an nichttragende Außenwände in Holztafelbauart ist heute in der Regel „feuerhemmend“ formuliert, also die Feuerwiderstandsklasse F30-B bis zur Hochhausgrenze. Ähnliches gilt beispielsweise für die Schweiz. Holztafelelemente können je nach ihrem Schichtenaufbau in den Feuerwiderstandsklassen F30-B und F60-B nach DIN 4102-4:1994-03 ausgeführt werden. Die äußere Bekleidung kann entsprechend den jeweiligen Anforderungen aus Baustoffen der Baustoffklassen A (nicht brennbar), B1 (schwer entflammbar) oder B2 (normal entflammbar) bestehen.

1.4.2 _ Schallschutz

In DIN 4109-1:1989-11 sind Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen für Aufenthaltsräume in Wohnungen in Abhängigkeit von dem Außenlärmpegel (bis 80 dB(A)) zwischen 30 und 50 dB formuliert. Beiblatt 1 zu DIN 4109 führt Beispiele für Außenwände in Holzbauart auf, die diesen Anforderungen genügen. Ein ausreichender Schutz der nichttragenden Außenwände gegen Außenlärm kann also mit dem entsprechenden Wandaufbau sichergestellt werden. Es gibt daher bei herkömmlichen Bauvorhaben keine Begrenzung der Anwendung der Mischbauweise aus Gründen des Schallschutzes.

1.4.3 _ Wärmeschutz

Die Möglichkeit eines hochwertigen und praktisch wärmebrückenfreien Wärmeschutzes ist eines der besonders starken Argumente für die Anwendung der Mischbauweise. Hier ergibt sich also keine Begrenzung eines möglichen Einsatzes, sondern ein wesentliches Potenzial, um die einschlägigen Anforderungen – beispielsweise der EnEV oder auch der Passivhausbauweise – mit Standardlösungen zu erfüllen.

1.4.4 _ Holzschutz

Nach DIN 68 800 ist es grundsätzlich möglich, Bauteile aus Holz ohne chemischen Holzschutz einzubauen, wenn die entsprechenden Vorkehrungen im Schichtenaufbau der Wandelemente getroffen wurden und eine Feuchtigkeitsaufnahme bei Transport, Lagerung und Montage sowie aus angrenzenden Massivbauteilen verhindert wird. Definierte Anforderungen werden an die Schwellen der Holzbauelemente gestellt. Diese Anforderungen werden durch herkömmliche Konstruktionsweisen bereits erfüllt. Aus Gründen des Holzschutzes gibt es keine Einschränkung in der Anwendung der Mischbauweise.

1.5 _ Einsatzpotenziale

Die Kombination leichter, hochwärmedämmter Außenwände mit speicherfähigen Innenwänden und Decken ist aus bauphysikalischer Sicht nahezu ideal. Die Außenwände können einen Wärmeschutz übernehmen, der nahezu wärmebrückenfrei mit vergleichsweise geringem Aufwand bis zum so genannten Passivhausstandard geführt werden kann. Die Innenbauteile aus Beton oder Mauerwerk bewirken eine gute Wärmespeicherung, die das Raumklima stabilisiert und zum sommerlichen Wärmeschutz beiträgt. Diese bauphysikalische Argumentation

wird besonders bei den in der Schweiz realisierten Projekten betont.

Holzbauteile, also primär Außenwandtafeln, aber auch Innenwände und Decken unterschiedlicher Konstruktion, erlauben eine sehr hohe industrielle Vorfertigung, die bis zur Montage oberflächenfertiger und komplett vorinstallierter Bauteile reicht. Damit kann die Forderung nach deutlich kürzeren Bauzeiten mit den daraus resultierenden wirtschaftlichen Vorteilen erfüllt werden.

Bei ein- bis dreigeschossigen Reihenhäusern wird die Mischbauweise häufig in der Form einge-

Abb. 3:

Dreigeschossige Reihenhäuser in Mischbauweise in Wiesbaden, Sylter Straße (Planung: Kramm & Strigl, Darmstadt)



Abb. 4:

Fünfgeschossiger Wohnungsbau in Mischbauweise in Wiesbaden, Spiekerooger Straße (Planung: Altmann + Zimmer Architekten, Wiesbaden)

setzt, dass das Kellergeschoss und die Haus-trennwände aus Mauerwerk und/oder Beton, das übrige Gebäude wiederum in Holzbauweise hergestellt werden. Die Geschosdecken können alternativ als Massivholzbauteile, als Holz-Beton-Verbunddecken oder auch als konventionelle Betondecken hergestellt werden. In den Nachbarländern – insbesondere in den Niederlanden – wird diese Bauweise in großem Maße eingesetzt. Da ihr Anteil in Deutschland eher gering ist, liegen hier erhebliche Marktchancen angesichts der bauphysikalischen und herstellungstechnischen Vorteile.

Beim Geschosswohnungsbau kommt zusätzlich zum Wärmeschutz dem Schallschutz eine besondere Bedeutung zu. Das führt zu einem vermehrten Einsatz von Stahlbetondecken und von tragenden und aussteifenden Wänden aus Mauerwerk oder Beton. Holz-Beton-Verbundbauteile werden hier noch kaum eingesetzt, was angesichts konstruktiver, herstellungstechnischer und bauphysikalischer Vorteile darauf zurückzuführen ist, dass es sich um eine relativ neue und noch wenig bekannte Bauweise handelt. Der wesentliche Grund für einen vermehrten Einsatz der Mischbauweise – hier vor allem der Einsatz

Abb. 6:
Neubau des Umweltbundesamtes in Dessau im Passivhaus-Standard
(Planung: sauerbruch
hutton architekten, Berlin)



Abb. 5:
Wohn- und Bürogebäude im Passivhaus-Standard in Wiesbaden,
Schwalbacher Straße
(Planung: Altmann + Zimmer
Architekten, Wiesbaden)

leichter und hoch wärmegeämmter Außenbauteile – ist die Möglichkeit, ohne besonderen Aufwand einen Wärmeschutz zu erreichen, der mit anderen Bauweisen nur schwer zu realisieren ist.

Für Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung gelten die gleichen Argumente wie für den mehrgeschossigen Wohnungsbau. Wohnheime für Studenten oder für Senioren, Hotels, Gebäude mit gemischter Nutzung (Arztpraxen, Büros oder Ateliers mit zusätzlicher Wohnnutzung) unterliegen den gleichen Anforderungen an den Wärmeschutz wie an eine nachhaltige Bauweise. Gebäude in diesem Marktsegment werden ebenfalls unter diesen Gesichtspunkten erstellt und angeboten.

Abb. 7:

Saniertes Bürogebäude in Erfurt, Leipziger Straße
(Planung: LEG Thüringen, Th. Zill und N. Lippe, Erfurt)



Immer häufiger werden auch Büro- und Verwaltungsgebäude auf Grund der steigenden Energiekosten mit erhöhten Anforderungen an die bauphysikalischen Eigenschaften und die Nachhaltigkeit geplant, ausgeführt und vermarktet. Während noch bis vor kurzem gerade Büro- und Verwaltungsbauten durch einen hohen Energiebedarf gekennzeichnet waren, wurden inzwischen Konzepte entwickelt, die zusätzlich zu den wärmetechnischen Vorteilen einer Außenhülle aus Holztafelelementen beispielsweise eine Kühlung ohne den Einsatz von herkömmlichen Kältemaschinen erlauben. Hier ist absehbar, dass sich dieser Trend in der Zukunft verstärken wird.

Die in Kapitel 8 dokumentierten Projekte zeigen, dass in der Mischbauweise sehr große Freiheiten hinsichtlich der architektonischen Gestaltung bestehen. Sie reichen von einfachen Fassaden im Wohnungsbau bis hin zu sehr differenziert gestalteten bei größeren Büro- und Verwaltungsbauten. Dabei ist unter anderem vorteilhaft, dass nahezu alle beliebigen Materialien als äußere Schicht eingesetzt werden können – Putze oder Anstriche auf Trägerplatten oder Wärmedämm-Verbundsystemen, aber auch alle Bausysteme, die für vorgehängte hinterlüftete Fassaden verwendet werden (z.B. Holzschalungen, Metall-, Keramikfassaden, Verblendmauerwerk etc.).

Bereits über 60 % der Bauvorhaben in Deutschland sind dem Bauen im Bestand zuzuordnen. Dieses Segment weist als einziges ein wachsen-

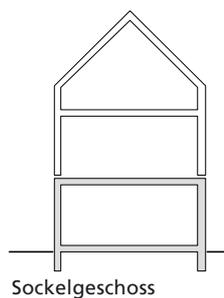
des Auftragsvolumen auf. Modernisierung, Erweiterung, Umnutzung oder auch Aufstockung und Nachverdichtung vorhandener Bausubstanz gewinnen wieder an Bedeutung – insbesondere, aber nicht nur an Gebäuden aus den 1960er und 1970er Jahren. Auch hier ist es möglich und sinnvoll, durch den Einsatz der Mischbauweise auf wirtschaftliche und nachhaltige Art die Gebäude in hoher Qualität dem heutigen Standard anzupassen oder sie noch darüber hinaus zu qualifizieren. Das kann dadurch geschehen, dass nichttragende Außenwände demontiert und durch Holztafelelemente ersetzt werden. Es sind aber auch Aufstockungen und Anbauten in Mischbauweise möglich, sogar der Einsatz hochwärmegedämmter Holzelemente vor einer vorhandenen Außenwand. Die in Kapitel 8.2 und 8.3 näher beschriebenen Gebäude sind gelungene Beispiele für solche Modernisierungen.

Selbstverständlich sind die genannten Marktchancen auch im Zusammenhang mit der Entwicklung des Baumarktes insgesamt zu sehen. Dennoch kann man annehmen, dass der Einsatz dieser Bauweise in den genannten Segmenten weiter wachsen wird. Dies gilt angesichts zunehmender Anforderungen insbesondere an die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäude – an erster Stelle sind immer wieder das Raumklima und der geringe Energiebedarf zu nennen – sowie dem Erfordernis einer rationellen Erstellung von Bauwerken. Diese Annahme wird

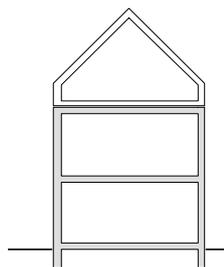
auch gestützt durch die positiven Erfahrungen, wie sie beispielsweise in Schweden, Finnland und in den Niederlanden in den vergangenen Jahrzehnten gemacht werden konnten. Der Anteil der Mischbauweise am gesamten Wohnungsbau beträgt derzeit in den skandinavischen Ländern deutlich über 80 %, während er in Deutschland noch nicht einmal die Einprozent-Marke erreicht hat [2].

2 _ Formen der Mischbauweise

2.1 _ Kombination von Bau- und Gebäudeteilen



Sockelgeschoss



Aufstockung

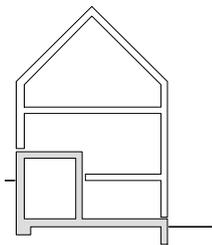
2.1.1 _ Geschossweise Mischung

Die meisten Gebäude im ländlichen Raum bedienen sich seit jeher der Mischbauweise mit geschossweiser Trennung. Das Keller- und das Erdgeschoss werden in massiver Bauweise errichtet, weitere Geschosse in Holzbauweise ausgeführt. Dabei spielt vor allem der Holzschutz eine wichtige Rolle. Die Anordnung der Holzbauteile außerhalb des Erdreiches und über dem Spritzwasserbereich ist eine wesentliche Maßnahme im Sinne des baulichen Holzschutzes. Darüber hinaus führen bei modernen Holzbauten auch funktionale oder technische Gründe zu einer unterschiedlichen Bauweise der Geschosse.

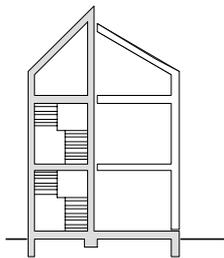
Aufstockungen von bestehenden Gebäuden sind typische Beispiele einer geschossweisen Mischung. Holzkonstruktionen sind auf Grund ihres geringen Eigengewichtes sowie der vorgefertigten Bauweise prädestiniert für die vertikale Erweiterung von Massivbauten. Sind hierfür die vorhandenen Tragreserven ausreichend, kann auf eine Verstärkung lastabtragender Bauteile wie Stützen, Wände oder Fundamente, verzichtet werden. Bei nicht tragfähigen Dachdecken können weit gespannte Holzkonstruktionen die Lasten auf die tragfähigen Außenwände ableiten.



Abb. 8: Neubau eines Seniorenzentrums in Wilster mit Staffelgeschoss in Holztafelbauweise (Planung: Architekten Hannemann + Krützfeldt, Elmshorn)



Erdberührte Bereiche
(Hanglage)



Verkehrsbereiche
Erschließungszone

2.1.2 _ Sektionale Mischung

Gebäudeabschnitte oder -teile können aus funktionalen, gestalterischen oder konstruktiven Gründen mit unterschiedlichen Bauweisen realisiert werden. Es ergeben sich Mischbauten mit vertikaler, horizontaler oder sektionaler Gliederung. Zu unterscheiden sind entkoppelte und nichtentkoppelte Konstruktionen. Gebäudeteile aus jeweils unabhängigen Tragsystemen sind hinsichtlich ihres Bauteilverhaltens anders zu bewerten als gekoppelte Tragsysteme.

Horizontale Gebäudeerweiterungen durch Anbauten in Holzkonstruktion an bestehende massive Bauten sind typische Beispiele. Auch konstruktive Aspekte wie eine vertikale Gliederung des Gebäudes bei einer starken Hanglage führen zu einer sektionalen Mischung oder Trennung. Eine weitere Variante stellt die Kombination von tragenden Gebäudeteilen aus Holz mit massiven Kernkonstruktionen dar, die zur Gebäudeaussteifung herangezogen werden.

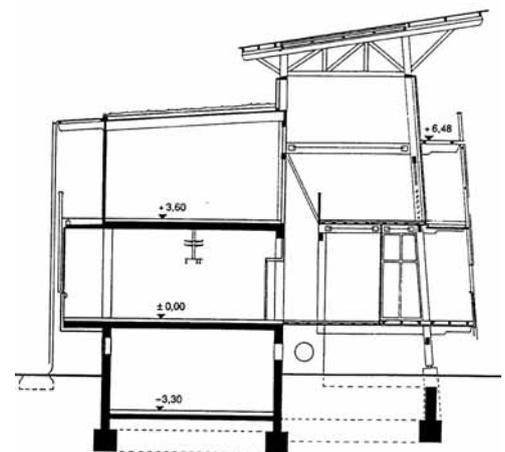
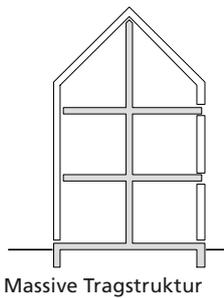
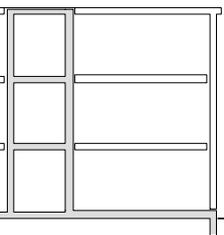


Abb. 9 und 10:
Kombination unterschiedlicher Bauweisen bei der Universitätserweiterung in Ulm (Planung: Steidle + Partner, München)



Massive Tragstruktur



Kernaussteifung

2.1.3 _ Trennung zwischen Tragstruktur und Gebäudehülle

Mehrgeschossige Konstruktionen in Mischbauweise zeichnen sich oft durch eine Trennung zwischen der Tragstruktur mit tragender und aussteifender Funktion und einer nichttragenden Gebäudehülle aus. Diese ist vor allem bei Skelettkonstruktionen oder der Schottenbauweise aus Stahl oder Stahlbeton in Kombination mit Außenwänden in Holzbauweise anzutreffen.

Die Trennung von Tragstruktur und raumabschliessenden Bauteilen ermöglicht für die Fassadengestaltung ein Höchstmaß an Gestaltungsfreiheit sowie größere Flexibilität für die Grundrisse.

Neben der vertikalen Lastabtragung zwischen den Geschossdecken ist auch die waagerechte Anordnung der Elemente möglich. Die vorgefertigten Wandelemente spannen horizontal und tragen ihre Last als Einfeld- oder Mehrfeldsysteme in Wandschotten oder Stützen ab. Dies ermöglicht unter anderem weite Fassadenöffnungen für Tore oder horizontale Fensterbänder. Die Anordnung bzw. Lastabtragung der Wandkonstruktion kann wie folgt ausgeführt werden:

Abb. 11:

Vorgestellte Außenwand

Durchgängige Anordnung der Elemente (vorgestellt oder vorgehängt) vor der Tragstruktur. Die Lastabtragung erfolgt entweder über eine eigene Gründung (vgl. Kapitel 8.2: Sanierung LEG-Gebäude, Erfurt) oder über geschossweise angeordnete Abfangkonstruktionen. (Verwaltungsgebäude, Arnberg / Planung: Banz + Riecks, Bochum)

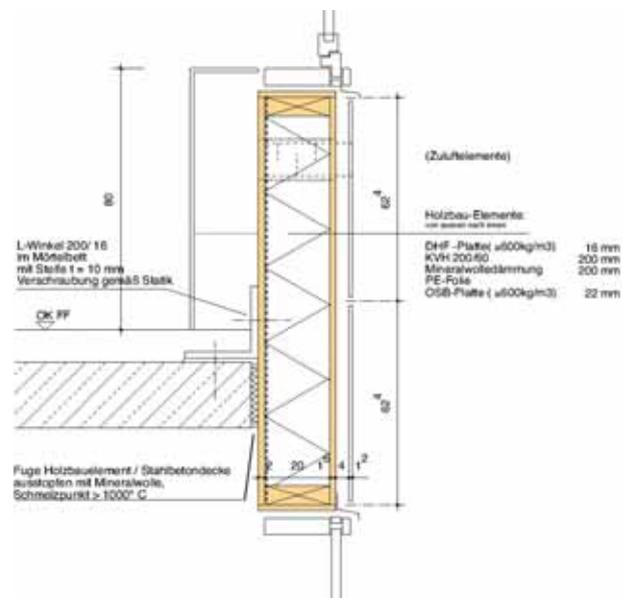
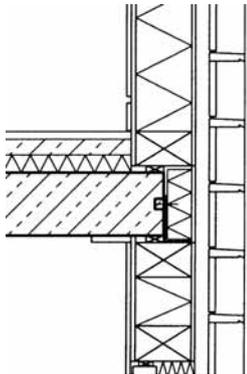


Abb. 12 :**Eingestellte Außenwand**

Durchlaufende Fassade mit Anordnung einzelner Elemente an der Außenkante der Tragstruktur bzw. in der Ebene der Stützen und Riegel einer Skelettkonstruktion. Die Lastabtragung erfolgt direkt auf die Ränder der Deckenkonstruktion oder vertikal über die Schotten. (Wohnbebauung Martinstraße, Darmstadt / Planung: Kramm + Strigl, Darmstadt)

**Abb. 13:****Zwischengestellte Außenwandelemente:**

Geschossweise Anordnung der Elemente hinter der Außenkante der Tragstruktur. Die Lastabtragung erfolgt direkt in die Deckenkonstruktion.

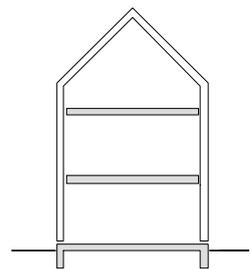
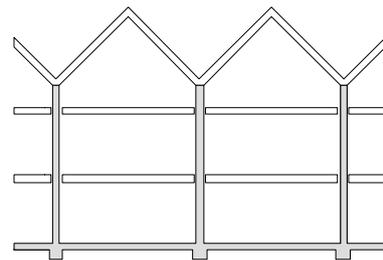
(Verwaltungsgebäude, Minden)

Planung: Kampa-Haus GmbH, Minden)

**2.1.4 _ Mischung von Bauteilen**

Bei einer bauteilbezogenen Mischbauweise können unterschiedliche Bauteile wie Wände, Dächer und Decken aus Holz-, Stahl-, Beton- oder Mauerwerkskonstruktionen bestehen und im Gebäude je nach Anforderungsprofil unterschiedlich angeordnet sein. Auch Holzbauten mit Stahlbetondecken sind durchaus üblich.

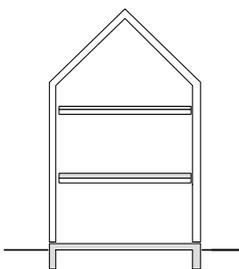
Ein weiteres Beispiel sind massive, mineralische Brandwände. Diese unterteilen die Holzkonstruktionen in mehrere Brandabschnitte und können je nach Ausführung auch Funktionen der Aussteifung und Schalltrennung übernehmen. Eine übliche Mischung der Bauteile ist die Kombination von Mauerwerk- oder Stahlbetonbauten mit hölzernen Dachtragwerken.

**Decken****Trennwände**

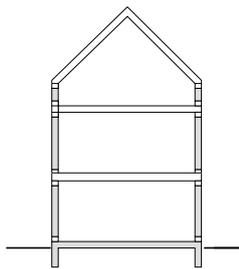
2.2 _ Verbundbauteile

2.2.1 _ Materialkombination innerhalb eines Bauteils bei losem Materialverbund

Die Mischbauweise im Bereich eines Bauteiles erfolgt durch Kombination verschiedener Materialien. Bei historischen Bauwerken geschah dies in Abhängigkeit von der lokalen Rohstoffversorgung wie auch auf Grund regional typischer Ausprägungen von Holztragwerken. Als traditionelle Mischbauweise in diesem Sinne kann der historische Fachwerkbau sowie die Ausführung von Holzdecken mit mineralischer Schüttung betrachtet werden. Durch die Kombination der Baustoffe wird in der Regel eine Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften des Gesamtbauteils angestrebt.



Holzbalken-
Verbunddecken



Fachwerk

Abb. 14:
Fachwerkhaus in Weimar

Abb. 15:
Verbundbauteil



2.2.2 _ Kompositbauteile mit statisch wirksamem Verbund

Im Sinne der Definition sind hybride Verbunddecken aus Holz mit mineralischen Deckschichten als Beispiel zu nennen. Die Kombination der Baustoffe ergibt eine deutliche Leistungssteigerung des Gesamtbauteils gegenüber den Einzelkomponenten.

Im Bereich der flächigen Holzdeckenkonstruktionen – etwa aus Brettstapelelementen – bietet sich durch das Aufbringen einer im Verbund wirkenden mineralischen Deckschicht eine Verbesserung der Brand- und Schallschutzeigenschaften sowie gleichzeitig die Erhöhung der Tragfähigkeit an.



Die Holz-Beton-Verbundbauweise bietet auch im Altbau Vorteile. Sie stellt in Kombination mit stabförmigen Holzbauteilen bestehender Decken eine geeignete Maßnahme zur konstruktiven wie auch bauphysikalischen Ertüchtigung dar. Darüber hinaus finden Holz-Beton-Verbundkonstruktionen auch im Brückenbau Verwendung.

Hybride Dach- und Wandkonstruktionen aus Elementen mit PU-Schaumkern und Holzwerkstoff-Deckschichten sind im Handel, werden aber im Kontext dieser Veröffentlichung nicht weiter behandelt.

3 _ Bautechnische Grundlagen

3.1 _ Wesentliche Baustoffe im Mischbau

In der Mischbauweise werden aus technischen, funktionalen oder auch gestalterischen Gründen Ausführungen mit unterschiedlichen Materialien gewählt. Durch Nutzung der spezifischen Stärken und Kompensation der Schwächen eines Materials lässt sich eine Optimierung der Gesamtkonstruktion erzielen.

Bei der Mischung der Materialien sollte der Aspekt der Wiederverwertbarkeit nach dem Lebenszyklus des Bauwerkes berücksichtigt werden. Für die im Mischbau derzeit verwendeten Baustoffe sind in der Tabelle auf der nachfolgenden Seite die kennzeichnenden Merkmale kurz zusammengetragen.

3.2 _ Bautechnische Aspekte

3.2.1 _ Brandschutz

Die brandschutztechnischen Anforderungen an die einzelnen Bauteile und Gebäudeabschnitte sind im Wesentlichen von den Abmessungen des Gebäudes, der Nutzungsart und der Nutzungsintensität abhängig. Sie sind in den Landesbauordnungen (LBO), den untergeordneten Normen (DIN 4102, DIN EN 13501) und in Rechtsvorschriften geregelt. Sondervorschriften wie die Versammlungsstätten-Verordnung oder Schulbau-Richtlinien präzisieren die Anforderungen für bauliche Anlagen besonderer Art und Nutzung. Für Holzkonstruktionen bei mehrgeschossigen Bauten ist die Musterrichtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR, Juli 2004) [6] Grundlage für die baulichen Brandschutzmaßnahmen. Sie findet hauptsächlich in der Gebäudeklasse 4 gemäß MBO Anwendung. Sie ist nicht gültig für Holz-Massivbauweisen, wie die Brettstapel- und Blockbauweise, ausgenommen Brettstapeldecken. Durch reduzierte Anforderungen – Feuerwiderstandsklasse F60 (hochfeuerhemmend) statt F90 – in Verbindung mit dem neu eingeführten Kapselkriterium können nun bis zu fünfgeschossige Gebäude in Holzbauweise errichtet werden. Da die MBO nur empfehlenden Charakter hat, ist nicht in allen Landesbauordnungen die Feuerwiderstandsdauer F60 eingeführt. Durch individuelle Brandschutzkonzepte kann jedoch die M-HFHHolzR zur Erfüllung der geforderten Schutzziele herangezogen werden. Individuelle Brandschutzkonzepte führen in der Regel nicht nur zu einer hohen Sicherheit für das Gebäude, sondern tragen durch die gesamtheitliche Brandschutzbetrachtung zur Senkung der Baukosten bei. Eine ausführliche Darstellung ist in [7] zu finden.

Konstruktionen aus Beton und Mauerwerk erfüllen die Brandschutzanforderungen bei entspre-

GEGENÜBERSTELLUNG DER BAUSTOFFE MIT IHREN WESENTLICHEN EIGENSCHAFTEN
FÜR DIE VERWENDUNG IM MISCHBAU

Baustoffe	Mechanische und Festigkeitseigenschaften	Bauphysikalische Eigenschaften
Holz / Holzwerkstoffe (HWS)	<ul style="list-style-type: none"> – günstiges Verhältnis von Gewicht und Festigkeit – HWS mit vergüteten, harmonisierten Eigenschaften – kleines E-Modul ergibt vergleichsweise kleine wirtschaftliche Spannweiten – leicht zu Bearbeiten, geringes Eigengewicht – berechenbares Quellen und Schwinden der Einzelbauteile aus Vollholz 	<ul style="list-style-type: none"> – geringe Wärmeleitfähigkeit – Massivholzprodukte mit hoher Speicherkapazität – brennbar
Stahlbeton	<ul style="list-style-type: none"> – geeignet zur Aufnahme hoher Druckspannungen mit geringen Verformungen – hohes Eigengewicht – hohe Widerstandsfähigkeiten gegen mechanische Abnutzung durch geeignete Zusatzstoffe – relativ geringe Zugfestigkeit – bei großen Querschnitten entsprechendes Schwinden während des Abbindens 	<ul style="list-style-type: none"> – hohe Schalldämmung und hohe Speicherkapazität durch hohe Masse – schlechte Wärmedämmeigenschaften – nicht brennbar
Mauerwerk	<ul style="list-style-type: none"> – hohe Druckfestigkeit möglich – keine Aufnahme von Zugkräften – einfach zu Verarbeiten – Form- und Frostbeständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Mauerwerk mit hoher Rohdichte bietet hohe Schalldämmung und Speicherkapazität – schlechte Wärmedämmeigenschaften bei hohen Rohdichten – gute Wärmedämmeigenschaften bei niedrigen Rohdichten mit Einbußen an Festigkeiten und Schalldämmung – nicht brennbar
Stahl	<ul style="list-style-type: none"> – sehr hohe Tragfähigkeit bei geringen Abmessungen – hohes Eigengewicht – schweißbar 	<ul style="list-style-type: none"> – sehr schlechte Wärmedämmeigenschaften (guter Wärmeleiter!) – gute Weiterleitung von Körperschall – Festigkeitsverlust im Brandfall

Allgemeine Eigenschaften sowie im Hinblick auf die Bauweise

- Nachhaltiger Baustoff mit sehr guter Ökobilanz
- Maßtoleranzen im Millimeterbereich
- standardisierte Detaillösungen
- vielfältige Möglichkeiten auch bei dreidimensionaler Formgebung
- durch geringes Eigengewicht Bauteile leicht zu manipulieren
- Austausch im verbauten Zustand leicht möglich
- Verbindungsmittel zum Fügen notwendig
- industrielle Fertigung und breite, vielseitige Produktpalette

-
- standardisierte Detaillösungen
 - vielfältige Möglichkeiten auch bei dreidimensionaler Formgebung
 - Energieaufwändiger Herstellungsprozess des Ausgangsmaterials Zement
 - durch hohes Eigengewicht fertige Bauteile nur aufwändig zu manipulieren
 - Austausch im verbauten Zustand sehr aufwändig
 - Variation der Produktpalette gering

-
- standardisierte Detaillösungen
 - Eingeschränkte Möglichkeiten und erhöhter Aufwand bei dreidimensionaler Formgebung
 - Energieaufwändiger Herstellungsprozess des Baustoffs
 - kleinteilige Ausgangsprodukte für fertige Bauteile
 - Austausch im verbauten Zustand sehr aufwändig
 - breite, standardisierte Produktpalette

-
- standardisierte Detaillösungen
 - korrosionsempfindlich
 - eingeschränkte Möglichkeiten bei dreidimensionaler Formgebung
 - durch hohes Eigengewicht fertige Bauteile nur aufwändig zu manipulieren
 - Austausch im verbauten Zustand möglich
 - Energieaufwändiger Herstellungsprozess des Baustoffs
 - breite, standardisierte Produktpalette
-

chender Dimensionierung der Dicke des Bauteils und der Betonüberdeckung. Gebäudetrenn- oder Abschlusswände für die Sicherstellung von Brandabschnitten lassen sich auch mit entsprechend ausgebildeten Holzkonstruktionen herstellen. Decken stellen ein wesentliches Element zur Reduzierung der Brandausbreitung dar. Dabei sind Anforderungen an Rauch-, Brandgas- sowie Löschwasserdichtheit zu beachten.

Die Ausführung der Anschlussdetails sowie die Wahl der Dichtungsmittel müssen den selben Anforderungen genügen wie die der Fläche. Unterschiedliche Bauteilverformungen im Brandfall sind bei Mischkonstruktionen planerisch zu berücksichtigen. Hohlräume in den Anschlussfugen sind mit geeigneten Dämmstoffen zu füllen bzw. abzuschotten. Luftdichte Ausführungen verhindern im Brandfall das Weiterleiten von Rauch- und Brandgasen.

3.2.2 _ Schallschutz

In der eingeführten Baubestimmung DIN 4109:1989-11 sowie in weiteren Richtlinien (VDI 4100) sind die Anforderungen an den Schallschutz im Hochbau, mit dem Ziel Menschen in Aufenthaltsräumen vor Lärmbelästigungen aus fremden Bereichen zu schützen, festgelegt. Die Anforderungen der DIN 4109 sind bauordnungsrechtlich verbindlich, während die Ausführungen zum erhöhten Schallschutz im Beiblatt 2 zur Norm grundsätzlich nur empfehlenden Charakter haben. Je nach Bauaufgabe können diese aber im privatrechtlichen Sinne verbindliche Maßstäbe setzen.

Die Anforderungen können von allen Bauweisen erfüllt werden. Moderne Holzbaukonstruktionen bieten wie Bauteile aus mineralischen Baustoffen auch Schutz vor Schallübertragung in niederfrequenten Bereichen, der zwar derzeit nicht in Normen und Richtlinien berücksichtigt wird, jedoch der Forderung nach höherem

Schallschutzniveau entspricht. Hier helfen die Veröffentlichungen [8], [9] und [10].

Bauteile aus Mauerwerk und Beton bieten bei hoher Masse ein hohes Schalldämmmaß. Das Grenzmaß für einschalige Bauteile ist jedoch in der Regel bei 55 dB erreicht. Höhere Schallschutzanforderungen lassen sich nur durch zwei- bzw. mehrschalige Konstruktionen erreichen. Hier bestimmt sich das Schalldämmmaß durch die Eigenschaften jeder einzelnen Schale, deren Verbindung untereinander sowie der Bedämpfung der Hohlräume mit schallabsorbierenden Dämmstoffen. Für einen effektiven Schallschutz sollten grundlegend biegeeweiche Schalen, die entkoppelt und luftdicht verbunden sind und deren Hohlräume mit entsprechenden Dämmstoffen oder biegeweichen Massen wie Schüttungen gefüllt sind, Anwendung finden. Ein ausreichender Schallschutz aller Deckensysteme, insbesondere des Trittschallschutzes, ist nur in Verbindung mit geeigneten Deckenauflagen und/oder der Kombination mit abgehängten Unterdecken zu gewährleisten.

Bei der Kombination verschiedener Bauteile gebührt, um vor allem Schalllängsleitung und Nebenwegsübertragung zu vermeiden, den Anschluss- und Fügepunkten der Bauteile besondere Aufmerksamkeit. Die Schalllängsleitung bei Anschlüssen von massiven Bauteilen untereinander wird durch steife Verbindungen über die Stoßstellendämmung gemindert. Bei Anschlüssen von leichten zweischaligen Konstruktionen ist die Schalllängsleitung abhängig von der Ausführung zwischen trennenden und flankierenden Bauteilen.

Geeignete Optionen für die Verbesserung von Schalllängsdämmmaßen für flankierende Bauteile sind der Einsatz von Dämmmaterialien in Lufthohlräumen, die doppelte Beplankung von Wand- und Deckenelementen oder die Trennung von Beplankungen, die den gleichen Rahmen als

Befestigungsgrundlage haben. Vorsatzschalen sowie die im Holzbau bewährten ausgedämmten Installationsebenen sind schallschutztechnisch sehr wirkungsvoll und insbesondere bei vorge-setzten Außenwandkonstruktionen für höhere Schallschutzanforderungen auch notwendig.

Die Übertragung von Luftschall durch offene Fugen bei Installationsleitungen, Steckdosen oder anderen Durchbrüchen ist durch Ausfüllen der Hohlräume mit geeigneten Dämmstoffen (nicht Montageschaum) zu vermeiden. Körperschall beispielsweise durch Abwasserinstallationen kann mit entkoppelten Befestigungssystemen minimiert werden.

3.2.3 _ Wärmeschutz

In der Energieeinsparverordnung (EnEV) sind die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz der Gebäudehülle sowie die Qualität der Heizungsanlage zur Sicherstellung der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Energiebilanz eines Gebäudes festgeschrieben. Die DIN 4108-2:2003-07 regelt den Mindestwärmeschutz über die Anforderung der Wärmedämmung von Bauteilen, den Wärmebrücken in der Gebäudehülle, die Luftdichtheit von Bauteilen sowie den sommerlichen Wärmeschutz.

Hinsichtlich des Wärmeschutzes wird gerade in der Mischbauweise die unterschiedliche Qualität der Baustoffe deutlich. Holz und Holzbau-elemente besitzen durch ihre niedrige Wärmeleitfähigkeit sehr viel bessere Wärmedämmeigenschaften als Bauteile aus Beton und Mauerwerk. Dies spiegelt auch die überwiegende Verwendung von hochwärmegedämmten Außenwandelementen aus Holz in der derzeitigen Ausführung von Objekten in Mischbauweise wider. Solche Gebäudehüllen bieten einen hervorragenden winterlichen Wärmeschutz in Niedrigenergie- oder Passivhaus-Standard. Die Optimierung der Holzanteile innerhalb der Bauelemente sowie

der Bauteilanschlüsse zu wärmebrückenfreien Konstruktionen ist Stand der Technik.

Durch die Verwendung und Anordnung geeigneter Dämmstoffe und Beplankungen sowie die richtige Anordnung von Verschattungselementen an der Außenwand werden die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz erfüllt. Die Kombination mit Stahlbeton- oder Mauerwerksbauteilen innerhalb des Gebäudes erhöht die speicherwirksame Masse.

3.2.4 _ Feuchteschutz

Außenbauteile werden außen und innen von Wasser beansprucht. Schlagregen belastet die Konstruktion von außen. Ein ausreichender Schutz ist durch eine wasserführende Schicht vor der Tragkonstruktion gegeben, beispielsweise durch eine diffusionsoffene Bahn hinter einer hinterlüfteten Fassadenkonstruktion oder auch ein Wärmedämmverbundsystem. Bauteile müssen so aufgebaut sein, dass eine Schädigung durch Wasser nicht möglich ist.

Von innen werden Bauteile durch Wasserdampf beansprucht. In der kritischen Winterperiode stellt sich ein nach außen gerichteter Wasserdampfstrom ein. Eine Abstimmung der Durchlässigkeit der einzelnen Schichten aufeinander ist die Voraussetzung dafür, dass es innerhalb der Konstruktion zu keiner Anreicherung mit Tauwasser kommt. Im Holzbau werden sowohl Konstruktionen mit einer raumseitigen Dampfsperre, als auch diffusionsoffene Bauteile eingesetzt, bei denen die innenliegende, aussteifende Holzwerkstoffbeplankung zudem die Funktion einer Dampfbremse übernimmt.

3.2.5 _ Luft- und Winddichtheit

Luftdichtheit

Die luftdichte Ausbildung der Außenbauteile hat die Aufgabe, eine Durchströmung der Gebäude-

hülle zu verhindern. Treibende Ursache für die Luftströmung ist ein anliegendes Gesamtdruckgefälle beispielsweise durch Winddruck oder Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Eine speziell festzulegende oder einzubauende Schicht in den Bauteilen der Gebäudehülle (z.B. Außenwand, Bodenplatte und Dach) muss die Durchströmung verhindern. Gängige Praxis im Holzbau ist die Verwendung einer Bauteilschicht, die bereits einer anderen Funktion, beispielsweise der Aussteifung dient. Materialien für die Luftdichtheitsschicht müssen einen ausreichend hohen Strömungswiderstand aufweisen. Darüber hinaus müssen alle Anschlüsse fachgerecht ausgeführt werden. Bei der Massivbauweise wird die Luftdichtheit in der Fläche in der Regel über den Innenputz erstellt. Unabhängig von der Bauweise sind die Anschlüsse an Durchbrüche und Einbauten (z.B. Türen und Fenster) in der Planung zu berücksichtigen und mit entsprechender Sorgfalt in der Produktion auszuführen.

Winddichtheit

Winddichtheitsschichten sind auf der Außenseite von Dämmschichten angeordnet, um eine Hinterströmung der Dämmebene zu verhindern. Fugen bei Stößen und Flanken von Dämmstoffplatten oder ein zu geringer Strömungswiderstand der äußeren Schicht bergen die Gefahr einer Durchströmung der Dämmebene. Bei der Planung sind bereits geeignete Baustoffe und Maßnahmen vorzusehen, damit ein Durchströmen und die damit einhergehende Verschlechterung der Wärmedämmung vermieden wird. In der Regel wird die Winddichtheit durch die wasserführende Schicht der Außenbauteile (Außenputz, geschlossene Fassadenbekleidung) sicher gestellt.

Detaillierte Ausführungen zu Funktionsschichten im Holzhausbau sind [11] zu entnehmen.

3.2.6 _ Holzschutz

Die Verwendung von trockenem Bauholz ist Grundlage aller technischen Baubestimmungen für den Holzbau. Die Einführung von Qualitätsstandards für konstruktive Vollholzprodukte wie Konstruktionsvollholz, Balkenschichtholz, Brettschichtholz sowie die aktuelle DIN 4074: 2003-06 entsprechen dieser Notwendigkeit.

Um bei Holzbauelementen das Schwind- und Quellverhalten des Holzes und der Holzwerkstoffe und damit einhergehende Dimensionsänderungen so gering wie möglich zu halten, sind diese Werkstoffe bereits mit möglichst dem Feuchtegehalt einzubauen, der während der späteren Nutzung als Mittelwert zu erwarten ist. Die Vorbehandlung des Holzes und der Holzwerkstoffe, der Transport, die Zwischenlagerung an der Baustelle sowie die Einbaubedingungen sind insgesamt darauf abzustimmen. Geschlossene, vorgefertigte Bauteile sind auf Grund der notwendigen Gütesicherung bereits entsprechend ausgeführt. Eine ungewollte Befeuchtung durch einen Regenschauer während der Montage muss jedoch ungehindert abtrocknen können. Hohe Luftfeuchtigkeit auf der Baustelle, etwa durch eingebrachten Estrich, ist durch kontrollierte Lüftungsmaßnahmen abzuführen.

