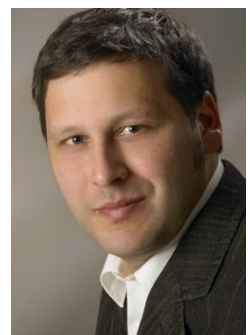


Anschlüsse von Holzfassadenelementen im Hybridbau

René Stein
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, Deutschland



Anschlüsse von Fassadenelementen im Hybridbau

1. Einleitung

Die Hybridbauweise wird definiert aus der Kombination integraler Fassadenelemente in Holzbauweise mit Stahlbetontragwerken sowie der funktionalen Abgrenzung beider Bauweisen (siehe Abschnitt 2.1). Allerdings fehlten bisher standardisierte und stringent geführte Planungsunterlagen für diese Bauweise. Aus diesem Grund war die Zielsetzung des Forschungsprojektes «Fassadenelemente für Hybridbauweisen» [1] die Weiterentwicklung vorgefertigter Holzfassadenelemente zur Herstellung einer hochgedämmten, energie- und ressourceneffizienten Gebäudehülle unter überwiegender Verwendung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Ferner wurden integrale Fragestellungen der Tragwerksplanung, des Wärme- und Feuchteschutzes, Schallschutzes und Brandschutzes untersucht, welche sich aus der speziellen Form der Hybridbauweise ergeben. Durch die zunehmende Bedeutung der Lebenszyklusanalyse (LCA) und die steigende Relevanz der Rezyklierbarkeit von Baukonstruktionen wurden im Rahmen des Projektes Entscheidungsvorgaben für Planer und Investoren entwickelt.

Zur Lösung der Aufgabenstellung wurde ein integrales Team aus Wissenschaft und Praxis zusammengestellt. Um den Stand der Forschung einfließen zu lassen, haben sich die Lehrstühle Holzbau und Baukonstruktion (Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Winter), Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen (Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Lang) sowie Massivbau (Univ.-Prof. Dr.-Ing. O. Fischer) zusammengeschlossen. Zur externen Mitarbeit wurde das Schallschutzprüfzentrum des Instituts für Fenstertechnik Rosenheim (ift) (Dr. J. Hessinger) hinzugezogen.

Der projektbegleitende Ausschuss hat sich aus Vertretern der Firmen Gump & Maier, Huber & Sohn, Merk Timber (Züblin), Ketonia, Krämmel und Geiger, sowie der Bayerischen Bauwirtschaft zusammengesetzt.

Die brandschutztechnische Bewertung der Bauteile und Hybridanschlüsse, die in diesem Tagungsbeitrag vorgestellt wird, bildet einen zentralen Punkt bei der Umsetzbarkeit der Hybridbauweise bis zur Hochhausgrenze.

2. Beschreibung der Hybridbauweise

2.1. Hauptmerkmal

Die funktionale Abgrenzung des Tragwerks von der nichttragenden Gebäudehülle ist ein wesentlicher Aspekt für die Hybridbauweise. Dieser ermöglicht einen Anwendungsbereich der vorgefertigten Fassadenelemente in Holzbauweise bis zur Hochhausgrenze (Höhe oberster Geschossfußboden gegenüber mittlerer Geländehöhe ≤ 22 m), ohne Abweichung von den derzeit gültigen bauordnungsrechtlichen Vorgaben. Der Anwendungsbereich ergibt sich aus der Muster-Bauordnung (MBO) [2] bzw. den darauf aufbauenden Landesbauordnungen (LBO's).

Tabelle 1: Gebäudeklassen nach Musterbauordnung (MBO)

Gebäudeklasse	1	2	3	4	5
Gesamtfläche	≤ 400 m ²	≤ 400 m ²	-	-	-
Fläche einer Nutzungseinheit	-	-	-	≤ 400 m ²	-
Anzahl der Nutzungseinheiten	≤ 2	≤ 2	-	-	-

Hinweis: Gebäudeklasse 5 mit Aufenthaltsräumen > 22 m = Hochhaus, Whg - Wohnung, NE - Nutzungseinheit

Tabelle 2: Anwendung von Holz und Holzwerkstoffen in Abhängigkeit von den Gebäudeklassen

Bauteil	MBO	Gebäudeklasse				
	§2	1	2	3	4	5
Tragende Wände, Stützen	§27	-	fh	fh	hf	fb
Tragende Wände, Stützen im Kellergeschoss		fh	fh	fb	fb	fb
Tragende Wände, Stützen im Dachgeschoss, wenn Aufenthaltsräume darüber möglich sind		-	fh	fh	hf	fb
Nichttragende Außenwände	§28	-	-	-	nb oder fh	nb oder fh
Trennwände	§29	-	fh ¹⁾	fh	hf	fb
Decken	§31	-	fh	fh	hf	fb
Decken im Dachgeschoss, wenn Aufenthaltsräume darüber möglich sind		-	fh	fh	hf	fb
Decken im Kellergeschoss		fh	fh	fb	fb	fb
Brandwand / Brandwandsatzwand	§30	hf ²⁾	hf ²⁾	hf ²⁾	hf + M	fb + M

