

# Bemessung von Holzbauteilen im Brandfall gemäß ÖNORM EN 1995-1-2

Teibinger, M.; Charwat-Pessler, J.; Matzinger, I.;

Die ÖNORM EN 1995-1-2 [3] ermöglicht die Bemessung von Holzbauteilen und Holzbaukonstruktionen bei Brandbeanspruchung unter Einheitstemperatur. Der vorliegende Beitrag zeigt die Anwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse aktueller Forschungsprojekte [12,13,14,15], die eine Weiterentwicklung der Bemessungsverfahren der Norm für die Dimensionierung von Holzbauteilen ermöglichen.

## 1 Abbrandraten

Die ÖNORM EN 1995-1-2 unterscheidet im Gegensatz zu den Abbrandraten der ÖNORM B 3800-4 [4] zwischen dem Bemessungswert der eindimensionalen Abbrandrate  $\beta_0$  und der ideellen Abbrandrate  $\beta_n$ . Bei einem einseitigen Abbrand, wie beispielsweise bei einer Massivholzdecke wird  $\beta_0$  herangezogen. Bei Balken bzw. Stützen wird durch die Verwendung von  $\beta_n$  die Abbrandrate erhöht und somit werden Effekte der Eckausrundungen bzw. Einflüsse von Rissen berücksichtigt. Bei Holzwerkstoffen gelten die angeführten Abbrandraten für eine charakteristische Rohdichte von  $450 \text{ kg/m}^3$  und eine Plattendicke von 20 mm. Für Werkstoffe mit abweichenden Rohdichten bzw. dünneren Platten können die Werte umgerechnet werden.

**Tabelle 1: Bemessungswerte der Abbrandraten  $\beta_0$  und  $\beta_n$  gemäß [3]**

Material	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
<b>a) Nadelholz und Buche</b>		
Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Vollholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
<b>b) Laubholz</b>		
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
<b>c) Furnierschichtholz</b> mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
<b>d) Platten</b>		
Holzbekleidungen	0,9 <sup>a</sup>	–
Sperrholz	1,0 <sup>a</sup>	–
Holzwerkstoffplatten außer Sperrholz	0,9 <sup>a</sup>	–
a Die Werte gelten für eine charakteristische Rohdichte von $450 \text{ kg/m}^3$ und eine Werkstoffdicke von 20 mm, für andere Werkstoffdicken und Rohdichten, siehe 3.4.2 (9)		

## 2 Brandschutzbekleidungen

Bei Oberflächen von anfänglich vor Brandeinwirkung geschützten Balken und Stützen sind der Beginn des Abbrandes hinter der Beplankung  $t_{ch}$  und die Versagenszeit der Beplankung  $t_f$  entscheidend. Bei Holzwerkstoffplatten und Gipsplatten Typ A und H (GKB) gemäß ÖNORM EN 520 [5] (GKB) wird die Versagenszeit mit dem Beginn des Abbrandes der Holzkonstruktion gleichgesetzt. Die Norm führt für die einzelnen Brandschutzbekleidungen Formeln zur Berechnung von  $t_{ch}$  an. Nach dem Beginn des Abbrandes und dem laut Norm gleichgesetzten Abfall der Beplankung erfolgt aufgrund der noch nicht ausgebildeten Holzkohleschicht bis zu dem Zeitpunkt  $t_a$  ein erhöhter (lt. Norm doppelt so hoher) Abbrand. Nach einer Abbrandtiefe von 25 mm stellt sich wieder die gewöhnliche Abbrandrate ein, siehe Abbildung 1. Bei Gipsplatten Typ F gemäß ÖNORM EN 520 [5] (GKF) erfolgt ab dem Beginn des Abbrandes bis zum Versagen der Brandschutzbekleidung ein verminderter Abbrand anschließend bis zur Ausbildung der 25 mm dicken Kohleschicht ein verdoppelter und anschließend ein konstanter Abbrand, siehe Abbildung 2. Für die Versagenszeitpunkte von GKF-Platten liegen aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften und der Abhängigkeit der Befestigung keine Berechnungsmodelle vor. Die Werte sind aus Prüfungen nachzuweisen. Für den Planer bedeutet dies entweder die Konstruktionen zu prüfen oder auf die konservativeren Annahmen für GKB-Platten zurückzugreifen.

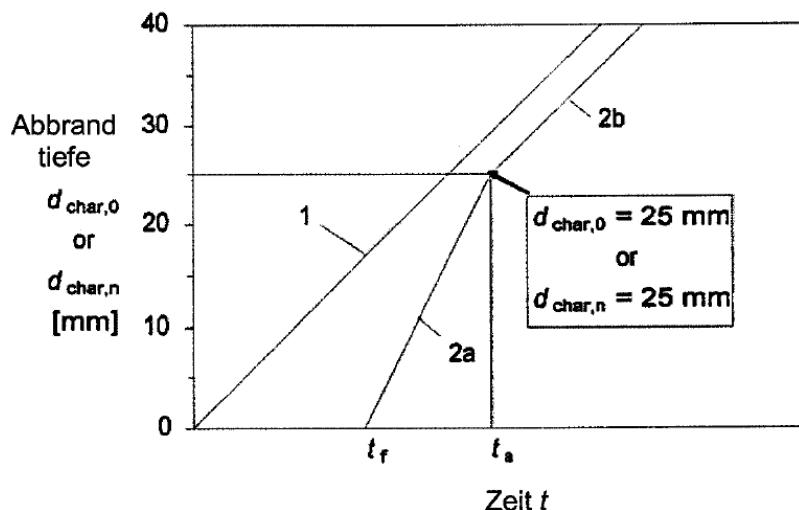
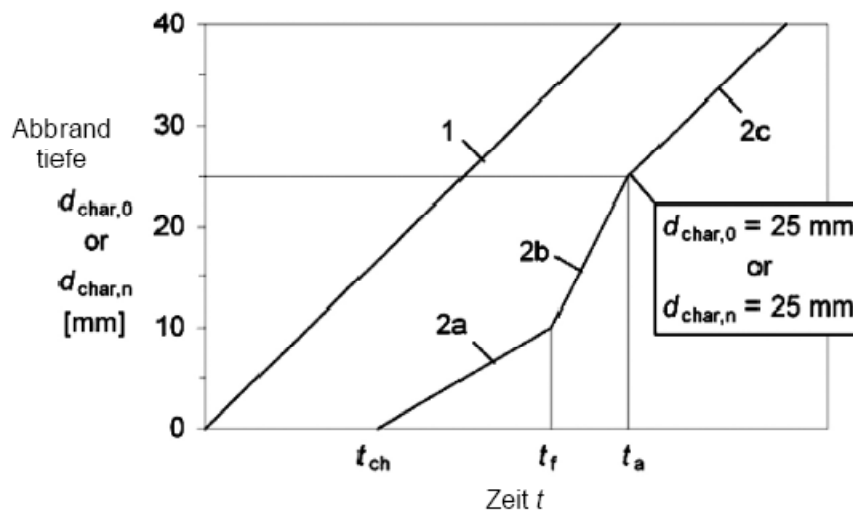


Abbildung 1: Darstellung der Abbrandtiefe in Abhängigkeit der Zeit für  $t_f = t_{ch}$  gemäß [3] für mit Holzwerkstoffplatten bzw. Gipsplatten Typ A oder H gemäß EN 520 beplankten Hölzern



**Abbildung 2: Darstellung der Abbrandtiefe in Abhängigkeit der Zeit für  $t_f > t_{ch}$  gemäß [3] für mit Gipsplatten Typ F beplankten Hölzern**

Für die Bemessung der mechanischen Eigenschaften bietet ÖNORM EN 1995-1-2 zwei Möglichkeiten zur Auswahl. Die Methode mit reduziertem Querschnitt und die Methode der reduzierten Eigenschaften. In Österreich wurde in den nationalen Festlegungen in ÖNORM B 1995-1-2 [6] die Methode mit reduziertem Querschnitt als Nachweisverfahren festgelegt. Dabei wird der wirksame Restholzquerschnitt durch die Reduzierung des entsprechend der Abbrandrate bestimmten ideellen Restquerschnittes um bis zu 7 mm ermittelt. Es wird dabei angenommen, dass in dieser Grenzschicht keine Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften vorliegen, während für den wirksamen Restholzquerschnitt unverminderte Eigenschaften angenommen werden.

Im Folgenden befinden sich Rechenbeispiele, die zu einem besseren Verständnis beitragen sollen. Bei den Beispielen wurde eine beliebige Last gewählt, die nicht in Übereinstimmung mit EN 1990 und den vorgegebenen Lastkombinationen erfolgte. Für Lastannahmen, die nach Norm getroffen werden, wird in ÖNORM EN 1995-1-2 ein Abminderungsfaktor eingeführt, da es als unwahrscheinlich angenommen wird, dass alle ungünstigen Bedingungen in einem Brandfall gleichzeitig zutreffen. Dieser Abminderungsfaktor fließt in den Berechnungen bzw. bei der Lastannahme nicht ein.

Die nachfolgenden Berechnungsbeispiele wurden nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt. Es bestehen keinerlei Haftungsansprüche.

### 3 Beispiel zur Dimensionierung der Tragfähigkeit (R) einer Holzstütze

#### 3.1 Holzstütze ohne Brandbekleidung

Zur Bestimmung von Querschnittswerten werden in ÖNORM EN 1995-1-2 grundsätzlich zwei Möglichkeiten angeboten. Eine Methode berücksichtigt die Festigkeits- und Steifigkeitsverluste im äußeren Bereich des Holzes mit Hilfe eines reduzierten Querschnittes, die andere Methode arbeitet mit reduzierten Eigenschaften. In den nationalen Festlegungen der ÖNORM B 1995-1-2 [6] wurde die Methode mit reduziertem Querschnitt festgelegt.