Die Ausführung der Anschlussdetails von Holzbauteilen an die umgebende Konstruktion ist entsprechend den oben genannten Regelwerken auszuführen. Detaillierte Informationen können [12] und [13] entnommen werden. Verbindliche Vorgaben für die korrekte Ausführung von Holzkonstruktionen finden sich unter anderem in DIN 68800 „Holzschutz“ sowie den ATV DIN 18334 „Zimmer- und Holzbauarbeiten“.

3.3 _ Bauteile

3.3.1 _ Bauteil Wand

Innen- wie Außenwände werden in tragender, aussteifender oder nicht tragender Funktion ausgeführt. In ihrer jeweiligen Funktion werden unterschiedliche Anforderungen an die Wände gestellt. Außenwände dienen dem Witterungsschutz, also dem Schutz vor Temperatur und Sonneneinstrahlung, dem Regen-, Wind- und Wärmeschutz sowie der Wärmespeicherung und sie müssen Anforderungen an den Schall- und Brandschutz erfüllen. Innenwände haben beispielsweise als Wohnungstrennwände insbesondere Schallschutzanforderungen zu erfüllen, zu angrenzenden unbeheizten Räumen wie Treppenhäusern müssen sie den entsprechenden Wärmeschutz gewährleisten. Innerhalb von Wohnungen haben sie in erster Linie raumabschließende Funktion. Wände mit speziellen Funktionen, wie Brandwände, müssen besonderen Anforderungen genügen. Insgesamt bieten Wände Raum für vertikal und horizontal geführte Installationen, Elektroleitungen oder Steckdosen, ihre Gebrauchstauglichkeit für benutzerspezifische Anforderungen erweist sich auch durch die Möglichkeit zum Anhängen von Gegenständen. Die genannten Anforderungen an Wände sind entsprechend der gültigen DIN-Normen und der Regelungen in den jeweiligen Landesbauordnungen zu erfüllen.

Dieses Aufgabenspektrum kann sowohl von Wänden in Massivbauweisen als auch in Holzbauweisen abgedeckt werden, wobei die Anforderungen im Holzbau von mehreren Schichten erfüllt werden. Besonders gut lassen sich die Anforderungen durch die Kombination von Massiv- und Holzbauweisen erfüllen. Die Beispiele in Kapitel 8 zeigen, dass in der Praxis häufig bei den Mischbauweisen die Innenwände in tragender Funktion massiv ausgeführt werden und die

Außenwände als nichttragende Holzkonstruktionen, die gegebenenfalls auch zur Aussteifung herangezogen werden können.

Wände in Holzbauweise

Außenwände in Holzbauweise bestehen üblicherweise aus einer Rohkonstruktion, einer inneren und einer äußeren Beplankung, die zusammen die oben beschriebenen Anforderungen erfüllen. Die Rohkonstruktion erfüllt, wenn erforderlich, die statisch konstruktive Funktion der Wand und übernimmt bauphysikalische Funktionen wie den Wärme-, Schall-, Brand- und Feuchteschutz. Für die Ausführung können vorgefertigte Holztafeln in Holzrahmenbauweise oder Außenwandaufbauten aus Massivholzelementen zum Einsatz kommen. Ein hoher Vorfertigungsgrad der Elemente, möglichst mit kompletter Fassadenbekleidung, Fenstern und Türen einschließlich der notwendigen Leibungsbekleidungen und Rollladenelemente trägt zu hoher Wirtschaftlichkeit bei.

Eine übersichtliche Darstellung der derzeitigen Holzbausysteme mit ihren spezifischen Eigenschaften findet sich in [14] und [10].

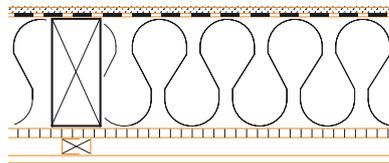
Bei der **Holztafelkonstruktion** besteht die Rohkonstruktion der Wand meistens aus Vollholzständern, die zur Aussteifung mindestens einseitig, in der Regel beidseitig mit Holzwerkstoffplatten beplankt sind. Die Wärmedämmung wird in der gleichen Ebene zwischen den Holzständern angeordnet. Zur Reduzierung des Holzanteils der Außenwandkonstruktion zugunsten von Wärmedämmung kommen anstelle von Vollholzständern auch Stegträger zum Einsatz. Die Beplankungen stellen die Wind- und Luftdichtheit sicher. Beplankungen mit geringem Wasserdampfdiffusionswiderstand entsprechen als „diffusionsoffene“ Bauteile dem Stand der Technik.

Abb. 16:

Konstruktionsvarianten von Außenwänden in Holzbauweise

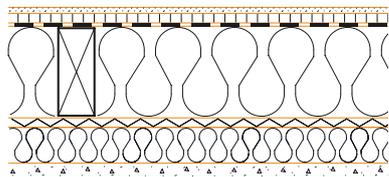
„Klassische“ Holztafelbauweise

nicht diffusionsoffen
mit hinterlüfteter Fassade

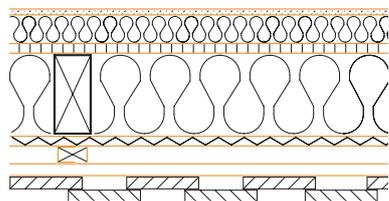


Standard:

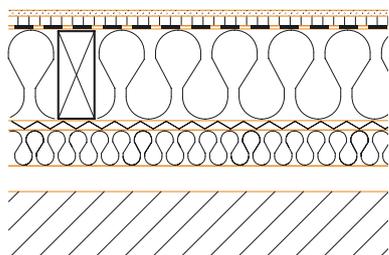
Diffusionsoffener Holzrahmenbau
Fassade als WDVS



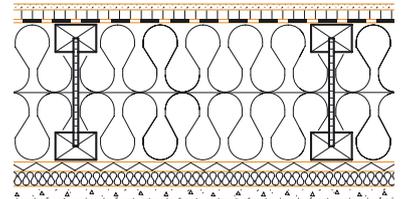
Diffusionsoffener Holzrahmenbau
mit innerer Installationsebene
hinterlüfteter Fassade



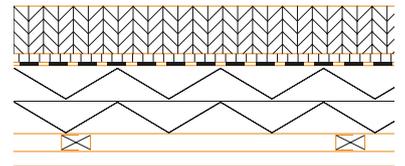
Diffusionsoffener Holzrahmenbau
mit Fassade aus Verblendmauerwerk



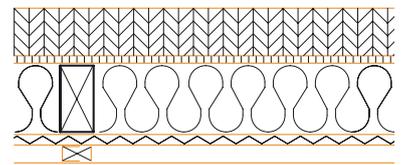
Diffusionsoffener Holzrahmenbau
mit Doppel-Stegträgern und Putzfassade



Brettstapelwandelement mit WDVS aus
Holzfaserplatten und Putz



Brettstapelwandelement mit gedämmter
hinterlüfteter Fassade



Die Rohkonstruktion bei **Massivholzkonstruktionen** der Außenwände besteht aus Brettsperrholz-, Brettschichtholz- oder Brettstapelelementen sowie einer außenseitig aufgetragenen Dämmschicht. Brettstapelelemente benötigen in der Regel zusätzlich eine innere luftdichte Beplankung, die zur Aussteifung herangezogen werden kann. Die äußere Schicht übernimmt den primären Witterungsschutz des Gebäudes und der darunter liegenden Konstruktion. In den meisten Fällen wird sie als hinterlüftete Konstruktion ausgeführt, aber auch Wärmedämmverbundsysteme sind möglich, wenn sie über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung verfügen. Vorgehängte, hinterlüftete und gedämmte Konstruktionen ermöglichen eine große Gestaltungsvielfalt mit unterschiedlichsten Materialien wie Faserzement, Holz, Holzwerkstoffen, Metallen oder auch Mauerwerk-Vorsatzschalen. Die zusätzliche innere Bauteilschicht dient, wenn notwendig, als raumseitige Installationsebene der Außenwände, kann aber auch ausschließlich das Oberflächenfinish beinhalten.

Bei allen Konstruktionsarten ist es empfehlenswert, für Installationen eine gesonderte Ebene auf der Innenseite der Außenwandkonstruktion anzuordnen, um Durchdringungen der dampfbremsenden, luftdichten Schicht zu vermeiden. Die Installationsebene kann zusätzlich gedämmt werden. Ausführliche Informationen zu Funktionsschichten können [11] entnommen werden.

Tragende **Innenwände in Holzbauweise** finden sich üblicherweise in Mischbauten, wo Gebäudeteile geschossweise oder nach Bauabschnitten als reine Holzkonstruktionen ausgeführt werden. Darüber hinaus werden tragende hölzerne Innenwände bei der Bauteilkombination mit mineralischen Decken oder hybriden Verbunddecken verwendet.

Wandkonstruktionen aus Beton und Mauerwerk

Im Hinblick auf die Herstellungsabläufe und Schnittstellen werden die Massivbauweisen zur Übersicht in fünf Gruppen gegliedert, die hier im Wesentlichen durch die damit zusammenhängenden Kriterien für den Einsatz im Rahmen der Mischbauweise erläutert werden. Die einzelnen Herstellungsverfahren decken insgesamt die Möglichkeiten von einer eher handwerklichen bis zu einer industriellen Herstellung ab.

Die Herstellungsverfahren für **Wände und Stützen** lassen sich in folgenden Gruppen zusammenfassen:

– **Mauerwerk in konventioneller Form:** Es ist dadurch gekennzeichnet, dass die Wand aus klein-, normal- oder großformatigen Steinen – beispielsweise Ziegeln oder Kalksandsteinen – von Hand auf der Baustelle erstellt wird. Eine industrielle Vorfertigung ganzer Wände ist möglich, wird aber eher selten praktiziert. Beim konventionellen Mauerwerksbau ist einerseits eine gewisse Flexibilität im Hinblick auf die auszuführenden Abmaße vorhanden, andererseits müssen aber auch Ungenauigkeiten im Hinblick auf Position oder Ebenheit in Kauf genommen werden – für die nachfolgende Montage sehr exakt vorgefertigter Holzbaulemente eine Erschwernis, die durch zusätzliche Anpassungsarbeiten ausgeglichen werden muss.

Monolithisches Mauerwerk wird für tragende und aussteifende Bauteile im Inneren von Gebäuden eingesetzt. Für Außenbauteile aus Mauerwerk sind wegen erhöhter thermischer Anforderungen hauptsächlich mehrschichtige Konstruktionen notwendig, bei denen das Mauerwerk die tragende und raumabschließende Funktion übernimmt und durch ein Wärmedämmverbundsystem oder eine vorge-

hängte, hinterlüftete Fassade der erforderliche Wärmeschutz gewährleistet wird.

- **Mauerwerk aus Planelementen:** Planelemente beispielsweise aus Kalksandstein oder Porenbeton werden im Vergleich zu konventionellem Mauerwerk sehr präzise gefertigt. Auf der Baustelle werden sie mit speziellen Hebezeugen bewegt. Sie sind häufig mit Nut-Feder-Verbindungen ausgestattet und können angesichts der geringen Toleranzen entweder „verklebt“ oder auch mit offenen Fugen versetzt werden. Gegenüber dem konventionellen Mauerwerk wird so eine höhere Maßhaltigkeit des fertigen Bauteils möglich. Dementsprechend bedarf auch die nachfolgende Montage von Holzbauelementen geringerer Ausgleichsmaßnahmen. Das Mauerwerk aus großformatigen Elementen hat in weiten Bereichen, besonders im rationalisierten Wohnungsbau, das konventionelle Mauerwerk ersetzt. Für Außenbauteile werden wie bei konventionellem Mauerwerk hauptsächlich mehrschichtige Konstruktionen eingesetzt.
- **Ortbeton:** Ortbeton wird an Ort und Stelle nach dem Einbringen der Bewehrung in eine dafür zu erstellende Schalung gegossen, die nach dem ersten Abbinden des Betons entfernt wird. Die Schalung besteht je nach den Ansprüchen an die Oberfläche des Bauteils aus Holz, Holzwerkstoffplatten oder Stahl. Von der Exaktheit der Schalung hängt auch die Genauigkeit des fertigen Bauteils ab. Ortbeton wird im Geschossbau für Stützen und für tragende und aussteifende Wände eingesetzt. Die erforderlichen Vorbereitungen für die Montage von Holztafeln hängen von der erzielten Maßhaltigkeit ab.
- **Ortbeton mit Halfertigteilen:** Diese Bauweise ist dadurch gekennzeichnet, dass Halfertigteile als „verlorene Schalung“ eingesetzt werden und zusammen mit dem ein-

gebrachten Ortbeton nach dessen Aushärtung auch tragende Funktionen übernehmen. Diese Bauweise wird im konventionellen Geschossbau zur rationellen Herstellung von Decken eingesetzt, da in der Regel oberflächenfertige Deckenuntersichten erreicht werden können. Die Anwendung von Halfertigteilen bei der Herstellung von Wänden ist ebenfalls möglich. Die Toleranzen entsprechen etwa denen für Mauerwerk aus großformatigen Elementen.

- **Stahlbetonfertigteile:** Die völlig werksseitige Herstellung von Fertigteilen in sehr exakten Schalungen ermöglicht oberflächenfertige Bauteile mit sehr geringen Toleranzen von Abmessungen und Ebenheit. Das Versetzen durch einen Kran mit Einsatz von Justierhilfen erlaubt eine hohe Genauigkeit in der Position des Bauteils, die etwa der für Holzbauteile möglichen Genauigkeit entspricht. Stahlbetonfertigteile eignen sich daher besonders für den Einsatz im Mischbau als Stützen und Wände im Geschossbau.

3.3.2 _ Bauteil Decke

Die Aufgaben von Deckenbauteilen bestehen hauptsächlich in der Aufnahme und Ableitung von vertikal und horizontal auftretenden Lasten, im Raumabschluss bezüglich der Wärme-, Schall- und Brandanforderungen sowie in der Aufnahme notwendiger Installationen. Es werden eine ausreichende Tragfähigkeit bei geringer Durchbiegung und Schwingung, eine wirksame Schall- und Wärmedämmung sowie bei Bedarf optische Qualitäten bei entsprechender Wirtschaftlichkeit erwartet.

Decken in Holzbauweise

Bei Deckenkonstruktionen in Holzbauweise unterscheidet man zwischen flächigem Massivholz und Konstruktionen aus einzelnen Balken. Beide Konstruktionsarten werden üblicherweise als flächige, vormontierte Elemente ausgeführt.

Holzbalkendecken setzen sich meist aus folgenden Schichten zusammen:

der Tragschicht (Rohdecke), der Deckenauflage (Unterbodenkonstruktion), der Nutzschicht (Bodenbelag) und einer optionalen Deckenbekleidung.

Die Rohdecke übernimmt die Aufnahme und Abtragung vertikaler und horizontaler Lasten. Die Verwendung von Mischkonstruktionen im Bereich des Bauteiles Decke beziehen sich hauptsächlich auf hybride Verbundbauteile. So ergibt sich hier im Wesentlichen die Möglichkeit der Kombination von Holzkonstruktionen mit mineralischen Deckschichten. Eine Übersicht verschiedener Systeme wird in Kapitel 4.2 ausführlicher behandelt.

Weitere Informationen können [14] und [15] entnommen werden.

Decken in Stahlbetonbauweise

Für die Herstellung von Decken und Trägern im Geschossbau werden im Wesentlichen die folgenden Verfahren eingesetzt:

- **Ortbeton:** Wie bei den Ortbetonwänden hängt auch bei Decken von der Exaktheit der Schalung die Genauigkeit des fertigen Bauteils ab. Die Vorbereitungen für die Montage von Holzbauteilen müssen durch den Herstellungsprozess bedingte Ungenauigkeiten ausgleichen.
- **Ortbeton mit Halbfertigteilen:** Die oberflächenfertigen Halbfertigteile werden als „verlorene Schalung“ eingesetzt und übernehmen zusammen mit dem eingebrachten Ortbeton auch tragende Funktionen. Die Bauweise erlaubt eine gegenüber Ortbetondecken sehr viel höhere Maßhaltigkeit. Der Aufwand für das Einschalen ist deutlich reduziert.
- **Stahlbetonfertigteile:** Die völlig werksseitige Herstellung in sehr exakten Stahlschalungen und das Versetzen durch einen Kran mit Einsatz von Justierhilfen erlaubt eine hohe Genauigkeit in der Position des fertigen Bauteils. Gegenüber der Bauweise mit Ortbeton- oder Halbfertigteilen ist ein wesentlich schnellerer Baufortschritt möglich. Die Bauteile können bereits oberflächenfertig montiert werden. Eine durch den Herstellungsvorgang eingebrachte Baufeuchte wie bei Ortbetonbauteilen entfällt. Insbesondere Spannbeton-Hohldecken erlauben als standardisierte Lagerware eine schnelle und wirtschaftliche Montage, die bei der Mischkonstruktion auch das Holzbaugewerk mit übernehmen kann. Unabhängig von der Konstruktion der Rohdecke können Deckenbauteile nur in Kombination mit Deckenauflagen beispielsweise als Trennschichten oder lastverteilenden Schichten sowie Deckenbekleidungen in Form von ein- oder zweilagigen Unterdecken in der Regel die bauphysikalischen Anforderungen erfüllen.

Hybride Deckenbauteile

Holz-Beton-Verbundsysteme bieten eine innovative Lösung für spezielle bauliche Aufgaben. Die Verbundwirkung wird mit bauaufsichtlich zugelassenen Verbindungsmitteln oder durch Profilierungen der flächigen Holzelemente hergestellt. Mit vorgefertigten oder vor Ort hergestellten Deckenbauteilen sind Spannweiten bis 10 m mit einer geringeren Bauhöhe als bei konventionellen Holzbalkendecken möglich. Sie weisen eine höhere Steifigkeit und damit ein besseres Schwingungsverhalten als herkömmliche Deckenkonstruktionen in Holzbauweise auf. Darüber hinaus wirkt sich die Baustoffkombination auch positiv auf die Brand- und Schallschutzeigenschaften aus. Beim Bauen im Bestand wird die Konstruktionsweise vor allem zur statischen Ertüchtigung herkömmlicher Holzbalkendecken zu einem als Plattenbalken wirkenden Biegeträger verwendet. Detaillierte Darstellungen werden in Kapitel 4.2 aufgeführt.

3.3.3 _ Bauteil Dach

Geneigte Dächer werden im Allgemeinen als Holzkonstruktion ausgeführt. Natürlich sind auch massive Dachkonstruktionen möglich. Bauelemente aus Stahlbeton-, Leichtbetonmassiv-, Porenbetonplatten oder Fertigteilen können parallel zur Traufe (mit Auflagerungen auf Giebel- und Zwischenwänden), senkrecht zur Traufe (freitragend oder mit Zwischenunterstützung zwischen Giebel und Traufe) oder als raumüberspannende Fertigteile in freitragender Montage angeordnet werden. Weiterhin sind massive Holzdachkonstruktionen aus Brettsperrholzelementen oder Brettstapelelementen möglich. Die bauphysikalischen Anforderungen der Dächer entsprechen in erster Linie denen der Außenwandkonstruktionen. Gegenüber geneigten Massivdächern ermöglichen Dachkonstruktionen aus stabförmigen Holzbauteilen eine variabelere Anpassung auch an komplexe

Grundrissgeometrien und bieten den Vorteil des geringeren Eigengewichtes.

In Bezug auf die Lage der Dämmebene wird hauptsächlich unterschieden zwischen:

- **Zwischensparrendämmung:** Dämmung zwischen den Sparren, zumeist als unbelüftete Vollsparrendämmung
- **Aufsparrendämmung:** Dämmung auf dem Sparren liegend, auf Vollschalung oder als freitragende Dämmelemente

Analog zu den Wandkonstruktionen ist sorgfältig auf Wind- und Luftdichtheit bei Anschlüssen und Durchdringungen zu achten.

Bei Anschluss an Trennwände sind zur Verbesserung des Schall-Längsdämmung besondere Maßnahmen notwendig. Dabei sollten unter anderem die folgende Punkte beachtet werden:

- durchlaufende Konstruktionsglieder vermeiden,
- Dachlatten und Unterdächer über der Trennwand unterbrechen,
- Mineralfaserdämmstoffe zumindest in den ersten an den Giebelwänden angrenzenden Sparrenfeldern verwenden,
- Dachinnenschale mehrschichtig ausführen,
- Anschlussfugen dauerhaft luftdicht ausführen.

Nähere Informationen können [10] entnommen werden.

4 _ Konstruktionen

4.1 _ Kombination von Bau- und Gebäudeteilen

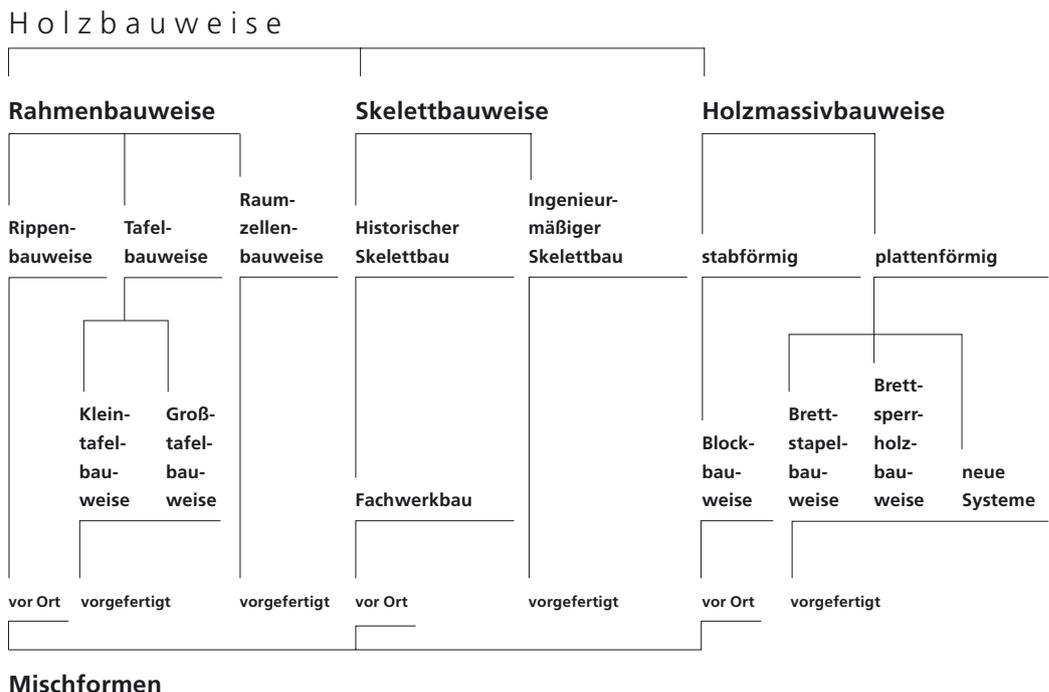
In der Mischbauweise finden sich derzeit Herstellungsverfahren, die den gesamten Bereich zwischen handwerklicher und industrieller Fertigung umfassen. Die Qualität der einzelnen Bauteile, letztlich des gesamten Gebäudes wird wesentlich von der Herstellung beeinflusst. Die Gefahr der mangelhaften Bauausführung durch provisorische Baustellenlösungen infolge fehlender oder mangelhafter Planung und immer geringerem Know-how der Ausführenden auf der Baustelle kann durch erhöhte Vorfertigung und damit einhergehend einen detailliert geplanten Baustellenablauf vermieden werden. Vorgefertigte Bauteile,

ob als Halbfertigteile oder komplette Bauteilelemente, haben den Vorteil, dass diese Bauteile geplant, also ingenieurmäßig durchdacht und in einen koordinierten Baustellenablauf eingebunden sind.

Dies spielt bei der Montage von sehr unterschiedlichen Bauelementen eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus erfolgt die Fertigung im Werk unter gesicherten Produktionsbedingungen; die Arbeitsschritte auf der Baustelle werden auf das notwendige Maß reduziert.

Die unterschiedlichen Bauweisen mit ihren Vorfertigungsgraden sind exemplarisch in Abbildung 17 und 18 dargestellt.

Abb. 17 und 18:
 Bauweisen mit ihren
 Vorfertigungsgraden



Die moderne Technik im Holzbau ermöglicht einen sehr hohen Vorfertigungsgrad und damit industrialisierte Herstellungsprozesse. Dadurch kann die gesamte Produktion mit hoher Maßgenauigkeit im Werk erfolgen, bei geschlossenen Holzbaulementen sogar im Rahmen einer zertifizierten Gütesicherung.

Im Beton- und Mauerwerksbau sind dagegen Herstellungsverfahren üblich, die den gesamten Bereich zwischen handwerklicher und industrieller Fertigung umfassen. Umso wichtiger ist es, die Schnittstellen zwischen Beton- und Mauerwerksbau und dem Holzbau besonders sorgfältig zu planen. In der Praxis ist deshalb vielfach

noch das Nacheinander der Fertigung üblich. Die Holzbaulemente werden „nach Aufmaß“ hergestellt, mit allen negativen termin- und wirtschaftlichen Konsequenzen. Daher ist eine enge Kooperation zwischen den Herstellern der unterschiedlichen Gewerke, am besten im Sinne einer längerfristigen Partnerschaft anzustreben, so dass ein gemeinsames Know-how samt Regeldetails aufgebaut werden kann. So lassen sich die Vorteile der Mischbauweise besonders effizient nutzen.

Massivbauweise (Beton- und Mauerwerksbau)

Mauerwerk			Betonbau		
Klein- Normal- und Großformat	Planelemente	Fertigteile	Ortbeton	Halbfertigteile	Fertigteile
vor Ort (handversetzt)	vor Ort (mit Hebezeugen)	vorgefertigt	vor Ort	vorgefertigt	vorgefertigt

Mischformen

4.1.1 _ Toleranzen

Im Bauwesen sind Toleranzen in Normen festgelegt, die für die fertigen Bauteile einzuhalten sind. Die festgelegten und erreichbaren Herstellungstoleranzen sind aber in Abhängigkeit von eingesetztem Baustoff und Konstruktionsweise unterschiedlich. Dies ist bereits im Rahmen der Planung zu berücksichtigen.

Holzbauteile werden, unabhängig von Vorfertigungsgrad und Bauweise, mit Maßtoleranzen hergestellt, die im Millimeterbereich liegen.

Die Toleranzen für Abmessungen betragen bei üblichen Elementgrößen ± 3 mm, die Ebenheitstoleranzen ± 5 mm. Bei vor Ort hergestelltem Mauerwerk und Stahlbeton ist eine solche Genauigkeit nur schwer erreichbar. Hier müssen durchaus Toleranzen in der Größenordnung bis zu ± 20 mm und mehr ausgeglichen werden. Größere Abweichungen führen zu einer Fertigung der Holzelemente „nach Aufmaß“.

Für die gegenüber der DIN 18202 erhöhten Anforderungen werden Werte erforderlich, die jeweils mit den Ausführenden verbindlich zu vereinbaren sind. Ausführungen in Ortbeton können in der Regel geringere Grenzwerte nicht gewährleisten, so dass bei erhöhten Anforderungen Fertigteile zu bevorzugen sind.

Bei derzeit üblichen Ausführungen ist es erforderlich, vor der Montage der Holzbauteile horizontale Ausgleichselemente, zum Beispiel in Form einer Schwelle, zu setzen und einzumessen. Alternativ werden zum Ausgleich von Unebenheiten der Sohlen oder Fundamente Justierhilfen in Form von Montagekeilen zur Ausrichtung der Holzelemente eingesetzt. Der Zwischenraum wird dann durch ein aufgezogenes Quellschlammgefüllt. Dies betrifft insbesondere das Auflager der untersten Wandelemente, wenn die Außenwand in vorgestellter Position montiert wird und die oberen Wandtafeln auf die jeweils

darunter montierten aufgesetzt werden. Wird die Außenwand eingestellt oder zurückgesetzt montiert, so ist ein Toleranzausgleich in jeder Geschossebene erforderlich.

Für die mechanische Verbindung der Holzbauelemente mit den Massivbauteilen werden je nach der zu erwartenden Beanspruchung Dübel, Anker oder auch Ankerschienen und Rohrhülsen verwendet. Diese Verbindungen müssen so konstruiert sein, dass die unterschiedlichen Toleranzen zwischen den Bauteilen ausgeglichen werden können.

Für den seitlichen Toleranzausgleich, zum Beispiel zu einer Trennwand oder einem massiven Geschoss, sind in Abhängigkeit von der Befestigungsart grundsätzlich die gleichen Anforderungen zu berücksichtigen. In der Regel stehen bei der Ausführung dieser Anschlüsse jedoch die bauphysikalischen Anforderungen im Vordergrund, da die statisch relevante Befestigung meistens an der Ober- und Unterkante der Holztafeln angeordnet wird.

Zur Einhaltung vereinbarter Maßtoleranzen für Massivbauteile wird empfohlen, die für den Holzbau relevanten Punkte während der Erstellung des Massivbaus durch einen Vermessungsingenieur einmessen zu lassen, so beispielsweise in [16]. Der Einsatz eines Vermessungsingenieurs kann auch bei einer Anfertigung der Holzbauelemente „nach Aufmaß“ sinnvoll sein. Vor Beginn der Fertigung der Holzbauteile sollte, vor allem bei der ersten Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten, immer eine Kontrolle durchgeführt werden, da die Rohbauteile im Massivbau in unterschiedlicher Maßgenauigkeit erstellt werden. Der Rohbauunternehmer hat im Falle einer Abweichung eine Nachbesserung gemäß den vereinbarten Bedingungen vorzunehmen. Dies ist im Baustellenablauf entsprechend zu berücksichtigen.

4.1.2 _ Ausführungsvarianten

Nachfolgend werden die in Abb. 19 markierten Anschlusspunkte im Detail erläutert.

Dabei sind folgende Kriterien besonders von Bedeutung:

- Ausbildung einer funktionierenden Wetterschutzschicht,
- Sicherstellung einer winddichten Außenhülle,
- Vermeidung von Wärmebrücken,
- Sicherstellung des geforderten Schallschutzes,
- Herstellung eines luft- und rauchgasdichten, dampfbremsenden Bauteilanschlusses auf der Innenseite,
- Ausgleich des unterschiedlichen Setzungsverhaltens der Bauteile.

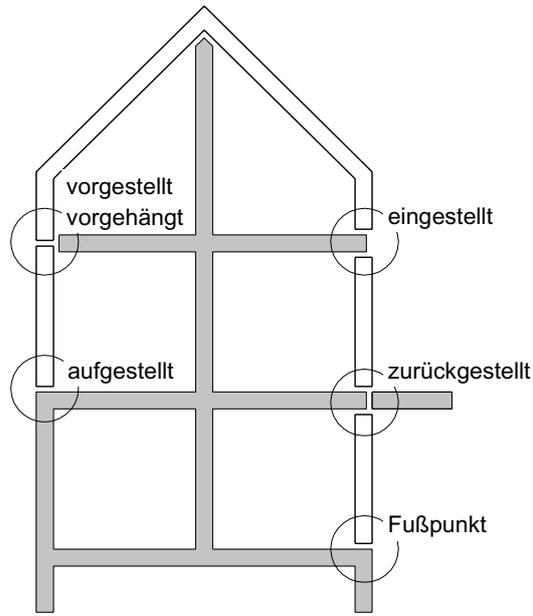
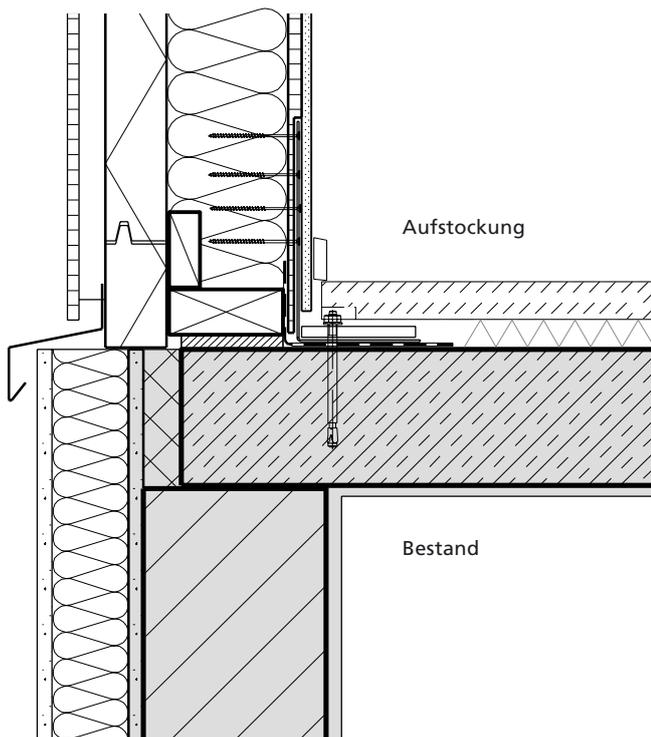


Abb. 19:
Anschlusspunkte

Geschossweise aufgestellte Außenwand

Werden Holzbauelemente auf massive Sockel, Keller oder Sockelgeschosse gestellt, so sind entsprechende Anschlüsse an die massive Decke und Außenwand erforderlich. Die gleiche Anschlussituation ergibt sich bei Aufstockungen. Diese sind als eigenständige Bauwerke standsicher mit dem Unterbau zu verbinden. Alle Wandbauteile sind tragende Konstruktionen. Bei Aufstockungen mit größeren Gebäudehöhen ist die zu berücksichtigende Gebäudeklasse (eventuell mit erhöhten Brandschutz-Anforderungen) zu ermitteln. Entstehen Aufenthaltsräume oberhalb der Bestandsdecke, die bisher den Dachraum nach unten abschloss, ändern sich neben der statischen Bemessungssituation eventuell auch die Schall- und Brandschutzanforderungen.

Abb. 20:
 Aufgestelltes Holzbauelement auf einem massiven unteren Geschoss



In der Regel ist bei Aufstockungen die Lage der Dämmebene eine andere als die der bestehenden Wände des Altbaus. Dieser besitzt üblicherweise zur energetischen Verbesserung bereits ein Wärmedämmverbundsystem, dessen Schichtdicke einen Fassadenversatz zur Aufstockung verursacht.

Für die Aufstockung von bestehenden Gebäuden bieten sich Holzkonstruktionen aufgrund ihres geringen Eigengewichtes neben der Verwendung für die Außenwand auch für weitere Bauteile an. Kann die oberste Decke des Gebäudebestandes die zu erwartenden Verkehrslasten nicht aufnehmen, werden zusätzliche Deckenbauteile notwendig. Dazu bieten sich schlanke Lösungen in Holzmassivbauweise an. Der Hohlraum zwischen den Deckenbauteilen darf keine Brandlast enthalten und ist gegebenenfalls mit Dämmstoffen auszufüllen. Durchdringungen sind brandschutztechnisch abzuschotten und luftdicht auszuführen. Durch die schwere Betondecke und den mehrschaligen Aufbau ist ohne zusätzliche Maßnahmen ein erhöhter Schallschutz erreichbar.

Darüber hinaus sind überwiegend die hier dargestellten Ausführungsdetails in der Praxis zu finden. In Abhängigkeit von der Lage der nichttragenden Außenwandelemente lassen sich prinzipiell drei Varianten des Anschlusses an mineralische Tragstrukturen unterscheiden (siehe auch Kapitel 2.1.3 ‚Trennung zwischen Tragstruktur und Gebäudehülle‘).

Vorgestellte Außenwand

Bei der vorgestellten Anordnung der Elemente vor der Tragstruktur von Decken und Innenwänden sind drei Varianten zu unterscheiden. Die Außenwandelemente können im Hinblick auf das statische System aufeinandergestellt, geschossweise abgefangen oder geschossübergreifend angeordnet werden.

Aufeinander gestellte Wandelemente leiten ihr Eigengewicht innerhalb der Holzbaukonstruktion in den Fußpunkt und benötigen zur Stabilisierung und Weiterleitung der horizontalen Kräfte die Kopplung an die Stahlbetondecken. Um den Eintrag fremder Vertikallasten, etwa aus der Verformung des Deckenrandes durch Nutzungslasten zu vermeiden, sind duktile

Anschlüsse auszuführen. Vorteilhaft ist die Passgenauigkeit der unmittelbar auf einander gestellten Elemente. Der Elementstoß kann so gestaltet sein, dass ein selbstzentrierender Formschluss die Montage vereinfacht. Große Toleranzen können nicht aufgenommen werden.

Außenwandelemente mit **geschossweiser Befestigung an den Decken** und vollständiger Einleitung ihrer Lasten in die Deckenkonstruktion verursachen einen höheren Montageaufwand. Größere Maßabweichungen der mineralischen Bauteile können jedoch leichter ausgeglichen werden.

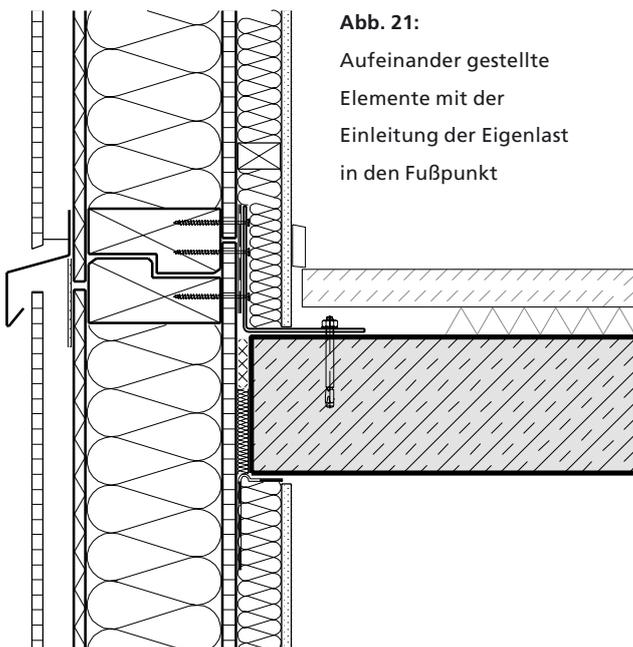


Abb. 21:
 Aufeinander gestellte
 Elemente mit der
 Einleitung der Eigenlast
 in den Fußpunkt

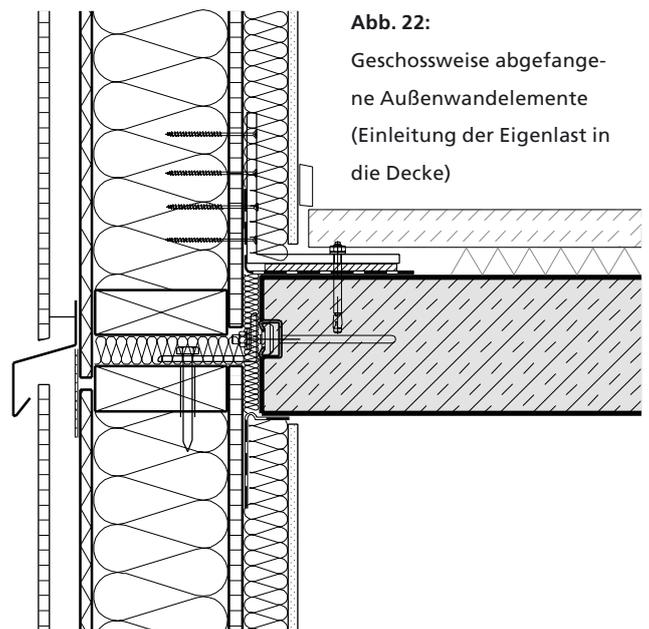
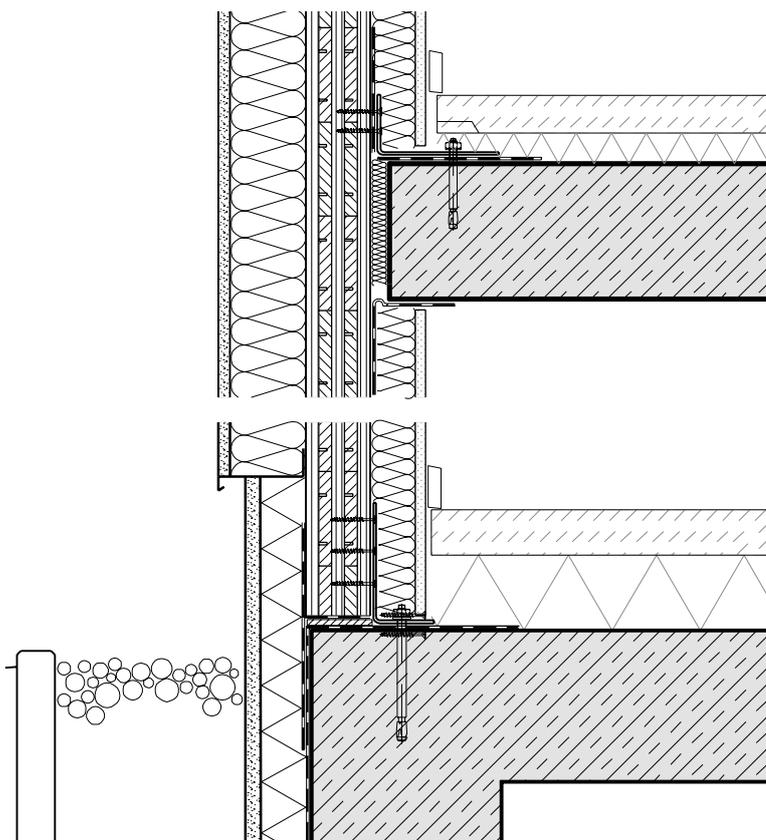


Abb. 22:
 Geschossweise abgefange-
 ne Außenwandelemente
 (Einleitung der Eigenlast in
 die Decke)

Bei der Verwendung von Brettsper Holzkonstruktionen oder Doppel-T-Trägern können **geschossübergreifende Bauteile** von bis zu vier Geschossen ohne weiteres erstellt werden. Durch den abgesperrten Aufbau von Brettsperholz sind im Vergleich zu aufeinander gesetzten Holzrahmenkonstruktionen vor allem bei mehrgeschossigen Elementen wesentlich geringere Setzungen zu erwarten. Dies gilt ebenso für die durchlaufenden Doppel-T-Trägerkonstruktionen, welche durch den geringen Einsatz von Querhölzern wie Schwelle oder Rähm und durchlaufende Beplankungen erheblich geringere Setzungen erwarten lassen. Daher kann die äußere Dämmschicht auch schon werksmäßig ohne zusätzliche Dehnungsfuge montiert werden. Das höhere Eigengewicht der Massivholzelemente gegenüber Holzständerwänden ist bei der Tragwerksplanung entsprechend zu berücksichtigen. Für die Verankerung der Wandelemente an der Unterkonstruktion gilt das oben Gesagte.