¹⁾ gilt nicht für Wohngebäude, ²⁾ Gebäudeabschlusswände in F30/F90-Bauweise

fh – feuerhemmend, hf – hochfeuerhemmend, fb – feuerbeständig, M – mechanischer Stoß

nb – nicht brennbar

■ Holzanwendung ohne Abweichungen von MBO möglich

Die nichttragende Funktion bedeutet, dass die Elemente keinen Beitrag zur Standsicherheit des Gebäudes leisten, d.h. es wird keine tragende oder aussteifende Funktion für das Gesamttragwerk übernommen. Bezogen auf den Brandfall müssen die Elemente Eigen- und Windlasten geschossweise in das Tragwerk übertragen und die Außenwände über dem Brandgeschoss für einen definierten Zeitraum an ihrem Einbauort verbleiben.

2.2. Stahlbetonbauweise

Die grundlegende Tragstruktur von Hochbauwerken wird überwiegend als Stahlbetontragwerk ausgeführt. Im üblichen Hochbau sind heutzutage zwei Bauweisen am weitesten verbreitet, der Skelett- und Schottenbau. Die Herstellung der Bauteile kann in Ortbetonbauweise mit schlaffer Bewehrung, als Betonhalbfertigteil mit Ortbetonergänzung oder als Betonfertigteil erfolgen.

Zur wirtschaftlichen Erhöhung der Feldweiten oder Reduzierung der Verformungen können Ortbetondecken vorgespannt werden. Der Planungs- und Herstellungsaufwand ist jedoch deutlich höher als bei konventionell schlaff bewehrten Decken.

Im Rahmen des Projektes wurden Anschlussausführungen unter Berücksichtigung der zuvor genannten Bauweisen entwickelt (siehe [1], [18]).

2.3. Elemente in Holzbauweise

Im Bereich des Holzbaus ist die Verwendung vorgefertigter Bausysteme weit vorangeschritten. Für Außenwände lassen sich vorgefertigte Holzbauelemente vereinfachend in die Systembereiche Fassade, Kernelement und Installationsebene einteilen. In den folgenden Skizzen werden beispielhaft horizontale Schnitte von Wandaufbauten mit Vorsatzschale bzw. Kompaktfassade sowie unterschiedlichen Installationsebenen dargestellt.

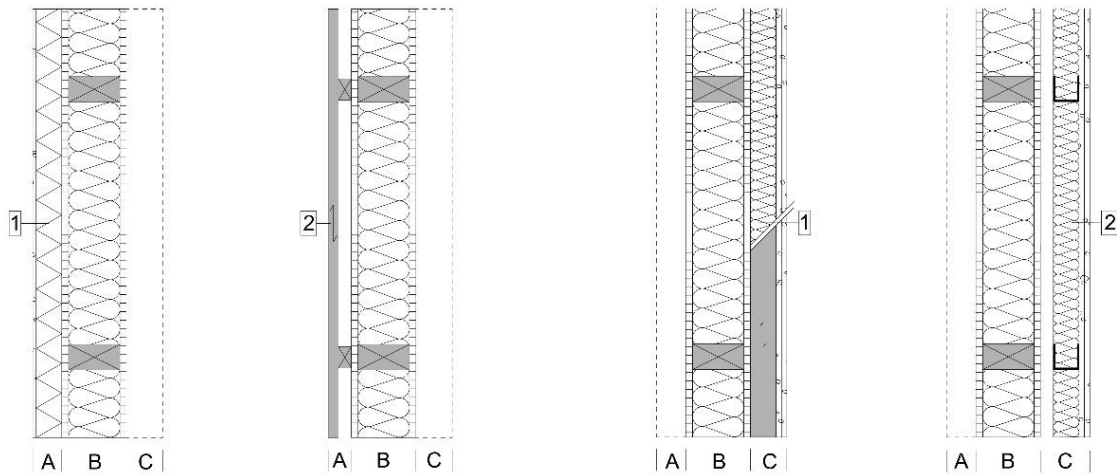


Abbildung 1: Wandaufbauten im Horizontalschnitt, links: 1) Kompaktfassade + Kernelement, 2) Hinterlüftete Fassade + Kernelement, rechts: 1) Kernelement + direkt verbundene Installationsebene, 2) Kernelement + eigenständige (entkoppelte) Installationsebene

Dem Kernelement werden viele Funktionen auf engem Raum zugeordnet. Die Hauptfunktion des Kernelements liegt in der Einhaltung bauphysikalischer Anforderungen. Im Falle einer Holztafel- bzw. Holzrahmenbauweise ist innerhalb der Tragebene gleichzeitig die Dämmebene angeordnet. Stabilisierende beidseitige Bekleidungen aus Holz- und/oder Gipswerkstoffen schließen das Kernelement flächig zu einem beidseitig geschlossenen und hohlraumfrei gedämmten Element ab. Die Bekleidungen können zusätzlich die Funktionen der Luft- und Winddichtheit übernehmen. Nach Möglichkeit sind daher Durchdringungen im Bereich des Kernelementes zu vermeiden.