<b>Angaben</b>	Stütze 160 x 160 mm
<b>Konstruktionsholz</b>	C24
<b>Länge</b>	2,5 m
<b>Lastannahme</b>	50 kN
<b>Bemessung</b>	R 30

#### Reduzierter Querschnitt

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (4.1)$$

$$k_0 = 1 \quad \text{Tabelle 4.1}$$

$$d_0 = 7$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (3.2)$$

$$t = 30 \text{ min}$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Tabelle 3.1}$$

$$d_{char,n} = 24 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 31 \text{ mm}$$

#### Restholzquerschnitt

$$A = 25600 \text{ mm}^2$$

$$A_{res} = 9604 \text{ mm}^2$$

Es wird in diesem Fall von einem vierseitigen Abbrand ausgegangen, daher wird der Querschnitt dementsprechend nach allen Seiten reduziert.

## Materialeigenschaften

$f_{d,fi} = k_{mod} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$	(2.1)
$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$	(2.4)
$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$	ÖNORM EN 338
$k_{fi} = 1,25$	Tabelle 2.1
$k_{mod} = 1$	4.2.2 (5)
$\gamma_M = 1$	2.3 (Anmerkung 2)
$f_{d,fi} = 26,25 \text{ N/mm}^2$	
$S_{d,fi} = k_{mod} \frac{S_{20}}{\gamma_M}$	(2.2)
$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05}$	(2.5)
$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$	
$k_{fi} = 1,25$	Tabelle 2.1
$k_{mod} = 1$	4.2.2 (5)
$\gamma_M = 1$	2.3 (Anmerkung 2)
$E_{d,fi} = 9250 \text{ N/mm}^2$	ÖNORM EN 338

In ÖNORM EN 1995-1-2 wird das 5%-Fraktile einer Steifigkeitseigenschaft mit der Abkürzung  $S_{05}$  angegeben, in ÖNORM EN 338 wird der E-Modul, der eine Steifigkeitseigenschaft ist, mit  $E_{0,05}$  gekennzeichnet.

## Nachweis Druckspannung (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$\sigma_{d,fi} = 5,21 \text{ N/mm}^2$	
$f_{d,fi} = 26,25 \text{ N/mm}^2$	
$\frac{\sigma_{d,fi}}{f_{d,fi}} \leq 1$	(6.2)
$0,19 \leq 1$	<b>Nachweis erbracht</b>

## Stabilitätsnachweis (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$$\lambda = \beta \cdot L \sqrt{\frac{A}{I}}$$

$$\beta = 1$$

... Eulerfall 2

$$L = 2500 \text{ mm}$$

... Knicklänge

$$A = 9604 \text{ mm}^2$$

... Fläche

$$I = \frac{bh^3}{12} = 7686401,33 \text{ mm}^4$$

... axiales Flächenträgheitsmoment

$$\lambda = 88,37$$

... Schlankheitsgrad

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad (6.21)$$

$$f_{d,fi} = 26,25 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 9250 \text{ kN/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = 1,5$$

... bezogener Schlankheitsgrad

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (6.27)$$

$$\beta_c = 0,2 \quad (6.29)$$

$$k_y = 1,74 \quad \dots \text{ Knickbeiwert}$$

$$k_{c,y} = 0,38 \quad \dots \text{ Knickbeiwert}$$

$$\sigma_{d,fi} = 5,21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{d,fi} = 26,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{d,fi}}{k_{c,y} \cdot f_{d,fi}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$0,52 \leq 1$$

**Nachweis erbracht**

Sofern der ideale Restholzquerschnitt mit der Methode des reduzierten Querschnittes ermittelt wird, sollte gemäß ÖNORM EN 1995-1-2 für den Wert  $k_{mod}$  in der Regel der globale Wert 1 angesetzt werden (siehe 4.2.2(5)). Für den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,fi}$  für Materialeigenschaften wird in der ÖNORM EN 1995-1-2 der globale Wert 1 empfohlen.

### 3.2 Holzstütze mit Brandschutzbekleidung (GKB)

<b>Angaben</b>	Stütze 160 x 160 mm
<b>Konstruktionsholz</b>	C24
<b>Bekleidung</b>	GKB 12,5 mm
<b>Verbindungsmittel</b>	40 mm Kammnägel
<b>Länge</b>	2,5 m
<b>Lastannahme</b>	50 kN
<b>Bemessung</b>	R 45

#### Beginn Abbrand

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (3.11)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ch} = 21 \text{ min}$$

#### Abfall Beplankung

$$t_{ch} = t_f \quad (3.15)$$

$$t_f = 21 \text{ min}$$

#### Versagen des Verbindungsmittels

$$t_{f,req} = h_p + d_{char,0} + l_a \quad (3.16)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm} \quad \dots \text{ Plattendicke}$$

$$d_{char,0} = 0 \text{ mm}$$

$$l_a = 10 \text{ min} \quad \dots \text{ Mindestverankerungslänge}$$

$$t_{f,req} = 22,5 \text{ min} \quad \dots \text{ geforderte Verbindungsmittellänge}$$

Allgemein soll das Versagen einer Beplankung nicht nur auf thermisches Versagen sondern auch auf Versagen infolge Herausziehens von Verbindungsmittel überprüft werden. ÖNORM EN 1995-1-2 bietet eine Möglichkeit zur Berechnung der Mindestlänge eines Verbindungsmittels.

Da das Versagen der Beplankung in diesem Fall mit dem Beginn des Abbrandes am Steher gleich zu setzen ist ( $t_f = t_{ch}$ ), hat am Steher rechnerisch noch keine Verkohlung stattgefunden. Aus diesem Grund ist  $d_{char,0}$  zu diesem Zeitpunkt ( $t_f$ ) gleich null.

### Zeitlimit $t_a$ für $t_{ch} = t_f$

$$t_a = \min \left\{ \begin{array}{l} 2t_f \\ \frac{25}{k_3\beta_n} + t_f \end{array} \right. \quad (3.8)$$

$$t_a = 36,63 \text{ min}$$

### Abbrandraten

$$\beta_{n,2a} = \beta_n \cdot k_3$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Tabelle 3.1}$$

$$k_3 = 2 \quad \text{3.4.3.2.(4)}$$

$$\beta_{n,2a} = 1,6 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{n,2b} = \beta_n = 0,8 \text{ mm/min}$$

Achtung: die Bezeichnungen 2a und 2b werden in den Abbildungen 1 und 2 zur Kennzeichnung unterschiedlicher Phasen verwendet.

### Reduzierter Querschnitt

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (4.1)$$

$$k_0 = 1 \quad \text{Tabelle 4.1}$$

$$d_0 = 7$$

$$d_{char,n} = \beta_{n,2a}(t_a - t_f) + \beta_{n,2b}(t - t_a)$$

$$d_{char,n} = 31,7 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 38,7 \text{ mm}$$

### Restholzquerschnitt

$$A = 25600 \text{ mm}^2$$

$$A_{res} = 6822,76 \text{ mm}^2$$

## Materialeigenschaften

$$f_{d,fi} = k_{mod} \frac{f_{20}}{\gamma_M} \quad (2.1)$$

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k \quad (2.4)$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ÖNORM EN 338}$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad \text{Tabelle 2.1}$$

$$k_{mod} = 1 \quad 4.2.2 (5)$$

$$\gamma_M = 1 \quad 2.3 (\text{Anmerkung 2})$$

$$f_{d,fi} = 26,25 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{d,fi} = k_{mod} \frac{S_{20}}{\gamma_M} \quad (2.2)$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05} \quad (2.5)$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ÖNORM EN 338}$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad \text{Tabelle 2.1}$$

$$k_{mod} = 1 \quad 4.2.2 (5)$$

$$\gamma_M = 1 \quad 2.3 (\text{Anmerkung 2})$$

$$E_{d,fi} = 9250 \text{ N/mm}^2$$

In der ÖNORM EN 1995-1-2 wird das 5%-Fraktile einer Steifigkeitseigenschaft mit der Abkürzung  $S_{05}$  angegeben, in der ÖNORM EN 338 wird der E-Modul, der eine Steifigkeitseigenschaft ist, mit  $E_{0,05}$  gekennzeichnet.