Abb. 23:
Geschossübergreifende
Elemente (Einleitung der
Eigenlast in den Fußpunkt)



In Anhängigkeit von Gebäudehöhe, Fugengestaltung der Fassade und Produktionsmöglichkeiten des ausführenden Holzbaubetriebs kann die Außenhaut bereits im Betrieb einschließlich der entsprechenden Anschlussdetails in die Vorfertigung einbezogen werden. Eine Einrüstung während oder nach der Montage ist nicht notwendig. Eine Gerüststellung ist nicht zu umgehen, wenn die äußere Schicht erst nach der Montage der Wandelemente aufgebracht wird. Bei der Verwendung eines Wärmedämmverbundsystems ist der Fassadenverschluss im Bereich des Montagestoßes zur Vermeidung von Putzrissen mit Dehnungsprofilen oder gekanteten Blechprofilen auszuführen. Diese Maßnahmen sind bei einer vorgehängten hinterlüfteten Außenhaut nicht erforderlich.

Unabhängig vom Konstruktionsraster der tragenden Struktur kann die Fassade über mehrere Geschosse durchlaufen. In Abhängigkeit von der gewählten Elementgröße, die weniger durch die Gliederung der massiven Tragkonstruktion als vielmehr durch die Transport- und Montagemöglichkeiten bestimmt wird, ist die Anzahl der Fugen und Durchdringungen der Außenhülle sehr gering. Dadurch reduziert sich die gesonderte Betrachtung von aufwändigen Anschlussdetails im Hinblick auf den Witterungsschutz sowie die Wind- und Luftdichtheit der Außenwand auf ein Minimum. Hinsichtlich des Schallschutzes sind geeignete Maßnahmen in Bezug auf die Schall-Längsleitung über mehrere Räume einer Etage sowie auf die Schallausbreitung über mehrere Geschosse hinweg vorzusehen. In den meisten Fällen kann dies durch raumweise Anordnung von Vorsatzschalen beziehungsweise gedämmte Installationsebenen oder abgehängte Decken erfolgen.

Eingestellte Außenwand

Eingestellte Holzbauelemente, die so genannten „In-fill-wall-panels“ [2], werden in die vorhandene Tragkonstruktion eingefügt. Sie tragen ihre Last vertikal direkt auf die Deckenkonstruktion oder bei horizontaler Lastabtragung (z.B. in Schottenbauweise) über die massive Innenwandkonstruktion ab. Im Wesentlichen unterscheidet man dabei drei Konstruktionsarten, gekennzeichnet durch die unterschiedliche Führung von Außenhaut und Dämmebene.

Eine **durchlaufende Führung von Außenhaut und Dämmebene** wird vorwiegend bei Außenwandelementen aus Massivholzkonstruktionen verwendet. Das Wandelement ist zwischen den Deckenplatten angeordnet, so dass diese Wände durchaus auch zur Lastabtragung als tragendes Bauteil eingesetzt werden können. Dämmschicht und Fassade sind vollständig vor der Konstruktion angeordnet.

Bei durchlaufenden Fassadenkonstruktionen erfolgt die Montage der Dämmung und Fassade entweder vollständig auf der Baustelle oder wird teilweise im Werk vormontiert und auf der Baustelle geschlossen. Dabei kommen meist Wärmedämmverbundsysteme oder hinterlüftete Fassaden mit entsprechender Dämmung zum Einsatz. Bei hinterlüfteten Fassaden oder einer Trennung der Gewerke Rohkonstruktion / Fassade wird die Winddichtheit in der Regel durch Aufbringen einer diffusionsoffenen Folie auf der Außenseite der Massivholzkonstruktion gewährleistet. Diese wird üblicherweise auch zur Sicherstellung der Luftdichtheit herangezogen, da aufwändige Anschlüsse an Innenwände und Decken entfallen. Aufgrund der durchlaufenden Dämmebene kann die Konstruktion wärmebrückenfrei ausgeführt werden. Die durch die eingebettete Decke unterbrochene Tragkonstruktion bedingt zwar zusätzlich auszuführende Anschlüsse, die hier

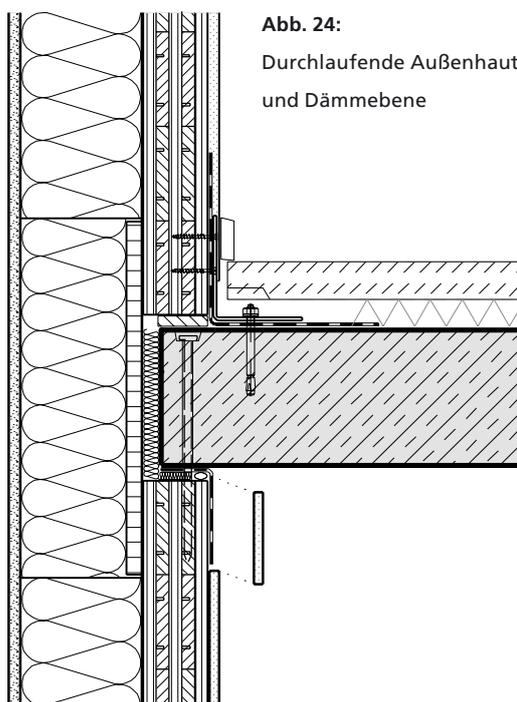


Abb. 24:
Durchlaufende Außenhaut
und Dämmebene

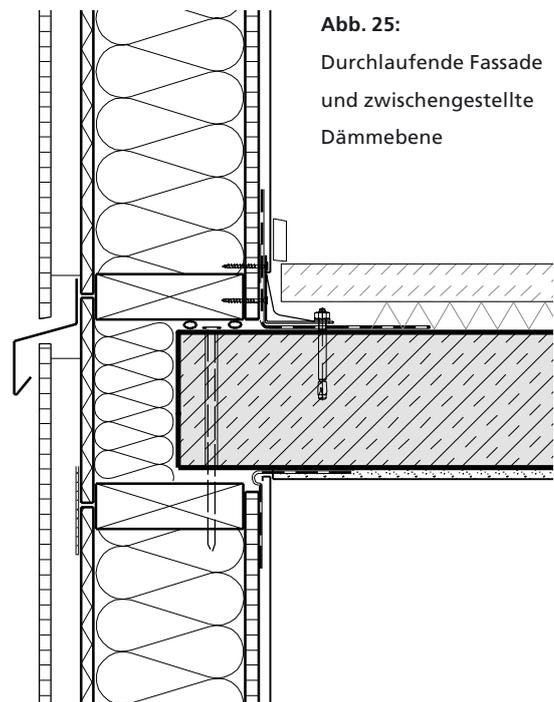


Abb. 25:
Durchlaufende Fassade
und zwischengestellte
Dämmebene

unter anderem das Durchströmen der Konstruktion mit Raumluft oder Rauchgasen verhindern müssen, bietet aber bei fachgerechter Ausführung durch die Entkopplung der Konstruktion schalltechnische Vorteile. Bei der Montage ist das Setzungsverhalten der Massivbauteile in Abhängigkeit der Konstruktionsweise sowie das Schwindverhalten des Betonbauteils bei der Ausführung der Anschlussdetails zu berücksichtigen.

Die **durchlaufende Fassade und zwischengestellte Dämmung** wird vorwiegend bei Außenwänden in Holzrahmenbauweise eingesetzt, da hier Konstruktion und Dämmung in einer Ebene angeordnet sind. Beim Beispiel Wohnbebauung Martinstraße, Darmstadt (Kap. 8.1) wurde diese Anordnung vor allem aus Schallschutzgründen gewählt, da die Gefahr einer bauakustischen Schwachstelle im Vergleich zu einer vorgestellten Außenwandkonstruktion deutlich geringer ist.

Die Wetterschutzschicht wird bei dieser Elementanordnung nicht durchbrochen, die Anzahl der Fugen in der Fassade ergibt sich in Abhängigkeit vom Konstruktionsraster. Der Wärmeschutz ist im Übergang von der Außenwand zur Decke oder Trennwand nur mit erhöhtem Aufwand auf ein Niveau zu heben, das dem der Holzelemente entspricht. Daher eignen sich Wärmedämmverbundsysteme oder Fassadensysteme mit gedämmter Tragkonstruktion am besten.

Zur Sicherstellung der Winddichtheit der Außenhülle sowie der Luftdichtheit der innenseitigen Dampfbremse werden nachträgliche Arbeiten erforderlich, die nach der Montage mehr oder weniger handwerklich ausgeführt werden und einer sorgfältigen Ausführung bedürfen.

Vorgefertigte Wandtafeln mit oberflächenfertigen Innenseiten können mit vormontierten Montagezargen oder senkrechten Traversen

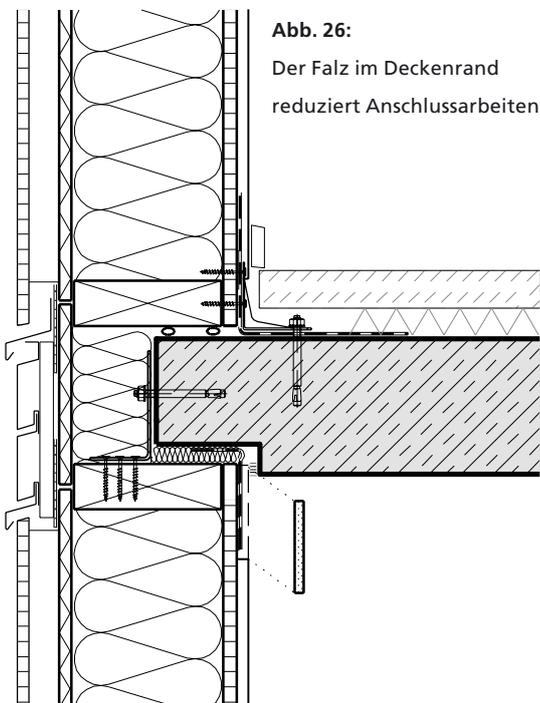


Abb. 26:
 Der Falz im Deckenrand
 reduziert Anschlussarbeiten

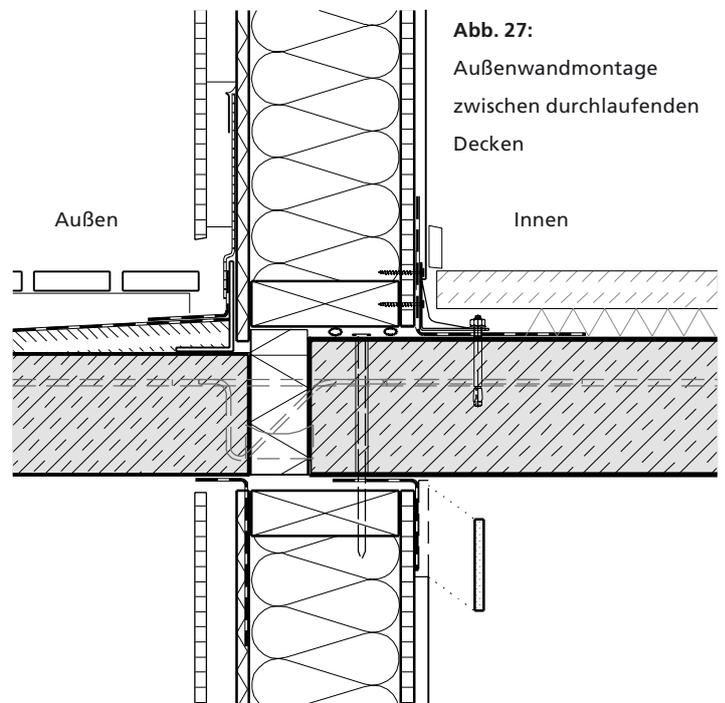


Abb. 27:
 Außenwandmontage
 zwischen durchlaufenden
 Decken

montiert werden, die einen luftdichten Anschluss sowie einen Toleranzausgleich zulassen. Bei neu erstellten Tragstrukturen lassen sich die inneren Abschlussfugen durch profilierte Ausbildung der Bauteilaußenkanten, etwa durch gefalzte Deckenränder, überdecken.

Die **zurückgesetzte Anordnung der Außenwandelemente** gegenüber den tragenden Bauteilen kommt angesichts der deutlichen Nachteile eher nur in Sonderfällen in Frage, wie bei Laubengängen oder Balkonen und bei Bauvorhaben mit auskragenden Geschossen [17].

Diese Anordnung verlangt eine hohe Maßhaltigkeit der tragenden mineralischen Struktur. Zur Montage der Wandelemente werden größere Fugenbreiten beispielsweise zum Einkippen der Elemente und entsprechende aufwändige Anschlussarbeiten erforderlich. Im Hinblick auf den Wärmeschutz verhält sich die durch die

Dämmebene laufende Tragkonstruktion wie eine Kühlrippe. Auskragende Betonbauteile sollten daher an der Dämmebene durch einbetonierte Isolierkörper thermisch getrennt werden. Müssen bestehende Bauteilaustragungen nachträglich gedämmt werden, erfordern die notwendigen Dämmschichtdicken mit entsprechendem Witterungsschutz nicht selten erheblich aufwändige bautechnische Lösungen.



Abb. 28:
 Bürogebäude Bogenstraße,
 Ahrensburg
 (Planer: Planungsgesellschaft
 Holzbau mbH, Hamburg)

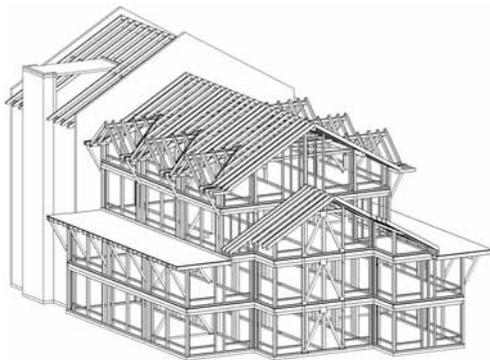


Abb. 29:
 Haupttragwerk des Büro-
 gebäudes (Ausschnitt) als
 Isometrie

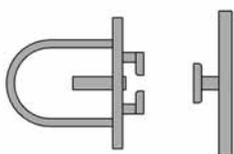
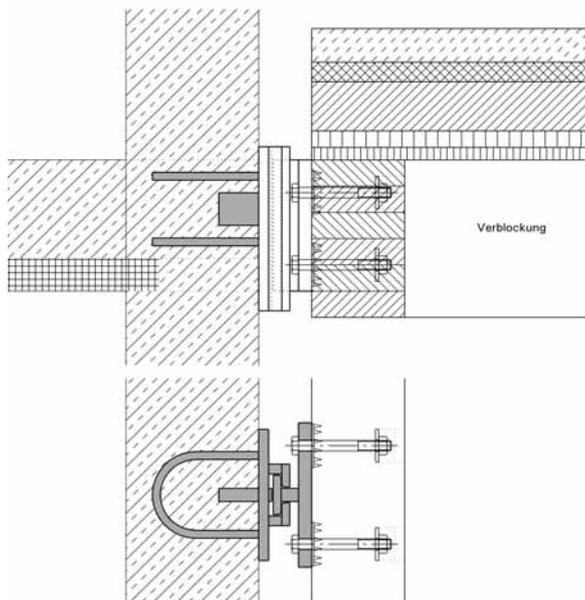


Abb. 30:
 Stahlanker verbinden
 Holz- und Betonkonstruktion

Anschluss an massive Bauteile

Neben der zuvor beschriebenen Anbindung von Gebäudehüllelementen an massive Bauteile sind besondere Lösungen für die Anschlüsse zwischen massiven und hölzernen Gebäudeteilen zu suchen (siehe Kapitel 2, sektionale Mischung). Für Bauwerke in Holzbauweise, insbesondere Skelettkonstruktionen, ist es sinnvoll, vorhandene, massive Gebäudekerne zur Stabilisierung heranzuziehen. Bei der Ausbildung der Anschlusspunkte ist das unterschiedliche Bauteilverhalten sowie die unterschiedliche Ableitung der Kräfte zu berücksichtigen. Hierbei unterscheidet man gekoppelte und entkoppelte Konstruktionen. Die Einleitung von horizontalen Kräften kann bei gekoppelter Ausbildung über einbetonierte Anker oder andere ingenieurgemäße Verbindungen erfolgen.

Die Anschlüsse bei entkoppelter Bauweise müssen in der Regel duktil ausgebildet werden, da tragende Holzkonstruktionen ein anderes Verformungsverhalten aufweisen als die angrenzenden Massivbauteile. Die Anker zur Aufnahme der Horizontalkräfte sind als zug- und druckfeste Verbindungen, jedoch in vertikaler Richtung verschieblich auszuführen. Horizontale Holzbauteile tragen durch das höhere Schwindmaß quer zur Faser zu Setzungen bei, deren Maß im Anschluss zu berücksichtigen ist.

Beispielhaft wird die im Bürogebäude Bogenstraße in Ahrensburg umgesetzte Lösung dargestellt, dessen viergeschossige BS-Holz-Skelettkonstruktion aus Gründen des Brandschutzes durch zwei Stahlbeton-Treppenhäuser ausgesteift wird.

Der Anschluss der Geschosdecken und Wände in Holzbauweise an die massiven Treppenhäuserwände ist horizontal fest und vertikal verschieblich ausgebildet. Er besteht aus Stahlankern, die das ermittelte Setzmaß aufnehmen können (siehe auch [18]).

4.1.3 _ Schnittstellen zu nachfolgenden Gewerken

Schnittstellen zu den Ausbaugewerken

Im Ablauf der Herstellung des Gebäudes kann man üblicherweise davon ausgehen, dass die Montage der Holzbauteile – hier also der Außenwände oder auch der Decken – nach der Herstellung des Massivbaus erfolgt und dass daraufhin die Arbeiten des Ausbaus und der technischen Gebäudeausrüstung ausgeführt werden. Dieser Ablauf gestaltet sich allerdings sehr unterschiedlich entsprechend dem Vorfertigungsgrad des Massivbaus und in besonderem Maße auch dem der Holzbauteile. Dem entsprechend ergeben sich auch unterschiedliche Schnittstellen zu den Ausbaugewerken.

Die Ausbaugewerke werden hier in zwei Gruppen gegliedert: einerseits handelt es sich um den Einbau von Bauteilen – beispielsweise Fenster – in Holzelemente, den „Ausbau“. Andererseits betrifft es das Herstellen der endgültigen Oberflächen, das „finish“. Letzteres kann etwa durch das Anbringen der äußeren und inneren Bekleidungen geschehen oder auch durch Aufbringen des endgültigen äußeren Anstrichs. Eine Verblendung, beispielsweise mit Klinkern, die in jedem Fall vor Ort hergestellt werden muss, wird unter den Folgearbeiten dargestellt.

Montage von Ausbauteilen

Fenster, Fenstertüren, Be- und Entlüftungselemente, Rollläden und ähnliche Ausbauteile können in Abhängigkeit vom Vorfertigungsgrad der Holztafeln sowohl bereits im Werk als auch nach der Montage der Holztafeln auf der Baustelle montiert werden. Daraus ergeben sich Konsequenzen im Hinblick auf

- den Bauablauf (längere Bauzeit und erhöhter Arbeitsaufwand bei nachträglicher Montage),
- den Lieferumfang (Ausbauteile eventuell im Lieferumfang eines anderen Auftragnehmers),

- die Gewährleistung (liegt beim Lieferanten der Holztafeln im Falle eines hohen Vorfertigungsgrades oder aber bei den entsprechenden Einzelunternehmen),
- den Umfang nachfolgender Arbeiten (z.B. einschließlich der Herstellung der endgültigen Oberflächen),
- die Schadenabwicklung (bei mehreren Auftragnehmern sind die jeweiligen Arbeiten entsprechend den erbrachten Leistungen abzunehmen und mängelfrei zu übergeben; bei bereits abgeschlossenem „finish“ kann eine aufwändige Prüfung der Zuständigkeiten erforderlich werden),
- den Schutz vor Beschädigung bei der Montage und nach dem Einbau.

Ein hoher Vorfertigungsgrad setzt entsprechende Fertigungseinrichtungen beim Hersteller der Holzbauelemente voraus, wie sie heutzutage in allen industriell fertigen Holzbaubetrieben vorhanden sind. Die Vorfertigung bringt durch einen Baustellenablauf mit kürzeren Bauzeiten, den Lieferumfang mit größeren Losen, die Gewährleistung mit eindeutiger Verantwortlichkeit sowie den geringeren Umfang nachfolgender Arbeiten deutliche wirtschaftliche Vorteile. Lediglich dem Schutz vor Beschädigungen, also einer größeren Sorgfalt bei der Montage sowie einer unter Umständen aufwändigeren Befestigungs- und Abdichtungstechnik, ist erhöhte Beachtung zu schenken.

Wird eine Holz-Stahl-Mischkonstruktion erstellt, so kann die Brandschutzummantelung von Stahlbauteilen ebenfalls dem Leistungsumfang des Holzbauunternehmens im Rahmen der Trockenbauarbeiten zugeordnet werden.

Herstellen der endgültigen Oberflächen

– „finish“

Nach der Montage der Holzbauelemente sowie aller Einbauteile und dem Schließen aller Fugen sind außen und innen die endgültigen Oberflächen herzustellen.

Die Außenseite der Holzkonstruktionen erhält in der Regel ihre endgültige Oberfläche bereits im Rahmen der Vorfertigung. Geeignete Werkstoffe dafür können sein:

- Holzschalungen,
- geeignete Holzwerkstoffplatten,
- Faserzementplatten,
- Glas oder
- Metallkassetten.

In diesem Fall bedarf es nach der Montage der Holzelemente lediglich noch des Schließens der sichtbaren Fugen. Selbstverständlich ist es auch möglich eine Fugenausbildung zu wählen, die im Sinne einer Fassadengliederung dauerhaft sichtbar bleibt und bereits im Werk größtenteils vorgefertigt werden kann. Die erforderliche Winddichtheit und der Schutz vor Schlagregen ist durch profilierte Elementkanten etwa als Stufenfalz oder durch Dichtungsprofile sicherzustellen. Die Ausführung verlangt jedoch für die Optik wie auch die Dichtheit definierte Fugenbreiten und kann kaum Toleranzen aufnehmen.

Die genannten Materialien können je nach Planung allerdings auch nach der Montage der Holztafeln eingebracht werden, wie beim Neubau des Umweltbundesamtes in Dessau, wo nach der Montage die endgültige Außenhaut angebracht wurde: hier eine Holzschalung im Decken- und Brüstungsbereich sowie farbige Glastafeln zwischen den Fenstern.

Ein nachträgliches Anbringen der endgültigen äußeren Oberflächen ist ganz oder teilweise bei solchen Materialien erforderlich, die entweder fugenlos erscheinen sollen oder aber die Belastungen aus den Montagevorgängen nicht schadlos überstehen würden. Hierzu gehören beispielsweise Putzsysteme – und damit auch Wärmedämmverbundsysteme. Auch eine hinterlüftete Verklammerung der Außenwand muss nach der Montage der Wandtafeln hergestellt werden.

Das nachträgliche Anbringen der endgültigen Oberfläche erfordert eine Einrüstung der Fassade. Entweder muss das Gebäude erneut eingestrichelt oder ein vor und während der Montage der Wandtafeln vorhandenes Gerüst weiter genutzt werden.

Die **raumseitige endgültige Oberfläche** wird – in der Regel auf Gipskarton- oder Gipsfaserplatten – als Anstrich, Tapete oder Wandverkleidung raumweise hergestellt. Sie ist besonders in Wohnungsbauten von Raum zu Raum unterschiedlich und wird so im Sinne eines „finish“ als einer der letzten Arbeitsgänge vor dem Bezug des Gebäudes ausgeführt.



Abb. 31:
Montage eingestellter
Außenwandtafeln mit
Fensterelementen
(Wohnbebauung
Sylter Straße, Wiesbaden,
Planung: Kramm + Strigl,
Darmstadt)



Abb. 32:
Montage der Wandelemen-
te mit Solarfassade
(Bürogebäude in Erfurt,
Leipziger Straße,
Planung: LEG Thüringen,
Th. Zill und N. Lippe, Erfurt)



Abb. 33:
Montage von Holztafeln
zum nachträglichen
Anbringen der endgültigen
Oberflächen (Umwelt-
bundesamt Dessau,
Planung: sauerbruch
hutton architekten, Berlin)

4.1.4 _ Schnittstellen zu den Gewerken der technischen Gebäudeausrüstung

Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung wie Heizung, Lüftung, Sanitär, Elektroversorgung und Kommunikationstechnik sind an Versorgungsleitungen gebunden. Diese Leitungen sind in der Regel bauteilübergreifend geführt, so dass, wenn sie mit den Wand- oder Deckentafeln vorgefertigt werden, während oder nach der Montage Verbindungen hergestellt werden müssen. Im Vergleich zu der tragenden und raumabschließenden Gebäudestruktur haben Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung eine kürzere technische Lebensdauer (beispielsweise circa 15 Jahre bei Heizungsanlagen). Außerdem unterliegen sie einer schnelleren technischen Entwicklung, was häufig auch zu einem Ersatz noch funktionstüchtiger Anlagen führt, wenn sie nicht mehr dem neuesten Stand der Technik entsprechen.

Daraus ergeben sich Anforderungen an die Integration von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung bei der Mischbauweise:

- Die Leitungsführung muss veränderbar sein, ohne dass die tragende und raumabschließende Gebäudestruktur dadurch wesentlich beeinflusst wird.
- Durch die Leitungsführung dürfen keine bauphysikalischen Schwachstellen (beispielsweise Wärmebrücken, Luftundichtheiten oder Schallnebenwege) entstehen.
- Im Sinne einer ökonomischen Herstellung sollte der Umfang der Arbeiten auf der Baustelle möglichst gering sein.

Diese Anforderungen können bei den unterschiedlichen Gewerken der technischen Gebäudeausrüstung auf verschiedenen Wegen erreicht werden. Einen noch höheren Vorfertigungsgrad der Holzelemente ermöglichen Entwicklungen (z.B. am Lehrstuhl für Baurealisierung und Bauinformatik, TU München, Prof. Dr.-Ing. Thomas Bock), bei denen sich über die konstruktive Verbindung gleichzeitig die in die Bauteile integrierten Installationen verbinden lassen.

Installationsebenen

Besonders auf der Innenseite von Außenwänden aus Holz kann leicht durch eine Lattung und eine zusätzliche Platte ein Hohlraum von mehreren Zentimetern Tiefe geschaffen werden, in welchem Leitungen – insbesondere Elektro- und Schwachstromleitungen – beliebig geführt werden können. Die Tiefe sollte so gewählt sein, dass auch Kreuzungen von Leitungen möglich sind. Steckdosen oder Leuchten können in die raumseitig abschließenden Platten (z.B. Gipsfaser- oder Gipskartonplatten) eingelassen werden. Diese Anordnung erlaubt es, die Leitungsführung so vorzunehmen, dass die Dampfbremse (eine Folie oder eine dampfdichte Holzwerkstoffplatte) durch die Leitungsführung nicht durchstoßen werden muss und sich aufwändige Abdichtungsmaßnahmen vermeiden lassen. Der mit einer solchen Installationsebene entstehende Hohlraum wird mit wärmedämmendem Material (z.B. Mineralfasermatten) gefüllt und trägt so zusätzlich zum Wärme- und erforderlichen Brandschutz der Wand bei.

Eine Installationsebene kann auch bereits im Werk vorinstalliert werden, wenn entsprechende Möglichkeiten für den Anschluss der Leitungen nach der Montage der Wandtafel geschaffen werden (z.B. Anschlussdosen, Steckverbindungen, Leerrohre).



Leerrohre

Aus dem Betonbau ist die Verlegung von Leerrohren vor dem Betonieren bekannt, in die später Elektro- und Schwachstromleitungen eingezogen werden. Entsprechend können auch in Wänden aus Holztafeln Leerrohre vormontiert werden. Diese Technik bietet sich für Innenwände und Decken an, während Leerrohre in Außenwänden – wenn sie nicht, wie oben dargestellt, in einer eigenen Installationsebene liegen – an Durchdringungspunkten der an der Innenseite der Außenwand liegenden Dampfbremse sorgfältig abgedichtet werden müssen. Der Vorteil von Leerrohren liegt darin, dass eine spätere Änderung oder Erweiterung der Installation mit geringem Aufwand möglich ist. Eine vertikale Verknüpfung von zwei übereinander stehenden

Wandelementen durch eine Deckenkonstruktion hindurch hat sich nicht bewährt. Der Aufwand, die einzelnen Rohre zu verbinden, ist immens und erschwert den zügigen Montageablauf. Hier bieten sich Installationskanäle an.

Installationskanäle

Leitungen mit größeren Querschnitten, also für Warm- und Kaltwasser, Abwasser, Heizung und Lüftung, erfordern, wenn sie parallel zur Ebene der Wandtafel geführt werden, eigene Kanäle oder auch Installationsblocks. Hier ist eine Vorinstallation im Rahmen der Vorfertigung der Tafeln kaum sinnvoll, vielmehr hat es sich als ökonomisch erwiesen, fertige Installationsblocks herzustellen, in denen alle erforderlichen Leitungen und Geräte enthalten sind und die im witterungsgeschützten Gebäude vor den tragenden oder raumabschließenden Wänden aufgestellt und angeschlossen werden.

Installationskanäle, die Wände aus Holztafeln durchstoßen – in der Regel wird es sich um Luftkanäle handeln – bedürfen, wie bei anderen Wandmaterialien auch, einer sorgfältigen Eindichtung. Dies gilt besonders für Aggregate, die in der Außenwand angeordnet sind, wie beispielsweise dezentrale Be- und Entlüftungsgeräte mit Wärmetauschern.

Sichtbare Installationsführung

Eine sichtbare Führung von Installationsleitungen, wie sie beispielsweise in Skandinavien häufig anzutreffen ist, und wie sie technisch und ökonomisch auch im Hinblick auf spätere Änderungen durchaus sinnvoll wäre, gilt in Mitteleuropa als „billig“ und wird daher kaum angewandt.

Abb. 34:

Holztafel als Außenwand mit raumseitiger Installationsebene (Studentenwohnheim in Växjö, Schweden)

4.2 _ Kompositbauteile

Hybride Verbundelemente aus dem nachwachsenden Baustoff Holz im Zusammenwirken mit einer mineralischen Deckschicht bieten eine wirtschaftliche wie auch unter ökologischen, bauphysikalischen und statischen Aspekten innovative Lösung für zukünftige bauliche Aufgaben. Ein hybrides Tragwerk ist dadurch gekennzeichnet, dass sich mindestens zwei Einzeltragwerke oder -tragschichten gemeinsam an der Lastabtragung beteiligen und diese dann auch einzeln für sich in der Lage sind Lasten abzutragen.

Viele Pilotprojekte zeigen bereits, dass Verbunddeckensysteme nicht nur im Wohnungsbau bzw. Einfamilienhausbau einsetzbar, sondern darüber hinaus auch für den Verwaltungs- und Industriebau geeignet sind. Als besondere Vorzüge dieser Hybridbauteile sind zu nennen:

- große Spannweiten aufgrund der günstigen statischen Eigenschaften bei verhältnismäßig geringem Eigengewicht,
- wesentlich geringere Bauhöhen im Vergleich zu anderen Deckenkonstruktionen,
- Wegfall zusätzlicher Schalkkonstruktionen während des Betoniervorgangs; gegebenenfalls sind temporäre Unterstützungen im Bauzustand notwendig,
- relativ hohe Steifigkeit als Verbundelement,
- im Vergleich zu Holzbalkendecken günstigeres Schwingungsverhalten,
- im Vergleich zu herkömmlichen Holzbalkendecken gute bauakustische Eigenschaften (Luft- und Trittschall),
- im Brandfall weitestgehende Rauchgas- und Löschwasserdichtigkeit sowie
- im Vergleich zu herkömmlichen Holzbalkendecken hohe Brandwiderstandsdauer.

Die Einsatzmöglichkeiten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen in der heutigen Bautechnik reichen von Geschossdecken im Alt- und Neubau, Wand- oder Deckenelementen in Fertigteilbauweise bis hin zu Brücken in Holz für den Schwerlastverkehr (zum aktuellen Stand in Forschung und Praxis siehe in [19]).



Abb. 35:
Holz-Beton-Verbund-Decke als
Fertigteil beim Einheben auf das
Bauwerk

4.2.1 _ Prinzip und Tragverhalten

Das Tragverhalten eines mehrteiligen Biegeträgers ist gekennzeichnet durch das Zusammenwirken der beteiligten Teilquerschnitte. Unter der Voraussetzung, dass die Teilquerschnitte über die gesamte Länge kontinuierlich im gleichen Abstand verbunden werden, ergeben sich über die gesamte Bauteillänge identische Durchbiegungen für die einzelnen Teilträger. Die Ausbildung der Verbundfuge ist entscheidend für die Übertragung der Schubkräfte beziehungsweise die Spannungsverteilung in den Teilquerschnitten. Bei nachgiebigem Verbund steigt die Gesamtbiegesteifigkeit mit der Steifigkeit der Verbindungsmittel. Während sich das äußere Moment bei starrem Verbund in ein entgegengesetzt gerichtetes Kräftepaar aufteilt (bei einem positiven Moment oben Druck und unten Zug), wirken die Teilquerschnitte ohne Verbund wie lose übereinander liegende Biegeträger, die entsprechend ihrer Biegesteifigkeit eine anteilige Momentenbeanspruchung erhalten. Bei nachgiebig miteinander verbundenen Trägern bewirkt eine steigende Steifigkeit der Verbundfuge eine Kräfteumlagerung im Träger.

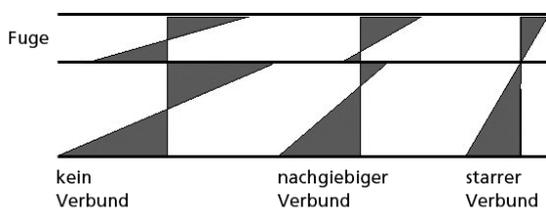


Abb. 36:
 Qualitative Darstellung der Spannungsverteilung über die Querschnittshöhe eines Verbundträgers

In der Regel wird bei derartigen Verbundquerschnitten von einachsigen gespannten Einfeldträgern mit einem positiv angesetzten Moment ausgegangen. Dabei erhält der oben liegende Teilquerschnitt vorwiegend Druckspannungen, während der untere auf Zug beansprucht wird. Auf eine Ausführung als Mehrfeldplatte wird bisher wegen der zusätzlich notwendigen Bewehrung verzichtet.

Grundsätzlich haben die Verbundpartner Holz und mineralische Deckschicht sehr verschiedene Materialeigenschaften insbesondere im Hinblick auf das unterschiedliche Kriech-, Schwind-, Quell- und Temperaturverhalten. Für die Beurteilung der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit solcher hybrider Verbund-Deckensysteme ist daher die Beachtung der zeitabhängigen, hygromechanischen Materialeigenschaften für die Einschätzung des Langzeittragverhaltens von besonderer Bedeutung.

Es ist ein spezielles Merkmal der im Bauwesen verwendeten Verbundsysteme, dass die Ausbildung der Verbundfuge sowie die unterschiedlichen Typen der zur Herstellung des Verbundes eingesetzten Verbindungsmittel einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz und Wirtschaftlichkeit dieser Systeme ausüben. Im Vordergrund steht dabei die Nutzung des Formschlusses zur Schubübertragung zwischen den Baustoffschichten.

Die aus dem Stahl-Beton-Verbundbau als auch den Stahlbetonbau bekannten prinzipiellen Ausführungen lassen sich in modifizierter Form auch bei Holz-Verbundbauteilen mit mineralischer Deckschicht einsetzen. Dazu gehören im flächigen Kontakt:

- mechanischer Verbund durch verschiedene stiftförmige Verbindungsmittel wie Schrauben, Nägel, eingeleimte Gewindestangen, Dübel und Stahlformteile oder auch Profilierungen im Holz,
- Endverankerung (ähnlich wie im Stahl-Beton-Verbund) durch Kerfen, Verdübelung oder andere Stahlformteile wie quer zur Spannrichtung ins Holz eingelassene Flachstähle,
- Haftung (Adhäsion) – flächiger Verbund der Deckschicht auf dem Holz durch eine sägeraue Holzoberfläche,
- Verklammerungswirkung und Reibung infolge von Querdruck bei Brettstapelelementen mit alternierenden Lamellen.

Zur Übertragung der Längsschubkräfte zwischen dem Holzelement und der Deckschicht können ein oder mehrere der vorgenannten Anteile genutzt werden. Haftung und Reibung bleiben jedoch bei zahlreichen Berechnungsmodellen sowohl im Stahl-Beton-Verbund als auch im Holz-Beton-Verbund wegen der oftmals schwierigen Quantifizierung dieser Anteile unberücksichtigt.

Bislang sind in den deutschen Normen nur einige wenige Aussagen zur Bemessung von Holz-Beton-Verbundbau enthalten. In der DIN 1052 (88.04) sind Angaben über das γ -Verfahren nach [20] wiedergegeben, welches ursprünglich nur für die Bemessung von nachgiebig verbundenen Holzquerschnitten herangezogen wurde. Dieses Verfahren stellt bei Beachtung der unterschiedlichen Materialsteifigkeiten auch eine Bemessungsgrundlage für kontinuierlich verbundene Holz-Beton-Verbund-Tragwerke dar. Speziellere Angaben in

Bezug auf Holz-Beton-Verbundsysteme sind in der Holzbaunorm DIN 1052:2004-08 enthalten. Darin wird im Wesentlichen vorgeschlagen analog der Bemessung von nachgiebig verbundenen Holzquerschnitten vorzugehen. Es wird jedoch die Empfehlung gegeben – insbesondere bei Anordnung einiger weniger steifer Verbundelemente – genauere Berechnungsverfahren anzuwenden.

Weitere Ausführungen sind in der europäischen Norm DIN V ENV 1995-2: EC 5 nachzulesen. Grundsätzlich wird festgelegt, dass die Zugfestigkeit des Betons sowie die Reibung zwischen den Werkstoffen zu vernachlässigen ist. Somit sind für die Übertragung der Schubkräfte ausschließlich Verbindungsmittel vorzusehen.

Bei der Ausführung von Plattenbalkenquerschnitten sei bei der Festlegung der richtigen mitwirkenden Plattenbreite auf die DIN V ENV 1992-1: EC 2 verwiesen. Abweichend von den holzbauspezifischen Normen besteht die Möglichkeit die Konstruktion und Bemessung von Holz-Beton-Verbundsystemen in Anlehnung an die DIN V ENV 1994: EC 4 durchzuführen.

Weitere Informationen können [21], [22], [23] entnommen werden.