Das Kernelement kann mit flexibel gestaltbaren Fassadensystemen und Installationsebenen versehen werden. Raumseitig angeordnete Installationsebenen bieten den Vorteil, dass haustechnische Leitungen unabhängig von der vorgefertigten Gebäudehülle, bestehend aus dem Kernelement und ggf. schon applizierter Fassade auf der Baustelle verlegt werden können. Die Notwendigkeit einer Installationsebene ist maßgeblich abhängig von brand- und schallschutztechnischen Anforderungen.

2.4. Anschlussvarianten

Die Fassadenelemente geben die tragende Funktion an das innere Gebäudeträgerwerk ab, d.h. es wird keine tragende oder aussteifende Funktion für das Gesamttragwerk übernommen. Die somit nichttragenden Fassadenelemente werden je nach Anschlussvariante an das Stahlbetonträgerwerk angeschlossen bzw. darin eingestellt. Die Positionierung wirkt sich unterschiedlich auf die bauphysikalischen Eigenschaften im Anschlussbereich sowie die Belastung der Befestigungsmittel aus. Prinzipiell können vereinfacht drei Anschlussvarianten unterschieden werden: „vorgestellt«, „vorgehängt« und „eingestellt«.

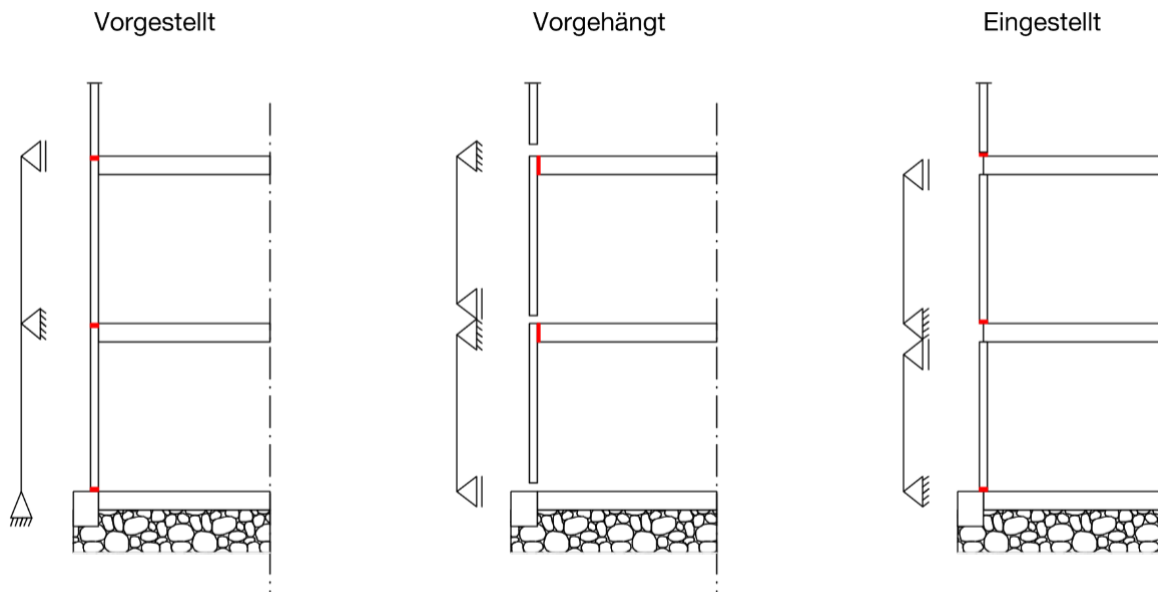


Abbildung 2: Anschlussvarianten nichttragender Fassadenelemente

Bei der vorgestellten Variante wird die nichttragende Außenfassade vor der Tragwerkebene angeordnet. Die Eigenlast wird über die einzelnen Fassadenelemente nach unten hinweg in die Konstruktion oder ein eigenes Fundament weitergeleitet oder geschossweise über eine Verbindung in die untere massive Decke eingeleitet. Bei der vorgehängten Variante befinden sich die Fassadenelemente ebenfalls außerhalb des Tragwerks, werden jedoch geschossweise an die oberen massiven Decken angehängt. Die eingestellte Variante ist dadurch gekennzeichnet, dass die Fassadenelemente geschossweise direkt auf den massiven Decken des Tragwerks aufgestellt werden und somit in einer Ebene innerhalb des Tragwerks liegen.

In Abhängigkeit von bauphysikalischen Kenngrößen des Wärme- oder des Schallschutzes wurden die Anschlussvarianten diskutiert, wobei auf Anraten der projektbegleitenden Arbeitsgruppe die vorgehängte Variante vernachlässigt wurde. Im Falle der eingestellten Variante werden die Elemente mit unterschiedlichen Einstellgraden auf den Deckenrändern der Tragstruktur gelagert.

