

Bemessung von brandabschnittsbildenden Bauteilen in brennbarer Bauweise

Prof. Dr. Andrea Frangi
Institut für Baustatik und Konstruktion
ETH Zürich
CH-Zürich



Bemessung von brandabschnittsbildenden Bauteilen in brennbarer Bauweise

1. Einleitung

Neben der tragenden Funktion (Kriterium R) ist im Brandfall die Einhaltung der geforderten Brandabschnitte eine wichtige Anforderung, um die Brandausbreitung im Gebäude zu verhindern. Wenn die Bildung von Brandabschnitten verlangt wird, müssen die Bauteile so bemessen und konstruiert werden, dass sie ihre raumabschliessende Funktion (Kriterium EI) während der festgesetzten Brandbeanspruchung erfüllen, d.h.:

- kein Versagen der Rauchdichtigkeit durch Risse, Löcher oder andere Öffnungen, die gross genug sind, einen Feuerdurchgang in Form von Flammen oder heissen Gasen zu erlauben (*Eigenschaft der Rauchdichtigkeit "E"*)
- kein Versagen der thermischen Isolierung durch Temperaturerhöhung auf der feuerabgewandten Seite über vereinbarte Grenzen hinaus (*Eigenschaft der thermischen Isolierung "I"*), d.h. für ISO-Normbrandbeanspruchung [6] die zulässige mittlere Temperaturerhöhung auf der feuerabgewandten Seite ist auf 140 K und die maximale Temperaturerhöhung in jedem Punkt ist auf 180 K beschränkt.

Der Nachweis der raumabschliessenden Funktion von Holzbauteilen kann experimentell durch normierte Brandversuche oder rechnerisch durch anerkannte Berechnungsverfahren durchgeführt werden. Die meisten in den Normen vorhandenen Berechnungsmodelle (darunter auch das Berechnungsmodell gemäss EN 1995-1-2 [1]) basieren auf der additiven Methode, d.h. die Zeit bis zum Verlust der raumabschliessenden Funktion des gesamten Bauteils wird durch Addition der Beiträge der einzelnen Schichten ermittelt [8]. Diese Berechnungsmodelle wurden auf Grundlage von Versuchen hergeleitet und haben damit einen begrenzten Anwendungsbereich [7]. Im Rahmen eines am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich durchgeführten Forschungsprojektes wurde ein neues Berechnungsverfahren zum Nachweis der raumabschliessenden Funktion von massiven und mehrschichtigen Holzbauteilen entwickelt [5,11]. Das Berechnungsverfahren, das in [3,9] übernommen wurde, wird im Folgenden näher erläutert.

2. Berechnungsverfahren

2.1. Grundlagen

Mehrschichtige Bauteile erreichen ihren Feuerwiderstand im Wesentlichen durch Bekleidungen und eventuell vorhandene Dämmungen. Damit die verschiedenen Bekleidungen und Dämmstoffe beliebig kombiniert werden können, basiert das entwickelte Berechnungsverfahren auf der additiven Methode. Dabei wird zwischen Schichten unterschieden, die eine „schützende“ Funktion für die dahinterliegenden Schichten übernehmen und der letzten Schicht auf der feuerabgewandten Seite des Bauteils, die eine „isolierende“ Funktion erfüllen muss (vgl. Abbildung 1). Für die letzte Schicht muss auf der feuerabgewandten Seite das Kriterium I mit dem einzuhaltenden Temperaturkriterium $\Delta T_{MW}/\Delta T_{Max} = 140/180K$ erfüllt werden. Die davorliegenden Schichten können einer Brandschutzbekleidung gleichgesetzt werden, die ihre schützende Wirkung verliert, wenn gemäss EN 13501-2 [2] das Temperaturkriterium $\Delta T_{MW}/\Delta T_{Max} = 250/270K$ auf ihrer feuerabgewandten Seite erreicht ist.

