

**Überführung in die EN-Fassung von
Eurocode 5 Teil 1-2
(Entwurf, Berechnung und Bemessung von
Holzbauten – Allgemeine Regeln: Bemessung
für den Brandfall) – Überprüfung des
Sicherheitsniveaus**

T 3115

T 3115

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2006, ISBN 3-8167-7120-3

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.IRBbuch.de

Forschungsbericht

Überführung in die EN-Fassung von Eurocode 5 Teil 1-2 (Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten – Allgemeine Regeln: Bemessung für den Brandfall) – Überprüfung des Sicherheitsniveaus

gefördert durch
das Deutsche Institut für Bautechnik - Berlin

Univ.-Prof. a. D. Dipl.-Ing. Claus Scheer, Technische Universität Berlin
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, Technische Universität München
Dr.-Ing. Mandy Peter, Institut des Zimmerer- und Holzbaugewerbes e.V.
Dipl.-Ing. (FH) Wilhelm Meyn, Universität Leipzig

Berlin, Februar 2005

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde durch Vergleichsrechnungen für Wände, Decken und Dächer sowie für Holzbauteile und Verbindungen für den Brandfall untersucht, ob das in EN 1995-1-2:2005 vorgegebene Sicherheitsniveau den bisherigen Festlegungen von DIN 4102-4 bzw. DIN 4102-4/A1 und DIN 4102-22 entspricht. Die Berechnungen haben ergeben, dass das Sicherheitsniveau der vorgenannten Normen gleichwertig ist. Abweichungen ergeben sich lediglich dort, wo durch die vereinbarte genauere Beurteilung der Beanspruchungen für den außergewöhnlichen Lastfall Brand deutliche Abminderungen der Beanspruchung im Brandfall erfolgen, beispielsweise durch die Reduzierung der Schneelasten auf im Regelfall 20% der Beanspruchung im „Kaltfall“. Diese Veränderung ist damit auf die Vereinbarungen zur genaueren statistischen Beurteilung der Lasten zurückzuführen. Die rechnerischen Ansätze der Bemessung im Brandfall führen hingegen zu vergleichbaren Ergebnissen.

Weitere Abweichungen ergeben sich bei der Beurteilung von Bauteilen dort, wo die empirisch ermittelten Angaben der Tabellenwerke der DIN 4102-4 Varianten zulassen, die weit auf der sicheren Seite liegen, beispielsweise den Ersatz von Holzwerkstoffplatten der Dicke $d = 16$ mm durch Gipsbauplatten der Dicke $d = 18$ mm. Hier ergeben sich in Einzelfällen gegenüber den Tabellen der DIN 4102-4 Einstufungen, die eine Klasse höher liegen (F60-B statt F30-B), allerdings entsprechen diese Einstufungen auch den Erfahrungen aus Brandprüfungen.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die untersuchten Regelwerke zu einem vergleichbaren Sicherheitsniveau führen. In den nachfolgenden Tabellen sind die Empfehlungen für den nationalen Anhang zu DIN EN 1995-1-2:2005 ebenso aufgenommen, wie Empfehlungen zu Erläuterungen zu dieser Norm, die sich aus der Bearbeitung ergeben haben. Sie können gleichzeitig als Grundlage zur Überarbeitung der Norm bis zur endgültigen Fassung dienen, die nach den derzeitigen Absichtbekundungen der europäischen Kommission bis zum Jahr 2010 vorliegen sollen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
1 Ziel und Zweck der Arbeit	9
2 Abschnitt 2 – Grundlagen für Entwurf, Bemessung und Konstruktion	10
2.1 Anforderungen	10
2.1.1 Wesentliche Anforderungen	10
2.1.2 Nominelle Brandbeanspruchung	10
2.1.3 Parameterabhängige Brandbeanspruchung	10
2.2 Einwirkungen	11
2.3 Bemessungswerte der Materialeigenschaften und –beanspruchbarkeiten	12
2.4 Nachweismethoden	14
2.4.1 Allgemeines	14
2.4.2 Bauteilberechnung	14
2.4.3 Berechnung von Teilen des Tragwerks	17
2.4.4 Berechnung des gesamten Tragwerks	17
3 Materialeigenschaften	18
3.1 Allgemeines	18
3.2 Mechanische Eigenschaften	18
3.3 Thermische Eigenschaften	18
3.4 Abbrandtiefe	18
3.4.1 Allgemeines	18
3.4.2 Während der gesamten Branddauer ungeschützte Oberflächen	20
3.4.3 Oberflächen von anfänglich vor Brandeinwirkung geschützten tragenden Balken und Stielen	23
3.5 Klebstoffe	26
4 Bemessungsverfahren für mechanische Beanspruchbarkeit	27
4.1 Allgemeines	27
4.2 Vergleichsbetrachtungen zum Nachweis der Feuerwiderstandsdauern von Holzbauteilen nach DIN 4102-4 und DIN EN 1995-1-2	31
4.2.1 Einfluss der Methoden zur Ermittlung der Einwirkungen und der Bemessungsverfahren	32

4.2.2	Einfluss des Verfahrens zur Ermittlung der maßgebenden veränderlichen Einwirkung	35
4.2.3	Einfluss der Art der Beanspruchung des Querschnitts	36
4.2.4	Einfluss der Festigkeitsklasse des Holzes	38
4.2.5	Einfluss der Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) der veränderlichen Einwirkungen	44
4.2.6	Einfluss der Art der Brandbeanspruchung	45
5	Bemessungsverfahren für Wand- und Deckenkonstruktionen	48
5.1	Allgemeines	48
5.2	Bemessung der Tragfähigkeit	48
5.3	Bemessung des Raumabschlusses	48
6	Verbindungen	49
6.1	Allgemeines	49
6.2	Verbindungen mit Seitenteilen aus Holz	49
6.2.1	Ungeschützte Verbindungen	49
6.2.2	Geschützte Verbindungen	56
6.2.3	Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen	57
6.2.4	Vereinfachte Regeln für auf Herausziehen beanspruchte Schrauben	58
7	Konstruktive Ausführung	59
7.1	Wände und Decken	59
7.1.1	Bauteilmaße und Abstände	59
7.1.2	Detailierung von Plattenverbindungen	59
7.1.3	Wärmedämmung	60
7.2	Sonstige Bauteile	60
8	Anhang A (informativ) Parameterabhängige Brandbeanspruchung	61
9	Anhang B (informativ) Erweiterte Berechnungsmethoden	62
10	Anhang C (informativ) Tragende Deckenbalken und Wandstiele	63
10.1	Beschreibung des Verfahrens	63
10.1.1	Beginn des Abbrandes	64
10.1.2	Versagenszeit von Bekleidungen	65

10.1.3	Abminderung der Festigkeits- und Steifigkeitsparameter	66
10.2	Beurteilung des Berechnungsverfahrens nach Anhang C	67
10.3	Ergebnisse der Beispiel- und Tabellenrechnungen	71
11	Anhang D (informativ) Abbrand von Bauteilen in Wand- und Deckenkonstruktionen mit ungedämmten Hohlräumen	74
11.1	Beschreibung des Verfahrens	74
11.1.1	Beginn des Abbrandes	74
11.1.2	Versagenszeit von Bekleidungen	75
11.2	Beurteilung des Berechnungsverfahrens nach Anhang D	76
11.3	Ergebnisse der Beispiel- und Tabellenrechnungen	76
12	Anhang E (informativ) Berechnung der raumabschließenden Funktion von Wand- und Deckenkonstruktionen	77
12.1	Beschreibung des Verfahrens	77
12.2	Beurteilung des Verfahrens	79
12.2.1	Allgemeines	79
12.2.2	Wände	80
12.2.3	Decken	82
12.3	Ergebnisse der Beispiel- und Tabellenrechnungen	86
13	Zusammenfassung	88
13.1	Empfehlungen für das Nationale Anwendungsdokument	88
13.2	Empfehlungen für redaktionelle Änderungen in der deutschen Fassung und Empfehlungen für Erläuterungen und die weitere Bearbeitung	90
	Literaturverzeichnis	92
	Anhang A Bemessungsbeispiele für Wände, Decken und Dächer	97
	Anhang B Bemessungsbeispiele für Holzbauteile	127
	Anhang C Bemessungsbeispiele für Holzverbindungen	213

Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Temperaturprofil bis zu einer Tiefe von 40 mm eines Querschnitts nach [31]	19
Bild 2:	Bemessungswert der Abbrandtiefe $d_{\text{char},0}$ für den eindimensionalen Abbrand sowie die ideale Abbrandtiefe $d_{\text{char},n}$	21
Bild 3:	Durchbrandzeit von Spanplatten in Abhängigkeit der Rohdichte und der Dicke nach [20]	22
Bild 4:	Abbrandergebnisse aus [28] Bi-lineares Abbrandmodell aus [14]	24
Bild 5:	Rechnerische Festigkeits- und Steifigkeitsabnahmen in Abhängigkeit von der mittleren Temperatur nach [40]	28
Bild 6:	Definition von verbleibendem und ideellem Restquerschnitt am Beispiel dreiseitiger Brandbeanspruchung	29
Bild 7:	Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach Beispiel B.1.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei vierseitiger Brandbeanspruchung	32
Bild 8:	Vergleich der Ausnutzungsgrade für Beispiel B.1.1 nach EN 1995-1-2 zwischen der vereinfachten und der genauen Methode zur Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen und unterschiedliche Verhältnisse von ständigen G_k zu veränderlichen Einwirkungen Q_k	34
Bild 9:	Vergleich der Ausnutzungsgrade eines Zugstabes 10/10 cm (Beispiel B.5.1) nach EN 1995-1-2 für unterschiedliche Verhältnisse von veränderlichen Q_k zu ständigen Einwirkungen G_k	36
Bild 10:	Vergleich der Ausnutzungsgrade eines Zugstabes 14/14 cm (Beispiel B.5.2) nach EN 1995-1-2 für unterschiedliche Verhältnisse von veränderlichen Q_k zu ständigen Einwirkungen G_k	37
Bild 11:	Vergleich der Auslastungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C35 nach Beispiel B.1.2 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei vierseitiger Brandbeanspruchung (Der Vergleichswert nach DIN 4102-4 entspricht einem Nachweis für NH GK I.)	39
Bild 12:	Vergleich der Ausnutzungsgrade der Bemessung der gelenkig gelagerten Stütze nach Beispiel B.4 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei dreiseitiger Brandbeanspruchung	40
Bild 13:	a) Aufbau eines homogenen Brettschichtholzträgers GL h b) Aufbau eines kombinierten Brettschichtholzträgers GL c	41

Bild 14: Vergleich der Auslastungsgrade der Bemessung des Trägers nach Beispiel B.3 aus homogenem und kombiniertem Brettschichtholz für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei vierseitiger Brandbeanspruchung	43
Bild 15: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach Beispiel B.2 für unterschiedliche Klassen der Lasteinwirkungsdauern (KLED) der veränderlichen Einwirkungen	44
Bild 16: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach Beispiel B.1.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei dreiseitiger Brandbeanspruchung für ein Verhältnis der charakteristischen Einwirkung G_k / Q_k von 0,5	46
Bild 17: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach Beispiel B.1.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei dreiseitiger Brandbeanspruchung für ein Verhältnis der charakteristischen Einwirkung G_k / Q_k von 1,0	46
Bild 18: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis einer zweischnittigen Stabdübelverbindung nach Beispiel C.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.	51
Bild 19: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis einer zweischnittigen Stabdübelverbindung nach Beispiel C.1 für unterschiedliche Festigkeitsklassen und eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.	52
Bild 20: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis eines Zugstoßes aus Brettschichtholz GL 24h mit Stabdübeln nach Beispiel C.2 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.	53
Bild 21: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis eines Zugstoßes mit Stabdübeln nach Beispiel C.2 für unterschiedliche Festigkeitsklassen und eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.	54
Bild 22: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis eines Zugstoßes aus Vollholz der Festigkeitsklasse C 24 mit Nägeln nach Beispiel C.3 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.	55
Bild 23: Abminderungsfaktor η der Beanspruchbarkeit einer Schraube auf Herausziehen im Brandfall nach EN 1995-1-2 Gleichung (6.11)	58

Bild 24: Abminderungsfaktoren der Tabelle C.2 zur Berechnung der Biegefestigkeit für den Anwendungsfall 1 sowie deren Darstellung als Funktionen	70
Bild 25: Erweiterte Tabelle C.1 und deren Darstellung als Funktion	71
Bild 26: Definition der Schmal- und Längsseite der Holzbauteile	75
Bild 27: Darstellung der möglichen Wärmedurchgangswege durch eine raumabschließende Konstruktion – nach Bild E.1 aus [14]	77
Bild 28: Bezeichnung der Lagen für ein zweilagig beplanktes Bauteil – nach Bild E.2 aus [27]	82
Bild 29: Positionsbeiwerte für eine einlagige und eine 2-lagige Beplankung aus Spanplatten (der Faktor 0,8 für Decken bleibt hier unberücksichtigt)	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Emissionswerte	12
Tabelle 2:	Empfehlungen für Kombinationsbeiwerte häufig auftretender Einwirkungen im Hochbau nach DIN EN 1990:2002-10	14
Tabelle 3:	Temperaturen im Abbrandbereich nach Lingens [31]	19
Tabelle 4:	Erhöhung der Biegefestigkeit und des Elastizitätsmoduls mit steigender Festigkeitsklasse für Vollholz aus Nadelholz nach DIN EN 338:2003-09 [7]	38
Tabelle 5:	Empfehlungen zu Festlegungen für das Nationale Anwendungsdokument (NAD) zu EN 1995-1-2	88
Tabelle 6:	Empfehlungen zu Festlegungen für das Nationale Anwendungsdokument (NAD) zu EN 1991-1-2	89
Tabelle 7:	Empfehlungen zu redaktionellen Änderungen in der deutschen Fassung zu EN 1995-1-2	90
Tabelle 8:	Empfehlungen für Erläuterungen zu EN 1995-1-2	91

1 Ziel und Zweck der Arbeit

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Erarbeitung einer Bewertungsgrundlage für die EN-Fassung des Eurocodes 5 Teil 1-2 sowie Regelungsvorschläge bezüglich des zu erstellenden nationalen Anhangs.

Die DIN V ENV 1995-1-2 ist zurzeit eine bauaufsichtlich eingeführte technische Baubestimmung. In die EN-Fassung dieser Vornorm wurden neue Kennwerte und brandschutztechnische Erkenntnisse sowie Rechenverfahren und konstruktive Vorgaben aufgenommen bzw. bestehende Aussagen erweitert oder korrigiert. Der Umfang der Regelungen hat sich gegenüber dem Inhalt der Vornorm erheblich erweitert.

Insbesondere wurden im Bemessungsverfahren für ungeschützte tragende Holzbauteile und für Verbindungsmittel im Brandfall umfangreiche Änderungen vorgenommen. Der Nachweis für raumabschließende Bauteile, der sich im Anhang E befindet, wurde ebenso erweitert wie die Rechenverfahren für anfänglich durch Beplankungen geschützte tragende Holzbauteile in Wänden und Decken. Diese Verfahren für vollgedämmte oder ungedämmte Bauteile sind in Anhang C und D enthalten.

In den nachfolgenden Abschnitten wird die EN 1995-1-2 kapitelweise bezüglich aller sicherheitsrelevanten Aussagen beurteilt. Dies geschieht auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik im Wesentlichen durch einen Vergleich zwischen den klassifizierten Bauteilen und Vorgaben der DIN 4102-4/22 und den möglichen Rechenverfahren der EN 1995-1-2.

Den numerischen Vergleichsrechnungen zum Brandverhalten von Holzbauteilen und Verbindungsmitteln unter Brandbeanspruchung liegen - als thermische Einwirkung - die Temperaturen nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) zugrunde. Die Berechnungen zur Beurteilung des Sicherheitsniveaus der EN 1995-1-2 wurden an ausgewählten Beispielen des Holzbaus durchgeführt.

Zu jeder Berechnungsart wurde eine Beispielaufgabe in den Anhängen A bis C ausführlich dargestellt. Weitere Berechnungsbeispiele und -ergebnisse finden sich zu den jeweiligen Themen tabellarisch aufgelistet in den Tabellen des Anhangs A.

2 Abschnitt 2 – Grundlagen für Entwurf, Bemessung und Konstruktion

2.1 Anforderungen

2.1.1 Wesentliche Anforderungen

Die wesentlichen Anforderungen zum Nachweis ausreichender Feuerwiderstandsfähigkeit von Holzkonstruktionen im Brandfall nach EN 1995-1-2 entsprechen denen nach DIN 4102-2:1977-09. Für tragende Bauteile ist der Nachweis zu erbringen, dass die Tragfähigkeit während der geforderten Feuerwiderstandsdauer unter Gebrauchslast, bei nichttragenden Bauteilen unter ihrer Eigenlast (Kriterium R), erhalten bleibt. Brandabschnittsbildende Bauteile einschließlich ihrer Verbindungen sind so zu konstruieren, dass der Erhalt der Unversehrtheit (Kriterium E) und der thermischen Wärmedämmeigenschaft (Kriterium I) sowie die Begrenzung der Wärmestrahlung auf der feuerabgewandten Seite sichergestellt sind.

Nach beiden Normen sind unter bestimmten konstruktiven Bedingungen Verformungskriterien zu erfüllen.

2.1.2 Nominelle Brandbeanspruchung

In DIN 4102-2:1977-09 werden Anforderungen an tragende raumabschließende und nichttragende raumabschließende Bauteile definiert. Die Kriterien zur Erfüllung der Tragfähigkeit und des Raumabschlusses sind in DIN 4102-2:1977-09 und EN 1995-1-2 jedoch identisch. Die Tragfähigkeit gilt als erfüllt, wenn tragende Bauteile unter ihrer Gebrauchslast und nichttragende Bauteile unter ihrer Eigenlast während der definierten Normbrandbeanspruchung ihre tragende Funktion behalten. Das Kriterium der Wärmedämmung wird eingehalten, wenn während der gesamten Prüfdauer der mittlere Temperaturanstieg auf der dem Feuer abgewandten Bauteilseite 140 K nicht übersteigt und sich an keiner Stelle eine Temperaturerhöhung von 180 K einstellt.

2.1.3 Parameterabhängige Brandbeanspruchung

Nach DIN 4102-2 ist während des Brandversuchs ein mittlerer Temperaturanstieg im Brandraum nach der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) unter Einhaltung zugelassener Toleranzen vorgeschrieben. Demzufolge basieren die Tabellen des Bauteilkatalogs

zum Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit von Wänden, Decken und Dächern auf der ETK. Auch die Tabellen zum Nachweis von Holzbauteilen im Brandfall sind nach einem Rechenverfahren [40] auf der Grundlage der Einheits-Temperaturzeitkurve ermittelt worden.

Eine Zulassung parametrischer Brandbeanspruchungen zur Bemessung von Holzkonstruktionen für den Brandfall erfordert die Definition genauer Randbedingungen wie beispielsweise zu Brandlasten, Ventilationsbedingungen und Geometrieparametern.

Die in der Anmerkung unter Punkt (2) angegebenen Werte für den maximalen Temperaturanstieg während der Abklingphase $\Delta\theta_1$ von 200 K und $\Delta\theta_2$ von 240 K sind sinnvoll und werden zur nationalen Anwendung empfohlen.

2.2 Einwirkungen

Nach EN 1995-1-2 (2) sollte der Emissionskoeffizient für Oberflächen aus Holz, Holzwerkstoffen und Gipsplatten mit 0,8 in Ansatz gebracht werden.

Zwei Medien unterschiedlicher Temperatur tauschen gegenseitig Energie durch Strahlung aus. Die Abgabe der Wärmestrahlung ist von der Temperatur sowie der Größe und Struktur der Oberfläche abhängig. Der sogenannte „schwarze Körper“ erreicht die maximal mögliche Abstrahlung. Die physikalischen und geometrischen Einflüsse der Wärmestrahlung werden für diese Körper durch das Gesetz von Stefan-Boltzmann wie folgt zusammengefasst:

$$M_S = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

M_S spezifische Abstrahlung des schwarzen Körpers

σ Stefan-Boltzmann-Konstante

$$\sigma = 56,7 \text{ nW} / (\text{m}^2 \text{K}^4)$$

T^4 4. Potenz der Kelvin-Temperatur des Körpers

Die meisten realen Objekte sind in die Gruppe der „grauen Körper“ einzustufen. Auch die Flammenstrahlung, die beim Verbrennungsablauf durch glühende Kohlenstoffteilchen verursacht wird, kann nach [16] näherungsweise als grauer Körper behandelt werden. Graue Körper emittieren einen jeweils gleichen Anteil ε ($\varepsilon = \text{konst.} < 1$) der spektralen spezifischen Abstrahlung des schwarzen Körpers.

$$M = \varepsilon \cdot M_S = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2)$$

ε resultierender Emissionsgrad

Der resultierende Emissionsgrad ergibt sich aus dem Produkt der Emissionswerte der Flammen und des Materials. Er gibt das Verhältnis der von einem realen Körper emittierten Strahldichte zur Strahldichte eines schwarzen Körpers gleicher Temperatur an. Er ist von der Temperatur, der Oberflächenbeschaffenheit des bestrahlten Körpers, der Einstrahlungsrichtung und der Wellenlänge abhängig.

$$\varepsilon = \varepsilon_F \cdot \varepsilon_M \quad (3)$$

Werte für den Emissionsgrad von Holz werden in der Literatur wie in Tabelle 1 zusammengestellt angegeben. Für diese Angaben ergibt sich ein resultierender Emissionsgrad zwischen 0,8 und 0,9. Der durch Wärmestrahlung zwischen zwei grauen Körpern transportierte Wärmestrom nimmt mit steigendem Emissionsgrad zu. Die Größe des Zuwachses auf die Temperaturentwicklung von Holzbauteilen im Brandfall ist jedoch von untergeordneter Bedeutung. Vergleichsrechnungen in Form von FE-Simulationen [35] haben gezeigt, dass der Ansatz eines Emissionskoeffizienten von 0,8 zu sinnvollen Ergebnissen führt.

Tabelle 1: Emissionswerte

Quelle	Emissionswert der Flammen ε_F	Emissionswert des Materials ε_M
NAD zu DIN V ENV 1991-2-2 [11]	0,8	0,9
Kollmann [25]	-	0,8 bis 0,9
VDI-Wärmeatlas [44]	0,6 bis 1,0	Eiche gehobelt: 0,90 für T = 273 bis 366 K Buche: 0,91 für T = 343 K

2.3 Bemessungswerte der Materialeigenschaften und –beanspruchbarkeiten

Grundlage einer Brandschutzbemessung von Holzkonstruktionen nach DIN 4102-4: 1994-03 ist ein Nachweis unter Normaltemperaturen nach DIN 1052:1988-04. Die Bemessung nach DIN 1052:1988-04 basiert auf einem deterministischen Sicherheitskonzept mit einem Ansatz globaler Sicherheiten auf der Seite der Tragwiderstände. Der

Nachweis von Holzkonstruktionen nach EN 1995-1-1 erfolgt unter Anwendung eines semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts. Dieses Verfahren berücksichtigt:

- Die Wahrscheinlichkeit des Zusammenwirkens unterschiedlicher Einwirkungen durch Kombinationsbeiwerte ψ
- Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen γ_F
- Teilsicherheitsbeiwerte der Materialien γ_M

Tragende Bauteile versagen bei Brandbeanspruchung erst ab einer gewissen Brandausbildung, in der Regel ist hierzu ein Vollbrand im Brandraum erforderlich. Die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Vollbrands während der Lebensdauer eines Tragwerkes ist sehr gering. Aus diesem Grunde kann für Bauteile im Brandfall eine höhere Versagenswahrscheinlichkeit als bei der Bemessung unter Normaltemperaturen akzeptiert werden. Diesem Umstand wird bei einer Bemessung nach DIN EN 1995-1-2 durch die Festlegung geringerer Kombinationsbeiwerte $\psi_{1,1}$, $\psi_{2,1}$ und Teilsicherheitsbeiwerte γ_F auf der Einwirkungsseite sowie durch höhere Materialfestigkeiten und geringere Teilsicherheitsbeiwerte γ_M auf der Widerstandsseite Rechnung getragen. Die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte betragen 1,0. Die Materialwiderstände sind mit den 20%-Fraktilwerten der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften anzusetzen.

Der Nachweis von Holzbauteilen nach DIN 4102-4 für den Brandfall erfolgt über eine tabellarische Vorgabe von Mindestquerschnittsbreiten zum Erreichen der geforderten Feuerwiderstandsdauer in Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades der Bemessung unter Normaltemperaturen, der Abstützungsabstände und des Verhältnisses von Höhe zu Breite des Querschnitts. Den Tabellen zum Nachweis von Holzbauteilen im Brandfall liegen rechnerisch vereinbarte Mittelwerte der Festigkeiten und Steifigkeiten ausschließlich für Vollholz und Brettschichtholz der Güteklasse II zugrunde. Materialeigenschaften für Holz der Güteklasse I sind in den Tabellen nicht enthalten, eine Einschränkung der Anwendung ist jedoch nicht geregelt. Rechenwerte der Materialeigenschaften für Holz und Holzwerkstoffe im Brandfall sowie deren Abnahme bei Temperaturerhöhung sind in DIN 4102-4 nicht festgelegt, da diese für den Nachweis im Brandfall nicht benötigt werden.

Inwieweit die unterschiedlichen Festlegungen zu den Materialeigenschaften das Sicherheitsniveau beeinflussen, kann nur anhand einer ganzheitlichen Betrachtung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Festlegungen zu den Einwirkungen und dem Sicherheitskonzept der Bemessung erfolgen. Hierzu wurden umfangreiche Vergleichsrechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

2.4 Nachweismethoden

2.4.1 Allgemeines

Für die maßgebende Brandbeanspruchungsdauer ist nach DIN 4102-4 und EN 1995-1-2 nachzuweisen, dass die Tragfähigkeit sowie falls gefordert die Anforderungen an die Isolation und den Raumabschluss unter den gegebenen Beanspruchungen gewährleistet sind. Nach DIN 4102-4 erfolgt dieser Nachweis für Wände, Decken, Dächer und Holzbauteile in tabellarischer Form, nach EN 1995-1-2 anhand einer Bemessung für den Brandfall. Alternativ ist in beiden Fällen ein Nachweis anhand von Brandversuchen möglich.

2.4.2 Bauteilberechnung

Nach DIN 4102-4 ist der Nachweis für den Brandfall mit den vollen Einwirkungen der Bemessung unter Normaltemperaturen durchzuführen.

Im Brandfall kann, wie in Abschnitt 2.3 beschrieben eine höhere Versagenswahrscheinlichkeit akzeptiert werden. Diesem Umstand wird bei einer Bemessung nach EN 1995-1-2 auf der Einwirkungsseite durch die Festlegung geringerer Kombinationsbeiwerte $\psi_{1,1}$, $\psi_{2,1}$ und Teilsicherheitsbeiwerte γ Rechnung getragen.

Tabelle 2: Empfehlungen für Kombinationsbeiwerte häufig auftretender Einwirkungen im Hochbau nach DIN EN 1990:2002-10

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten im Hochbau			
Kategorie A: Wohngebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: Bürogebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: Versammlungsbereiche	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: Verkaufsflächen	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: Lagerflächen	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: Fahrzeuggewichte ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie F: 30 kN < Fahrzeuggewicht ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: Dächer	0	0	0
Schneelasten im Hochbau			
Finnland, Island, Norwegen, Schweden	0,7	0,5	0,2
Orte über 1000 m über NN	0,7	0,5	0,2
Orte niedriger als 1000 m über NN	0,5	0,2	0
Windlasten im Hochbau	0,6	0,2	0

Die Kombinationsbeiwerte zur Berücksichtigung des gleichzeitigen Auftretens veränderlicher Einwirkungen sind im Brandfall für übliche Einwirkungen im Hochbau deutlich geringer als die Kombinationsbeiwerte ψ_0 bei einer Bemessung unter Normaltemperaturen.

Der Brandfall ist als außergewöhnliche Bemessungssituation zu betrachten. Nach DIN EN 1990:2002, Gleichungen (6.11a) und (6.11b) gilt:

$$E_{d,fi} = E \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P \oplus A_d \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad (4)$$

- $E_{d,fi}$ Bemessungswert der Beanspruchungen im Brandfall
- G_k charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung
- P Vorspannkraft
- A_d Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung
- $Q_{k,1}$ charakteristischer Wert der maßgebenden veränderlichen Einwirkung
- $Q_{k,i}$ charakteristischer Wert der begleitenden veränderlichen Einwirkungen
- ψ Kombinationsbeiwert

Nach DIN EN 1991-1-2:2002 Abschnitt 4.3.1(2) darf für die maßgebende Größe der veränderlichen Einwirkung die quasi ständige Größe $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ oder alternativ die häufige Größe $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ verwendet werden. Welche der beiden Größen der Kombinationsregel zugrunde zu legen ist, kann im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die Verwendung der quasi ständigen Größe $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ wird empfohlen. Inwieweit die Anwendung der z.T. deutlich geringeren Kombinationsbeiwerte $\psi_{2,1}$ Auswirkungen auf das Sicherheitsniveau im Vergleich zu einem Nachweis nach DIN 4102-4 hat, wird anhand von Vergleichsrechnungen in den nachfolgenden Abschnitten analysiert und bewertet.

Vereinfachend können nach Absatz (2) die Beanspruchungen $E_{d,fi}$ aus dem Bemessungswert der Beanspruchungen unter Normaltemperatur ermittelt werden.

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (5)$$

- $E_{d,fi}$ Bemessungswert der Beanspruchungen im Brandfall
- E_d Bemessungswert der Beanspruchungen bei Normaltemperatur

$$E_d = E \left(\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad (6)$$

- η_{fi} Abminderungsfaktor für den Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall

Für den Abminderungsfaktor η_{fi} werden Beziehungen in Abhängigkeit des Verhältnisses der charakteristischen Werte der vorherrschenden unabhängigen veränderlichen

Einwirkung zu den ständigen Einwirkungen angegeben. Zur Vereinfachung wird ein Wert η_{fi} von 0,6 empfohlen. Ausgenommen hiervon sind Bereiche mit größeren Nutzlasten der Kategorie E nach EN 1991-2-1. Für diese sollte η_{fi} mit einem Wert von 0,7 angesetzt werden. Für alle übrigen Baustoffe sind für den Brandfall grundsätzlich 70% der Einwirkungen unter Normaltemperaturen zu berücksichtigen. Die Reduzierung der Einwirkungen für den Holzbau auf nur 60% der kalten Einwirkungen ist auf das geringe Eigengewicht und das damit verbundene günstige Verhältnis von Eigenlasten zu den veränderlichen Lasten zurückzuführen. Für alle übrigen Baustoffen ist η_{fi} entsprechend den Festlegungen in den jeweiligen Eurocodes mit 0,7 anzusetzen.

Die Ermittlung des Bemessungswertes der Einwirkungen nach der vereinfachten Methode führt im Vergleich zur Anwendung der genauen Gleichung (4) im Allgemeinen zu deutlich höheren Einwirkungen, da die meisten veränderlichen Einwirkungen im Brandfall nur mit einem geringen prozentualen Anteil zu berücksichtigen bzw. ganz zu vernachlässigen sind. Für kleine Querschnitte wird aufgrund des im Vergleich zum Ausgangsquerschnitt geringen Restquerschnitts für eine geforderte Feuerwiderstandsdauer häufig die Bemessung im Brandfall gegenüber der Bemessung unter Normaltemperaturen maßgebend. Für diese Querschnitte ist es sinnvoll, die Bemessungsschnittgrößen im Brandfall nach der genauen Methode nach Gleichung (4) zu bestimmen. Für große Querschnitte ist in der Regel die „kalte“ Bemessung maßgebend, so dass hier der Brandfall sehr schnell auf der Grundlage des vereinfachten Bemessungswertes der Einwirkungen nach Gleichung (5) überprüft werden kann. Die Unterschiede sollen anhand eines Beispiels gezeigt werden:

Betrachtet wird ein unter 45° geneigter Sparren, der sich in 16 m Höhe über Gelände befindet.

Charakteristische Einwirkungen als Streckenlasten senkrecht zum Sparren:

$$g_{k,90} = g_k \cdot \cos 45^\circ = 0,71 \text{ kN/m}$$

$$s_{k,90} = s_k \cdot \cos 45^\circ = 0,24 \text{ kN/m}$$

$$w_{k,90} = w_k = 0,56 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert der Einwirkungen (maßgebend ist die Kombination mit Windlast als führende veränderliche Einwirkung) nach Gleichung (6):

$$\begin{aligned} q_{d,90} &= 1,35 \cdot g_{k,90} + 1,5 \cdot w_{k,90} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_{k,90} \\ &= 1,35 \cdot 0,71 + 1,5 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,24 = 1,98 \text{ kN/m} \quad (\Rightarrow 100\%) \end{aligned}$$

Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall (maßgebend ist die Kombination mit Windlast als führende veränderliche Einwirkung) nach Gleichung (4):

$$\text{für } \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}:$$

$$\begin{aligned}q_{d,90,fi} &= 1,0 \cdot g_{k,90} + 0,2 \cdot w_{k,90} + 0 \cdot s_{k,90} \\ &= 1,0 \cdot 0,71 + 0,2 \cdot 0,56 + 0 \cdot 0,24 = 0,82 \text{ kN/m} \quad (\Rightarrow 41\%) \end{aligned}$$

für $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$:

$$\begin{aligned}q_{d,90,fi} &= 1,0 \cdot g_{k,90} + 0 \cdot w_{k,90} + 0 \cdot s_{k,90} \\ &= 1,0 \cdot 0,71 + 0 \cdot 0,56 + 0 \cdot 0,24 = 0,71 \text{ kN/m} \quad (\Rightarrow 36\%) \end{aligned}$$

vereinfachter Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall nach Gleichung (5):

$$q_{d,90,fi} = 0,6 \cdot q_{d,90} = 0,6 \cdot 1,98 = 1,19 \text{ kN/m} \quad (\Rightarrow 60\%)$$

Auf die unterschiedlichen Regelungen der EN 1995-1-2 in Bezug auf die Ermittlung des Bemessungswertes der Beanspruchung im Brandfall und die damit verbundenen Auswirkungen auf das Sicherheitsniveau im Vergleich zur Bemessung nach DIN 4102-4 wird in den Vergleichsrechnungen der folgenden Abschnitte detailliert eingegangen.

2.4.3 Berechnung von Teilen des Tragwerks

keine Anmerkungen

2.4.4 Berechnung des gesamten Tragwerks

keine Anmerkungen

3 Materialeigenschaften

3.1 Allgemeines

keine Anmerkungen

3.2 Mechanische Eigenschaften

keine Anmerkungen

3.3 Thermische Eigenschaften

keine Anmerkungen

3.4 Abbrandtiefe

Nachfolgend wird auf einzelne Abschnitte bzw. Unterabschnitte oder Detailpunkte eingegangen, die das Sicherheitsniveau direkt oder indirekt berühren. Aussagen in diesen Abschnitten - die gegenüber der DIN V ENV 1995-1-2 unverändert geblieben sind - werden hier nicht aufgeführt.

3.4.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden die allgemeinen Grundlagen des Abbrandverhaltens von Holz beschrieben.

Grenze der Abbrandzone

Als Grenze der Abbrandzone wird nach 3.4.1(4) die 300 °C-Isotherme angenommen. In der Fachliteratur gibt es verschiedene Untersuchungen zu diesem Thema. Eine Auswahl davon wird hier aufgelistet.