Herausforderungen ergaben sich an der Schnittstelle zwischen Holzfassadenelement und Stahlbetontragwerk. Es müssen Maßtoleranzen eingehalten werden, die ein funktionsgerechtes Zusammenfügen der Bauelemente gewährleisten. Hierbei wird im Endbericht des Forschungsprojektes [1] auf Grenzabweichungen der vorgefertigten Holzfassadenelemente gemäß DIN 18203-3 [3] sowie baustoffunabhängige Winkelabweichungen gemäß DIN 18202 [4] verwiesen. Toleranzen zwischen Holzbau und Massivbau von bis zu 30 mm wurden bei der Detailentwicklung berücksichtigt.

Lastabhängige Verformungen der Stahlbetondecken wurden unter Berücksichtigung der Langzeiteffekte Kriechen und Schwinden untersucht. Der Lehrstuhl für Massivbau (TUM) übernahm die Durchführung von Simulationsrechnungen und von Bauteilversuchen zur differenzierteren Analyse des Verformungsverhaltens im Zustand II. Zur Herstellung optimierter Anschlüsse zwischen Holzbauanteilen und Stahlbetontragwerk flossen die Ergebnisse in den iterativen Entwurfsprozess mit ein.

3. Brandschutztechnische Bewertung

3.1. Bauteilbemessung

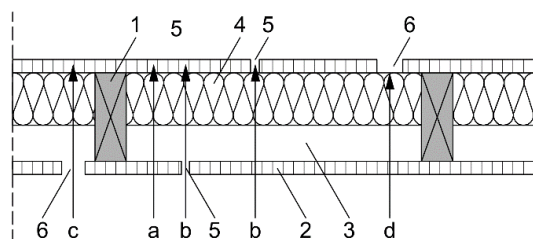
Der Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit der Holz- und Stahlbetonbauteile kann auf unterschiedliche Art und Weise geführt werden. Zugrunde gelegt werden können normative Berechnungsmethoden oder Tabellenwerte. Spezifische Nachweise, u.a. allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse werden benötigt, wenn die Bauteilaufbauten von den normativen Aufbauten abweichen. In den Kapiteln 3.2 und 3.3 wird die Bemessung auf Grundlage von Rechenmethoden für Bauteile in Holzrahmenbauweise und Tabellenwerten für die Stahlbetonbauweise dargestellt. Die Feuerwiderstandsdauern ergeben sich aus den Anforderungen der MBO für Gebäude in der Gebäudeklasse 5 (siehe Kapitel 2.1).

3.2. Bauteile in Holzrahmenbauweise

Für die Wandelemente kann die Tragfähigkeit (Kriterium R) und die raumabschließende Funktion (Kriterien EI) nach DIN EN 1995-1-2 [5] in Verbindung mit dem nationalen Anhang DIN EN 1995-1-2/NA [6] bemessen werden. Die darin enthaltenen Rechenverfahren (Kriterium R in DIN EN 1995-1-2, Anhang C und Kriterium EI in Anhang E) sind auf eine Feuerwiderstandsdauer ≤ 60 Minuten sowie bestimmte Material- und Schichtaufbauten begrenzt.

Die Regeln gelten für geschlossene Holzrahmenbauelemente mit maximal zweilagigen Bekleidungen aus Holzwerkstoffen nach DIN EN 13986 [7] und Gipswerkstoffen des Typs A, H und F nach DIN EN 520 [8]. Als Dämmstoffe können werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (Stein- und Glaswolle) nach DIN EN 13162 [9] eingesetzt werden. Um das Verfahren für die raumabschließende Funktion zu erweitern, wurde ein modifiziertes Verfahren [10] entwickelt, welches in die neue Fassung der DIN EN 1995-1-2 integriert werden soll.

Beide Berechnungsmethoden sind additive Verfahren, in denen der Ausfall einzelner Schichten über Temperaturkriterien gesteuert wird. Es wird zwischen Wärmedämmwirkung t_{ins} der einzelnen Schichten des Bauteils und der Schutzzeit t_{ch} der Brandschutzbekleidung unterschieden.



Legende:

- | | |
|---|---|
| 1 | Holzbauteil |
| 2 | Bekleidung |
| 3 | ungedämmter Hohlraum |
| 4 | Hohlraumdämmung |
| 5 | Bekleidungsfuge nicht hinterlegt durch Latten, Balken oder Stiele |
| 6 | Lage einer Installation |

a-d Wärmedurchgangswege

Abbildung 3: Darstellung der Wärmeübertragungswege durch eine raumabschließende Konstruktion (entnommen aus [5])

Der brandschutztechnische Nachweis zur Ermittlung der raumabschließenden Wirkung (Leistungskriterien EI) erfolgt nur für die Kernwand (siehe Abbildung 1). Die brandschutztechnischen Anforderungen an nichttragende Wände sind damit abgedeckt.