4.2.2 _ Konstruktionsweisen

Aus der Vielzahl der Verbindungsmitteltechniken haben sich in jüngster Vergangenheit für die Verbundherstellung zwischen herkömmlichen Holzbalken und mineralischer Deckschicht zu einem als Holz-Beton-Verbund-Plattenbalken wirkenden Biegeträger vorwiegend die Systeme mit selbstbohrenden Schrauben hervorgetan.

An erster Stelle sei auf die SFS-Verbundschraube (Z-9.1-342) sowie die Timco II Verbundschraube (Z-9.1-455) hingewiesen, die als Verbindungsmittel für Verbundbauteile bauaufsichtlich zugelassen sind.



Abb. 35:
SFS-Verbundschraube aus [24]

Ein anderes Prinzip der Realisierung der Schubübertragung zwischen Holzbalken und Betondeckschicht nutzt der BVB-Verbundanker der Firma Bertsche System GmbH [25]. Hierbei wird ein spezielles Stahlformteil in zwei in das Holz einzufräsende Aussparungen eingesetzt und mit der eingefädelten Bewehrung anschließend beim Betonieren vergossen.

Der über die gesamte Spannweite kontinuierliche Verbund lässt sich auch mit dem System TC-Schubverbinder realisieren. Der TC Schubverbinder (Z-9.1-557) aus perforierten Streckmetallstreifen (Dicke 2,5 mm) wird bei Holzbalken oder flächigen Massivholzbauteilen in eine 3,2 mm breite Nut eingeklebt.



Abb. 38:
Eingeklebte TC-Schubverbinder [26]

Für die Herstellung der Verbundwirkung insbesondere bei flächigen Bauteilen wie Brettstapel-elementen mit mineralischer Deckschicht sind die Verbindungen weiter entwickelt worden. Stiftförmige Verbindungsmittel, wie oben beschrieben, eignen sich aufgrund der erforderlichen Randabstände senkrecht zur Kraft- und Faser- richtung der stehenden Brett lamellen nur bedingt und erfordern einen relativ hohen Her- stellungsaufwand.

Eine bekannte Ausführung für derartige flächige Verbundbauteile ist das System Natterer. Bei diesem Deckensystem werden in den Brettstapel quer zur Spannrichtung Kerven oder Versätze eingefräst. Zur Aufnahme der in der Verbundfuge auftretenden abhebenden Kräfte infolge der aus dem lokalen Schubverbund resultierenden Exzentrizität leimt man spezielle Hilti-Verbundanker in den Brettstapel ein. Eine ähnliche Ausführungsvariante enthält zur Aufnahme der abhebenden Exzentrizitätskräfte eingesetzte Sechskant-Holzschrauben [27].

Im Hinblick auf die Vermeidung angesprochener Einschränkungen für stiftförmige Verbindungsmittel bei Brettstapeldecken (Einhaltung seitlicher Mindestabstände senkrecht zur Faser) wurde das System Bauer-HBV-Decke entwickelt. Bei dieser Verbundfugenausführung werden Flachstähle in einen vorbereiteten, im Winkel von 5° aus der Vertikalen geneigten Sägeschnitt

in den Brettstapel straff eingetrieben. Die geneigte Flachstahlanordnung ermöglicht die Aufnahme gegebenenfalls im Montagezustand auftretender, geringer abhebender Kräfte und verbessert die Übertragung der Schubkräfte.

Zukünftig ist davon auszugehen, dass neben dem Einsatz nachgiebiger Verbindungsmittel auch der Verbund zwischen flächigen Holzelementen und mineralischen Deckschichten ein effizientes und sicheres Konstruktionsprinzip für hybride Holz-Verbundbauteile darstellen wird [21]. Neuere Untersuchungen zeigen deutlich, dass durch eine optimierte Modifikation der Holzoberflächen in Kombination mit verschiedenen mineralischen Deckschichten wie Normalbeton oder Anhydritestrich nutzbare Potenziale des Flächenverbundes vorhanden sind. Auf Verbindungsmittel kann dabei vollständig verzichtet werden oder es sind zusätzlich eingebaute Verbindungsmittel für die weitere Optimierung des Tragverhaltens nutzbar.

Abb. 39:
Prinzipskizze des eingebauten Flachstahlschlusses

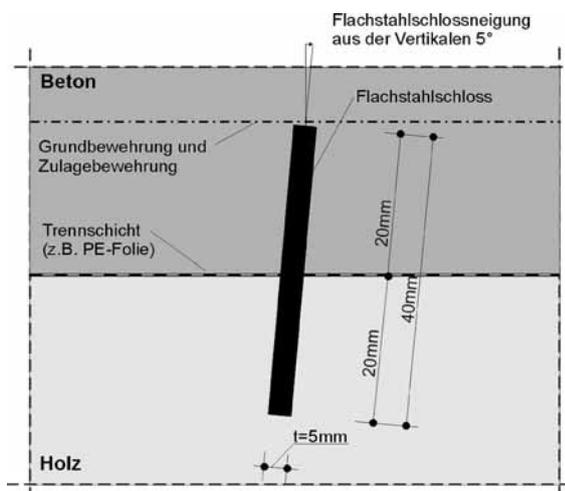


Abb. 40:
Brettstapelelement mit Flachstahlschlössern [28]



Hierbei verbessert sich deutlich das Verbundverhalten durch Aussparungen und spezielle Profilierungen, die in regelmäßigen Abständen über die Verbundfläche verteilt sind. Mit derart hinterschnittenen Holzquerschnitten wird somit eine Verklemmwirkung erzielt, welche die Anpresskraft (Querpressung) der Deckschicht an die seitlichen Brettflanken erhöht, so dass infolge der dabei nutzbaren „Haftreibung“ in der Verbundfuge höhere Schubkräfte übertragen werden. Weiterhin erzielt man durch das Zusammenfügen vieler einzelner Brettquerschnitte zu einem Flächenbauteil einen Homogenisierungseffekt, der die in den einzelnen Brettern vorhandenen örtlichen Strukturstörungen relativiert. Das bedeutet, dass bei derart aufgebauten Bauteilen eine größere Sicherheit gegenüber dem Bauteilversagen zu beobachten ist. Diese Sicherheitsreserve kann somit zur Steigerung der rechnerischen Traglast vorteilhaft genutzt werden. Durch den Wegfall der bisher notwendigen Verbindungsmittel lässt sich bei Anwendung des Flächenverbundes eine wesentlich höhere Wirtschaftlichkeit erzielen.

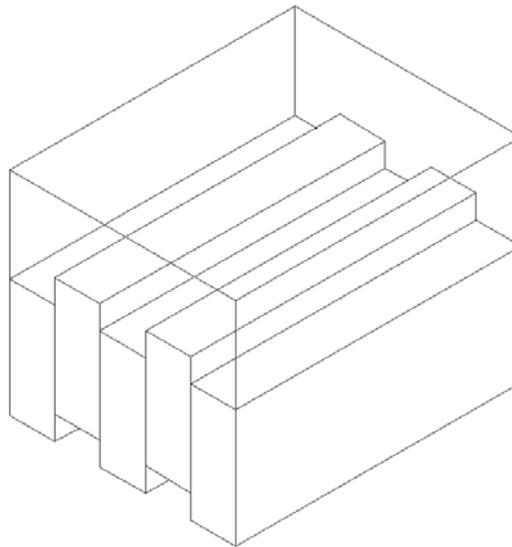


Abb. 41:
Versetzte Anordnung

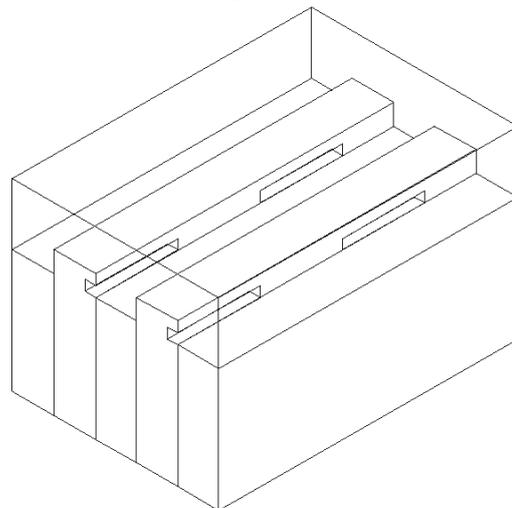


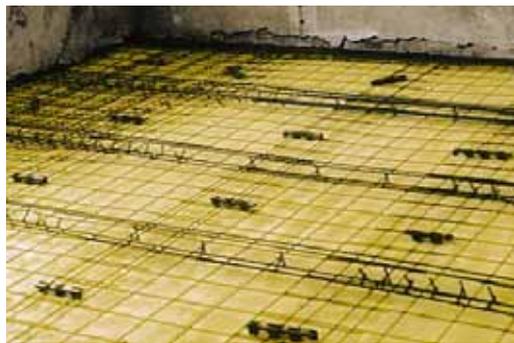
Abb. 42:
Zusätzlich profilierte
Lamellen

Holz-Beton-Verbund-Bauweise zur Ertüchtigung im Bestand

Bei Altbauten wird der Tragwerksplaner häufig mit der Forderung nach einer statischen Ertüchtigung der Holzbalkendecke konfrontiert, weil sich aus der Nutzung heraus die Deckenlasten wesentlich erhöhen oder durch den Wegfall von Wänden die Deckenspannweiten vergrößern. Mit der Holz-Beton-Verbundbauweise lassen sich solche Forderungen wirtschaftlich realisieren.

Abb. 43:

Ertüchtigung einer Altbaudecke mit Verbundschrauben nach bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-342



Grundsätzlich lassen sich bei Nutzung eines Verbundes zwischen Holzbalken und Betonplatte Altbaudecken im Spannweitenbereich zwischen 4,0 bis 5,0 m auf eine Verkehrslast von 5,0 kN/m² und zwischen 5,0 und 6,0 m bis auf eine Verkehrslast von 3,5 kN/m² ertüchtigen.

Gleichzeitig verbessern sich die Schall- und Brandschutzeigenschaften der Decke. Eine Verbesserung des Schallschutzes von 40 bis 45 dB (für den Luftschall) bei traditionellen Holzbalkendecken auf über 55 dB ist möglich.

Gegen Durchbrand von oben kann ein Feuerwiderstand von 90 Minuten (feuerbeständig)

erzielt werden. Bei Durchbrand von unten sind ebenfalls Verbesserungen in Richtung F90 BA (hochfeuerbeständig) erreichbar, wenn die Decke von unten mit einer Verkleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen versehen ist. Decken mit sichtbaren Holzbalken weisen gegen Abbrand von unten einen Feuerwiderstand von F60 auf.

Der Wirkungsgrad des Holz-Beton-Verbundes – und damit die wirksame Biegesteifigkeit des Gesamtquerschnittes – ist abhängig von der Steifigkeit (Nachgiebigkeit und Kraftaufnahme) der verwendeten Verbindungsmittel. Grundsätzlich wird zwischen starren (unnachgiebigen) und mechanischen (nachgiebigen) Verbindungen unterschieden.

Beim starren Verbund können Relativverschiebungen zwischen den einzelnen zu verbindenden Querschnittsteilen vermieden werden. Ein annähernd starrer Verbund wird durch eine Verklebung in der Berührungsfläche zwischen Holzbalken und Betonplatte gewährleistet.

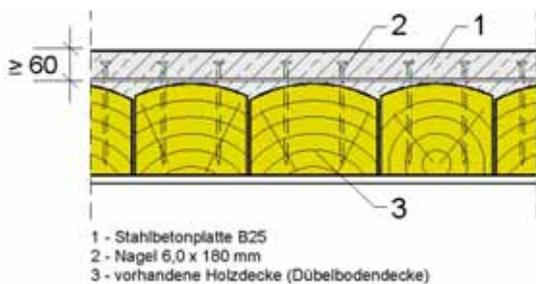
Mit punkt- oder stabförmigen Verbindungen, bei denen das Verbindungsmittel durch Scher-, Biege- und Lochleibungskräfte beansprucht wird, lässt sich hingegen nur ein nachgiebiger Verbund erreichen. Als Folge treten zwischen den einzelnen Teilquerschnitten geringe Relativverschiebungen auf. Je nach Nachgiebigkeit und Beanspruchbarkeit des Verbindungsmittels werden die Abstände unter den Verbindungsmitteln so gewählt, dass eine möglichst hohe Verbundsteifigkeit erreicht wird.

Bauaufsichtlich geregelte Bauarten

Traditionelle Verbindungsmittel wie Nägel, Holzschrauben und Stabdübel zählen zu den in der Norm DIN 1052 geregelten Verbindungsmitteln. Diese wurden aber in Deutschland bisher noch nicht für Verbundkonstruktionen verwendet. In anderen Ländern wie zum Beispiel in der Slowakei oder Polen setzt man seit 1960 Nägel besonders für Verbundlösungen in der Altbausanierung ein.

Abb. 44:

Holz-Beton-Verbunddecke hergestellt mit Nägeln, nach [29]



Bekannt ist dagegen der Einsatz von genormten Verbindungsmitteln (zum Beispiel Sechskant-holzschrauben) bei speziellen Schubankern. Bauaufsichtlich zugelassen wurden bisher in Deutschland insgesamt sechs Lösungen. Für zwei spezielle Verbundschrauben (Abb. 43) mit einem Durchmesser von 7,5 und 7,3 mm sind die Zulassungen Z-9.1-342 [30] und Z-9.1-445 [31]. Mit der Verbundschraube nach Zulassung Z-9.1-342 wurden in Deutschland schon zahlreiche Bauvorhaben realisiert.

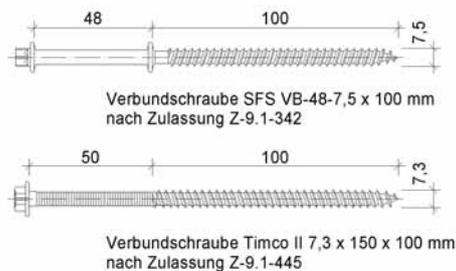
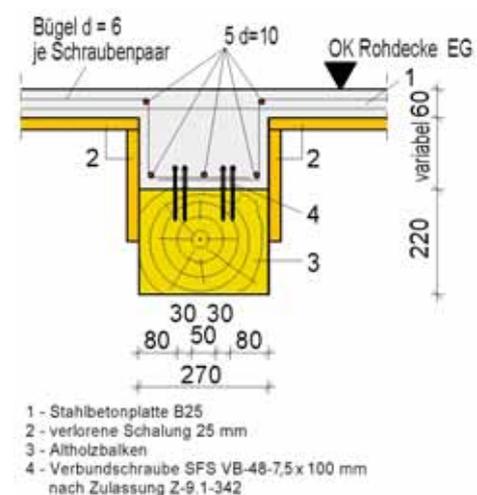


Abb. 45:

Verbundschrauben

Die Schraube lässt sich schnell und einfach in den Balken einschrauben und ist daher besonders für die Herstellung von Holz-Beton-Verbunddecken im Altbau geeignet.



Neu ist die Entwicklung nach Zulassung Z-9.1-557 [33], die auch bei in der Altbausanierung angewendet werden kann. Der TC-Schubverbinder aus perforierten Streckmetallstreifen (Materialdicke 2,5 mm) wird in das Holz in eine 3,2 mm breite Nut eingeklebt. Durch das kontinuierliche Einkleben des Streckmetalls wird eine hohe Verbundsteifigkeit erreicht.

Abb. 46 und 47

zeigen ausgewählte Beispiele (zur Berechnung und Anwendung dieser Verbundtechnik siehe auch [32])

5 _ Transport und Montage

Bereits mehrfach wurde darauf hingewiesen, dass eine enge Kooperation zwischen dem Ersteller des Massivbaus und dem des Holzbaus unabdingbar ist. Sie sollte bereits im Planungsstadium beginnen, damit alle Schnittstellen rechtzeitig geklärt werden und eine weitgehende Vorfertigung mit entsprechend zügiger Montage durchgeführt werden kann. Eine solche frühzeitige Kooperation, auch mit den Planern, ist Voraussetzung dafür, dass die Vorteile der Mischbauweise im Hinblick auf die technische Qualität, die kurzen Herstellungszeiten und niedrige Kosten voll genutzt werden können.

Abstimmungsbedarf besteht schon bei der Baustelleneinrichtungsplanung. Häufig organisiert der Rohbauunternehmer die Baustelle nach seinem Gewerk. Selten wird für die Anlieferung von fertigen Holzbauerelementen die erforderliche Stell- und Bewegungsfläche zum Zeitpunkt der Montage bedacht. Zur wirtschaftlichen Abwicklung ist die Abstimmung über Kranstellung und Hebekapazitäten sowie Gerüststellung erforderlich. Ein wesentlicher Punkt der Gütesicherung betrifft den temporären Witterungsschutz der Baustelle. Hier reicht ein pauschaler Hinweis auf die Notwendigkeit nicht aus. Es sind explizit Schutzmaßnahmen auszusprechen, die das Vorhalten von Abdeckplanen, verklebte Abdichtungsbahnen auf hölzernen Geschossdecken bis hin zu provisorischen Rinnen und Fallrohren zur kontrollierten Ableitung von Niederschlägen umfassen können. Der Terminplan sollte die Schutzmaßnahmen berücksichtigen – so ist eine montierte Holzdecke am Ende der Woche unter Umständen das ganze Wochenende ungeschützt, wenn der Dachdecker keine Möglichkeit zum Herstellen eines Regenschutzes hat.

Das vergleichsweise geringe Flächengewicht der Holztafeln aus stabförmigen Systemen von circa 50 kg/m² ermöglicht eine gute Ausnutzung der Transportkapazität und eine einfache Montage. Der Transport kann unmittelbar vom Werk zur Baustelle erfolgen.

Zur wirtschaftlichen Abwicklung sollte durch einen Montagezeitplan die korrekte Beladung und Anlieferung der Elemente sicher gestellt sein. Auch hier ist es so, dass aufgrund des geringen Flächengewichtes eine Transporteinheit von 10 Wandtafeln der Größe von jeweils 20 m² mit circa 10.000 kg als ökonomische Größe angesehen werden kann. Elementgrößen bis 3,00 m Höhe und circa 14,00 m Länge (18 m Gesamtlänge des Fahrzeugs) können ohne Sondergenehmigung gemäß der Straßenverkehrsordnung transportiert werden.

Die Montage wird immer dann besonders effizient sein, wenn das Aufnehmen des Wandelementes vom Transportfahrzeug und das Absetzen am Einbauort in einem kurzen Arbeitsgang erfolgt. Hier sind Montageleistungen von mehreren Wandelementen pro Stunde durchaus erreichbar. Eine auf der Baustelle vorliegende Montageanweisung muss Angaben über Gewicht, Lagerung der Teile, Anschlagpunkte für das Hebezeug und Reihenfolge der Montage enthalten. Zum Zeitpunkt der Montage ist die Standsicherheit zu jedem Zeitpunkt sicher zu stellen. Hierzu dienen Hilfskonstruktionen wie Absteifungen oder Abspannungen. Der Montageablauf ist abhängig von der konstruktiven Anbindung der Holztafeln an den Massivbau.

Verwendet werden dürfen nur Lastaufnahme-einrichtungen, die auf die Bauteile abgestimmt

sind und deren Tragfähigkeit nachgewiesen wurde. Ein Außenwandelement mit einer Fläche von 36 m², das in Bezug auf seine Größe im Geschossbau an der oberen Grenze liegen dürfte, erreicht damit ein Gewicht von ca. 1.500 kg – für die Montage mit einem Autokran ein „Leichtgewicht“, bei dem Belastungen aus Wind während der Montage eher als das Eigengewicht von Bedeutung sein könnten. Auch Holztafeln aus flächigen Systemen mit bis zum Vierfachen dieses Gewichtes sind noch deutlich leichter als Betonfertigteile gleicher Größe. Zur Vermeidung von Montageschäden empfehlen sich Hebezeuge mit geringer Hub- und Senkgeschwindigkeit.

Die besonders wirtschaftliche Form der Montage erfolgt ohne Gerüst. Die Holzbauelemente werden durch den Kran unmittelbar vom Transportfahrzeug aus in ihre endgültige Position gebracht und von innen befestigt. Im Bereich des mehrgeschossigen Bauens sind geeignete Maßnahmen zur Absturzsicherung der am Bau tätigen Personen einzuplanen. Nach Fertigstellung des Massivbaues finden die vorbereitenden Arbeiten ausschließlich auf den jeweiligen Deckenlagen statt. Für diese Arbeiten genügt ein seitliches Aufsteckgerüst an der Deckenkante. Beim „Einschweben“ der Elemente sind jeweils die nach der allgemeinen Baustellenverordnung geforderten Rahmenbedingungen zu schaffen (z.B. Sicherung der Montagearbeiten durch Anseilen). Der Verschluss der Gebäudehülle von außen erfolgt dann über Hubsteiger.



Abb. 48:
„Einschweben“ von
Wandelementen auf der
Baustelle

Abb. 49:
 Montage von überdecken-
 den Außenwandtafeln
 beim Umweltbundesamt
 in Dessau (Planung: sauer-
 bruch hutton architekten,
 Berlin)

5.1 _ Montage vorgestellter, nicht tragender Holztafeln

Das unterste Element wird auf ein exakt ausge-
 richtetes Schwellholz gesetzt. Alternativ ist mit
 nivellierten Montagekeilen und aufgezo-
 genem Quellmörtelbett ein korrektes Auflager zu erstel-
 len. Die weiteren Elemente werden von unten
 nach oben in der Form montiert, dass sie jeweils
 entweder auf das darunter bereits montierte
 Element oder aber auf eine an der tragenden
 Struktur befestigte Konsole aufgesetzt werden.
 Die Holztafeln hängen also während des Monta-
 gevorgangs senkrecht am Kran. Nach dem Auf-
 setzen wird oben die konstruktive Verbindung
 zur tragenden Struktur – in der Regel der Decke
 – hergestellt. Anschließend kann die nächste
 Tafel darüber montiert werden.



Abb. 50:
 Montage von eingestell-
 ten Außenwandtafeln bei
 eingerüstetem Gebäude
 (Reihenhäuser Norder-
 neyer Straße, Wiesbaden.
 Planung: Kramm & Stigl
 Architekten, Darmstadt)

Voraussetzung für diesen Montagevorgang ist
 üblicherweise, dass die Fassade nicht eingerüstet
 ist. Alle Hilfsarbeiten, also auch das Befestigen an
 der tragenden Struktur, müssen dann vom Innen-
 ren des Gebäudes her erfolgen. Bei niedrigen
 Gebäuden ist es ebenfalls möglich, die Holztafeln
 trotz Gerüst zu montieren, wenn im Montage-
 bereich das Gerüst selbst standfähig und ein
 ausreichend großer Zwischenraum zwischen der
 Außenwand und dem Gerüst vorhanden ist.

Die Montage in überdeckender Position erlaubt
 auch bei entsprechenden Möglichkeiten in der
 Fertigung und beim Transport Tafeln zu montie-
 ren, die mehrere Geschosshöhen überdecken.
 Im Fall des Gebäudes für das Umweltbundesamt
 in Dessau (siehe Kapitel 8.5) überdecken die
 Außenwandtafeln jeweils zwei Geschosse.
 Sie wurden liegend transportiert, dann mit dem
 Kran aufgerichtet und montiert.



5.2 _ Montage eingestellter, nicht tragender Holztafeln

Bei einer Montage eingestellter, nicht tragender Holztafeln ist es erforderlich, diese zwischen die bereits vorhandenen Deckenplatten einzuschwenken. Dies erfordert einen gewissen Spielraum bei der Montage, der später als Fuge zwischen der Oberkante der Holztafel und der massiven Struktur (darüber liegende Decke und oder Wände) geschlossen werden muss. Vor Einbau der Elemente sind Befestigungswinkel auf der Betondecke anzubringen. Die Winkel werden ausgerichtet, da sie die „Anschlagpunkte“ für die einzuführenden Elemente bilden. Die Tafeln müssen bei der Montage zunächst unten über die Deckenplatte bis zu den Winkeln gezogen, dann abgesetzt und schließlich oben nach innen bis in die senkrechte Position gezogen werden. Die Befestigung an Decke und Wänden erfolgt danach.

Diese Anordnung, insbesondere im Hinblick auf den baulichen Schallschutz, bedingt also einen Montagevorgang, der eine deutlich höhere Sorgfalt voraussetzt und auch umfangreichere Nacharbeiten erfordert.

Der gleiche Montagevorgang wird auch bei zurückgesetzt eingestellten Holztafeln angewandt: die Tafeln werden am Kran hängend unten in ihre Position gezogen, dann ausgerichtet und befestigt. Die massiven Bauteile, die ohne Entkopplung durch einbetonierte Isolierkörper über die Ebene der Holztafeln hinausragen, werden im Rahmen der Nacharbeiten mit einem Wetterschutz versehen.

5.3 _ Montage tragender Holztafeln

Holztafeln – sowohl stabförmige als auch flächige Systeme – werden in der Regel dann tragend eingesetzt, wenn die Decken aus einzelnen vorgefertigten Elementen bestehen. Betondeckenelemente wie vorgefertigte Spannbeton-Hohlkörperdecken, Halbfertigteile wie Filigrandecken oder massive Holz- oder Holzbetonverbundelemente werden mit den Holzbauwänden kombiniert. In diesem Fall werden Geschoss für Geschoss zunächst die Wandelemente aufgestellt und gesichert. Dann werden die Deckenelemente aufgelegt und die Verbindungen hergestellt. Eine Einrüstung erübrigt sich üblicherweise, wenn sie nicht nach der Montage von Außenwänden und Decken im Rahmen von Folgearbeiten an der Fassade notwendig ist.

5.4 _ Geschossweise Herstellung von Massivbau und Holztafeln

Eine geschossweise Herstellung des Rohbaus einschließlich der Außenwände aus Holztafeln ist ebenfalls möglich – unabhängig davon, ob die Holztafeln tragend oder nichttragend eingesetzt werden. Hierbei ordnet man die Holztafeln flächenbündig oder zurückgesetzt an und montiert jeweils Geschoss für Geschoss nach der Erstellung der massiven Innenwände. Die Decken aus Beton-Fertigteilen, Halfertigteilen mit Ortbeton oder auch aus Ortbeton werden im Anschluss an die Montage der Außenwände hergestellt. Dieser Ablauf setzt einen sehr guten Schutz der Holztafeln vor der Baufeuchte und vor Witterungseinflüssen bei der Herstellung des Rohbaus voraus [17]. Die Holztafeln können in diesem Fall eine tragende Funktion übernehmen, es ist aber auch möglich, die Decken nur auf die in Mauerwerk oder Beton hergestellten Wände aufzulegen.

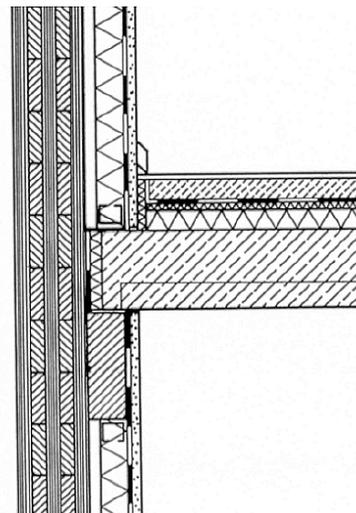
Abb. 51:
 Ortbetondecke auf Konsolen an durchlaufender tragender Holztafel
 (Arch: Schröder & Widmann, München)

Mit der Deckenplatte wird das Geschoss geschlossen, bevor tragende und nicht tragende Wände im nächsten Geschoss folgen [17, S. 127]. Der Vorteil dieses Ablaufes liegt darin, dass sehr schnell für jeweils ein Geschoss ein „Rohbau“ erstellt werden kann, in dem unter Witterungsschutz bereits Ausbau- und Installationsarbeiten beginnen, während das darüber liegende Geschoss noch montiert wird.

Beim Einsatz tragender Innenwände aus Holztafeln in Verbindung mit Stahlbeton-Fertigteildecken ist eine Montage Geschoss für Geschoss erforderlich. Die konstruktive Verbindung wird

hier geschaffen, indem Ankerplatten auf den tragenden Holztafeln angebracht werden, die in Aussparungen in den Stahlbetonfertigteilen hineinragen und nach der Montage vergossen werden. Ähnlich kann man beim Einsatz vorgespannter Stahlbeton-Hohlkörperdecken verfahren. Aus den tragenden Wänden in Holztafelbauart ragen Dollen in den Raum zwischen den Hohlkörperelementen. Sie werden dort mit einbetoniert. Ein ausgeführtes Projekt ist in [34] dokumentiert.

Auch der Einsatz von Ortbetondecken auf tragenden Holztafeln ist möglich. Dabei kann die Betondecke voll auf der tragenden Holztafel aufliegen. Wenn die Holztafeln über mehrere Geschosse durchlaufen, kann sie aber auch auf Konsolen aufliegen, die an der Holztafel befestigt sind.





Ein Beispiel für voll auf die Holztafeln aufgelegte Betondecken ist die Lohrtalschule in Mosbach. Hier sind sowohl die tragenden Innen- als auch die ebenfalls tragenden Außenwände in Brettstapelbauweise ausgeführt, während – im Wesentlichen zur Stabilisierung des Raumklimas – die Geschossdecken aus Ortbeton hergestellt wurden.

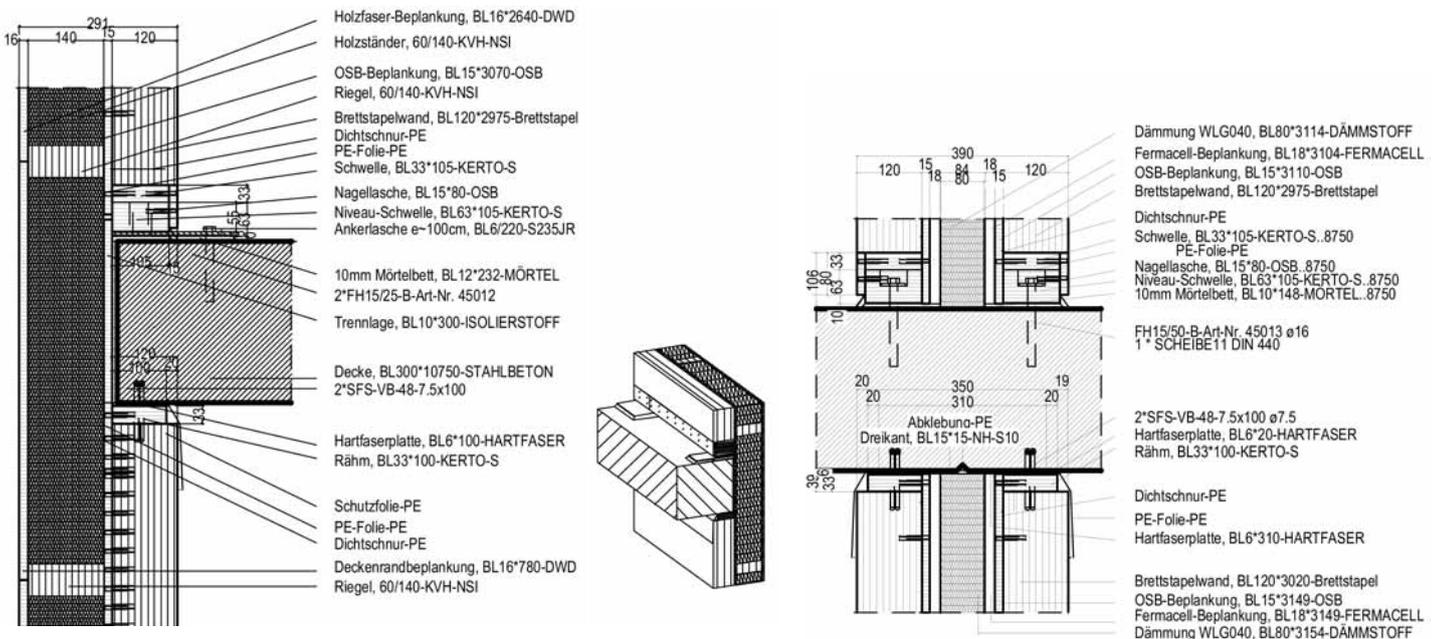
Die konstruktiven Verbindungen mit der tragenden Wand unter der Decke bestehen aus stählernen Kopfplatten. Diese werden vorab in den Brettstapeln befestigt. Sie sind mit Ankern versehen, die dann in die Ortbetonplatte hineinragen und mit einbetoniert werden. Auf der Bodenplatte und der Ortbetondecke über dem Erdgeschoss stehen die tragenden Wände auf

einer Schwelle aus Furnierschichtholz, die tragenden Stützen aus Brettschichtholz unmittelbar auf der Betonplatte in einem dünnen Mörtelbett. Der Arbeitsablauf, bei dem die Ortbetondecke auf den vorher montierten Holztafeln gegossen wird, setzt einen besonders sorgfältigen Schutz der Holzteile sowohl vor Feuchtigkeit als auch vor Verschmutzungen voraus. Dies gilt insbesondere, wenn die Holzteile wie in diesem Beispiel später sichtbar bleiben sollen.

Das Gleiche gilt auch für Holz-Beton-Verbunddecken, bei denen eine hohe Genauigkeit und eine Untersicht aus Holz möglich ist, die aber bei der Herstellung der Ortbetonschicht eine besondere Sorgfalt erfordern.

Abb. 52:
Lohrtalschule in Mosbach
(Architekten:
motorplan Architektur und
Stadtplanung, Mannheim)
Gesamtansicht

Abb. 53:
Regeldetails
Decke Erdgeschoss



5.5 _ Folgearbeiten

Mit der Montage der Wandtafeln ist das Gebäude wetterfest geschlossen. Der Umfang der Nacharbeiten ist entsprechend dem Vorfertigungsgrad und der Detailgestaltung unterschiedlich.

5.5.1 _ Folgearbeiten außen

Folgearbeiten an den Außenseiten der Fassaden betreffen insbesondere das Schließen der Fugen, Anschlussarbeiten im Fugenbereich, das Anbringen der endgültigen Außenwandbekleidung und den endgültigen Anstrich. Dem Schließen der horizontalen und vertikalen Fugen zwischen den Holztafeln und dem Massivbau kommt besondere Bedeutung zu. Diese Fugen müssen nicht nur luft- und winddicht sein, sie müssen ebenso den Anforderungen des Wärmeschutzes, des Brandschutzes und des Schallschutzes genügen und an ihrer Innenseite dampfdicht sein. Bei einer eingestellten oder gegenüber dem Massivbau zurückgesetzten Anordnung der Holztafeln ist die an der Stirnseite der Decke oder Wand entstehende Wärmebrücke zu schließen.

Während das Schließen der Fugen von außen noch von einer mobilen Plattform aus möglich ist, erfordern die übrigen Arbeiten – Anschlussarbeiten, Anbringen der endgültigen Außenwandbekleidung, endgültiger Anstrich – ein Gerüst, in Ausnahmefällen auch noch Kranhilfe, wenn sie nicht im Rahmen der Vorfertigung geleistet werden konnten. Die Arbeiten werden außerdem ohne Wetterschutz ausgeführt. Beides ist ein Argument dafür, die Außenwandtafeln herzustellen und zu montieren, um aufwändige Folgearbeiten zu vermeiden.

5.5.2 _ Folgearbeiten innen

Die inneren Folgearbeiten sind weitgehend raumbezogen, umfassen als Arbeitseinheit einen Raum. Dem entsprechend betreffen sie auch unterschiedliche Materialien und Vorfertigungsgrade an Wand, Boden und Decke. Hierzu gehört das Herstellen der Randanschlüsse der Holztafeln an Decke, Wände und Boden, die Installationen für Elektrizität, Kommunikationstechnik, Heizung und Lüftung sowie das Oberflächenfinish in Form von Anstrich und Tapeten.



Abb. 54:
Folgearbeiten außen
von einer Arbeitsbühne aus
(Planung: LEG Thüringen,
Th. Zill und N. Lippe, Erfurt)

6 _ Wirtschaftliche Aspekte

Eine Bauweise, die nicht auf Marktnischen oder Bauvorhaben mit sehr speziellen Anforderungen beschränkt bleiben soll, muss neben anderen auch ökonomische Vorteile im Wettbewerb aufweisen. Diese Vorteile sollten wie die technischen für den Planer nachvollziehbar und im Ergebnis auch messbar sein. Sie ergeben sich sowohl im Rahmen der Herstellungskosten als auch beim Betrieb und dem späteren Rückbau, also für die Gesamtkosten über die Lebensdauer des Gebäudes. Eine Quantifizierung dieser ökonomischen Vorteile ist im Rahmen dieser Darstellung zwar nicht möglich, vielmehr sollen hier einige qualitative Gesichtspunkte aufgeführt werden, die notwendigerweise zu solchen Vorteilen führen.

Die Aussagen zu den wirtschaftlichen Aspekten gelten sinngemäß für Neubauten wie auch für Modernisierungen, Aufstockungen, Anbauten oder den Austausch nicht tragender Außenwände.

6.1 Herstellung

Bei vielen ausgeführten Projekten wird deutlich, dass Kosteneinsparpotenziale in den Bereichen der standardisierten Planung, der Herstellung als industrielle Vorfertigung und in einer engen Kooperation der Hersteller von Massivbauteilen und Holzbauteilen liegen. Hinzu kommen die Einsparpotenziale, die sich aus einer Verkürzung der Bauzeit ergeben.

Eine standardisierte Planung unter Berücksichtigung industrieller Vorfertigungsstandards bedeutet einerseits, dass bereits in der Planung eine gleichbleibende Ausführungsqualität vorgegeben wird. Ein hoher Anteil der Wertschöpfung wird von der Baustelle in das Werk verlagert, wo eine hohe Qualität unter gleichbleibenden Bedingungen mit hohem Maschineneinsatz erreicht werden kann, die zudem über die Berücksichtigung von Ausführungserfahrungen im Laufe der Zeit immer weiter verbessert wird. Andererseits kann bereits in der Planungsphase durch die Wiederholung bewährter Details und Leistungsbeschreibungen wertvolle Zeit gewonnen werden.

Wesentliche Rationalisierungspotenziale liegen in einer industrialisierten Herstellung des Gebäudes, insbesondere auch der Fassade. Bei einem hohen Grad der Vorfertigung und der Integration können oberflächenfertige und vorinstallierte Fassadenteile zur Montage gebracht und innerhalb kürzester Zeit ohne Zwischenlagerung auf der Baustelle montiert werden. Beim Projekt LEG Erfurt beispielsweise wurde ein solcher Ablauf praktiziert (s. Kap. 8.2).

Ein wesentlicher Aspekt ist dabei eine Gewerke übergreifende Kooperation bis hin zu einer Zusammenfassung mehrerer Gewerke bei einem Hersteller. Teile des Rohbaus, des Ausbaus und der technischen Gebäudeausrüstung sind in einem Bauteil, beispielsweise der Außenwandtafel, integriert. Und dieses Bauteil muss dann auf der Baustelle mit dem örtlich erstellten Rohbau oder auch mit anderen vorgefertigten Bauteilen verbunden werden. Es ist deutlich, dass ein Bauvorhaben um so rationeller und fehlerfreier realisiert werden kann, je mehr die beteiligten Partner bereits in der Arbeitsvorbereitung die Schnittstellen zwischen ihren Gewerken berücksichtigen können.

Von großer Bedeutung in der wirtschaftlichen Abwicklung von Bauvorhaben ist die Verkürzung der Bauzeit – obgleich diese selten in Kalkulationsansätzen berücksichtigt wird. Rein organisatorische Maßnahmen konnten bei untersuchten Bauvorhaben zu Reduzierungen der Bauzeit um bis zu 25 % führen. Hinzu kommen technische Maßnahmen wie Vorfertigung oder der Einsatz von Serienbauteilen. Dies bedeutet nicht nur eine kürzere Zeit für das Vorhalten der Baustelleneinrichtung, sondern auch einen kürzeren Zeitraum für das ungenutzte, im Bauwerk gebundene Kapital, das vor Inbetriebnahme des Gebäudes nicht genutzt werden kann. Einsparungen aus einer Verkürzung der Bauzeit können insgesamt in einer Größenordnung von monatlich 0,5 % der Baukosten liegen.

6.2 Betrieb

Ein nach energetischen Gesichtspunkten konzipiertes Gebäude kann gegenüber einem konventionell geplanten mit deutlich geringerem Energieaufwand betrieben werden. Optimaler Wärmeschutz, rationelle Energieverwendung, passive und aktive Nutzung der Solarenergie sowie eine intelligente Klimatisierung können den Betrieb des Gebäudes energetisch nahezu autark machen. Das bedeutet spürbare Kosteneinsparungen während der gesamten Lebensdauer. Bei konventionell konzipierten Gebäuden liegen die Betriebskosten über die Lebensdauer bei einem Vielfachen der Herstellungskosten. Allein die aus einer Mischbauweise mit optimal gedämmten Außenwänden resultierende Einsparung an Energiekosten kann zu einer deutlichen Reduzierung der Kosten über die Betriebszeit des Gebäudes führen. Eine entsprechende Annahme lag den Konzepten des Umweltbundesamtes (s. Kap. 8.5) und des Gebäudes der LEG Erfurt (s. Kap. 8.2) zugrunde, wie auch vielen anderen nach dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit konzipierten Gebäuden.