Da sich jedoch die einzelnen Schichten gegenseitig beeinflussen, hängt der Beitrag zum Feuerwiderstand der jeweiligen Schicht nicht nur von der Schichtdicke und dem Material, sondern auch von der Position der Schicht innerhalb des Bauteils ab. Zur Minimierung von Brandversuchen wurden die Einflussparameter des Berechnungsmodells auf Grundlage von thermischen FE-Simulationen berechnet. Die thermischen FE-Simulationen basieren auf den thermischen Eigenschaften der verschiedenen Materialien, die unter Berücksichtigung der thermischen Prozesse der jeweiligen Materialien an Brandversuchen kalibriert wurden [10]. Da bei FE-Berechnungen der Einfluss von Fugen nicht untersucht werden

kann, wird der Mittelwert der Temperaturerhöhung massgebend und ausgehend von der Raumtemperatur ergeben sich die Grenztemperaturen $T = 140 + 20 = 160^\circ\text{C}$ für die „isolierende“ Funktion bzw. $T = 250 + 20 = 270^\circ\text{C}$ für die „schützende“ Funktion.

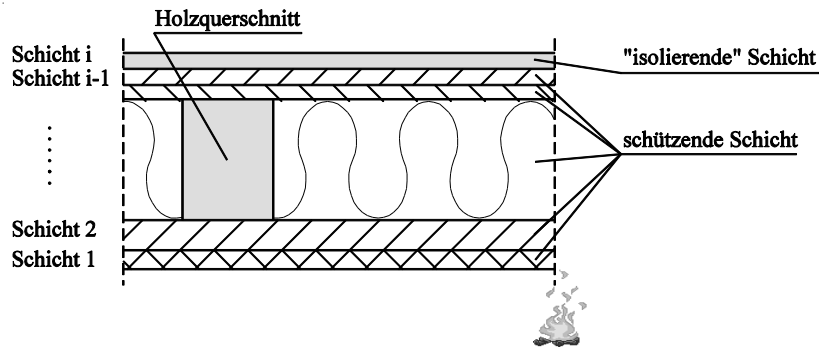


Abbildung 1: Unterschied zwischen Schichten, die eine schützende Funktion für die dahinterliegenden Schichten übernehmen und der letzten Schicht auf der feuerabgewandten Seite des Bauteils, die eine „isolierende“ Funktion erfüllen muss

Das entwickelte Berechnungsverfahren für den rechnerischen Nachweis der raumabschliessenden Funktion EI von Holzbauteilen kann für massive und zusammengesetzte mehrschichtige Holzbauteile bis zu einer Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten (EI60) verwendet werden. Es wird angenommen, dass die Anforderung bezüglich der Dichtigkeit (Kriterium E) erfüllt ist, wenn die Anforderung bezüglich der Wärmedämmung (Kriterium I) erfüllt ist. Zudem ist sicherzustellen, dass sich die Bekleidung auf der feuerabgewandten Seite nicht vor der berechneten Zeit t_{ins} von der Konstruktion ablöst. Für raumabschliessende Bauteile soll für die in Abbildung 2 dargestellten verschiedenen Wege des Wärmedurchgangs nachgewiesen werden, dass:

$$t_{\text{ins}} \geq t_{\text{req}} \quad (1)$$

Mit t_{ins} Zeit bis zum Versagen der raumabschliessenden Funktion des Holzbauteils [Min.]
 t_{req} geforderte Zeit bis zum Versagen der raumabschliessenden Funktion des Holzbauteils [Min.]