In der Rechnung wird nur der Wärmedurchgangsweg a berücksichtigt. Der Wärmedurchgangsweg b kann über den Fugenbeiwert k_j in die Rechnung einbezogen werden. Werden die Fugen mit Latten oder Bekleidungstreifen gleicher Dicke hinterlegt, kann der Fugenbeiwert $k_j = 1$ gesetzt werden. Die Wärmedurchgangswege c und d gehen in die Rechnung ein, wenn in der inneren oder äußeren Bekleidung Installationsöffnungen enthalten sind. Der Wärmeübergangsweg c entfällt, wenn eine Installationsebene zur Anwendung kommt. Der Wärmedurchgangsweg d entfällt, wenn Öffnungen in der äußeren Bekleidungsanlage, u.a. im Bereich von Außenbeleuchtungen oder elektrisch gesteuerten Rollläden bzw. Jalousien durch Einhausung mit derselben Bekleidung entsprechender Dicke versehen werden.

Tabelle 3: Raumabschließende Wirkung mit Gefachdämmung aus Glaswolle (15 kg/m³) und Steinwolle (26 kg/m³)

Schicht	Dicke [mm]	Material	$t_{ins,0,i}$	k_{pos}	k_j	$t_{ins,i}$	
1	15	OSB (EN 13986)	16,5	0,84	1,0	13,9	
2	200	Glaswolle Steinwolle (EN 13162)	18,0 40,0	1,0	1,0	18,0 40,0	
3	16	MDF (EN 13986)	17,6	0,88	1,0	15,5	
						$t_{ins} =$	47,4 Min ≥ 60 Min

Wird die Kernwand mit einer Dämmdicke $d = 200$ mm ausgeführt, werden folgende nationale Klassifizierungen erreicht:

- EI 30 mit Glaswolle ($\rho = 15$ kg/m³) und
- EI 60 mit Steinwolle ($\rho = 26$ kg/m³).

Für Gefachdämmstoffe aus Holzfasern oder Zellulose sind derzeit noch spezifische Nachweise der Feuerwiderstandsfähigkeit erforderlich, u.a. allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse.

3.3. Bemessung Stahlbetonelemente

Die Bemessung kann nach DIN EN 1992-1-2 [11] in Verbindung mit dem nationalen Anhang DIN EN 1992-1-2/NA [12] durchgeführt werden. Neben den vereinfachten Berechnungsverfahren sind tabellarische Daten zu den Mindestmaßen und -achsabständen der Bauteile unter Normbrandbeanspruchung enthalten (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Mindestmaße und -achsabstände für statisch bestimmt gelagerte, einachsig und zweiachsig gespannte Stahlbeton- und Spannbetonplatten gemäß DIN 1992-1-2 (Auszug [11], Tab. 5.8)

Feuerwiderstandsklasse REI	Mindestabmessungen [mm]			
	Plattendicke h_s [mm]	Achsabstand a [mm]		
		einachsig	zweiachsig	
90	100	30	$l_y/l_x \leq 1,5$ 15*	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$ 20

Bemerkungen:

l_x, l_y – Spannweiten einer zweiachsig gespannten Platte, wobei l_y die längere Spannweite ist

a – Achsabstand, kleinster Abstand des Betonstahls oder Spannstahls von der brandbeanspruchten Bauteiloberfläche

* Normalerweise reicht die nach DIN EN 1992-1-1 erforderliche Betondeckung aus.

Bei Spannbetonplatten muss der Achsabstand gegebenenfalls nach Abs. 5.2 (5) DIN EN 1992-1-2 vergrößert werden.

Die Tabellenwerte gelten für Normalbeton mit quarz- und kalksteinhaltigen Zuschlägen gemäß DIN EN 206 [13] mit einer Rohdichte von 2000 bis 2600 kg/m³. Bei Verwendung der Mindestwerte müssen keine weiteren Nachweise zur Schub- und Torsionsbeanspruchung sowie Verankerung der Bewehrung geführt werden.

Nach DIN EN 1992-1-2, Kapitel 4.5 sind explosive Betonabplatzungen unwahrscheinlich, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Betons in den Beanspruchungsklassen X 0 und XC 1 nach DIN EN 1992-1-1 [14] Werte $2,5 < k \leq 3,0$ annimmt. Wird der Achsabstand der Bewehrung $a \geq 70$ mm ausgeführt, sollte eine Oberflächenbewehrung nach DIN EN 1992-1-2, Kapitel 4.5.2 (2) angeordnet werden.

3.4. Anschlüsse

Die Anforderungen an Anschlusssituationen ergeben sich aus den §§ 29, 31 MBO, nach denen Trennwände als raumabschließende Bauteile von Räumen und Nutzungseinheiten und Decken als tragende und raumabschließende Bauteile zwischen Geschossen im Brandfall eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen die Brandausbreitung und Standsicherheit aufweisen müssen.

Des Weiteren wird gemäß § 28 MBO gefordert, dass der Anschluss der nichttragenden Außenwandelemente derart ausgeführt werden muss, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist.