Leichtbauweisen in der Außenwand führen auch zu einem Gewinn an Nutzfläche. Vergleicht man eine in Holzrahmenbauweise hergestellte Außenwand mit einer Außenwand aus Mauerwerk, so hat das Holzelement bei gleicher Wärmedämmung eine wesentlich geringere Bauteildicke. Geht man von gleichen Außenabmessungen des Gebäudes aus, so bedeutet dies, dass im Inneren eine größere nutzbare Fläche zur Verfügung steht. Ein Gewinn von jeweils 15 cm bei zwei Außenwänden und bei einer Gebäudetiefe von

10 m bedeutet bei gleichem umbautem Raum einen Gewinn von immerhin 3 % Nutzfläche, die vermietet bzw. verkauft werden kann. Auch dies bedeutet einen Zusatznutzen über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes.

Darüber hinaus ist eine Holz-Mischbauweise auch flexibler, was die Anpassung an neue Funktionen des Gebäudes betrifft. Der Austausch einzelner nicht tragender Außenwandelemente ist mit vergleichsweise geringem Aufwand durchzuführen, wodurch bei Wunsch auch ein neues Erscheinungsbild des Gebäudes erreicht werden kann. Auch hierin liegt ein Gewinn im Sinne der Attraktivität und einer langfristig ausgelasteten Nutzung des Gebäudes – ein deutlicher Vorteil angesichts von zunehmenden Leerständen vor allem in Gebäuden mit schlechter Wohnqualität bei veralteter Bausubstanz.

6.3 Rückbau

Der Rückbau von Gebäuden vollzieht sich stufenweise, da die unterschiedlichen Bauteile auch von unterschiedlicher Lebensdauer sind. Während der Rohbau durchaus – wenn nicht funktionale Mängel dem entgegenstehen – eine Lebensdauer von 100 Jahren und länger erreichen kann, sind beispielsweise Teile der technischen Gebäudeausrüstung bereits nach 15 bis 25 Jahren entweder nicht mehr funktionsfähig oder in ihrer Technik so sehr veraltet, dass sie erneuert oder ausgetauscht werden müssen. Die Lebensdauer anderer Bauteile liegt zwischen diesen Extremen. Es ist also erforderlich, Gebäude so zu planen, dass Erneuerungen nicht mehr nutzbarer oder defekter Bauteile während der Lebensdauer des Gebäudes leicht möglich sind. Dies gilt sowohl für Erneuerungen als auch für die komplette Demontage des Gebäudes am Ende seiner Nutzung.

Ein wichtiges Kriterium für einen recyclinggerechten Demontageprozess ist die Möglichkeit, das Bauwerk so in seine Wertstoffe zerlegen zu können, dass diese möglichst weitgehend neuen Materialkreisläufen zugeführt werden können. Die langlebigen Teile der Konstruktion – im Wesentlichen mineralische Baustoffe, Metalle und Holz – müssen leicht von den Stoffen trennbar sein, die nicht gemeinsam mit ihnen verwertet werden können. Bei Bauteilen, die im Trockenbau hergestellt und eingebaut sind, wie beispielsweise Außenwandelemente in Holzrahmenbauweise, ist diese Voraussetzung leicht erreichbar. Bauteile, die als kraftschlüssig verklebte Verbundkonstruktionen hergestellt

wurden, lassen sich wesentlich aufwändiger trennen.

An den Gebäuden der Landesentwicklungsgesellschaft in Erfurt und des Studentenwohnheims in Wuppertal wurde ein Rückbau der vorhandenen Fassaden aus Stahlbeton-Fertigteilen durchgeführt, weil diese nicht mehr dem Stand der Technik und den gestalterischen Ansprüchen genügten. Die bisherigen Fassadenteile wurden

durch leicht demontierbare Holzbaulemente ersetzt. Vor allem bei größeren Bauwerken sollte ein stufenweise unabhängiger Rückbau bereits in der Planung berücksichtigt werden. Dieser Aspekt ist bei entsprechender Ausführung, zum Beispiel mit einfach auswechselbaren Holzelementen, in der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Mischbauweise zu berücksichtigen.

Abb. 55:
Rückbau Gebäudehülle
Studentenwohnheim Burse
(Planung: Architekten
Contor Müller Schlüter,
Wuppertal)



7 _ Ausblick

Bei der Verwendung von Holzkonstruktionen in der Mischbauweise handelt es sich um eine bereits in der Praxis bewährte, zukunftsweisende Kombination der unterschiedlichen Baustoffe und Bauweisen. Den einzelnen Bauteilen, aus mineralischen Baustoffen oder aus Holz und Holzwerkstoffen, werden innerhalb des zu errichtenden Gebäudes jeweils diejenigen Funktionen zugewiesen, für die sie in besonderem Maße geeignet sind.

Konstruktiv sind es vor allem bei mehrgeschossigen Gebäuden die statischen Eigenschaften, welche die Konstruktionen aus mineralischen Baustoffen für tragende Funktionen – Innenwände, Stützen und Decken – geeignet erscheinen lassen. Die Bauteile aus Holz erfüllen die bauphysikalischen Anforderungen an die Gebäudehülle – insbesondere als weitgehend vorgefertigte Außenwände – besonders wirtschaftlich. Stetig steigende Energiekosten führen zu stetig steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz. Dies wird zu vermehrtem Einsatz der Mischbauweise führen. Auf Grund der derzeitigen Entwicklungen und der daraus folgenden baurechtlichen Möglichkeiten werden im Holzbau vermehrt auch tragende und aussteifende Bauteile als innovative Holzbausysteme entwickelt. Im Vergleich zu den begrenzten Ressourcen der Ausgangsstoffe für Stahl- oder Betonbauteile ist auch im Hinblick auf Verfügbarkeit und Preisstabilität der Werkstoff Holz eine Alternative aus nachwachsenden Rohstoffen.

Herstellungstechnisch zeichnet sich die Mischbauweise durch eine große Anpassbarkeit aus. Ein hoher Vorfertigungsgrad ist ebenso möglich wie eine eher handwerkliche Herstellung. Dies gilt sowohl für die Bauteile aus mineralischen Baustoffen als auch für die aus Holz und Holzwerkstoffen.

Daraus folgen auch wesentliche ökonomische Stärken. Besonders eine eingespielte Kooperation zwischen den am Bau Beteiligten – hier insbesondere zwischen dem Massivbauer (dem klassischen „Rohbauunternehmer“) und dem Holzbauer – und ein angemessener Vorfertigungsgrad werden nicht nur zu einer Kostenreduktion für das gesamte Bauvorhaben führen, sondern gleichzeitig zu hoher Qualität, zu geringem Energiebedarf und zu einem angenehmen Raumklima im fertigen Gebäude. Dass dabei der nachwachsende Rohstoff Holz eine wesentliche Rolle spielt, ist ein zusätzlich positiver Aspekt.

Die im Rahmen der Veröffentlichung dargestellte Mischbauweise zeichnet sich im Vergleich zum konventionellen Bauen darüber hinaus durch eine große Vielfalt an individuellen Lösungen aus. Einzellösungen vor Ort sowie industriell vorgefertigte Gebäudeteile sind in verschiedensten Kombinationen realisierbar. Dadurch ist es möglich, die Mischbauweise bei sehr unterschiedlichen Aufgabenstellungen einzusetzen, beim kleinteiligen Bauen im Bestand bis hin zu komplexen Großbauwerken.

8_ Ausgeführte Beispiele

In den folgenden Kapiteln werden fünf Projektbeispiele dokumentiert, die in Mischbauweise ausgeführt sind. Um ein hohes Maß an Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Rahmenbedingungen aus Normen und Vorschriften zu ermöglichen, beschränkt sich die Auswahl auf deutsche Beispiele. Die dargestellten Projekte decken in ihrer Funktion verschiedene Anwendungsbereiche ab und zeigen unterschiedliche Varianten von Holzkonstruktionen in Mischbauweise.

- Das 1999 fertiggestellte Projekt **Martinstraße, Darmstadt** der Architekten Kramm & Strigl ist in der Reihe der hier dokumentierten Objekte das älteste Beispiel. Es handelt sich um ein zweigeschossiges Wohnungsbauprojekt mit Dachgeschoss und Tiefgarage, das in tragender Stahlbeton-Schottenbauweise mit vorgestellten Außenwandtafeln in Holzrahmenbauweise ausgeführt wurde.
- Bei dem Bauvorhaben der **Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen** handelt es sich um die Sanierung eines ehemaligen Plattenbaus mit sechs Geschossen und Dachgeschoss. Neben der kompletten Sanierung im Innenbereich wurde an der bestehenden Stahlbeton-Skelettkonstruktion eine neue Solarfassade aus vorgefertigten Holzrahmenelementen in Verbindung mit verglasten Wabenluftkollektoren angebracht.
- Das Projekt **Studentenwohnheim Burse in Wuppertal** des Architektur Contor Müller Schlüter ist ebenfalls ein Sanierungsprojekt. Auch hier wurde neben der kompletten Sanierung einer vier- bis siebengeschossigen Schottenstruktur aus Stahlbeton die schadhaft-ge Vorhangfassade aus Stahlbeton-Sandwich-elementen durch hochwärmegedämmte Holztafelelemente ersetzt. Im ersten Bauabschnitt wurde der Niedrigenergiehaus-, im zweiten der Passivhaus-Standard realisiert.
- Der Neubau eines fünfgeschossigen **Wohn- und Geschäftshauses in Arnsberg (tri-Haus)** von den Architekten Banz + Riecks mit dreieckiger Grundrissgeometrie ist mit tragenden Stahlbeton-Wänden, -Stützen und -Decken und nicht tragenden Holztafel-Außenwandelementen an den Südost- und Südwest-Fassaden angelegt.
- Das Projekt **Umweltbundesamt in Dessau** von sauerbruch hutton architekten ist in seinem Umfang das größte der hier präsentierten Projekte. Für das viergeschossige Verwaltungsgebäude kommen vor einer Stahlbeton-Konstruktion vorgefertigte Holzelemente zum Einsatz.

Die ausführlichen Projektbeschreibungen in den folgenden Kapiteln beinhalten jeweils Aussagen zur Konstruktion und Gestaltung, zu bauphysikalischen Gesichtspunkten, zur Herstellung und zu ökonomischen Aspekten. Darüber hinaus wird in den Ausführungen der vorausgegangenen Kapitel auf weitere Projektbeispiele hingewiesen, um einzelne Besonderheiten zu erläutern. Diese Projekte sind:

- Die dreigeschossigen **Reihenhäuser in Wiesbaden** (Architekten Kramm & Strigl, Darmstadt, Kapitel 1.5). Bei diesem Projekt wurden die Holztafelelemente der Außenwände bereits mit der endgültigen Oberfläche vorgefertigt und montiert. Sie sind ein Beispiel für besonders kostengünstiges Bauen bei gleichzeitiger Erfüllung hoher technischer und bauphysikalischer Anforderungen.
- Das fünfgeschossige **Wohngebäude in Wiesbaden** (Planung Altmann + Zimmer Architekten, Wiesbaden, Kapitel 1.5). Es ist eines der Beispiele, bei denen die Vorteile der Mischbauweise im Geschosswohnungsbau genutzt werden.
- Das **Wohn- und Bürogebäude in Wiesbaden** (Planung Altmann + Zimmer Architekten, Wiesbaden, Kapitel 1.5). Hier wird gezeigt, wie die Mischbauweise einen Passivhaus-Standard ermöglicht und auch in einer Baulücke eingesetzt werden kann.
- Das **Studentenwohnheim in Växjö, Schweden** (Kapitel 4.1.3). Die Montage erfolgte in der eher ungewöhnlichen Form, dass man jeweils für ein Geschoss die tragenden und nicht tragenden Wände (die Außenwände als Holztafeln) montierte und es dann mit der Deckenplatte aus Ortbeton schloss.
- Die **Lohrtaleschule in Mosbach** (motorplan Architektur und Stadtplanung, Mannheim, Kapitel 5.1). Bei diesem Projekt wurden tragende Wände und Stützen aus Brettschichtholz ausgeführt, auf denen Decken aus Ortbeton liegen.



Abbildung 56:

Die Außenwände im Innenhof sind unterschiedlich ausgeführt: Terrakotta-Ziegel an der Westseite, Holzbekleidung an der Ostseite

8.1 _ Wohnbebauung Martinstraße, Darmstadt

Im Inneren einer vorhandenen Blockbebauung wurden 63 Wohneinheiten als Wohneigentum im Geschosswohnungsbau erstellt. Der Neubau umfasst dabei vier zweigeschossige Wohngebäude mit Dachgeschoss und Tiefgarage. Die Bauzeit erstreckte sich von Februar 1997 bis Juni 1999.

Auf insgesamt 6.053 m² Wohnfläche sind 1- bis 6-Zimmer-Wohnungen, teilweise als Maisonettewohnungen, mit 28 m² bis 149 m² Wohnfläche entstanden. Drei bis sechs Wohnungen werden jeweils über ein gemeinsames Treppenhaus erschlossen. Die Eigentümer konnten ihre Wohnungsgrundrisse durch den Einsatz nichttragender Innenwände auch noch in spätem Planungsstadium mitbestimmen.

Planung und Ausführung:

Bauherr:

Seipp + Loesch GmbH,
Darmstadt

Architekten:

Kramm + Strigl, Darmstadt

Tragwerksplanung:

Dr. Mühlshwein Ingenieure GmbH Büro für Baustatik und Bauphysik, Dreieich

Ausführung Fassaden:

Zimmerei Sieveke GmbH,
Lohne

Baudaten:

Bauzeit:

28 Monate: Februar 1997
bis Juni 1999

Wohnfläche: 6.053 m²

Umbauter Raum: 33.688 m³

Geschosse:

2 Vollgeschosse, 1 Dachgeschoss und Tiefgarage



Abbildung 57:

Lageplan. Die vier Baukörper innerhalb der bestehenden Blockrandbebauung (unmaßstäbliche Verkleinerung)

Abbildung 58 a und b:

Isometrische Darstellungen des Außenwandaufbaus als Holzrahmenkonstruktion mit hinterlüfteten Fassaden: an der Ostseite mit Holzbekleidung (a), an der Westseite mit Terrakotta-Ziegelementen (b)

Abb. 59:

Nicht bewitterte, geschosshohe Wandelemente der Ostfassaden mit Lärchenholzbekleidung

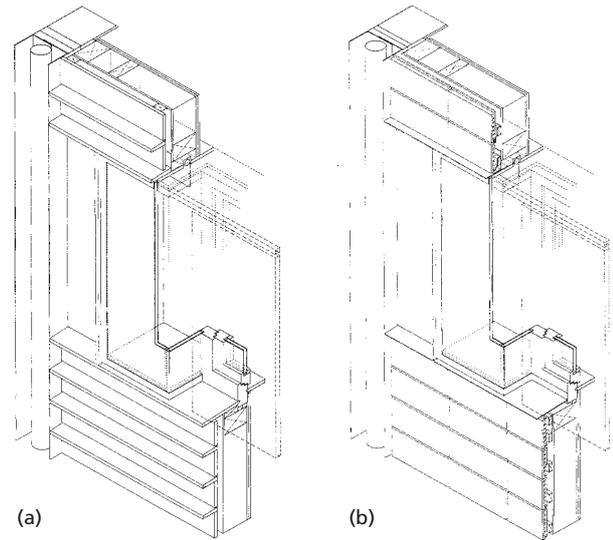
Abb. 60:

Bewitterte Westfassaden zum Innenhof mit Bekleidung aus Terrakotta-Ziegelementen

Konstruktion und Gestaltung

Das Konstruktionssystem der vier Baukörper besteht aus Querwandschotten in Mauerwerk mit quergespannten Stahlbetondecken. Die Schottenwände haben einen Achsabstand von 5,00 m und dienen als Wohnungstrennwände bzw. Treppenhauswände (bei geringerem Achsabstand). Die Decken sind als Halbfertigteile mit Aufbeton ausgeführt. Die Wohnungstrennwände wurden aus mit Beton ausgefüllten Bimsformsteinen hergestellt, die Treppenhauswände aus Stahlbeton. Bei den Treppenläufen handelt es sich um vorgefertigte Stahlbetonteile. Die nichttragenden Innenwände wurden wegen der streichfähigen Wandoberfläche und wegen des Schallschutzes aus Gipsvollsteinen erstellt.

An den Gebäudelängsseiten haben die Außenwände (Ost- und Westfassaden) lediglich raumabschließende Funktion. Sie wurden zum Innenhof als Holzrahmenkonstruktion mit Mineralfaserdämmung und zur Gartenseite als geschosshohe Holzfensterelemente ausgeführt. Der Witterungsschutz der Holzrahmenelemente wird an den Westseiten von hinterlüfteten Terrakotta-Ziegelementen gebildet, an den witterungsgeschützten Ostseiten besteht er aus einer hinterlüfteten, profilierten Holzbekleidung aus Lärchenholz. An den Fenstern und Fenstertüren sind farbige Schiebeelemente mit einer Bekleidung aus Faserzementplatten angebracht.



Im zurückspringenden Dachgeschossbereich und auf den Gartenseiten ist die Außenhaut mit Holzfensterelementen aus lasierter Kiefer ausgeführt. Die Balkonelemente sind im 1. Obergeschoss auf den Gartenseiten vor die Baukörper gestellt. Ihre Stahlkonstruktion ist vom Kerngebäude thermisch entkoppelt. Für den Gehbelag wurden profilierte Holzplanken verwendet.

Auf die Außenwandschotten (Giebelwände) wurde ein Wärmedämmverbundsystem mit 12 cm Dämmung und Putzoberfläche aufgebracht. Die Dachkonstruktion ist als sehr flach geneigtes Satteldach aus Holztafelelementen mit Fuß- und Firstpfetten aus Stahl ausgeführt. Die Dachelemente sind nach dem gleichen Prinzip wie die Wandelemente hergestellt, die Elementbreite beträgt 2,50 m. Im Bereich der Treppenhäuser befindet sich zur Aussteifung in Dachebene eine Stahlbetondecke.

Für die Gestaltung der Baukörper sind die verwendeten Materialien wie Holz, Beton, Stahl und Ziegel fast durchweg in ihren natürlichen Farben belassen. Die Schiebelemente für Fenster und Fenstertüren setzen intensive Farbakzente bei den Fassaden zum Innenhof.



Abb. 61:
Gartenfassaden und Außenwände des zurückspringenden Dachgeschosses aus Holzfensterelementen

Abb. 62:
Schiebelemente der Fenster und Fenstertüren



Abb. 63:
Vertikalschnitt der Außenwand als Holzrahmenkonstruktion mit Anschluss Außenwand an Decke (unmaßstäbliche Verkleinerung)

Bauphysikalische Gesichtspunkte

Der Regelaußenwandaufbau der Holzrahmenelemente sieht wie folgt aus (von innen nach außen):

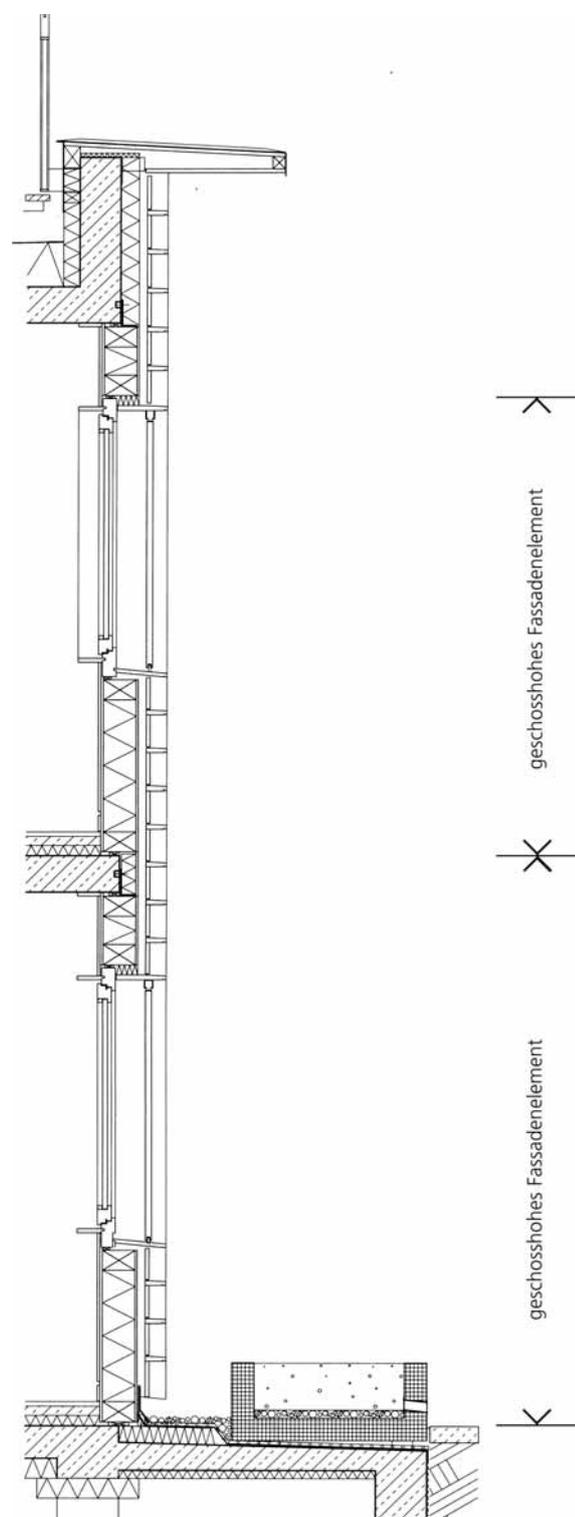
- 12,5 mm Gipskartonplatte
- 12 mm Holzwerkstoffplatte
- Dampfbremse
- 10/16 cm Holzständerwerk und 16 cm Dämmung
- 10 mm Holzwerkstoffplatte
- Winddichtung
- 40 mm Unterkonstruktion und Hinterlüftung
- Holz- bzw. Ziegelbekleidung

Eine gesonderte Installationsebene für die Außenwände wurde nicht ausgeführt. Die Dampfbremse kann nicht durchstoßen werden, da sämtliche Installationen im Boden, in den Decken und in den Innenwänden liegen.

Aufgrund der Gebäudeklasse waren keine Brandschutzanforderungen an die Außenbauteile zu erfüllen. Besondere Anforderungen an den Schallschutz der Außenwände wurden nicht gestellt, da aufgrund der Blockinnenbebauung kein Außenlärmpegel zu beachten war. Die Wohnungstrennwände erfüllen ein Schalldämm-Maß von $R'_{w} = 55$ db und die Decken zwischen den Wohnungen von $R'_{w} = 57$ db.

Um die Schallübertragung zwischen den Geschossen über die Außenwände zu minimieren, sind die Außenwandelemente etwa zur Hälfte in die Schottenstruktur eingestellt. Das hat zur Folge, dass im Bereich der tragenden Wand- und Deckenelemente nur eine reduzierte Dämmschichtdicke für den Wärmeschutz zur Verfügung steht. Hinsichtlich des Wärmeschutzes sind aber die Anforderungen der seinerzeit gültigen Wärmeschutzverordnung weit übertroffen worden. Die Baukörper haben aufgrund ihrer kompakten Bauweise eine geringe Außenwandoberfläche

und so auch eine geringe Wärmeverlustfläche. Die Grundrisse weisen eine energetische Zonierung auf. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwände in Holzrahmenbauweise liegt bei $u = 0,23$ W/(m²K).





Herstellung

Die Außenwandelemente in Holzrahmenbauweise wurden werkseitig vorgefertigt und auf der Baustelle montiert. Die Vorfertigung umfasste die kompletten Elemente, also auch die äußere Fassadenbekleidung, die Fenster, die Absturzsicherung, die Schiebeläden und alle Komponenten der Rohkonstruktion bis hin zur inneren Gipskartonbekleidung. Die vorgefertigten Elemente haben eine Größe von ca. 12,50 m² (5,00 m x 2,50 m) und ein Gewicht von ca. 800 kg. Sie wurden auf der Baustelle mit Hilfe eines Krans von außen in den Rohbauöffnungen montiert. Ihre Befestigung erfolgte an den in den Decken eingelassenen Ankerschienen, unten wurden die Elemente auf den Decken aufgestellt und nur fixiert.



Abb. 64:

Vorgefertigtes Musterelement mit allen Komponenten der Außenwand

Abb. 65:

Die Außenwandelemente wurden mit Hilfe eines Krans von außen in den Rohbauöffnungen montiert

Abb. 66:

Ansicht mit teilweise montierter Außenwandkonstruktion

Da die Holzrahmenelemente zum Teil in die Schottenkonstruktion eingestellt sind, wurden die Anschlussfelder im Bereich der tragenden Wände und Decken auf der Baustelle ergänzt. Die Dampfbremse ist ebenso wie die Anschlüsse der Winddichtung mit den massiven Bauteilen verklebt. Die angrenzenden Wand- und Deckenbereiche wurden gedämmt und danach die äußere Bekleidung ergänzt. Die Fassadenstreifen der Holzbekleidung ließen sich vor Ort problemlos anpassen, während die Ergänzung der Ziegelplatten eine detaillierte Planung im Vorfeld erforderte, da diese Platten nicht geschnitten werden können. Verbleibende Toleranzen wurden an den Anschlüssen ausgeglichen.

Als Toleranzausgleich passte man nach der Montage von innen schmale Streifen aus Gipskarton an den Rändern der Elemente ein. Auf Wunsch des Auftraggebers wurden die Innenoberflächen der Elemente zum Teil verputzt und gestrichen oder aber gespachtelt und tapeziert.

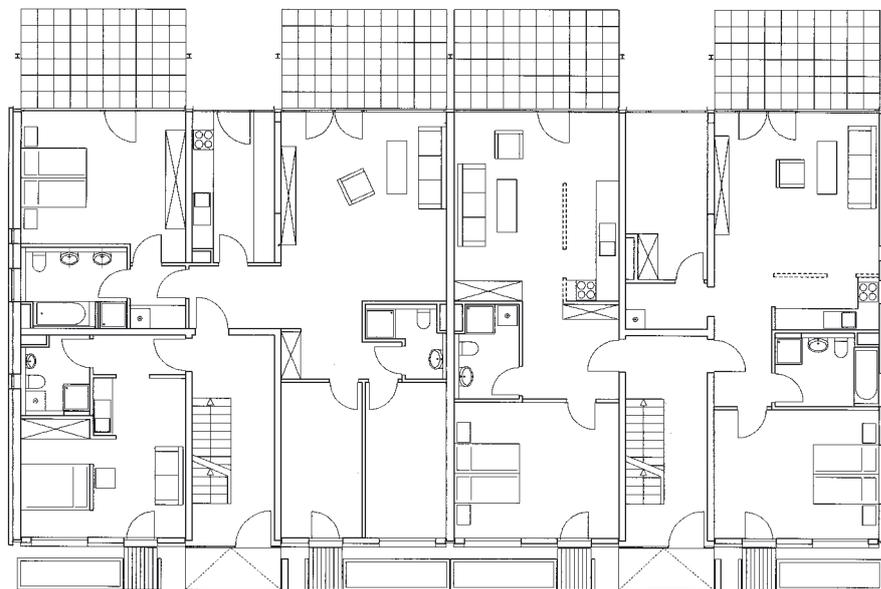
Abbildung 67:
Ansicht Eingangsbereich

Der Zeitaufwand für die Montage eines Wandelementes betrug etwa 60 Minuten. Die Transportentfernung für die vorgefertigten Wandelemente lag bei ungefähr 400 km. Die Außenwandelemente an den Gartenseiten und im Dachgeschoss wurden als Fensterelemente angeliefert und montiert.

Der herstellungstechnische Vorteil des frühzeitig geschlossenen Gebäudes war bei diesem Projekt Gesprächsthema bei Anwohnern und anderen Beobachtern. Durch die besondere bauliche Situation entstand über lange Zeit der Eindruck, dass auf der Baustelle nicht mehr weiter gearbeitet würde. Die Baukörper wirkten von außen nach der schnellen Montage der Wandelemente schon wie bezugsfertig, während hinter der Fassade im geschützten Innenbereich die Arbeiten fortgeführt wurden.



Abbildung 68:
Grundriss Erdgeschoss



Ökonomische Aspekte

Die Planer bewerteten das Projekt in dieser Bauweise insgesamt positiv. Ebenso wird die Wohnzufriedenheit nach mehreren Jahren der Nutzung als hoch eingeschätzt. Aufgrund der von den Planern erstmalig ausgeführten Mischbauweise und des hohen Vorfertigungsgrades der Außenwandelemente benötigte das Projekt einen größeren Planungsaufwand. Zur Vermeidung von zeitlichen Verzögerungen im Bauablauf musste die Vorfertigung auf Basis der Ausführungsplanung vorbereitet werden, schon bevor ein Aufmaß auf der Baustelle möglich war. Um „Vor-Ort-Improvisationen“ zu verhindern wurden die Probleme, die sich aus den verschiedenen Toleranzwerten des Rohbaus und des Holzbaus hätten ergeben können, im Vorfeld weitgehend identifiziert und Möglichkeiten des Toleranzausgleichs in den Anschlussfeldern eingeplant. Aufgrund der langen Baugenehmigungsphase ergab sich als Neben aspekt dieses Projektes, dass ausreichend Zeit für entsprechende Vorplanungen zur Verfügung stand. Ein wesentlicher Vorteil war auch das sehr maßgenaue Arbeiten des Rohbauunternehmers.

Die bei diesem Projekt angegebenen Kosten von ca. 235,- Euro /m³ für den umbauten Raum spiegeln eine vergleichsweise kostengünstige Gesamtbauweise wider. Die gewählte Außenwandkonstruktion in Holzrahmenbauweise bot im Vergleich zu anderen Wandkonstruktionen keinen Kostenvorteil, sie war eher als teurer einzustufen. Dem steht allerdings der Zeitgewinn und der Wohnflächengewinn (ca. 10 cm Bauteildicke im Vergleich zu einer konventionellen Ausführung) gegenüber. Dieser entsteht durch die schlanke Außenwandkonstruktion, bei der Konstruktion und Dämmung in einer Ebene liegen. Der Flächengewinn schlägt sich direkt im Verkaufs- oder Mietpreis nieder.

Bei der Ausschreibung des Projekts haben 1998 nur wenige Firmen für die Ausführung der Außenwände ein Angebot abgegeben, die diese komplexen Elemente mit Schlosser-, Zimmer-, Tischler- und Fassadenarbeiten als Hauptauftragnehmer ausführen konnten. Auch bei den ausführenden Firmen lag noch wenig Erfahrung für eine solche Mischbauweise vor, was sich auch in der Preiskalkulation niedergeschlagen haben könnte.

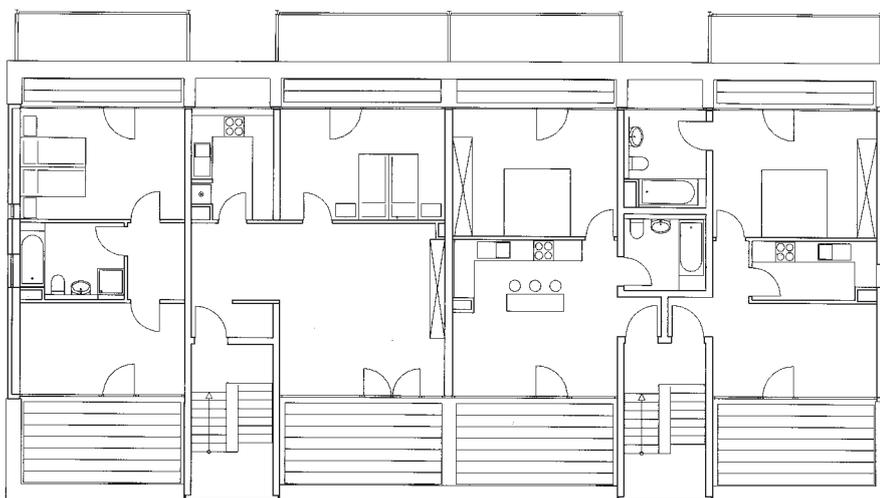


Abbildung 69:
Grundriss Dachgeschoss



Abb. 70:
Das Gebäude unmittelbar
nach der Sanierung

8.2 _ Bürogebäude Leipziger Straße, Erfurt

Das Verwaltungsgebäude steht für einen neuen Weg zur Revitalisierung von Plattenbauten, die in den 1970er Jahren und früher in Deutschland in großer Menge entstanden. Das Gebäude im Randgürtel von Erfurt ist ein Plattenbau mit sechs Vollgeschossen und einem Staffelgeschoss.

Das Gebäude hat eine Nutzfläche von 7.500 m² und wurde hauptsächlich von Büros und Praxen genutzt. Der Bauherr wollte die Attraktivität seiner Immobilie durch ein neues Aussehen verbunden mit einem innovativen energetischen Konzept steigern. In einer Gesamtbauzeit von 18 Monaten wurde das Gebäude im Innenbereich vollständig saniert, die alte Fassade demontiert und durch neue Fassadenelemente in Holzbauweise ersetzt. Nur drei Wochen nahm dabei die Montage der Außenwandkonstruktion an das bestehende Stahlbetonskelett auf einer Fläche von 4.200 m² in Anspruch.

Planung und Ausführung:

Auftraggeber:

Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen, Erfurt

Architektur:

Dipl.-Ing. Thomas Zill und Dipl.-Ing. Nicole Lippe, beide LEG

Statik:

Ingenieurbüro Dr. Krämer, Weimar

Holzbau:

Holzkonstruktionen Obermayr, Schwanenstadt (A)

Baudaten:

Bauzeit:

18 Monate:

Sept. 2001 - März 2003

6 Monate:

Demontage Fassade

3 Wochen :

Montage Fassade

Nutzfläche: 7.500 m²

Umbauter Raum: 28.560 m³

Geschosse:

6 Vollgeschosse,

1 Staffelgeschoss



Abb. 71:

Das Gebäude zu Beginn der Sanierung

Abb. 72:
Revitalisiertes Büro-
gebäude Leipziger Straße

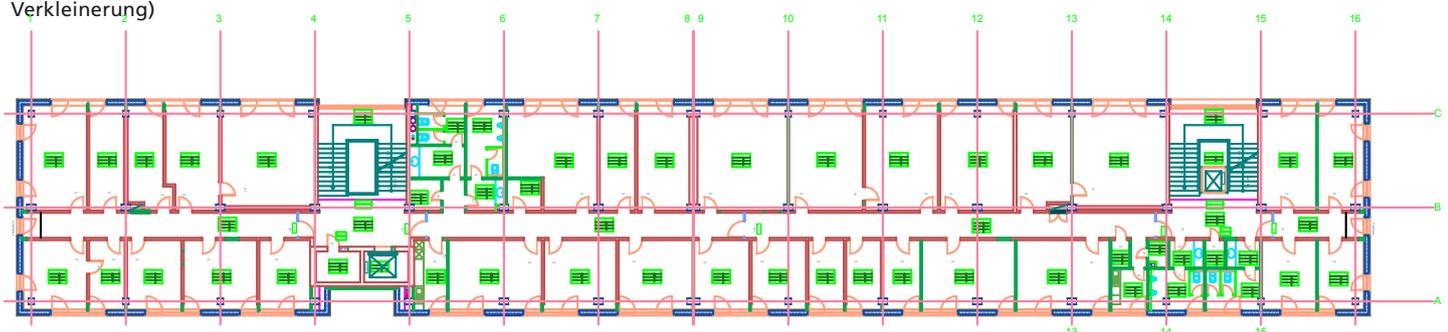
Konstruktion und Gestaltung

Die vorhandene Tragstruktur des Gebäudes besteht aus einer Stützen-Riegel-Konstruktion mit aussteifenden Wand- und Deckenscheiben aus Stahlbeton. Die ursprüngliche Gebäudehülle aus nichttragenden Außenwänden in Form einer Aluminiumfassade mit umlaufenden Fensterbändern musste im Zuge der Sanierungsmaßnahmen erneuert werden, da der Fugenverschluss zwischen der Aluminiumfassade und den Stahlfenstern aus einem asbesthaltigen Dichtstoff bestand. Die alte Fassade wurde durch vorgefertigte Holzrahmenelemente mit integrierter Solarfassade ersetzt. Zur Anpassung an den allgemeinen Nutzungsstandard wurden im Innenbereich die gesamten Installationen erneuert und Veränderungen im Grundriss mit Ausrichtung auf die spätere Nutzung vorgenommen.

Die neue Außenwand besteht aus einer Holzrahmenkonstruktion mit Ständern in der Abmessung



Abb. 73:
Grundriss 1. Obergeschoss
(unmaßstäbliche
Verkleinerung)





6/20 cm in einer Rasterweite von 62,5 cm. Der Zwischenraum ist hohlraumfrei mit mineralischer Wärmedämmung ausgefüllt. Die Beplankung der Holzrahmenkonstruktion besteht auf der Außenseite aus diffusionsoffenen Holzfaserplatten und raumseitig aus 18 mm starken OSB-Platten. Die Verkleidung der Innenseite übernimmt gleichzeitig die Funktion als Dampfbremse und der Raumgestaltung, da die Oberflächenstruktur sichtbar bleibt. Die Außenbeplankung der Holzrahmenkonstruktion dient zusätzlich als Tragschicht für eine Solarfassade mit Zellulosewaben, die einen Wetterschutz aus transparenten Einscheiben-Sicherheitsgläsern von 6 mm und 8 mm Stärke besitzt. Im Bereich der Geschosdecken ist die Fassade durch horizontal umlaufende Bänder aus Faserzementplatten geschlossen.

Das neu errichtete Staffelgeschoss wurde als Aluminium-Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Isolierglasfenstern gebaut. Zur optischen Redu-

Abb. 74:
Strukturierung der Fassade durch kleinteilige Gliederung

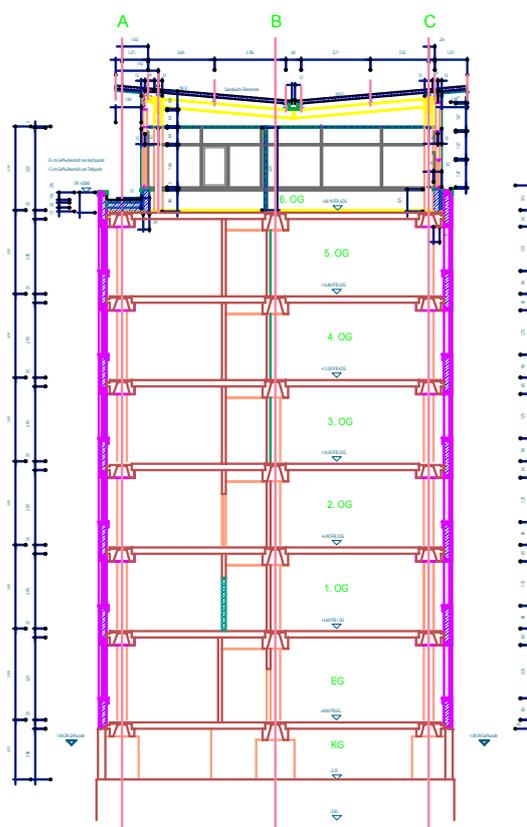
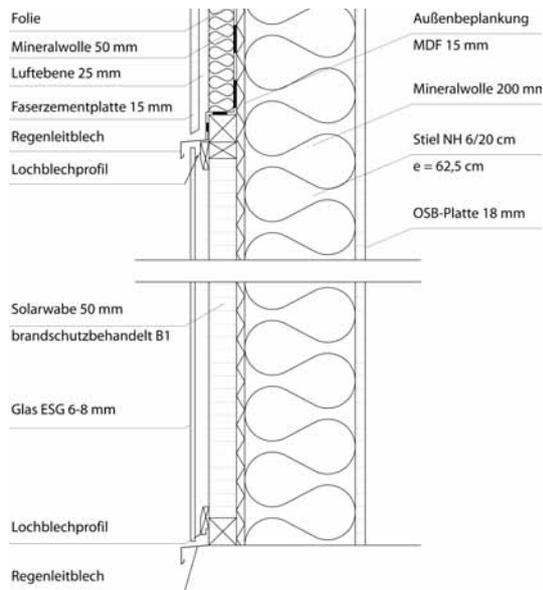


Abb. 75:
Querschnitt (unmaßstäbliche Verkleinerung)

Abb. 76:
 Wandaufbau der der
 Solarfassade (unmaßstäbliche Verkleinerung)

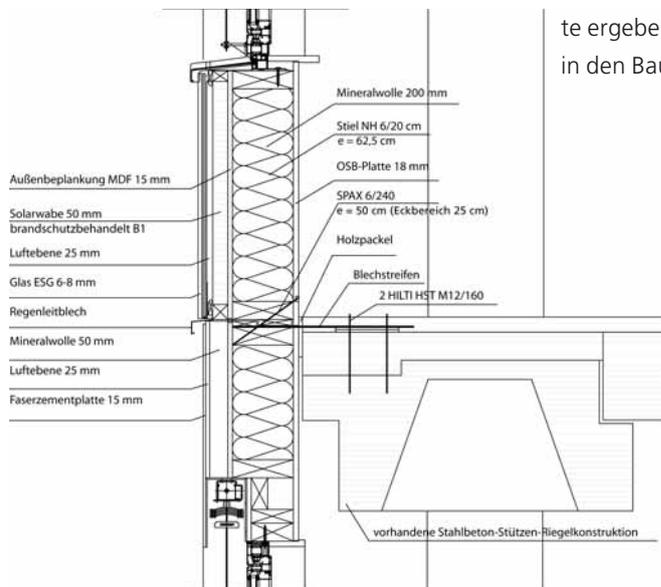


zierung der Gebäudehöhe ist dieses Geschoss in einem grauen Farbton gehalten, während der restliche Baukörper durch ein dominierendes Rot auffällt, das im Bereich der Solarfassade durch eine individuelle Färbung der Zellulosewaben erzeugt wurde.