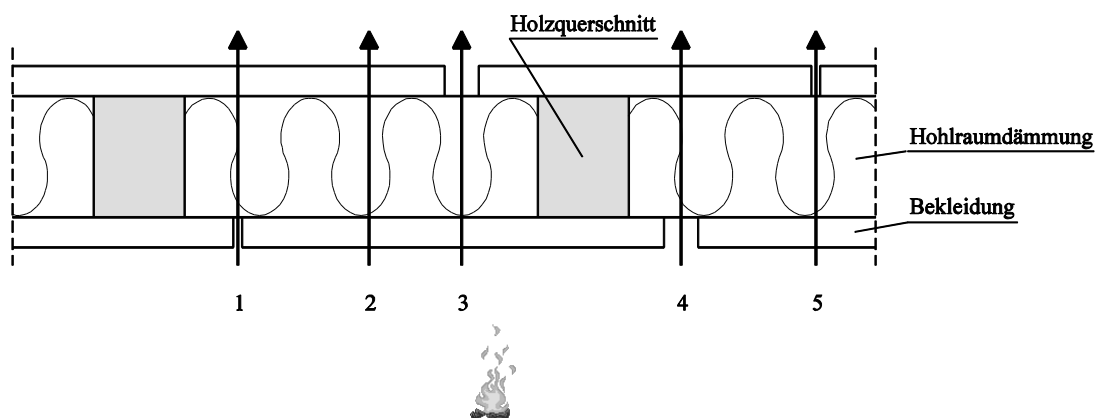


Abbildung 2: Zu untersuchende Bereiche des Wärmedurchgangs durch das Bauteil

Um die Beiträge der einzelnen Schichten zu ermitteln, wird für die schützenden Schichten jeweils eine Schutzzeit (protection time $t_{\text{prot},i}$) bestimmt und für die letzte Schicht eine Isolationszeit (insulation time $t_{\text{ins},n}$). Abbildung 3 zeigt exemplarisch einen Aufbau mit drei Massivholzplatten (MPH). Dabei entsprechen die erste und zweite Schicht den schützenden Schichten und die dritte und letzte Schicht der isolierenden Schicht. Die erste Schicht ist bei Beginn des Brandes direkt dem Feuer ausgesetzt. Daher beginnt die Schutzzeit dieser Schicht $t_{\text{prot},1}$ zum Zeitpunkt $t = 0$ Min. und endet mit dem Erreichen der Temperatur $T = 270^\circ\text{C}$ auf der feuerabgewandten Seite. Sobald die Schutzzeit der ersten Schicht erreicht ist, beginnt die Schutzzeit der zweiten Schicht $t_{\text{prot},2}$. Dabei wird angenommen, dass die erste Schicht nach dem Erreichen von 270°C auf der feuerabgewandten Seite in

den Ofen abfällt und die zweite Schicht zum Zeitpunkt $t = t_{\text{prot},1}$ direkt dem Feuer ausgesetzt wird. Die Schutzzeit der zweiten Schicht $t_{\text{prot},2}$ ist geringer als $t_{\text{prot},1}$. Der Grund dafür ist, dass beim Abfallen der ersten Schicht die Oberfläche der zweiten Schicht einer höheren Brandraumtemperatur ausgesetzt wird, während sich noch keine Holzkohleschicht gebildet hat, die der Wirkung der hohen Temperatur im Brandraum entgegenwirkt [4]. Daher ist $t_{\text{prot},2}$ geringer als $t_{\text{prot},1}$, auch wenn beide Platten das gleiche Material und die gleiche Schichtdicke aufweisen. Die Schutzzeit $t_{\text{prot},2}$ endet mit dem Erreichen der Temperatur $T = 270^\circ\text{C}$ auf der feuerabgewandten Seite zum Zeitpunkt $t = t_{\text{prot},1} + t_{\text{prot},2}$ und die Isolationszeit der dritten Schicht $t_{\text{ins},3}$ beginnt. Die Isolationszeit der dritten Schicht $t_{\text{ins},3}$ endet mit dem Erreichen der Temperatur $T = 160^\circ\text{C}$ auf der feuerabgewandten Seite. Zu diesem Zeitpunkt $t = t_{\text{prot},1} + t_{\text{prot},2} + t_{\text{ins},3}$ verliert der in Abbildung 3 dargestellte Aufbau seine raumabschliessende Funktion.