Hall [23] schätzte 1968 die Temperaturen an der Abbrandgrenze auf 275 – 300 °C. Schaffer bestimmte die Abbrandtemperatur in [38] bei 288 °C und nutzte sie im CMA-Programm [49].

Lache stellte in [30] folgende Temperatur an der Abbrandgrenze bei einseitiger Brandbeanspruchung nach den gemessenen Temperaturprofilen fest:

Fichte zwischen ca. 235 und 260 °C Buche zwischen ca. 225 und 250 °C
Eiche zwischen ca. 260 und 275 °C Meranti zwischen ca. 250 und 260 °C

Lingens erstellte in [31] Temperaturprofile von verschiedenen Hölzern und definierte unterschiedliche Zonen des thermisch belasteten Holzes. In der Zone 2, die er als „Abbrandbereich“ bezeichnet, herrschten die in Tabelle 3 aufgelisteten Temperaturen.

Tabelle 3: Temperaturen im Abbrandbereich nach Lingens [31]

Zone 2	
Breite der Zone	Temperaturbereich
mm	°C
1,5	204 - 350
1,0 - 1,5	198 - 327
1,5 - 2,0	182 - 355
1,5 - 2,0	157 - 261
1,5 - 2,0	180 - 338

Das Temperaturprofil eines Querschnittes aus [31] wird im Bild 1 dargestellt. Hier herrschte im Abbrandbereich eine Temperatur von ca. 300 °C.

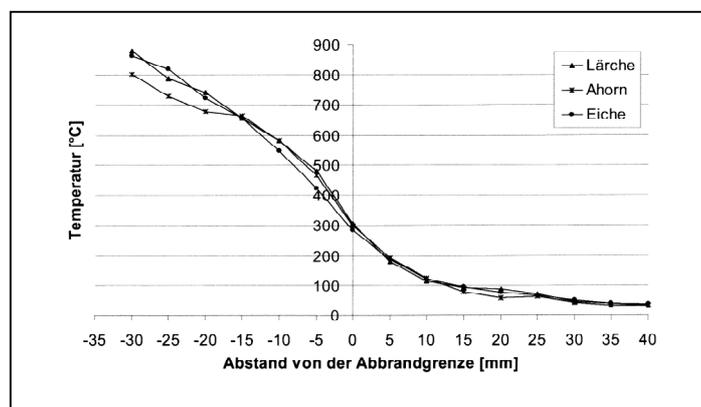


Bild 1: Temperaturprofil bis zu einer Tiefe von 40 mm eines Querschnitts nach [31]

Die Untersuchungen zeigen, dass der Abbrandbereich relativ klein ist (1 – 2 mm) und die Temperaturen hier eine sehr steile Gradienten aufweisen. Die 300 °C-Isotherme ist ein theoretisch festgelegter Wert, der nach den vorgenannten Untersuchungen eine realistische Vereinbarung darstellt.

3.4.2 Während der gesamten Branddauer ungeschützte Oberflächen

Einheitstemperaturzeitkurve (ETK)

Nach Abschnitt 3.4.1(6) gelten die Regeln des Abschnittes 3.4.2 nur für eine Brandbeanspruchung nach der ETK. Diese Einschränkung der Art der thermischen Einwirkung ist notwendig, da eine konstante Abbrandgeschwindigkeit, die allen Berechnungen der EN 1995-1-2 (mit Ausnahme der parameterabhängigen Brandbeanspruchungen nach Anhang A) zugrunde liegt, nur durch Temperaturen nach dieser thermischen Einwirkungskurve erreicht wird.

Mit zunehmender Temperatur bildet sich eine immer dicker werdende Holzkohleschicht, die wie eine Wärmedämmung wirkt, da die Wärmeleitfähigkeit der Holzkohle geringer ist als die von Vollholz. Der Effekt der Dämmung und die gleichzeitig steigenden Temperaturen beeinflussen sich gegenseitig und führen zu einer gleichmäßigen Abbrandrate.

Schaffer [39] führte eine Untersuchung mit konstanten Brandraumtemperaturen (540 °C, 820 °C und 930 °C) durch, die die vorher gemachte Aussage bestätigt. Er stellte fest, dass die Abbrandgeschwindigkeit gegenüber der ETK abnahm, da hier der Einfluss der steigenden Temperaturen fehlte.

Eckausrundungen

Bei ein-, drei- und vierseitig thermisch beanspruchten Holzbauteilen erfolgt im Eckbereich der Bauteile ein erhöhter Abbrand. Dieser Effekt wird unter anderem von Schaffer [37], Dorn und Egner [17], Fornather et al. [19], Lache [30], Haksever [22], König et al. [26] und Meyn [33] bestätigt.

Ollins [34] stellte bei seinen Abbrandversuchen fest, dass sich der Radius der Rundungen äquivalent zur Dicke der entstandenen Holzkohle verhält.

Hadvig [21] und Meyn [33] weisen in ihren Arbeiten darauf hin, dass sich bei Brandversuchen an unterschiedlichen Stellen desselben Versuchskörpers unterschiedliche Abbrandprofile ergeben haben. Dies ist auf die Wuchsunregelmäßigkeiten wie zum Beispiel Äste und Risse des natürlichen Baustoffs Holz zurückzuführen.

Die Hypothese, dass der Radius des Abbrandes der Dicke der Holzkohleschicht entspricht, ist nur eine vereinfachte Annahme, die jedoch den erhöhten Abbrand recht gut erfasst.

Je schmaler ein Holzbauteil ist, desto ungünstiger wirkt sich der verstärkte Abbrand aus, da hier eine Überlagerung der beiden Eckabbrände stattfindet.

Hält ein Bauteil die Mindestbreite nach Formel (3.3) ein, darf mit der Abbrandrate β_0 gerechnet werden, besteht jedoch die Gefahr einer Eckbrandüberlagerung – bei zu schmalen Hölzern nach (3.3) – muss mit der erhöhten ideellen Abbrandrate β_n gerechnet werden.

Abbrandgeschwindigkeit

Die EN 1995-1-2 unterscheidet bei den Abbrandgeschwindigkeiten die Größen β_0 und β_n .

β_0 ist der Bemessungswert der Abbrandrate bei Normbrandbeanspruchung nach der ETK, β_n der ideale Bemessungswert der Abbrandrate, der den Effekt der Eckausrundung sowie der Rissbildung enthält.

In die DIN 4102-22 Tabelle 74 wurden nur die Werte β_n – mit der größeren Abbrandgeschwindigkeit – der Tabelle 3.1 der EN 1995-1-2 übernommen.

Im geschlossenen System der EN 1995-1-2 werden jedoch beide Abbrandraten benötigt. Der Grundwert β_0 wird zum Beispiel zur Ermittlung der ideellen Abbrandrate β_n nach Formel (C.1) und (C.2) des Anhangs C benötigt. In diese Formeln fließen verschiedene Randbedingungen, wie zum Beispiel der Querschnittsfaktor k_s oder der Dämmungsfaktor k_2 , ein und verändern damit den Grundwert β_0 der Abbrandrate.

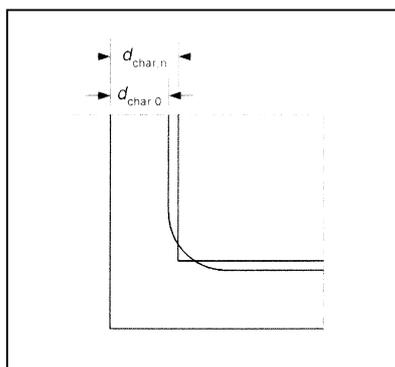


Bild 2: Bemessungswert der Abbrandtiefe $d_{\text{char},0}$ für den eindimensionalen Abbrand sowie die ideelle Abbrandtiefe $d_{\text{char},n}$

Für Holzwerkstoffplatten sind in Tabelle 3.1 der Norm Abbrandgeschwindigkeiten angegeben, die für eine charakteristische Rohdichte von 450 kg/m^3 und eine Dicke von 20 mm bestimmt wurden. Abbrandgeschwindigkeiten anderer Rohdichten und Plattendicken werden durch die Formeln (3.5) und (3.6) korrigiert. Diese Korrekturgleichungen

wurden in die DIN 4102-22 Tabelle 74 (9.3) und (9.4) übernommen. [red. Anm.: Die Gleichung (3.6) der EN 1995-1-2 wurde in DIN 4102-4/A1 und DIN 4104-22 versehentlich falsch abgedruckt, eine Korrekturmitteilung ist bereits an das DIN ergangen].

In der englischen Fassung der EN 1995-1-2 Ausgabe November 2004 wird die Nutzung der Formel (3.6) durch den Text im Absatz 3.4.2(9) eingeschränkt. Um jedoch Missverständnisse über die Anwendbarkeit dieser Formel zu verhindern, sollte die ergänzende mathematische Beschreibung „ ≥ 1 “ in der deutschen Version der EN 1995-1-2 beibehalten werden und möglichst in der englischen Fassung noch ergänzt werden.

Der Einfluss der beiden vorgenannten Größen (Rohdichte und Dicke) auf die Abbrandgeschwindigkeit wird in verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen bestätigt. So führte z.B. Deppe [20] eine Untersuchung über den Einfluss von Feuerschutzmitteln auf das Brandverhalten von Holzwerkstoffen durch. Bei den Vergleichsversuchen mit unbehandelten Proben von Span- und Furnierplatten stellte er fest, dass sowohl die Rohdichte als auch die Dicke von Spanplatten einen Einfluss auf die Abbrandgeschwindigkeit haben. Den größeren Einfluss dieser beiden Faktoren hatte bei seinen Versuchen die Dicke der Platten – je dünner sie sind, desto größer ist nach seinen Forschungsergebnissen die Abbrandgeschwindigkeit.

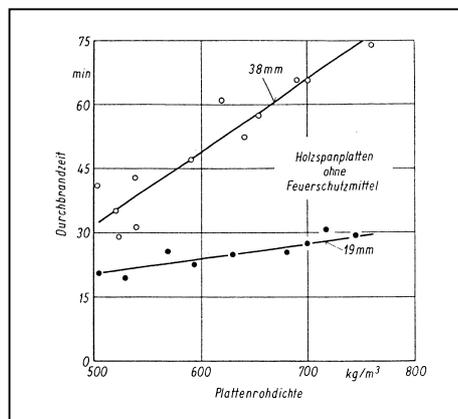


Bild 3: Durchbrandzeit von Spanplatten in Abhängigkeit der Rohdichte und der Dicke nach [20]

Teichgräber [46] kommt bei seinen Versuchen zu einer ähnlichen Feststellung. Er führte Versuche mit Spanplatten verschiedener Rohdichten durch (480 kg/m^3 bis 960 kg/m^3). Die Spanplatten mit niedriger Rohdichte erreichten ihr Temperaturmaximum schon nach 2 Minuten, die Platte mit der höchsten Rohdichte erst nach 6 Minuten – bei gleichem Leimanteil.

Der Zusammenhang zwischen Rohdichte und Abbrandgeschwindigkeit von Spanplatten konnte ebenfalls im Rahmen eines österreichischen Forschungsvorhabens aus den Jahren 1983-84 „Brandwiderstand von Verbundkonstruktionen“ [15] bestätigt werden. Die Ergebnisse der Gleichung (3.4) in Verbindung mit den Gleichungen (3.5) und (3.6) beschreiben qualitativ die physikalischen Vorgänge des Abbrandes von Plattenwerkstoffen wider und können unverändert übernommen werden.

3.4.3 Oberflächen von anfänglich vor Brandeinwirkung geschützten tragenden Balken und Stielen

3.4.3.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden Grundlagen zum Abbrandverhalten von tragenden Bauteilen beschrieben, die anfänglich durch Brandschutzbekleidungen vor dem Abbrand geschützt werden.

Es werden drei mögliche Versagensarten erklärt und in Bild (3.4) – (3.6) dargestellt. Ausführliche Erläuterungen hierzu finden sich in diesem Bericht im Abschnitt 11.1.

3.4.3.2 Abbrandraten für anfänglich geschützte Bauteile

In diesem Absatz werden Faktoren zur Erhöhung bzw. Abminderung der Abbrandgeschwindigkeiten der Tabelle 3.1 der EN 1995-1-2 angeben.

Bedingung: $t_{ch} \leq t \leq t_f$

Hier wird der Faktor k_2 definiert. Er wurde zur Minderung der Abbrandgeschwindigkeit (nach Tabelle 3.1 der Norm) von Holzbauteilen, die von Gipsbauplatten des Typs F (Feuerschutzplatten – GKF) oder Mineralwollendämmung aus Steinwolle geschützt werden, eingeführt.

- T_{ch} Beginn des Abbrandes des Bauteils
- t Zeitdauer der Brandbeanspruchung
- t_f Versagenszeitpunkt der Bekleidung

Bedingung: $t_f \leq t \leq t_a$

Trifft die oben angegebene Bedingung zu, dann sollte die Abbrandrate der Tabelle 3.1 mit dem Faktor $k_3 = 2$ multipliziert werden.

- t_a Zeitlimit

Bedingung: $t \geq t_a$

Wenn die thermische Einwirkungsdauer t größer als das Zeitlimit t_a ist, wird die Abbrandrate der Tabelle 3.1 wieder unverändert angesetzt.

Diese verschiedenen bi-linearen Abbrandmodelle des Abschnittes 3.4.3.1 wurden von König [28] aus Versuchsergebnissen entwickelt und in EN 1995-1-2 übernommen.

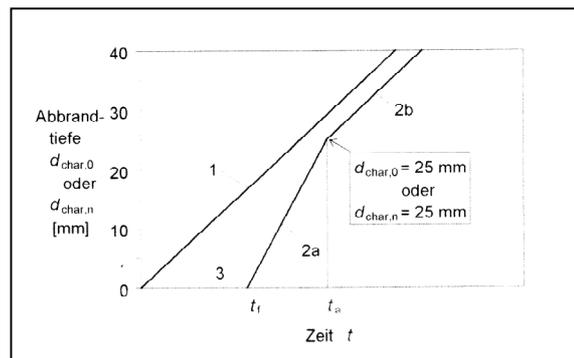
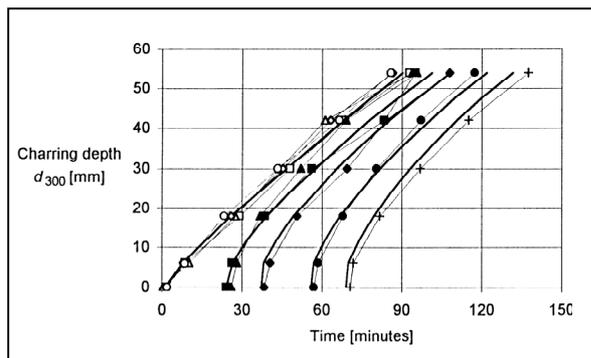


Bild 4: Abbrandergebnisse aus [28]

Bi-lineares Abbrandmodell aus [14]

Im Abschnitt 3.4.3.2(5) wird die Berechnung des Zeitlimits t_a der Bilder (3.4) – (3.6) dargestellt. Unterschieden werden zwei Eingangsvoraussetzungen: $t_{ch} = t_f$ für die Formel (3.8) oder $t_{ch} < t_f$ für die Formel (3.9).

Die vorher beschriebenen drei möglichen Versagensarten von Brandschutzbekleidungen und die dazugehörigen theoretischen Abbrandgeschwindigkeiten der tragenden Holzbauteile wurden empirisch ermittelt. Der erhöhte Abbrand nach EN 1995-1-2 spiegelt qualitativ das reale Brandverhalten von bekleideten Holzbauteilen wider. Quantitativ liegt die erhöhte Abbrandrate gegenüber der realen Abbrandgeschwindigkeit rechnerisch etwas höher, da sich gleich nach dem Versagen der Schutzbekleidung Holzkohle zu bilden beginnt. Dieser Effekt wird in der theoretischen Berechnung nicht angesetzt. Erst ab einer Abbrandtiefe von 25 mm fließt die wärmedämmende Eigenschaft der Holzkohle durch die Reduzierung der Abbrandgeschwindigkeit indirekt in die Abbrandberechnung ein. Durch diesen Ansatz bedingt, wird ein konservatives Sicherheitsniveau eingehalten.

3.4.3.3 Beginn des Abbrandes

In diesem Kapitel wird der Abbrandbeginn t_{ch} von tragenden Holzbauteilen bei der Verwendung von Brandschutzbekleidungen aus verschiedenen Werkstoffen angegeben:

- Holzwerkstoffe für ein- und mehrlagige Bekleidungen
- Gipsbauplatten Typ A, H und F für ein- und zweilagige Beplankungen
- Mineralfaserdämmung aus Steinwolle

Die Formeln (3.10) und (C.7) sind ähnlich aufgebaut und unterscheiden sich nur in der Schutzzeit von 4 Minuten. In der DIN V ENV 1995-1-2 (Ausgabe 1994) war diese Zeit (4 Minuten) noch in der allgemeinen Formel (3.7) zur Berechnung der Versagenszeit von Brandschutzbekleidungen $t_f(t_{pr})$ enthalten.

Bei diversen Versuchen in der Zeit zwischen den beiden Ausgaben der EN 1995-1-2 (Ausgabe 1997 und 2005) wurde festgestellt, dass eine Brandschutzbekleidung, die direkt auf einem stabilen Untergrund wie z.B. Balken oder Stiele befestigt ist, weniger versagensanfällig ist als z.B. die frei spannde Beplankung einer Holzrahmenwand. Aus diesem Grund wurde nur die Schutzzeit von 4 Minuten bei den Berechnungsverfahren nach Anhang C und D beibehalten.

Die Angaben des Abschnittes 3.4.3.3(2) sind als Grundlage in die Berechnung zu den Anhängen C und D eingeflossen und wurden so indirekt mit überprüft. Die Ergebnisse der Berechnungen mit den Formeln (3.11) und (3.12) sind in den Abschnitten 10 und 11 sowie den Tabellen 1 – 3b des Anhangs A enthalten.

In den Abschnitten (3) und (4) werden die prozentualen Abminderungswerte der ansetzbaren Dicke der zweiten Plattenschicht angegeben. Durch die Vorwärmung und die damit verbundenen thermischen Effekte, bietet die zweite Plattenschicht nicht den gleichen Schutz über dieselbe Zeitdauer wie die erste Platte. Die prozentuale Abminderung der Dicke deckt diesen Vorwärmeeffekt ab.

[Red. Anm.: Entgegen der Angaben der engl. Fassung in 3.4.3.3(2) fehlt der Verweis auf die Plattentypen A und H nach EN 520, er ist in der deutschen Fassung zu ergänzen.]

3.4.3.4 Versagenszeiten von Brandschutzbekleidungen

In diesem Abschnitt wird die Versagenszeit t_f für Brandschutzbekleidungen aus verschiedenen Werkstoffen angegeben.

Einfluss auf die Dauer der Schutzwirkung haben:

- Abbrand oder mechanischer Abtrag der Bekleidung
- unzureichende Verankerung
- unzureichende Verbindungsmittelabstände

Die Versagenszeit wird für folgende Werkstoffe angegeben:

- Platten aus Holzwerkstoffen $t_f = t_{ch}$
- Gipsplatten Typ A und H: $t_f = t_{ch}$

t_{ch} Beginn des Abbrandes des Bauteils

t_f Versagenszeitpunkt der Bekleidung

Der Plattentyp F nach der EN 520 wird hier nicht angegeben. Er weist aber bessere thermische Eigenschaften auf als Typ A und H. Da der Plattentyp in früheren Fassungen enthalten war, sollte er in allen Sprachfassungen wieder ergänzt werden.

Die Verankerungslänge von Verbindungsmitteln sollte mindestens 10 mm im unverbrannten Holz betragen. Die gesamte Mindestlänge des Verbindungsmittels wird nach Formel (3.16) zu: $l_{f,req} = h_p + d_{char,n} + l_a$ ermittelt.

Diese Länge ist im Brandfall ausreichend, um die Befestigung der Beplankung bis zum Ende ihrer Schutzwirkung zu gewährleisten. Das Sicherheitsniveau der DIN 4102-4 wird somit eingehalten.

3.5 Klebstoffe

Im Abschnitt 3.5 werden Klebstoffe beschrieben, die zum Verkleben von Holz auf Holz, Holz auf Holzwerkstoff und Holzwerkstoff auf Holzwerkstoff zulässig sind. Sie dürfen bei thermischer Einwirkung nicht versagen. Die Klebstoffe der Typen Phenol-Formaldehyd und Aminoplaste Typ 1 werden direkt genannt.

Phenol-Formaldehydharze haben nach [47] eine Zersetzungstemperatur von 270 bis 400 °C. Bei den Aminoplasten (UF, MF) liegt die Zersetzungstemperatur bei ca. 200 bis 250 °C (UF) und ab 300 °C bei (MF).

Die Temperaturen in der Abbrandzone bewegen sich zwischen 250 und 300 °C. Die genannten Leime liegen mit ihrer Versagenstemperatur deshalb in einem ausreichend günstigen thermischen Bereich.

4 Bemessungsverfahren für mechanische Beanspruchbarkeit

4.1 Allgemeines

Der bisherige Nachweis von Holzbauteilen für den Brandfall nach DIN 4102-4 erfolgt über eine tabellarische Vorgabe von Mindestquerschnittsbreiten zum Erreichen der geforderten Feuerwiderstandsdauer in Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades der Bemessung unter Normaltemperaturen. Die Tabellen beruhen auf einem Rechenverfahren, das von Scheer et al. [40] in Anlehnung an die Angaben des Holz Brandschutz Handbuchs [29] Abs. 5.5.5 in der Ausgabe von 1983 entwickelt wurde. Die Richtigkeit dieser Methode wurde durch Ergebnisse aus Versuchen bestätigt, die von Dorn und Egner [18], Stanke, Rudolphi und Klement [44] sowie am Institut für Baustoffkunde und Stahlbeton der Technischen Universität Braunschweig [32] in den Jahren 1967-1969 durchgeführt wurden.

Den Bemessungstabellen der DIN 4102-4 liegen Tragsicherheitsnachweise unter Ansatz des Restquerschnitts in Abhängigkeit der Feuerwiderstandsdauer und den im Brandfall abgeminderten Festigkeiten zugrunde. Die rechnerischen Abbrandgeschwindigkeiten wurden mit 0,7 mm/min für Brettschichtholz und 0,8 mm/min für Vollholz aus Nadelholz festgelegt. Als Ausgangswerte der Festigkeiten im Brandfall wurden rechnerisch vereinbarte Bruchfestigkeiten definiert. Sie sind für Zug, Druck und Biegung als die 3,5fachen zulässigen Spannungen nach DIN 1052:1988-04 angenommen worden. Die rechnerischen Festigkeitsabnahmen sind in der Ermittlung der tabellarischen Mindestquerschnittsbreiten zum Erreichen einer vorgegebenen Feuerwiderstandsdauer anhand der mittleren Temperatur des Restquerschnitts entsprechend Bild 5 berücksichtigt. Die mittlere Temperatur des Restquerschnitts berechnet sich zu:

$$T_m = \left(1 + \kappa \cdot \frac{b}{h}\right) \cdot \left[20 + \frac{180 \cdot (v \cdot t_f)^\alpha}{(1 - \alpha) \cdot \left(\frac{b}{2} - v \cdot t_f\right)} \cdot \left\{ \left(\frac{b}{2}\right)^{1-\alpha} - (v \cdot t_f)^{1-\alpha} \right\} \right] \quad (7)$$

- κ Faktor zur Berücksichtigung der Brandbeanspruchung
 = 0 für zweiseitige Brandbeanspruchung
 = 0,25 für dreiseitige Brandbeanspruchung
 = 0,40 für vierseitige Brandbeanspruchung
- α Exponent aus Regressionsanalyse
 = $0,398 \cdot t_f^{0,62}$

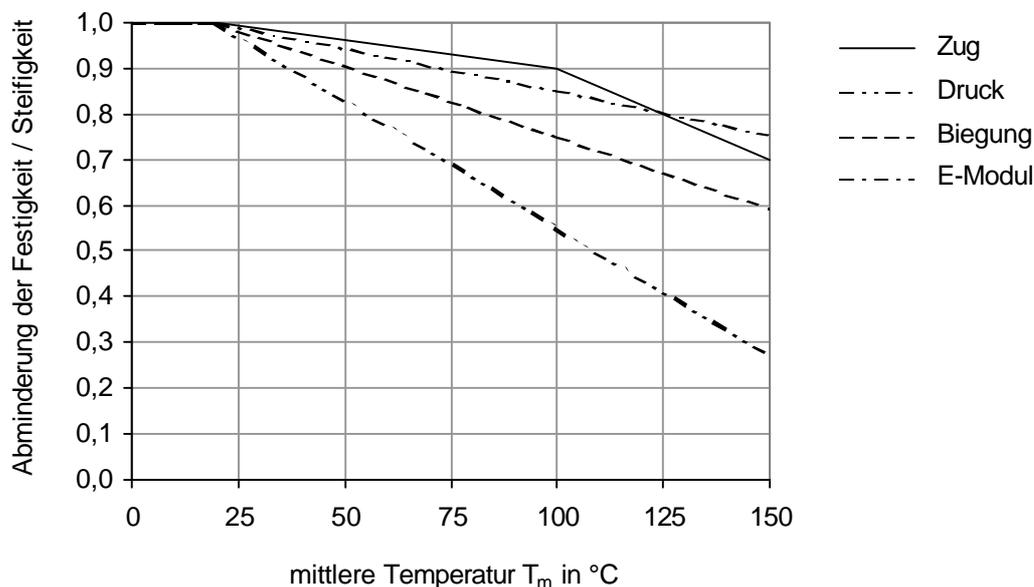


Bild 5: Rechnerische Festigkeits- und Steifigkeitsabnahmen in Abhängigkeit von der mittleren Temperatur nach [40]

Die Bedingungsgleichung für den Nachweis einer bestimmten Feuerwiderstandsdauer von Holzbauteilen, auf deren Grundlage die Tabellen der Mindestquerschnittsbreiten basieren, lautet beispielsweise für eine kombinierte Beanspruchung aus Druck und Biegung:

$$\frac{N}{A(t_f)} + \frac{M}{k_B(t_f) \cdot 1,1 \cdot \beta_B(T_m)} \leq 1,0 \quad (8)$$

$\sigma_f(t_f)$ Traglastspannung bei druckbeanspruchten Bauteilen im Brandfall

$k_B(t_f)$ Kippschlankheitsbeiwert in Abhängigkeit des Kippschlankheitsgrades im Brandfall

$\beta_B(T_m)$ rechnerische (vereinbarte) Biegebruchfestigkeit im Brandfall

$$\beta_B(T_m) = (1,0625 - 0,003125 \cdot T_m) \cdot \beta_B \quad \text{für } 20^\circ\text{C} \leq T_m \leq 150^\circ\text{C}$$

Auf der Grundlage des dargestellten Rechenverfahrens wurden für die DIN 4102-4 Bemessungstabellen erarbeitet, die ausgehend vom jeweiligen Ausnutzungsgrad der Bemessung unter Normaltemperaturen, dem Abstützungsabstand sowie dem Seitenverhältnis h/b für unterschiedliche Beanspruchungen die Mindestquerschnittsbreiten zum Erreichen einer bestimmten Feuerwiderstandsdauer angeben.

Im Gegensatz zu diesen bisherigen nationalen Regelungen zum Nachweis der Feuerwiderstandsdauer von Holzbauteilen anhand von Tabellen ist der Nachweis nach EN 1995-1-2:2005 auf der Grundlage von Bemessungsverfahren geregelt. Die Berechnung der Bauteile erfolgt unter Berücksichtigung der thermischen Einwirkung und des Abbrands. Die Norm enthält verschiedene vereinfachte Verfahren zur Berücksichtigung des Abbrandes und der infolge Temperaturerhöhung im Querschnitt unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften während einer Brandbeanspruchung. Die Regelung über Bemessungsverfahren bietet den Vorteil einer differenzierten Nachweisführung unter Berücksichtigung verschiedener konstruktionsbedingter Parameter, zu denen beispielsweise die Wahl verschiedener Festigklassen des Holzes, die Einbausituation u. ä. zählen können. Der Anwender kann zwischen zwei Bemessungsverfahren wählen:

- Reduced cross-section method (Methode mit reduziertem Querschnitt)
- Reduced properties method (Methode mit reduzierten Materialeigenschaften)

Bei der Bemessung mit reduziertem Restquerschnitt werden die Festigkeiten und Steifigkeiten des verbleibenden Restquerschnitts nicht in Abhängigkeit der Temperatureinwirkung verringert. Der Verlust an Festigkeit und Steifigkeit unter Brandbeanspruchung wird durch eine erhöhte Abbrandtiefe berücksichtigt. Der Nachweis erfolgt somit nicht für den eigentlich verbleibenden Restquerschnitt sondern für einen ideellen Restquerschnitt mit den Materialkennwerten unter Normaltemperatur.

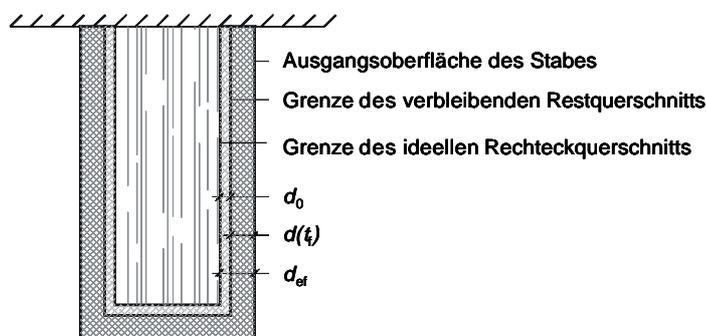


Bild 6: Definition von verbleibendem und ideellem Restquerschnitt am Beispiel dreiseitiger Brandbeanspruchung

Bei der Bemessung mit reduzierten Festigkeiten und Steifigkeiten wird die Tragfähigkeit des Restquerschnitts unter Berücksichtigung der Abnahme der Festigkeiten und Steifigkeiten in Abhängigkeit von der mittleren Temperatur des verbleibenden Restquerschnitts ermittelt. Die verminderten Tragfähigkeiten für Biegung, Druck und Zug sowie die verminderten Elastizitäts- und Schubmoduln sind unter Verwendung des Faktors p/A_r , dem Verhältnis von beflammtem Restquerschnittsumfang p zur Restquerschnittsfläche A_r , zu bestimmen. Die Verringerung der Festigkeiten und Steifigkeiten mit zunehmender Temperatur entsprechen denen nach DIN 4102-4. Der Faktor p/A_r

berücksichtigt indirekt die mittlere Temperatur des verbleibenden Restquerschnitts. Die Berücksichtigung einer erhöhten Abbrandtiefe ist bei dieser Vorgehensweise dementsprechend nicht erforderlich.

Für die derzeit gültige Fassung der DIN 4102-4 vom März 1994 stellt die DIN 1052-1 in der Fassung vom April 1988 eine mitgeltende Norm dar. Im Oktober 1996 ist die Änderung 1 zur DIN 1052 erschienen, in der zum Einen Materialkennwerte für maschinensortierte Hölzer eingeführt und zum Anderen Änderungen in den Materialkennwerten für visuell sortiertes Holz vorgenommen wurden. Aufgrund dieser Veränderungen sind die Tabellen der DIN 4102-4 nur mit großen Einschränkungen anwendbar.

Darüber hinaus werden derzeit in Deutschland die nationalen Bemessungsnormen für den „kalten Zustand“ entsprechend den Eurocodes auf das semiprobabilistische Sicherheitskonzept umgestellt. Im August 2004 ist die Neufassung der DIN 1052 erschienen. Sie ist seit 2005 in der Liste der Technischen Baubestimmungen verankert und wird nach einer Übergangsfrist von ca. drei Jahren zum 01.01.2008 die derzeitige Fassung der DIN 1052:1988-04 ablösen. Auch mit der Neufassung der DIN 1052 werden Teile von DIN 4102-4 in der vorliegenden Form nicht mehr anwendbar sein.

Die Anwendbarkeit der DIN 4102-4 in Bezug auf die Neufassung der DIN 1052:2004-08 wurde über ein Anwendungsdokument DIN 4102-22 geregelt.

Für den Bereich Holzbau entfallen als wesentliche Änderung zur bisherigen Vorgehensweise die Tabellen zur Ermittlung der Mindestbreiten von Holzbauteilen zum Erreichen der geforderten Feuerwiderstandsdauer. Sie wurden in Anlehnung an die Regelungen der europäischen Brandschutznormung durch zwei Bemessungskonzepte ersetzt.

1. Bemessung mit ideellem Restquerschnitt
2. Bemessung mit reduzierten Festigkeiten und Steifigkeiten

Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da die DIN 1052:2004-08 eine Reihe von Festigkeitsklassen sowohl für Vollholz als auch für Brettschichtholz angibt. Bei einer Regelung entsprechend der DIN 4102-4:1994-03 wären eine Vielzahl von Tabellen erforderlich. Die Bemessungsverfahren bieten den Vorteil der Allgemeingültigkeit. Bemessungshilfen in Form von Programmen oder Tabellen für übliche Bemessungsfälle können nach wie vor bereitgestellt werden.

Die Grundlagen der Bemessungsverfahren nach DIN 4102-22 basieren auf einer ersten Entwurfsfassung zu EN 1995-1-2. Diese legt teilweise ungünstigere Eingangsparmeter fest. So wird beispielsweise die vereinfachte Einwirkung im Brandfall mit 65% der Einwirkung unter Normaltemperaturen angegeben. Die Bemessung nach

DIN 4102-22 führt somit stets zu konservativeren Ergebnissen im Vergleich zu EN 1995-1-2. Aus Gründen der Vollständigkeit und zur Bestätigung des Sicherheitsniveaus der DIN 4102-22 im Vergleich zu den bisherigen Regelungen der DIN 4102-4 werden die Bemessungsverfahren sowohl für Holzbauteile als auch für Verbindungen in die Vergleichsbetrachtungen mit einbezogen.

4.2 Vergleichsbetrachtungen zum Nachweis der Feuerwiderstandsdauern von Holzbauteilen nach DIN 4102-4 und DIN EN 1995-1-2

Zur Beurteilung des Sicherheitsniveaus der neuen europäischen Regelungen zur Bemessung von Holzbauteilen im Brandfall im Vergleich zu den bisherigen nationalen Vorschriften der DIN 4102-4 wurden umfangreiche Vergleichsrechnungen durchgeführt. Die Beispielbemessungen können dem Anhang B entnommen werden.