Beim Anschluss der Fassade an die bestehende Stahlbeton-Konstruktion musste neben bau-physikalischen Aspekten die sichere Übertragung der auftretenden Horizontalkräfte berücksichtigt werden. Die horizontale Befestigung der Fassade erfolgte über Fahnenbleche mit speziellen Schraubenverbindungen direkt an den Stahlbetonriegeln.

Im Nachgang wurden die Anschlusspunkte mit Estrich geschlossen. Die Vertikallasten, die sich nur aus dem Eigengewicht der Fassadenelemente ergeben, werden über den erweiterten Sockel in den Baugrund abgeleitet.

Abb. 77:
 Horizontaler Anschluss
 der Fassadenelemente zur
 Lagesicherung (unmaßstäbliche Verkleinerung)



Bauphysikalische Gesichtspunkte

Zur Unterstützung des Wärmeschutzes und zur Senkung des Heizenergiebedarfes wurden verglaste Paneele an der Außenwand montiert, die sogenannte Solarwaben enthalten. Die Solarwaben haben eine Schichtdicke von 50 mm und bestehen aus Zellulosegewebe. Die äußerste Schicht der Gebäudehülle bildet eine hinterlüftete Verglasung, die die Solarwaben vor Witterungseinflüssen schützt.

Die tiefstehende Wintersonne dringt in die Zellulosewabe ein und erwärmt diese. An der Außenseite der Wand bildet sich eine warme Zone, die den Wärmestrom von innen nach außen stoppt oder zumindest reduziert. Das Gebäude wird nach Aussage des Herstellers in eine „warme Klimazone“ versetzt. In den Wintermonaten kann eine durchschnittliche Temperatur zwischen Wabe und Außenwand von 18° C gegenüber den realen Temperaturen von ca. 0° C ohne Schutzfunktion erreicht werden. Durch den steileren Winkel des Sonnenlichts in den Sommermonaten findet die Temperaturumwandlung nur an der Oberfläche der Solarwabe statt. Der Grossteil der Wärmestrahlung wird über das Glas

reflektiert, so dass es zu keiner Überhitzung der Räume kommt. [35] [36]

Der Wärmedurchlasswiderstand der Wandkonstruktion ändert sich mit der ungleichmäßigen Sonneneinstrahlung. Dieser Prozess verläuft jedoch stark zeitverzögert und abgeschwächt. Für den direkten Vergleich bestimmt man den effektiven U-Wert, den Mittelwert über eine Heizperiode, der diese Effekte ausgleicht. Der konkrete Wandaufbau mit einer Gesamtdicke von 31 cm bilanziert nach den Angaben des Herstellers an der Südseite einen effektiven U-Wert von unter 0,05 W/m²K und an der Nordseite, wo ebenfalls die Solarfassade zur Anwendung kam, ein effektiven U-Wert von 0,14 W/m²K.

Für die ungehinderte Zirkulation des anfallenden Wasserdampfes in der Luftschicht zwischen Solarwabe und Glaselement wurde an der Ober- und Unterkante ein 25 mm breiter Luftspalt vorgesehen. Dünne Lochblechstreifen, die hinter den Glaselementen angeordnet sind, sorgen für die Dichtheit gegenüber Schlagregen und verhindern den Zugang von Insekten.

Nicht nur im Wärmeschutz, sondern auch im Schallschutz trägt die Solarfassade zur Erhöhung der Dämmwerte bei. Die Wabenstruktur absorbiert die Schallwellen. Gegenüber der Holzrahmenkonstruktion mit 16 cm starken Holzstielen erreicht man mit der Solarfassade eine Erhöhung um 6 dB auf das bewertete Schalldämmmaß von $R_w = 50$ dB.

Die bauaufsichtliche Brandschutzanforderung, feuerhemmend für nichttragende Außenwände, konnte mit der Konstruktion durch die Solarfassade entsprechend der Klasse B1, schwerentflammbare Baustoffe mit der erreichbaren Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten, erfüllt werden.

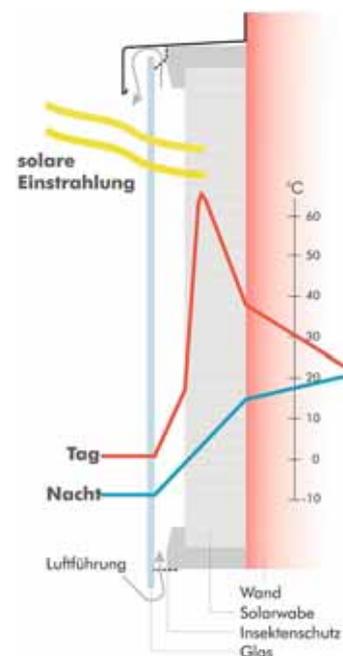


Abb. 79:
Funktionsprinzip
der Solarfassade



Abb. 78:
Rot eingefärbte
Zellulosewabe

Abb. 80 - 82:
Vorfertigung der Solar-
wände in der Werkshalle

Herstellung

Gemäß den Anforderungen für den Rückbau von asbesthaltigen Materialien wurden die Fassadenelemente unter hohen Sicherheitsvorkehrungen demontiert. Danach erfolgte die Entkernung des Gebäudes als Vorbereitung für die Sanierung.

Die 96 Fassadenelemente wurden in den Größen von ca. 20 bis 55 m² komplett mit Fenstern, Sonnen- und Wetterschutz werkseitig in Österreich vormontiert und erreichten nach einem Transport von circa 600 km ihr Ziel. Die Außenseite der Fassadenelemente war so vorbereitet, dass vor Ort nur noch die Glasdeckleisten montiert werden mussten. Raumseitig war eine gebrauchsfertige Innenoberfläche vorhanden.

Die Montage der Fassadenelemente erfolgte mit nur einem Hebezeug. Pro Tag konnten 4 bis 6 Wandelemente positioniert und verankert werden.

Die Herstellung und Montage der vorgefertigten Fassadenelemente erfolgte größtenteils unabhängig von anderen Gewerken. Als besonders günstig für die Bauzeit erwiesen sich der hohe Grad der Vorfertigung, eine schnelle Montage sowie die Vermeidung von Wartezeiten durch Trocknungsprozesse für die anknüpfenden Gewerke.





Ökonomische Aspekte

Ein Motiv des Bauherrn bestand darin, durch innovative Technik zukünftige Nutzer des Gebäudes anzulocken und den Verkehrswert des Objektes zu heben. Die allseitige Verwendung der Solarfassade in Kombination mit der Holzrahmenkonstruktion erweist sich als sinnvolle Maßnahme zur Ressourcenschonung. Sie senkt durch die solare Wirkung den Heizenergiebedarf des Gebäudes.

Für die Fassadenkonstruktion sind keine Instandhaltungs- und Unterhaltskosten vorzusehen, da die wartungsfreie und dauerhaft Witterungsschutz bietende Glasfassade eine werterhaltende Konstruktion darstellt. Für den Lebenszyklus des Gebäudes ist die gute Separierung der verwendeten Komponenten ökologisch vorbildlich realisiert.

Abb. 83:

Montagezustand
Gebäudeecke



Abb. 84 und 85:

Strukturierung der Fassade





Abb. 86:
Der erste Wohnanlagen-
Umbau dieser Größenordnung
mit Passivhaus-Standard

8.3_ Studentenwohnheim Burse, Wuppertal

Bei diesem Projekt handelt es sich um den kompletten Umbau eines 1977 errichteten Studentenwohnheims mit ursprünglich 600 Wohneinheiten. Der Umbau erfolgte in zwei Bauabschnitten. Die vier Gebäudeflügel des kreuzförmig angelegten Gebäudekomplexes sind aufgrund der Geländesituation 4- bis 7-geschossig ausgeführt. Nach dem neuen Konzept wurden auf fast 20.000 m² Bruttogeschossfläche 626 Wohnheimplätze geschaffen.

Bauliche und strukturelle Mängel machten den Umbau erforderlich. Die als Betonfertigteile vorgehängten, kerngedämmten Fassadenplatten waren undicht und entsprachen nicht mehr den heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz. Auch die innere Aufteilung des Gebäudes erfüllte nicht mehr die heutigen Nutzerbedürfnisse und

sollte komplett neu organisiert werden. Die veraltete Haustechnik musste ebenfalls einer zeitgemäßen Infrastruktur mit direktem Anschluss an das Gebäude des Hochschulrechenzentrums weichen. Darüber hinaus wurden die Gebäudeflügel an den Endbereichen zweigeschossig aufgestockt.

In zwei Bauabschnitten kamen unterschiedliche Wärmedämmstandards zur Realisierung. Der erste Bauabschnitt erreicht Niedrigenergiehaus-, der zweite Passivhaus-Standard. Auf letztere Ausführung beziehen sich die nachfolgenden Aussagen. Das Studentenwohnheim wurde mehrfach mit Architekturpreisen ausgezeichnet, so bei der Vergabe des Deutschen Holzbaupreises 2005.

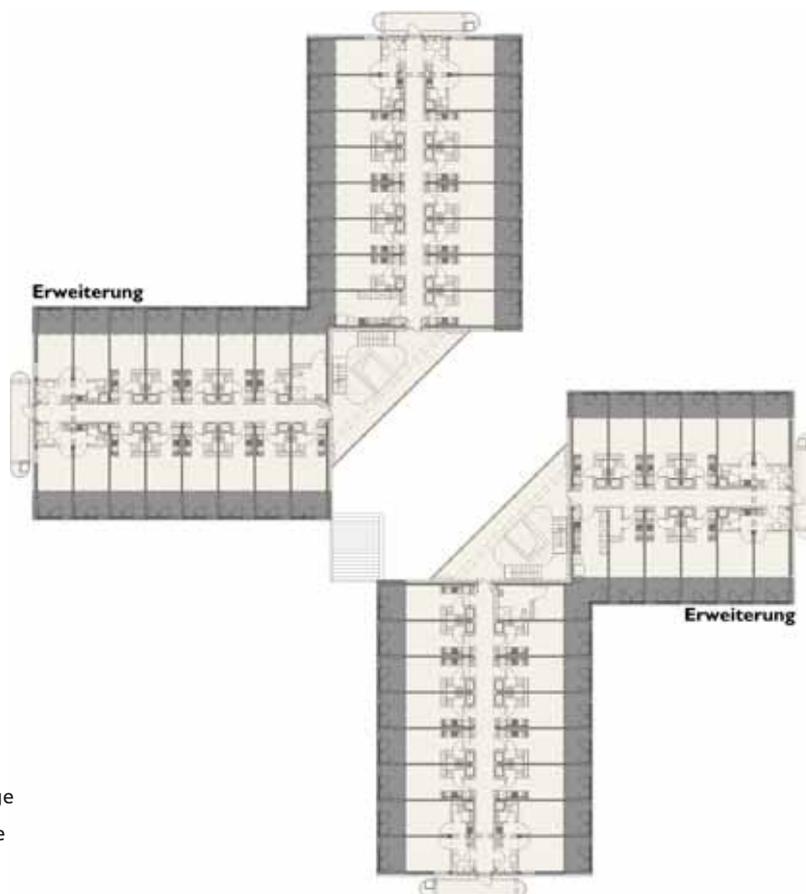


Abb. 87:

Grundriss-Schema.

Durch Entfernung des Treppenhauskernes entstanden zwei unabhängige Gebäude (unmaßstäbliche Verkleinerung)

Planung und Ausführung

Bauherr:

Hochschul-Sozialwerk Wuppertal, vertreten durch Fritz Berger-Marchand, Wuppertal

Urheber:

Petzinka Pink, Düsseldorf
Prof. Karl-Heinz Petzinka,
Thomas Pink

in Zusammenarbeit mit
Architektur Contor Müller
Schlüter, Wuppertal

Michael Müller,
Christian Schlüter
Architekten BDA

beauftragte Architekten:

1. BA: Architektur Contor
Müller Schlüter, Wuppertal
mit Petzinka, Pink & Part-
ner, Düsseldorf

2. BA: Architektur Contor
Müller Schlüter, Wuppertal

Tragwerksplanung:

Prof. K. Tichelmann in
TSB Ingenieurgesellschaft
mbH, Darmstadt

Ausführung Fassade:

O. Lux GmbH & Co., Roth

Baudaten

Bauzeit:

1. BA: 20 Monate =
März 1999 - Oktober 2000

2. BA: 24 Monate =
April 2001 - April 2003

Bruttogeschossfläche:

19.915 m²

Bruttorauminhalt:

56.497 m³

Geschosse:

4 bis 7 Vollgeschosse

Abb. 88:
Gestalterisch sind die
neuen Fassaden von
raumhoch verglasten
Wandelementen geprägt



Abb. 89:
In der Bauphase blieb nur
die tragende Schotten-
struktur aus Stahlbeton
erhalten



Konstruktion und Gestaltung

Das vorhandene Gebäude hat eine tragende Schottenstruktur aus Stahlbeton-Fertigteilen mit einem Achsraster von 2,80 m. An den Längsseiten der Gebäudeflügel wurden die vorgehängten Fassadenplatten aus Stahlbeton-Fertigteilen demontiert. Das tragende Gerüst blieb erhalten und wurde durch einen vorgesetzten Stahlbetonrahmen um 2,00 m erweitert. Diese vor Ort gefertigten Rahmen übernehmen jetzt die Aussteifung des Gebäudes, da der bis dahin aussteifende Kernbereich mit Treppenhaus in der Mitte des Gebäudes entfernt wurde. So entstanden zwei voneinander unabhängige Gebäude mit eigener Erschließung.

Die Planer entschieden sich für eine neue Außenwandkonstruktion aus vorgefertigten Holztafelelementen, unter anderem, weil sie sich wegen ihres geringen Gewichtes unproblematisch vor das aussteifende Rahmentragwerk montieren ließen. Gestalterisch ist die Fassade von raumhoch verglasten Wandelementen geprägt. Der Anteil der Fensterflächen in den neuen Fassadenelementen beträgt deutlich mehr als 50 %. An den Schottenwänden auf den Giebelseiten wurden ebenfalls Holztafelelemente als Fassadenbekleidung angebracht. Hier finden sich auch die notwendigen Fluchtleitern.

Die zweigeschossige Aufstockung an den Endbereichen der Gebäudeflügel wurde komplett in Holzbauweise ausgeführt. Die Außenwandelemente der Längsfassaden entsprechen in ihrem Aufbau denen der unteren Geschosse, an den Giebelfassaden sind die Holztafelelemente zweischalig. Bei den Aufstockungen wurden Holzbalkendecken und für die Dächer Holztafelelemente eingesetzt. Für die Ausführung dieser Decken gab es einen Dispens von der Landesbauordnung, sie wurden in F90-B anstelle F90-AB konstruiert.

Abb. 90:

Die verglasten Treppenhäuser entsprechen witterungsgeschützten Außenräumen



Bauphysikalische Gesichtspunkte

Voraussetzung für die Realisierung des Passivhaus-Standards war die thermische Auslagerung der Nebenräume und Verkehrswege. So ist das Gebäude in einen wärmegeprägten Wohnbereich und einen ungedämmten Erschließungsbereich geteilt worden. Eine Lüftungsanlage mit zentral gesteuertem Luftaustausch und mit Wärmerückgewinnung reduziert im Wohnbereich Wärmeverluste durch Fensterlüftung.

Die Schichten der Holztafelelemente in den Außenwänden stellen sich von innen nach außen folgend dar:

- 12,5 mm Gipsfaserplatte
- 18 mm OSB Beplankung
- Holzständerwerk aus KVH als zusammengesetztes Profil mit OSB-Stegen
- 28 cm Mineralfaserdämmstoff zwischen dem Holzständerwerk verlegt
- Winddichtung
- 16 mm Holzweichfaserplatte
- 30 mm Unterkonstruktion und Hinterlüftung
- 8 mm Faserzementplatte

Die maximale Holzmenge der Tafелеlemente ist auf 9 % reduziert, in den Außenwandelementen vor den Giebelfassaden beträgt sie mit einer Dämmstoffdicke von 19 cm nur 6 %. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwände liegt bei $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Es wurden für eine Passivhaus-Anwendung zertifizierte Fenster mit Dreifachverglasung mit $U_{\text{Rahmen}} = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

und $U_{\text{Verglasung}} = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und zusätzlicher außenseitiger Dämmung eingesetzt.

Mit dem geschilderten Wandaufbau wurde eine diffusionsoffene Konstruktion ausgeführt. In den Außenwänden verlaufen keine Installationen, auf eine gesonderte Installationsebene ist verzichtet worden.

Zur Vermeidung von Schall-Längsleitung bei den über vier Achsfelder reichenden Wandelementen musste der Schallschutz im Detail sorgfältig geplant und ausgeführt werden. Gleiches galt für den Brandschutz. Hierzu wurde von innen im Bereich des Anschlusses der Außenwandelemente an die massiven Innenwandschotten, jeweils links der Fensterlaibung, die innenliegende Gipsfaser- und OSB-Platte ausgespart. Zur Herstellung der Rauchdichtheit im Anschluss wurde der ausgesparte Bereich mit 15 mm dicker, vorkomprimierter Brandschutzdämmung ausgestopft und verklebt. Die Stahlwinkel zur Befestigung der Holztafeln an der Betondecke sind vollständig mit einer PE-Schaumbahn zur Schallentkoppelung hinterlegt. Das Schalldämmmaß lag mit dieser Ausführung von Apartment zu Apartment 8 dB höher als die Schalldämmung der Wohnungstrennwände selbst. Hinsichtlich des Brandschutzes erfüllen die Elemente die Feuerwiderstandsklasse F 30-B, die Außenwandbekleidung musste laut Landesbauordnung der Baustoffklasse B1 entsprechen, also schwer entflammbar sein.

**Abb. 92:**

Vor Witterungseinflüssen und Beschädigung geschützte Tafелеlemente

Abb. 93, 94:

Einheben der Außenwandelemente direkt vom anliefernden Fahrzeug in die Einbauposition

Abb. 95, 96:

Montage der 12 Meter langen Elemente von innen

Herstellung

Die Holztafelemente sind im Herstellerwerk mit innerer und äußerer Beplankung, Fenstern und Absturzsicherung komplett vorgefertigt worden. Mit einer Breite von 12,00 m laufen sie über vier Achsraster. Die Höhe der Elemente entspricht mit 2,75 m der Geschosshöhe. Die Gesamtgröße beträgt ca. 35 m², an den Giebelseiten ca. 23 m². Die Montage auf der Baustelle dauerte 120 Minuten pro Wandelement. Die Transportentfernung betrug ca. 500 km.

Zur Vorbereitung der Montage wurden Metallwinkel an die vorhandene Betonkonstruktion gedübelt. Die Elemente konnten mit einem Baukran direkt vom anliefernden Fahrzeug in die Einbausituation gebracht und an den Metallwinkeln befestigt werden. Die Montage erfolgte ohne Gerüst von innen, die notwendigen Nacharbeiten von außen über Hubarbeitskörbe.

Die Außenwandelemente sind teilweise in die Decken eingestellt (siehe Abbildung 84), liegen aber vor den massiven Innenwänden. Deshalb war es notwendig, den Bereich der Geschosdecken vor Ort zu schließen. Dazu wurde ein Dämmstoffstreifen vor der Decke eingebracht,

die Winddichtung ergänzt und luftdicht verklebt. Vor der Montage der DWD-Platten befestigte man Aluminiumbleche, die im Bereich der Decken anstelle von Faserzementplatten die äußere Fassadenbekleidung bilden.

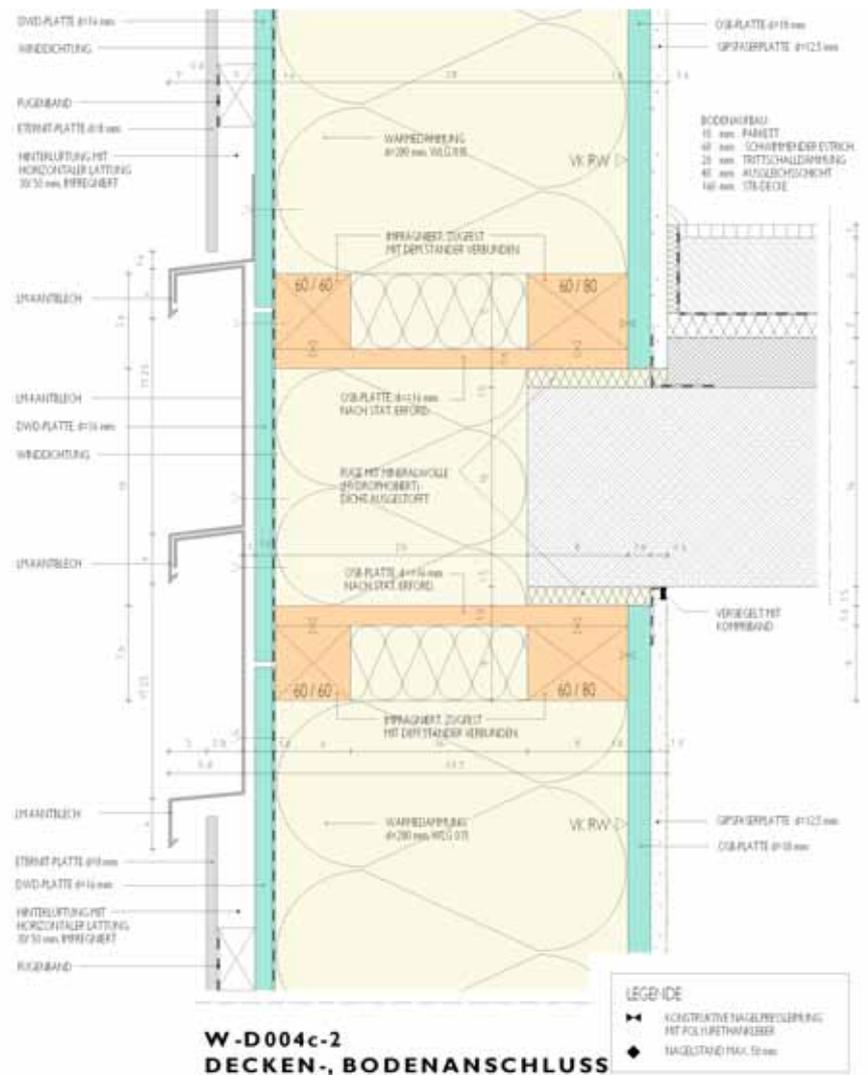
Die Fugen zwischen Betondecke und Holztafelement sind im unteren und oberen Anschlussbereich mit Mineralwolle dicht ausgestopft, der obere Anschluss ist nach innen hin luftdicht mit Kompriband versiegelt. Bei den Innenwänden musste im Stoßbereich der Elemente die auf der einen Seite der Innenwände ausgesparten Streifen der Gipsfaserplatten nachträglich angebracht werden. Die luftdichte Versiegelung erfolgte dort ebenfalls mit Schaumstoffdichtungsband. Vor den Stirnseiten der Innenwände wurde außen – wie oben geschildert – vorkomprimierte Brandschutzdämmung eingebracht. Seitlich zum Fenster hin ist der Anschluss luftdicht mit einer Dichtungsbahn versiegelt und einer Holzleiste abgedeckt. Innen besitzen die Außenwandelemente eine gespachtelte und gestrichene Oberfläche.

Die Maßtoleranzen der alten Gebäudestruktur waren erheblich. Sie lagen deutlich über den



Abb. 97:
Vertikalschnitt Fassade
(unmaßstäbliche Verkleinerung)

heute zugelassenen und für den vorgefertigten Holztafelbau notwendigen Maßen. Ein großer Teil der Abweichungen konnte bereits durch die neuen Stahlbetonrahmen vor den vorhandenen Schotten ausgeglichen werden. Die restliche Toleranzminimierung erfolgte vor Ort durch die Anpassung der horizontalen Anschlüsse in den Deckenbereichen. In vertikaler Richtung wurden die Toleranzen durch Aussparungen in der inneren Beplankung ausgeglichen.



Ökonomische Aspekte

Von den Planern wird dieses Projekt insgesamt positiv bewertet. Als Alternative zu der ausgeführten Konstruktion stand während der Planungsphase nur ein kompletter Abriss und Neubau der Gebäudeanlage zur Diskussion. Die Entscheidung für einen Umbau erwies sich insgesamt als äußerst wirtschaftlich, da hierbei die Qualitäten eines Neubaus geschaffen wurden. Die Baukosten lagen im Vergleich zu einer Neubaumaßnahme um 25 % deutlich niedriger.

Die Entscheidung für den Einsatz vorgefertigter Holztafelelemente für die Außenwände hatte konstruktive Gründe. Ausschlaggebend war ihr geringes Gewicht im Vergleich zu anderen Vorhangfassaden. Der hohe Grad der Vorfertigung der Außenwandelemente hatte positiven Einfluss auf die Bauzeit.

Die „Rohbauphase“ musste zwar im Prinzip doppelt durchlaufen werden: zuerst wurden die Fassaden demontiert, dann die aussteifenden

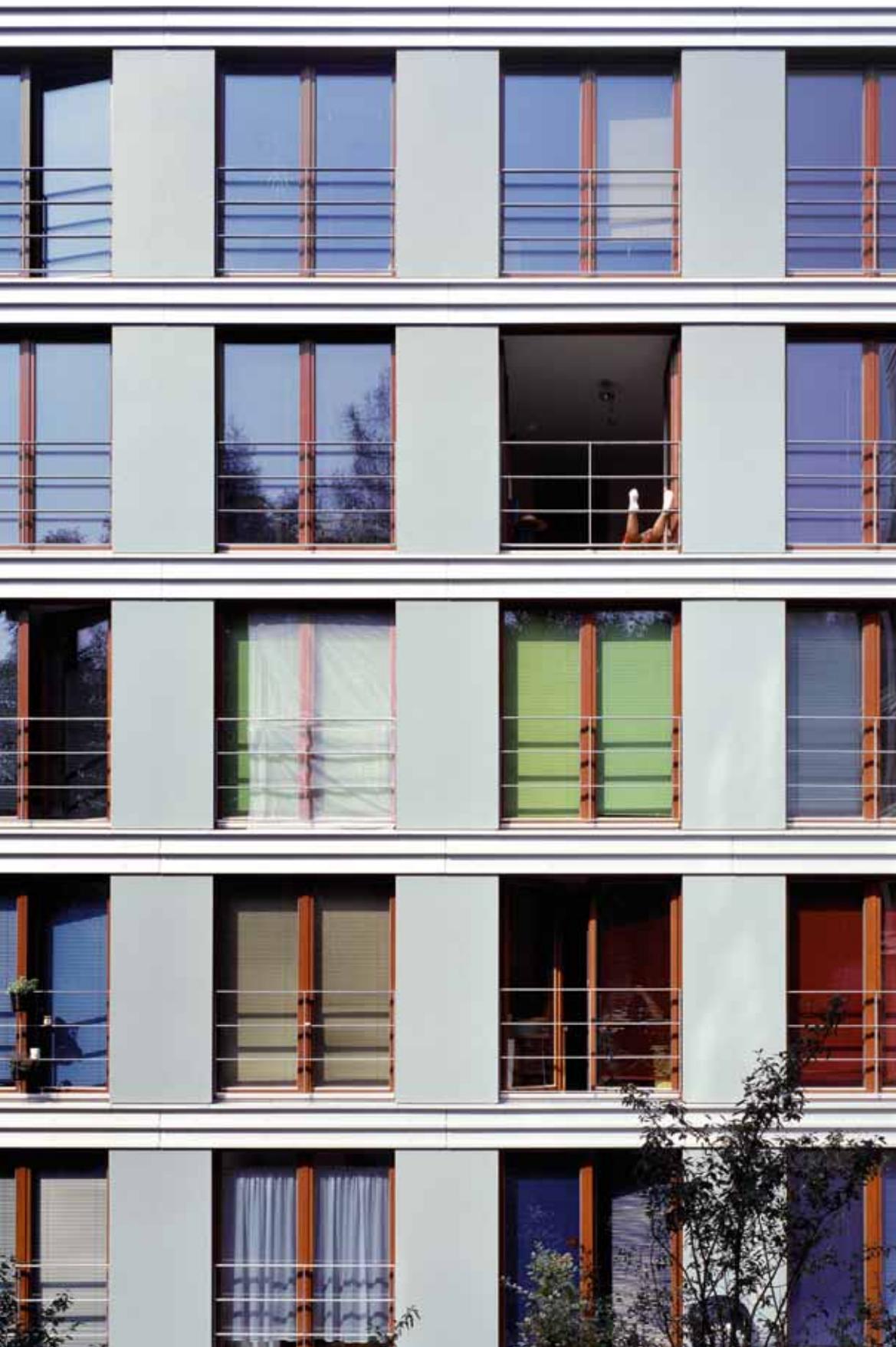
Stahlbetonrahmen erstellt. Erst dann konnte man den Treppenhauuskern entfernen und mit der Montage der Außenwandelemente beginnen. Diese nahm allerdings nur eine Woche pro Gebäudeflügel in Anspruch. Neben der Bauzeitverkürzung hat die Vorfertigung der Außenwandelemente auch zu einer erheblichen Qualitätsverbesserung durch die Reduzierung der auf der Baustelle zu schließenden Fugen geführt. Die Serienfertigung der Elemente bei einem Projekt dieser Größenordnung führte zu der erheblichen Kostenersparnis.

Das Projekt wurde wegen der erheblichen Energieeinsparung vom Land Nordrhein-Westfalen finanziell gefördert. Der Heizwärmebedarf konnte von 210 kWh/(m²a) auf 15 kWh/(m²a), also auf unter 10 % reduziert werden. Um diesen Energiekennwert für Heizwärme zu erreichen, sind Zusatzkosten von ca. 10 % entstanden, die sich aber langfristig als wirtschaftlich darstellen.

Abb. 98:

Umbau mit Neubauqualitäten zu 25 % geringeren Kosten



**Abb. 99:**

Die Fassadenbauteile entsprechen Passivhaus-Standard und belasten die bestehende Betonstruktur nur mit minimalem Gewicht



Abb. 100:
Das Gebäude formuliert
eine selbstbewusste
Haltung gegenüber seiner
Umgebung

8.4_ Wohn- und Geschäftshaus, Arnsberg

Das im Grundriss dreieckige Gebäude – von den Architekten „tri-Haus“ genannt – wurde an zentraler Stelle in Arnsberg auf einem städtebaulich wichtigen Grundstück errichtet. Es bildet einen neuen urbanen Stadtraum und ist gleichzeitig Blickfang im Bereich der Hauptstraße. Das Gebäude umfasst ein Kellergeschoss und fünf

Obergeschosse mit einer Nutzfläche von circa 1.200 m². Die dreieckige Grundrissform entsteht durch einzuhaltende Gebäudegrenzen, deshalb krägt der Baukörper auch auf der Nordseite oberhalb des Erdgeschosses sowie im Bereich der gegenüberliegenden „stumpfen“ Gebäudeecke um ca. 1,50 m aus.

Abb. 102:

An der Südwest- und Südostfassade besteht die Gebäudehülle aus Holztafelelementen



Abb. 101:

Lage des Gebäudes im Stadtgefüge (unmaßstäbliche Verkleinerung)



Abb. 103:

Bauzustand

Projekt:

Tri-Haus Schobostraße in Arnsberg

Bauherr:

IVA GmbH, Arnsberg

Architekten:

Banz + Riecks, Bochum

Tragwerksplanung:

Burkhardt Walter, Aachen

Gebäudetechnik:

Solares Bauen GmbH, Freiburg

Holzbau:

Gumpp & Maier GmbH, Binswangen

Brandschutz:

Neumann, Krex & Partner, Meschede

Baudaten:

Bauzeit: 16 Monate =

Januar 2004 – April 2005

Nutzfläche: 1.221 m²

Umbauter Raum: 3.790 m³

Geschosse: 6 Geschosse

inkl. 1 Kellergeschoss

Abb. 104:
 Grundriss Erdgeschoss
 (unmaßstäbliche
 Verkleinerung)

Konstruktion und Gestaltung

Die tragenden Wände und Decken des Gebäudes bestehen aus Stahlbeton. Die Gebäudehülle wird an der Südwest- und Südostfassade aus Holztafelelementen gebildet. An der weitgehend geschlossenen Nordfassade ist eine Mischung aus Stahlbeton- und Holztafelwänden anzutreffen.

Im Bereich des Geschosswechsels vom 3. Obergeschoss zum Dachgeschoss springt die Außenwand gebäudeumlaufend um die Stärke einer Holztafel zurück (20 cm). Das Dachgeschoss wurde als Stützen-Riegel-Konstruktion aus Brett-schichtholz konstruiert. Die Dachflächen nehmen eine 100 m² große Fotovoltaikanlage auf.

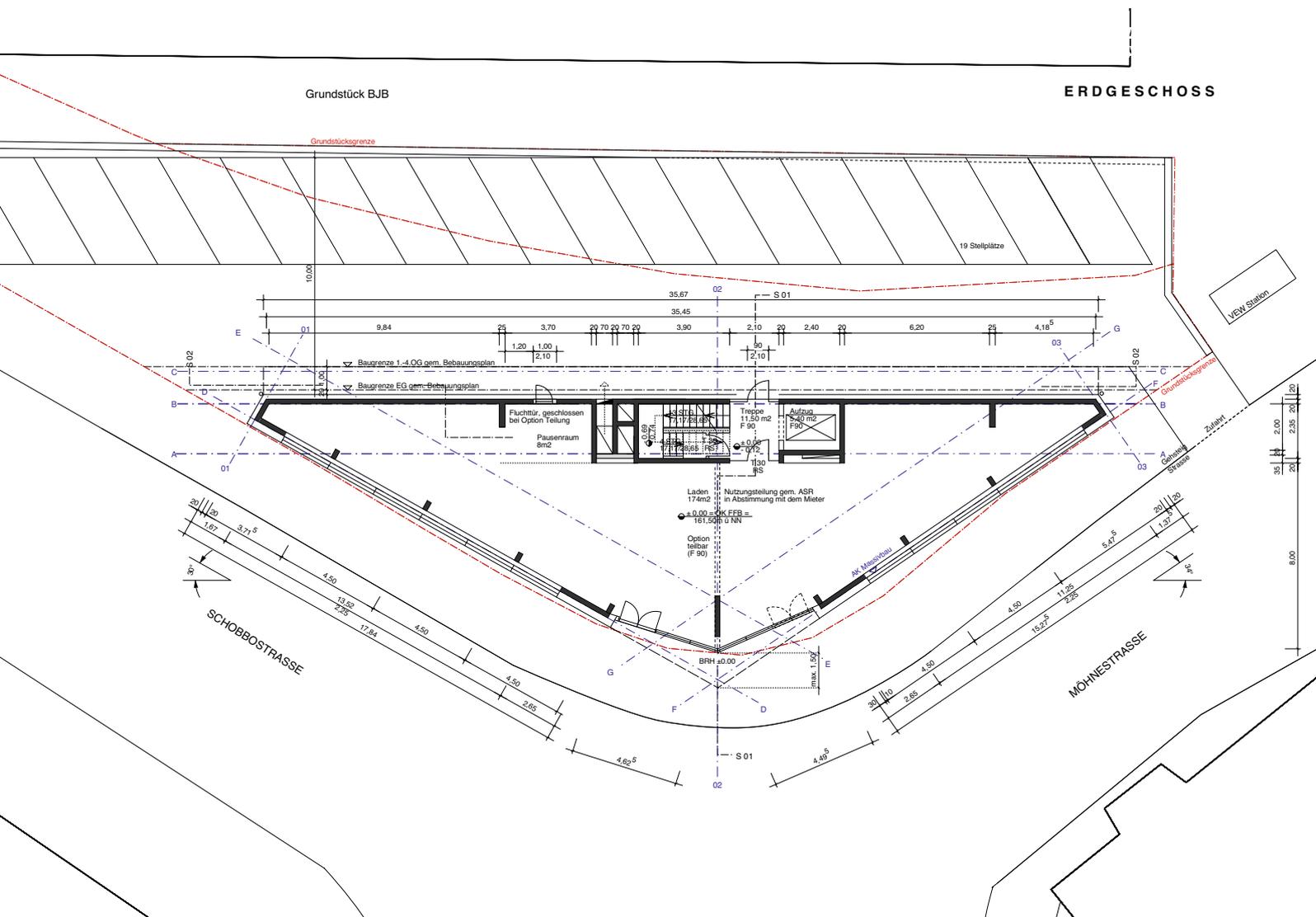


Abb. 105:
Das Gebäude definiert
deutlich den Straßenraum

Abb. 106:
Querschnitt
(unmaßstäbliche
Verkleinerung)

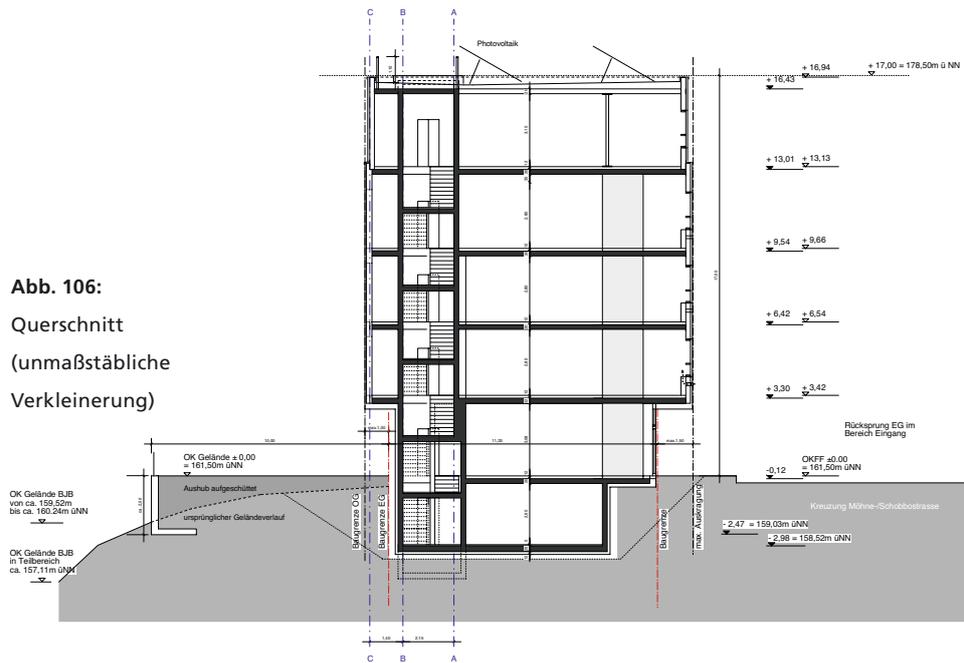




Abb. 110 a:
Verankerung der Tafелеlemente
– Übersicht



Abb. 110 b:
Verankerung der Tafелеlemente
– Befestigung an der Stütze



Abb. 110 c:
Verankerung der Tafелеlemente
– Befestigung an der Decke

Abb. 108:
Vertikalschnitt Fassadendetail,
Versprung der Wandelemente
3. Obergeschoss / Dachgeschoss
(unmaßstäbliche Verkleinerung)

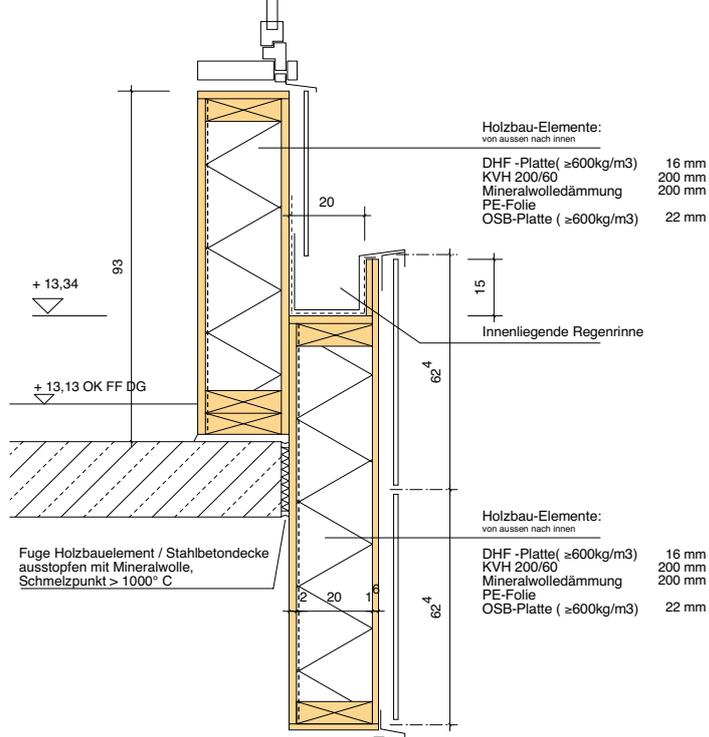
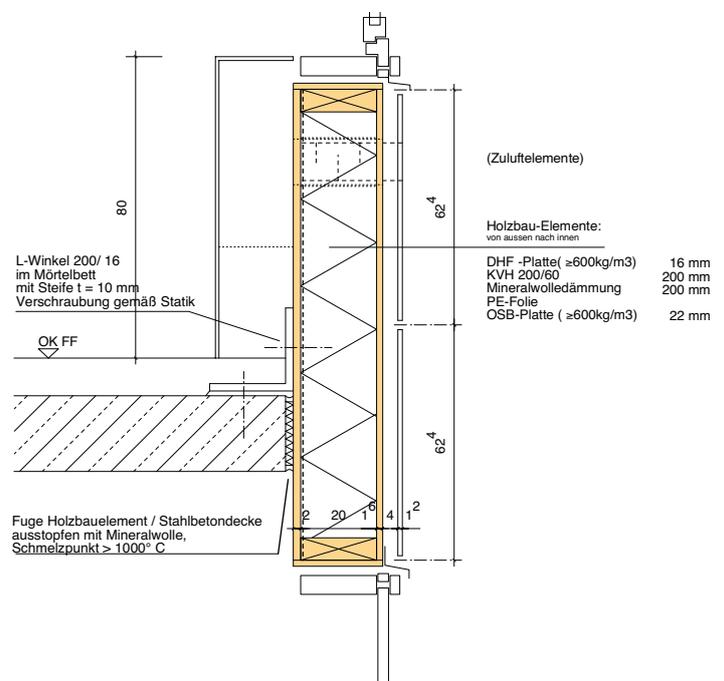


Abb. 109:
Vertikalschnitt Fassadendetail,
Aufbau und Anschluss der Fassaden-
elemente 1. bis 3. Obergeschoss
(unmaßstäbliche Verkleinerung)



Bauphysikalische Gesichtspunkte

Das Gebäude wird aus alternativen Energiequellen mittels Erdsonden mit Wärme und Kühle versorgt. Die Sonden befinden sich in einer Tiefe von bis zu 100 m und entziehen dem Boden Wärme. Die Erdtemperatur wird mit Unterstützung einer Wärmepumpe im Winter zum Heizen und im Sommer zum Kühlen eingesetzt. Energiebedarf entsteht lediglich für die Umwälzung des Mediums in den Erdsonden sowie für den Betrieb der Wärmepumpe. Diese Energie wird in der Jahresbilanz über eine Solarstromanlage gewonnen, so dass Heizenergie, sommerliche Kühlung und Warmwasser vollständig über Sonnenenergie erzeugt werden können.