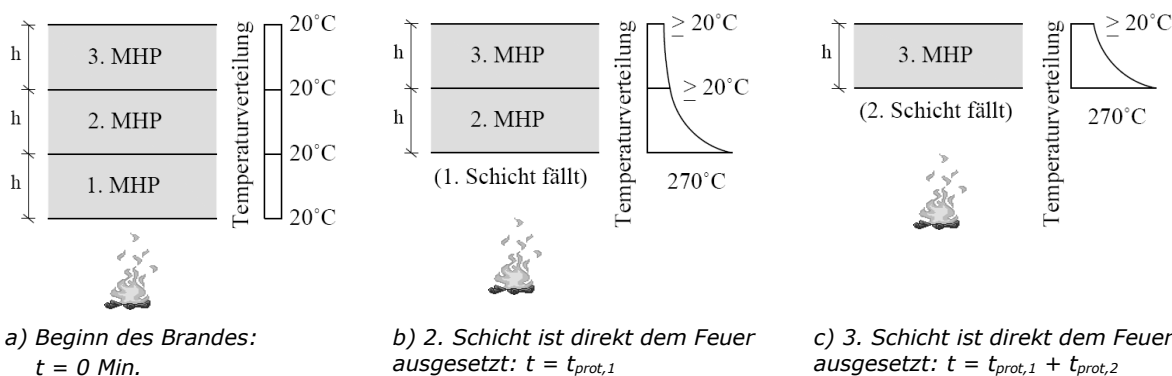


Abbildung 3: Vorgehensweise zur Ermittlung der Beiträge der einzelnen Schichten (MHP: Massivholzplatten)

Die Zeit t_{ins} bis zum Verlust der raumabschliessenden Funktion von Holzbauteilen ergibt sich somit zu:

$$t_{\text{ins}} = \sum_{i=1}^{i=n-1} t_{\text{prot},i} + t_{\text{ins},n} \quad (2)$$

Der Einfluss der Position einer Schicht im Bauteil bzw. der Fugenausbildung wird im Berechnungsmodell anhand eines Positionsbeiwertes bzw. Fugenbeiwertes berücksichtigt. Damit kann die Schutz- bzw. Isolationszeit mit Hilfe der Grundzeit $t_{0,i}$, dem Positionsbeiwert k_{pos} und dem Fugenbeiwert k_j wie folgt berechnet werden:

$$t_{\text{prot},i} = (t_{\text{prot},0,i} \cdot k_{\text{pos,exp},i} \cdot k_{\text{pos,unexp},i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i} \quad (3)$$

$$t_{\text{ins},n} = (t_{\text{ins},0,n} \cdot k_{\text{pos,exp},n} + \Delta t_n) \cdot k_{j,n} \quad (4)$$

Mit

- $t_{\text{prot},0,i}$ Grundschutzzeit der untersuchten „schützenden“ Schicht (vgl. Abb. 1)
- $t_{\text{ins},0,n}$ Grundisolationszeit der letzten „isolierenden“ Schicht (vgl. Abb. 1)
- Δt Zeitkorrektur für Schichten die durch Gipsplatten Typ F oder Gipsfaserplatten geschützt werden
- $k_{\text{pos,exp}}$ Positionsbeiwert resultierend aus den davorliegenden Schichten
- $k_{\text{pos,unexp}}$ Positionsbeiwert resultierend aus der dahinterliegenden Schicht
- k_j Fugenbeiwert

2.2. Grundschutzzeit und Grundisolationszeit

Die Grundzeit $t_{0,i}$ beschreibt das Brandverhalten einer Schicht ohne den Einfluss von angrenzenden Schichten. Da die Schutzzeit bzw. die Isolationszeit unterschiedliche Temperaturkriterien erfüllen müssen (vgl. Abbildung 4) wird zwischen der Grundschutzzeit $t_{\text{prot},0,i}$ und der Grundisolationszeit $t_{\text{ins},0,n}$ unterschieden. Die Grundschutzzeit wird gemäss EN 13501-2 bestimmt, indem die untersuchte Schicht direkt beflammt und mit einer 19 mm dicken Spanplatte hinterlegt ist. Wenn zwischen der untersuchten Schicht und der Spanplatte die Temperatur 270°C erreicht wird, ist die Grundschutzzeit erreicht. Bei der Bestimmung der Grundisolationszeit entfällt die dahinterliegende Spanplatte und das Temperaturkriterium $T = 160^\circ\text{C}$ wird angenommen.