Die maßgebliche Beanspruchung tritt auf, wenn für eine Decke ein Feuerwiderstand von 90 Minuten (GKL 5) gefordert wird. Dem gegenüber steht der notwendige Feuerwiderstand der nichttragenden Außenwände von 30 Minuten.

Durch eine fiktive Verlängerung der brandschutztechnisch wirksamen Schichten der Decken wird der Anschlussbereich gebildet und die Anforderungen der Deckenkonstruktion in den Bereich der Außenwand übertragen (siehe Abbildung 4). Zur Bewertung der Anschlussdetails wurden Ergebnisse aus den Untersuchungen zu Brandweiterleitungsmechanismen in Bauteilfugen [15] herangezogen. Darin ist ein Brandbarrieremodell für Anschlussausbildungen in Abhängigkeit von bauteil- und objektbezogenen Fugen enthalten.

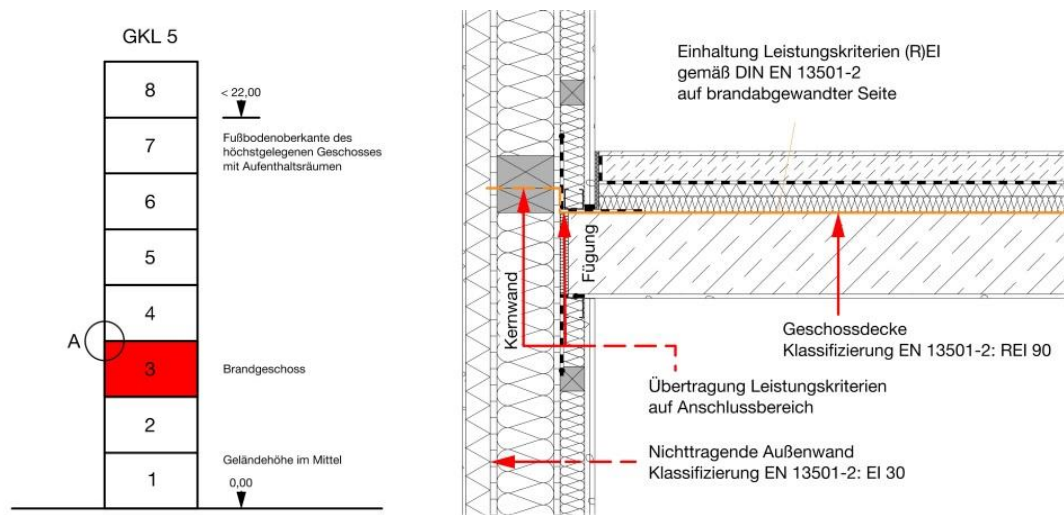


Abbildung 4: Brandschutztechnische Anforderungen im Anschlussbereich

Die Feuerwiderstandsfähigkeit der Holz- und Betonbauteile wurde mit Berechnungs- und Tabellenverfahren der Eurocodes EN 1995-1-2 und EN 1992-1-2 (siehe Kapitel 3.2 und 3.3) bestimmt. Bei den Holzbauteilen wird vereinfacht nur das Kernelement (beidseitig bekleidete Holzrahmenbauwand) ohne Fassadensystem und Installationsebene berücksichtigt.

Zur Bewertung der Anschlussdetails werden Isothermen mit einbezogen. DIN 1992-1-2, Bild A.2 enthält Temperaturprofile innerhalb einer einseitig beanspruchten Betondecke mit einer Dicke von 200 mm. Nach 90 Minuten Brandbeanspruchung von der Unterseite liegt die 300°-Isotherme in einer Tiefe $x = 54$ mm. Der Isothermenverlauf zeigt, dass bei der vorliegenden Brandbeanspruchung die auf der Betonrohdecke angeordneten Stahlwinkel noch im kalten Bereich liegen und damit eine ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit in Bezug auf die Standsicherheit der über dem Brandgeschoss befindlichen Fassadenelemente erreicht wird.

Die maßgebliche Dicke der Fassadenelemente ergibt sich aus wärmeschutztechnischen Anforderungen. In Abhängigkeit der Art und Anordnung der Dämmstoffe (siehe Abbildung 1) werden Feuerwiderstandsdauern von 30 bis 90 Minuten erreicht (vgl. Abschnitt 3.2). Die zeitabhängige Lage der 300°-Isotherme innerhalb des Kernelementes kann normativ auf Grundlage der DIN EN 1995-1-2 für einen Zeitraum von 60 Minuten oder anhand von Brandversuchen für einen Zeitraum von 90 Minuten hergeleitet werden.