## Nachweis Druckspannung (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$$\sigma_{d,fi} = 7,33 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{d,fi} = 26,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{d,fi}}{f_{d,fi}} \leq 1 \quad \text{ÖNORM EN 1995-1-1, (6.2)}$$

$$0,28 \leq 1 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

## Stabilitätsnachweis (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$$\lambda = \beta \cdot L \sqrt{\frac{A}{I}}$$

$$\beta = 1$$

... Eulerfall 2

$$L = 2500 \text{ mm}$$

... Knicklänge

$$A = 6822,76 \text{ mm}^2$$

... Fläche

$$I = \frac{bh^3}{12} = 3879171,17 \text{ mm}^4$$

... axiales Flächenträgheitsmoment

$$\lambda = 104,85$$

... Schlankheitsgrad

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad (6.21)$$

$$f_{d,fi} = 26,25 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 9250 \text{ kN/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = 1,78$$

... bezogener Schlankheitsgrad

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (6.27)$$

$$\beta_c = 0,2 \quad (6.29)$$

$$k_y = 2,23 \quad \dots \text{ Knickbeiwert}$$

$$k_{c,y} = 0,28 \quad \dots \text{ Knickbeiwert}$$

$$\sigma_{d,fi} = 7,33 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{d,fi} = 26,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{d,fi}}{k_{c,y} \cdot f_{d,fi}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$0,99 > 1$$

**Nachweis erbracht**

#### **4 Berechnung des Feuerwiderstandes von Bauteilen**

Entsprechend der baurechtlichen Bestimmungen werden an Bauteile Anforderungen an den Feuerwiderstand gestellt. Diese lassen sich in die Tragfähigkeit (R) sowie bei raumabschließenden Bauteilen in die thermischen Wärmedämmeigenschaft (I) und in den Erhalt des Raumabschlusses (E) unterteilen. Zum Nachweis des Feuerwiderstandes von Bauteilen ist ab 03.05.2010 in Österreich ein Klassifizierungsbericht gemäß ÖNORM EN 13501-2 [7] bzw. eine Nachweisführung ÖNORM EN 1995-1-2 erforderlich. Diese gibt in den Anhängen C bis E vereinfachte Bemessungsverfahren für eine eingeschränkte Anzahl von Holzbauteile wieder, welche auf empirisch ermittelte Funktionen aufbauen [9,10,11]. Die Regeln gelten für maximale Feuerwiderstandszeiten von 60 Minuten unter Normbrandbelastung. Während in den Anhängen C und D die Tragfähigkeit sowohl von Holzrahmen- als auch Holzmassivbauteilen nachgewiesen werden kann, gelten die Regeln des Anhang E zur Berechnung der raumabschließenden Funktion, welche von [11] entwickelt wurden, ausschließlich für eine geringe Anzahl von Holzrahmenbauteilen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Grundlagen zur Bewertung des Feuerwiderstandes von Holzrahmenkonstruktionen“ [13,15] der Holzforschung Austria werden aufbauend auf Großbrandversuche Vergleichsberechnungen und Simulationen durchgeführt. Das Projekt ist Teil des europäischen woodwisdom Projektes „Fire In Timber“ [15], welches sich zum Ziel gesetzt hat, Ergänzungsvorschläge für die EN 1995-1-2 aufzubereiten und den aktuellen Wissensstand zum Brandschutz von Holzkonstruktionen in einem europäischen Handbook zu veröffentlichen.

#### **5 Beispiele zur Dimensionierung des Feuerwiderstandes von Holzbauteilen**

In den nachfolgend angeführten Beispielen werden Gipskartonplatten GKF bzw. GKB gemäß ÖNORM B 3410 [8] verwendet. Die in der ÖNORM EN 1995-1-2 angeführten Typ F Platten gemäß ÖNORM EN 520 entsprechen den GKF Platten gemäß ÖNORM B 3410 und die Typ A bzw. H Platten gemäß ÖNORM EN 520 entsprechen den GKB Platten gemäß ÖNORM B 3410. Aufgrund von höheren Dichteklassen in der ÖNORM B 3410 kann der Umkehrschluss nicht gezogen werden. Die angeführten Versagenszeiten  $t_f$  von Gipskartonplatten, welche im Rahmen des Forschungsprojektes „Grundlagen zur Bewertung des Feuerwiderstandes von Holzrahmenkonstruktionen“ [13,15] ermittelt wurden, gelten ausschließlich für Platten gemäß ÖNORM B 3410.

## 5.1 Holzrahmenbauwand einfach beplankt

### 5.1.1 Berechnung der Tragfähigkeit R gemäß Anhang C der ÖNORM EN 1995-1-2

<b>GKF (feuerseitig):</b>	12,5 mm, verspachtelt (Breite der offenen/erspachtelten Stöße $\leq 2$ mm)
<b>Konstruktionsvollholz:</b>	C24, 60 x 100 mm
<b>Achsabstand:</b>	625 mm
<b>Dämmung:</b>	Steinwolle (vollgedämmt) gegen Herausfallen gesichert ( $\rho = 27$ kg/m <sup>3</sup> )
<b>Spanplatte (brandabgekehrt):</b>	15 mm,erspachtelt (Breite der offenen/erspachtelten Stöße $\leq 2$ mm)
<b>Verbindungsmittel:</b>	40 mm Kammnägel
<b>Knicklänge:</b>	2,86 m (abzüglich der Kopf- und Fußschwelle)
<b>Lastannahme:</b>	20 kN/lm
<b>Bemessung:</b>	REI 30

Für den Abfall von GKF Platten wird im Anhang C keine Formel angeführt, allerdings können GKF-Platten konservativerweise wie GKB-Platten gerechnet werden, für die Formeln hinsichtlich der Versagenszeiten angegeben werden. Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass die Versagenszeiten auch durch Versuche nachgewiesen werden können. Die Ermittlung der Abfallzeiten im Rahmen eines Forschungsprojektes der Holzforschung Austria [13] in Wien ermöglichte eine Regressionsanalyse zur Bestimmung einer vereinfachten Berechnungsmethode für den Abfall von GKF-Platten bei Wand- und Deckenaufbauten in Holzrahmenbauweise. Das Versagen einer Beplankung muss auf thermisches Versagen sowie auf Versagen der Verbindungsmittel überprüft werden.

#### Beginn Abbrand

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (3.11)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ch} = 21 \text{ min}$$

#### Versagen der Beplankung (thermisches Versagen)

$$t_f = 2,2 \cdot h_p + 4$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 31,5 \text{ min}$$

## Versagen des Verbindungsmittels

$t_f = t_{ch} + \frac{l_f - l_{a,min} - h_p}{k_s \cdot k_2 \cdot k_n \cdot k_j \cdot \beta_0}$	(C.12)
$h_p = 12,5 \text{ mm}$	... Plattendicke
$l_f = 40 \text{ mm}$	... Länge des Verbindungsmittels
$t_{ch} = 21 \text{ min}$	... Beginn des Abbrands
$l_{a,min} = 10 \text{ min}$	... Mindestverankerungslänge
$k_s = 1,1$	Tabelle C.1
$k_n = 1,5$	C.2.1(2)
$k_j = 1,15$	(C.11)
$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$	Tabelle 3.1
$k_2 = 0,86 - 0,0037 \cdot h_p$	(C.4)
$k_2 = 0,81$	
$t_f = 38,44 \text{ min}$	... Versagen des Verbindungsmittels

Thermisches Versagen der Beplankung ist in dem Fall ausschlaggebend

## Abbrandraten

$\beta_{n,2a} = k_s \cdot k_2 \cdot k_n \cdot \beta_0$	(C.1)
$k_s = 1,1$	Tabelle C.1
$k_2 = 0,86 - 0,0037 \cdot h_p$	(C.4)
$k_2 = 0,81$	
$k_n = 1,5$	C.2.1(2)
$\beta_{n,2a} = 0,87 \text{ mm/min}$	
$\beta_{n,2b} = k_s \cdot k_3 \cdot k_n \cdot \beta_0$	(C.2)
$k_3 = 0,036 \cdot t_f + 1$	
$k_3 = 2,13$	
$\beta_{n,2b} = 2,29 \text{ mm/min}$	

Gemäß Anhang C wird zwischen zwei Abbrandraten unterschieden, die sich nach dem Zeitpunkt des Abfall bzw. Versagens der schützenden Beplankung richtet. Die Abbrandrate

vor dem Zeitpunkt  $t_f$  (Zeitpunkt des Versagens der Bekleidung) ist langsamer als jene Abbrandrate, die sich nach dem Abfall der Beplankung einstellt.

### Abbrand

$t = 30 \text{ min}$	... geforderte Feuerwiderstandsdauer
$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$	(3.2)
$d_{char,n} = \beta_{n,2a}(t - t_{ch})$	
$d_{char,n} = 7,85 \text{ mm}$	

### Abminderung der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften gemäß Anhang C

$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$	(2.1)
$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$	(2.4)
$k_{fi} = 1,25$	Tabelle 2.1
$f_k = 21 \text{ N/mm}^2$	... ÖNORM EN 338
$f_{20} = 26,25 \text{ N/mm}^2$	
$\gamma_{M,fi} = 1$	2.3 (Anmerkung 2)
$k_{mod,fi} = a_0 - a_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h}$	(C.13)
$d_{char,n} = 7,85 \text{ mm}$	
$h = 100 \text{ mm}$	
$a_0 = 0,469$	Tabelle C.2
$a_1 = 0,373$	Tabelle C.2
$k_{mod,fi} = 0,45$	
$f_{d,fi} = 11,54 \text{ N/mm}^2$	

Werte für  $a_0$ ,  $a_1$  bzw.  $b_0$  und  $b_1$  erhält man durch lineares Interpolieren der in Tabelle C.2 angegebenen Werte.

$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}$	(2.2)
$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05}$	(2.5)

$k_{fi} = 1,25$	Tabelle 2.1
$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$	... ÖNORM EN 338
$S_{20} = 9250 \text{ N/mm}^2$	
$\gamma_{M,fi} = 1$	2.3 (Anmerkung 2)
$k_{mod,fi} = b_0 - b_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h}$	(C.14)
$d_{char,n} = 7,85 \text{ mm}$	
$h = 100 \text{ mm}$	
$b_0 = 0,510$	Tabelle C.4
$b_1 = 0,795$	Tabelle C.4
$k_{mod,fi} = 0,45$	
$E_{d,fi} = 4139,88 \text{ N/mm}^2$	

Werte für  $a_0$ ,  $a_1$  bzw.  $b_0$  und  $b_1$  erhält man durch lineares Interpolieren der in den entsprechenden Tabellen angegebenen Werte.

### Restholzquerschnitt

$A = b \cdot (h - d_{char,n})$	
$h = 100 \text{ mm}$	
$d_{char,n} = 7,85 \text{ mm}$	
$A = 5528,72 \text{ mm}^2$	... ideeller Restquerschnitt
$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$	
$I = 3911913,65 \text{ mm}^4$	... axiales Flächenträgheitsmoment

Durch die aussteifende Wirkung der brandabgekehrten Bepunktung erfolgt eine Berechnung des Biegeknickens der Druckstäbe um die starke Achse (Knickung aus der Wand). Der in ÖNORM EN 1995-1-2 errechnete Wert für  $k_{mod}$  ersetzt den Wert für  $k_{mod}$  aus ÖNORM EN 1995-1-1.