Die Optimierung des Wärmeschutzes und der eingesetzten Gebäudetechnik erreicht eine weitgehende Reduktion der technischen Anlagen-

systeme sowie des Gesamtenergiebedarfs – die Anforderungen der neuen Energieeinsparverordnung werden um mehr als 50 % unterschritten. Die Außenwände in der Süd- und Ostfassade mit der Holzrahmenkonstruktion erreichen ebenso wie die Stahlbetonelemente an der Nordseite einen effektiven U-Wert von $0,19\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. Mit Blick auf die Sicherstellung des Wohnklimas kann das Gebäude als autark bezeichnet werden.

Die Holzbauelemente mit Fassadenbekleidung aus Faserzementplatten erreichen Schalldämmmaße von vorh $R'_{w,R} = 35\text{ dB}$. Alle Fassadenelemente erreichen eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten. An die brandschutztechnische Ausführung des Dachgeschosses wurden in Abstimmung mit der örtlichen Feuerwehr keine Anforderungen gestellt.

Abb. 111:

Prinzipdarstellung des energetischen Systems

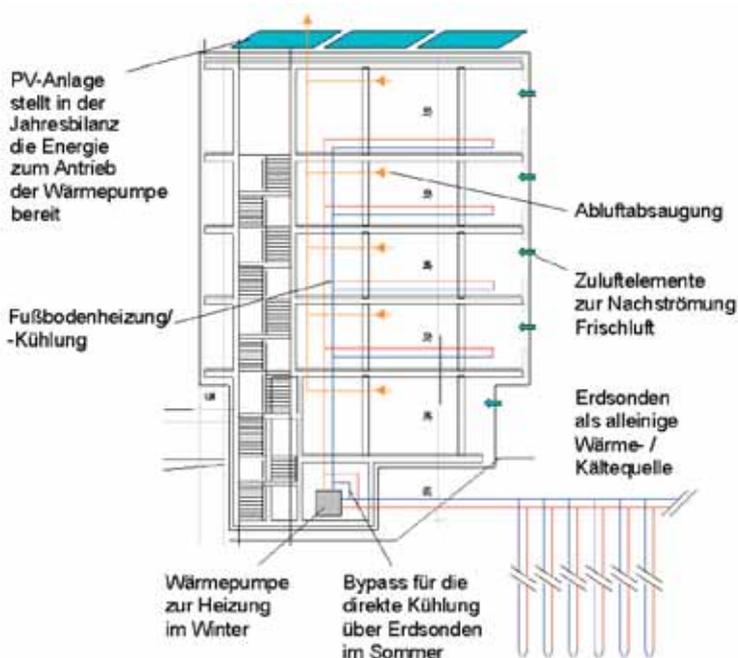


Abb. 112:

Montage der Wandelemente im 2. Obergeschoss



Abb. 113:

Montage im Dachgeschoss mit rückspringenden Wandelementen



Herstellung

Die vorfertigten Holztafeln wurden nach einem 520 km langen Transport auf der Baustelle zwischengelagert. Der Einhub der Holztafeln mit einem üblichen Baustellenkran, die Verankerung der Elemente und die Herstellung der Luftdichtheit zu den anschließenden Bauteilen benötigten pro Wandelement ca. 45 Minuten. Anschließend wurde die Stützen-Riegel-Konstruktion aus Aluminium montiert und darauf die Fassadenbekleidung aus Faserzementplatten oder beschichteten Glaselementen angebracht. Während der fünf Wochen dauernden Montage der Fassadenelemente im südlichen Bereich des Gebäudes konnte gleichzeitig die Stützen-Riegel-Konstruktion aus Brettschichtholz für das Dachgeschoss errichtet werden.

Ökonomische Aspekte

Die gute Anbindung an das Stadtzentrum, aber auch die Nutzung alternativer Energiequellen steigern die Attraktivität des Gebäudes. Für die Absicherung des Heizenergiebedarfs des gesamten Gebäudes wird die Erdwärme in Kombination mit Sonnenlicht vorbildlich genutzt.

Das natürliche Klimatisierungskonzept lässt sich durch die gezielte Kombination von hochwärmegeprägten Wandbauteilen aus Holz mit schlanken Konstruktionstiefen und Stahlbetonbauteilen mit thermischer Speicherfähigkeit optimal realisieren. Der Stand der Technik wurde im Sinne der Energieeinsparverordnung, insbesondere beim Wärmeschutz, über die Mindestanforderungen hinaus erfüllt. Der Einsatz von Holztafeln erwies sich nicht nur im Bereich des Wärmeschutzes als vorteilhaft, sondern auch durch den gut koordinierbaren Prozess der Montage.

Abb. 114:

Fertig gestellte Wohnung
im Dachgeschoss



Abb. 115:

Süd-Ost-Fassade





Abb. 116:
Vom überdachten Atrium aus werden
über Brücken und Treppen die
unterschiedlichen Gebäudebereiche
erschlossen

8.5 _ Umweltbundesamt, Dessau

Der Neubau des Umweltbundesamtes in Dessau ist ein Demonstrativvorhaben für umwelt- und gesundheitsverträgliches Bauen mit vorbildhaften ökologischen Standards. Darunter fällt auch der in Größenordnung und Nutzung für Deutschland prototypische Einsatz einer Holz-Elementfassade. Die anderen eingesetzten Baumaterialien wurden ebenfalls nach ökologischen Kriterien ausgewählt. Unter dem Gesichtspunkt des nachhaltigen Städtebaus wurde für den Standort die Brache des Dessauers Gasviertels gewählt. Bestandsbauten, wie der Wörlitzer Bahnhof und eine Gasgerätefabrik, wurden in den Neubaukomplex integriert. Die Kombination unterschiedlicher Komponenten führt zu einer Minimierung des Energiebedarfs des Gebäudes: eine kompakte Gebäudeform, hohe Außenwanddämmung, intelligente Haustechnik, Einsatz erneuerbarer Energien in Form des gegenwärtig größten Luft-Erdwärmetauschers, einer Fotovoltaikanlage und eines kleinen Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes.

Der von sauerbruch hutton architekten realisierte Entwurf für den Neubau des Umweltbundesamtes ist als Sieger aus einem offenen internationalen Wettbewerb hervorgegangen. Der Gebäudekomplex in Form einer Schlange

umschließt im nördlichen Teil des Grundstücks ein großes Atrium und öffnet sich über ein Forum zum Park nach Westen. Das Forum umfasst alle öffentlichen Bereiche des Amtes, wie Hörsaal, Ausstellungs- und Seminarräume. Hieran schließt sich das überdachte Atrium an, von dem aus die anderen Gebäudebereiche erschlossen werden.

Mit dem Neubau des Umweltbundesamtes in Dessau wurde im Juli 2002 begonnen, die Einweihung fand im Mai 2005 statt. Das Bürogebäude ist für 950 Mitarbeiter konzipiert und ist mit einer Hauptnutzfläche von 17.496 m² und einer Bruttogeschossfläche von fast 40.000 m² in seiner Dimension das größte der hier vorgestellten Beispiele. Bei diesem Projekt wurden insgesamt 12.945 m² Fassadenfläche in Holzbauweise ausgeführt, davon 7.880 m² als Außenfassade und 5.065 m² als zum überdachten Atrium hin ausgerichtete Innenfassade. Der Hauptbaukörper, die sog. Schlange, ist viergeschossig mit Kellergeschoss angelegt. Gebäudebereiche, die zum Teil auch für öffentliche Nutzung zur Verfügung stehen, wie die Bibliothek, der Informationsbereich und der Kongress-Saal haben andere Geschosshöhen und -zahlen entsprechend ihrer Funktion.

Planung und Ausführung

Bauherr:

Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Staatshochbauamt Dessau

Architekten:

sauerbruch hutton architekten, Berlin

Tragwerksplaner:

Krebs und Kiefer, Berlin

Energiekonzept:

Ziball Willner & Partner, Köln / Berlin

Bauphysik:

Müller-BBM, Berlin

Ausführung Fassaden:

Fa. Schindler, Roding

Baudaten

Bauzeit:

ca. 32 Monate =
Juli 2002 bis Frühjahr 2005

Bruttogeschossfläche:

39.265 m²

Geschosse:

4 Geschosse und
1 Kellergeschoss

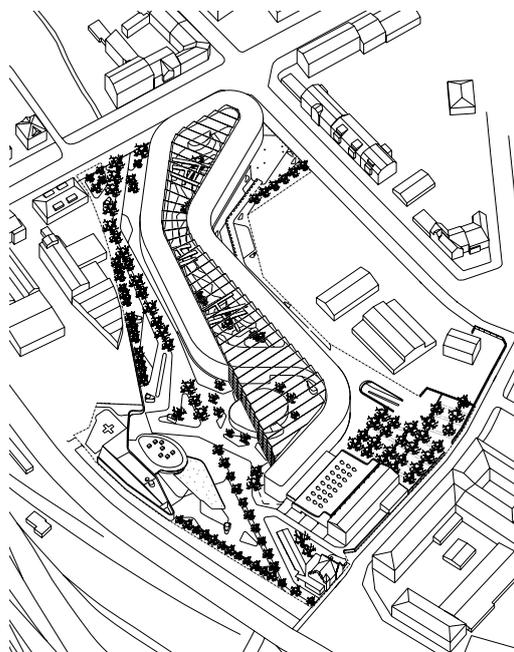


Abb. 117:

Isometrische Darstellung der Neubauanlage (unmaßstäbliche Verkleinerung)

Konstruktion und Gestaltung

Das Konstruktionssystem des Hauptbaukörpers besteht aus Stahlbeton-Decken und -Stützen mit einem Achsraster von 5,50 m sowie im Bereich der Treppenhäuser aus Stahlbeton-Innenwänden. Die Trennwände zwischen den einzelnen Büroräumen sind in Trockenbauweise ausgeführt. Durch die Form des Baukörpers ergibt sich auf der einen Seite die Außenfassade und zum überdachten Atrium hin die Innenfassade. Beide sind als Elementfassade konzipiert, deren Unterkonstruktion, Brüstungsbekleidung und Fensterkonstruktion aus Holz bestehen. Sie sind als Bandfassaden jeweils mit Fensterband- und Brüstungsebene angelegt.

Abb. 118 und 119:

Die Gestaltung der Außenfassade ist geprägt durch horizontale Lärchenholzbekleidung in der Brüstungsebene und farbige ESG-Bekleidung in der Fensterbandebene

Die Brüstungsebene der Außenfassade wird aus einer Holzrahmenkonstruktion mit horizontal verlaufender Lärchenholzbekleidung gebildet. Die Fensterbandebene besteht aus drei Elementen:

- zu öffnende Verbundfenster mit Dreifachverglasung und Sonnenschutz im Fenster, der

transparente Glasanteil beträgt ca. 30 % der Fassadenfläche,

- Nachtlüftungskappen als massive Drehflügel mit Mattglasscheibe als Witterungsschutz und
- glasverkleidete Wandelemente.

Für die Ausführung der Fenster mit punktgehaltenen ESG-Schutzscheiben (Einscheibensicherheitsglas) an den Öffnungsflügeln wurde eine patentierte Konstruktion gewählt. Die außenliegende ESG-Bekleidung der Wandstücke ist auf der Rückseite farbig emailliert. Zur Nachtlüftungsklappe hin erhält die vertikale Fensterlaibung ein farbig beschichtetes Lüftungsgitter. So entsteht in der Fensterbandebene ein farbiges Glasrelief mit wechselndem Rhythmus. Der Außenwandaufbau besteht aus folgenden Grundelementen:

- Innere Bekleidung aus Zellulosedämmung und Gipskartonplatten im Brüstungsbereich und Leibungsbekleidungen aus Lärchenholz.
- Holzrahmenkonstruktion mit Fensterelement und Nachtlüftungsklappe.



– Äußere Bekleidung aus Lärchenholz auf Unterkonstruktion im Brüstungsbereich, ESG-Bekleidung, Fensterbank und Sturzblech aus verzinnem Kupfer.

Die Innenfassade ist in ihrem optischen Eindruck ähnlich gestaltet wie die Außenfassade mit einer holzbeleideten Brüstung, die Akustikpaneele kaschiert und ESG-Bekleidungen mit farbigem Siebdruck in der Fensterbandebene. Die Holzrahmenkonstruktion beinhaltet Fenster mit Öffnungsflügeln und Festverglasung. Vor den Stahlbeton-Stützen liegt jeweils in der Fensterbandebene eine geschlossene Fläche mit einer ESG-Bekleidung. Der transparente Glasanteil der Innenfassade beträgt ca. 57 %. Nachtlüftungsklappen wurden hier nicht ausgeführt. Die äußere Bekleidung im Brüstungsbereich besteht auch hier aus einer Holzverschalung aus Lärchenholz auf einer Unterkonstruktion, zwischen der eine schallabsorbierende Dämmung aus Melaminharzschäum angeordnet ist. Auf die innenliegende Dämmebene wurde verzichtet.

Das Atrium, zu dem hin sich die Innenfassade orientiert, gliedert sich durch Vor- und Rücksprünge in der Fassade im Bereich der Verbindungsstege und Treppen. Im Erdgeschoss ragen einzelne in Sichtbeton ausgeführte „Felsen“ mit Sondernutzungen in das Atrium hinein. Das Dach des Atriums ist als eine verglaste Faltwerk-Konstruktion ausgeführt, die Schlange erhält ein Gründach auf einer Stahlbeton-Konstruktion mit 32 cm mineralischer Dämmung.

Die aus der Gebäudeform resultierenden Rundungen der Fassade werden in der Regel von der Holzrahmenkonstruktion nicht aufgenommen. Die Verglasungselemente bleiben an sich gerade und sind polygonal angeordnet mit Ausnahme der Stirnseite. Die Lärchenholz-Bekleidung im Brüstungsbereich nimmt jedoch die verschiedenen Radien des Gebäudes auf und formt die Fassade.



Abb. 120:

Die zum Forum hin orientierte Innenfassade ähnelt in ihrer Gestaltung der Außenfassade, sie ist ebenfalls mit einer Lärchenholzbekleidung im Brüstungsbereich und farbiger ESG-Bekleidung in der Fensterbandebene ausgeführt

Bauphysikalische Gesichtspunkte

Der Regelwandaufbau im Brüstungsbereich der Außenfassade sieht folgende Reihenfolge vor (von innen nach außen):

Innere Bekleidung:

- 25 mm Gipskartonplatte
- 63 mm Holzunterkonstruktion, darauf
- 27 mm Federschielen, dazwischen
- 90 mm Zellulose-Dämmplatten

Holzrahmenkonstruktion:

- 29 mm zementgebundene Holzfaserplatte
- Holzrahmen aus Brettschichtholz, dazwischen
- 16 cm Zellulosefaser
- 15 mm Gipsfaserplatte

Äußere Bekleidung:

- 40 mm Unterkonstruktion und Hinterlüftung
- 20 mm Lärchenholzbekleidung

In den Wandbereichen der Fensterbandebene unterscheidet sich dieser Regelwandaufbau bei der äußeren Bekleidung, sie besteht aus 52 mm Unterkonstruktion und 10 mm ESG-Bekleidung.

Die Innenfassade ist im Brüstungsbereich ohne die Wandschichten der inneren Bekleidung der Außenfassade ausgeführt. Die Rahmenhölzer der Holzrahmenkonstruktion bestehen aus Furnierschichtholz, zwischen denen 12 cm Zellulosedämmung angeordnet ist. Die aussteifende Beplankung wird innen durch eine 16 mm starke OSB-Platte gebildet und außen durch eine 19 mm dicke Gipsfaserplatte. Als Innenbekleidung wird eine Gipskartonplatte auf die OSB-Platte geschraubt. Für die äußere Bekleidung befindet sich zur Schallabsorption 5 cm Dämmung aus Melaminharzschäum zwischen einer Holzunterkonstruktion. Hierauf wird wie bei den Außenfassaden die Lärchenholz-Bekleidung montiert. Insgesamt ergibt sich für die Außenfassade eine Wanddicke von 37,9 cm und für die Innenfassade von 23,75 cm.

Der unterschiedliche Schichtenaufbau wurde ausgeführt, da sich die Anforderungen, die an die Innenfassade unter bauphysikalischen Gesichtspunkten gestellt werden, insbesondere hinsichtlich des Wärme- und Schallschutzes, von denen an die Außenfassade unterscheiden. Die Innenfassade orientiert sich zu einem temperierten Raum hin, in dem keine äußeren Schallquellen zu berücksichtigen sind, während die Außenfassade normalen Außentemperaturen ausgesetzt ist. Mit der gewählten Außenwandkonstruktion wurde für die Wandpaneele der Außenfassade ein Wärmedurchgangskoeffizient von $U = 0,15 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ realisiert.

Der Schallschutz für die Fassaden wurde mit $R'_{w} = 35 - 45 \text{ db}$ ausgeführt.

Hinsichtlich des Brandschutzes erfüllen beide Außenwandkonstruktionen die Brandschutzklasse W-30B nach DIN 4102-2, die Befestigungen sind in F-30 ausgeführt. Für die Verwendung einer hölzernen Außenwandbekleidung ohne Berieselung bei einem Gebäude mittlerer Höhe gab es eine Sondervereinbarung zur Landesbauordnung auf Basis eines Brandschutzgutachtens. Die Lärchenholz-Bekleidung der Außenfassade wurde rückseitig im Hinterlüftungsbereich mit einem neu entwickelten B1 Anstrich versehen, bei den Innenfassaden wurde auch die äußere Seite der Lärchenholz-Bekleidung mit einer transparenten B1 Beschichtung brandschutztechnisch behandelt.

Bei den Außenfassaden findet sich innenliegend eine gesonderte Dämmebene mit den Elektroinstallationen im Brüstungsbereich. Unterhalb der Fensterbänke sind vor der Installationsebene die Heizleitungen geführt und die Heizkörper abgehängt. Die Wandkonstruktion ist ohne dampfbremsende und winddichte Folie als diffusionsoffener Wandaufbau ausgeführt.

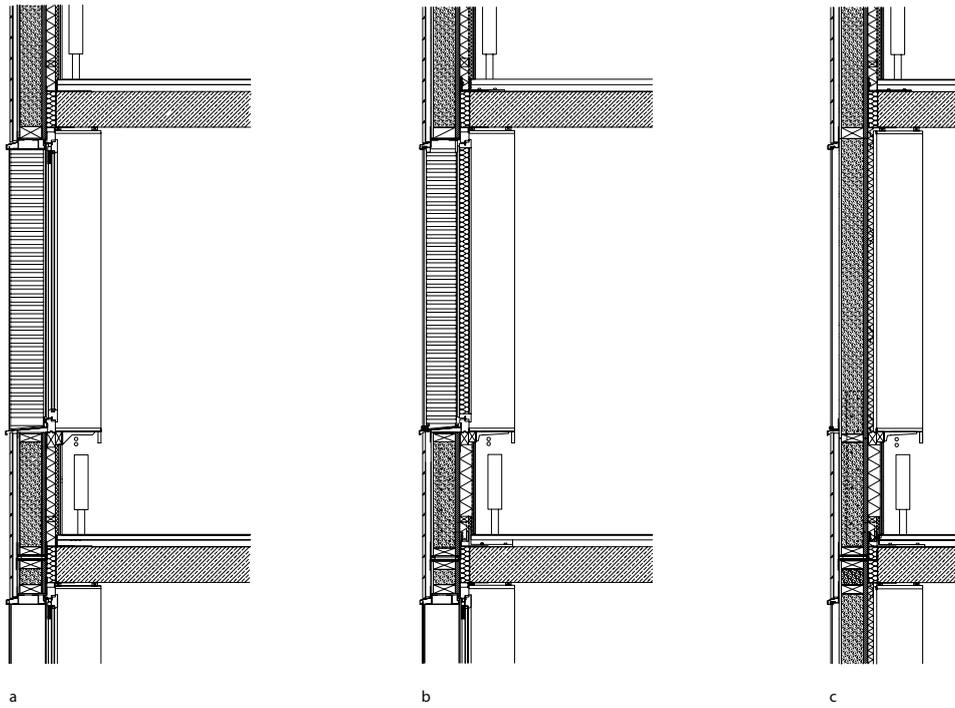


Abb. 121:
Vertikaler Fassadenschnitt
der Außenfassade mit
Deckenanschluss
a) Fensterbereich
b) Lüftungsclappen
c) geschlossener Bereich
(unmaßstäbliche Verklei-
nerung)

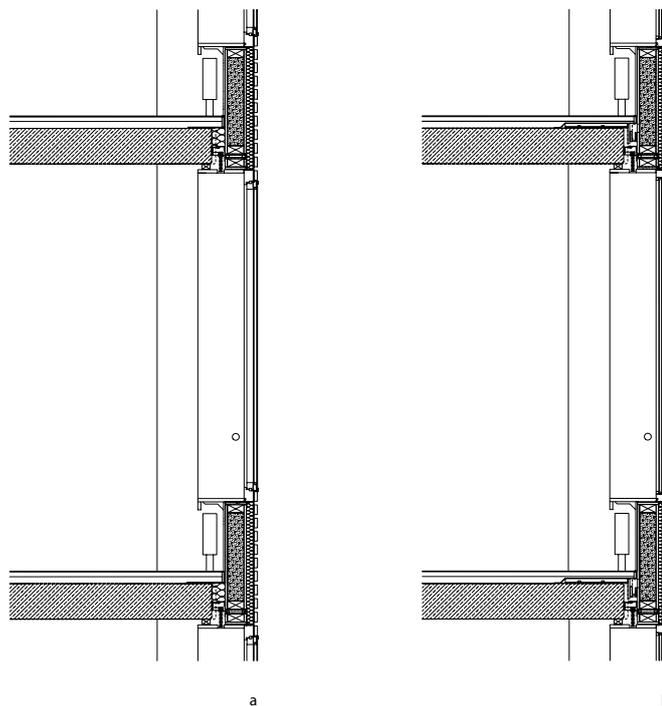


Abb. 122:
Vertikaler Fassadenschnitt
der Innenfassade mit
Deckenanschluss (unmaß-
stäbliche Verkleinerung)
a) Fensterflügel
b) Festverglasung

Herstellung

Die Elemente der Außenfassade sind in der Regel über 2 Geschosse hoch und 1 Achsfeld breit, also 6,50 m hoch und 2,75 m breit, insgesamt knapp 18 m² groß und 1.500 bis 2.500 kg schwer. Die Elemente der Innenfassade sind aus statischen Gründen wegen des höheren Anteils an verglasten Flächen horizontal angelegt, also geschosshoch und in der Regel über 2 Achsfelder in der Breite durchlaufend und ebenfalls ca. 18 m² groß. Sie verlaufen in beiden Fällen durchgehend vor der tragenden Stahlbetonkonstruktion. Übereinanderstehende Holzelemente sind nicht kraftschlüssig miteinander verbunden. Die Lastübertragung erfolgt über die Stahlbetondecken. Die Holzrahmenelemente sind mit Stahlwinkeln an in die Rohdecke eingelassenen Ankerschienen befestigt. Im Holzelement ist ein Stahlblech mit Haltewinkel kraftschlüssig mit dem vertikalen Tragholz verbunden.

Die Vorfertigung der Außenwandelemente im Herstellerwerk umfasst die oben beschriebene Holzrahmenkonstruktion komplett mit Fenstern und Nachtlüftungsklappen. Alle Elemente der inneren und äußeren Bekleidung werden vor Ort montiert, also die äußere Holzverschalung aus Lärchenholz mit Unterkonstruktion, die außenliegende ESG-Bekleidung sowie die Fensterbänke



Abb. 123 und 124:

Die Elemente der Außenfassade sind als vorgefertigte Holzrahmenelemente über zwei Geschosse hoch und ein Achsfeld breit

und von innen die zusätzliche Dämmebene und die Bekleidungen der Laibungen.

Die Entfernung vom Herstellerwerk zur Baustelle betrug ca. 400 km. Der Transport und – soweit erforderlich – die Zwischenlagerung erfolgten in horizontaler Position. Bei der Montage sind die Elemente zunächst in eine vertikale Position gebracht worden. In der Regel wurden die Elemente nicht auf der Baustelle zwischengelagert, sondern direkt vom anliefernden Fahrzeug aus montiert. Transporte auf der Baustelle erfolgten mit Hilfe von Kränen, welche die Elemente an ihren Einbauort brachten. Da in den Elementen keine Bohrungen für die Aufhängung am Kran möglich waren, wurde eine Klemmkonstruktion eingesetzt. Die Befestigung fand von innen statt, zunächst ohne Gerüst. Dies wurde erst für das Anbringen der äußeren Bekleidungen aufgestellt. Die Elemente der Innenfassade wurden in verschiedenen Bauabschnitten von oben in das Atrium eingehoben und ebenfalls von innen befestigt. Das Dach des Atriums wurde abschnittsweise nach Abschluss der Fassadenmontage geschlossen.

Vor Ort sind zur Herstellung der Winddichtheit die horizontalen und vertikalen Fugen und Anschlüsse von außen und von innen mit einer

Winddichtung verklebt. Für den Schall- und Brandschutz sind in den Elementstößen umlaufend zwei Fugendichtungsbänder eingesetzt und dazwischen vollflächig Mineralwolle angeordnet. Der horizontale Abschluss am Sockel ist mit Hilfe einer selbstklebenden, dampfbremsenden Folie ausgebildet, die innenseitig auf einen Stahlwinkel verlegt ist. Im Attikabereich ist die äußere Folie durchgehend über das obere Rahmenelement gezogen und an dem Stahlbetonüberzug verklebt. Der innere Abschluss ist auch hier mit Hilfe einer selbstklebenden, dampfbremsenden Folie ausgebildet, die auf einem Stahlwinkel verlegt ist.



Abb. 125:

Die Montage der Holzrahmenelemente erfolgte mit Kränen, das Gerüst wurde erst für die Vor-Ort-Montage der äußeren Fassadenbekleidungen aufgestellt

Abb. 126:

Von innen wurde die zusätzliche Dämmebene vor Ort montiert, elektrische Installationen wurden in dieser Ebene geführt

**Abb. 127 und 128:**

Durchlaufende, vorgefertigte Brüstungselemente mit Lärchenholzschalung alternieren mit zurückgesetzten Fenstern und bündigen, farbig bedruckten Glasflächen

Abb. 129:

Im Innenhof setzt sich das Gestaltungsprinzip mit einem höheren Anteil an transparenten Glasflächen fort

Abb. 130:

Grundriss Erdgeschoss

Abb. 131:

Grundriss 2. Obergeschoss

Ökonomische Aspekte

Die Wirtschaftlichkeit der gewählten Bauweise ist bei diesem Projekt vor dem Hintergrund der Nutzung des Gebäudes als Umweltbundesamt und dem damit verbundenen sozio-kulturellen Anspruch zu betrachten. Insbesondere auch die Aspekte des ökologischen Bauens haben die Auswahl der Baustoffe und der Bauweise beeinflusst. Unter den zur Diskussion stehenden Alternativen für den Außenwandaufbau, wie Natursteinfassaden, hochwertige Glasfassaden oder eine Betonkonstruktion mit Holzbekleidung, stellt die ausgeführte Holz-Elementfassade eine vergleichsweise kostengünstige Variante dar. Mit einem schlanken Wandaufbau kann die Holz-Elementfassade allen an sie gestellten Anforderungen gerecht werden.

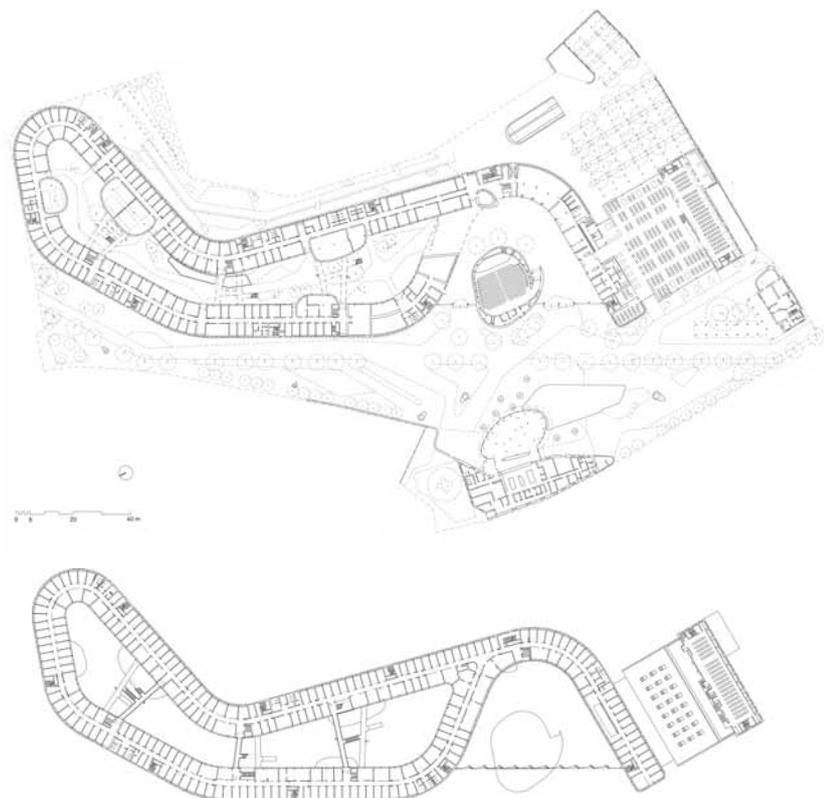
Vorteile der eingesetzten Fassadenkonstruktion liegen auch in der problemlosen Vorfertigung der Holztafelelemente in einem an die spezifischen Bedingungen des Projektes angepassten

Vorfertigungsgrad. Für dieses Projekt wurde die äußere und innere Bekleidung vor Ort ausgeführt, zum einen aufgrund der besonderen Gebäudeform, die vor allem durch die äußere Bekleidung aufgenommen wurde, zum anderen auch wegen der Gefahr einer Beschädigung der einzelnen Fassadenbestandteile, insbesondere der ESG-Scheiben, bei Transport und Montage. Die besondere Gebäudeform war auch Ursache für eine sehr aufwändige Planung der Herstellung der vorgefertigten Elemente. Aufgrund der sechs verschiedenen Radien der Außenfassade und der fünf verschiedenen Radien der Innenfassade sind die Elemente polygonal angeordnet. Viele Detailzeichnungen waren notwendig, da durch die polygonale Anordnung die Öffnungsflügel der Fenster elementweise unterschiedlich waren. Dies stand dem Vorteil der Vorfertigung, den man gerade bei einem Projekt dieser Größenordnung mit fast 13.000 m² Fassadenfläche in dem Kosteneinsparungspotenzial durch Serienfertigung vermutet, entgegen. Die Vorteile



der Bauzeitverkürzung und der Qualitätsverbesserung durch Vorfertigung konnten auch hier genutzt werden.

Insgesamt wird von Planerseite die gewählte Bauweise mit Holz-Elementfassaden positiv bewertet. Ein insgesamt höherer Planungsaufwand ergab sich wegen der nicht vorhandenen Erfahrungen mit Bürogebäuden dieser Größenordnung in dieser Bauweise. Hier habe der Informationsdienst Holz eine wichtige Beratungsfunktion erfüllt. Auch von Seiten des ausführenden Unternehmens kam große Zufriedenheit mit der ausgeführten Bauweise zum Ausdruck. Trotz der gesetzlichen Bestimmungen sei es den Architekten bei einem Projekt dieser Größenordnung gelungen, mit durchgängig natürlichen Materialien die brandschutztechnische Hürde zu nehmen, eine Holzständerkonstruktion zu verwenden, die geschossübergreifend ausgeführt ist.



9_ Exemplarische Bemessung

Die nachfolgende Musterberechnung beschreibt beispielhaft die Herangehensweise zur Dimensionierung von Holztafelelementen im Mischbau. Exemplarisch betrachtet wird die Ausführung einer eingestellten Außenwandkonstruktion, da die wichtigsten Aspekte auf andere Einbausituationen übertragbar sind.

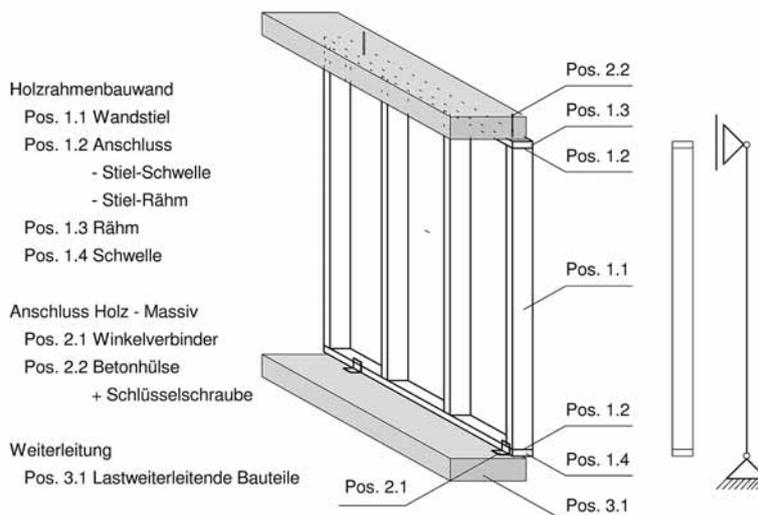
1. Allgemeine Beschreibung

Außenhülle Holztafelelemente – Gebäudekern massiv

Bei den zu bemessenden Elementen handelt es sich um nicht tragende Außenwandbauteile in Holztafelbauweise zur Herstellung der Gebäudehülle von Massivbauten mit Stahlbetondecken und Wohnungstrennwänden in Mauerwerk (siehe auch Kap. 4.1.2 Ausführungsvarianten

– Abb. 23, Eingestellte Außenwand). Die Elemente sowie die angegebenen Anschlussmittel sind im Hinblick auf eine größtmögliche Vorfertigung und eine rationelle Montage konzipiert und bemessen worden. Die untere Befestigung stellt ein Festlager dar, die obere wird als Loselager vertikal verschieblich ausgebildet. Belastungen aus Deckendurchbiegungen werden so ausgeschlossen.

Abb. 132:
Positionsplan und
statisches System



2. Rahmenbedingungen

Geometrie

Im Hinblick auf gängige Rastergrößen im Massivbau sind die Holztafelelemente mit einer Größe von $b/h = 5,00 \text{ m} / 2,80 \text{ m}$ bemessen worden.

Einbausituation

Bei der Bemessung des Beispielerementes wird die Einbausituation im 5. Obergeschoss angenommen. Nach der Musterbauordnung (MBO 2002) entspricht ein 5-geschossiges Gebäude der Gebäudeklasse 4. Die Höhe der letzten begehbaren Ebene liegt bei maximal 13,00 m. Bei einer Geschosshöhe von 2,80 m liegt die Einbauhöhe zwischen 13,00 und 15,80 m. Darüber hinaus ist es aber auch nach den jeweiligen Landesbauordnungen möglich, Holztafelelemente in F30-B- beziehungsweise W30-B-Qualität als nicht tragende Außenwände in höhere Gebäude einzusetzen.

Vorfertigung

Unter Berücksichtigung der Maßtoleranzen im Hochbau werden die Wandelemente werkseitig vorgefertigt. Die Dichtungsprofile zum Anschluss an die Massivbauteile müssen bereits werkseitig an die Holztafelelemente angebracht werden. Zum Heben der Elemente werden geeignete Hebezeuge kraftschlüssig montiert (für das bemessene Beispiel je 2 Schlaufen mit einer Tragfähigkeit von mindestens je 1.000 kg).

Montage

Um eine Montage der Elemente ohne Gerüst zu ermöglichen, werden vor dem Einbau Befestigungswinkel auf der Betondecke angebracht. Die Winkel sind so auszurichten, dass sie Anschlagpunkte für die per Kran einzuführenden Elemente bilden.

Die Elemente werden danach in die entsprechende Position gehoben und auf der Rohdecke verankert. Die Wand wird ausgelotet und von oben mit einer Schlüsselschraube durch die in den oberen Massivdeckenrand einbetonierten Rohrhülsen fixiert. Arbeitsebene ist die obere Deckenlage.

Die geschossweise verbleibenden Stöße werden von außen geschlossen. Bei weitestgehender Vorfertigung der Elemente können diese Restarbeiten von einem Hubsteiger aus erledigt werden, ein Fassadengerüst ist nicht mehr erforderlich.