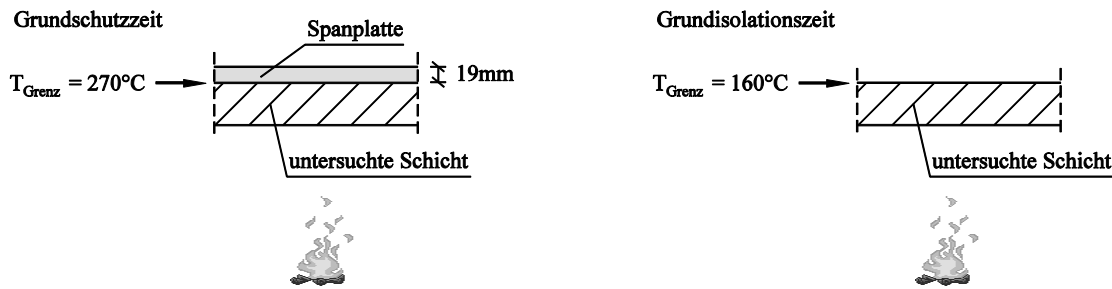


Abbildung 4: Temperaturkriterien zur Bestimmung von Grundschutz- bzw. Grundisulationszeit

Die durchgeführten experimentellen und numerischen Untersuchungen zeigten, dass das Brandverhalten von Plattenwerkstoffen im Wesentlichen von der Schichtdicke und dem untersuchten Material abhängig ist. Daher wurden für die verschiedenen untersuchten Plattenwerkstoffe Gleichungen zur Bestimmung der Grundschutzzeit $t_{\text{prot},0,i}$ bzw. der Grundisulationszeit $t_{\text{ins},0,n}$ in Abhängigkeit der Dicke abgeleitet (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Grundschutzzeit bzw. Grundisulationszeit

Material	Grundschutzzeit $t_{\text{prot},0,i}$ [min]	Grundisulationszeit $t_{\text{ins},0,n}$ [min]
Gipsplatte Gipsfaserplatte	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1.2}$	$24 \cdot \left(\frac{h_n}{15}\right)^{1.4}$
Massivholzplatte Massivholzschalung	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1.1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$	$19 \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1.4}$
Spanplatte Faserplatte	$33 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1.1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$	$22 \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1.4}$
OSB-Platte Furniersperrholz Furnierschichtholz	$23 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1.1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$	$16 \cdot \left(\frac{h_n}{20}\right)^{1.4}$
Mineralwolle mit $\rho \geq 26 \text{ kg/m}^3$ und Schmelzpunkt $\geq 1000^\circ\text{C}$	$0.3 \cdot h_i^{(0.75 \cdot \log(\rho) - \rho/400)}$	0
Mineralwolle mit $\rho \geq 15 \text{ kg/m}^3$ und Schmelzpunkt $< 1000^\circ\text{C}$	für $h_i < 40 \text{ mm}$: 0 für $h_i \geq 40 \text{ mm}$: $(0.0007 \cdot \rho_i + 0.046) \cdot h_i + 13 \leq 30$	0

Mit h_i Dicke der untersuchten Schicht [mm]
 ρ_i Rohdichte der untersuchten Schicht [kg/m^3]
 β_0 Eindimensionale Abbrandrate gemäss EN 1995-1-2 ($\beta_0 = 0.65 \text{ mm/min}$)

2.3. Positionsbeiwerte

Der Positionsbeiwert berücksichtigt den Einfluss von angrenzenden Schichten auf die untersuchte Schicht. Damit eine beliebige Kombination der Schichten im Holzbauteil möglich ist, wird zwischen dem Einfluss der davorliegenden Schichten und der Einfluss der dahinterliegenden Schicht unterschieden. Der Einfluss der davorliegenden Schichten wird im Berechnungsmodell mit dem Positionsbeiwert $k_{\text{pos,exp}}$ (exp – exposed to fire) und der Einfluss der dahinterliegenden Schicht wird mit dem Positionsbeiwert $k_{\text{pos,unexp}}$ (unexp – unexposed to fire) berücksichtigt.