In den Vergleichsnachweisen wurde der Einfluss unterschiedlicher Parameter auf die Auslastung der Bemessung für den Brandfall untersucht. Hierzu zählen im Einzelnen:

- die Art der Brandbeanspruchung (dreiseitige oder vierseitige Brandbeanspruchung)
- die Art der Beanspruchung (Zug, Druck, Biegung und kombinierte Beanspruchungen aus Normalkraft und Biegung)
- die Festigkeitsklasse des Holzes
- die Ausführung in Vollholz oder Brettschichtholz
- die Wahl zwischen homogenem und kombiniertem Brettschichtholz
- das verwendete Verfahren zur Ermittlung des Bemessungswerts der Beanspruchungen
- die Festlegung zur Ermittlung der maßgebenden Größe der veränderlichen Einwirkung als quasi ständige Größe $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ oder alternativ als häufige Größe $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$
- die Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) der veränderlichen Einwirkung
- die Größe des Lastverhältnisses zwischen ständigen und veränderlichen Lasten und
- das Bemessungsverfahren zum Nachweis der Feuerwiderstandsdauer von Holzbauteilen im Brandfall

4.2.1 Einfluss der Methoden zur Ermittlung der Einwirkungen und der Bemessungsverfahren

Prinzipiell kann anhand der Vergleichsbetrachtungen festgestellt werden, dass eine Kombination der Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen nach der vereinfachten Methode nach EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 Anmerkung 2 mit einem Faktor η_{fi} von 0,6 in Verbindung mit dem vereinfachten Verfahren der Bemessung mit reduziertem Querschnitt stets zu einer deutlich höheren Auslastung im Vergleich zum Nachweis nach DIN 4102-4 führt. Hier liegt die Bemessung im Vergleich zu den bisherigen nationalen Regelungen deutlich auf der sicheren Seite. Sowohl für eine Kombination aus genauer Ermittlung der Einwirkungen und vereinfachtem Bemessungsverfahren als auch für eine vereinfachte Ermittlung der Einwirkungen und der genauen Bemessungsmethode ergeben sich nach Eurocode Auslastungen für den Nachweis von Holzbauteilen im Brandfall, die im Wesentlichen denen der DIN 4102-4 entsprechen. Eine Kombination der genauen Verfahren sowohl für die Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen als auch der Bemessungsmethode können zu einer Auslastung der Bemessung nach EN 1995-1-2 führen, die geringfügig unter der nach den Bemessungstabellen der DIN 4102-4 liegt. Ursache für den geringeren Auslastungsgrad ist die wirklichkeitsnähere Berücksichtigung der veränderlichen Einwirkungen im Brandfall nach EN 1995-1-2. Nach DIN 4102-4 sind auch für einen Nachweis im Brandfall alle veränderlichen Einwirkungen in voller Höhe zu berücksichtigen, so dass die beschriebene Unterschreitung keine Verringerung des Sicherheitsniveaus bedeutet.

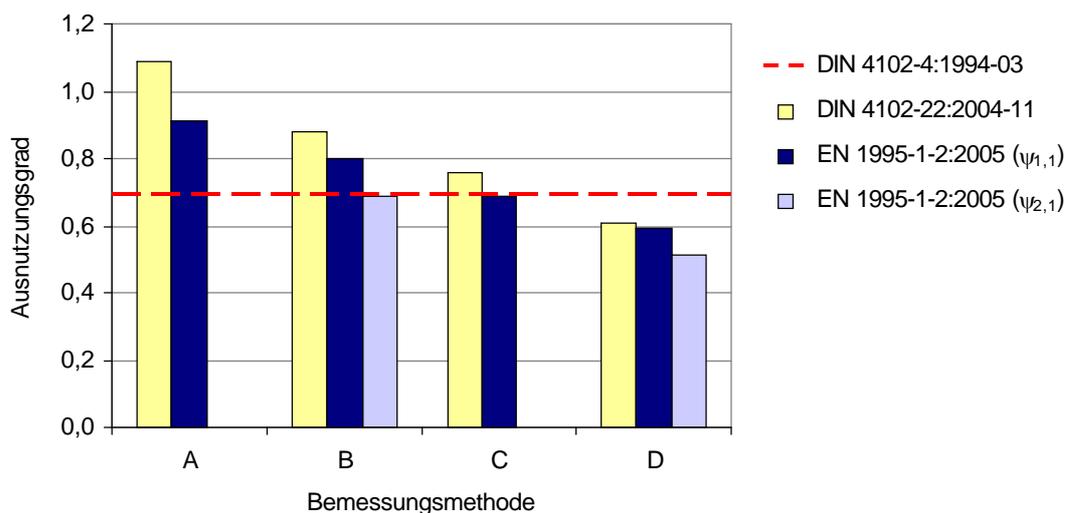


Bild 7: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach Beispiel B.1.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei vierseitiger Brandbeanspruchung

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
D	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

Die Vereinfachte Methode zur Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen nach EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 Anmerkung 2 mit einem Faktor η_{fi} von 0,6 führt stets zu einem Auslastungsgrad der Bemessung für den Brandfall, der deutlich über dem nach DIN 4102-4:1994-03 liegt (Bild 8). Je größer der Anteil an veränderlichen Einwirkungen im Vergleich zu den gesamten Einwirkungen ist, desto größer ist der Auslastungsgrad der Bemessung. Ursächlich für diese Abhängigkeit ist der größere Teilsicherheitsbeiwert γ_Q der veränderlichen Einwirkungen von 1,5 unter Normaltemperaturen im Vergleich zu den ständigen Einwirkungen γ_G von 1,35. Durch die pauschale Abminderung der Einwirkungen im Brandfall bei der vereinfachten Methode mit einem η_{fi} von 0,6 führen höhere Verkehrslastanteile zu einem größeren Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall und somit zu einer höheren Auslastung der Bemessung. Die Unterschiede sind jedoch insgesamt vernachlässigbar klein.

Bei der genauen Methode zur Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen nach EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 (1) hat das Verhältnis von ständigen zu veränderlichen Lastanteilen eine wesentliche Auswirkung auf den Auslastungsgrad der Bemessung im Brandfall. Der überwiegende Anteil der veränderlichen Einwirkungen ist im Brandfall nicht oder nur mit einem sehr geringen Anteil zu berücksichtigen (Tabelle 2). Daher führen, im Gegensatz zur Methode der vereinfachten Ermittlung des Bemessungswertes der Einwirkungen im Brandfall, bei der Genauen Methode große Anteile an veränderlichen Lasten zu einem geringeren Bemessungswert der Einwirkungen und somit zu einem geringeren Auslastungsgrad der Bemessung für den Brandfall. Für den Vollholzträger nach Beispiel B.1.1 ergibt sich für ein Verhältnis von ständigen zu veränderlichen Einwirkungen von 0,5 ein Auslastungsgrad für die Bemessung im Brandfall der im Gegensatz zur vereinfachten Methode der Einwirkungsermittlung mit einem Auslastungsgrad der Bemessung von 0,93 nur noch 0,57 beträgt (Bild 8). Bei einem Verhältnis von ständigen zu veränderlichen Einwirkungen von 2,0 ergeben sich Auslastun-

gen, die in etwa denen entsprechen, die sich nach der vereinfachten Methode der Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen ergeben. Für diese Lastverhältnisse führt die Anwendung der vereinfachten Methode zu hinreichend wirtschaftlichen Ergebnissen und ist somit empfehlenswert. In baupraktischen Situationen treten diese Lastverhältnisse aufgrund des geringen Eigenwichts des Baustoffs Holz zu den übrigen veränderlichen Einwirkungen üblicherweise nicht auf. Für Verhältnisse von ständigen zu veränderlichen Einwirkungen kleiner 2,0 führt die Anwendung des genauen Verfahrens der Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen zu deutlich geringeren Auslastungsgraden der Bemessung für den Brandfall und somit zu wirtschaftlichen Ergebnissen.

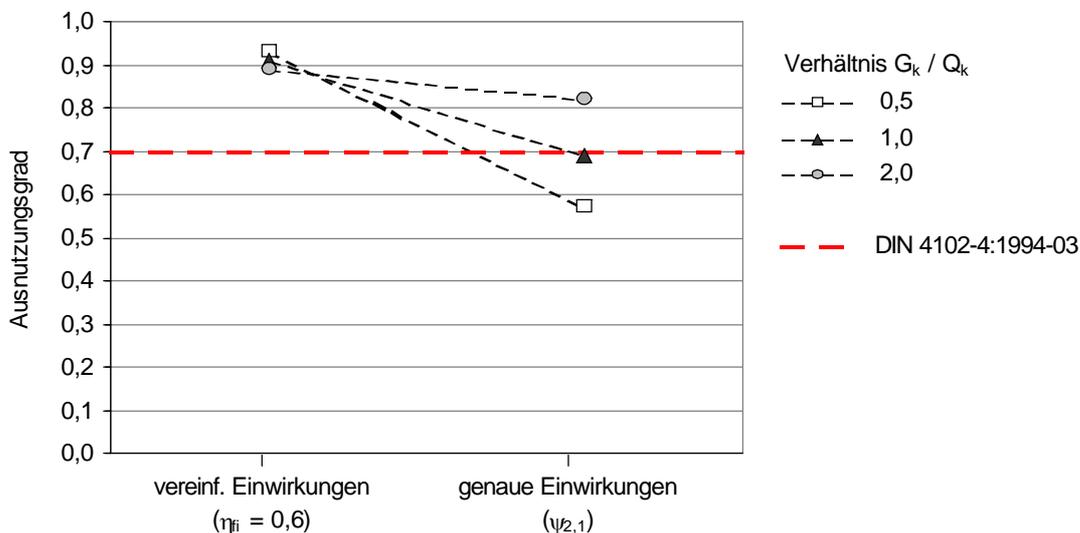


Bild 8: Vergleich der Ausnutzungsgrade für Beispiel B.1.1 nach EN 1995-1-2 zwischen der vereinfachten und der genauen Methode zur Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen und unterschiedliche Verhältnisse von ständigen G_k zu veränderlichen Einwirkungen Q_k

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

- Die Anwendung der Genauen Methode zur Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen im Brandfall nach EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 (1) führt stets zu günstigeren Auslastungsgraden der Bemessung im Vergleich zur Ermittlung des Bemessungswerts nach der Vereinfachten Methode nach EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 (3) mit einem Abminderungsfaktor η_{fi} von 0,6.
- Für einen hohen Anteil an ständigen Einwirkungen mit einem Verhältnis G_k/Q_k größer als 2,0 ist die Anwendung der Vereinfachten Methode zur Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen hinreichend genau und wirtschaftlich.

- Für Lastverhältnisse G_k/Q_k kleiner als 2,0 führt die Anwendung der genauen Methode zur Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen nach DIN EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 (1) zu einer deutlichen Verringerung des Auslastungsgrades der Bemessung im Brandfall und somit zu einer wesentlichen Steigerung der Wirtschaftlichkeit.

4.2.2 Einfluss des Verfahrens zur Ermittlung der maßgebenden veränderlichen Einwirkung

Nach DIN EN 1991-1-2:2002 Abschnitt 4.3.1(2) darf für die maßgebende Größe der veränderlichen Einwirkung die quasi ständige Größe $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ oder alternativ die häufige Größe $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ verwendet werden. Welche der beiden Größen der Kombinationsregel zugrunde zu legen ist, ist im Nationalen Anhang festzulegen.

Als Ergebnis der Vergleichsrechnungen konnte festgestellt werden, dass sich bei Anwendung des vereinfachten Bemessungsverfahrens mit reduziertem Querschnitt sowohl für die Verwendung der quasi ständigen Größe als auch der häufigen Größe Auslastungsgrade der Bemessung für den Brandfall ergeben, die oberhalb derer nach DIN 4102-4 liegen. Bei einer Bemessung nach dem genaueren Verfahren mit reduzierten Festigkeiten und Steifigkeiten werden für einen Ansatz der häufigen Größe $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ Auslastungen erreicht, die in etwa denen nach DIN 4102-4 entsprechen. Für die Anwendung der quasi ständigen Größe $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ können die Auslastungen nach dem genaueren Bemessungsverfahren bis zu 10% unterhalb derer nach den bisherigen nationalen Regelungen der DIN 4102-4 liegen.

Im Gegensatz zur DIN 4102-4, bei der mit vollen Einwirkungen im Brandfall zu rechnen ist, sieht der EC 5-1-2 eine differenzierte und wirklichkeitsnähere Methode zur Berücksichtigung der veränderlichen Einwirkungen im Brandfall vor. Wie in Abschnitt 4.2.1 beschrieben, ist der überwiegende Anteil der veränderlichen Einwirkungen aufgrund der Wahrscheinlichkeit des Auftretens im Brandfall mit der vollen charakteristischen Größe nicht oder nur mit einem sehr geringen Anteil zu berücksichtigen (Tabelle 2). Nach DIN 4102-4 wurden die veränderlichen Einwirkungen für den Brandfall mit der vollen Größe der Einwirkungen unter Normaltemperatur ohne Berücksichtigung der Auftretenswahrscheinlichkeit angesetzt. Diese Annahme liegt somit sehr auf der sicheren Seite. Eine Anwendung der quasi ständigen Größe $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ als maßgebende veränderliche Einwirkung führt zu Auslastungsgraden der Bemessung von Holzbauteilen für den Brandfall, die eine ausreichende Sicherheit gewährleisten.

Der Ansatz der quasi ständigen Größe $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ als maßgebende veränderliche Einwirkung für die Kombinationsregel nach DIN EN 1991-1-2:2002 Abschnitt 4.3.1(2) wird als Festlegung für das Nationale Anwendungsdokument empfohlen.

4.2.3 Einfluss der Art der Beanspruchung des Querschnitts

Prinzipiell haben die Vergleichsrechnungen gezeigt, dass für eine Bemessung von Holzbauteilen nach EN 1995-1-2 für den Brandfall das bisherige nationale Sicherheitsniveau nach DIN 4102-4 für alle Beanspruchungsarten infolge Zug, Druck und Biegung bestätigt werden konnte.

Für Beanspruchungen von Holzbauteilen infolge Druck und Biegung liegen die Ausnutzungsgrade der Bemessung nach beiden Normen in vergleichbaren Größenordnungen. Für Zugbeanspruchungen ergeben sich erheblich höhere Ausnutzungsgrade bei einer Bemessung nach EN 1995-1-2 gegenüber einer Berechnung nach DIN 4102-4. Dies ist im Wesentlichen zurückzuführen auf die Festlegung der rechnerisch vereinbarten Zugfestigkeit für den Brandfall nach DIN 4102-4 gegenüber der charakteristischen Größe nach EN 1995-1-2. Dem Nachweis nach DIN 4102-4 wurde als rechnerisch vereinbarte Zugbruchfestigkeit die 3,5fache zulässige Spannung zugrunde gelegt. Die Tabellen sowie das Brandschutzbemessungsprogramm „Brabem“ basieren auf einer Bemessung nach DIN 1052:1988-04. In dieser Norm ist die zulässige Zugspannung für Nadelholz der Güteklasse II mit $8,5 \text{ MN/m}^2$ angegeben. Im Jahre 1996 ist eine Änderung A1 zur DIN 1052 erschienen, in der die zulässige Spannung auf $7,0 \text{ MN/m}^2$ reduziert wurde. Diese 18%-ige Verringerung der zulässigen Zugspannung ist in den Bemessungstabellen für auf Zug beanspruchte Bauteile der DIN 4102-4 nicht berücksichtigt.

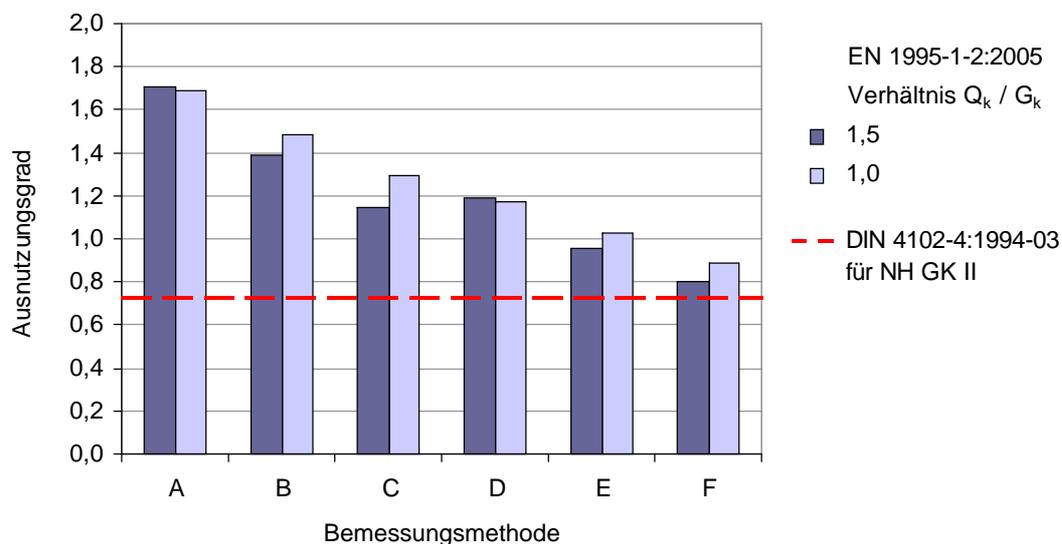


Bild 9: Vergleich der Ausnutzungsgrade eines Zugstabes 10/10 cm (Beispiel B.5.1) nach EN 1995-1-2 für unterschiedliche Verhältnisse von veränderlichen Q_k zu ständigen Einwirkungen G_k

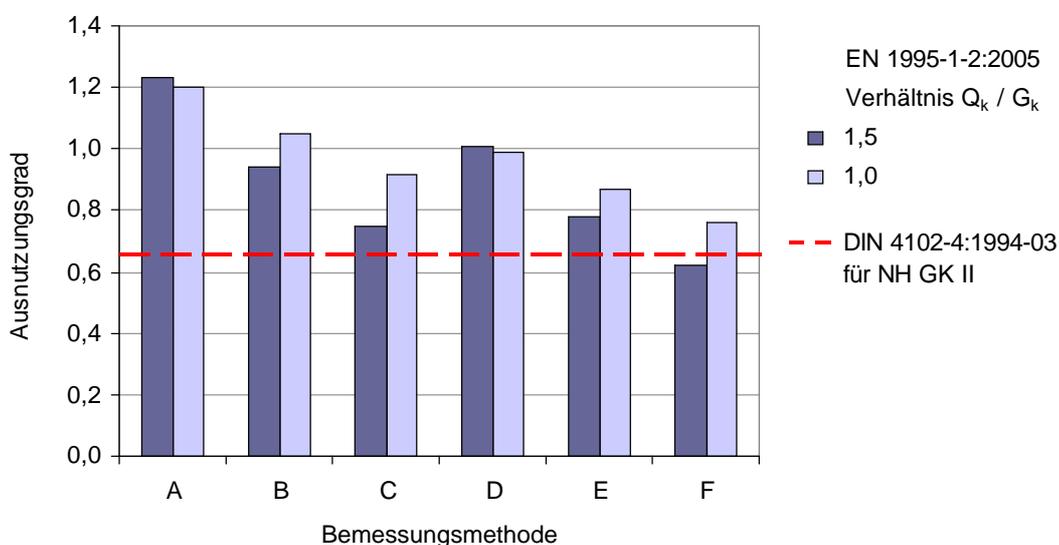


Bild 10: Vergleich der Ausnutzungsgrade eines Zugstabes 14/14 cm (Beispiel B.5.2) nach EN 1995-1-2 für unterschiedliche Verhältnisse von veränderlichen Q_k zu ständigen Einwirkungen G_k

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
D	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
E	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1)) für $\psi_{1,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
F	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1)) für $\psi_{2,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

Weiterhin wird gegenüber der DIN 4102-4 nach EN 1995-1-2 für den Brandfall als charakteristische Zugfestigkeit der 20%-Quantilwert angesetzt. Diese Festlegung hat im Vergleich zur DIN 4102-4 mit einer rechnerisch vereinbarten Zugfestigkeit als 3,5fache

zulässige Spannung ebenfalls Einfluss auf die deutliche Erhöhung der Ausnutzungsgrade bei einer Bemessung für den Brandfall nach EN 1995-1-2.

4.2.4 Einfluss der Festigkeitsklasse des Holzes

Mit steigender Festigkeitsklasse des Holzes nimmt bei Konstanz aller übrigen Randbedingungen der Auslastungsgrad der Bemessung für den Brandfall ab. Die Reduktion des Auslastungsgrades ist jedoch nicht direkt proportional zur Steigerung der Festigkeit, insbesondere bei druck- und biegebeanspruchten Bauteilen, bei denen stabilitätsgefährdende Einflüsse zu berücksichtigen sind. Beim Nachweis des Knickens und Kippens geht die Steifigkeit des Baustoffs in die Berechnung ein. Die Zunahme der Steifigkeit ist mit steigender Festigkeitsklasse jedoch geringer als die Zunahme der Festigkeit selbst. Im Beispiel B.1.2 führt die Wahl eines Vollholzes aus Nadelholz der Festigkeitsklasse C 35 im Vergleich zu C 24 trotz einer Erhöhung der Biegefestigkeit um ca. 46% nur zu einer Verringerung der Auslastung der Bemessung für den Brandfall um ca. 25% von 0,93 auf 0,70.

Eine weitere Ursache liegt in der Temperaturabhängigkeit der Festigkeiten und Steifigkeiten des Werkstoffs Holz. Je kleiner der Querschnitt, desto größer ist im Brandfall die Temperaturerhöhung des Restquerschnitts und desto größer ist die Abnahme der Festigkeiten und Steifigkeiten. Dabei werden die Steifigkeiten ebenso wie die Zugfestigkeit am geringsten von der Temperatur beeinflusst, während die Druckfestigkeit der größten Reduktion mit steigender Temperatur unterliegt. Dieser Einfluss bedeutet, dass die Wahl höherer Festigkeitsklassen nur für große Querschnitte mit geringer Temperaturerhöhung im Brandfall zu einer deutlichen Verringerung der Auslastung der Bemessung und somit zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit führt.

Tabelle 4: Erhöhung der Biegefestigkeit und des Elastizitätsmoduls mit steigender Festigkeitsklasse für Vollholz aus Nadelholz nach DIN EN 338:2003-09 [7]

charakteristische Materialeigenschaft	Festigkeitsklasse		Steigerung in %
	C 24	C 35	
Biegefestigkeit $f_{m,k}$	24	35	45,8
Elastizitätsmodul E_{05}	7400	8700	17,6

Ein direkter Vergleich zu den bisherigen nationalen Regelungen nach DIN 4102-4 ist für die Festigkeitsklassen C 35 und C 40 nicht möglich, da maschinensortiertes Holz in den Tabellen zur Ermittlung der Mindestquerschnitte im Brandfall nicht geregelt ist. Mit Hilfe des Bemessungsprogramms „Brabem“ wurde für das Beispiel B.1.2 als Ver-

gleichwert für Nadelholz der Güteklasse I ein Auslastungsgrad der Bemessung nach DIN 4102-4 von 54% ermittelt. Die genannte Güteklasse entspricht in etwa einer Festigkeitsklasse C 30. Der eigentliche Auslastungsgrad für ein maschinensortiertes Holz der Festigkeitsklasse C 35 liegt unterhalb dieses Werts bei ca. 48 bis 50%. Der Vergleich zeigt, dass sich für alle Festigkeitsklassen des Holzes im Vergleich zur Bemessung nach DIN 4102-4 Sicherheiten in etwa gleicher Größenordnung ergeben. Für alle Festigkeitsklassen des Holzes führt eine Kombination der Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen nach der vereinfachten Methode nach DIN EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 (3) mit einem Faktor η_{fi} von 0,6 in Verbindung mit dem vereinfachten Verfahren der Bemessung mit reduziertem Querschnitt stets zu Auslastungen der Bemessung im Brandfall die im Vergleich zum Nachweis nach DIN 4102-4 deutlich auf der sicheren Seite liegen. Sowohl für eine Kombination aus genauer Ermittlung der Einwirkungen und vereinfachtem Bemessungsverfahren als auch für eine vereinfachte Ermittlung der Einwirkungen und der genauen Bemessungsmethode ergeben sich nach Eurocode Auslastungen für den Nachweis von Holzbauteilen im Brandfall, die im Wesentlichen denen der DIN 4102-4 entsprechen. Eine Kombination der genauen Verfahren sowohl für die Ermittlung des Bemessungswerts der Einwirkungen als auch der Bemessungsmethode können zu einer Auslastung der Bemessung nach DIN EN 1995-1-2 führen, die geringfügig unter der nach den Bemessungstabellen der DIN 4102-4 liegt.

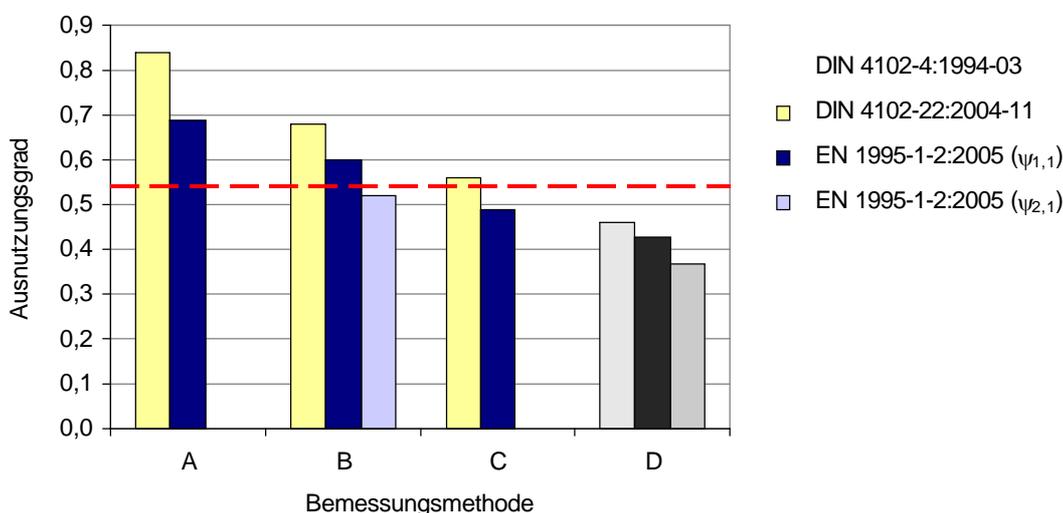


Bild 11: Vergleich der Auslastungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C35 nach Beispiel B.1.2 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei vierseitiger Brandbeanspruchung (Der Vergleichswert nach DIN 4102-4 entspricht einem Nachweis für NH GK I.)

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
D	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

Die beschriebenen Zusammenhänge treffen ebenso für eine Bemessung von Holzbauteilen aus homogenem Brettschichtholz für den Brandfall zu. Der Vergleichswert nach DIN 4102-4 entspricht einem Nachweis für Brettschichtholz der Güteklasse II, da die Tabellen zur Ermittlung der Mindestquerschnitte zum Erreichen einer bestimmten Feuerwiderstandsdauer nur für diese Güteklasse gelten. Der Auslastungsgrad dient somit nur einem näherungsweisen Vergleich. Die eigentliche Auslastung bei Trägern aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL 36h ist deutlich unter dem angegebenen Wert zu erwarten, so dass auch hier das bisherige Sicherheitsniveau des Nachweises von Brettschichtholzbauteilen nach DIN 4102-4 für die Bemessungsverfahren nach Abschnitt 4 des Eurocode 5-1-2 bestätigt werden kann.

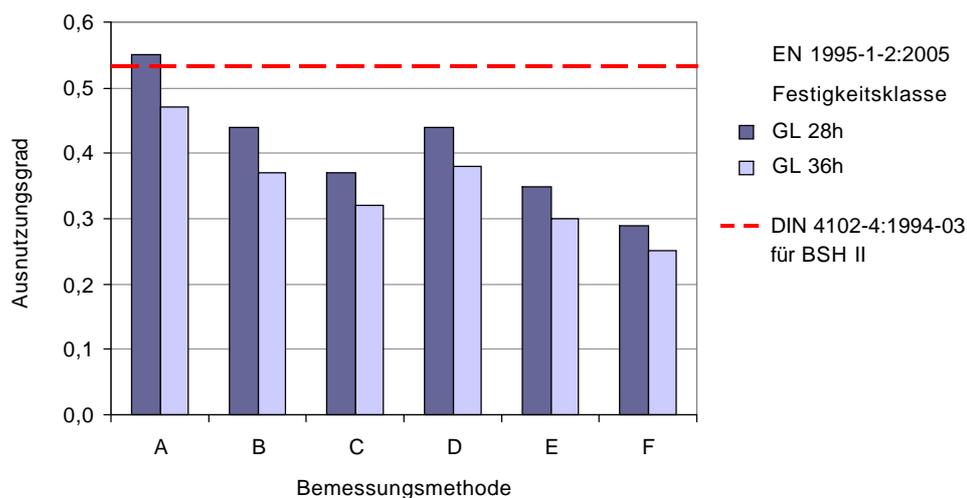


Bild 12: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Bemessung der gelenkig gelagerten Stütze nach Beispiel B.4 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei dreiseitiger Brandbeanspruchung

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
D	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
E	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
F	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

Der Eurocode 5-1-1 zur Bemessung von Holzkonstruktionen unter Normaltemperaturen bietet die Möglichkeit des Einsatzes von kombiniertem Brettschichtholz.

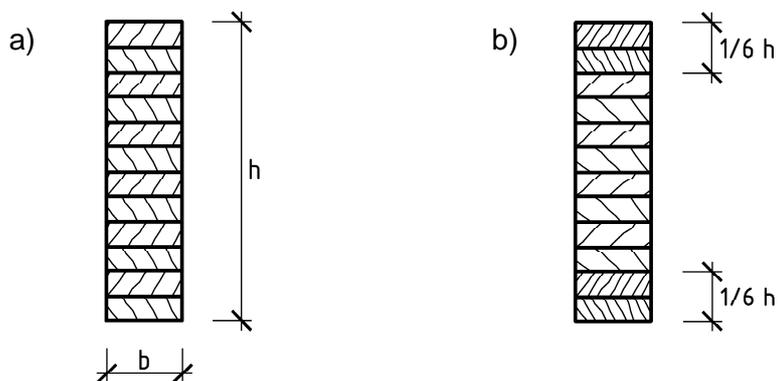


Bild 13: a) Aufbau eines homogenen Brettschichtholzträgers GL h
b) Aufbau eines kombinierten Brettschichtholzträgers GL c

Im Gegensatz zu homogenem Brettschichtholz, bei dem alle Brett lamellen aus derselben Festigkeitsklasse bestehen, gehören bei kombiniertem Brettschichtholz die inneren und die äußeren Brett lamellen unterschiedlichen Festigkeitsklassen an. Die äußeren Brett lamellen umfassen dabei die Bereiche von 1/6 der Trägerhöhe auf beiden Seiten,

mindestens jedoch zwei Brettlamellen (Bild 13). Hier wird der Tatsache Rechnung getragen, dass für den häufig auftretenden Fall der Biegebeanspruchung des Trägers die äußeren Lamellen die größten Biegedruck- bzw. Biegezugspannungen aufweisen. Im Brandfall sind jedoch die äußeren Bereiche mit den Lamellen der höheren Festigkeitsklasse vom Abbrand und der größeren Temperaturerhöhung in den Randbereichen betroffen. Für geringe Trägerhöhen kann dieser Umstand bedeuten, dass große Bereiche des Holzes der hohen Festigkeitsklasse nach Abschluss der Brandbeanspruchung nicht mehr oder nur geringfügig tragfähig sind. Für diese Querschnitte kann bei einer Bemessung für den Brandfall ausschließlich die geringere Festigkeitsklasse des inneren Querschnittsbereiches dem Nachweis zugrunde gelegt werden. Mit zunehmender Trägerhöhe nimmt dieser Einfluss ab, so dass bei großen Trägerhöhen nur geringe prozentuale Anteile der äußeren Bereiche vom Abbrand und der Verminderung der Festigkeiten und Steifigkeiten infolge Temperaturerhöhung betroffen sind. Genaue Untersuchungen zur Tragfähigkeit von Holzbauteilen aus kombiniertem Brettschichtholz liegen bislang nicht vor, so dass nicht festgelegt werden kann, ab welcher Trägerhöhe im Brandfall die Biegefestigkeit der höherfesten Lamellen, ebenso wie bei einer Bemessung unter Normaltemperaturen, in Ansatz gebracht werden kann. Aus diesem Grunde ist für einen Nachweis von Holzbauteilen aus kombiniertem Brettschichtholz für den Brandfall vorerst stets die niedrigere Festigkeitsklasse des inneren Bereiches der Bemessung zugrunde zu legen. Für hohe Querschnitte führt diese Festlegung zu unwirtschaftlichen Lösungen (Bild 14). Der Vorteil des kombinierten Brettschichtholzes geht im Falle von Brandschutzanforderungen an die Tragkonstruktion verloren. Zur Klärung dieses Einflusses sind somit zwingend weiterführende Untersuchungen erforderlich.

Anzumerken ist, dass sich für die Kombination des genauen Bemessungsverfahrens mit der genaueren Ermittlung der Einwirkungen nach EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) im Vergleich zur Methode der vereinfachten Einwirkungen nach EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(3) geringere Ausnutzungsgrade ergeben. Im Beispiel B.3 besteht die Belastung des Trägers zu einem hohen Anteil aus veränderlichen Einwirkungen für Schnee. Diese sind nach EN 1995-1-2 für Orte mit einer Höhe geringer als 1000 m über NN für den Brandfall nicht zu berücksichtigen, während nach DIN 4102-4 mit Volllast zu bemessen ist. Da nach EN 1995-1-2 die Auftretenswahrscheinlichkeit der veränderlichen Einwirkungen im Brandfall wirklichkeitsnäher berücksichtigt wird, ist die geringere Ausnutzung bei einer genauen Berechnung nach EC 5-1-2 zutreffend und stellt keine Verringerung des Sicherheitsniveaus dar.

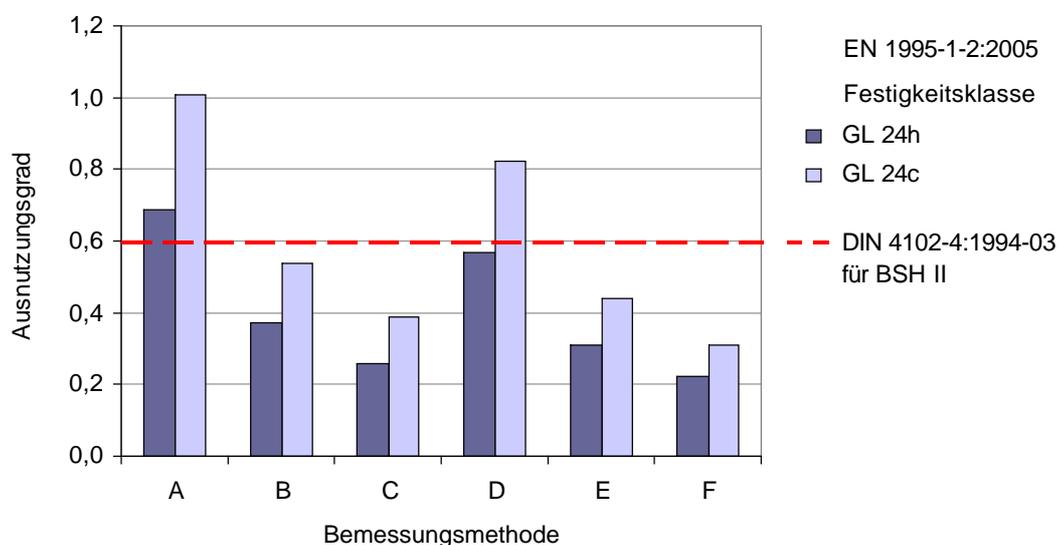


Bild 14: Vergleich der Auslastungsgrade der Bemessung des Trägers nach Beispiel B.3 aus homogenem und kombiniertem Brettschichtholz für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei vierseitiger Brandbeanspruchung

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
D	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
E	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
F	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

4.2.5 Einfluss der Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) der veränderlichen Einwirkungen

Nach EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 (3) Anmerkung 2 wird zur Vereinfachung der Ermittlung des Bemessungswerts der Beanspruchungen im Brandfall eine pauschale Abminderung des Bemessungswerts der Einwirkungen unter Normaltemperaturen durch Multiplikation mit dem Faktor η_{fi} von 0,6 empfohlen. Ausgenommen sind Bereiche mit größeren Nutzlasten entsprechend Kategorie E nach DIN EN 1991-1-2. Zu diesen zählen Flächen mit Anhäufungen von Gütern (Lagerflächen) einschließlich deren Zugangsbereiche. Für diese Bereiche wird ein Abminderungsfaktor η_{fi} für den Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall von 0,7 empfohlen.