### Nachweis Druckspannung (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$\sigma_{d,fi} = 2,26 \text{ N/mm}^2$
$f_{d,fi} = 11,54 \text{ N/mm}^2$

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

ÖNORM EN 1995-1-1, (6.2)

$$0,19 \leq 1$$

**Nachweis erbracht**

### Nachweis Stabilität (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$$\lambda = \beta \cdot L \sqrt{\frac{A}{I}}$$

$$\beta = 1$$

... Eulerfall 2

$$L = 2860 \text{ mm}$$

... Knicklänge

$$e = 625 \text{ mm}$$

... Fläche

$$\lambda = 107,52$$

... Schlankheitsgrad

$$A = 5528,72 \text{ mm}^2$$

$$I = 3911913,65 \text{ mm}^4$$

... axiales Flächenträgheitsmoment

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{d,fi}}{E_{d,fi}}}$$

(6.21)

$$f_{c,0,k} = 11,54 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 4139,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = 1,81$$

... bezogener Schlankheitsgrad

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

(6.25)

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

(6.27)

$$\beta_c = 0,2$$

(6.29)

$$k_y = 2,28$$

... Knickbeiwert

$$k_{c,y} = 0,27$$

... Knickbeiwert

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

(6.23)

$$0,72 \geq 1$$

**Nachweis erbracht**

Sofern eine Holzrahmenkonstruktion mit Glaswolle gedämmt ist, ist ein Versagen der Tragfähigkeit gemäß ÖNORM EN 1995-1-2 mit dem Abfall der Beplankung gegeben. Da im vorliegenden Fall die Gipskartonfeuerschutzplatte nach 31,5 Minuten versagt, kann der Nachweis für R30 auch für mit Glaswolle gedämmte Bauteile durchgeführt werden. Nur im

Falle einer mit Steinwolle gedämmten Holzrahmenkonstruktion erlaubt Anhang C eine Berechnung eines Restholzquerschnittes und damit einen Nachweis der Tragfähigkeit. Allerdings muss sichergestellt sein, dass die Dämmung gegen ein Herausfallen gesichert ist, andernfalls darf selbst bei einer mit Steinwolle gedämmten Konstruktion nicht weitergerechnet werden. Ist die Steinwolle gegen ein Herausfallen nicht gesichert, muss ein Versagen des Bauteils mit dem Versagen der Beplankung angenommen werden.

Der Knicknachweis erfolgte um die Starke Achse, also aus der Ebene heraus. Es wird davon ausgegangen, dass die Beplankung auf der brandabgekehrten Seite intakt und damit auch die aussteifende Wirkung erhalten bleibt, die ein Knicken um die schwache Achse hindert.

### 5.1.2 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß Anhang E der ÖNORM EN 1995-1-2

Die Berechnung des Raumabschluss nach ÖNORM EN 1995-1-2 erfolgt nach Anhang E und ist ein additives Modell, das die Schutzschichten jeder einzelnen Lage am Ende zu einer Summe aufaddiert werden.

$$t_{ins} = \sum t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j \quad (E.2)$$

#### Erste Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{ins,0,GKF} = 1,4 \cdot h_p \quad (E.6)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,GKF} = 17,5 \quad \dots \text{ Grundwert}$$

$$k_{pos} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,02 \cdot h_p + 0,54 \\ 1 \end{array} \right. \quad \text{Tabelle E.3} \Rightarrow (E.9)$$

$$k_{pos,min} = 0,79 \quad \dots \text{ Positionsbeiwert}$$

$$k_j = 1 \quad \text{Tabelle E.7}$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,GKF} = 13,83$$

#### Zweite Lage – Dämmung (100 mm)

$$t_{ins,0,Steinwolle} = 0,2 \cdot h_{ins} \cdot k_{dens} \quad (E.7)$$

$$h_{ins} = 100 \text{ mm}$$

$$k_{dens} = 1,004 \quad \text{Tabelle E.3}$$

$$t_{ins,0,Steinwolle} = 20,08 \quad \dots \text{ Grundwert}$$

$$k_{pos} = 1,5 \quad \text{E.2.3 (1)}$$

$$k_j = 1$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,Steinwolle} = 30,13$$

Bei anderen als in Tab. E.2 gegebenen Rohdichten darf linear interpoliert werden.

### Dritte Lage - Spanplatte (15)

$$t_{ins,0,Spanplatte} = 1,1 \cdot h_p \quad \text{(E.4)}$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,Spanplatte} = 16,5 \quad \dots \text{ Grundwert}$$

$$k_{pos} = 1,5 \quad \text{E.4}$$

$$k_j = 0,4 \quad \text{Tabelle E.7}$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,Spanplatte} = 11,48$$

$$t_{ins} \geq t_{req} \quad \text{(E.6)}$$

$$55,43 \geq 30 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

### 5.1.3 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß dem Modell der ETH Zürich

Das an der ETH Zürich neu entwickelte Rechenmodell für den Raumabschluss wurde im Rahmen einer Dissertation [12] erstellt. Die Erweiterbarkeit mit anderen Materialien einerseits und die breitere Palette an rechenbaren Aufbauten andererseits sind zwei der wesentlichen Vorteile dieser Methode. Das Modell wurde für Feuerwiderstandsdauern bis zu 60 Minuten konzipiert. Das vollständige Rechenmodell mit seinen Hintergründen kann in der Dissertation [12] nachgelesen werden und soll im Nationalen Anhang aufgenommen werden.

Für die Dämmung wurde ein globaler Fugenbeiwert von 1 angenommen, da davon ausgegangen wurde, dass die Dämmung entsprechend den Herstellerangaben mit Übermaß eingebaut wird. Die Dämmung muss gegen Herausfallen gesichert sein, andernfalls sollte die Dämmung in der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

#### Allgemein

$$t_{ins} = \sum_i t_{prot,i-1} + t_{ins,i}$$

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

$$t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) k_{j,i}$$

In diesem Modell wird zwischen Schichten mit schützender Funktion ( $t_{prot,i}$ ) und Schichten mit isolierender Funktion ( $t_{ins,i}$ ) unterschieden. Die letzte Schicht Schicht ist die isolierende Schicht, alle davorliegenden Schichten haben eine schützende Funktion. Entsprechend gibt es für beide Funktionen eigene Berechnungsformeln, die am Schluss zu einer Summe aufaddiert werden.

Das gesamte Formelwerk beinhaltet zahlreiche Fallunterscheidungen, die in ihrer Vollständigkeit der Dissertation entnommen werden können und an dieser Stelle nicht angeführt werden. Die für die beispielhaften Berechnungen relevanten Fallunterscheidungen werden erwähnt.

### Erste Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{prot,0,i} = 30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2} \text{ für Gipsplatten}$$

$$h_i = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{prot,0,GKF} = 24,1$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 1 - 0,6 \cdot \sqrt{\frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{0,i}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} < \frac{t_{0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 1$$

$$k_{pos,unexp,i} = 0,5 \cdot h_i^{0,15} \text{ für Gipsplatten mit dahinterliegenden Dämmstoff}$$

$$k_{pos,unexp,GKF} = 0,73$$

$$\Delta t_{GKF} = 0$$

$$k_{j,GKF} = 1$$

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

$$t_{prot,GKF} = 17,60$$

### Zweite Lage – Dämmung (100 mm)

$$t_{prot,0,i} = 0,3 \cdot h_i^{0,75 \cdot \log(\rho_i) - \frac{\rho_i}{400}}$$

$$h_i = 100 \text{ mm}$$

$$t_{prot,0,Steinwolle} = 30,84$$

$$k_{pos,exp,Steinwolle} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} \geq \frac{t_{prot,0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,Steinwolle} = 0,66$$

$$k_{pos,unexp,Steinwolle} = 1$$

$$\Delta t_i = 0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{0,i} + 3,5 \text{ für } t_{0,i} \geq 6 \text{ min}$$

$$\Delta t_{Steinwolle} = 4,29$$

$$k_{j,Steinwolle} = 1$$

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

$$t_{prot,Steinwolle} = 14,97$$

### Dritte Lage - Spanplatte (15 mm)

$$t_{ins,0,i} = 22 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,4} \text{ für Spanplattenplatten}$$

$$h_i = 15 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,Spanplatte} = 22,00$$

$$k_{pos,exp,Spanplatte} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} \geq \frac{t_{0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,36$$

$$k_{pos,unexp,i} = 0,5 \cdot h_i^{0,15} \text{ für Gipsplatten mit dahinterliegenden Dämmstoff}$$

$$\Delta t_{GKF} = 0$$

$$k_{j,GKF} = 0,4$$

$$t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) k_{j,i}$$

$$t_{ins,GKF} = 4,93$$

$$t_{ins} \geq t_{req}$$

$$45,48 \geq 30$$

**Nachweis erbracht**

## 5.2 Holzrahmenbauwand doppelt beplankt

### 5.2.1 Berechnung der Tragfähigkeit R gemäß Anhang C der ÖNORM EN 1995-1-2

<b>GKF (feuerseitig):</b>	2 x 12,5 mm, verspachtelt (Breite der offenen/erspachtelten Stöße ≤ 2 mm)
<b>Konstruktionsvollholz:</b>	C24, 60 x 160 mm
<b>Achsabstand:</b>	625 mm
<b>Dämmung:</b>	Steinwolle (vollgedämmt) gegen Herausfallen gesichert (ρ = 27 kg/m <sup>3</sup> )
<b>GKF (brandabgekehrt):</b>	2 x 12,5 mm,erspachtelt (Breite der offenen/erspachtelten Stöße ≤ 2 mm)
<b>Verbindungsmittel:</b>	40 mm Kammnägel
<b>Knicklänge:</b>	2,86 m (abzüglich der Kopf- und Fußschwelle) 2,86 m
<b>Lastannahme:</b>	30 kN/lm
<b>Bemessung:</b>	REI 60

#### Beginn Abbrand

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (3.11)$$

$$h_p = 22,5 \text{ mm}$$

$$t_{ch} = 49 \text{ min}$$

#### Versagen der Beplankung (thermisches Versagen)

$$t_f = 2,2 \cdot h_p + 4$$

$$h_p = 25 \text{ mm}$$

$$t_f = 59 \text{ min}$$

Gemäß EN 1995-1-2 sind die Versagenszeiten von Gipsplatten Typ F mittels Versuche in Erfahrung zu bringen. Die Ermittlung der Abfallzeiten im Rahmen eines Forschungsprojektes der Holzforschung Austria in Wien ermöglichte eine Regressionsanalyse zur Bestimmung einer vereinfachten Berechnungsmethode für den Abfall von GKF-Platten bei Wand- und Deckenaufbauten in Holzrahmenbauweise.