Anhand von FE-Berechnungen konnte festgestellt werden, dass der Positionsbeiwert $k_{\text{pos,exp}}$ im Wesentlichen davon abhängt, ab welcher Zeit die untersuchte Schicht dem Feuer direkt ausgesetzt wird. Zudem ist der Positionsbeiwert $k_{\text{pos,exp}}$ abhängig von dem Material und der Schichtdicke der untersuchten Schicht. Diese Eigenschaften der untersuchten Schicht sind bereits in der Grundzeit berücksichtigt. Daher war es möglich für alle untersuchten Materialien den Positionsbeiwert $k_{\text{pos,exp}}$ in Abhängigkeit der Summe der Schutzzeiten der davorliegenden Schichten $\Sigma t_{\text{prot},i-1}$ und der Grundzeit $t_{0,i}$ abzuleiten (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$

Material	Positionsbeiwert $k_{pos,exp,i}$ und $k_{pos,exp,n}$
Gipsplatte Gipsfaserplatte Massivholzplatte Massivholzschalung Spanplatte Faserplatte OSB-Platte Furniersperrholz Furnierschichtholz	$k_{pos,exp,n}$ für $t_{ins,n}$
	$1 - 0.6 \cdot \frac{\sum t_{prot,n-1}}{t_{ins,0,n}}$ für $\sum t_{prot,n-1} \leq \frac{t_{ins,0,n}}{2}$
	$0.5 \cdot \sqrt{\frac{t_{ins,0,n}}{\sum t_{prot,n-1}}}$ für $\sum t_{prot,n-1} > \frac{t_{ins,0,n}}{2}$
	$k_{pos,exp,i}$ für $t_{prot,i}$
Mineralwolle mit $\rho \geq 26 \text{ kg/m}^3$ und Schmelzpunkt $\geq 1000^\circ\text{C}$	$k_{pos,exp,i}$ für $t_{prot,i}$
	$1 - 0.6 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$ für $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
	$0.5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$ für $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
	$k_{pos,exp,i}$ für $t_{prot,i}$
Mineralwolle mit $\rho \geq 15 \text{ kg/m}^3$, Schmelzpunkt $< 1000^\circ\text{C}$ und $h_i \geq 40 \text{ mm}$	$k_{pos,exp,i}$ für $t_{prot,i}$
	$1 - 0.8 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$ für $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{4}$
	$(0.001 \cdot \rho_i + 0.27) \cdot \left[\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}} \right]^{(0.75 - 0.002 \cdot \rho_i)}$ für $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{4}$

Mit h_i Dicke der untersuchten Schicht [mm]
 ρ_i Rohdichte der untersuchten Schicht [kg/m³]

Der Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ berücksichtigt den Einfluss der dahinterliegenden Schicht auf die untersuchte Schicht. Die Resultate der durchgeführten Brandversuche zeigten, dass im Vergleich mit einer dahinterliegenden Spanplatte, dahinterliegende Gipsplatten einen positiven und dahinterliegende Dämmungen einen negativen Einfluss auf die untersuchte Schicht haben [10]. Der positive Einfluss der Gipsplatten ist gering und wurde daher näherungsweise im Berechnungsmodell vernachlässigt. Die Reduktion der Schutzzeit von Schichten mit dahinterliegenden Dämmstoffen wird mit dem Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ berücksichtigt (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Positionsbeiwert $k_{\text{pos,unexp}}$

Material	$k_{\text{pos,unexp}}$ für Schichten mit dahinterliegender Bekleidung	$k_{\text{pos,unexp}}$ für Schichten mit dahinterliegendem Dämmmaterial
Gipsplatte Gipsfaserplatte	1.0	$0.5 \cdot h_i^{0.15}$
Massivholzplatte Massivholzschalung		$0.35 \cdot h_i^{0.21}$
Spanplatte Faserplatte		$0.41 \cdot h_i^{0.18}$
OSB-Platte Furniersperrholz Furnierschichtholz		$0.5 \cdot h_i^{0.15}$
Mineralwolle mit $\rho \geq 26 \text{ kg/m}^3$ und Schmelzpunkt $\geq 1000^\circ\text{C}$		$0.18 \cdot h_i^{0.001 \cdot \rho_i + 0.08}$
Mineralwolle mit $\rho \geq 15 \text{ kg/m}^3$ und Schmelzpunkt $< 1000^\circ\text{C}$		$0.01 \cdot h_i - \frac{h_i^2}{30000} + \rho_i^{0.09} - 1.3$

Mit h_i Dicke der untersuchten Schicht [mm]
 ρ_i Rohdichte der untersuchten Schicht [kg/m^3]