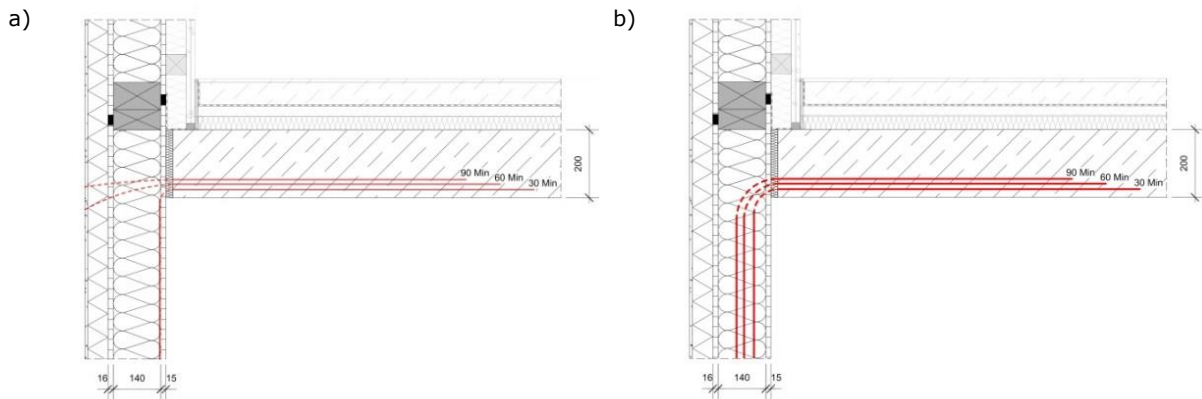


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Verlaufs der 300°-Isotherme, a) Holzrahmenbauelemente mit Glaswolle (15 kg/m^3), b) Holzrahmenbauelemente mit Steinwolle (26 kg/m^3) (Eigene Darstellung)

Für den Fall, dass die Fassadenelemente vor dem Erreichen der Feuerwiderstandsdauer der Trenndecke im Brandgeschoss versagen, muss nicht nur sichergestellt sein, dass die Kernelemente oberhalb des Brandgeschosses am Einbauort verbleiben, sondern auch der Abschnitt des brandbeanspruchten Elements im Stirnbereich der Decke. Die Lagesicherung wird durch die Verbindung der inneren und äußeren Bekleidung des Kernelementes jeweils mit dem Rähm des unteren und der Schwelle der oberen Elemente hergestellt.

Zur Sicherstellung der Rauchdichtigkeit wird die objektbezogene Fuge u.a. mit Mineralfaserdämmung aus Steinwolle (Schmelzpunkt $\geq 1000^\circ\text{C}$ gemäß DIN 4102-17 [16]) ausgebildet und beidseitig mit einer luft- bzw. rauchdichten Abklebung versehen. Bei unter- oder oberseitiger Brandbeanspruchung befindet sich immer eine Abdichtungsebene im kalten Bereich. Der Funktionserhalt der Luft- und Rauchdichtigkeit ist dadurch gewährleistet. Brandversuche aus dem Projekt „smartTES« [17] bestätigen, dass derartige Anschlusssituationen eine Feuerwiderstandsfähigkeit von 90 Minuten erreichen, d.h. die Leistungskriterien EI für die raumabschließende Wirkung werden im Anschlussbereich erfüllt.

4. Ergebnisse und Ausblick

Insgesamt konnte mithilfe des Forschungsvorhabens aufgezeigt werden, dass diese Art der Hybridbauweise - Kombination vorgefertigter nichttragender Holzfassadenelemente mit einem Stahlbetontragwerk - eine qualitativ hochwertige und energieeffiziente Lösung darstellt. In den Arbeitsgruppensitzungen, in einem Workshop Anfang des Jahres 2015 sowie bei der Abschlussveranstaltung im Juni 2016 war deutlich zu vermerken, dass Thema und Ergebnisse sowohl bei Massivbau- als auch Holzbauunternehmen von großem Interesse sind.

Aus den theoretischen und experimentellen Untersuchungen wurde ein standardisierter Katalog für die Anwendung der vorgefertigten Holzrahmen- bzw. Holztafelbauelemente als Fassadenhüllkonstruktion von Stahlbeton-Hochbauwerken erstellt. Der Konstruktionskatalog beinhaltet eine umfassende systematische Darstellung der Anwendungsmöglichkeiten und Kombinationen.