#### Versagen des Verbindungsmittels

$$t_f = t_{ch} + \frac{l_f - l_{a,min} - h_p}{k_s \cdot k_2 \cdot k_n \cdot k_j \cdot \beta_0} \quad (C.12)$$

$h_p = 25 \text{ mm}$	... Plattendicke
$l_f = 40 \text{ mm}$	... Länge des Verbindungsmittels
$t_{ch} = 21 \text{ min}$	... Beginn des Abbrands
$l_{a,min} = 10 \text{ min}$	... Mindestverankerungslänge
$k_s = 1,1$	Tabelle C.1
$k_n = 1,5$	C.2.1(2)
$k_j = 1,15$	(C.11)
$\beta_0 = 0,8 \text{ mm/min}$	Tabelle 3.1
$k_2 = 0,86 - 0,0037 \cdot h_p$	(C.4)
$k_2 = 0,77$	
$t_f = 53,29 \text{ min}$	... Versagen des Verbindungsmittels

Versagen des Verbindungsmittels infolge Herausziehens ist in diesem Fall maßgebend.

### Abbrandraten

$\beta_{n,2a} = k_s \cdot k_2 \cdot k_n \cdot \beta_0$	(C.1)
$k_s = 1,1$	Tabelle C.1
$k_2 = 0,86 - 0,0037 \cdot h_p$	(C.4)
$k_2 = 0,77$	
$k_n = 1,5$	C.2.1(2)
$\beta_{n,2a} = 1,01 \text{ mm/min}$	
$\beta_{n,2b} = k_s \cdot k_3 \cdot k_n \cdot \beta_0$	(C.2)
$k_3 = 0,036 \cdot t_f + 1$	
$k_3 = 2,92$	
$\beta_{n,2b} = 3,85 \text{ mm/min}$	

Gemäß Anhang C wird zwischen zwei Abbrandraten unterschieden, die sich nach dem Zeitpunkt des Abfall bzw. Versagens der schützenden Beplankung richtet. Die Abbrandrate vor dem Zeitpunkt  $t_f$  (Zeitpunkt des Versagens der Bekleidung) ist langsamer als jene Abbrandrate, die sich nach dem Abfall der Beplankung einstellt.

## Abbrand

$$t = 60 \text{ min}$$

... geforderte Feuerwiderstandsdauer

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (3.2)$$

$$d_{char,n} = \beta_{n,2a}(t_f - t_{ch}) + \beta_{n,2b}(t - t_f)$$

$$d_{char,n} = 30,19 \text{ mm}$$

## Abminderung der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften gemäß Anhang C

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.1)$$

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k \quad (2.4)$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad \text{Tabelle 2.1}$$

$$f_k = 21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{... EN 338}$$

$$f_{20} = 26,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M,fi} = 1 \quad 2.3 \text{ (Anmerkung 2)}$$

$$k_{mod,fi} = a_0 - a_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h} \quad (C.13)$$

$$d_{char,n} = 30,19 \text{ mm}$$

$$h = 160 \text{ mm}$$

$$a_0 = 0,58 \quad \text{Tabelle C.2}$$

$$a_1 = 0,424 \quad \text{Tabelle C.2}$$

$$k_{mod,fi} = 0,5$$

$$f_{d,fi} = 13,12 \text{ N/mm}^2$$

Werte für  $a_0$ ,  $a_1$  bzw.  $b_0$  und  $b_1$  erhält man durch lineares Interpolieren der in den entsprechenden Tabellen angegebenen Werte.

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.2)$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05} \quad (2.5)$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad \text{Tabelle 2.1}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{... EN 338}$$

$$S_{20} = 9250 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M,fi} = 1$$

2.3 (Anmerkung 2)

$$k_{mod,fi} = b_0 - b_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h} \quad (\text{C.14})$$

$$d_{char,n} = 30,19 \text{ mm}$$

$$h = 160 \text{ mm}$$

$$b_0 = 0,624 \quad \text{Tabelle C.4}$$

$$b_1 = 0,819 \quad \text{Tabelle C.4}$$

$$k_{mod,fi} = 0,47$$

$$E_{d,fi} = 4342,49 \text{ N/mm}^2$$

### Restholzquerschnitt

$$A = b \cdot (h - d_{char,n})$$

$$h = 160 \text{ mm}$$

$$d_{char,n} = 30,19 \text{ mm}$$

$$A = 7788,52 \text{ mm}^2 \quad \dots \text{ ideeller Restquerschnitt}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I = 10936562,17 \text{ mm}^4 \quad \dots \text{ axiales Flächenträgheitsmoment}$$

Durch die aussteifende Wirkung der brandabgekehrten Beplankung erfolgt eine Berechnung des Biegeknickens der Druckstäbe um die starke Achse (Knickung aus der Wand). Der in EN 1995-1-2 errechnete Wert für  $k_{mod}$  ersetzt den Wert für  $k_{mod}$  aus EN 1995-1-1.

### Nachweis Druckspannung (nach EN 1995-1-1)

$$\sigma_{d,fi} = 2,41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{d,fi} = 13,12 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{d,fi}}{f_{d,fi}} \leq 1 \quad \text{EN 1995-1-1, (6.2)}$$

$$0,18 \leq 1 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

## Nachweis Stabilität (nach EN 1995-1-1)

$$\lambda = \beta \cdot L \sqrt{\frac{A}{I}}$$

$$\beta = 1 \quad \dots \text{ Eulerfall 2}$$

$$L = 2860 \text{ mm} \quad \dots \text{ Knicklänge}$$

$$e = 625 \text{ mm} \quad \dots \text{ Fläche}$$

$$\lambda = 76,32 \quad \dots \text{ Schlankheitsgrad}$$

$$A = 7788,52 \text{ mm}^2$$

$$I = 10936562,17 \text{ mm}^4 \quad \dots \text{ axiales Flächenträgheitsmoment}$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad (6.21)$$

$$f_{c,0,k} = 13,12 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EN 338}$$

$$E_{d,fi} = 4139,88 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EN 338}$$

$$\lambda_{rel,y} = 1,81 \quad \dots \text{ bezogener Schlankheitsgrad}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (6.27)$$

$$\beta_c = 0,2 \quad (6.29)$$

$$k_y = 1,5 \quad \dots \text{ Knickbeiwert}$$

$$k_{c,y} = 0,46 \quad \dots \text{ Knickbeiwert}$$

$$\frac{\sigma_{d,fi}}{k_{c,y} \cdot f_{d,fi}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\sigma_{d,fi} = 2,41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{d,fi} = 13,12 \text{ N/mm}^2$$

$$0,39 \geq 1$$

**Nachweis erbracht**

Der Knicknachweis erfolgte um die Starke Achse, also aus der Ebene heraus. Es wird davon ausgegangen, dass die Beplankung auf der brandabgekehrten Seite intakt und damit auch die aussteifende Wirkung erhalten bleibt, die ein Knicken um die schwache Achse hindert.

## 5.2.2 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß Anhang E der ÖNORM EN 1995-1-2

Die Berechnung des Raumabschluss nach EN 1995-1-2 Anhang E ist streng genommen nicht möglich, da in Tabelle E.5 keine Positionswerte für zweilagige, mit Gipsplatten des Typs F bekleidete Wände angegeben sind. Allerdings darf die GKF-Platte konservativerweise wie eine Gipsplatte Typ A gerechnet werden.

$$t_{ins} = \sum t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j \quad (E.2)$$

### Erste Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{ins,0,GKF} = 1,4 \cdot h_p \quad (E.6)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,GKF} = 17,5 \quad \dots \text{ Grundwert}$$

$$k_{pos} = 1 \quad (E.5)$$

$$k_j = 1 \quad \text{Tabelle E.7}$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,GKF} = 17,5$$

### Zweite Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{ins,0,GKF} = 1,4 \cdot h_p \quad (E.6)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,GKF} = 17,5 \quad \dots \text{ Grundwert}$$

$$k_{pos} = 0,6 \quad (E.5)$$

$$k_j = 1 \quad \text{Tabelle E.7}$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,GKF} = 10,50$$

### Dritte Lage – Dämmung (160 mm)

$$t_{ins,0,Steinwolle} = 0,2 \cdot h_{ins} \cdot k_{dens} \quad (E.7)$$

$$h_{ins} = 160 \text{ mm}$$

$$k_{dens} = 1,004 \quad \text{Tabelle E.3}$$

$t_{ins,0,Steinwolle} = 32,13$	... Grundwert
$k_{pos} = 1$	(E.5)
$k_j = 1$	
$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$	
$t_{ins,Steinwolle} = 32,13$	

Bei anderen als in Tab. E.2 gegebenen Rohdichten darf linear interpoliert werden.