2.4. Zeitdifferenz Δt

Gipsplatten Typ F und Gipsfaserplatten fallen im Brandfall später von der Konstruktion ab als Gipsplatten Typ A und H. Dadurch werden dahinterliegende Schichten länger vor der direkten Brandeinwirkung geschützt. Der günstige Einfluss der Gipsplatten wird mit der Zeitdifferenz Δt berücksichtigt. Für Schichten, die direkt durch Gipsplatten Typ F oder Gipsfaserplatten vor der Brandeinwirkung geschützt werden, wird die Schutzzeit bzw. die Isolationszeit durch die Zeitdifferenz Δt gemäss Tabelle 4 erhöht. Für alle anderen Schichten ist $\Delta t = 0$.

Tabelle 4: Zeitdifferenz Δt für durch Gipsplatten Typ F oder Gipsfaserplatten geschützte Schichten

Material	Δt für Deckenkonstruktionen [min]	Δt für Wandkonstruktionen [min]
Gipsplatte Gipsfaserplatte Massivholzplatte Massivholzschalung Spanplatte Faserplatte OSB-Platte Furniersperrholz Furnierschichtholz	Δt_n für $t_{\text{ins},n}$ [min]	
	$0.06 \cdot t_{\text{prot},n-1} + 1.1 \cdot t_{\text{ins},0,n} - 5$ für $t_{\text{ins},0,n} < 8 \text{ min}$	$0.03 \cdot t_{\text{prot},n-1} + 0.9 \cdot t_{\text{ins},0,n} - 2.3$ für $t_{\text{ins},0,n} < 12 \text{ min}$
	$0.1 \cdot t_{\text{prot},n-1} - 0.035 \cdot t_{\text{ins},0,n} + 1.2$ für $t_{\text{ins},0,n} \geq 8 \text{ min}$	$0.22 \cdot t_{\text{prot},n-1} - 0.1 \cdot t_{\text{ins},0,n} + 4.7$ für $t_{\text{ins},0,n} \geq 12 \text{ min}$
	Δt_i für $t_{\text{prot},i}$ [min]	
	$0.06 \cdot t_{\text{prot},i-1} + 1.1 \cdot t_{\text{prot},0,i} - 5$ für $t_{\text{prot},0,i} < 8 \text{ min}$	$0.03 \cdot t_{\text{prot},i-1} + 0.9 \cdot t_{\text{prot},0,i} - 2.3$ für $t_{\text{prot},0,i} < 12 \text{ min}$
	$0.1 \cdot t_{\text{prot},i-1} - 0.035 \cdot t_{\text{prot},0,i} + 1.2$ für $t_{\text{prot},0,i} \geq 8 \text{ min}$	$0.22 \cdot t_{\text{prot},i-1} - 0.1 \cdot t_{\text{prot},0,i} + 4.7$ für $t_{\text{prot},0,i} \geq 12 \text{ min}$
Mineralwolle	Δt_i für $t_{\text{prot},i}$ [min]	
	$0.1 \cdot t_{\text{prot},i-1} - 0.035 \cdot t_{\text{prot},0,i}$	$0.1 \cdot t_{\text{prot},i-1} + t_{\text{prot},0,i} - 1.0$ für $t_{\text{prot},0,i} < 6 \text{ min}$ $0.22 \cdot t_{\text{prot},i-1} - 0.1 \cdot t_{\text{prot},0,i} + 3.5$ für $t_{\text{prot},0,i} \geq 6 \text{ min}$

2.5. Fugenbeiwert

Aus den durchgeführten Brandversuchen konnte festgestellt werden, dass hinterlegte Fugen geringer als 2mm einen sehr geringen Einfluss haben. Im Berechnungsmodell wird vereinfacht der Einfluss von Fugen nur für die letzte Schicht n des Bauteils sowie für Schichten mit dahinterliegendem nicht gefülltem Hohlraum mit dem Fugenbeiwert k_j gemäss Tabelle 5 berücksichtigt. Der Bestimmung der Fugenbeiwerte wurden die Angaben gemäss EN 1995-1-2 zugrunde gelegt. Für Schichten ohne Fugen sowie für hinterlegte Schichten kann der Fugenbeiwert zu $k_j = 1.0$ angenommen werden.