Die Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass eine Multiplikation der Beanspruchungen unter Normaltemperatur mit einem Abminderungsfaktor η_{fi} von 0,6 für Einwirkungen der Kategorie E zu Beanspruchungen im Brandfall führt, die unter denen liegen, die sich bei Anwendung der genauen Einwirkungsermittlung ergeben. Demzufolge würde eine Bemessung auf der Grundlage der vereinfachten Ermittlung des Bemessungswerts der Beanspruchungen im Brandfall im Vergleich zur genauen Methode zu günstigeren Auslastungen führen. Dieser Zusammenhang widerspricht dem Prinzip eines vereinfachten Verfahrens und führt zudem zu Ergebnissen der Bemessung für den Brandfall, die nicht auf der sicheren Seite liegen.

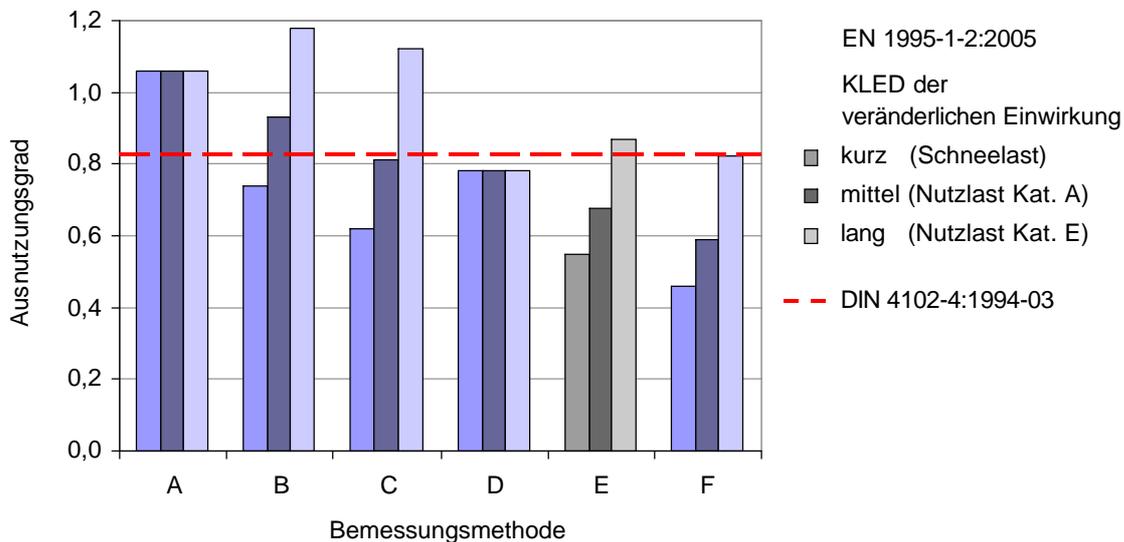


Bild 15: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach Beispiel B.2 für unterschiedliche Klassen der Lasteinwirkungsdauern (KLED) der veränderlichen Einwirkungen

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
D	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
E	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1)) für $\psi_{1,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
F	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1)) für $\psi_{2,1}$ DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

Erst eine Multiplikation mit dem nach EN 1995-1-2 Absatz 2.4.2 (3) Anmerkung 2 vorgeschlagenen Abminderungsfaktor η_{fi} von 0,7 führt zu Bemessungswerten der Beanspruchungen im Brandfall, die oberhalb derer nach der genauen Methode nach DIN EN 1991-1-2 liegen. Für das nationale Anwendungsdokument wird daher die Verwendung des Abminderungsfaktors η_{fi} von 0,7 für Nutzlasten der Kategorie E empfohlen.

4.2.6 Einfluss der Art der Brandbeanspruchung

Die Vergleichsrechnungen zeigen, dass auch für dreiseitige Brandbeanspruchungen das bisherige nationale Sicherheitsniveau für eine Bemessung von Holzbauteilen für den Brandfall erreicht wird. Für unterschiedliche Lastverhältnisse von ständigen zu veränderlichen Einwirkungen entsprechen die Einflüsse auf den Auslastungsgrad der Bemessung denen in den Abschnitten 4.2.1 bis 4.2.5 beschriebenen Abhängigkeiten.

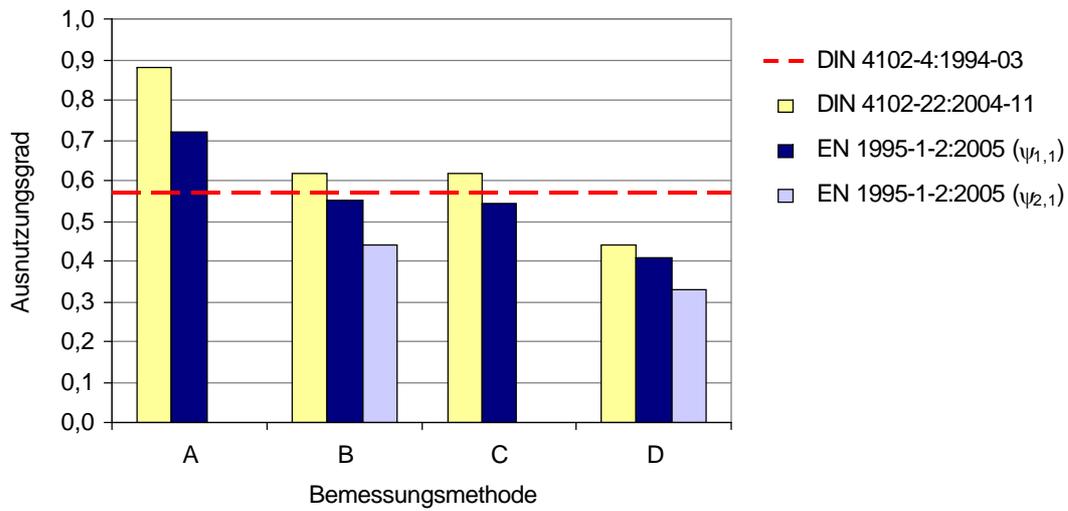


Bild 16: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach Beispiel B.1.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei dreiseitiger Brandbeanspruchung für ein Verhältnis der charakteristischen Einwirkung G_k / Q_k von 0,5

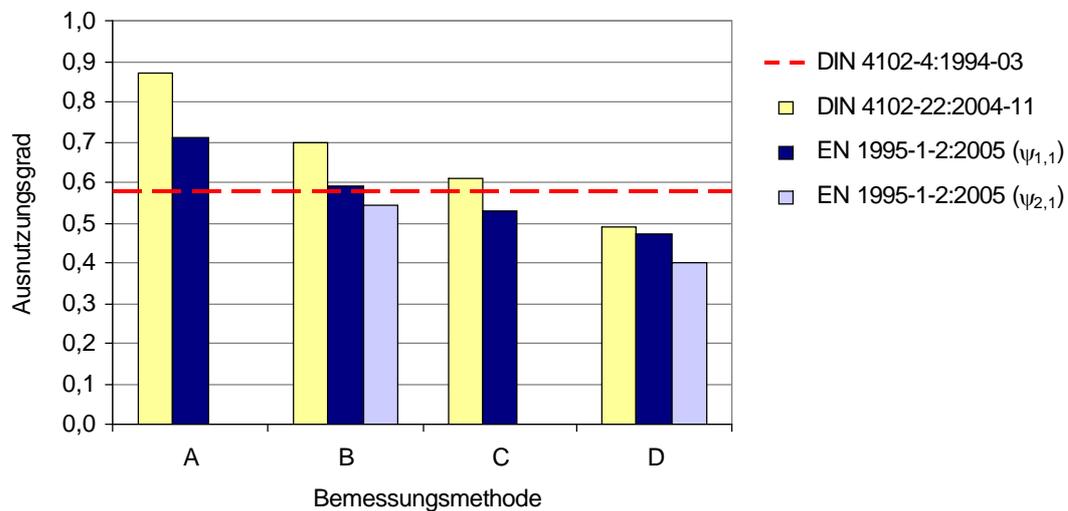


Bild 17: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis des Trägers aus Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach Beispiel B.1.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min. bei dreiseitiger Brandbeanspruchung für ein Verhältnis der charakteristischen Einwirkung G_k / Q_k von 1,0

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
D	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

5 Bemessungsverfahren für Wand- und Deckenkonstruktionen

5.1 Allgemeines

(siehe ausführliche Kommentare in den Abschnitten 10, 11 und 12 sowie im Anhang A)

5.2 Bemessung der Tragfähigkeit

(siehe ausführliche Kommentare in den Abschnitten 10 und 11 sowie im Anhang A)

5.3 Bemessung des Raumabschlusses

(siehe ausführliche Kommentare im Abschnitt 12 und im Anhang A)

6 Verbindungen

6.1 Allgemeines

DIN 4102-4 und EN 1995-1-2 regeln Verbindungen von Bauteilen mit Nägeln, Bolzen, Stabdübeln und Dübeln besonderer Bauart. In EN 1995-1-2 sind zusätzlich Regeln für Schrauben und Nagelplatten angegeben. Die Festlegungen gelten nach beiden Normen für Feuerwiderstandsdauern bis zu 60 Minuten. Nach DIN 4102-4 erfolgt eine Unterteilung in 30 und 60 Minuten, nach EN 1995-1-2 wird eine feinere Unterteilung in Zeitschritten von 15 Minuten vorgenommen.

Die Regeln gelten für symmetrische, zweiseitige Verbindungen mit auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln. Für einschnittige Verbindungen werden keine Festlegungen getroffen.

In EN 1995-1-2 Abschnitt 6.4 sind Angaben für auf Herausziehen beanspruchte Schrauben enthalten. In Axialrichtung beanspruchte Verbindungsmittel sind nach DIN 4102-4 nicht geregelt. Ebenso sind für den Nachweis von Verbindungen mit Schrauben für den Brandfall keinerlei Festlegungen getroffen.

6.2 Verbindungen mit Seitenteilen aus Holz

6.2.1 Ungeschützte Verbindungen

6.2.1.1 Verbindungen mit Nägeln und Stabdübeln

DIN 4102-4 und EN 1995-1-2 geben zum Nachweis von ungeschützten, zweiseitigen auf Abscheren beanspruchten Holz-Holz-Verbindungen Bemessungsvorschriften an. Es handelt sich um unterschiedliche Bemessungsverfahren, die zudem nach DIN 4102-4 auf einem globalen und nach EN 1995-1-2 auf einem semiprobabilistischen Sicherheitskonzepten basieren.

Nach DIN 4102-4 wurden die Nachweisverfahren stiftförmiger Verbindungsmittel für Stabdübel und Nägel unterschiedlich festgelegt. Der Nachweis für Stabdübel erfolgte nur für eine Lochleibungsbeanspruchung der Außenlaschen unter Berücksichtigung des Abbrandes für die 1,25-fache zulässige Lochleibungsspannung. Bei ungünstigen geometrischen Verhältnissen der Seitenholzdicke zum Durchmesser des Verbindungsmittels musste die zulässige Belastung der Stabdübel abgemindert werden. Die Bemessung einer Nagelverbindung für den Brandfall basiert auf der Ermittlung der zulässigen Belastung eines Nagels nach DIN 1052:1988-04, die nur vom Nageldurch-

messer abhängig ist. Auch bei einer Nagelverbindung ist bei ungünstigen geometrischen Verhältnissen eine Abminderung der zulässigen Belastung vorzunehmen. Bei mehreren in Krafrichtung hintereinander angeordneten stiftförmigen Verbindungsmitteln ist sowohl bei Stabdübeln als auch bei Nägeln die vorhandene Anzahl der Verbindungsmittel gegebenenfalls auf eine wirksame Anzahl zu reduzieren. Eine Berücksichtigung unterschiedlicher Stahlsorten und Sortierklassen des Holzes ist nicht möglich. Nach EN 1995-1-2 wird der Nachweis von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln durch eine Abminderung der charakteristischen Beanspruchbarkeit der Verbindung bei Normaltemperatur nach EN 1995-1-1 geführt. In dieser Abminderung wird zum Einen über den Faktor k die Art des Verbindungsmittels und zum Anderen über den Wert $t_{d,fi}$ nach Gleichung (6.7) der Einfluss der Art des Verbindungsmittels und des Reduktionsfaktors η_{fi} der Einwirkungen auf die Versagenszeit berücksichtigt. Der Reduktionsfaktor η_{fi} muss stets dem gewählten Wert bei der Ermittlung der Einwirkungen entsprechen. Dieser Nachweis beinhaltet die Versagensfälle entsprechend der kalten Bemessung in Abhängigkeit der Lochleibungsfestigkeit und des Fließmoments des Verbindungsmittels. Außerdem können unterschiedliche Festigkeitsklassen des Holzes und verschiedene Stahlsorten berücksichtigt werden. Eine Reduzierung der vorhandenen Verbindungsmittelanzahl für mehrere in Krafrichtung hintereinander angeordnete Verbindungsmittel ist für Nägel nicht vorgesehen.

Aufgrund dieser sehr unterschiedlichen Regelungen ist ein direkter Vergleich der Bemessungsverfahren beider Normen nicht möglich. Zur Bewertung des Sicherheitsniveaus einer Bemessung nach EN 1995-1-2 im Vergleich zu den Regelungen der DIN 4102-4 wurden beispielhaft Berechnungen durchgeführt und die Ausnutzungsgrade gegenübergestellt. Der Nachweis nach EC 5 erfolgt dabei ausschließlich für die Genauere Methode mit reduzierten Beanspruchungen, da diese zu den geringsten Auslastungen der Bemessung führt. Als Ergebnis dieser Betrachtungen konnte festgestellt werden, dass das bisherige nationale Sicherheitsniveau bei einem Nachweis von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln nach EN 1995-1-2 in Verbindung mit der vereinfachten Ermittlung der Einwirkungen nach DIN EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) sowohl für Stabdübel als auch für Nägel erreicht oder überschritten wird.

Prinzipiell haben die Vergleichsbetrachtungen ergeben, dass für übliche Ausführungen von Verbindungen in der Regel der Nachweis des Verbindungsmittels bemessungsmaßgebend wird und nicht der Nachweis der Holzquerschnitte im Verbindungsbereich. Bei einer Kombination des Bemessungsverfahrens mit der genaueren Ermittlung der Einwirkungen nach EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) können sich je nach Art und Anteil der veränderlichen Einwirkungen gegenüber den ständigen Einwirkungen geringere Ausnutzungsgrade ergeben. Nach DIN 4102-4 ist auch der Nachweis im Brandfall für die volle Belastung zu führen. Da nach EN 1995-1-2 die Auftretenswahrscheinlichkeit der veränderlichen Einwirkungen im Brandfall wirklichkeitsnäher berücksichtigt wird, ist die

geringere Ausnutzung bei einer genauen Berechnung nach EC 5-1-2 zutreffend und stellt keine Verringerung des Sicherheitsniveaus dar.

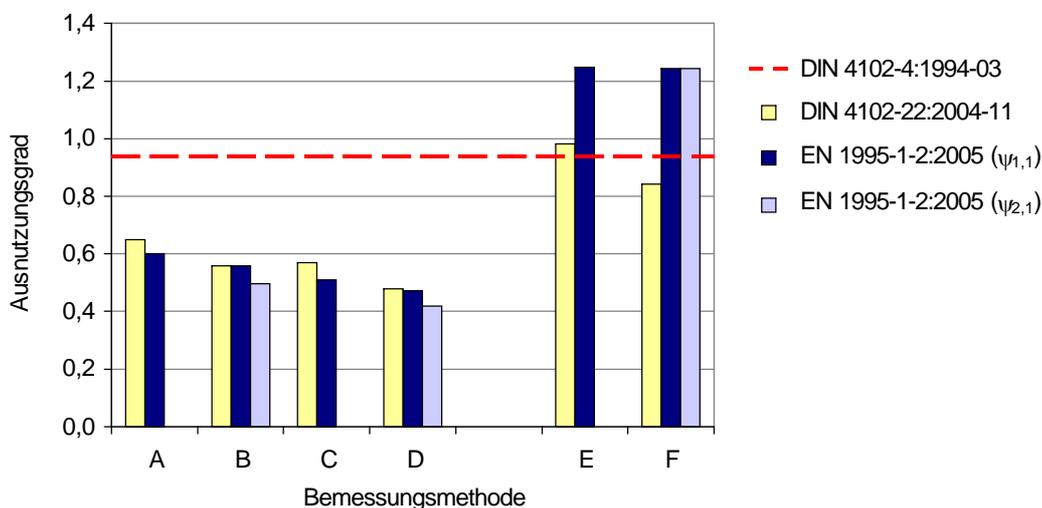


Bild 18: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis einer zweischnittigen Stabdübelverbindung nach Beispiel C.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.

Nr	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
Bemessung der Seitenhölzer		
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
D	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
Bemessung der Stabdübel		
E	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Beanspruchungen EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.8.4
F	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

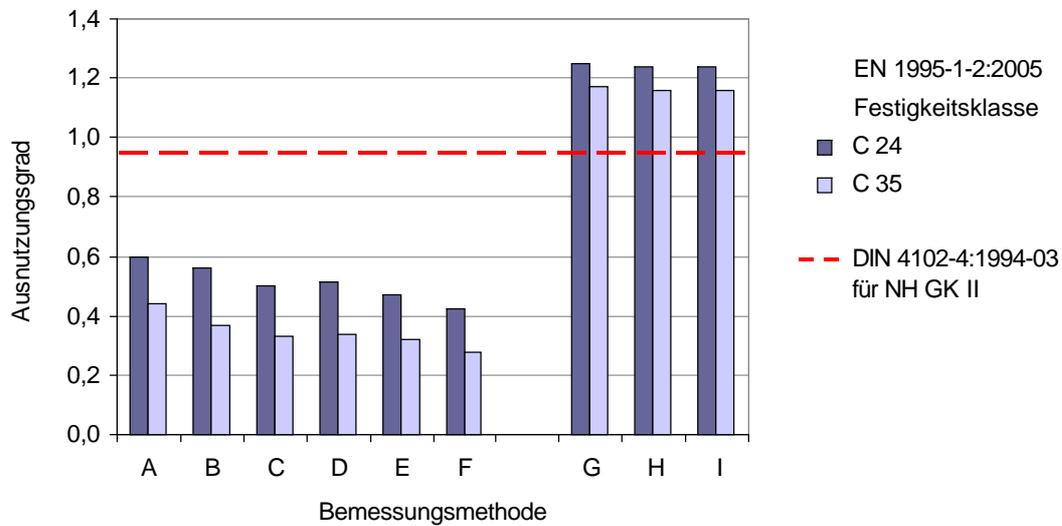


Bild 19: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis einer zweiseitigen Stabdübelverbindung nach Beispiel C.1 für unterschiedliche Festigkeitsklassen und eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
Bemessung der Seitenhölzer		
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2
B	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$	
C	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$	
D	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3
E	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$	
F	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$	
Bemessung der Stabdübel		
G	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3
H	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$	
I	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$	

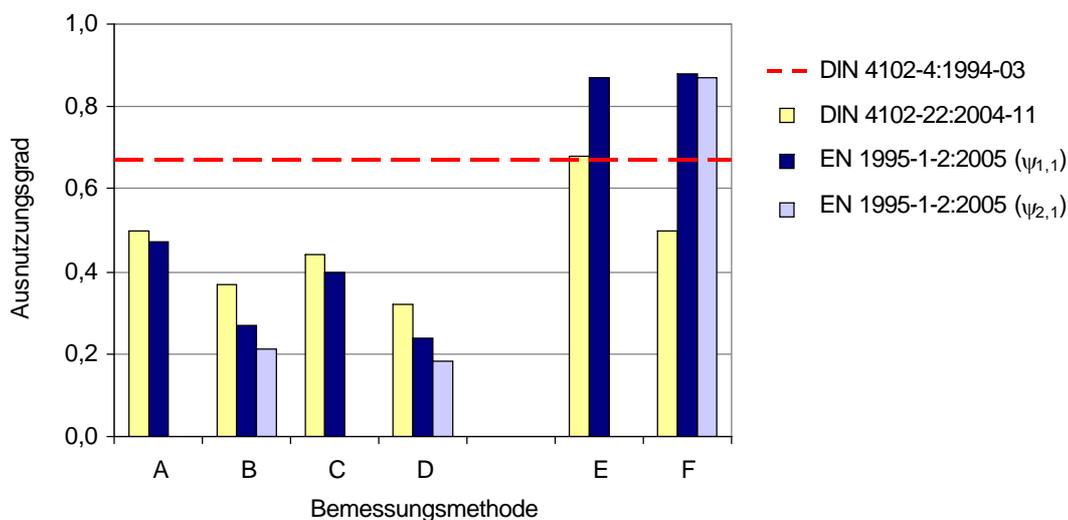


Bild 20: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis eines Zugstoßes aus Brettschichtholz GL 24h mit Stabdübeln nach Beispiel C.2 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.

Nr	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
Bemessung der Seitenhölzer		
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
D	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
Bemessung der Stabdübel		
E	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Beanspruchungen EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.8.4
F	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

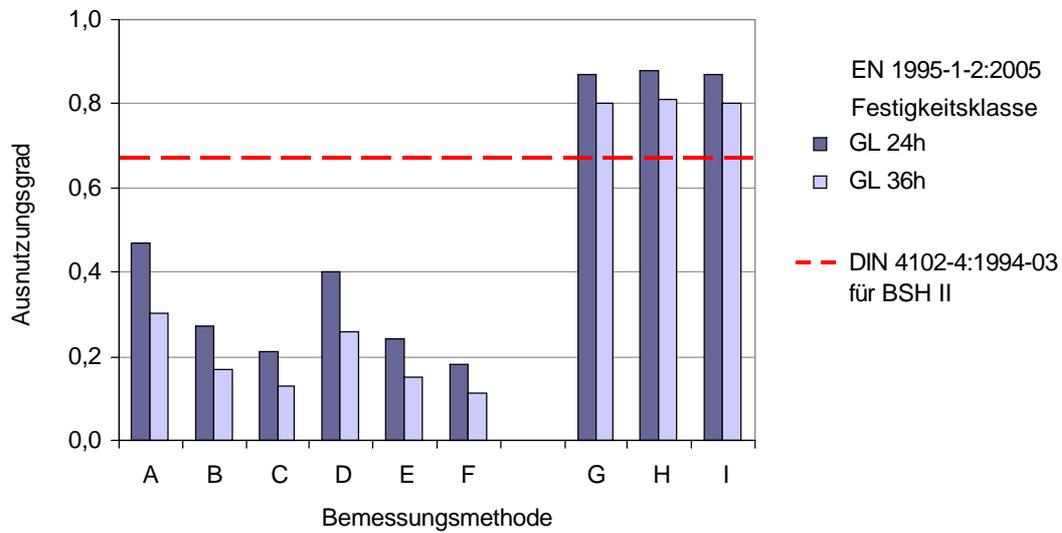


Bild 21: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis eines Zugstoßes mit Stabdübeln nach Beispiel C.2 für unterschiedliche Festigkeitsklassen und eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.

Nr.	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
Bemessung der Seitenhölzer		
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2
B	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$	
C	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$	
D	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3
E	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$	
F	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$	
Bemessung der Stabdübel		
G	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3
H	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{1,1}$	
I	Genaueres Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) für $\psi_{2,1}$	

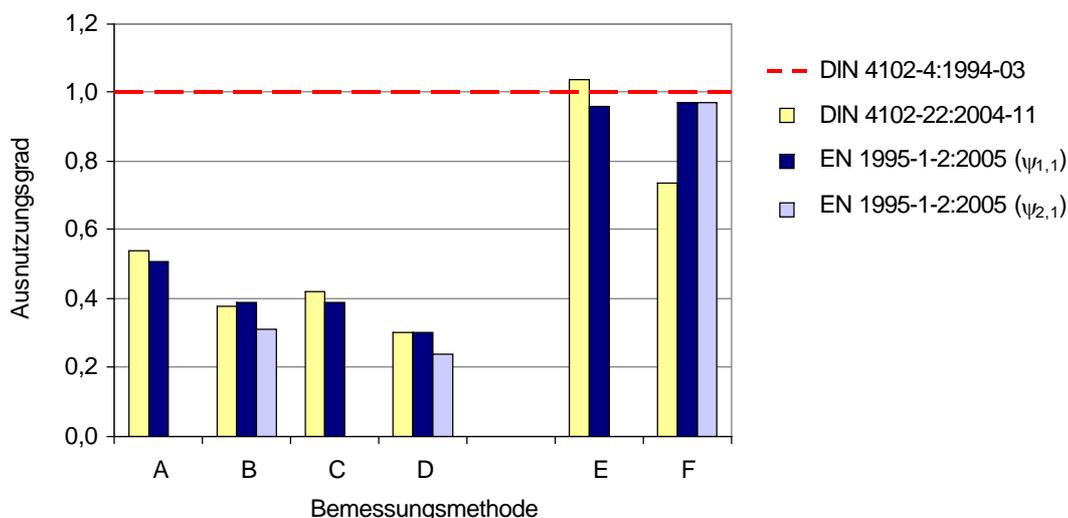


Bild 22: Vergleich der Ausnutzungsgrade der Verfahren zum Nachweis eines Zugstoßes aus Vollholz der Festigkeitsklasse C 24 mit Nägeln nach Beispiel C.3 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min.

Nr	Verfahren zur Ermittlung der Einwirkungen	Bemessungsmethode
Bemessung der Seitenhölzer		
A	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduziertem Querschnitt EN 1995-1-2 Abs. 4.2.2 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 a)
B	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
C	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Eigenschaften EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.5.2.1 b)
D	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	
Bemessung der Nägel		
E	Vereinfachtes Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2 (3) für $\eta_{fi} = 0,6$ DIN 4102-22 Abs. 6.1 Gl. (3) für $\eta_{fi} = 0,65$	Methode mit reduzierten Beanspruchungen EN 1995-1-2 Abs. 4.2.3 DIN 4102-22 Abs. 5.8.4
F	Genaues Verfahren EN 1995-1-2 Abs. 2.4.2(1) DIN 4102-22 Abs. 4.1 Gl. (1)	

6.2.1.2 Verbindungen mit Bolzen und Passbolzen

Bei Bolzen und Passbolzen entsteht durch die ungeschützten Unterlegscheiben und Sechskantschrauben sowie den Bolzenkopf im Brandfall ein erheblicher Temperatureintrag in die Verbindung im Vergleich zu Stabdübelverbindungen. Dieses Erkenntnis hat dazu geführt, dass in DIN 4102-4 die zulässige Belastung eines Bolzens auf Abscheren auf 25% der Belastung unter Normaltemperaturen abzumindern ist.

Nach EN 1995-1-2 werden Bolzen-, Passbolzen- und Stabdübelverbindungen gleich behandelt. Es erfolgt eine Abminderung der charakteristischen Beanspruchbarkeit der Verbindung bei Normaltemperatur nach EN 1995-1-1. Die Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit unter Normaltemperatur ist für Bolzen und Stabdübel identisch. Die Abminderung im Brandfall ist nach Gleichung (6.6) der EN 1995-1-2 vorzunehmen. In dieser Abminderung wird zum Einen über den Faktor k die Art des Verbindungsmittels und zum Anderen über den Wert $t_{d,fi}$ nach Gleichung (6.7) der Einfluss der Art des Verbindungsmittels und des Reduktionsfaktors η_{fi} der Einwirkungen auf die Versagenszeit berücksichtigt. Bei der Ermittlung des Abminderungsfaktors der charakteristischen Verbindungstragfähigkeit nach Gleichung (6.6) kürzt sich beim Einsetzen von Gleichung (6.7) rechnerisch der Einfluss der Art des Verbindungsmittels heraus. Dies führt dazu, dass sich bei gleichen Einwirkungen identische Abminderungsfaktoren für Bolzen-, Passbolzen- und Stabdübelverbindungen ergeben.

Die Gleichbehandlung von Bolzen und Passbolzen mit Stabdübeln führt für diese Verbindungen aus der Sicht der Autoren zu einer Überschätzung der Tragfähigkeit im Brandfall. Es wird vorgeschlagen, eine pauschale Abminderung mit einem Faktor von 0,20 unabhängig von der Art und Größe der Einwirkungen festzulegen.

6.2.2 Geschützte Verbindungen

Beide Normen bieten die Möglichkeit, Verbindungen durch eingeklebte Holzdübel für den Brandfall zu schützen. Die Festlegungen der Mindestdicke sind unterschiedlich. Sie beträgt nach DIN 4102-4 Abs. 5.8.2.1 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten unabhängig von der Art des zu schützenden Verbindungsmittels grundsätzlich 10 mm. Nach EN 1995-1-2 sind die Dicken der Abdeckungen nach Gleichung (6.1) geregelt. Für Stabdübel ergibt sich eine Dicke von 12 mm, für alle übrigen stiftförmigen Verbindungsmittel von 18 mm. Die Erhöhung der Dicke ist aufgrund des ungünstigen Einflusses von Nagelköpfen, Unterlegscheiben, Bolzenköpfen und Muttern auf die Temperaturentwicklung erforderlich. Diese Regelung ist sinnvoll und sollte national übernommen werden.

Festlegungen für geschützte Verbindungen durch zusätzliche Holzbekleidungen, Holzwerkstoffplatten oder Gipsplatten sind in DIN 4102-4 nicht enthalten. Die Regelungen in EN 1995-1-2 sind sinnvoll und zur nationalen Anwendung zu empfehlen.

6.2.2.1 Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen

Für Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen nach EN 1995-1-2 Abs. 6.2.1.3 wurden die Regelungen der DIN 4102-4 Abs. 5.8.7 identisch übernommen.

6.2.3 Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen

Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen sind in DIN 4102-4 nicht geregelt. EN 1995-1-2 bietet die Möglichkeit der Ausführung von geschützten und ungeschützten Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen. Diese Regelungen weisen eine ausreichende Sicherheit für den Brandfall auf und sind somit für eine nationale Anwendung zu empfehlen.

6.2.3.1 Ungeschützte Verbindungen

Die Beanspruchbarkeit der Stahlbleche ist nach EN 1993-1-2 nachzuweisen. Dabei ist davon auszugehen, dass Kontaktflächen zwischen Holz und Stahl nicht brandbeansprucht sind.

6.2.3.2 Geschützte Verbindungen

Bei denen mit Holz oder Holzwerkstoffen geschützten, außenliegenden Stahlblechen wird davon ausgegangen, dass eine Abdeckung von 30 mm einen ausreichenden Schutz bietet, um innerhalb einer Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten eine Temperaturerhöhung des Bleches zu verhindern, die zu einem Verlust der Tragfähigkeit führt. In einer Tiefe von 30 mm herrscht nach einer Brandbeanspruchungsdauer von 30 Minuten eine Temperatur von ca. 100°C [35]. Stahl weist bis zu einer Temperatur von 400°C die volle Festigkeit auf. Durch die festgelegte Abdeckung von 30 mm ist das Stahlblech somit im Brandfall ausreichend geschützt.

6.2.4 Vereinfachte Regeln für auf Herausziehen beanspruchte Schrauben

Die Regeln gelten für auf Herausziehen beanspruchte Schrauben, die vor direkter Brandbeanspruchung geschützt sind. Der Nachweis der Schrauben ist durch eine Abminderung der Tragfähigkeit unter Normaltemperaturen zu führen. Diese Abminderung sieht vor, dass bereits ab einer seitlichen Überdeckung des Schraubenschaftes größer als 18 mm eine Tragfähigkeit angesetzt werden kann. Die rechnerische Abbrandgrenze liegt für Vollholz aus Nadelholz für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten bei 24 mm. Innerhalb des rechnerischen Abbrandbereiches wird davon ausgegangen, dass das Holz keine Tragfähigkeit besitzt. Die Gleichungen (6.11) in EN 1995-1-2 führen jedoch auf Tragfähigkeiten von maximal 24% der Tragfähigkeit unter Normaltemperaturen für Schrauben innerhalb des Abbrandbereiches.

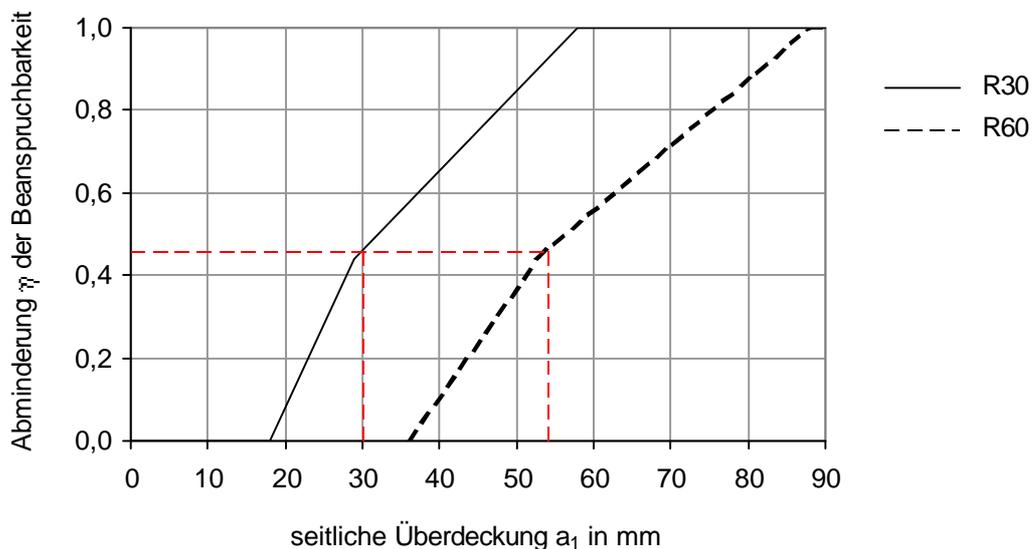


Bild 23: Abminderungsfaktor η der Beanspruchbarkeit einer Schraube auf Herausziehen im Brandfall nach EN 1995-1-2 Gleichung (6.11)

Aus den genannten Gründen wird empfohlen, die seitliche Überdeckung nach EN 1995-1-2 Bild 6.5 für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten auf mindestens 30 mm und von 60 Minuten auf mindestens 55 mm festzulegen. In dieser Tiefe herrscht nach einer Brandbeanspruchungsdauer von 30 Minuten eine Temperatur von ca. 100°C [35]. Die Abminderung nach Gleichung (6.11) beträgt für diesen Fall 0,46. Untersuchungen an der Technischen Universität Berlin [41] zum Tragverhalten von Schrauben auf Herausziehen in Abhängigkeit der Temperatur innerhalb der Verbindung haben ergeben, dass diese Abminderung ausreichend ist.

7 Konstruktive Ausführung

7.1 Wände und Decken

7.1.1 Bauteilmaße und Abstände

(1) Der Abstand von Wandstielen und Deckenbalken sollte nach der EN 1995-1-2 nicht größer als 625 mm sein. Die DIN 4102-4 begrenzt den vorgenannten Abstand direkt in den Tabellen 56 und 57 auf 625 bzw. 500 mm und indirekt im Abschnitt 4.12.5.2 auf 625 mm. Die Regelungen sind gleichwertig.