#### Vierte Lage - GKF (12,5 mm)

$t_{ins,0,GKF} = 1,4 \cdot h_p$	(E.6)
$h_p = 12,5 \text{ mm}$	
$t_{ins,0,GKF} = 17,5$	... Grundwert
$k_{pos} = 0,9$	(E.5)
$k_j = 1$	Tabelle E.7
$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$	
$t_{ins,GKF} = 15,75$	

#### Fünfte Lage - GKF (12,5 mm)

$t_{ins,0,GKF} = 1,4 \cdot h_p$	(E.6)
$h_p = 12,5 \text{ mm}$	
$t_{ins,0,GKF} = 17,5$	... Grundwert
$k_{pos} = 1,5$	... Positionsbeiwert
$k_j = 1$	Tabelle E.7
$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$	
$t_{ins,GKF} = 26,25$	

$t_{ins} \geq t_{req}$	(E.6)
$102,13 \geq 60$	<b>Nachweis erbracht</b>

### 5.2.3 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß dem Modell der ETH Zürich

#### Allgemein

$$t_{ins} = \sum_i t_{prot,i-1} + t_{ins,i}$$

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

$$t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) k_{j,i}$$

#### Erste Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{prot,0,i} = 30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2} \text{ für Gipsplatten}$$

$$h_i = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{prot,0,GKF} = 24,1$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 1 - 0,6 \cdot \sqrt{\frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{0,i}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} < \frac{t_{0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 1$$

$$k_{pos,unexp,GKF} = 1$$

$$\Delta t_{GKF} = 0$$

$$k_{j,GKF} = 1$$

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

$$t_{prot,GKF} = 24,1$$

#### Zweite Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{prot,0,i} = 30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2} \text{ für Gipsplatten}$$

$$h_i = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{prot,0,GKF} = 24,1$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} \geq \frac{t_{0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,5$$

$$k_{pos,unexp,i} = 0,5 \cdot h_i^{0,15} \text{ für Gipsplatten mit dahinterliegenden Dämmstoff}$$

$$k_{pos,unexp,GKF} = 0,73$$

$$\Delta t_{GKF} = 0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{0,i} + 4,7 \text{ für } t_{0,i} < 6 \text{ min}$$

$$\Delta t_{GKF} = 07,59$$

$$k_{j,GKF} = 1$$

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

$$t_{prot,GKF} = 16,39$$

### Dritte Lage – Dämmung (160 mm)

$$t_{prot,0,i} = 0,3 \cdot h_i^{0,75 \cdot \log(\rho_i) - \frac{\rho_i}{400}}$$

$$h_i = 160 \text{ mm}$$

$$t_{prot,0,Steinwolle} = 47,09$$

$$k_{pos,exp,Steinwolle} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} \geq \frac{t_{prot,0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,Steinwolle} = 0,54$$

$$k_{pos,unexp,Steinwolle} = 1$$

$$\Delta t_i = 0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{0,i} + 3,5 \text{ für } t_{0,i} \geq 6 \text{ min}$$

$$\Delta t_{Steinwolle} = 2,4$$

$$k_{j,Steinwolle} = 1$$

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

$$t_{prot,Steinwolle} = 27,79$$

### Vierte Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{prot,0,i} = 30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2} \text{ für Gipsplatten}$$

$$h_i = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{prot,0,GKF} = 24,1$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} \geq \frac{t_{0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,3$$

$$k_{pos,unexp,GKF} = 1$$

$$\Delta t_{GKF} = 0$$

$$k_{j,GKF} = 1$$

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

$$t_{prot,GKF} = 7,16$$

### Fünfte Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{ins,0,i} = 24 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,4} \text{ für Gipsplatten}$$

$$h_i = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,GKF} = 18,59$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} \geq \frac{t_{0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,25$$

$$\Delta t_{GKF} = 0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{0,i} + 4,7 \text{ für } t_{0,i} < 6 \text{ min}$$

$$\Delta t_{GKF} = 4,42$$

$$k_{j,GKF} = 0,8$$

$$t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) k_{j,i}$$

$$t_{ins,GKF} = 7,22$$

$$t_{ins} \geq t_{req}$$

$$82,67 \geq 60$$

**Nachweis erbracht**

### 5.3 Holzmassivbauwand

<b>GKB (feuerseitig):</b>	12,5 mm, verspachtelt (Breite der offenen/erspachtelten Stöße ≤ 2 mm)
<b>Massivholz:</b>	Brettschichtholz (GL24c) 100 mm, verleimt
<b>Verbindungsmittel:</b>	40 mm Kammnägel
<b>Knicklänge:</b>	3 m
<b>Lastannahme:</b>	80 kN/lfm
<b>Bemessung:</b>	REI 60

#### 5.3.1 Berechnung der Tragfähigkeit R

Die Berechnung nach dem allgemeinen Teil der ÖNORM EN 1995-1-2. Nachdem keine ECKAUSRUNDUNGEN und RISSE zu berücksichtigen sind, darf hier die Abbrandrate  $\beta_0$  verwendet werden.

##### Beginn Abbrand

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (3.11)$$
$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$
$$t_{ch} = 21 \text{ min}$$

##### Abfall Beplankung

$$t_{ch} = t_f \quad (3.15)$$
$$t_f = 21 \text{ min}$$

##### Zeitlimit $t_a$ für $t_{ch} = t_f$

$$t_a = \min \left\{ \begin{array}{l} 2t_f \\ \frac{25}{k_3\beta_n} + t_f \end{array} \right. \quad (3.8)$$
$$k_3 = 2 \quad 3.4.3.2.(4)$$
$$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min} \quad \text{Tabelle 3.1}$$
$$t_a = 40,23 \text{ min}$$

## Versagen des Verbindungsmittels

$$t_{f,req} = h_p + d_{char,0} + l_a \quad (3.16)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm} \quad \dots \text{ Plattendicke}$$

$$d_{char,0} = 0 \text{ mm} \quad \dots \text{ Länge des Verbindungsmittels}$$

$$l_a = 10 \text{ min} \quad \dots \text{ Mindestverankerungslänge}$$

$$t_{f,req} = 22,5 \text{ mm} \quad \dots \text{ geforderte Verbindungsmittellänge}$$

Thermisches Versagen der Beplankung ist in dem Fall ausschlaggebend, da die Länge des Verbindungsmittels mit 40 mm größer als die geforderte Verbindungsmittellänge von 22,5 mm ist. Da das Versagen der Beplankung  $t_f$  mit  $t_{ch}$  gleichgesetzt wird, geht auch keine Verkohlung in die Gleichung (3.16) ein.

## Abbrandraten

$$\beta_{n,2a} = \beta_0 \cdot k_3 \quad \text{Tabelle 3.1}$$

$$\beta_n = 0,65 \text{ mm/min} \quad \text{Tabelle 3.1}$$

$$k_3 = 2 \quad 3.4.3.2.(4)$$

$$\beta_{n,2a} = 1,3 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{n,2b} = \beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$$

Da die Beplankung zum selben Zeitpunkt versagt, an dem es am geschützten Bauteil zu brennen beginnt ( $t_f = t_{ch}$ ), gibt es keine verlangsamte Abbrandrate für den Zeitraum  $t_{ch} \leq t \leq t_f$  zu berechnen. Gemäß Abbildung 3.4 in ÖNORM EN 1995-1-2 wird allerdings bis zum Zeitpunkt  $t_a$  mit einer erhöhten Abbrandrate gerechnet. Der Zeitpunkt  $t_a$  bezeichnet jenen Zeitpunkt, an dem sich ein Abbrand von 25 mm und damit eine Kohleschicht gebildet hat, die eine schützende Wirkung auf das unverbrannte Holz hat. Daher wird nach dem Zeitpunkt  $t_a$  wieder mit einer gewöhnlichen Abbrandrate gerechnet.

## Reduzierter Querschnitt

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (4.1)$$

$$k_0 = 1 \quad \text{Tabelle 4.1}$$

$$d_0 = 7$$

$$d_{char,n} = \beta_{n,2a}(t_a - t_f) + \beta_{n,2b}(t - t_a)$$

$$d_{char,n} = 37,85 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 44,85 \text{ mm}$$

## Restholzquerschnitt

$$A = 100000 \text{ mm}^2$$

$$A_{res} = 55150 \text{ mm}^2$$

Es wird ein Meterstreifen zum Nachweis der Tragfähigkeit verwendet.

## Nachweis Druckspannung (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$$f_{d,fi} = k_{mod} \frac{f_{20}}{\gamma_M} \quad (2.1)$$

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k \quad (2.4)$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ÖNORM EN 338}$$

$$k_{fi} = 1,15 \quad \text{Tabelle 2.1}$$

$$k_{mod} = 1 \quad 4.2.2 (5)$$

$$\gamma_M = 1 \quad 2.3 (\text{Anmerkung 2})$$

$$\sigma_{d,fi} = 1,45 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{d,fi} = 24,15 \text{ N/mm}^2$$

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

$$0,06 \leq 1$$

**Nachweis erbracht**

## Stabilitätsnachweis (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$$\lambda = \beta \cdot L \sqrt{\frac{A}{I}}$$

$$\beta = 1 \quad \dots \text{ Eulerfall 2}$$

$$L = 3 \text{ m} \quad \dots \text{ Knicklänge}$$

$$A = 0,0532 \text{ m}^2 \quad \dots \text{ Fläche}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 4595833333,33 \text{ mm}^4 \quad \dots \text{ axiales Flächenträgheitsmoment}$$

$$\lambda = 188,44 \quad \dots \text{ Schlankheitsgrad}$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.21)$$

$$f_{d,fi} = 24,15 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 8510 \text{ kN/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = 3,2$$

... bezogener Schlankheitsgrad

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (6.27)$$

$$\beta_c = 0,1 \quad (6.29)$$

$$k_y = 5,75 \quad \dots \text{ Knickbeiwert}$$

$$k_{c,y} = 0,09 \quad \dots \text{ Knickbeiwert}$$

$$\sigma_{d,fi} = 1,45 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{d,fi} = 24,15 \text{ N/mm}^2$$

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

$$0,63 < 1$$

**Nachweis erbracht**

### 5.3.2 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß Anhang E der ÖNORM EN 1995-1-2

Die Berechnung kann entsprechend dem Anhang nicht durchgeführt werden.