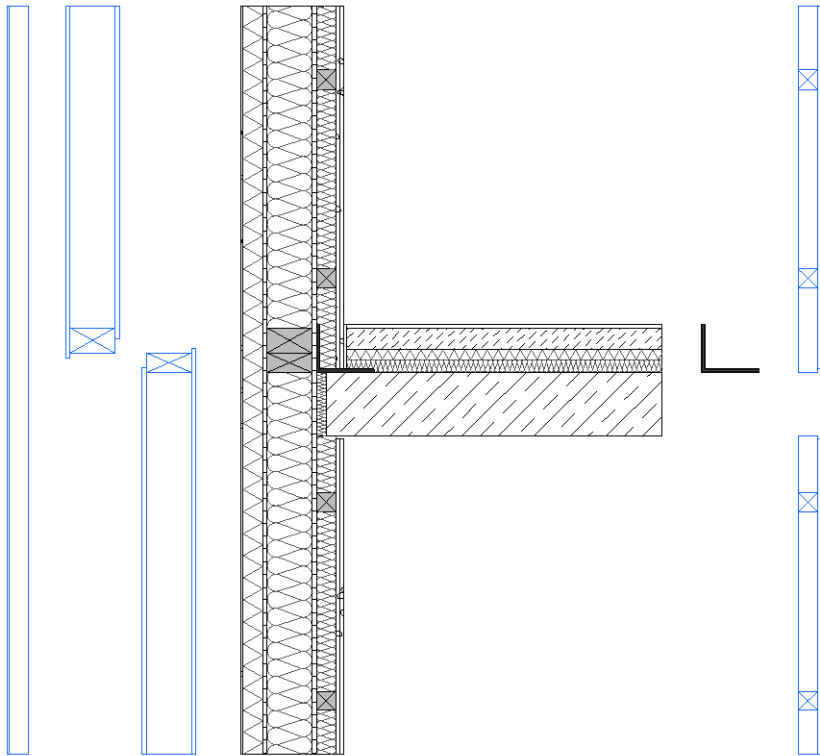


Abbildung 6: Montagefolge eines Geschossstoßes mit vorgestelltem Fassadenelement und Installationsebene (entnommen aus [18])

Die Anwendung umfasst vorrangig Standardgebäude nach Musterbauordnung (MBO), z.B. Wohn- und Bürogebäude bis zur Hochhausgrenze sowie Sonderbauten, z.B. Schulen oder Beherbergungsstätten, bei denen anhand schutzzielorientierter Betrachtungen brandschutztechnisch gleichwertige Lösungen umsetzbar sind. Die ausführliche Darstellung der Projektergebnisse kann dem Endbericht [1] entnommen werden.

Aus der Bearbeitung des Vorhabens haben sich weitere Optimierungsansätze auf Konstruktions- und Planungsebene ergeben. Auf Konstruktionsebene können weitere Überlegungen zur Schnittstelle der Holzfassadenelemente erfolgen, u.a. Anschlusssituationen von Fassadenelementen ohne Installationsebene oder auf Planungsebene die Taktung der Bauprozesse, u.a. die geschossweise Errichtung des Stahlbetontragwerks und der Holzfassadenelemente.

5. Danksagung

Für die Förderung des Projektes möchten wir uns bei der Bayerischen Bauwirtschaft bedanken. Besonderer Dank gilt der projektbegleitenden Arbeitsgruppe für das konstruktive Beitragen praxisorientierter Lösungsansätze.

Weiterhin bedanken wir uns sehr für die konstruktive Unterstützung der jeweiligen Planungsbüros aller Referenzprojekte. Besonderer Dank geht hierbei an die Planungsbüros Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH, bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, bof Architekten, Deimel Oelschläger Architekten Partnerschaft und Trapez Architektur, deren Projekte als Grundlage für die Parameterstudien dienen.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Stein, R., Schneider, P., Kleinhenz, M., Dotzler, C., Volz, C., Hessinger, J. (2016). *Fassadenelemente für Hybridbauweisen – Vorgefertigte, integrale Fassadenelemente in Holzbauweise zur Anwendung im Neubau hybrider Stahlbetonhochbauwerke*. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen & Lehrstuhl für Massivbau.

- [2] IS-ARGEBAU (2012). *Musterbauordnung – Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 21.09.2012*. Abgerufen am 20.06.2016 von <https://www.is-argebau.de/lbo/VTMB100.pdf>.
- [3] DIN 18203-3. (2008). *Toleranzen im Hochbau – Teil 3: Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [4] DIN 18202. (2013). *Toleranzen im Hochbau*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [5] DIN EN 1995-1-2. (2010). *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [6] DIN EN 1995-1-2/NA. (2010). *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [7] DIN EN 13986. (2015). *Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [8] DIN EN 520. (2009). *Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [9] DIN EN 13162. (2015). *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [10] Schleifer, V. (2009). *Zum Verhalten von raumabschließenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall*. Dissertation. Zürich: ETH Zürich.
- [11] DIN EN 1992-1-2. (2010). *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [12] DIN EN 1992-1-2/NA. (2010). *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [13] DIN EN 206 (2017). *Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [14] DIN EN 1992-1-1. (2011). *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [15] Stein, R. (2015). *Zur Bewertung beeinflussender Faktoren auf Brandweiterleitungsmechanismen in Bauteilfugen vorgefertigter Holzelemente*. Dissertation. München: Technische Universität München.
- [16] DIN 4102-17. (1990). *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 17: Schmelzpunkt von Mineralwolle-Dämmstoffen; Begriffe, Anforderungen, Prüfung*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [17] Loebus, S., Werther, N. (2014). *SmartTES – Innovation in timber construction for the modernisation of the building envelope – Book 5 Fire safety*. München: Technische Universität München, Fakultät für Architektur.
- [18] Stein, R., Dotzler, C., Schneider, P., Kleinhenz, M., Volz, C., Hessinger, J. (2016). *Konstruktionskatalog – Fassadenelemente für Hybridbauweisen*. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen & Lehrstuhl für Massivbau.