(2) Die Mindestdicke von Plattenbeplankungen der klassifizierten Bauteile beträgt 6 mm nach der DIN 4102-4 (Tabelle 52 und 53). In der EN 1995-1-2 wird eine Mindestdicke von 8 mm gefordert.

(3) Holzwerkstoffplatten sollten nach der EN 1995-1-2 eine charakteristische Rohdichte von mindestens 350 kg/m³ haben. Diese Rohdichte ist für das Sicherheitsniveau ausreichend, da die Abbrandgeschwindigkeit dieser Platten durch die Formel (3.5) entsprechend verändert wird.

7.1.2 Detaillierung von Plattenverbindungen

Die Verbindungsmittelabstände sowie die Verankerungslängen dieses Abschnittes werden nicht weiter kommentiert, da sie schon in der bauaufsichtlich eingeführten DIN V ENV 1995-1-2 sinngemäß im Abschnitt C.4.2 als Mindest- bzw. Höchstwerte angegeben und für deren Einführung überprüft wurden. Den Autoren sind keine Fälle bekannt, in denen eine entsprechende Befestigung der Platten negative Folgen hatte. Die Regelungen entsprechen vielen „Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen“ wie zum Beispiel der Zulassung Z-9.1-199 (Wände in Holztafelbauart mit Beplankungen aus KNAUF-Gipsplatten). Mindesteinschlagtiefe und Nagelhöchstabstände stimmen hier mit den Forderungen des Absatzes 7.1.2 der EN 1995-1-2 überein.

7.1.3 Wärmedämmung

Die Befestigung der Wärmedämmung wird in der DIN 4102-4 im Abschnitt 4.1.2.5.2 geregelt und enthält sinngemäß dieselben Forderungen wie sie in der EN 1995-1-2 gestellt werden. Das Sicherheitsniveau ist damit eingehalten.

7.2 Sonstige Bauteile

In der bauaufsichtlich eingeführten DIN V ENV 1995-1-2 wird im Abschnitt 3.2 als Höchstwert der Verbindungsmittelabstände 300 mm angegeben. Dieser Abstand war zu unsicher und wurde auf 200 mm bzw. $17 \cdot h_p$ herabgesetzt.

8 Anhang A (informativ) Parameterabhängige Brandbeanspruchung

Der Anhang A der EN 1995-1-2 gibt Hinweise zum Nachweis von Konstruktionen auf der Grundlage parameterabhängiger Brandbeanspruchungen. Er behandelt Naturbrandbeanspruchungen entsprechend der Öffnungsfaktoren-Methode unter Verwendung parameterabhängiger Temperaturzeitkurven.

Die Festlegungen des Anhangs A werden zur nationalen Anwendung empfohlen.

9 Anhang B (informativ) Erweiterte Berechnungsmethoden

Der Anhang B nach EN 1995-1-2 gibt Grundlagen zur Anwendung erweiterter Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Abbrandtiefen, Temperaturentwicklungen mittels thermischer Modelle und des Tragverhaltens mittels strukturmechanischer Modelle an. An der Technischen Universität Berlin wurden Untersuchungen zur Tragfähigkeitsermittlung von Holzbauteilen [35] und Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln [43] durchgeführt. Es wurden thermische und strukturmechanische Modelle entwickelt mit denen die Tragfähigkeiten für unterschiedliche Brandbeanspruchungsdauern ermittelt wurden. Den Modellen wurden die in Anhang B angegebenen thermischen und mechanischen Eigenschaften zugrunde gelegt. Vergleiche der Ergebnisse der Berechnungen mit Daten aus bislang vorliegenden Versuchen haben gezeigt, dass die Festlegungen des Anhangs B zu sinnvollen Ergebnissen führen. Zusätzlich wurden an der Technischen Universität Berlin Versuche zur Verifizierung des Rechenmodells für stiftförmige Verbindungen im Brandfall durchgeführt [42], die ebenfalls die Richtigkeit der Angaben bestätigen.

Die Festlegungen des Anhangs B werden zur nationalen Anwendung empfohlen.

10 Anhang C (informativ) Tragende Deckenbalken und Wandstiele

10.1 Beschreibung des Verfahrens

Im Anhang C wird ein Berechnungsverfahren dargestellt, das den Abbrand von Querschnitten tragender Holzbauteile in Decken (Balken) und Wänden (Stiele) mit vollgedämmten Hohlräumen beschreibt. Das Verfahren ist für Brandbeanspruchungen nach der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) und eine Dauer von höchstens 60 Minuten ausgelegt. Die Bekleidung auf der brandbeanspruchten Seite darf aus Holz- oder Gipswerkstoffplatten bestehen. Bei dem Verfahren nach Anhang C muss der Hohlraum vollgedämmt sein und die Dämmung aus Mineralfaserstoffen (Glas- oder Steinwolle) bestehen.

Im Abschnitt C3 des Anhangs C werden Modifikationsfaktoren ($k_{\text{mod,fi,fm}}$ und $k_{\text{mod,fi,E}}$) für die Abminderung der Festigkeiten und des Elastizitätsmoduls in Abhängigkeit der Werkstofftemperaturen angegeben.

Mit dem Restquerschnitt am Ende der thermischen Einwirkungszeit sowie den modifizierten Steifigkeitswerten kann die statische Tragfähigkeit der Wand bzw. der Decke errechnet werden.

Ablaufschema des Berechnungsverfahrens:

1. Ermittlung des Beginns des Abbrandes der tragenden Holzbauteile
2. Bestimmung der ideellen Abbrandrate
3. Ermittlung des Restquerschnitts aus ideeller Abbrandrate und Einwirkungszeit
4. Abminderung der Festigkeitseigenschaften sowie des E-Moduls
5. Statischer Nachweis mit dem Restquerschnitt und den modifizierten Festigkeitseigenschaften

Die ideelle Abbrandrate des tragenden Holzbauteils wird entweder über die Gleichung (C.1) oder (C.2) des Anhangs C ermittelt. Zur Bestimmung der zutreffenden Gleichung wird die Dauer der thermischen Einwirkung (t) mit dem Beginn des Abbrandes (t_{ch}) bzw. mit der Versagenszeit der Bekleidung (t_f) verglichen.

Zwischen dem beginnenden Abbrand der tragenden Holzbauteile und dem Ende der thermischen Einwirkung wird die ideelle Abbrandrate angesetzt.

Die Abbrandtiefe ergibt sich nach Gleichung (3.2) aus der ideellen Abbrandrate und der vorgenannten Abbranddauer. In dieser Gleichung ist der Effekt der Eckausrundung und der Rissbildung enthalten.

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

Zur Anwendung der Gleichung (C.1) oder (C.2) wird der Beginn des Abbrandes des Holzbauteiles (t_{ch}) nach Abschnitt C2.2 und die Versagenszeit der Bekleidung (t_f) nach Abschnitt C2.3 benötigt.

Wird die Gleichung (C.1) maßgebend, hat der Abbrand des tragenden Holzbauteils bereits begonnen, obwohl der Versagenszeitpunkt der Bekleidung nach der Eingangsbedingung $t_{\text{ch}} \leq t \leq t_f$ entweder genau zum Ende oder außerhalb der Zeitdauer der Brandbeanspruchung nach der ETK liegt. Versagt die Bekleidung innerhalb der thermischen Einwirkungsdauer (t) wird die Abbrandrate β_n nach Gleichung (C.2) bestimmt.

Die beiden Gleichungen unterscheiden sich durch die Faktoren k_2 und k_3 .

Der Dämpfungsfaktor k_2 berücksichtigt die schützende Wirkung der Bekleidung und wird durch die Stoßfugen der Platten beeinflusst.

Bei Fugen in der Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite wird der Faktor k_2 zu:

$$k_2 = 0,86 - 0,0037 \cdot h_p$$

Ohne Fugen auf der feuerzugewandten Seite ergibt sich k_2 zu:

$$k_2 = 1,05 - 0,0073 \cdot h_p$$

k_3 ist ein Faktor, der einen vorhergehenden Schutz des tragenden Holzbauteils berücksichtigt. Voraussetzung für die Anwendung des Faktors ist eine Hohlraumdämmung aus Steinwolle, die nach dem Versagen der Bekleidung nicht herausfällt.

Bei einer Dämmung aus Glaswolle wird die Abbrandrate β_n nicht ermittelt. In diesem Fall wird das Versagen des tragenden Holzbauteils (Stiel oder Balken) nach Abschnitt C2.1(6) zum Zeitpunkt t_f angenommen.

Nach DIN 4102-4 Abschnitt 4.12.5.1 sind nur Dämmstoffe bei Wand- und Deckenkonstruktionen zulässig, die einen Schmelzpunkt ≥ 1000 °C (nach DIN 4102-17) haben. Glaswolle schmilzt jedoch schon bei Temperaturen ab ca. 800 °C und ist deshalb im Anwendungsbereich von DIN 4102 nicht enthalten. Zur Beurteilung der Verwendbarkeit von Glaswolle siehe untenstehend 9.2.

10.1.1 Beginn des Abbrandes

Der Zeitpunkt für den Beginn des Abbrandes t_{ch} der tragenden Bauteile wird bei Bekleidungen aus Holzwerkstoffen nach Gleichung (C.6) ermittelt. Der Versagenszeitpunkt t_f ergibt sich aus der Gleichung (C.7) nach Abschnitt C2.3(1).

$$t_{\text{ch}} = t_f \quad (\text{C.6})$$

t_{ch} Beginn des Abbrandes der Holzbauteile in Minuten

t_f Versagenszeitpunkt der Bekleidung in Minuten

Bei Brandschutzbekleidungen aus Gipsplatten nach EN 520 Typ A, H und F wird der Zeitpunkt des beginnenden Abbrandes nach der Gleichung (3.10) oder (3.11) des Abschnittes 3.4.3.3(2) ermittelt.

Für Bekleidungen mit verspachtelten Stößen oder offenen Stößen mit einer Breite kleiner bzw. gleich 2 mm ist der Beginn des Abbrandes nach Gleichung (3.10) anzunehmen, an Stellen im Bereich von offenen Stößen mit einer Breite größer als 2 mm ist er nach Gleichung (3.11) zu ermitteln.

$$t_{\text{ch}} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (3.10)$$

$$t_{\text{ch}} = 2,8 \cdot h_p - 23 \quad (3.11)$$

10.1.2 Versagenszeit von Bekleidungen

Die Versagenszeit von Bekleidungen aus Holzwerkstoffen wird nach der Formel (C.7) ermittelt.

$$t_f = \frac{h_p}{\beta_0} - 4 \quad (\text{C.7})$$

Die Schutzwirkung der Bekleidung aus HWS-Platten kann durch den unzureichenden Zusammenhalt der Platten in der Endphase vor dem tatsächlichen Versagenszeitpunkt beendet sein. Um diese Unwägbarkeit zu erfassen, wurde die Schutzzeit in der Formel (C.7) um 4 Minuten vermindert.

Der Wert der Abbrandgeschwindigkeit β_0 wird entsprechend Abschnitt 3.4.2 ermittelt.

Für Gipsplatten des Typs A und H der EN 520 ergibt sich die Versagenszeit nach der folgenden Formel:

$$t_f = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (\text{C.8})$$

Da die brandschutztechnischen Eigenschaften des Plattentyps F wesentlich besser sind als der Typen A und H, kann die Formel (C.8) auch für den Typ F genutzt werden. Das Ergebnis liefert unrealistisch ungünstige Werte, liegt damit jedoch auf der „sicheren“ Seite.

Am Abschnitt C2.3(3) wird darauf hingewiesen, dass der Versagenszeitpunkt für den Plattentyp F in Abhängigkeit des thermischen Abbaus der Bekleidung durch Versuche ermittelt werden soll. Weiterhin soll auch das Versagen der Verbindungsmittel durch Herausziehen infolge mangelhafter Verankerungslänge im unverbrannten Holz bestimmt werden. Beide Versagenskriterien müssen erfüllt werden. Der Verbindungsmittelnachweis kann nach Abschnitt C2.3(5) Gleichung (C.9) oder (C.12) geführt werden.

$$t_f = \frac{l_f - l_{a,\min} - h_p}{k_s \cdot k_2 \cdot k_n \cdot k_j \cdot \beta_0} \quad (\text{C.9})$$

10.1.3 Abminderung der Festigkeits- und Steifigkeitsparameter

Der Modifikationsfaktor für die Festigkeit der Holzbauteile im Brandfall wird nach Gleichung (C.13), der des E-Moduls im Brandfall nach Gleichung (C.14) ermittelt.

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

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

Abminderungswerte der Festigkeit werden im Anhang C in den Tabellen C.2 und C.3 für folgende Anwendungsfälle angegeben:

Deckenbalken (einseitige thermische Einwirkung):

- Biegebeanspruchung mit Zug auf der brandbeanspruchten Seite; Deckenbalken mit einer Tiefe h von 95 - 220 mm
- Biegebeanspruchung mit Druck auf der brandbeanspruchten Seite; Deckenbalken mit einer Tiefe h von 95 - 220 mm

Wandstiel:

- Druckfestigkeit; Wandstiel mit einer Tiefe h von 95 - 220 mm (beidseitige thermische Einwirkung)
- Druckfestigkeit; Wandstiel mit einer Tiefe h von 145 mm (beidseitige thermische Einwirkung auf die Gesamtwand)

Abminderungswerte des E-Moduls werden im Anhang C in den Tabellen C.4 und C.5 für folgende Anwendungsfälle angegeben:

Wandstiel:

- Stabilitätsversagen rechtwinklig zur Wandebene; Wandstiel mit einer Tiefe h von 95 - 195 mm (einseitige thermische Einwirkung)

- Stabilitätsversagen in Wandebene – mit Querriegel; Wandstiel mit einer Tiefe h von 95 - 195 mm (einseitige thermische Einwirkung)
- Stabilitätsversagen rechtwinklig zur Wandebene; Wandstiel mit einer Tiefe h von 145 mm (beidseitige thermische Einwirkung auf die Gesamtwand)
- Stabilitätsversagen in Wandebene - Querriegel; Wandstiel mit einer Tiefe h von 145 mm (beidseitige thermische Einwirkung auf die Gesamtwand)

10.2 Beurteilung des Berechnungsverfahrens nach Anhang C

In den folgenden Abschnitten wird eine Beurteilung des Berechnungsverfahrens nach Anhang C durchgeführt.

Dämmmaterial

Eine Eingangsvoraussetzung nach Abschnitt C1(1) des Berechnungsverfahrens nach Anhang C ist die Volldämmung der Hohlräume mit einem Dämmmaterial aus Stein- oder Glaswolle. In der DIN 4102-4 werden nur Mineralfaserdämmungen zugelassen, die nach DIN 4102 Teil 17 einen Schmelzpunkt ≥ 1000 °C besitzen. Glaswolle beginnt schon bei Temperaturen ab ca. 800 °C zu schmelzen.

Im Berechnungsverfahren nach Anhang C werden die ungünstigen brandschutztechnischen Eigenschaften, wie zum Beispiel Wärmeleitfähigkeit und Schmelzpunkt der Glaswolle, durch entsprechende Werte berücksichtigt.

Entsprechend kann bei der Ermittlung der Abbrandrate β_n nach den Gleichungen (C.1) und (C.2) nur Steinwolle als Dämmmaterial genutzt werden. Bei Dämmung aus Glaswolle muss das Versagen der tragenden Holzbauteile nach Absatz C2.1(6) schon zum Zeitpunkt t_f angenommen werden.

Glaswolle sollte als Dämmmaterial zugelassen werden. Jedoch darf sich deren Anwendung ausschließlich auf Bauteile beschränken, die nach dem Berechnungsverfahren Anhang C brandschutztechnisch bemessen werden.

Anwendung der Gleichung (C.1) oder (C.2)

Zur Bestimmung der maßgebenden Abbrandrate β_n müssen zwei Eingangsbedingungen untersucht werden:

$$t_{ch} \leq t \leq t_f \tag{a}$$

oder

$$t \geq t_f \tag{b}$$

Bei allen durchgeführten Vergleichsrechnungen nach Abschnitt 12 bzw. den Tabellen 1 und 2 des Anhangs A wurde die Bedingung $t \geq t_f$ maßgebend.

Bei Bekleidungen aus Holzwerkstoffen wird als Beginn des Abbrandes (t_{ch}) der tragenden Holzbauteile der Versagenszeitpunkt (t_f) der schützenden Platten angenommen, da die Gleichung $t_{ch} = t_f$ (C.6) gilt.

Verbindet man die Gleichungen (C.8) und (3.11) sowie die Aussagen der Abschnitte C2.2(2) und C2.3(2), gilt für die Gipsplatten Typ A und H mit gespachtelten oder offenen Fugen $\leq 2,0$ mm ebenso wie für die Holzwerkstoffplatten $t_{ch} = t_f$.

Für die vorgenannten Plattenwerkstoffe (HWS und Gipsbauplatten Typ A und H) kann die Eingangsbedingung (a) nur maßgebend werden, wenn das Ende der thermischen Einwirkungsdauer genau auf die gleiche Zeit wie das Versagen der Bekleidung und der Beginn des Abbrandes der Holzbauteile fällt. Dass diese drei Randbedingungen zum gleichen Zeitpunkt eintreten, ist eher unwahrscheinlich.

Die Eingangsbedingung (a) kann demnach nur für die Typen A und H mit ungespachtelten Fugen $> 2,0$ mm gelten oder ggf. für Platten des Typs F.

Abbrandrate der Holzwerkstoffplatten

Es gelten die Regelungen des Abschnitts 3.4.2

Mehrlagige Beplankungen

Für 2-lagige Beplankungen aus einem Material – Holzwerkstoffplatten oder Gipsplatten - wird eine effektive Dicke ermittelt, die jeweils in die entsprechenden Formeln zur Berechnung von t_f oder t_{ch} einfließen.

Bei Holzwerkstoffplatten werden die Dicken der einzelnen Lagen addiert. Die Regel ist nicht explizit in Abschnitt C2.3(1) enthalten, entspricht aber Formel (3.10).

Bei den Gipsbauplatten Typ A und H wird die äußere Schicht voll und die innere Schicht zu 50 % angesetzt - beim Typ F die äußere ebenfalls voll, die innere Schicht zu 80 %.

Für eine 3-lagige Beplankung, z.B. entsprechend DIN 4102-4 nach Tabelle 51 Zeile 15, werden keine Regeln angegeben, ebenso zur Ermittlung der Gesamtschutzzeit von gemischten Beplankungen aus HWS- und Gipsbauplatten.

In den Beispielrechnungen im Anhang A sowie in den Vergleichen der Tabellen 1 und 2 des Anhangs A wurden die Schutzzeiten von Beplankung aus unterschiedlichen Werkstoffen addiert.

Die Annahme wurde aus folgenden Gründen getroffen:

Nach der Vorgabe der DIN 4102-4 Tabelle 51 soll bei „gemischten“ Beplankungen die Gipsbauplatte die außenliegende, die Holzwerkstoffplatte die innenliegende Schicht bilden.

Bei außenliegenden Gipsbauplatten kann die gesamte Dicke der Platte angenommen werden, da die nachfolgende Schicht auf die Dauer des Schutzverhaltens der Gipsplatte nur einen unwesentlichen Einfluss hat.

Die Holzwerkstoffplatte wird – durch den vorhergehenden Schutz der Gipsbauplatte – nach deren Wegfall höheren ETK-Temperaturen ausgesetzt sein, auch hier tritt wie bei ursprünglich geschütztem Vollholz ein Vorwärmeeffekt ein. Bei einer 9,5 mm dicken Gipsbauplatte versagt die Schutzwirkung rechnerisch nach ca. 12,6 min bei einer ETK-Temperatur von ca. 720 °C, bei einer Gipsbauplatte mit einer Dicke von 12,5 mm nach ca. 21,0 min bei einer Temperatur von 790 °C und bei einer 16 mm dicken Holzwerkstoffplatte nach einer Zeit von 14,2 min bei ca. 730 °C.

Es sind jedoch keine systematischen Untersuchungen zu erhöhtem Abbrand der Holzwerkstoffplatten bekannt. Da deren Abbrandraten ohnehin höher sind als von Vollholz und die erhöhte Abbrandgeschwindigkeit zum Teil durch die Minderung der Schutzdauer von 4 Minuten in der Formel (C.7) kompensiert wird, wurden in den Vergleichsrechnungen die Schutzzeiten einer gemischten Beplankung einzeln addiert.

Zweilagige Beplankung aus Holzwerkstoffplatten

Die Regel der Formel (3.6) [$k_h = \sqrt{(20/h_p)}$] für die Erhöhung der Abbrandgeschwindigkeit wurde auch hier angewendet. Es ist zwar anzunehmen, dass bei einer zweilagigen Beplankung durch die dahinter liegende zweite Plattenlage die Abbrandrate nicht in gleichem Maße zunimmt, ob die Abbrandrate aber einer Platte mit der gleichen Gesamtdicke ($d_1 + d_2$) entspricht ist nicht untersucht worden. Die Berechnung liegt auf der sicheren Seite, wenn für beide Platten in den Beispielrechnungen sowie in den Berechnungen zu den Tabellen 1 und 2 des Anhangs A die erhöhte Abbrandgeschwindigkeit angenommen wird.

Festigkeits- und Steifigkeitsparameter

Zur Ermittlung der Festigkeits- und Steifigkeitswerte von Holzbauteilen unter Brandbeanspruchung wird der Modifikationsfaktor $k_{mod,fi}$ benötigt. Er wird aus den Abminderungswerten a_0 und a_1 und dem Quotienten aus der Abbrand- und Holzbauteiltiefe bestimmt.

Die Werte a_0 und a_1 sind tabelliert vorhanden.

Um auch den Mindestquerschnitt h/b 40mm/80mm der DIN 4102-4 Tabelle 51 sowie die gängigen – nach der EN 1995-1-1 berechneten - Balkenquerschnitte der Tabelle 56 beurteilen zu können, wurden die Abminderungswerte a_0 und a_1 aus den gegebenen Werten des Anhangs C inter- bzw. extrapoliert. Auffallend ist, dass sowohl für die Tiefe von 195 mm als auch von 220 mm der zugehörige a_1 -Wert die gleiche Größe hat. Da der a_0 -Wert dennoch ansteigt und der a_1 - Wert gleich bleibt, werden die verbleibenden

Festigkeitswerte größer werden und bilden damit qualitativ die größere, thermisch nicht beeinflusste Zone ab.

Exemplarisch wird im Bild 24 die Abnahme der Biegefestigkeit mit Zug auf der brandbeanspruchten Seite dargestellt.

h	a ₀	a ₁
mm	-	-
80	0,576	0,451
95	0,600	0,460
120	0,640	0,475
140	0,672	0,487
145	0,680	0,490
160	0,695	0,496
180	0,715	0,504
195	0,730	0,510
200	0,736	0,510
220	0,760	0,510
240	0,784	0,510
280	0,830	0,510

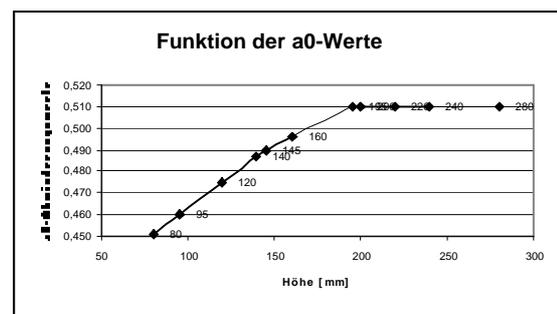
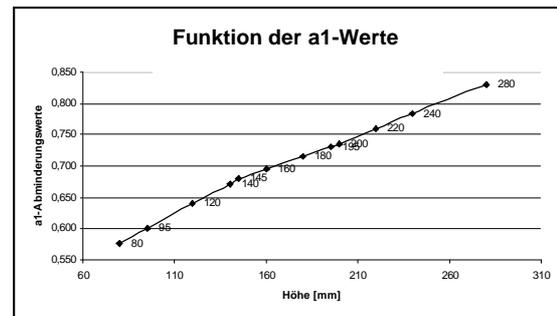


Bild 24: Abminderungsfaktoren der Tabelle C.2 zur Berechnung der Biegefestigkeit für den Anwendungsfall 1 sowie deren Darstellung als Funktionen

Zur Abminderung der Festigkeit sowie des E-Moduls von zweiseitig brandbeanspruchten Wänden gibt es nur Werte für einen Querschnitt mit der Tiefe von 145 mm. Hier ist die Anwendungsmöglichkeit sehr eingeschränkt.

Die im Bild 24 rot aufgeführten a₁- und a₀-Werte wurden extra- bzw. interpoliert um Balken und Stiele mit gängigen Profilmäßen berechnen zu können. Die extrapolierten Werte wurden nach ingenieurmäßigen Gesichtspunkten ermittelt. Sie sollten jedoch nicht bei der allgemeinen Nutzung des Anhangs C angewandt werden, da eine umfassende wissenschaftliche Bestätigung dazu aussteht.

Querschnittsfaktor k_s

Die Abbrandgeschwindigkeit von tragenden Holzbauteilen wird zusätzlich von deren Breite beeinflusst. Je schmaler ein Bauteil ist, umso größer ist die Durchwärmung und

umso schneller die folgende thermische Zersetzung. Dieser Effekt wird durch den Querschnittsfaktor k_s in Formel (C.1) und (C.2) berücksichtigt.

Der Querschnittsfaktor k_s wird nach der Breite des tragenden Holzbauteils über die Werte der Tabelle C.1 bestimmt. Bei einer Breite zwischen 38 und 60 mm darf der k_s -Faktor linear interpoliert werden. Für Querschnitte $b \geq 90$ mm gibt König in [27] den Wert 1,0 an.

b	k_s
mm	-
38	1,4
45	1,3
60	1,1
≥ 90	1,0

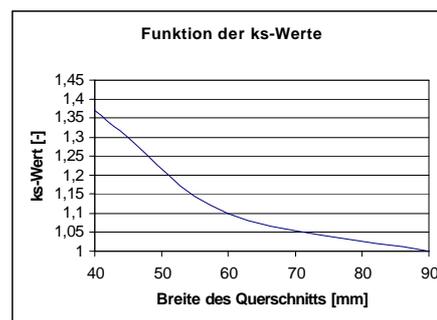


Bild 25: Erweiterte Tabelle C.1 und deren Darstellung als Funktion

Die k_s -Werte zwischen 38 und 60 mm verlaufen nahezu linear. Bei einer linearen Extrapolation wäre der k_s -Wert von 1,0 schon bei einer Breite von 67 mm erreicht worden. Die Breite von 90 mm beinhaltet damit einen Sicherheitsbereich.

Um auch Holzbalken in Decken berechnen zu können, die in der Regel breiter als 60 mm sind, sollte die Breite von 90 mm in der Tabelle C.1 aufgenommen werden.

10.3 Ergebnisse der Beispiel- und Tabellenrechnungen

Um das Sicherheitsniveau der beiden Regelwerke (EN 1995-1-2/DIN 4102-4) vergleichen zu können, wurde der Abbrand von tragenden Holzbauteilen in Wänden (Stiele) und Decken (Balken) rechnerisch nach dem Verfahren des Anhangs C ermittelt. Die konstruktiven Wand- und Deckenaufbauten wurden den Vorgaben der brandschutztechnisch klassifizierten Bauteile der DIN 4102-4 entnommen.

Diese klassifizierten Aufbauten der DIN 4102-4 erfüllen das Kriterium der Tragfähigkeit am Ende der thermischen Einwirkungsdauer. Bei gleichem Sicherheitsniveau muss dieses Wertungskriterium auch von den Wandstielen bzw. Deckenbalken, deren Restquerschnitt nach Anhang C ermittelt wurde, erfüllt werden.

Mit dem errechneten Restquerschnitt am Ende der thermischen Einwirkungsdauer (30 oder 60 Minuten) wurde bei den Wandstiele ein Spannungs- sowie ein Stabilitätsnachweis durchgeführt. Bei dem Stabilitätsnachweis wurde als Höhe der Wandstiele - und damit auch der Wände - die Mindesthöhe von Aufenthaltsräumen (2,40 m) nach der Musterbauordnung (Fassung November 2002) § 47 Abschnitt 1 angesetzt. In der Regel werden Geschosse jedoch höher gebaut als es diese Mindesthöhe vorgibt.

Der Stabilitätsnachweis wurde mit Hilfe des Knickbeiwertes $f_{c,fi}$ der Knickspannungslinien nach Eurocode 5 geführt. Die durch thermische Einwirkung veränderten Materialeigenschaften (Festigkeit und E-Modul) wurden in die Knickbeiwerte über die Formel $\lambda_{rel,fi} = \lambda \cdot \sqrt{(f_{c,0,d,fi} / (\pi^2 \cdot E_{d,fi}))}$ eingebracht. Die geometrischen Randbedingungen wie Imperfektionen und Vorkrümmungsamplituden wurden jedoch nicht geändert und beziehen sich auf den „kalten“ Zustand des Systems. Durch den Abbrand der Beplankung auf der dem Feuer zugewandten Seite und einem Teil des tragenden Stieles wird eine Ausmittigkeit erzeugt, die nicht von dem Knickbeiwert erfasst wird. Durch die Beplankung auf der dem Feuer abgewandten Seite werden die Stiele der Wand ausgesteift. Der Knickbeiwert erfasst ebenfalls diese Situation nicht, da er für freistehende Stützen ermittelt wurde.

Durch die vorgenannten Einflüsse kann das Ergebnis des Stabilitätsnachweises nicht als präzise Berechnung gewertet werden, die alle geometrischen Einflüsse mit ihren Größen berücksichtigt.

Die Ergebnisse liefern jedoch – mit einem vertretbaren Rechenaufwand - gute Annäherungswerte, aus denen eine approximierete Tendenz des Stabilitätsversagens zu ersehen ist.

Nach der Tabelle 51 der DIN 4102-4 ergaben sich 31 mögliche Wandaufbauten, 20 davon konnten rechnerisch nach den Regeln des Anhangs C überprüft werden (siehe: Beispielberechnung A.1 und A.2 sowie Tabelle 1 und 7 des Anhangs A). Für 11 Wandaufbauten fehlten entweder Kennwerte, die zur Berechnung des Abbrandes notwendig sind oder die Wandaufbauten wurden nach der DIN 4102-4 in die Widerstandsklasse F 90-B eingestuft, die nach dem Anhang C nicht berechnet werden kann.

Von den rechnerisch kontrollierten 20 Aufbauten konnten 9 in die entsprechende Feuerwiderstandsklasse der Tragfähigkeit nach DIN 4102-4 eingestuft werden, 11 Aufbauten erreichten rechnerisch die erforderliche Klasse nicht.

Das Sicherheitsniveau der EN 1995-1-2 Anhang C (für Wände) ist nach den vorgenannten Ergebnissen der Überprüfung mit dem der DIN 4102-4 mindestens gleich zu setzen. Das Verfahren kann für Wände zugelassen werden.

Bei den Deckenaufbauten wurde zuerst eine Bemessung bei Normaltemperaturen der Balken nach den Regeln der EN 1995-1-1 durchgeführt und hierüber die erforderlichen

Querschnitte ermittelt. Dies ist zum Vergleich erforderlich, da nach DIN 4102-4 lediglich eine Mindestbreite von $b = 40$ mm erforderlich ist.

Bei der „kalten“ Bemessung wurde ein Spannungs- und Durchbiegungsnachweis geführt. Als veränderliche und ständige charakteristische Last wurde jeweils $2,0$ kN/m² angesetzt und es wurden Einfeldträger mit der Spannweite von drei, vier und fünf Metern untersucht. Um die beiden Regelwerke miteinander vergleichen zu können, wurden die Deckenaufbauten der DIN 4102-4 entnommen. Mit dem nach Anhang C errechneten Restquerschnitt der Deckenbalken wurde anschließend ein „heißer“ Biegespannungsnachweis geführt.

Von den 12 überprüften Anwendungsfällen konnten sieben in die entsprechende Feuerwiderstandsklasse der Decken nach DIN 4102-4 Tabelle 56 eingeordnet werden - in 5 Fällen wäre die Deckenkonstruktion nach dem Rechenverfahren Anhang C bezüglich der Tragfähigkeit in die nächst höhere Feuerwiderstandsklasse – F 60-B – eingestuft worden. Es ist dabei zu beachten, dass die Angaben der Tabelle 56 aus DIN 4102-4 bezüglich der Tragfähigkeit lediglich die Bemessung nach DIN 1052 voraussetzen und gleichzeitig die Anforderungen des Raumabschlusses und der Begrenzung des Temperaturdurchgangs eingehalten werden. Die längeren, rechnerisch ermittelten Feuerwiderstandsdauern nur bezüglich des Kriteriums Tragfähigkeit können daher akzeptiert werden, zur Einstufung der Decken muss zusätzlich der Nachweis nach Anhang E geführt werden. Dieser muss wegen fehlender Materialkennwerte ohne Berücksichtigung des Deckenaufbaus geführt werden.

11 Anhang D (informativ) Abbrand von Bauteilen in Wand- und Deckenkonstruktionen mit ungedämmten Hohlräumen

11.1 Beschreibung des Verfahrens

Im Anhang D werden die Grundlagen für ein Berechnungsverfahren vorgestellt, das die thermische Reduzierung von Querschnitten tragender Holzbauteile in Decken (Balken) und Wänden (Stiele) mit ungedämmten Hohlräumen beschreibt. Teile der Grundlagen, die für den Anhang C genutzt werden (siehe auch Kapitel 9) gelten auch für die Berechnung von tragenden Holzbauteilen nach Anhang D.

Das Verfahren gilt für Normbrandbeanspruchung nach der ETK. Die Einwirkungszeit ist nicht – wie im Anhang C und E – auf 60 Minuten begrenzt.

Die Regeln der Abschnitte 3.4.3.1 (Oberflächen von anfänglich vor Brandeinwirkung geschützten Balken und Stielen - Allgemeines) und 3.4.3.2 (Oberflächen von anfänglich vor Brandeinwirkung geschützten Balken und Stielen – Abbrandraten für anfänglich geschützte Bauteile) gelten auch für den Anhang D.

Aus den Abbrandtiefen, die getrennt nach Schmal- und Längsseite ermittelt werden, wird der Restquerschnitt des 3-seitig brandbeanspruchten Querschnitts ermittelt. Die statischen Nachweise mit diesen Restquerschnitten am Ende der thermischen Einwirkungszeit werden nach der „Methode mit reduziertem Querschnitt“ nach Abschnitt 4.2.2 geführt.

Ablaufschema des Berechnungsverfahrens:

1. Ermittlung des Beginns des Abbrandes der tragenden Holzbauteile
2. Bestimmung der ideellen Abbrandrate – getrennt nach Schmal- und Längsseite
3. Ermittlung des Restquerschnitts aus ideeller Abbrandrate und Einwirkungszeit - getrennt nach Schmal- und Längsseite (3-seitige Brandbeanspruchung)
4. Wahl des Nachweisverfahrens – z.B. die „Methode mit reduziertem Querschnitt“
5. Statischer Nachweis mit dem „kalten“ Restquerschnitt

11.1.1 Beginn des Abbrandes

Der Zeitpunkt für den Beginn des Abbrandes t_{ch} der tragenden Bauteile wird bei Bekleidungen aus Holzwerkstoffen nach Absatz D4(1) Gleichung (D.3) ermittelt. Der Versagenszeitpunkt t_f ergibt sich aus der Gleichung (D.1)

$$t_{ch} = t_f \tag{D.1}$$

Die drei thermisch beaufschlagten Seiten – die Schmalseite sowie die beiden Längsseiten – des Querschnitts beginnen nach dem Versagen der schützenden Holzwerkstoffplatten zur gleichen Zeit abzubrennen.