### 5.3.3 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß dem Modell der ETH Zürich

Die Berechnung kann entsprechend dem Modell nicht durchgeführt werden.

## 5.4 Holzrahmenbaudecke (Rohelement)

<b>GKF (feuerseitig):</b>	12,5 mm, verspachtelt (Breite der offenen/erspachtelten Stöße $\leq 2$ mm)
<b>Konstruktionsvollholz:</b>	C24, 100 x 240 mm
<b>Querlattung:</b>	22 mm
<b>Achsabstand:</b>	625 mm
<b>Dämmung:</b>	Glaswolle, teilgedämmt (40% Füllgrad) ( $\rho = 15$ kg/m <sup>3</sup> )
<b>GKF (brandabgekehrt):</b>	12,5 mm,erspachtelt (Breite der offenen/erspachtelten Stöße $\leq 2$ mm)
<b>Verbindungsmittel:</b>	40 mm Kammnägel
<b>Spannweite:</b>	5 m
<b>Lastannahme:</b>	5 kN/m <sup>2</sup>
<b>Bemessung:</b>	REI 30

Für den Abfall von GKF Platten wird im Anhang C keine Formel angeführt, allerdings können GKF-Platten konservativerweise wie GKB-Platten gerechnet werden, für die Formeln hinsichtlich der Versagenszeiten angegeben werden. Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass die Versagenszeiten auch durch Versuche nachgewiesen werden können. Die Ermittlung der Abfallzeiten im Rahmen eines Forschungsprojektes der Holzforschung Austria [13] in Wien ermöglichte eine Regressionsanalyse zur Bestimmung einer vereinfachten Berechnungsmethode für den Abfall von GKF-Platten bei Wand- und Deckenaufbauten in Holzrahmenbauweise. Das Versagen einer Beplankung muss auf thermisches Versagen sowie auf Versagen der Verbindungsmittel überprüft werden.

Die Querlattung wird rechnerisch vernachlässigt.

### 5.4.1 Berechnung der Tragfähigkeit R gemäß Anhang C der ÖNORM EN 1995-1-2

#### Beginn Abbrand

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (3.11)$$

$$h_p = 15 \text{ mm}$$

$$t_{ch} = 28 \text{ min}$$

#### Versagen der Beplankung

$$t_f = 1,4 \cdot h_p + 6$$

$$h_p = 15 \text{ mm}$$

$$t_f = 27 \text{ min}$$

### Versagen des Verbindungsmittels

$$t_f = t_{ch} + \frac{l_f - l_{a,min} - h_p}{k_s \cdot k_2 \cdot k_n \cdot k_j \cdot \beta_0} \quad (\text{C.12})$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm} \quad \dots \text{ Plattendicke}$$

$$l_f = 40 \text{ mm} \quad \dots \text{ Länge des Verbindungsmittels}$$

$$t_{ch} = 21 \text{ min} \quad \dots \text{ Beginn des Abbrands}$$

$$l_{a,min} = 10 \text{ mm} \quad \dots \text{ Mindestverankerungslänge}$$

$$k_s = 1,1 \quad \text{Tabelle C.1}$$

$$k_n = 1,5 \quad \text{C.2.1(2)}$$

$$k_j = 1,15 \quad (\text{C.11})$$

$$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min} \quad \text{Tabelle 3.1}$$

$$k_2 = 0,86 - 0,0037 \cdot h_p \quad (\text{C.4})$$

$$k_2 = 0,81$$

$$t_f = 38,44 \text{ min} \quad \dots \text{ Versagen des Verbindungsmittels}$$

Thermisches Versagen der Beplankung ist in dem Fall ausschlaggebend. Da die Holzrahmendecke mit Glaswolle gedämmt ist, versagt das Bauteil sobald die Beplankung versagt. Die Holzrahmenkonstruktion versagt in diesem Fall nach 27 Minuten. Damit ist der **Nachweis für REI 30 nicht erbracht.**

## 5.4.2 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß Anhang E der ÖNORM EN 1995-1-2

$$t_{ins} = \sum t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j \quad (E.2)$$

### Erste Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{ins,0,GKF} = 1,4 \cdot h_p \quad (E.6)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,GKF} = 17,5 \quad \dots \text{ Grundwert}$$

$$k_{pos} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,02 \cdot h_p + 0,54 \\ 1 \end{array} \right. \quad \text{Tabelle E.3} \Rightarrow (E.9)$$

$$k_{pos,min} \cdot 0,8 \quad E.2.3 (3)$$

$$k_{pos,min} = 0,63 \quad \dots \text{ Positionsbeiwert}$$

$$k_j = 1 \quad \text{Tabelle E.7}$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,GKF} = 11,06$$

Bei der Berechnung von Decken müssen die Positionsbeiwerte  $k_{pos}$  mit dem Faktor 0,8 multipliziert werden.

### Zweite Lage – Dämmung (100 mm)

$$t_{ins,0,Glaswolle} = 0,1 \cdot h_{ins} \cdot k_{dens} \quad (E.8)$$

$$h_{ins} = 100 \text{ mm}$$

$$k_{dens} = 0,9 \quad \text{Tabelle E.2}$$

$$t_{ins,0,Glaswolle} = 12,05 \quad \dots \text{ Grundwert}$$

$$k_{pos} = 2 \quad E.2.3 (1)$$

$$k_j = 1$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,Steinwolle} = 18,0$$

Bei anderen als in Tab. E.3 gegebenen Rohdichten darf linear interpoliert werden.

### Dritte Lage - Hohlraum (100 mm)

$$t_{ins,0,Hohlraum} = 5 \quad (E.6)$$

$$k_{pos} = 1,5 \quad E.2.3 (1)$$

$$k_j = 1$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,Hohlraum} = 7,50$$

Ungedämmte Hohlräume oder Hohlräume aufgrund von teilgedämmten Konstruktionen dürfen mit einer allgemeinen Grundschutzzeit berücksichtigt werden, sofern sie die Anforderungen an die Mindest- bzw. Maximaltiefe erfüllen (45 mm bis 200 mm)

Der Fugenbeiwert für den Hohlraum kann rechnerisch mit 1 angenommen werden, damit hat dieser Beiwert rechnerisch auf die Wirkung des Hohlräume keinen Einfluss.

### Vierte Lage - GKF (12,5)

$$t_{ins,0,GKF} = 1,4 \cdot h_p \quad (E.6)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,GKF} = 17,5 \quad \dots \text{ Grundwert}$$

$$k_{pos} = 0,705 \quad (E.10)$$

$$k_j = 1 \quad \text{Tabelle E.7}$$

$$t_{ins} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos} \cdot k_j$$

$$t_{ins,GKF} = 12,34$$

$$t_{ins} \geq t_{req} \quad (E.6)$$

$$48,90 \geq 30 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

### 5.4.3 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß dem Modell der ETH Zürich

Die Berechnung des Raumabschlusses erfolgte exemplarisch an einer teilgedämmten Wand um aufzuzeigen inwieweit Hohlräume berücksichtigt werden. Der Füllgrad beträgt dabei 60% der Hohlraumtiefe und die Dämmung liegt an der feuerzugewandten Seite an. Für die Dämmung wurde ein globaler Fugenbeiwert von 1 angenommen, da davon ausgegangen wurde, dass die Dämmung entsprechend den Herstellerangaben mit Übermaß eingebaut wird. Die Dämmung muss gegen Herausfallen gesichert sein, andernfalls sollte die Dämmung in der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