Lastannahmen

Das Außenwandelement wird durch Lasten aus Winddruck und Windsog sowie durch sein Eigen-

gewicht beansprucht und ist dementsprechend an die massiven Stahlbetondecken anzuschließen.

VERTIKALE LASTEN:**Wand Holzrahmenbau (Ermittlung der Lasten je m² Wandfläche):**

Bauteilschicht	Lastermittlung	Lasten (kN/m ²)
Innenbekleidung (Gipskarton)	$0,11 \cdot 1,25$	0,14
Bepankung Holzwerkstoffe	$0,012 \cdot 6 \times 2 + 0,016 \cdot 5$	0,22
Stiele (Anteil 20 %)	$0,06 \cdot 0,18 \cdot 5 \cdot 0,2$	0,01
Dämmung	$0,18 \cdot 0,05 \cdot 0,8$	0,01
Fassade	0,1	0,1
	Summe	0,48

Einbeziehung der Fensteranteile (Durchschnittliche Lasten je m²):

Anteile der Wandfläche in

Holztafelbauweise min. 70 %	$0,48 \cdot 0,7$	0,34
Fensterelemente max. 30 %	$0,5 \cdot 0,3$	0,15
	Summe	~ 0,5 kN/m²

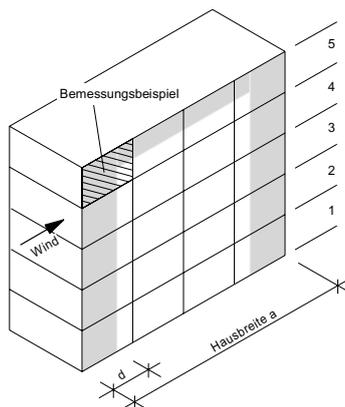
→ Als Bemessungsgrundlage werden 0,5 kN/m² für das Eigengewicht einer Holzrahmenbauwand angenommen.

HORIZONTALE LASTEN:

Die Windlasten wurden anhand der DIN 1055-4:2005-03 angenommen. Die hier verwendeten Werte beziehen sich auf ein Gebäude im Binnenland mit einer Einbauhöhe zwischen 13,00 und 15,80 m ($q = 0,8 \text{ kN/m}^2$). Die Größe der zu betrachtenden Sogbereiche sind entsprechend der jeweiligen Gebäudegeometrie individuell nach DIN 1055-4 festzulegen. In dieser Bemessung wird die Länge des Eckbereichs für die Sogspitzen mit den unten aufgeführten Werten exemplarisch mit 2,00 m angenommen.

Abb. 133:

Angenommene Windsogspitzen im Eckbereich. Je nach Gebäudegeometrie anzupassen



Winddruck	$w_d = c_p \cdot q = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64 \text{ kN/m}^2$
Windsog ¹⁾	$w_d = c_p^{1)} \cdot q = -0,8 \cdot 0,8 = -0,64 \text{ kN/m}^2$
Windsog Eckbereiche ²⁾	$w_d = c_p^{2)} \cdot q = -1,7 \cdot 0,8 = -1,36 \text{ kN/m}^2$

¹⁾ Im „Normalfall“ anzusetzender Windsog, zum Beispiel in Hausmitte, außerhalb der Eckbereiche.

²⁾ Je nach Gebäudeproportion ist für die Eckbereiche Windsog anzusetzen. In diesem Beispiel wird der Sog auf einer Breite von 2,00 m (vom Rand) mit einem c_p von max. -1,7 angesetzt.

3. Schnittgrößen der Holzbauteile

Die Normalkräfte in den Holzbauteilen (Stiele, Rähm und Schwelle) sind für die Bemessung nicht relevant. In den einzelnen Bemessungsschritten sind jeweils die maßgebenden

Schnittgrößen ermittelt worden. Die folgende Darstellung zeigt die Zerlegung in die statischen Einzelsysteme sowie die Momentenlinien der Bauteile.

Momentenlinien Rähm

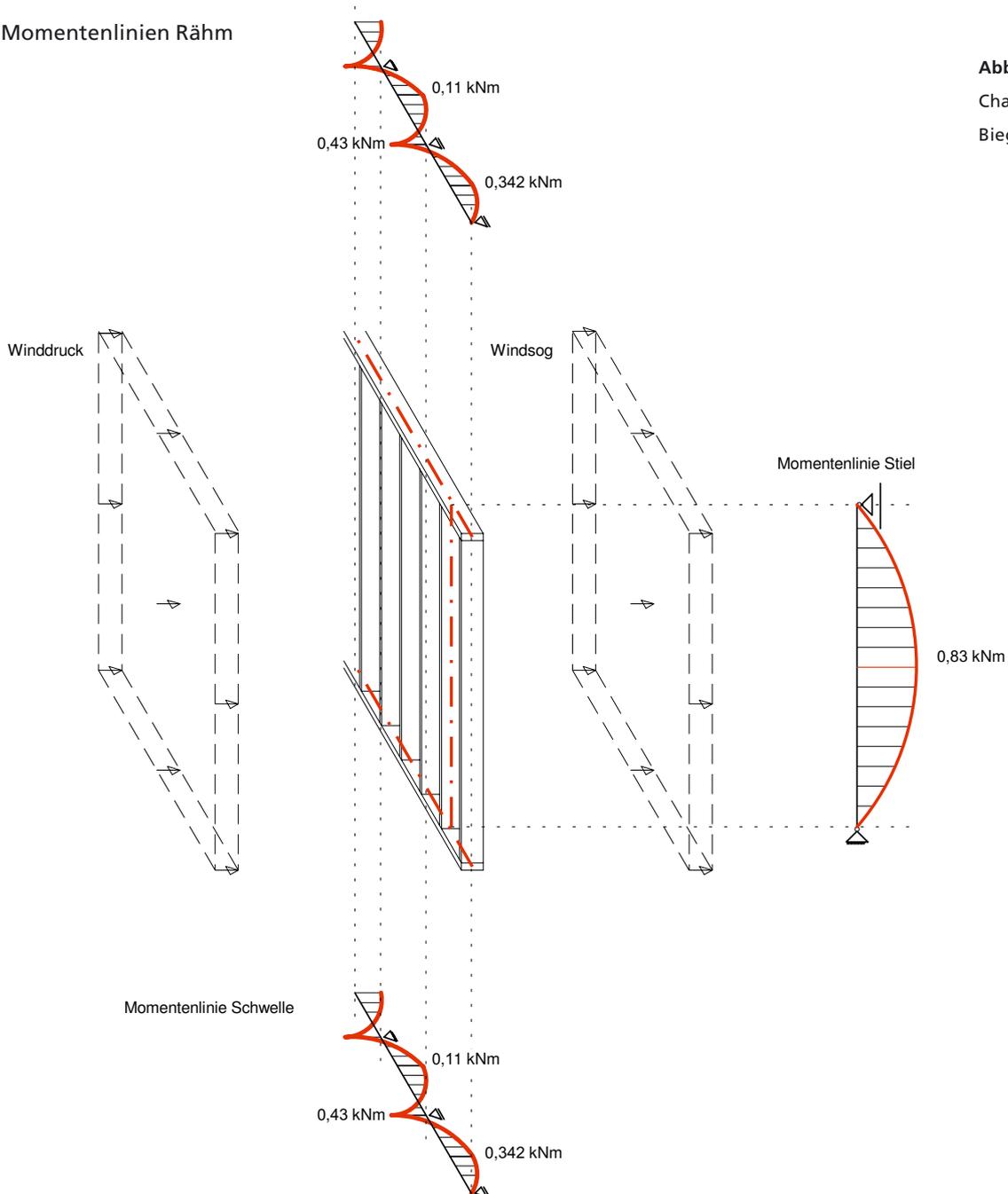


Abb. 134:
Charakteristische
Biegemomente (kNm)

4. Bemessung der Holzbauteile und Anschlussmittel nach DIN 1052:2004-08

Der statische Nachweis ist für Holzrahmenbauelemente, die keine Aussteifungsfunktionen übernehmen, bei üblichen Geschosshöhen und Fenstergrößen entbehrlich, da die Tragfähigkeit in Bezug auf Windbelastung und Eigengewicht zumeist gegeben ist. Alle Abmessungen werden konstruktiv gewählt. Erst bei außergewöhnlichen Bauteilgeometrien oder großen Fensteröffnungen wird der Nachweis einzelner Bauteile sinnvoll und notwendig. Hier wird nachfolgend jedoch exemplarisch der vollständige Nachweis dargestellt – auch wegen der noch unbekanntenen Rechenverfahren nach DIN 1052:2004-08.

Statische Nachweise für die Konstruktionen sind nach folgendem Schema zu führen:

1. Bemessung Holztafelbauwand

Pos. 1.1 Wandstiel:

infolge der Windlasten auf die Wand

Pos. 1.2 Anschluss Stiel an Rähm und Schwelle:

Nachweis der Verbindungsmittel

Pos. 1.3 Wandrähm:

Biegebeanspruchung aus Wind

Pos. 1.4 Wandschwelle:

Biegebeanspruchung aus Wind

2. Anschluss Holzbau an Massivbau

Pos. 2.1 Anschluss Schwelle an Massivdecke:

Nachweis der Verbindungsmittel unter Berücksichtigung erforderlicher Randabstände

Pos. 2.2 Anschluss Rähm an Massivdecke:

Nachweis der Verbindungsmittel unter Berücksichtigung erforderlicher Randabstände

3. Betrachtung der lastweiterleitenden Bauteile

Pos. 3.1 - Bemessung verstärkter Deckenstreifen
- Bemessung der Lasteinleitung in die Gründung

Pos. 1.1 - 1.4:
Nachweise können in der Regel vernachlässigt werden

Pos. 2:
Nachweise sind in jedem Fall zu führen

Pos. 3:
Nachweise sind in jedem Fall zu führen

Bemessung zu Detail Abb. 23:

Pos. 1.1 Stiel $b/d = 6/18$ cm, C24

Der Wandstiel erhält die wesentliche Beanspruchung aus den Windlasten auf die Fassadenfläche. Der Lastansatz ist je nach Gebäudegeometrie zu treffen. Randparameter sind die Einbauhöhe und die Gebäudegeometrie (gegebenenfalls ergänzende Erhöhungen verursacht durch Sogspitzen im Gebäudeeckbereich). Die Windlastzonen nach DIN 1055-4:2005-03 sind zu beachten (Windlastzonen-Karte von Deutschland). Die Belastung der Wand erfolgt aus Winddruck und Windsog. Nach DIN 1055-4 ist auch der Windsog auf der Wandinnenseite anzusetzen.

Für die Bemessung ist der Lastfall Windsog im Eckbereich in diesem Fall als maßgebend angesetzt worden. Bei den gängigen Stielabmessungen mit einer Breite von mindestens 6 cm sind die Querpressungen bei einer geschossweise eingebauten Wand nicht maßgebend. Eine Biegebemessung des Wandstiels wäre bei außergewöhnlichen Bauteilgeometrien zu führen. Anschlüsse der Kopf- und Fußpunkte an Schwelle und Rähm werden üblicherweise nur konstruktiv ausgeführt, diese Verbindungen werden über die Beplankung hergestellt. Bei Bauteilen von mehrgeschossigen Gebäuden können die höheren Belastungen durchaus zu gesonderten Anschlüssen führen, so dass sie hier trotzdem dargestellt werden. Die in der Bemessung gewählten Nägel stellen hierzu eine relativ kostengünstige Variante dar. Je nach Fertigungsmöglichkeiten sind auch Verschraubungen oder Winkelverbinder denkbar. Bei der Bemessung des Wandstiels wird der Anteil der Holzwerkstoffbeplankung vernachlässigt.

Einwirkungen

Charakteristische Größen

Wandlast	$g_k = 0,5 \cdot 2,8 \cdot 0,625$	= 0,88 kN
Wind (h > 8 bis 20,00 m), inkl. Sogspitzen aus Eckbereich	$w_k = 0,8 \cdot 1,7 \cdot 0,625$	= 0,85 kN/m

Bemessungsgrößen

Eigengewicht	$g_d = \gamma_d \cdot g_k$ = $1,35 \cdot 0,88$	= 1,19 kN/m
Wind (h > 8 bis 20,00 m), inkl. Sogspitzen aus Eckbereich	$w_d = \gamma_Q \cdot w_k$ = $1,5 \cdot 0,85$	= 1,28 kN/m

Schnittgrößen (Bemessungswerte)

Normalkraft	N_d	= 1,19 kN
Biegemoment	max. $M_{y,d} = 1,28 \cdot 2,8^2 / 8$	= 1,25 kNm
Horizontale Auflagerkraft	$A_{h,d} = 1,28 \cdot 2,8 / 2$	= 1,8 kN

Nachweise

Tragfähigkeit

Biegung

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\text{mit } \sigma_{m,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,25 \cdot 100}{\frac{6 \cdot 18^2}{6}} = 0,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,9 \cdot \frac{2,4}{1,3} = 1,66 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0,39}{1,66} = 0,23 \leq 1$$

Nachweise Pos. 1 (Fortsetzung)

Biegung und Druck

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$\text{mit } \sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{1,19}{6 \cdot 18} = 0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } \sigma_y = \frac{I_y}{i_y} = \frac{280}{0,289 \cdot 18} = 54$$

$$\text{mit } \rightarrow k_{c,y} = 0,745$$

$$\text{mit } f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,9 \cdot \frac{1,8}{1,3} = 1,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } k_m = 1,0 \text{ (kein Kippnachweis erforderlich)}$$

$$\frac{0,01}{0,745 \cdot 1,25} + 0,39 = 0,40 \leq 1$$

Schub

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\text{mit } \tau_d = 1,5 \cdot \frac{1,28 \cdot 2,8}{2 \cdot 18 \cdot 6} = 0,02 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,9 \cdot \frac{0,27}{1,3} = 0,19 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0,02}{0,19} = 0,11 \leq 1$$

Schwellenpressung

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1$$

$$\text{mit } \sigma_{c,90,d} = \frac{1,19}{6 \cdot (18 + 2 \cdot 3)} = 0,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } k_{c,90} = 1,25$$

$$\text{mit } f_{c,90,d} = 0,9 \cdot \frac{0,25}{1,3} = 0,17 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0,01}{1,25 \cdot 0,17} = 0,05 \leq 1$$

Pos. 1.2 Anschluss Stiel an Schwelle und Rähm

Verbindung mit Nägeln 4,6 x 120 unter einem Winkel von 45°

$$\frac{F_d}{R_d} \leq 1,0$$

mit $F_d = 1,8 \text{ kN}$

mit $R_d = 0,917 \text{ kN}$

$t_{\text{req}} = 64 \text{ mm} > t_{\text{vorh}} = 60 \text{ mm} \rightarrow$ Abminderung der Tragfähigkeit

$$R_d = 0,917 \cdot \frac{60}{64} = 0,86 \text{ kN}$$

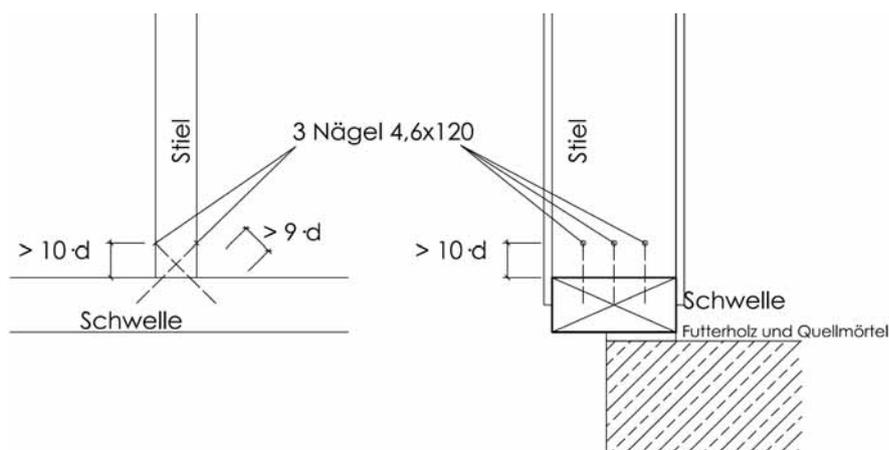
$t_{E,\text{req}} = 42 \text{ mm} < 54 \text{ mm}$

Erhöhung wegen kurzer Last:

$$R_d = 0,86 \cdot \frac{0,9}{0,8} = 0,97 \text{ kN}$$

gewählt 3 Nägel pro Anschluss

$$\frac{1,8}{3 \cdot 0,97} = 0,62 \leq 1,0$$



Gebrauchstauglichkeit

Charakteristische Situation

$$w_{Q,inst} \leq l/300 = 0,93 \text{ cm}$$

$$w_{Q,inst.} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_d \cdot l^4}{E_d \cdot I_y}$$

mit $E_d = 1100 \text{ kN/cm}^2$

mit $I_y = 6 \cdot 18^3 / 12 = 2916 \text{ cm}^4$

$$w_{Q,inst.} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,0 \cdot 280^4}{100 \cdot 1100 \cdot 2916} = 0,25 \text{ cm}$$

$$\mathbf{w_{Q,inst.} = 0,25 \text{ cm} \leq 0,93 \text{ cm}}$$

$$w_{fin} - w_{G,inst} \leq l/200 = 1,4 \text{ cm}$$

$$w_{fin} = w_{Q,inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin} = 0,25 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6)$$

$$\mathbf{w_{fin} = 0,25 \text{ cm} \leq 1,4 \text{ cm}}$$

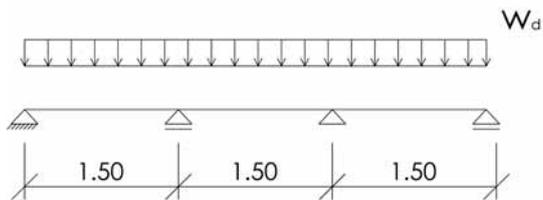
Pos.1.3 Wandrähm b/h = 18/6 cm, C24

Als lastweiterleitendes Bauteil der Wandstiele erfährt das Wandrähm die wesentliche Belastung aus dem Lastfall Wind. Da das Rähm in der Regel liegend eingebaut wird, erfolgt der Nachweis um die ‚starke Achse‘ des Bauteiles. Zur Lastübertragung an die massiven Bauteile wird das Rähm (die Wandtafel) mit Bolzen an die Massivdecke angeschlossen.

Prinzip:

Die Rohrhülsen werden in die Massivdecke einbetoniert. Beim Aufstellen der Elemente wird der Fußpunkt der Wand jeweils unterseitig angeschlagen (Anschlagpunkt Winkel). Dann wird die Wand ausgelotet und von oben mit einer Schlüsselschraube durch die Rohrhülsen fixiert (Arbeitsebene ist die nächste Deckenlage).

Statisches System



Einwirkungen

Charakteristische Größen

Wind (h > 8 bis 20,00 m), inkl. Sogspitzen	$w_k = 0,8 \cdot 1,7 \cdot 2,8/2$	= 1,90 kN/m
--	-----------------------------------	--------------------

Bemessungsgrößen

Wind (h > 8 bis 20,00 m), inkl. Sogspitzen	$w_d = 1,5 \cdot 1,90$	= 2,85 kN/m
--	------------------------	--------------------

Schnittgrößen (Bemessungswerte)

Auflagerkraft	$B_{h,d} = 1,2 \cdot 2,85 \cdot 1,5$	= 5,13 kN
Biegemoment	max. $M_{B,d} = 0,117 \cdot 2,85 \cdot 1,5^2$	= 0,75 kNm
Querkraft (o. Abminderung n. DIN 1052, 10.2.9)	$V_{B,d} = 0,617 \cdot 2,85 \cdot 1,5$	= 2,64 kN

Nachweise

Tragfähigkeit

Biegung

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\text{mit } \sigma_{m,y,d} = \frac{0,75 \cdot 100}{6 \cdot 18^2 / 6} = 0,23 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{2,4}{1,3} = 1,66 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0,23}{1,66} = 0,14 \leq 1$$

Schub

$$\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\text{mit } \tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{2,64}{18 \cdot 6} = 0,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } f_{v,d} = 0,9 \cdot \frac{0,27}{1,3} = 0,19 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0,04}{0,19} = 0,23 \leq 1$$

Gebrauchstauglichkeit

Charakteristische Situation

$$w_{Q,inst} \leq l/300 = 0,50 \text{ cm}$$

$$w_{Q,inst} = 0,0099 \cdot \frac{q_d \cdot l^4}{E_d \cdot I_y}$$

$$\text{mit } E_d = 1100 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } I_y = 6 \cdot 18^3 / 12 = 2916 \text{ cm}^4$$

$$w_{Q,inst} = 0,0099 \cdot \frac{1,90 \cdot 150^4}{100 \cdot 1100 \cdot 2916} = 0,03 \text{ cm} \leq 0,77 \text{ cm}$$

$$w_{fin} - w_{G,inst} \leq l/200 = 0,75 \text{ cm}$$

$$w_{fin} = w_{Q,inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin} = 0,03 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6)$$

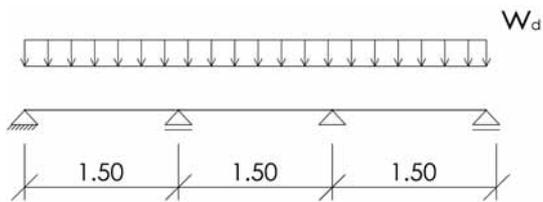
$$w_{fin} = 0,03 \text{ cm}$$

$$w_{fin} - w_{G,inst} = 0,03 \text{ cm} \leq 0,75 \text{ cm}$$

Pos. 1.4 Schwelle b/h = 18/8 cm, C24

Der erforderliche Querschnitt für die Schwelle ist hinsichtlich der horizontalen Lasten aus Wind, und der eventuell anstehenden Querpressungen (schwere Fensterelemente etc.) zu beurteilen.

Die Biegebemessung der Schwelle erfolgt somit ebenfalls um die höhere Achse (Querschnitt wird liegend eingebaut).

Statisches System**Einwirkungen****Charakteristische Größen**

Wind ($h > 8$ bis 20,00 m), inkl. Sogspitzen $w_k = 0,8 \cdot 1,7 \cdot 2,8 / 2 = 1,9 \text{ kN/m}$

Bemessungsgrößen

Wind ($h > 8$ bis 20,00 m), inkl. Sogspitzen $w_d = 1,5 \cdot 1,9 = 2,85 \text{ kN/m}$

Schnittgrößen (Bemessungswerte)

Auflagerkraft $B_{h,d} = 1,2 \cdot 2,85 \cdot 1,5 = 5,13 \text{ kN}$

Biegemoment $\max. M_{B,d} = 0,117 \cdot 2,85 \cdot 1,5^2 = 0,75 \text{ kNm}$

Querkraft (o. Abminderung n. DIN 1052, 10.2.9) $V_{B,d} = 0,617 \cdot 2,85 \cdot 1,5 = 2,64 \text{ kN}$

Nachweise

Tragfähigkeit

Biegung

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\text{mit } \sigma_{m,y,d} = \frac{0,75 \cdot 100}{8 \cdot 18^2 / 6} = 0,17 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } f_{m,y,d} = 0,9 \cdot \frac{2,4}{1,3} = 1,66 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0,17}{1,66} = \mathbf{0,10} \leq 1$$

Schub

$$\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\text{mit } \tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{2,64}{18 \cdot 8} = 0,03 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } f_{v,d} = 0,9 \cdot \frac{0,27}{1,3} = 0,19 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0,03}{0,19} = \mathbf{0,17} \leq 1$$

Gebrauchstauglichkeit

Charakteristische Situation

$$w_{Q,inst} \leq l/300 = 0,50 \text{ cm}$$

$$w_{Q,inst} = 0,0099 \cdot \frac{q_d \cdot l^4}{E_d \cdot I_y}$$

$$\text{mit } E_d = 1100 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } I_y = 8 \cdot 18^3 / 12 = 3888 \text{ cm}^4$$

$$w_{Q,inst} = 0,0099 \cdot \frac{1,9 \cdot 150^4}{100 \cdot 1100 \cdot 3888} = \mathbf{0,02 \text{ cm} \leq 0,50 \text{ cm}}$$

$$w_{fin} - w_{G,inst} \leq l/200 = 0,75 \text{ cm}$$

$$w_{fin} = w_{Q,inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin} = 0,02 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6)$$

$$w_{fin} = 0,02 \text{ cm}$$

$$w_{fin} - w_{G,inst} = \mathbf{0,02 \text{ cm} \leq 0,75 \text{ cm}}$$

Bei Mischbaukonstruktionen sind in jedem Fall die Verbindungsmittel in der Schnittstelle zwischen Holzbau und mineralischem Massivbau von besonderer Bedeutung und daher immer nachzuweisen.

Pos. 2.1 Winkelverbinder Typ KR 95

Das Schwellholz (der Fußpunkt der Wand) wird durch aufgesetzte Winkelverbinder an die Massivdecke angeschlossen. Im Zuge des Montageablaufes ist vorher die darunter liegende Wand (Schlüsselschraube als Anschluss Kopfpunkt) bereits montiert worden. Bautechnisch ist es sinnvoll, die Winkel vorab – als ‚Anschlagepunkt‘ für die per Kran einzuführenden Elemente – anzubringen.

Der Lastansatz für den statischen Nachweis der Winkelverbinder erfolgt für die Belastung in ‚normal beanspruchten‘ Bereichen (mehr als 2m Randabstand gem. DIN 1055-4). Je nach Geometrie des Gebäudes sind die Abstände der Winkelverbinder im Gebäudeeckbereich (Bereich von möglichen Sogspitzen infolge vorbei strömendem Wind) auf > 70cm zu reduzieren, bzw. sind andere Verbindungsmittel zu wählen. Hierzu wäre der Nachweis analog zu führen.

Einwirkungen

Bemessungsgrößen

infolge Wind (aus Pos. 1.4, Auflager $B_{n,d}$)

$$W_d = 5,13 \cdot \frac{0,8}{2,0} = 2,1 \text{ kN}$$

Widerstände

Tafelwert aus Produkt-Katalog · 1,5 (nur Verkehrslast)

$$R_d = 1,5 \cdot 2,17 = 3,26 \text{ kN}$$

Nachweise

$$\frac{W_d}{R_d} = \frac{2,1}{3,26} = 0,64 \leq 1$$

Für die Verankerung im Beton sind in diesem Fall Injektionsanker M12, z.B. gem. bauaufsichtlicher Zulassung NR. Z. 21.3-1714, mit einer Einbindetiefe 9 cm für eine zulässige Belastung von 4,6 kN entsprechend der Einbauanleitung zu verwenden.

Pos. 2.2 Schlüsselschraube M 8, 4.6

Wie in den Montageabläufen beschrieben, wird das oberseitige Rähm der Holztafelbauwand an dem darüber liegenden Deckerand befestigt. Die Befestigung wird einfach und wirtschaftlich von der oberen Deckenebene ausgeführt.

Die Schlüsselschrauben werden wieder im Feldbereich nachgewiesen (Anmerkung zu Bereichen mit Sogspitzen analog zu Pos. 2.1). Neben den erforderlichen Scherfestigkeiten

der einzelnen Schrauben sind vor allem die erforderlichen Randabstände einzuhalten. Zum einen die Randabstände im Rähm (einschließlich ca. 2 cm Toleranzen), zudem noch die erforderlichen Randabstände der Rohrhülsen in den Stb.-Decken, an die angeschlossen werden soll (Hinweise zur erf. Randbewehrung siehe weiter unten). Der Durchmesser der Rohrhülse in der Stahlbetondecke ist im Durchmesser max. 1mm größer, als der Nenndurchmesser der Schrauben!

Einwirkungen

Bemessungsgrößen

infolge Wind (aus Pos. 1.3, Auflager $B_{n,d}$)

$$W_d = 5,13 \cdot \frac{0,8}{2,0} = 2,1 \text{ kN}$$

Schnittgrößen

Querkraft

$$V_d = 2,1 \text{ kN}$$

Nachweise

Abscheren und Lochleibung

$$\frac{F_d}{R_d} \leq 1$$

mit R_d = Tragfähigkeit nach Colling, Tab. A-12.1

$$a_1 = 90^\circ$$

Stahlgüte 4.6 → Korrekturwert der Tragfähigkeit nach Tab. A-12.3: 1,054

$$R_k = 3,18 \cdot 1,054 = 3,35 \text{ kN}$$

$$t_{\text{req}} = 51 \cdot 1,054 = 53 \text{ mm} < 60 \text{ mm} = t_{\text{vorh}}$$

$$\text{mit } R_d = 0,9 \cdot \frac{3,35}{1,1} = 2,7 \text{ kN}$$

$$\frac{2,1}{2,7} = 0,77 \leq 1$$

Pos. 3.1 Lastweiterleitende Bauteile

Die Lastweiterleitung ist individuell für das jeweilige Bauvorhaben zu betrachten. Überschlägig kann mit einem Eigengewicht von $g = 0,75 \text{ kN/m}^2$ Wandfläche gerechnet werden. Die Lastweiterleitung erfolgt zunächst über die Deckenrandsteifen. Entsprechende Bewehrungszulagen sind mit einzuplanen. Bei der Bemessung der Gründung ist der Anteil der leichten Holzrahmenbauelemente im Vergleich zum massiven Gebäudekern zwar nicht hoch, muss aber dennoch berücksichtigt werden.

Die durch die Windbeanspruchung entstehenden Horizontallasten sind jeweils punktuell in die massiven Bauteile einzuleiten. Bei der Auslegung der Gebäudeaussteifung sind die Lasten entsprechend zu berücksichtigen.

10_ Literatur

- [1] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), 2002
- [2] Eriksson, P.-E.: Wood components in steel and concrete buildings – In-fill exterior wall panels. Study compiled for the Nordic Timber Council, 2003
- [3] Teibinger, M.; Edl, T.: Holz-Mischbau im urbanen Hochbau. Band 3 der HFA-Schriftenreihe; Holzforschung Austria, Wien 2003
- [4] Teibinger, M.; Edl, T.: Holz-Mischbau im urbanen Hochbau. Band 8 der HFA-Schriftenreihe; Holzforschung Austria, Wien 2005
- [5] Vier und mehr Geschosse. Holzbulletin 73. Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, Zürich 2004
- [6] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (Fassung Juli 2004); www.is-argebau.de
- [7] Dehne M.; Pape H.; Kruse D.; Krolak M.: Informationsdienst Holz spezial, Brandschutzkonzepte für mehrgeschossige Gebäude und Aufstockungen in Holzbauweise, Hg. Holzabsatzfonds, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, Bonn 2005
- [8] Holtz, F.: „Schreckgespenst“ Schallschutz im Holzbau. Architektentag, Hannover 2003
- [9] Hessinger, J.; Rabold, A.; Holtz, F.; Schläpfer, R.: Trittschalldämmung von Holzdecken bei niedrigen Frequenzen. DAGA 2002, S. 533 - 534
- [10] Holtz F.; Hessinger, J.; Rabold, A.; Buschbacher, H.-P.: Informationsdienst Holz, holzbau handbuch, R3/T3/F4: Schallschutz – Wände und Dächer. Hg. Holzabsatzfonds, DGfH Innovations- und Service GmbH, Bonn 2004
- [11] Otto, F.; Ringeler, M.: Informationsdienst Holz, holzbau handbuch, R1/T1/F8: Funktionsschichten und Anschlüsse für den Holzhausbau. Hg. Holzabsatzfonds, DGfH Innovations- und Service GmbH, Bonn 2004
- [12] Lewitzki, W.; Schulze, H.: Informationsdienst Holz, holzbau handbuch, R3/T5/F1: Holzschutz – Bauliche Empfehlungen. Hg. Holzabsatzfonds, DGfH Innovations- und Service GmbH, Bonn 2001
- [13] Schulze, H.: Informationsdienst Holz, holzbau handbuch, R3/T5/F2: Baulicher Holzschutz. Hg. Holzabsatzfonds, DGfH Innovations- und Service GmbH, Bonn 2001
- [14] Cheret, P.; Grohe, G.; Müller, A.; Schwaner, K.; Winter, S.; Zeitter, H.: Informationsdienst Holz, holzbau handbuch, R1/T1/F4: Holzbausysteme. Hg. Arbeitsgemeinschaft Holz, Holzabsatzfonds, Düsseldorf 2000
- [15] Holtz F.; Hessinger, J.; Rabold, A.; Buschbacher, H.-P.: Informationsdienst Holz, holzbau handbuch, R3/T3/F3: Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken. Hg. Arbeitsgemeinschaft Holz, Düsseldorf 1999
- [16] Bertolini, M. in: Tagungsband „Mehrgeschossiger Holzbau als technische Herausforderung“. Hg. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, Dübendorf 2003

- [17] Bredenbals, B.; Hullmann, H.: Holztafelbauweise im mehrgeschossigen Wohnungsbau. Bauforschung für die Praxis, Band 48. Hg. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1996
- [18] Informationsdienst Holz: Holzbau in Schleswig-Holstein und Hamburg. Hg. Landesbeirat Forst- und Holzwirtschaft beim Ministerium für Umwelt, Natur und Landwirtschaft des Landes Schleswig-Holstein, 2004
- [19] König, G.; Holschemacher, K.; Dehn, F.: Holz-Beton-Verbund. Innovationen im Bauwesen. Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2004
- [20] Möhler, K.: Über das Tragverhalten von Biegeträgern und Druckstäben mit zusammengesetzten Querschnitten und nachgiebigen Verbindungsmitteln. Habilitation, Technische Universität Karlsruhe
- [21] Lehmann, S.; Grosse, M.; Rautenstrauch, K.: Neuartige Schubverbindung für Brettstapel-Beton-Verbunddeckenplatten. Bautechnik 80, Heft 6, S. 385 - 392, 2003
- [22] Lehmann, S.: Untersuchungen zur Bewertung von Verbundbauteilen aus Brettstapelelementen im Flächenverbund mit mineralischen Deckschichten. Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, Universitätsverlag Weimar, 2004
- [23] Werner, H.: Brettstapelbauweise. Informationsdienst Holz, holzbau handbuch, R1/T17/F1. Hg. Arbeitsgemeinschaft Holz, Düsseldorf
- [24] SFS-Verbundschrauben VB-48-7,5 x 100 als Verbindungsmittel für das SFS Holz-Beton-Verbundsystem, Z-9.1-342, Aichach
- [25] BVD-Ankerdübel-Verbindung; Z-9.1-233, Dipl.-Ing. P. Bertsche
- [26] Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten Schubverbindern, Z-9.1-557, Bathon & Bahmer GbR
- [27] Kuhlmann, U.; Gerold, M., Schänzlin, J.: Trag- und Verformungsverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Bauingenieur, Band 77, 01/2002
- [28] Brettstapel-Beton-Verbunddecken mit Flachstahlschlössern, Z-9.1-473, Dipl.-Ing. W. Bauer, Waldau
- [29] Postulka, J.: Holz-Beton-Verbunddecken. 36 Jahre Erfahrung. Bautechnik 74, S. 478 - 479, 1997
- [30] Z-9.1-342: SFS-Verbundschrauben VB 48-7, 5 x 100 als Verbindungsmittel für das SFS-Holz-Beton Verbundsystem
- [31] Z-9.1-445: Timco II-Schrauben als Verbindungsmittel für das Timco Holz-Beton-Verbundsystem
- [32] Rug, W.; Lißner, K.: Holz-Beton-Verbundbauweise in der Praxis, Beton- und Stahlbetonbau 99 H. 7, S. 578 - 586, 2004
- [33] Z-9.1-557: HBV-Deckensysteme mit eingeklebten Schubverbindern
- [34] Fritzen, K.: Schulerweiterung mit Betondecken. Bauen mit Holz 1/2005, S. 23 ff
- [35] Palfi, Michael: Solarwände bergen Chancen für den Holzbau. Mikado 10/2003, S. 22-27
- [36] Palfi, Michael: Revitalisierung Bürohaus in Erfurt. EnergieEffizientes Bauen 4/2002, S. 37 - 40

11 _ Bildnachweis

Titel:

Thomas Koculak /
Holzabsatzfonds, Bonn

Abb. 1:

Rupert Steiner, Wien

Abb. 2:

Zwimpfer Partner Architekten,
Basel/Zug

Abb. 3:

Kramm & Strigl, Darmstadt

Abb. 4:

Claudia Krafczyk

Abb. 5:

Jörg Hempel, Aachen

Abb. 6:

Thomas Koculak /
Holzabsatzfonds, Bonn

Abb. 7:

LEG Thüringen, Erfurt

Abb. 8:

Maike Petersen

Abb. 9:

Michael Wesely, Berlin

Abb. 10:

Steidle + Partner, München

Abb. 11:

Banz + Riecks, Bochum

Abb. 12:

Kramm + Strigl, Darmstadt

Abb. 13:

Kampa-Haus GmbH, Minden

Abb. 14:

K. Müller

Abb. 15:

Karl Rautenstrauch, Weimar

Abb. 16:

Heinz Hullmann, Hamburg

Abb. 17:

Jens Koch, Klaus Peter Schober,
Holzforschung Austria, Wien

Abb. 18:

Jens Koch, Wien

Abb. 19-27:

Martin Mohrmann,
Düsseldorf

Abb 28:

Ludger Dederich, Bonn

Abb. 29, 30:

Thomas Stolte, Schobüll

Abb. 31:

Kramm & Strigl, Darmstadt

Abb. 32:

LEG Thüringen, Erfurt

Abb. 33:

sauerbruch hutton architekten,
Berlin

Abb. 34:

Heinz Hullmann, Hamburg

Abb. 35:

W. Bauer, Waldau

Abb. 36-39:

Bauhaus-Universität, Weimar

Abb. 40:

W. Bauer, Waldau

Abb. 41-42:

Bauhaus-Universität, Weimar

Abb. 43-47:

Wolfgang Rug,
Eberswalde/Wittenberge

Abb. 48:

Kramm & Strigl, Darmstadt

Abb. 49:

Fa. Schindler, Roding

Abb. 50:

Kramm & Strigl, Darmstadt

Abb. 51:

Schröder & Widmann, München

Abb. 52, 53:

motorplan, Mannheim

Abb. 54:

LEG Thüringen, Erfurt

Abb. 55:

Architektur Contor Müller Schlüter,
Wuppertal

Abb. 56:

Dieter Leistner, Würzburg

Abb. 57, 58:

Kramm & Strigl, Darmstadt

Abb. 59-61:

Dieter Leistner, Würzburg

Abb. 62-66:

Kramm & Strigl, Darmstadt

Abb. 67:

Dieter Leistner, Würzburg

Abb. 68, 69:

Kramm & Strigl, Darmstadt

Abb. 70, 71:

gap-solar, Perg

Abb. 72:

Bettina Franke, Weimar

Abb. 73-77:

LEG Thüringen, Erfurt

Abb. 78-81:

gap-solar, Perg

Abb. 82-85:

LEG Thüringen, Erfurt

Abb. 86:

Thomas Riehle /
Architektur Contor Müller Schlüter

Abb. 87:

Architektur Contor Müller Schlüter,
Wuppertal

Abb. 88:

Thomas Riehle /
Architektur Contor Müller Schlüter

Abb. 89:

Architektur Contor Müller Schlüter,
Wuppertal

Abb. 90:

Thomas Riehle /
Architektur Contor Müller Schlüter

Abb. 91-97:

Architektur Contor Müller Schlüter,
Wuppertal

Abb. 98, 99:

Thomas Riehle /
Architektur Contor Müller Schlüter

Abb. 100:

Banz + Riecks / Christian Richters

Abb. 101:

Banz + Riecks, Bochum

Abb. 102:

Banz + Riecks / Christian Richters

Abb. 103-105:

Banz + Riecks, Bochum

Abb. 106:

Banz + Riecks / Christian Richters

Abb. 107-113:

Banz + Riecks, Bochum

Abb. 114, 115:

Banz + Riecks / Christian Richters

Abb. 116:

Thomas Koculak /
Holzabsatzfonds, Bonn

Abb. 117:

sauerbruch hutton architekten,
Berlin

Abb. 118-120:

Thomas Koculak /
Holzabsatzfonds, Bonn

Abb. 121-124:

sauerbruch hutton architekten,
Berlin

Abb. 125:

Fa. Schindler, Roding

Abb. 126:

sauerbruch hutton architekten,
Berlin

Abb. 127-129:

Thomas Koculak /
Holzabsatzfonds, Bonn

Abb. 130, 131:

sauerbruch hutton architekten,
Berlin

Abb. 132-134:

Cornelius Back, Lübeck

HOLZABSATZFONDS

Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft

Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn

Telefon 02 28 / 30 83 80, Telefax 02 28 / 3 08 38 30

info@holzabsatzfonds.de

www.infoholz.de, www.holzabsatzfonds.de