Bei Brandschutzbekleidungen aus Gipsbauplatten nach EN 520 wird der Zeitpunkt des beginnenden Abbrandes der Schmalseite nach Gleichung (3.11) oder (3.12) bestimmt. Für den Abbrand der Längsseiten gilt die Bedingung $t_{ch} = t_f$ nach Gleichung (D.2); das heißt, der Beginn des Abbrandes wird nach Gleichung (D.4) oder Gleichung (D.5) bestimmt. Rechnerisch beginnt bei dieser Art der Beplankung der Abbrand auf der Schmalseite zuerst.

$$t_f = t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 11 \quad (D.4)$$

$$t_f = t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 12 \quad (D.5)$$

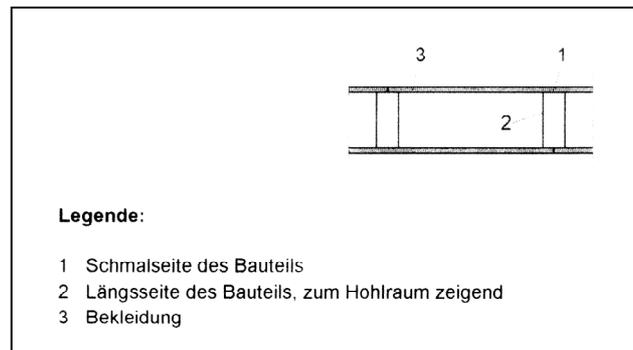


Bild 26: Definition der Schmal- und Längsseite der Holzbauteile

11.1.2 Versagenszeit von Bekleidungen

Wie auch im Anhang C wird die Versagenszeit von Bekleidungen aus Holzwerkstoffen nach Formel (D.3) – im Anhang C Formel (C.7) - ermittelt.

$$t_f = \frac{h_p}{\beta_0} - 4 \quad (D.3)$$

Für Gipsplatten des Typs A und H der EN 520 ergibt sich die Versagenszeit

- für Decken, bei denen die Beplankung an Holzbauteilen oder tragenden Stahlprofilen mit einem Abstand ≤ 400 mm oder für Wände nach Formel:

$$t_f = 2,8 \cdot h_p - 11 \quad (D.4)$$

- für Decken, bei denen die Beplankung an Holzbauteilen oder tragenden Stahlprofilen mit einem Abstand $a \geq 600 \text{ mm} \geq a > 400 \text{ mm}$ befestigt ist nach Formel:
$$t_f = 2,8 \cdot h_p - 12 \quad (\text{D.5})$$

Bei zweilagiger Beplankung setzt sich die Dicke h_p aus der Dicke der äußeren Schicht sowie aus 50 % der Dicke der inneren Schicht zusammen. Der Plattentyp F fehlt auch hier, er sollte ergänzend zugelassen werden.

11.2 Beurteilung des Berechnungsverfahrens nach Anhang D

Die im Anhang A in der Beispielrechnung A.4 und in der Tabelle 3a-b überprüften Wandaufbauten wurden den Vorgaben der DIN 4102-4 Tabelle 50 entnommen. Für die Stiele in diesen Wandaufbauten wurde rechnerisch der Abbrand nach den Vorgaben des Anhangs D ermittelt. Mit dem Restquerschnitt der Stiele und der Mindesthöhe von Aufenthaltsräumen ($\hat{=}$ Höhe der Wandstiele) wurde dann ein Spannungs- und Stabilitätsnachweis durchgeführt.

Die Lasten für diese Nachweise wurden aus dem Ausnutzungsgrad α_7 der DIN 4102-22 Gleichung (8.1) ermittelt. Dadurch erfolgte – wie auch bei der Überprüfung des Anhangs C – eine Anpassung an das semiprobabilistische Sicherheitskonzept.

Die klassifizierten Wandaufbauten nach der DIN 4102-4 erfüllen das Kriterium der Tragfähigkeit am Ende der thermischen Einwirkungsdauer. Bei gleichem Sicherheitsniveau muss dieses Kriterium auch von den Wandstielen, deren Restquerschnitt nach Anhang D der EN 1995-1-2 ermittelt wurde, erfüllt werden.

11.3 Ergebnisse der Beispiel- und Tabellenrechnungen

Es wurden 19 verschiedene Wandaufbauten überprüft. Sowohl der Spannungs- als auch der Stabilitätsnachweis konnte von allen Aufbauten erfüllt werden (siehe: Beispielberechnung A.4 sowie Tabelle 3a-d und 6 des Anhangs A).

Durch die Vergleichsrechnungen wurde nachgewiesen, dass die nach Anhang D errechneten Feuerwiderstandsklassen den Klassen der Wandaufbauten nach DIN 4102-4 Tabelle 50 entsprechen.

Das Sicherheitsniveau der EN 1995-1-2 Anhang C (für Wände) ist nach den vorgeannten Ergebnissen der Überprüfung mit dem der DIN 4102-4 gleich zu setzen. Das Verfahren kann zugelassen werden.

12 Anhang E (informativ) Berechnung der raumabschließenden Funktion von Wand- und Deckenkonstruktionen

12.1 Beschreibung des Verfahrens

Im Anhang E wird ein Rechenverfahren zur Berechnung der Feuerwiderstandsdauer von raumabschließenden Wand- und Deckenkonstruktionen beschrieben. Die grundlegenden Anforderungen bezüglich des Raumabschlusses und der Begrenzung des Temperaturdurchgangs, die zur Einstufung der Konstruktionen führen, sind in beiden Regelwerken gleich. Sie werden in der DIN 4102-2 im Abschnitt 5.2 und in der EN 1995-1-2:2004 Abschnitt 2.1.2 und Anhang E Tabelle E.1 spezifiziert (Bild 27).

Mit dem Rechenverfahren wird die Zeitdauer bis zum Erreichen der Temperaturerhöhung von 140 K (im Mittel) bzw. 180 K (an einem Punkt) auf der Oberfläche der feuerabgewandten Seite ermittelt.

Es werden vier Wärmedurchgangswegen durch eine raumabschließende Konstruktion sowie der daraus resultierende Temperaturanstieg auf der feuerabgewandten Seite unterschieden. Für diese verschiedenen Wege werden Fugenbeiwerte im Rechenverfahren angegeben.

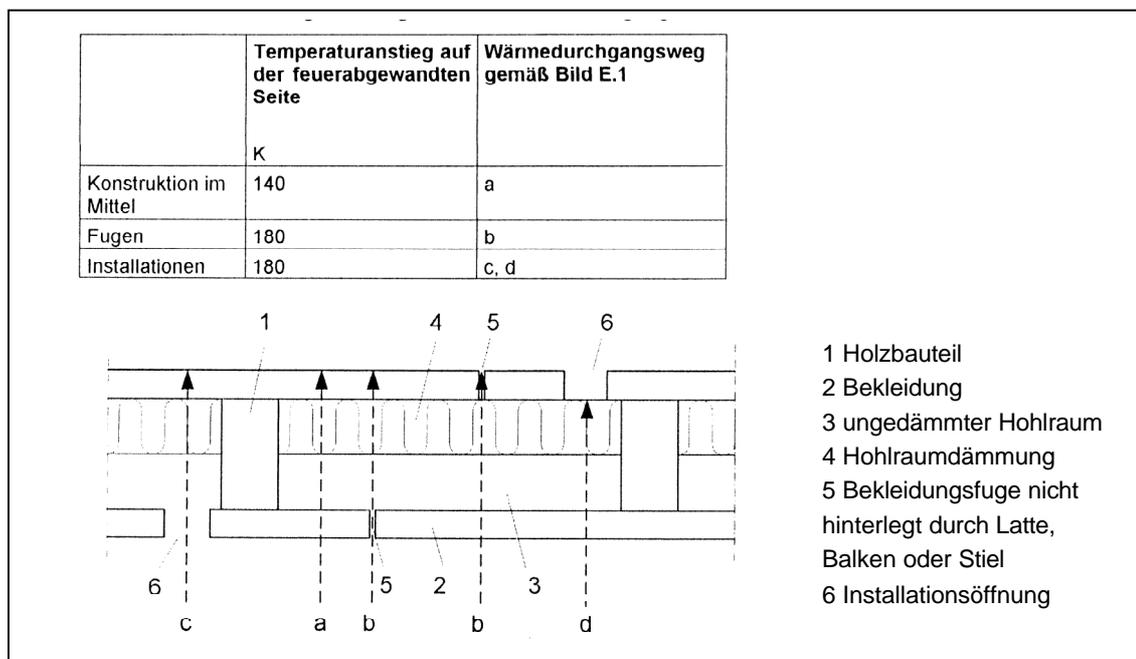


Bild 27: Darstellung der möglichen Wärmedurchgangswegen durch eine raumabschließende Konstruktion – nach Bild E.1 aus [14]

Der Grundgedanke der Rechenmethode nach Anhang E ist die Summierung der thermischen Versagenszeiten der einzelnen Schichten.

Als thermisches Versagen wird bei raumabschließenden Bauteilen die Überschreitung des Kriteriums E (Raumabschluss) oder I (Wärmedämmung) gewertet, wobei die Forderung des Raumabschlusses als erfüllt gilt, wenn die Anforderungen bezüglich der Wärmedämmung (Kriterium I) eingehalten werden.

Der Nachweis des Raumabschlusses ist erbracht, wenn

$$t_{\text{ins}} \geq t_{\text{req}} \quad [\text{E.1}]$$

t_{ins} Zeit bis zum Erreichen der angegebenen Temperaturerhöhung auf der feuerabgewandten Seite

t_{req} erforderliche Feuerwiderstandsdauer für die raumabschließende Funktion der Konstruktion

Das Prinzip dieser Methode wurde schon in DIN V ENV 1995-1-2:1994 angewandt. Die Grundlage wurde in der neuen Fassung der EN 1995-1-2 mit der Methode von Norén [45] kombiniert und erweitert. Die thermische Versagenszeit der Gesamtkonstruktion setzt sich aus der Summe der Versagenszeiten der Einzelkomponenten zusammen.

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

$t_{\text{ins},0,i}$ Grundwert der Wärmedämmung der Schicht "i", in Minuten

k_{pos} Positionsbeiwert

k_j Fugenbeiwert

Für folgende Baustoffe werden Grundwerte der Dämmung angegeben, die von der Art und Dicke der Materialien abhängig sind:

Bekleidungen:

Sperrholz ($\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3$): $t_{\text{ins},0} = 0,95 \cdot h_p$

Span- und Faserplatten ($\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$): $t_{\text{ins},0} = 1,10 \cdot h_p$

Holzbekleidung ($\rho \geq 400 \text{ kg/m}^3$): $t_{\text{ins},0} = 0,50 \cdot h_p$

Gipswerkstoffplatten (Typ A, F, R und H – nach EN 520): $t_{\text{ins},0} = 0,95 \cdot h_p$

Mineralfaserdämmungen:

Steinwolle: $t_{\text{ins},0,i} = 0,2 \cdot h_{\text{ins}} \cdot k_{\text{dens}}$

Glaswolle: $t_{\text{ins},0,i} = 0,1 \cdot h_{\text{ins}} \cdot k_{\text{dens}}$

Die Positionsbeiwerte k_{pos} ergeben sich aus der Lage der Schicht zum Wärmefluss und werden von dem Material vor und hinter der betrachteten Schicht beeinflusst. Hiermit wird der Effekt der „Vorwärmung“ von Bauteilen erfasst, die in Richtung des Wärmestroms liegen und anfänglich durch andere Schichten geschützt werden.

In den Tabellen E.6 und E.7 des Anhanges E werden verschiedene übliche Bekleidungs-fugenkonstruktionen dargestellt, für die entsprechende Fugenbeiwerte k_j angegeben werden. Bei Fugen, die mit Latten oder Plattenstreifen gleicher Dicke der Holzwerkstoffbekleidung hinterlegt sind, wird der Wert zu 1,0 angesetzt. Bei gespachtelten Fugen von Gipsplatten gilt ebenfalls dieser Wert.

12.2 Beurteilung des Verfahrens

12.2.1 Allgemeines

Zur Überprüfung des Berechnungsverfahrens nach Anhang E wurden mit Wand- und Deckenkonstruktionen der Tabellen 51 (für Wände) und 56 – 59 (für Decken) der DIN 4102-4 - so weit es möglich war – Vergleichsrechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse werden in den Tabellen 4 und 5 a-b des Anhangs A dargestellt. Eine ausführliche Beispielrechnung ist im Anhang A enthalten.

Die Grundwerte der Wärmedämmung dürfen nach Abschnitt E.2.2(1) nur für Feuerwiderstandsdauern bis zu 60 Minuten verwendet werden. Einstufungen von Bauteilen in F 30-B und F 60-B (bzw. F-30 BA und F-60 BA) sind möglich.

Die Regeln des Anhangs E gelten für Bekleidungen aus Holzwerkstoffplatten entsprechend EN 13986 und Gipsplatten Typ A, H und F nach EN 520. In diesen Regelwerken werden - mit Ausnahme von Gipsfaserplatten - alle üblichen Plattenbaustoffe, die für Holzrahmenbauteile in der Praxis verwendet werden, geregelt. Für Gipsfaserplatten werden keine Berechnungswerte im Anhang E angegeben.

Im Holzbau-Brandschutz-Handbuch [29] werden im Bild E 4-27 charakteristische Kurven von Beplankungen bzw. Bekleidungen veröffentlicht, die die 500 K-Grenze auf der feuerabgewandten Seite der Platte erreichten. Nach diesen Kurven weisen die Gipsfaserplatten ein etwas besseres Temperaturverhalten auf als die Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF). Gipsfaserplatten können also mit den Gipskartonbauplatten in dem Berechnungsverfahren nach Anhang E gleichgesetzt werden, entsprechende Regelungen sind in die Verwendbarkeitsnachweise der Gipsfaserplatten zu übernehmen.

Als Dämmmaterialien werden in diesem Verfahren Glas- und Steinwolle zugelassen. Nach DIN 4102-4 dürfen nur Dämmungen mit einem Schmelzpunkt ≥ 1000 °C angewandt werden. Diese Forderung wird in der Regel nur von mineralischer Dämmung aus

Steinwolle eingehalten, Glaswolle schmilzt schon bei ca. 800 °C. Da jedoch die entsprechenden Dämm- und Positionsbeiwerte für Dämmung aus Glaswolle hier enthalten sind, sollte auch dieses Dämmmaterial bei Berechnungen nach Anhang E zugelassen werden.

12.2.2 Wände

Das Berechnungsverfahren nach Anhang E ist bei üblichen Wandkonstruktionen in der Anwendung möglich, weist jedoch einige Besonderheiten auf. Bei Wandkonstruktionen, die von den üblichen Aufbauten abweichen, kann das Verfahren wegen teilweise fehlender Angaben zu den Materialien (s.u.) nicht angewandt werden.

In der DIN 4102-4 Tabelle 51 werden als Material der Dämmschicht für klassifizierte Wandaufbauten Holzwolle-Leichtbauplatten sowie Mineralfaserdämmplatten und -matten angegeben. Für die Holzwolle-Leichtbauplatten gibt es keine Rechenwerte im Anhang E, daher wurden dazu keine Vergleichsrechnungen ausgeführt.

Der k_{dens} -Wert nach Tabelle E.2 der EN 1995-1-2, der zur Bestimmung des Grundwertes der Dämmung erforderlich ist, wird für eine Dichte der Steinwolle von 26 - 50 kg/m³ angegeben, im Bereich der Glaswolle für eine Rohdichte von 15 - 26 kg/m³.

In der DIN 4102-4 Tabelle 51 werden Wandaufbauten klassifiziert, die eine Dämmschicht mit einer Rohdichte von 30, 50 oder 100 kg/m³ aufweisen.

Üblicherweise werden aber Mineralfaserdämmungen mit einer Rohdichte von 100 kg/m³ aus wärmedämmtechnischen Gründen in Holzrahmenwänden nicht verwendet. Die k_{dens} -Werte decken somit die üblichen Dämmstoffrohdsichten ab.

Bei der Ermittlung des Raumabschlusses mit Dämmung aus Glaswolle fehlte der genaue k_{dens} -Wert für eine Rohdichte von 30 kg/m³, da die Tabelle nur bis zu einer Dichte von 26 kg/m³ ausgelegt ist. Es wurde daher der k_{dens} -Wert von 1,2 bei einer Rohdichte von 26 kg/m³ verwendet. Die übliche Rohdichte von Glaswolle liegt zwischen 10 – 40 kg/m³. Somit ist es nicht sinnvoll, Glaswollendämmungen mit Rohdsichten von 50 und 100 kg/m³ (nach der DIN) nachzuweisen.

In den Vergleichsrechnungen der Tabelle 4 des Anhangs A wurde als Mineralfaserdämmung Steinwolle mit einer Dichte von 50 kg/m³ angenommen, für deren Rohdichte ein k_{dens} -Wert in der Tabelle E.2 vorhanden ist.

DIN 4102-4 schreibt für Holzwerkstoffplatten (HWS) eine Mindestrohdsichte von 600 kg/m³ vor. In der EN 1995-1-2 werden die HWS-Platten in Sperrholzplatten ($\rho \geq 450$ kg/m³), Span- und Faserplatten ($\rho \geq 600$ kg/m³) und Holzbekleidungen ($\rho \geq 400$ kg/m³) unterteilt.

Diese Abweichungen spiegeln sich bei der Berechnung der Grundwerte der Wärmedämmung wider:

$$\rho \geq 400 \text{ kg/m}^3 \text{ - Holzbekleidungen} \quad t_{\text{ins},0} = 0,50 \cdot h_p$$

$$\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3 \text{ - Sperrholz} \quad t_{\text{ins},0} = 0,95 \cdot h_p$$

$$\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3 \text{ - Span- und Faserplatten} \quad t_{\text{ins},0} = 1,10 \cdot h_p$$

An der MFPA Leipzig wurden im Mai/Juni 2003 Brandversuche mit Span- und Sperrholzplatten durchgeführt, deren Ergebnisse die oben aufgelisteten $t_{\text{ins},0}$ -Werte bestätigen. Es wurden unter anderem die brandschutztechnischen Eigenschaften einer 13 mm Spanplatte mit einer Rohdichte von 787 kg/m^3 (Novopan V 100 FO nach DIN EN 312-5) mit denen einer 15 mm Sperrholzplatte mit der Rohdichte von 466 kg/m^3 (Wisa-Spruce BFU 100 nach DIN 68 705-3) verglichen. Die Versuche ergaben eine gleichwertige Schutzwirkung dieser HWS-Platten.

Nach dem Verfahren des Anhangs E ergeben sich rechnerisch die gleichen Dicken der HWS-Platten wie sie in den vorgenannten Brandversuchen ermittelt wurden. Um den Grundwert der Wärmedämmung von 14,3 min zu erreichen, wird nach den Gleichungen (E.3) und (E.4) des Anhangs E entweder eine Spanplatte mit $d = 13 \text{ mm}$ oder eine Sperrholzplatte von $d = 15 \text{ mm}$ benötigt.

HWS-Platten mit dem in Anhang E geforderten Rohdichten werden mit ihrem Abbrand- bzw. Dämmverhalten durch die entsprechenden t_{ins} -Werte berücksichtigt und sollten deshalb in diesem Verfahren zugelassen werden.

Im Abschnitt E2.3 des Anhangs E werden die Positionsbeiwerte geregelt. Für Materialien, die an Dämmungen grenzen, gilt ein anderer Positionsbeiwert als für solche, die an eine Luftschicht grenzen. Im Anhang E ist nicht deutlich geregelt, ob diese Aussage nur für vollständig bzw. gar nicht gedämmte Hohlräume gilt oder ob damit auch teilgedämmte Wände erfasst werden.

Die unterschiedlichen Übertragungswege der Wärmeenergie (Wärmeleitung und Konvektion/Wärmestrahlung), werden mit den unterschiedlichen Positionsbeiwerten erfasst. Die vorgenannten physikalischen Vorgänge der Wärmeübertragung werden sowohl bei einer Volldämmung bzw. einer nicht gedämmten Wand als auch bei einem teilgedämmten Aufbau erfolgen. In den Berechnungen der Tabelle 1 und der Beispielberechnung im Anhang A wurden für die jeweils an die Dämmung und die Luftschicht grenzenden Plattenbekleidungen die entsprechenden Positionsbeiwerte der Tabellen E.3 und E.4 des Anhangs E verwendet. Bei einer Teildämmung wurde die Dämmung im Wandaufbau auf der feuerzugewandten Seite angenommen.

Bei einer 2-lagigen Plattenbeschichtung fehlen Positionsbeiwerte für Gipsbauplatten des Typs F (nach EN 520) - Werte für die Typen A und H sind angegeben. Da Platten des Typs F brandschutztechnisch günstigere Werte als die beiden anderen Typen lie-

fern, kann dieser Plattentyp zwar eingesetzt werden, liefert jedoch rechnerisch keine besseren Werte.

12.2.3 Decken

Im Anhang E der EN 1995-1-2 werden Aufbauten von Decken und Wänden nicht unterschieden. Die Prinzipskizze des Bildes E.1 (Bild 27) sowie des Bildes E.2 (Bild 28) des Anhangs E gelten also sowohl für Decken als auch für Wände.

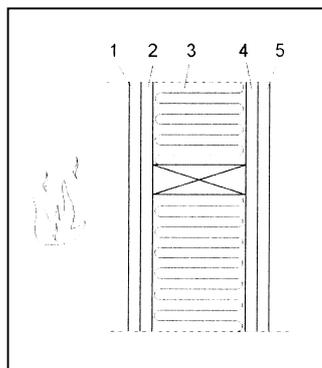


Bild 28: Bezeichnung der Lagen für ein zweilagig beplanktes Bauteil – nach Bild E.2 aus [27]

Da Bekleidungen von Decken schneller versagen als die Bekleidungen von Wänden, sind nach Kapitel E2.3 des Anhangs E Abschnitt (3) die Positionsbeiwerte bei „von unten brandbeanspruchten Decken“ mit dem Faktor 0,8 zu multiplizieren.

In DIN 4102-4 Tabelle 56 – 60 und 62 ist in den klassifizierten Deckenaufbauten jeweils ein schwimmender Fußbodenaufbau zum Erreichen der erforderlichen raumabschließenden Funktion enthalten.

Nach den Tabellen 56 und 57 dürfen folgende Materialien genutzt werden: Estrich, Mörtel, Gips, Asphalt, Holzwerkstoffplatten, Bretter, Parkett oder Gipskartonplatten. Im Anhang E finden sich Grundwerte der Wärmedämmung für Bretter, Holzwerkstoff- und Gipskartonplatten. Für die anderen aufgeführten Materialien werden keine Werte angegeben, sie können deshalb rechnerisch nicht angesetzt werden.

Zur Ermittlung der Positionsbeiwerte werden die Deckenaufbauten nach DIN 4102-4 weder durch die einlagige noch durch die zweilagige Beplankung und die dazugehörigen Prinzipskizzen der EN 1995-1-2 erfasst, da die Deckenaufbauten nach 4102-4

Trittschalldämmung und Fußbodenbelag beinhalten. Weitere konstruktive Ausführungen von Decken und Wänden werden im Anhang E nicht angegeben. Aus diesem Grund kann keine abschließende Aussage über die Größenordnungen der Positionsbeiwerte der oberen Beplankung getroffen werden, da diese durch die Kombination der Platten selbst und durch die aufliegenden Dämmstoffe beeinflusst werden. Bei einer einlagigen und einer zweilagigen Beplankung aus Holzwerkstoffplatten betragen beispielsweise die Unterschiede der Positionsbeiwerte in der an die Mineralfaserdämmung grenzenden Schicht ca. 43 bis 50 % (Bild 29 – unten).

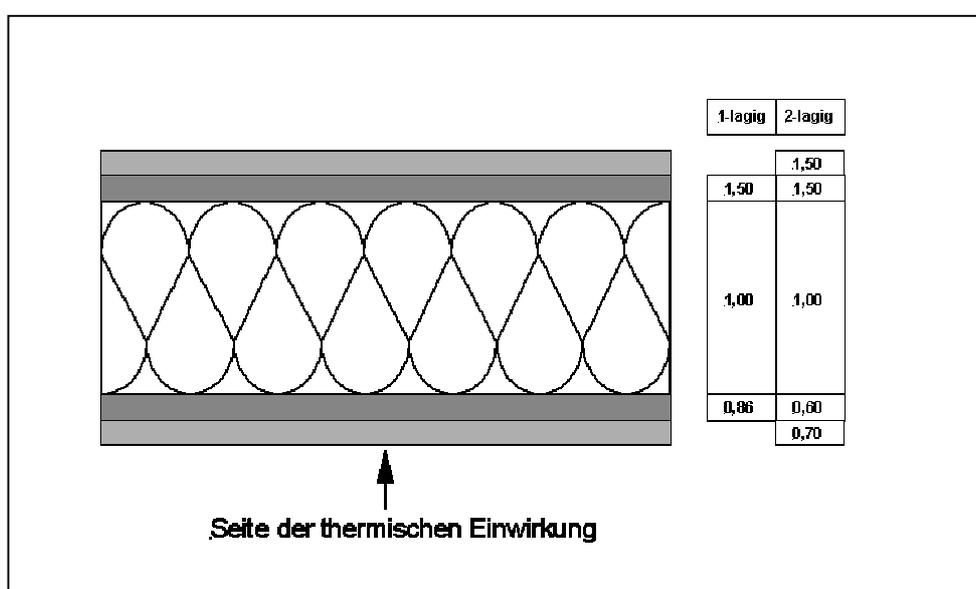
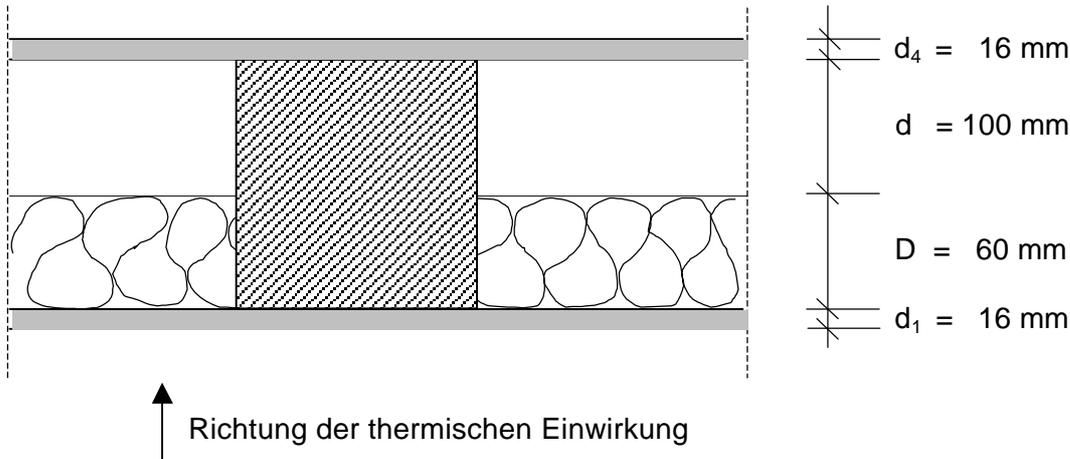


Bild 29: Positionsbeiwerte für eine einlagige und eine 2-lagige Beplankung aus Spanplatten (der Faktor 0,8 für Decken bleibt hier unberücksichtigt)

Nachfolgend werden zwei Deckenaufbauten aus DIN 4102-4 Tabelle 56 - mit ingenieurmäßig angenommenen Positionsbeiwerten - auf die Dauer der raumabschließenden Funktion überprüft. Die Positionsbeiwerte werden aus dem Rechenverfahren hergeleitet – sind also im Anhang E nicht für diese spezielle konstruktive Situation enthalten und sollten deshalb auch anderweitig nicht genutzt werden. In den nachfolgenden zwei Berechnungen soll ausschließlich eine Tendenz festgestellt werden. Der „schwimmende“ Aufbau wurde in den Berechnungen vernachlässigt und nur der „tragende“ Teil auf seine Widerstandsdauer überprüft.

1.) Beispiel - F 30 Deckenaufbau nach DIN 4102-4 Tabelle 56 Zeile 1 – einlagig



(Prinzipische Skizze der Deckenkonstruktion ohne „schwimmenden“ Aufbau)

Grundwerte Wärmedämmung der Schichten $t_{\text{ins},0,i}$:

$$t_{\text{ins},d,1} = 1,1 \cdot h_p \quad (\text{Spanplatte} - h_p = 16 \text{ mm})$$

$$t_{\text{ins},d,1} = 17,6 \text{ min}$$

$$t_{\text{ins},d,2} = 0,2 \cdot h_{\text{ins}} \cdot k_{\text{dens}} \quad (h_{\text{ins}} = 60 \text{ mm})$$

$$k_{\text{dens}} = 1,02 \quad (\text{Steinwolle} - \rho \geq 30 \text{ kg/m}^3)$$

$$t_{\text{ins},d,2} = 12,24 \text{ min}$$

$$t_{\text{ins},d,4} = 1,1 \cdot h_p \quad (\text{Spanplatte} - h_p = 16 \text{ mm})$$

$$t_{\text{ins},d,4} = 17,6 \text{ min}$$

Positionsbeiwerte k_{pos} :

$$k_{\text{pos},d,1} = 0,02 \cdot 16 + 0,54$$

$$k_{\text{pos},d,1} = 0,86 \quad (\text{gedämmt} - \text{feuerzugewandte Seite})$$

$$k_{\text{pos},d,2} = 1,0 \quad (\text{Steinwolle } 60 \text{ mm})$$

$$k_{\text{pos},d,3} = - \quad (\text{Luftschicht} < 45 \text{ mm})$$

$$k_{\text{pos},d,4} = 0,6 \quad (\text{ungedämmt} - \text{feuerabgewandte Seite})$$

Fugenbeiwerte k_j :

$$k_{j,d,1} = 1,0 \quad (\text{Fugen durch Plattenstreifen hinterlegt})$$

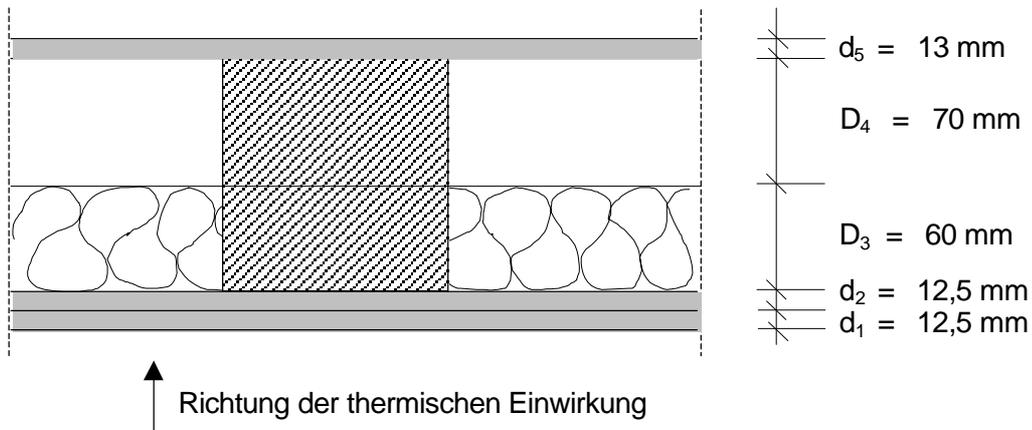
$$k_{j,d,3} = 1,0$$

$$k_{j,d,4} = 1,0 \quad (\text{Fugen durch Plattenstreifen hinterlegt})$$

$$t_{\text{ins}} = 0,8 \cdot [(17,6 \cdot 0,6 \cdot 1,0) + (12,24 \cdot 1,0 \cdot 1,0) + (17,6 \cdot 0,86 \cdot 1,0)]$$

$$t_{\text{ins}} \approx \mathbf{31 \text{ min}}$$

2.) Beispiel - F 60 Deckenaufbau nach DIN 4102-4 Tabelle 56 Zeile 4 – 2-lagig



(Prinzipische Skizze der Deckenkonstruktion ohne „schwimmenden“ Aufbau)

Grundwerte Wärmedämmung der Schichten $t_{\text{ins},0,i}$:

$$t_{\text{ins},d,1} = 1,4 \cdot h_p \quad (\text{Gipskartonplatte} - h_p = 12,5 \text{ mm})$$

$$t_{\text{ins},d,1} = 17,5 \text{ min}$$

$$t_{\text{ins},d,2} = 1,4 \cdot h_p \quad (\text{Gipskartonplatte} - h_p = 12,5 \text{ mm})$$

$$t_{\text{ins},d,2} = 17,5 \text{ min}$$

$$t_{\text{ins},d,3} = 0,2 \cdot h_{\text{ins}} \cdot k_{\text{dens}} \quad (h_{\text{ins}} = 60 \text{ mm})$$

$$k_{\text{dens}} = 1,02 \quad (\text{Steinwolle} - \rho \geq 30 \text{ kg/m}^3)$$

$$t_{\text{ins},d,3} = 12,24 \text{ min}$$

$$t_{\text{ins},d,5} = 1,1 \cdot h_p \quad (\text{Spanplatte} - h_p = 13 \text{ mm})$$

$$t_{\text{ins},d,5} = 14,3 \text{ min}$$

Positionsbeiwerte k_{pos} :

$$k_{\text{pos},d,1} = 1,0 \quad (\text{Tabelle E.5} - \text{feuerabgewandte Seite} - 2\text{-lagig bekleidete Bauteil})$$

$$k_{\text{pos},d,2} = 0,6 \quad (\text{Tabelle E.5} - \text{feuerabgewandte Seite} - 2\text{-lagig bekleidetes Bauteil})$$

$$k_{\text{pos},d,3} = 1,0 \quad (\text{Steinwolle } 60 \text{ mm})$$

$$k_{\text{pos},d,4} = - \quad (\text{Luftschicht} < 45 \text{ mm})$$

$$k_{\text{pos},d,5} = 0,6 \quad (\text{ungedämmt} - \text{feuerabgewandte Seite} - \text{einlagig bekleidetes Bauteil})$$

Fugenbeiwerte k_j :

$$k_{j,d,1} = 1,0 \quad (\text{Fugen durch Plattenstreifen hinterlegt})$$

$$k_{j,d,3} = 1,0$$

$$k_{j,d,4} = 1,0 \quad (\text{Fugen durch Plattenstreifen hinterlegt})$$

$$t_{\text{ins}} = 0,8 \cdot [(14,3 \cdot 0,6 \cdot 1,0) + (12,24 \cdot 1,0 \cdot 1,0) + (17,5 \cdot 0,6 \cdot 1,0) + (17,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0)]$$

$$t_{\text{ins}} \approx 40 \text{ min}$$

Das Ergebnis der ersten Beispielberechnung - $t_{ins} = 31 \text{ min}$ - zeigt, dass die erforderliche Dauer des Raumabschlusses - $t_{req} = 30 \text{ min}$ - rechnerisch nach Anhang E schon durch den tragenden Teil einer Deckenkonstruktion erreicht werden kann. Bei niedrigen Feuerwiderstandsdauern entspricht dies den bisherigen Prüferfahrungen, der Fußbodenaufbau ist hier aus schalltechnischen Gründen bzw. für den ausreichenden Feuerwiderstand bei Brandbeanspruchung von oben erforderlich. Bei der zweiten Beispielrechnung wird der erforderliche Raumabschluss erst durch den schwimmenden Bodenaufbau erreicht. Das Rechenverfahren liegt ohne Berücksichtigung des Bodenaufbaus auf der sicheren Seite.