#### Allgemein

$$t_{ins} = \sum_i t_{prot,i-1} + t_{ins,i}$$

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

$$t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) k_{j,i}$$

#### Erste Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{prot,0,i} = 30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2} \text{ für Gipsplatten}$$

$$h_i = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{prot,0,GKF} = 24,1$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 1 - 0,6 \cdot \sqrt{\frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{0,i}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} < \frac{t_{0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 1$$

$$k_{pos,unexp,i} = 0,5 \cdot h_i^{0,15} \text{ für Gipsplatten mit dahinterliegenden Dämmstoff}$$

$$k_{pos,unexp,GKF} = 0,73$$

$$\Delta t_{GKF} = 0$$

$$k_{j,GKF} = 1$$

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

$$t_{prot,GKF} = 17,60$$

## Zweite Lage – Dämmung (100 mm)

$$t_{prot,0,i} = (0,0007 \cdot \rho_i + 0,046) \cdot h_i + 13 \leq 30 \text{ für } h_i \geq 40 \text{ mm}$$

$$h_i = 100 \text{ mm}$$

$$t_{prot,0,Glaswolle} = 18,65$$

$$k_{pos,exp,Glaswolle} = (0,001 \cdot \rho_i + 0,27) \cdot \left( \frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}} \right)^{(0,75-0,002 \cdot \rho_i)} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} \geq \frac{t_{0,i}}{4}$$

$$k_{pos,exp,Glaswolle} = 0,3$$

$$k_{pos,unexp,Glaswolle} = 1$$

$$\Delta t_i = 0,1 \cdot t_{prot,i-1} - 0,035 \cdot t_{0,i}$$

$$\Delta t_{Glaswolle} = 1,11$$

$$k_{j,Glaswolle} = 1$$

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

$$t_{prot,Glaswolle} = 14,97$$

## Dritte Lage - GKF (12,5 mm)

$$t_{ins,0,i} = 24 \cdot \left( \frac{h_i}{15} \right)^{1,4} \text{ für Gipsplatten}$$

$$h_i = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ins,0,GKF} = 18,59$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}} \text{ für } \sum t_{prot,i-1} \geq \frac{t_{0,i}}{2}$$

$$k_{pos,exp,GKF} \cdot 1,6 \text{ (aufgrund des Hohlraums wird der Wert mit 1,6 multipliziert)}$$

$$k_{pos,exp,GKF} = 0,7$$

$$k_{pos,unexp,i} = 0,5 \cdot h_i^{0,15} \text{ für Gipsplatten mit dahinterliegenden Dämmstoff}$$

$$\Delta t_{GKF} = 0$$

$$k_{j,GKF} = 0,8$$

$$t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) k_{j,i}$$

$$t_{ins,GKF} = 8,99$$

$$t_{ins} \geq t_{req}$$

$$34,67 \geq 30$$

Nachweis erbracht

## 5.5 Holzmassivbaudecke

<b>GKB (feuerseitig):</b>	12,5 mm, verspachtelt (Breite der offenen/erspachtelten Stöße $\leq 2$ mm)
<b>Lattung/Dämmung:</b>	50 mm, gedämmt mit Glaswolle
<b>Massivholz:</b>	Brettschichtholz (GL24c) 100 mm, verleimt
<b>Verbindungsmitel:</b>	40 mm Kammnägel
<b>Spannweite:</b>	5 m
<b>Lastannahme:</b>	3,5 kN/m <sup>2</sup>
<b>Bemessung:</b>	REI 60

### 5.5.1 Berechnung der Tragfähigkeit R

Die Berechnung erfolgt nach dem allgemeinen Teil. Nachdem keine Eckausrundungen und Risse zu berücksichtigen sind, darf hier die Abbrandrate  $\beta_0$  verwendet werden. Die Lattung sowie die Glaswollämmung werden dabei vernachlässigt.

#### Beginn Abbrand

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (3.11)$$

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{ch} = 21 \text{ min}$$

#### Abfall Beplankung

$$t_{ch} = t_f \quad (3.15)$$

$$t_f = 21 \text{ min}$$

Für Gipsplatten des Typs A oder H wird ein Versagen der Beplankung mit dem Beginn des Abbrandes am geschützten Bauteil angesetzt.

### Zeitlimit $t_a$ für $t_{ch} = t_f$

$$t_a = \min \left\{ \begin{array}{l} 2t_f \\ \frac{25}{k_3\beta_n} + t_f \end{array} \right. \quad (3.8)$$
$$k_3 = 2 \quad 3.4.3.2.(4)$$
$$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min} \quad \text{Tabelle 3.1}$$
$$t_a = 40,23 \text{ min}$$

### Versagen des Verbindungsmittels

$$t_{f,req} = h_p + d_{char,0} + l_a \quad (3.16)$$
$$h_p = 12,5 \text{ mm} \quad \dots \text{ Plattendicke}$$
$$d_{char,0} = 0 \text{ mm} \quad \dots \text{ Länge des Verbindungsmittels}$$
$$l_a = 10 \text{ mm} \quad \dots \text{ Mindestverankerungslänge}$$
$$t_{f,req} = 22,5 \text{ mm} \quad \dots \text{ geforderte Verbindungsmittellänge}$$

Thermisches Versagen der Beplankung ist in dem Fall ausschlaggebend, da die Länge des Verbindungsmittels mit 40 mm größer als die geforderte Verbindungsmittellänge von 22.5 mm ist. Da das Versagen der Beplankung  $t_f$  mit  $t_{ch}$  gleichgesetzt wird, geht auch keine Verkohlung in die Gleichung (3.16) ein.

### Abbrandraten

$$\beta_{n,2a} = \beta_n \cdot k_3$$
$$\beta_n = 0,65 \text{ mm/min} \quad \text{Tabelle 3.1}$$
$$k_3 = 2 \quad 3.4.3.2.(5)$$
$$\beta_{n,2a} = 1,3 \text{ mm/min}$$
$$\beta_{n,2b} = \beta_n = 0,65 \text{ mm/min}$$

Da die Beplankung zum selben Zeitpunkt versagt, an dem es am geschützten Bauteil zu brennen beginnt ( $t_f = t_{ch}$ ), gibt es keine verlangsamte Abbrandrate für den Zeitraum  $t_{ch} \leq t \leq t_f$  zu berechnen. Gemäß Abbildung 3.4 in der ÖNORM EN 1995-1-2 wird allerdings bis zum Zeitpunkt  $t_a$  mit einer erhöhten Abbrandrate gerechnet. Der Zeitpunkt  $t_a$  bezeichnet jenen Zeitpunkt, an dem sich eine 25 mm Kohleschicht gebildet und die eine schützende Wirkung auf das unverbrannte Holz hat. Daher wird nach dem Zeitpunkt  $t_a$  wieder mit einer gewöhnlichen Abbrandrate gerechnet.

## Reduzierter Querschnitt

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (4.1)$$

$$k_0 = 1 \quad \text{Tabelle 4.1}$$

$$d_0 = 7$$

$$d_{char,n} = \beta_{n,2a}(t_a - t_f) + \beta_{n,2b}(t - t_a)$$

$$d_{char,n} = 37,85 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 44,85 \text{ mm}$$

## Restholzquerschnitt

$$A = 100000 \text{ mm}^2$$

$$A_{res} = 55150 \text{ mm}^2$$

Es wird ein Meterstreifen zum Nachweis der Tragfähigkeit verwendet.

## Nachweis Biegespannung (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$$S_{d,fi} = k_{mod} \frac{S_{20}}{\gamma_M} \quad (2.1)$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05} \quad (2.5)$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ÖNORM EN 338}$$

$$k_{fi} = 1,15 \quad \text{Tabelle 2.1}$$

$$k_{mod} = 1 \quad 4.2.2 (5)$$

$$\gamma_M = 1 \quad 2.3 (\text{Anmerkung 2})$$

$$E_{d,fi} = 8510 \text{ N/mm}^2$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = 506920,42 \text{ mm}^3$$

$$M = \frac{ql^2}{8} = 10937500 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{d,fi} = 21,58 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{d,fi} = 24,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \text{ÖNORM EN 1995-1-1, (6.2)}$$

$$0,89 \leq 1$$

**Nachweis erbracht**

### **Nachweis Schubspannung** (nach ÖNORM EN 1995-1-1)

$$V = \frac{ql}{2} = 8750 \text{ N}$$

... Querkraft

$$\tau_d = 0,24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,fi} = 2,88 \text{ N/mm}^2$$

ÖNORM EN 338

$$0,09 < 1$$

**Nachweis erbracht**

### **5.5.2 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß Anhang E der ÖNORM EN 1995-1-2**

Die Berechnung kann entsprechend dem Anhang nicht durchgeführt werden.

### **5.5.3 Berechnung des Raumabschlusses EI gemäß dem Modell der ETH Zürich**

Die Berechnung kann entsprechend dem Anhang zur Zeit noch nicht durchgeführt werden.

## 6 Literatur

- [1] ÖNORM EN 338: Bauholz für tragende Zwecke, Festigkeitsklassen, Ausgabe: 2003-07-01
- [2] ÖNORM EN 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Ausgabe: 01.01.2006
- [3] ÖNORM EN 1995-1-2: Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall. Ausgabe: 01.10.2006
- [4] ÖNORM B 3800-4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Bauteile: Einreihung in die Brandwiderstandsklassen. Ausgabe: 01.05.2000.
- [5] ÖNORM EN 520: Gipsplatten - Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren. Ausgabe: 01.04.2007
- [6] ÖNORM B 1995-1-2: Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Bemessung für den Brandfall - Nationale Festlegungen, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN 1995-1-2. Ausgabe: 01.12.2008
- [7] ÖNORM EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen. Ausgabe: 01.01.2008
- [8] ÖNORM B 3410: Gipsplatten für Trockenbausysteme (Gipskartonbauplatten), Arten, Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe: 2006-09-02
- [9] König, J.; Noren, Olesen Hansen (1997): Timber frame assemblies exposed to standard and parametric fires - Part 1: Fire tests. Herausgegeben von Institutet för Träteknisk Forskning. Stockholm.
- [10] König, J.; Walleij, L. (2000): Timber frame assemblies exposed to standard and parametric fires Part 2: A design model for standard fire exposure. Institutet för Träteknisk Forskning. Stockholm.
- [11] Norén, J. (1994): Additionsmetoden-Beräkning av brandmotstand hos avskiljande väggar (in schwedisch). Rapport I 9312070 Swedish Institute for Wood Technology Research. Stockholm.
- [12] Schleifer, V. (2009): Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall, Dissertation, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich
- [13] Teibinger, M.; Matzinger, I., Charwat-Pessler, J. (2010): Grundlagen zur Bewertung des Feuerwiderstandes von Holzbauteilen, Endbericht, Holzforschung Austria, Wien
- [14] [www.holzforschung.at](http://www.holzforschung.at); (21.04.2009)
- [15] [www.woodwisdom.net](http://www.woodwisdom.net) (21.04.2009)