Tabelle 5: Fugenbeiwert

Material	Fugentyp	$k_{j,n}$ für $t_{ins,n}$	$k_{j,i}$ für $t_{prot,i}$	
			Schichten mit dahinterliegendem nicht gefülltem Hohlraum	Schichten hinterlegt durch andere Schichten
Massivholzplatte Massivholzschalung Spanplatte Faserplatte OSB-Platte Furniersperrholz Furnierschichtholz		0.3	0.3	1.0
		0.4	0.4	1.0
		0.6	0.6	1.0
	keine Fuge	1.0	1.0	1.0
Gipsplatte Gipsfaserplatte		0.8	0.8	1.0
Mineralwolle	keine Fuge	-	0.8	1.0
		-	1.0	1.0

2.6. Hohlraumkonstruktionen

Der Einfluss von Hohlräumen in Holzrahmenkonstruktionen können gemäss Tabelle 6 berücksichtigt werden, wenn sie eine Dicke von mindestens 40 mm aufweisen. Hohlräume mit einer Dicke geringer als 40mm dürfen vernachlässigt werden.

Tabelle 6: Modifizierte Beiwerte für die Berücksichtigung von Hohlräumen in Holzrahmenkonstruktionen

Material	Schicht auf der feuerzugewandten Seite des Hohlraums	Schicht auf der feuerabgewandten Seite des Hohlraums	
Gipsplatte Gipsfaserplatte Massivholzplatte Massivholzschalung Spanplatte Faserplatte OSB-Platte Furniersperrholz Furnierschichtholz	$k_{pos,unexp}$ gemäss Tabelle 3, Spalte 3	$1.6 * k_{pos,exp}$ gemäss Tabelle 2	$3 * \Delta t$ gemäss Tabelle 4
Mineralwolle	$k_{pos,unexp} = 1.0$		Δt gemäss Tabelle 4

3. Zusammenfassung

Ein neues Berechnungsmodell zum Nachweis der raumabschliessenden Funktion von Holzbauteilen wurde aufgrund umfassender numerischer und experimentaler Untersuchungen entwickelt. Das Berechnungsmodell basiert auf der additiven Methode gemäss EN 1995-1-2 und wurde in [3,9] übernommen. Mit dem Berechnungsmodell können massive bzw. beliebig aufgebaute zusammengesetzte Holzbauteile (mit oder ohne Hohlraumdämmung) bis zu einer Feuerwiderstanddauer von 60 Minuten (EI60) nachgewiesen werden.

4. Literatur

- [1] EN 1995-1-2 (Eurocode 5): Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, CEN Brüssel, 2004.
- [2] EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahmen von Lüftungsanlagen, CEN Brüssel, 2003.
- [3] European Project FireInTimber: Fire safety in timber buildings - Technical guideline for Europe, SP-Report 2010:19, Stockholm, 2010.
- [4] Frangi A., Erchinger C., Fontana M.: Charring model for timber frame floor assemblies with void cavities, *Fire Safety Journal* 2008; 43: 551–564.
- [5] Frangi A., Schleifer V., Fontana M.: Design model for the verification of the separating function of light timber frame assemblies, *Engineering Structures* 2010; 32: 1184–1195.
- [6] ISO 834: Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction - Part 1: General Requirements International Organisation for Standardisation, 1999.
- [7] König J., Oksanen T., Towler K.: A review of component additive methods used for the determination of fire resistance of separating light timber frame construction, Paper CIB-W18/33-16-2, Proceedings of 33th CIB-W18 Meeting, Delft, Netherlands, 2000.
- [8] König J.: Structural fire design according to Eurocode 5 - Design rules and their background, *Fire and Materials* 2005; 29:147–163.
- [9] Lignum-Dokumentation Brandschutz 3.1: Feuerwiderstandsbemessung Bauteile und Verbindungen, Lignum, Zürich, 2011.
- [10] Schleifer V., Frangi A., Fontana M.: Experimentelle Untersuchungen zum Brandverhalten von Plattenelementen, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, IBK Bericht Nr. 302, 2007.
- [11] Schleifer V.: Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbautteilen im Brandfall, Dissertation Nr. 18156, ETH Zürich, 2009.