12.3 Ergebnisse der Beispiel- und Tabellenrechnungen

Für die Standardaufbauten der DIN 4102-4 ist das Rechenverfahren zur Bestimmung der Widerstandsdauer für raumabschließende Wände nach Anhang E der EN 1995-1-2 geeignet. Dies wird über Vergleichsrechnungen im Anhang A sowie den dort angegebenen Tabellen 4 und 5 a-b nachgewiesen. Wandkonstruktionen mit einer erforderlichen Widerstandsdauer von 90 Minuten können mit diesem Verfahren nicht berechnet werden.

Von den 33 überprüften Wandaufbauten konnten 17 Aufbauten wegen fehlender Berechnungswerte im Anhang E oder einer Feuerwiderstandsdauer > 60 Minuten nicht abschließend bewertet werden.

12 von den rechnerisch überprüften 16 Wandaufbauten erreichten die gleichen Feuerwiderstandsdauern beim Raumabschluss, wie sie in der DIN 4102-4 vorgegeben werden. 3 Wandaufbauten wären in eine höhere Klasse des Raumabschlusses eingestuft worden, ein Wandaufbau lag darunter.

Für Wandaufbauten ergeben sich somit bei der Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer nach Anhang E etwa gleichwertige Feuerwiderstandsdauern wie aus DIN 4102-4. Nur in 3 Fällen werden höhere Feuerwiderstandsdauern ermittelt. Dabei handelt es sich um Aufbauten, die eigentlich nicht in den Anwendungsbereich des Anhangs E fallen, da nach DIN 4102-4 Gipskartonbauplatten der Dicke $d = 18 \text{ mm}$ bei den gewählten Varianten einzusetzen sind, der Anhang E aber nur Positionsbeiwerte für Gipsbauplatten bis zu einer Dicke von $d = 15 \text{ mm}$ enthält. Man muss außerdem beachten, dass die Varianten der Wandaufbauten aus DIN 4102-4, d.h. die Variationen, die über die Fußnoten zugelassen werden, auf Erfahrungen aus Brandversuchen beruhen und oftmals die empirischen Erkenntnisse bei der Zulassung von Varianten immer nur Abschätzungen weit auf der sicheren Seite erlaubt haben. Man hatte nicht zu allen zulässigen Aufbauten auch entsprechende Versuche vorliegen.

Dieses Verfahren sollte daher für Wände zugelassen werden, ggf. mit einem deutlichen Hinweis, dass die Dicke der Gipsbauplatten auf $d = 15 \text{ mm}$ zu beschränken ist.

Das Berechnungsverfahren nach Anhang E kann ebenfalls für Decken angewandt werden. Prinzipiell unterscheiden sich diese Berechnungen nur durch den Faktor 0,8, durch den die Feuerwiderstandsdauer von Decken insgesamt um ca. 20 % gegenüber den Wandaufbauten verringert wird.

Die klassifizierten Deckenaufbauten nach der DIN 4102-4 Tabelle 56 wurden als Maßstab des derzeitigen Sicherheitsniveaus in Deutschland angesetzt.

Zur Berechnung der Deckenaufbauten nach DIN 4102-4 einschließlich des Estrichaufbaus fehlen Positionsbeiwerte sowie für einige dort angegebene Materialien die Grundwerte der Wärmedämmung. Es ist zu beachten, dass das Verfahren nach Anhang E für Decken nur für Brandbeanspruchung von unten anzuwenden ist, während die Angaben aus DIN 4102-4 auch bei Brandbeanspruchung von der Deckenoberseite gelten.

Durch die fehlenden Grundwerte der Wärmedämmung sowie fehlende Positionsbeiwerte sind die als Maßstab des Sicherheitsniveaus angesetzten Deckenkonstruktionen der DIN 4102-4 nur eingeschränkt mit diesem Verfahren zu beurteilen..

Es wird empfohlen, das Verfahren nur für die Beurteilung der Decken bei Brandbeanspruchung von unten unter Vernachlässigung von Estrichaufbauten zuzulassen.

13 Zusammenfassung

In den Tabellen der Abschnitte 13.1 und 13.2 werden Vorschläge mit unterschiedlicher Hierarchie zu Festlegungen und Änderungen in EN 1995-1-2:2005 unterbreitet. Tabelle 5 enthält die im Vorwort zu EN 1995-1-2:2005 genannten Wahlmöglichkeiten des nationalen Anhangs, Tabelle 6 eine Empfehlung zum nationalen Anhang von 1991-1-2, Tabelle 7 Empfehlungen zu redaktionellen Änderungen in der derzeitigen deutschen Fassung und Tabelle 8 Empfehlungen zu Erläuterungen zu EN 1995-1-2:2005.

13.1 Empfehlungen für das Nationale Anwendungsdokument

Tabelle 5: Empfehlungen zu Festlegungen für das Nationale Anwendungsdokument (NAD) zu EN 1995-1-2

Nr.	Abschnitt EN 1995-1-2	Empfehlung zur Festlegung im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zu EN 1995-1-2
1	2.1.3 (2)	Die Empfehlungen für die Begrenzung des Temperaturanstiegs in der Abklingphase bei parameterabhängiger Brandbeanspruchung sollten wie in EN 1995-1-2:2005 vorgeschlagen übernommen werden.
2	2.3.1(P)	Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{m,fi}$ sollte mit $\gamma_{m,fi} = 1,0$ angesetzt werden. Der Wert wurde in allen Vergleichsrechnungen genutzt und führte nicht zu Abweichungen des Sicherheitsniveaus.
3	2.3.2(P)	Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{m,fi}$ sollte mit $\gamma_{m,fi} = 1,0$ angesetzt werden. Der Wert wurde in allen Vergleichsrechnungen genutzt und führte nicht zu Abweichungen des Sicherheitsniveaus.
4	Abs. 2.4.2 (3) Anmerkung 2	Für Nutzlasten der Kategorie E nach DIN EN 1991-1-2 ist ein Abminderungsfaktor η_{fi} von 0,7 zu verwenden. Ansonsten sollte für $\eta_{fi} = 0,6$ verwendet werden.
5	4.2.1(1)	Es sollten beide Berechnungsmethoden nach 4.2.2 und 4.2.3 zugelassen werden.
6	Anhang A (informativ)	Der Anhang sollte zur Anwendung zugelassen werden.
7	Anhang B (informativ)	Der Anhang sollte zur Anwendung zugelassen werden.

8	Anhang C (informativ)	Der Anhang sollte zur Anwendung zugelassen werden.
9	Anhang D (informativ)	Der Anhang sollte zur Anwendung zugelassen werden.
10	Anhang E (informativ)	Der Anhang sollte zur Anwendung zugelassen werden.

Tabelle 6: Empfehlungen zu Festlegungen für das Nationale Anwendungsdokument (NAD) zu EN 1991-1-2

Nr.	Abschnitt EN 1995-1-2	Empfehlung zur Festlegung im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zu EN 1995-1-2
1	Abs. 2.4.2 (1)	Die maßgebende veränderliche Einwirkung für die Kombinationsregel nach DIN EN 1991-1-2:2002 Abschnitt 4.3.1(2) darf als quasi ständige Größe $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ der Ermittlung des Bemessungswerts der Beanspruchungen zugrunde gelegt werden.

13.2 Empfehlungen für redaktionelle Änderungen in der deutschen Fassung und Empfehlungen für Erläuterungen und die weitere Bearbeitung

Tabelle 7: Empfehlungen zu redaktionellen Änderungen in der deutschen Fassung zu EN 1995-1-2

Nr.	Abschnitt EN 1995-1-2	Empfehlung zur Festlegung im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zu EN 1995-1-2
1	Abs. 6.2.2.1	Für Verbindungen mit Bolzen und Passbolzen ist anstelle der Gl. (6.6) der Wert η mit 0,20 festzulegen.
2	Abs. 6.4 (3)	Für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten ist eine seitliche Überdeckung a_1 von mindestens 30 mm für 60 Minuten von mindestens 55 mm einzuhalten.
3	Abs. 6.4 (3)	In der Erläuterung zu a_1 der Gl. (6.11) ist der Verweis auf das Bild 6.4 durch Bild 6.5 zu ersetzen.
4	Anhang C, Überschrift	Die Überschrift wurde trotz anderslautender ursprünglicher Übersetzung in der aktuellen deutschen Fassung unzureichend wiedergegeben. Sie müsste lauten: „Tragende Deckenbalken und Wandstiele in vollgedämmten Konstruktionen“
5	Anhang C, C 2.3(1), Gl. (C.7)	Es sollte $\beta_{0,p,t}$ statt β_0 eingesetzt werden (ist in Abstimmung mit der engl. Fassung zu ändern).

Tabelle 8: Empfehlungen für Erläuterungen zu EN 1995-1-2

Nr.	Abschnitt EN 1995-1-2	Empfehlung zur Festlegung im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zu EN 1995-1-2
1	Abs. 6.2.2.1 Gl. (6.7)	Der Reduktionsfaktor η_{fi} muss stets dem gewählten Wert bei der Ermittlung der Einwirkungen entsprechen.
2	Anhang C 2.1(5)	Die Verwendung von Glaswolle ist hier zulässig, aber nur in Verbindung mit Konstruktionen nach Anhang C
3	Tabelle C 1	Es sollte eine Angabe für die Balkenbreite 90 mm aufgenommen werden.
4	Gleichung (C.8)	Die Gleichung sollte auch für Gipsbauplatten des Typs F angewendet werden dürfen, es ergeben sich weit auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse
5	Anhang D 4(2)	Die Anwendung des Plattentyps F nach DIN EN 520 kann ohne weitere Nachweise erfolgen.
6	Anhang E	Der Nachweis des Raumabschlusses ist für Decken ohne aufliegenden Bodenaufbauten (Estriche) zu führen, da dazu die Angabe von Materialkennwerten fehlt.
7	Anhang E	Die Berechnung von teilgedämmten Hohlräumen ist hinsichtlich der rechnerischen Positionierung der Dämmung auf der feuerzugewandten Seite zu erläutern
8	Anhang E	Die Anwendung des Plattentyps F nach DIN EN 520 ohne weitere Nachweise kann ohne weitere Nachweise erfolgen
9	Anhang E, Tab. E.3	Es ist deutlich darauf hinzuweisen, dass die Anwendung nur für Gipsbauplatten der maximalen Dicke $d = 15$ mm erfolgen kann.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.
- [2] DIN 1052-1:1988-04: Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung.
- [3] DIN 1055-100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.
- [4] DIN 4074-1:1989-09: Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit; Nadel-schnittholz.
- [5] DIN 4102-4:1994-03: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Zusammen-stellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.
- [6] DIN 4102-22:2004-11: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 22: Anwendungsnorm zu DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheits-beiwerten.
- [7] DIN EN 338:2003-09: Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen.
- [8] DIN EN 1194:1999-05: Holzbauwerke - Brettschichtholz - Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte.
- [9] DIN EN 1363-1:1999-10: Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anfor-derungen.
- [10] DIN EN 1990:2002-10: Grundlagen der Tragwerksplanung.
- [11] DIN EN 1991-1-2:2003-09: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke.
- [12] EN 1993-1-2:1997-05: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln; Tragwerksbemessung für den Brandfall.
- [13] EN 1995-1-1:2004-11: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.
- [14] EN 1995-1-2:2005: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall.
- [15] Brandwiderstand von Verbundkonstruktionen. Forschungsvorhaben, Fachver-band der Holzverarbeitenden Industrie Österreichs, Wien. Teil II 1983, Endbe-richt 1984.
- [16] Cerbe / Hoffmann: Einführung in die Thermodynamik – Von den Grundlagen zur technischen Anwendung. Carl Hanser Verlag München Wien, 1999.

- [17] Dorn, H. und , Egner, K.: Brandversuche mit geleimten Holzbauteilen (Hetzer-Balken). In: Holzzentralblatt, Seite 435 – 438, 1961.
- [18] Dorn, H. und Egner, K.: Brandversuche an brettschichtverleimten Holzträgern unter Biegebeanspruchung. In: Holz als Roh- und Werkstoff, Nr. 25, S. 308-320, 1967.
- [19] Fornather, J., Hochreiner, G. und Luggin, W.: Brennbarkeit und Brandverhalten von Holz, Holzwerkstoffen und Holzwerkstoffen. Zusammenfassung und Erkenntnisse für die Bemessungspraxis. proHolz Austria, 2003.
- [20] Gersonde, M. und Deppe, H.-J.: Untersuchungen zur Verbesserung des Brandverhaltens von Holzwerkstoffen. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 2283, 1978.
- [21] Hadvig, S.: Charring of wood in building fires. Practice theory instrumentation measurements, Technical University of Denmark, 1981
- [22] Haksever, A.: Brandverhalten von brettschichtverleimten Holzstützen und Holzbalken. In: Bauingenieur, (57)1982, S. 19 - 26.
- [23] Hall, G.: Fire resistance tests of laminated timber beams. Timber Research and Development Association, Hughenden Valley, High Wycombe, 1968.
- [24] Johansen, K. W.: Theory of Timber Connections. Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau. Veröffentlichung Nr. 9, S. 249-262, Bern, Switzerland, 1949.
- [25] Kollmann F.: Die Abhängigkeit der elastischen Eigenschaften von Holz von der Temperatur. In: Holz als Roh- und Werkstoff, 18. Jg., S. 308-311, 1952.
- [26] König, J., Norén, J. et al.: Timber frame assemblies exposed to standard and parametric fires. Part 1: Fire tests. Trätek, Rapport I 9702015, 1997.
- [27] König, J.: Structural fire design according to Eurocode 5 – design rules and their background. Fire and Materials. Published online in Wiley InterScience. DOI: 10.1002/fam.873. 18. November 2004.
- [28] König, J und Walleij, J.: One-dimensional charring of timber exposed to standard and parametric fires in initially unprotected and post-protection fire situations. Swedish Institute for Wood Technology Research, Rapport I 9908029. Stockholm, 1999.
- [29] Kordina, K; Meyer-Ottens, C. und Scheer, C.: Holz Brandschutz Handbuch. 2. Aufl., Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1995.

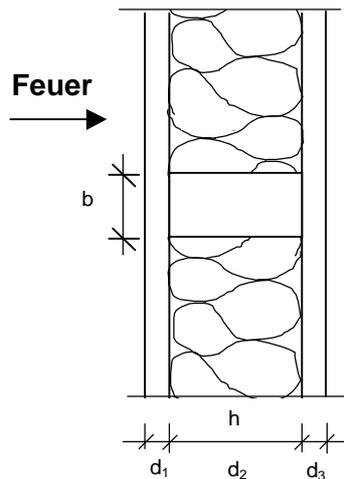
- [30] Lache, M.: Untersuchungen zur Abbrandgeschwindigkeit von Vollholz und zur Feuerwiderstandsdauer biegebeanspruchter Brettschichtholzträger. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 1992.
- [31] Lingens, A.: Untersuchung des Abbrandverhaltens und der Brandgase ausgewählter Holzarten in Abhängigkeit vom chemischen und strukturellen Holzaufbau. Dissertation, Technische Universität München, 2003.
- [32] Meyer-Ottens, C.: Feuerwiderstandsdauer unbekleideter Holzbalken mit Rechteckquerschnitt. In: bauen mit holz, Nr. 5, 1976.
- [33] Meyn, W.: Numerische Analyse des Tragverhaltens von Holzrahmenwänden bei thermisch-instationärer Einwirkung unter Berücksichtigung des nichtlinearen Materialverhaltens. Dissertation, Uni Leipzig (in Vorbereitung).
- [34] Ollis, W.J.B.: Standard tests and calculation of fire resistance in timberH. Munic. Eng., 145 (14. Juni), 1968.
- [35] Peter, M.: Numerische Tragfähigkeitsermittlung von Holzbauteilen im Brandfall unter Berücksichtigung des nichtlinearen Materialverhaltens. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2003.
- [36] Povel, D.: Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln im Brandfall. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2002.
- [37] Schaffer, E.: State of structural timber fire endurance. In: Wood and Fiber, 9(2), S. 145 – 170, 1977.
- [38] Schaffer, E.L.: Charring rate of selected woods-transvers to grain. United States Forest Service Research Paper FPL 69, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 1967.
- [39] Schaffer, E.L.: Review of information related to the charring rate of wood. US Forest service note, 1 – 55, 1966.
- [40] Scheer, C.; Knauf, Th. und Meyer-Ottens, C.: Rechnerische Brandschutzbemessung unbekleideter Holzbauteile - Grundlage für DIN 4102 Teil 4 (Entwurf). Sonderdruck aus Bautechnik 69, Heft 4, Informationsdienst Holz, 1992.
- [41] Scheer, C., Peter, M.: Untersuchungen zum Tragverhalten von Haupt-/Nebenträger-Anschlüssen mit BMF Passverbindern ET und BMF Topverbindern EL im Brandfall. Forschungsbericht (unveröffentlicht), 2004.
- [42] Scheer, C, Peter, M; und Maack, S.: Ermittlung der Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln im Brandfall, Teil 2: Brandversuche zur Bestätigung der theoretischen Erkenntnisse, Forschungsbericht, 2004.

-
- [43] Scheer, C.; Povel, D.: Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln im Brandfall; Teil 1: Grundlagenuntersuchungen. Forschungsbericht, Technische Universität Berlin, 2002.
- [44] Stanke, J.; Klement, E. und Rudolphi, R.: Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung. BAM-Berichte Nr. 24, Berlin, November 1973.
- [45] Takeda, H.: Fire resistance of Wood-Stud Walls. Wood and Fire Safety. 4th International Science Conference, Technical University, Zvolen, 2000.
- [46] Teichgräber, R.: Platten aus Holz und Holzwerkstoffen im Brandversuch. Brandverhalten und Feuerschutz von Holz und Holzkonstruktionen, DGfH, Bericht Nr.1, S. 43 – 46, 1967.
- [47] Troitzsch, J.: Brandverhalten von Kunststoffen – Grundlagen Vorschriften Prüfverfahren. Carl Hanser Verlag München Wien, 1981.
- [48] White, R. H.: Charring Rate of Composite Timber Products. In: Osvald, A.: The proceedings of Wood & Fire Safety 2000 (part one). Nikara Krupina: S. 353 – 363, 2000.
- [49] White, R.H. und Schaffer, E.L.: Application of CMA Program to Wood charring. In: Fire Technology, 5. Jg. Nr. 4, 1978.

Anhang A Bemessungsbeispiele für Wände, Decken und Dächer

Beispiel A.1 Tragfähigkeitsnachweis einer Holzrahmenwand mit Hohlraumdämmung nach Anhang C

(Aufbau der Wandkonstruktion nach DIN 4102-4 Tabelle 51 Zeile 1)



Feuerwiderstandsdauer

F 30-B ($\alpha_7 = 1,0$ - nach DIN 4102-4/22)

Stiel

$b/h = 40/80$ mm (Nadelholz C24 - $\rho_k = 350$ kg/m³)

Beplankung

$d_1 = 13$ mm (Spanplatte ($\rho \geq 600$ kg/m³))

$d_3 = 13$ mm (Spanplatte ($\rho \geq 600$ kg/m³))

Dämmung

$d_2 = 80$ mm (Steinwolle)

$\rho = 30$ kg/m³

Lastannahmen

$\alpha_7 = 1,0$

$k_{c,90} = 1,0$ ($l_1 < 2 \cdot h$)

Nutzungsklasse: 1

KLED: mittel (Annahme)

$k_{mod} = 0,8$

$f_{c,90,k} = 2,5$ N/mm² (C24)

$\gamma_M = 1,3$

$f_{c,90,d} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,3} = 1,54$ N/mm²

$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{N_d}{1,0 \cdot 1,54} = 1,0$

$N_d = A \cdot 1,0 \cdot 1,54 = 40 \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm} \cdot 1,0 \cdot 1,54 \text{ N/mm}^2$
 $= 4.928 \text{ N} = 4,93 \text{ kN}$

Bemessungslast im Brandfall

$N_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot N_d$

$\eta_{fi} = 0,60$

$N_{d,fi} = 0,60 \cdot 4.928 \text{ N} = 2.957 \text{ N}$

DIN 4102-22 → 6.2/4.12.3

DIN 1052 → 10.2.4

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.5

DIN 1052 → Tab. 1

DIN 1052 → Gl. (3)

DIN 4102-22 → Gl. (8.1)

EN 1995-1-2

(Ausgabe 2004)

2.4.2(2) → (2.8)

2.4.2 → Anmerkung 2

Beginn des Abbrandes

$$t_{ch} = t_f$$

$$t_f = \frac{h_p}{\beta_0} - 4$$

$$\beta_0 = 0,9 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{0,p,t} = \beta_0 \cdot k_p \cdot k_h$$

$$k_p = \sqrt{\frac{450}{600}} = 0,87$$

$$k_h = \sqrt{\frac{20}{13}} = 1,24 > 1,0$$

$$\beta_{0,p,t} = 0,97$$

$$t_f = (13/0,97) - 4 = 9,40 \text{ min}$$

$$t = 30 \text{ min} \quad (\text{erforderliche Widerstandsdauer} - \text{F 30-B})$$

$$t > t_f$$

Abbrandrate

$$\text{für } t \geq t_f \quad \Rightarrow \quad \beta_n = k_s \cdot k_3 \cdot k_n \cdot \beta_0$$

$$k_s = 1,37 \quad (\text{interpolierter Wert})$$

$$k_3 = 0,036 \cdot t_f + 1 = 0,036 \cdot 9,40 + 1 = 1,34$$

$$k_n = 1,5$$

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

$$\beta_n = 1,37 \cdot 1,34 \cdot 1,5 \cdot 0,65 = 1,79 \text{ mm/min}$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

$$t = 30 - 9,44 = 20,56 \text{ min}$$

$$d_{char,n} = 1,79 \cdot 20,56 = 36,80 \text{ mm}$$

Ideeller Restquerschnitt (Querschnittswerte)

$$b_{red} = 40 \text{ mm} \hat{=} 4 \text{ cm}$$

$$h_{red} = 80 - 36,80 = 43,20 \text{ mm} \hat{=} 4,32 \text{ cm}$$

$$A_{red} = 40 \cdot 43,2 = 1.728 \text{ mm}^2 \hat{=} 17,28 \text{ cm}^2$$

$$I_{red} = \frac{4 \cdot 4,32^3}{12} = 26,87 \text{ cm}^4$$

$$i_{red} = \sqrt{\frac{26,87}{17,28}} = 1,25 \text{ cm}$$

$$\text{C2.2(1)} \rightarrow \text{(C.6)}$$

$$\text{C2.3(1)} \rightarrow \text{(C.7)}$$

Tabelle 3.1

$$\text{3.4.2(9)} \rightarrow \text{(3.4)}$$

$$\text{3.4.2(9)} \rightarrow \text{(3.5)}$$

$$\text{3.4.2(9)} \rightarrow \text{(3.6)}$$

$$\text{C2.3(1)} \rightarrow \text{(C.7)}$$

$$\text{C2.1(2)} \rightarrow \text{(C.2)}$$

$$\text{C2.1(3)} \rightarrow \text{Tab. C.1}$$

$$\text{C2.1(5)} \rightarrow \text{(C.5)}$$

$$\text{C2.1(2)}$$

Tabelle 3.1

$$\text{3.4.2(2)} \rightarrow \text{(3.2)}$$

Abminderung der Druckfestigkeit sowie des E-Moduls

Abminderung der Druckfestigkeit:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}}$$

2.3(1) → (2.1)

$$k_{mod,fi,fm} = a_0 - a_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h}$$

C3(1) → (C.13)

 $a_0 = 0,433$ (extrapoliert für $h = 80$ mm – siehe auch Abschnitt 9.2)

Tabelle C.2

 $a_1 = 0,361$ (extrapoliert für $h = 80$ mm – siehe auch Abschnitt 9.2)

Tabelle C.2

$$k_{mod,fi,fm} = 0,433 - 0,361 \cdot \frac{36,80}{80} = 0,27$$

$$f_{0,2} = k_{fi} \cdot f_k$$

2.3(3) → (2.4)

$$k_{fi} = 1,25$$

2.3(3) → Tab. 2.1

$$f_{c,0,(0,2)} = 1,25 \cdot 21 = 26,25 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Druckfestigkeit} \parallel \text{Faser})$$

$$\gamma_{m,fi} = 1,0$$

2.3(1) → Anm. 2

$$f_{c,0,d,fi} = 0,27 \cdot \frac{26,25}{1,0} = 7,09 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Druckfestigkeit} \parallel \text{Faser})$$

Abminderung des E-Moduls:

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

2.3(1) → (2.2)

$$k_{mod,fi,E} = b_0 - b_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h}$$

C3(1) → (C.14)

 $b_0 = 0,470$ (extrapoliert für $h = 80$ mm - siehe auch Abschnitt 9.2)

Tabelle C.4

 $b_1 = 0,775$ (extrapoliert für $h = 80$ mm - siehe auch Abschnitt 9.2)

Tabelle C.4

$$k_{mod,fi,E} = 0,470 - 0,775 \cdot \frac{36,80}{80} = 0,11$$

$$E_{20} = k_{fi} \cdot E_{05}$$

2.3(3) → (2.5)

$$k_{fi} = 1,25$$

2.3(3) → Tab. 2.1

$$E_{20} = 1,25 \cdot 7400 = 9.250 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{m,fi} = 1,0$$

2.3(1) → Anm. 2

$$E_{d,fi} = 0,11 \cdot \frac{9.250}{1,0} = 1.018 \text{ N/mm}^2$$

Druckspannungsnachweis

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{2.957 \text{ N}}{1.728 \text{ mm}^2} = 1,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{f_{c,0,d,fi}} = \frac{1,71}{7,09} = 0,24 < 1,0 \Rightarrow \quad \text{Nachweis erbracht!}$$

Stabilitätsnachweis

Schlankheit der Stiele:

angenommene Länge der Stiele: $s_k = 240$ cm

(geringste Höhe von Aufenthaltsräumen nach Musterbauordnung)

$$I_{\text{red}} = 26,87 \text{ cm}^4$$

$$i_{\text{red}} = 1,25 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{S_k}{i_{\text{red}}} = \frac{240}{1,25} = 192$$

Knickbeiwert $f_{c,fi}$

$$\lambda_{\text{rel,fi}} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,d,fi}}{\pi^2 \cdot E_{d,fi}}} = 192 \cdot \sqrt{\frac{7,09}{\pi^2 \cdot 1.026}} = 5,08$$

$$k_{fi} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (\lambda_{\text{rel}} - 0,5) + \lambda_{\text{rel}}^2)$$

$$k_{fi} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (5,08 - 0,5) + 5,08^2) = 13,86$$

$$k_{c,fi} = \frac{1}{k_{fi} + \sqrt{k_{fi}^2 - \lambda_{\text{rel,fi}}^2}} = \frac{1}{13,86 + \sqrt{13,86^2 - 5,08^2}} = 0,0374$$

Nachweis:

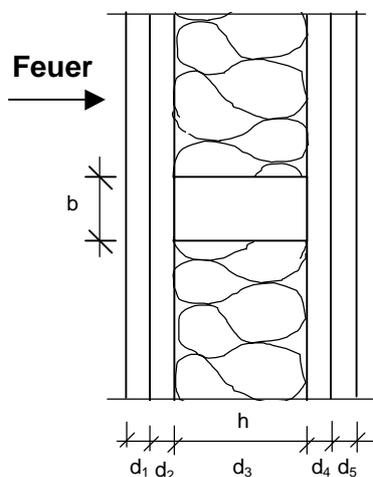
$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_c \cdot f_{c,0,d,fi}} \leq 1,0$$

$$\frac{2.957 \text{ N}}{0,0374 \cdot 7,09} = 6,45 > 1,0 \quad \Rightarrow \quad \text{Nachweis nicht erbracht!}$$

Das Verfahren liefert für kleine Querschnitte sehr sichere Ergebnisse, da die mittragende Wirkung der Beplankung auf der feuerabgewandten Seite rechnerisch nicht erfasst wird!

Beispiel A.2 Tragfähigkeitsnachweis einer Holzrahmenwand mit Hohlraumdämmung nach Anhang C

(Aufbau der Wandkonstruktion nach DIN 4102-4 Tabelle 51 Zeile 6)



Feuerwiderstandsdauer

F 60-B ($\alpha_7 = 1,0$ - nach DIN 4102-4/22)

Stiel

b/h = 40/80 mm (Nadelholz S10 - $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)

Beplankung

$d_1 = 18 \text{ mm} = d_5$ (Gipskartonbauplatte - GKB)

$d_2 = 16 \text{ mm} = d_4$ (Spanplatte ($\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$))

Dämmung

$d_3 = 80 \text{ mm}$ (Steinwolle)

$\rho = 30 \text{ kg/m}^3$

Lastannahmen

$\alpha_7 = 1,0$

$k_{c,90} = 1,0$ ($l_1 < 2 \cdot h$)

Nutzungsklasse: 1

KLED: mittel (Annahme)

$k_{mod} = 0,8$

$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ (C24)

$\gamma_M = 1,3$

$$f_{c,90,d} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{\frac{N_d}{A}}{1,0 \cdot 1,54} = 1,0$$

$$N_d = A \cdot 1,0 \cdot 1,54 = 40 \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm} \cdot 1,0 \cdot 1,54 \text{ N/mm}^2 \\ = 4.928 \text{ N} = 4,93 \text{ kN}$$

Bemessungslast im Brandfall

$$N_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot N_d$$

$\eta_{fi} = 0,60$

$$N_{d,fi} = 0,60 \cdot 4.928 \text{ N} = 2.957 \text{ N}$$

Beginn des Abbrandes der Stiele

(Schutzzeit der GKB-Platte)

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14$$

$$t_{ch} = 2,8 \cdot 18 - 14 = 36,4 \text{ min}$$

DIN 4102-22 → 4.12.3

DIN 1052 → 10.2.4

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.5

DIN 1052 → Tab. 1

DIN 1052 → Gl. (3)

DIN 4102-22 → Gl. (8.1)

EN 1995-1-2 (Ausgabe 2004)

2.4.2(2) → (2.8)

2.4.2 → Anmerkung 2

3.4.3.3(2) → (3.11)

(Schutzzeit der Spanplatte)

$$t_f = \frac{h_p}{\beta_0} - 4$$

$$\beta_0 = 0,9 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{0,p,t} = \beta_0 \cdot k_p \cdot k_h$$

$$k_p = \sqrt{\frac{450}{600}} = 0,87$$

$$k_h = \sqrt{\frac{20}{16}} = 1,12 > 1,0$$

$$\beta_{0,p,t} = 0,88$$

$$t_f = \frac{16}{0,88} - 4 = 14,18$$

Schutzzeit der gesamten Beplankung:

$$t_f = 36,4 + 14,18 = 50,58 \text{ min}$$

$t = 60 \text{ min}$ (Erforderliche Widerstandsdauer – F 60-B)

$$t > t_f$$

Abbrandrate

$$\text{für } t \geq t_f \quad \Rightarrow \quad \beta_n = k_s \cdot k_3 \cdot k_n \cdot \beta_0$$

$$k_s = 1,37 \quad (\text{interpolierter Wert})$$

$$k_3 = 0,036 \cdot 50,58 + 1 = 2,82$$

$$k_n = 1,5$$

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

$$\beta_n = 1,37 \cdot 2,82 \cdot 1,5 \cdot 0,65 = 3,77 \text{ mm/min}$$

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t$$

$$t = 60 - 50,58 = 9,42 \text{ min}$$

$$d_{\text{char},n} = 3,77 \cdot 9,42 = 35,51 \text{ mm}$$

Ideeller Restquerschnitt (Querschnittswerte)

$$b_{\text{red}} = 40 \text{ mm} \hat{=} 4 \text{ cm}$$

$$h_{\text{red}} = 80 - 35,51 = 44,49 \text{ mm} \hat{=} 4,45 \text{ cm}$$

$$A_{\text{red}} = 40 \cdot 44,49 = 1.779,6 \text{ mm}^2 \hat{=} 17,80 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{red}} = \frac{4 \cdot 4,45^3}{12} = 29,37 \text{ cm}^4$$

$$i_{\text{red}} = \sqrt{\frac{29,37}{17,80}} = 1,29 \text{ cm}$$

C2.3(1) → (C.7)

Tabelle 3.1

3.4.2(9) → (3.4)

3.4.2(9) → (3.5)

3.4.2(9) → (3.6)

C2.1(2) → (C.2)

C2.1(3) → Tab. C.1

C2.1(5) → (C.5)

C2.1(2)

Tabelle 3.1

3.4.2(2) → (3.2)

Abminderung der Druckfestigkeit sowie des E-Moduls

Abminderung der Druckfestigkeit:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}}$$

2.3(1) → (2.1)

$$k_{mod,fi,fm} = a_0 - a_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h}$$

C3(1) → (C.13)

 $a_0 = 0,433$ (extrapoliert für $h = 80$ mm - siehe auch Abschnitt 9.2)

Tabelle C.2

 $a_1 = 0,361$ (extrapoliert für $h = 80$ mm - siehe auch Abschnitt 9.2)

Tabelle C.2

$$k_{mod,fi,fm} = 0,433 - 0,361 \cdot \frac{35,51}{80} = 0,27$$

$$f_{0,2} = k_{fi} \cdot f_k$$

2.3(3) → (2.4)

$$k_{fi} = 1,25$$

2.3(3) → Tab. 2.1

$$f_{c,0,(0,2)} = 1,25 \cdot 21 = 26,25 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Druckfestigkeit} \parallel \text{Faser})$$

$$\gamma_{m,fi} = 1,0$$

2.3(1) → Anm. 2

$$f_{c,0,d,fi} = 0,27 \cdot \frac{26,25}{1,0} = 7,09 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Druckfestigkeit} \parallel \text{Faser})$$

Abminderung des E-Moduls:

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

2.3(1) → (2.2)

$$k_{mod,fi,E} = b_0 - b_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h}$$

C3(1) → (C.14)

 $b_0 = 0,470$ (extrapoliert für $h = 80$ mm - siehe auch Abschnitt 9.2)

Tabelle C.4

 $b_1 = 0,775$ (extrapoliert für $h = 80$ mm - siehe auch Abschnitt 9.2)

Tabelle C.4

$$k_{mod,fi,E} = 0,470 - 0,775 \cdot \frac{35,51}{80} = 0,13$$

$$E_{20} = k_{fi} \cdot E_{05}$$

2.3(3) → (2.5)

$$k_{fi} = 1,25$$

2.3(3) → Tab. 2.1

$$E_{20} = 1,25 \cdot 7400 = 9.250 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{m,fi} = 1,0$$

2.3(1) → Anm. 2

$$E_{d,fi} = 0,13 \cdot \frac{9.250}{1,0} = 1.202,5 \text{ N/mm}^2$$

Druckspannungsnachweis

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{2.957 \text{ N}}{1.779,6 \text{ mm}^2} = 1,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{f_{c,0,d,fi}} = \frac{1,66}{7,09} = 0,23 < 1,0 \Rightarrow \quad \text{Nachweis erbracht!}$$

Stabilitätsnachweis

Schlankheit der Stiele:

angenommene Länge der Stiele: $s_k = 240 \text{ cm}$

(geringste Höhe von Aufenthaltsräumen nach der Musterbauordnung)

$$I_{\text{red}} = 29,37 \text{ cm}^4$$

$$i_{\text{red}} = 1,29 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{red}} = \frac{S_k}{i} = \frac{240}{1,29} = 186,05$$

Knickbeiwert $f_{c,fi}$:

$$\lambda_{\text{rel,fi}} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,d,fi}}{\pi^2 \cdot E_{d,fi}}} = 186,05 \cdot \sqrt{\frac{7,09}{\pi^2 \cdot 1.202,5}} = 4,55$$

$$k_{fi} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (\lambda_{\text{rel}} - 0,5) + \lambda_{\text{rel}}^2)$$

$$k_{fi} = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (4,55 - 0,5) + 4,55^2) = 11,26$$

$$k_{c,fi} = \frac{1}{k_{fi} + \sqrt{k_{fi}^2 - \lambda_{\text{rel,fi}}^2}} = \frac{1}{11,26 + \sqrt{11,26^2 - 4,55^2}} = 0,046$$

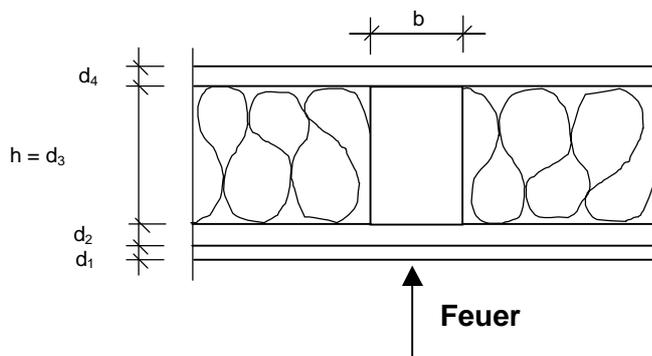
Nachweis:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_c \cdot f_{c,0,d,fi}} \leq 1,0$$

$$\frac{2.957 \text{ N}}{1.779,6 \text{ mm}^2} = 5,10 > 1,0 \quad \Rightarrow \quad \text{Nachweis nicht erbracht!}$$

Beispiel A.3 Tragfähigkeitsnachweis einer Decke in Holztafelbauart mit Hohlraumdämmung nach Anhang C

(Aufbau des tragenden Teils der Deckenkonstruktion in Anlehnung an DIN 4102-4 Tabelle 56 Zeile 1 – die Hohlräume werden in diesem Beispiel als vollgedämmt angenommen)



Feuerwiderstandsdauer

F 30-B (min $b = 40$ mm)

EN 1995-1-2
(Ausgabe 2004)

Deckenbalken

$b/h = 100/200$ mm (Nadelholz C24 - $\rho_k = 350$ kg/m³ - Länge des statischen Systems: $l = 4,0$ m – Querschnitt aus „kalter“ Bemessung)
Abstand der Deckenbalken $e = 0,625$ m

Beplankung

$d_1 = 9,5$ mm (Gipskartonbauplatte (GKB))
 $d_2 = 13$ mm (Spanplatte ($\rho \geq 600$ kg/m³))
 $d_4 = 24$ mm (gespundete Brettschalung)

Dämmung

$d_3 = 220$ mm (Steinwolle – $\rho = 30$ kg/m³ - Wand vollgedämmt)

Lastannahmen

Die Einwirkungen wurden für ein Wohnhaus ermittelt und auf einen geraden Wert aufgerundet!

Ständige Einwirkung: $g_k = 2$ kN/m²

Veränderliche Einwirkung: $q_k = 2$ kN/m²

Flächenlast

$(g + q)_d = 1,35 \cdot 2 + 1,5 \cdot 2 = 5,7$ kN/m²

Streckenlast:

$(g + q)_d = 5,7$ kN/m² $\cdot 0,625$ m = $3,56$ kN/m $\hat{=} 3,56$ N/mm

Bemessungslast im Brandfall

$$(g + q)_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot (g + q)_d$$

$$\eta_{fi} = 0,60$$

$$(g + q)_{d,fi} = 0,60 \cdot 3,56 \text{ kN/m} = 2,14 \text{ kN/m}$$

Beginn des Abbrandes des Balkens

(Schutzzeit der GKB-Platte)

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14$$

$$t_{ch} = 2,8 \cdot 9,5 - 14 = 12,6 \text{ min}$$

(Schutzzeit der Spanplatte)

$$t_f = \frac{h_p}{\beta_0} - 4$$

$$\beta_0 = 0,9 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot k_p \cdot k_h$$

$$k_p = \sqrt{\frac{450}{600}} = 0,87$$

$$k_h = \sqrt{\frac{20}{13}} = 1,24 > 1,0$$

$$\beta_{0,\rho,t} = 0,97 \text{ mm/min}$$

$$t_f = \frac{13}{0,97} - 4 = 9,40 \text{ min}$$

Schutzzeit der gesamten Beplankung:

$$t_f = 12,6 + 9,40 = 22,00 \text{ min}$$

$$t = 30 \text{ min} \quad (\text{Erforderliche Widerstandsdauer} - \text{F 30-B})$$

$$t > t_f$$

Abbrandrate:

$$\text{für } t \geq t_f \quad \Rightarrow \quad \beta_n = k_s \cdot k_3 \cdot k_n \cdot \beta_0$$

$$k_s = 1,0$$

$$k_3 = 0,036 \cdot 22,00 + 1 = 1,79$$

$$k_n = 1,5$$

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

$$\beta_n = 1,0 \cdot 1,79 \cdot 1,5 \cdot 0,65 = 1,75 \text{ mm/min}$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

$$t = 30 - 22,00 = 8,00 \text{ min}$$

$$d_{char,n} = 1,75 \cdot 8,00 = 14,00 \text{ mm}$$

$$2.4.2(2) \rightarrow (2.8)$$

$$2.4.2 \rightarrow \text{Anmerkung 2 2}$$

$$3.4.3.3(2) \rightarrow (3.11)$$

$$C2.3(1) \rightarrow (C.7)$$

Tabelle 3.1

$$3.4.2(9) \rightarrow (3.4)$$

$$3.4.2(9) \rightarrow (3.5)$$

$$3.4.2(9) \rightarrow (3.6)$$

$$C2.1(2) \rightarrow (C.2)$$

$$C2.1(3) \rightarrow \text{Tab. C.1}$$

$$C2.1(2) \rightarrow (C.5)$$

$$C2.1(2)$$

Tabelle 3.1

$$3.4.2(2) \rightarrow (3.2)$$

Ideeller Restquerschnitt (Querschnittswerte)

$$b_{\text{red}} = 40 \text{ mm} \hat{=} 4 \text{ cm}$$

$$h_{\text{red}} = 200 - 14,00 = 186,00 \text{ mm} \hat{=} 18,60 \text{ cm}$$

$$W_{\text{red}} = \frac{100 \cdot 186^2}{6} = 576.600 \text{ mm}^3 \hat{=} 576,6 \text{ cm}^3$$

Abminderung der Biegefestigkeit

$$f_{\text{d,fi}} = k_{\text{mod,fi}} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{\text{M,fi}}}$$

$$k_{\text{mod,fi,fm}} = a_0 - a_1 \cdot \frac{d_{\text{char,n}}}{h}$$

$$a_0 = 0,736 \text{ (für } h = 200 \text{ mm - siehe auch Abschnitt 9.2)}$$

$$a_1 = 0,510 \text{ (für } h = 200 \text{ mm - siehe auch Abschnitt 9.2)}$$

$$k_{\text{mod,fi,fm}} = 0,736 - 0,510 \cdot \frac{14,00}{200} = 0,70$$

$$f_{0,2} = k_{\text{fi}} \cdot f_{\text{k}}$$

$$k_{\text{fi}} = 1,25$$

$$f_{\text{m,(0,2)}} = 1,25 \cdot 24 = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{\text{m,fi}} = 1,0$$

$$f_{\text{m,d,fi}} = 0,70 \cdot \frac{30}{1,0} = 21,0 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannungsnachweis

$$M_{\text{d,fi}} = \frac{(g + q)_{\text{d,fi}} \cdot l^2}{8} = \frac{2,14 \cdot 4000^2}{8} = 4,28 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$W_{\text{red}} = 576.600 \text{ mm}^3$$

$$f_{\text{m,d,fi}} = 21,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{m,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{red}}} = \frac{4,28 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{576.600 \text{ mm}^3} = 7,42 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$$

$$\frac{\sigma_{\text{m,d,fi}}}{f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{7,42}{21,00} = 0,35 < 1,0 \Rightarrow \quad \textbf{Nachweis erbracht!}$$

2.3(1) → (2.1)

C3(1) → (C.13)

Tabelle C.2

Tabelle C.2

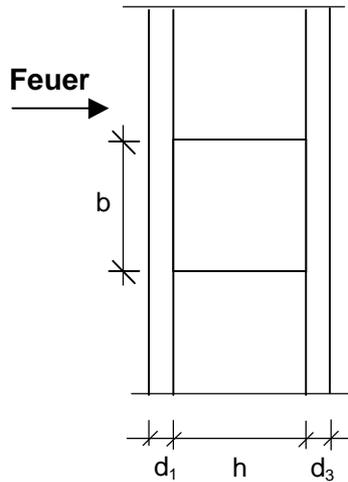
2.3(3) → (2.4)

2.3(3) → Tab. 2.1

2.3(1) → Anm. 2

Beispiel A.4 Tragfähigkeitsnachweis einer Holzrahmenwand ohne Hohlraumdämmung nach Anhang D

(Aufbau der Wandkonstruktion nach DIN 4102-4 Tabelle 50 Zeile 2)



Feuerwiderstandsdauer

F 30-B ($\alpha_7 = 0,5$ - nach DIN 4102-4/22)

Stiel

b/h = 100/100 mm (Nadelholz C24 - $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)

Beplankung

$d_1 = 16 \text{ mm}$ (Spanplatte - $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$)

$d_3 = 16 \text{ mm}$ (Spanplatte - $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$)

Lastannahmen

$$\alpha_7 = 0,5$$

$$k_{c,90} = 1,0 \quad (l_1 < 2 \cdot h)$$

Nutzungsklasse: 1

KLED: mittel (Annahme)

$$k_{mod} = 0,8$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{C24})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{c,90,d} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{N_d}{1,0 \cdot 1,54} = 0,5$$

$$N_d = A \cdot 1,0 \cdot 1,54 = 100 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} \cdot 0,5 \cdot 1,54 \text{ N/mm}^2 \\ = 7.700 \text{ N} = 7,7 \text{ kN}$$

Bemessungslast im Brandfall

$$N_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot N_d$$

$$\eta_{fi} = 0,60$$

$$N_{d,fi} = 0,60 \cdot 7.700 \text{ N} = 4.620 \text{ N}$$

Beginn des Abbrandes

$$t_{ch} = t_f$$

DIN 4102-22 → 4.12.3

DIN 1052 → 10.2.4

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.1

DIN 1052 → Tab. F.5

DIN 1052 → Tab. 1

DIN 1052 → Gl. (3)

DIN 4102-22 → Gl. (8.1)

2.4.2(2) → (2.8)

2.4.2 → Anmerkung 2

D3(1) → (D.1)

$$t_f = \frac{h_p}{\beta_0} - 4$$

$$\beta_0 = 0,9 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot k_p \cdot k_h$$

$$k_p = \sqrt{\frac{450}{600}} = 0,87$$

$$k_h = \sqrt{\frac{20}{16}} = 1,12 < 1,0$$

$$\beta_{0,\rho,t} = 0,88$$

$$t_f = \frac{16}{0,88} - 4 = 14,18 \text{ min}$$

Zeitlimit

Bedingung: $t_{ch} = t_f$

$$t_a = \min \left\{ \frac{2 \cdot t_f}{\frac{12,5}{\beta_n} + t_f}, \frac{2 \cdot t_f}{0,8 + t_f} \right\} = \frac{2 \cdot 14,18}{\frac{12,5}{0,8} + 14,18} = \frac{28,36}{29,81}$$

$t_a = 28,36 \text{ min}$ (maßgebend)

$$t_a - t_f = 28,36 - 14,18 = 14,18 \text{ min}$$

D4(1) → (D.3)

Tabelle 3.1

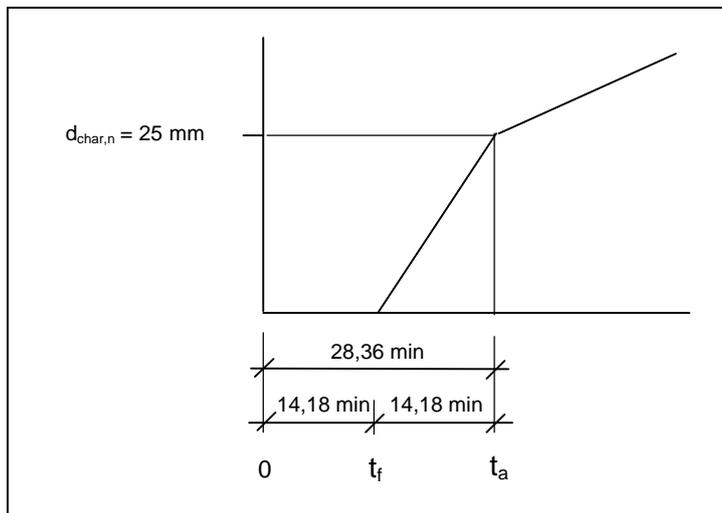
3.4.2(9) → (3.4)

3.4.2(9) → (3.5)

3.4.2(9) → (3.6)

D4(1) → (D.3)

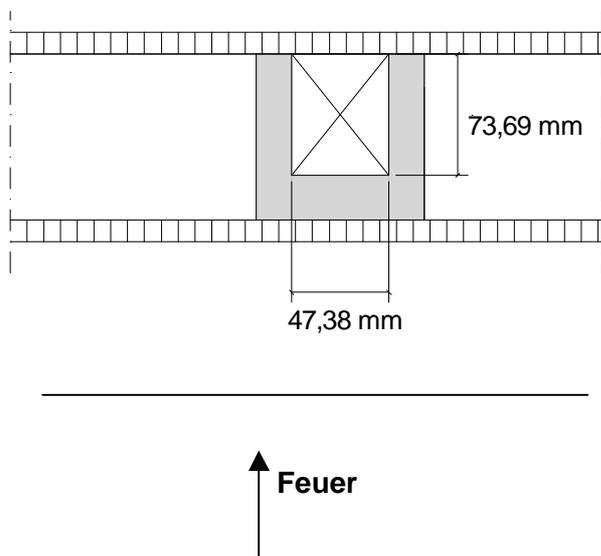
3.4.3.2(5)→(3.8a-b)



Restzeit: $(30 - 28,36) = 1,64 \text{ min}$

$$d_{char,n} = 25 \text{ mm} + (1,64 \text{ min} \cdot 0,8 \text{ mm/min}) = 26,31 \text{ mm}$$

Restquerschnitt:



Die statischen Nachweise werden nach der „Methode mit reduziertem Querschnitt“ (Abschnitt 4.2.2) geführt:

Ideelle Abbrandtiefe

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

4.2.2(1) → (4.1)

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 \text{ (nach } t_f \text{ (14,18 min) + 15 Minuten) = 29,18 Minuten) = 1,0}$$

4.2.2(4) → 1. Abs.

$$d_{ef} = 26,31 + 1,0 \cdot 7 = 33,31 \text{ mm}$$

Ideeller Restquerschnitt

$$d_{red} = 100 - 2 \cdot 33,31 = 33,38 \text{ mm} \hat{=} 3,34 \text{ cm}$$

$$h_{red} = 100 - 33,31 = 66,69 \text{ mm} \hat{=} 6,70 \text{ cm}$$

$$A_{red} = 2.226,11 \text{ mm}^2 \hat{=} 22,26 \text{ cm}^2$$

$$I_{red} = \frac{3,34 \cdot 6,7^3}{12} = 83,71 \text{ cm}^3$$

$$i_{red} = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{83,71}{22,26}} = 1,94 \text{ cm}$$

Ermittlung der reduzierten Druckfestigkeit sowie des E-Moduls

Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften wie im „kalten“ Zustand

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

4.2.2(5)

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

2.3(1) → Anm. 2

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi,fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot \frac{21}{1,0} = 21 \text{ N/mm}^2$$

Druckspannungsnachweis

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{4.620 \text{ N}}{2.226,11 \text{ mm}^2} = 2,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{f_{c,0,d,fi}} = \frac{2,08}{21} = 0,10 < 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht!}$$

Stabilitätsnachweis

Schlankheit der Stiele:

angenommene Länge der Stiele: $s_k = 240 \text{ cm}$

(geringste Höhe von Aufenthaltsräumen nach Musterbauordnung)

$i_{red} = 1,94 \text{ cm}$

$$\lambda = \frac{S_k}{i} = \frac{240}{1,94} = 123,71$$

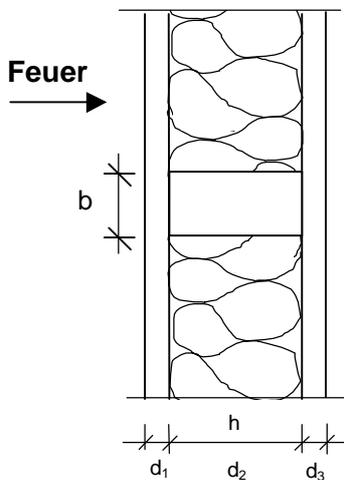
Knickbeiwert f_c (aus „kalter“ Bemessung) = 0,208

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_c \cdot f_{c,0,d,fi}} \leq 1,0$$

$$\frac{4.620 \text{ N}}{2.226,11 \text{ mm}^2} = 2,08 > 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht!}$$

Beispiel A.5 Nachweis des Raumabschlusses einer Holzrahmenwand nach Anhang E
(Aufbau der Wandkonstruktion nach DIN 4102-4 Tabelle 51 Zeile 1)



Feuerwiderstandsdauer

F 30-B

Stiel

$b/h = 40/80 \text{ mm}$

Beklankung

$d_1 = 13 \text{ mm}$ (Spanplatte - $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$)

$d_3 = 13 \text{ mm}$ (Spanplatte - $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$)

Dämmung

$d_2 = 80 \text{ mm}$ (Steinwolle)

$\rho = 30 \text{ kg/m}^3$

EN 1995-1-2
(Ausgabe 2004)

Nachweis der raumabschließenden Funktion einer Wand

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

E 1(6) → (E.1)

erforderliche Feuerwiderstandsdauer t_{ins}

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

E 2.1(1) → (E.2)

Grundwerte Wärmedämmung der Schichten $t_{\text{ins},0,i}$

$$t_{\text{ins},d,1} = 1,1 \cdot h_p \quad (h_p = 13 \text{ mm})$$

E 2.2(2) → (E.4)

$$t_{\text{ins},d,1} = 14,3 \text{ min}$$

$$t_{\text{ins},d,2} = 0,2 \cdot h_{\text{ins}} \cdot k_{\text{dens}} \quad (h_{\text{ins}} = 80 \text{ mm})$$

E 2.2(3) → (E.7)

$$k_{\text{dens}} = 1,02 \quad (\text{Steinwolle} - \rho \geq 30 \text{ kg/m}^3)$$

(nach Tab. E.2)

$$t_{\text{ins},d,2} = 16,32 \text{ min}$$

$$t_{\text{ins},d,3} = 1,1 \cdot h_p \quad (h_p = 13 \text{ mm})$$

E 2.2(2) → (E.4)

$$t_{\text{ins},d,3} = 14,3 \text{ min}$$

Positionsbeiwerte k_{pos}

$$k_{\text{pos},d,1} = 0,02 \cdot h_p + 0,54$$

E 2.3(1) → (E.9)

$$k_{\text{pos},d,1} = 0,8 \quad (h_p = 13 \text{ mm})$$

$$k_{\text{pos},d,2} = 1,0 \quad (\text{Wärmedämmung/Steinwolle } 80 \text{ mm})$$

E 2.3(1)

$$k_{\text{pos},d,3} = 1,5$$

E 2.3(1) → Tab. E.4

Fugenbeiwerte k_j

$$k_{j,d,1} = 1,0$$

E 2.4(1)

$$k_{j,d,2} = 1,0$$

E 2.4(3)

$$k_{j,d,3} = 1,0$$

E 2.4(1)

Berechnung

$$t_{\text{ins}} = (14,3 \cdot 0,80 \cdot 1,0) + (16,32 \cdot 1,0 \cdot 1,0) + (14,3 \cdot 1,5 \cdot 1,0)$$

$$t_{\text{ins}} = 49,21 \text{ min}$$

$$60 \text{ min} > t_{\text{ins}} = \mathbf{49,21 \text{ min}} > 30 \text{ min} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{\text{Einstufung: F 30}}$$

E 2.1(1) → (E.2)

E1(6) → (E.1)

Tabelle 1 - Tragende Wandkonstruktionen mit ein- und zweilagiger Beplankung (vollgedämmt) nach DIN 4102-4 Tabelle 51 - Berechnung nach Anhang C

DIN Tab. 51	feuerabgewandte Beplankung		Dämmschicht		Stiel		feuerzugewandte Beplankung			DIN 4102-4		prEN 1995 1-2																
	HWS $\rho=600 \text{ kg/m}^3$		MF-Platten (Steinwolle)		NH C24		HWS $\rho=600 \text{ kg/m}^3$			GKF	GKB	Feuerwiderstandsklasse	Ausnutzungsgrad α_7	$N_{d,fi}$	Bekleidung			Holzbauteil					ideeller Restquerschnitt				Ausnutzungsgrad	
	d_2/d_3 mm	D mm	ρ kg/m^3	b_1 mm	d_1 mm	d_2/d_3 mm	d_2/d_3 mm	d_2/d_3 mm	d_2/d_3 mm	d_2/d_3 mm			N	t_r min	t_{ch} min	β_0 mm/min	k_s	k_n	k_2	k_3	β_n mm/mi	$k_{mod,fi}$ - Spannung	$k_{mod,fi}$ - E-Modul	$d_{char,n}$ mm	A_{red} mm^2	$k_{c,fi}$	Druckspannung	Stabilität
1a	13	80	30	40	80	13					F 30-B	1,0	2957	9,40	9,40	0,65	1,37	1,50	-	1,34	1,79	0,27	0,11	36,87	1725,34	0,0382	0,245	6,410
1b	13	80	30	40	80		12,5				F 30-B	1,0	2957	21,00	21,00	0,65	1,37	1,50	-	1,76	2,35	0,34	0,26	21,13	2354,71	0,1275	0,142	1,111
1c	13	80	30	40	80					18	F 30-B	1,0	2957	36,40	36,40	kein rechnerischer Abbrand nach 30 Minuten												
2a	13	40	50	40	80	13					F 30-B	1,0	2957	9,40	9,40	0,65	1,37	1,50	-	1,34	1,79	0,27	0,11	36,87	1725,34	0,0374	0,245	6,541
2b	13	40	50	40	80		12,5				F 30-B	1,0	2957	21,00	21,00	0,65	1,37	1,50	-	1,76	2,35	0,34	0,26	21,13	2354,71	0,1275	0,142	1,111
2c	13	40	50	40	80					18	F 30-B	1,0	2957	36,40	36,40	kein rechnerischer Abbrand nach 30 Minuten												
3a	8	60	100	40	80	8					F 30-B	0,5	2957	2,49	2,49	0,65	1,37	1,50	-	1,09	1,46	0,25	0,08	40,08	1596,72	0,0245	0,280	11,443
3b	8	60	100	40	80		12,5				F 30-B	0,5	2957	21,00	21,00	0,65	1,37	1,50	-	1,76	2,35	0,34	0,26	21,13	2354,71	0,1275	0,142	1,111
3c	8	60	100	40	80					18	F 30-B	0,5	2957	36,40	36,40	kein rechnerischer Abbrand nach 30 Minuten												
4	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 4 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wurde bisher nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.																											
5	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 4 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wurde bisher nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.																											
6a	2 x 16	80	30	40	80	2 x 16					F 60-B	1,0	2957	32,74	32,74	0,65	1,37	1,50	-	2,18	2,91	-	-	79,41	fast vollständiger rechn. Abbrand			
6b	2 x 16	80	30	40	80	16	12,5				F 60-B	1,0	2957	35,33	35,33	0,65	1,37	1,50	-	2,27	3,04	-	-	74,94	fast vollständiger rechn. Abbrand			
6c	16/18	80	30	40	80	16				18	F 60-B	1,0	2957	50,58	50,58	0,65	1,37	1,50	-	2,82	3,77	0,27	0,12	35,53	1778,74	0,0434	0,232	5,355
7	2 x 16	60	50	40	80	2 x 16					F 60-B	1,0	2957	32,74	32,74	0,65	1,37	1,50	-	2,18	2,91	-	-	79,41	fast vollständiger rechn. Abbrand			
8a	19	80	100	40	80	19					F 60-B	0,5	1479	19,76	19,76	0,65	1,37	1,50	-	1,71	2,29	-	-	92,08	vollständiger rechn. Abbrand			
8b	19	80	100	40	80					18	F 60-B	0,5	1479	36,40	36,40	0,65	1,37	1,50	-	2,31	3,09	-	-	72,91	fast vollständiger rechn. Abbrand			
9	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 4 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wurde bisher nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.																											
10	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																											
11	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																											
12a	12,5 (GKF)	80	100	40	80		12,5				F 30-B	1,0	2957	21,00	21,00	0,65	1,37	1,50	-	1,76	2,35	-	-	91,57	vollständiger rechn. Abbrand			
12b	18 (GKB)	80	100	40	80					18	F 30-B	1,0	2957	36,40	36,40	0,65	1,37	1,50	-	2,31	3,09	-	-	72,91	fast vollständiger rechn. Abbrand			
13	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 4 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wurde bisher nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.																											
14a	13/12,5	60	50	40	80	13	12,5				F 60-B	0,5	1479	30,44	30,44	0,65	1,37	1,50	-	2,10	2,80	-	-	82,84	vollständiger rechn. Abbrand			
14b	13/12,5	60	50	40	80					2 x 9,5	F 60-B	0,5	1479	25,90	25,90	0,65	1,37	1,50	-	1,93	2,58	-	-	88,11	vollständiger rechn. Abbrand			
15	8/12,5	80	100	40	80	8	12,5				F 60-B	0,2	592	23,50	23,50	0,65	1,37	1,50	-	1,85	2,47	-	-	90,10	vollständiger rechn. Abbrand			
16	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 4 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wurde bisher nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.																											
17	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 4 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wurde bisher nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.																											
18	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																											
19	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																											
20	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																											

Tabelle 2 - Tragende Deckenkonstruktionen mit brandschutztechnisch notwendiger Dämmschicht nach DIN 4102-4 Tabelle 56

DIN 4102-4								EN 1995-1-2																		
Zeile	untere Beplankung				vorh. Spannweite	Balken		Feuerwiderstandsklasse	Last (g + q) _{d,fi} N/mm	Moment M _{d,fi} Nmm	Holzbauteil								Biegefestigkeit		ideeller Restquerschnitt			Biege- spannungs- nachweis Ausnutzungsgrad	Einstufung der Feuerwiderstandsklasse	
	HWS ρ=600 kg/m ³	GKF	GKB	GKF		NH C24	t _r = t _{ch} min				β ₀ mm/min	k _s	k _n	k _e	k ₃	β _n mm/min	d _{char,n} mm	k _{mod,fi} Spannung	f _{m,d,fi} N/mm ²	b _{red} mm	h _{red} mm	W _{red} mm ³				
1 - 3*	16				3000	80	160	F 30-B	2,14	2407500	14,39	0,65	1,03	1,50	-	1,52	1,52	23,80	0,62	18,64	80	136,20	247348,95	0,52	>	F 30-B
1 - 3*	16				3000	80	160	F 60-B ?***	2,14	2407500	14,39	0,65	1,03	1,50	-	1,52	1,52	69,53	0,48	14,38	80	90,47	109125,96	1,53	<	F 60-B
1 - 3*	13	9,5			3000	100	160	F 30-B	2,14	2407500	22,00	0,65	1,00	1,50	-	1,79	1,75	13,98	0,65	19,55	100	146,02	355375,69	0,35	>	F 30-B
1 - 3*	13	9,5			3000	100	160	F 60-B ?***	2,14	2407500	22,00	0,65	1,00	1,50	-	1,79	1,75	66,39	0,49	14,68	100	93,61	146035,97	1,12	<	F 60-B
1 - 3*		12,5			3000	120	140	F 30-B	2,14	2407500	21,00	0,65	1,00	1,50	-	1,76	1,71	15,41	0,62	18,55	120	124,59	310458,84	0,42	>	F 30-B
1 - 3*		12,5			3000	120	140	F 60-B ?***	2,14	2407500	21,00	0,65	1,00	1,50	-	1,76	1,71	66,77	0,44	13,19	120	73,23	107247,09	1,70	<	F 60-B
1 - 3*	16				4000	80	220	F 30-B	2,14	4280000	14,39	0,65	1,03	1,50	-	1,52	1,52	23,80	0,70	21,15	80	196,20	513273,25	0,39	>	F 30-B
1 - 3*	16				4000	80	220	F 60-B ?***	2,14	4280000	14,39	0,65	1,03	1,50	-	1,52	1,52	69,53	0,60	17,96	80	150,47	301874,66	0,79	>	F 60-B
1 - 3*	13	9,5			4000	100	200	F 30-B	2,14	4280000	22,00	0,65	1,00	1,50	-	1,79	1,75	13,98	0,70	21,01	100	186,02	576738,89	0,35	>	F 30-B
1 - 3*	13	9,5			4000	100	200	F 60-B ?***	2,14	4280000	22,00	0,65	1,00	1,50	-	1,79	1,75	66,39	0,57	17,00	100	133,61	297511,17	0,85	>	F 60-B
1 - 3*		12,5			4000	120	180	F 30-B	2,14	4280000	21,00	0,65	1,00	1,50	-	1,76	1,71	15,41	0,67	20,16	120	164,59	541804,60	0,39	>	F 30-B
1 - 3*		12,5			4000	120	180	F 60-B ?***	2,14	4280000	21,00	0,65	1,00	1,50	-	1,76	1,71	66,77	0,53	15,84	120	113,23	256412,05	1,05	<	F 60-B
1 - 3*	16				5000	80	280	F 30-B	2,14	6687500	14,39	0,65	1,03	1,50	-	1,52	1,52	23,80	0,79	23,60	80	256,20	875197,54	0,32	>	F 30-B
1 - 3*	16				5000	80	280	F 60-B ?***	2,14	6687500	14,39	0,65	1,03	1,50	-	1,52	1,52	69,53	0,70	21,10	80	210,47	590623,36	0,54	>	F 60-B
1 - 3*	13	9,5			5000	100	240	F 30-B	2,14	6687500	22,00	0,65	1,00	1,50	-	1,79	1,75	13,98	0,75	22,63	100	226,02	851435,42	0,35	>	F 30-B
1 - 3*	13	9,5			5000	100	240	F 60-B ?***	2,14	6687500	22,00	0,65	1,00	1,50	-	1,79	1,75	66,39	0,64	19,29	100	173,61	502319,70	0,69	>	F 60-B
1 - 3*		12,5			5000	120	220	F 30-B	2,14	6687500	21,00	0,65	1,00	1,50	-	1,76	1,71	15,41	0,72	21,73	120	204,59	837150,36	0,37	>	F 30-B
1 - 3*		12,5			5000	120	220	F 60-B ?***	2,14	6687500	21,00	0,65	1,00	1,50	-	1,76	1,71	66,77	0,61	18,16	120	153,23	469577,01	0,78	>	F 60-B
4 - 6**		12,5		12,5	3000	80	140	F 30-B	2,14	2407500	38,50	0,65	1,03	1,50	-	2,39	2,40	51,52	0,49	14,78	80	88,48	104389,83	1,56	<	F 60-B
4 - 6**		12,5		12,5	4000	100	140	F 30-B	2,14	4280000	38,50	0,65	1,00	1,50	-	2,39	2,33	50,02	0,50	14,94	100	89,98	134950,43	2,12	<	F 60-B
4 - 6**		12,5		12,5	5000	120	120	F 30-B	2,14	6687500	38,50	0,65	1,00	1,50	-	2,39	2,33	50,02	0,44	13,26	120	69,98	97953,74	5,15	<	F 60-B

- * Rippenabstand e = 0,625 m
- ** Rippenabstand e = 0,50 m
- *** Überprüfung zur Einstufung in die nächst höhere Brandschutzklasse

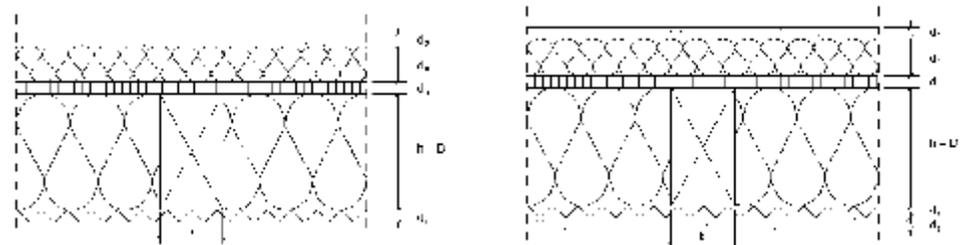


Tabelle 3a - Tragende Wandkonstruktionen mit ein- und zweilagiger Beplankung (ohne Hohlraumdämmung) nach DIN 4102-4 Tabelle 50 - Berechnung nach Anhang D

DIN 4102-4								EN 1995-1-2													
DIN Tab. 50	feuerabgewandte Beplankung	Stiel		feuerzugewandte Beplankung			Feuerwiderstandsklasse	Ausnutzungsgrad α_7	Normalkraft	Bekleidung Schmal-seite	Bekleidung Längs-seite	Zeitlimit		Dauer des Abbrandes		theoretische Abbrandzeit (bis $d_{chr,n} = 25$ mm)		Anteiliger Abbrand (bis $d_{chr,n} = 25$ mm)		Anteiliger Abbrand (ab $d_{chr,n} = 25$ mm)	
		HWS $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$	NH C24	HWS $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$	GKF	GKB						Schmal-seite	Längs-seite	Schmal-seite	Längs-seite	Schmal-seite	Längs-seite	Schmal-seite	Längs-seite	Schmal-seite	Längs-seite
Zeile	d_2/d_3 mm	b_1 mm	d_1 mm	d_2/d_3 mm	d_2 mm	d_2/d_3 mm		$N_{d,fi}$ N	$t_f = t_{ch}$ min	$t_f = t_{ch}$ min	t_a min	t_a min	$t - t_f$ min	$t - t_f$ min	$t_a - t_f$ min	$t_a - t_f$ min	mm	mm	mm	mm	
1a	25	50	80	25			F 30-B	1,0	3696	28,09	28,09	43,72	43,72	1,91	1,91	15,63	15,63	3,06	3,06	-	-
1a	25	50	80	25			F 60-B ?***	1,0	3696	28,09	28,09	43,72	43,72	31,91	31,91	15,63	15,63	25,00	25,00	13,02	13,02
1b	2 x 16	50	80	2 x 16			F 30-B	1,0	3696	32,72	32,72	kein rechnerischer Abbrand									
1b	2 x 16	50	80	2 x 16			F 60-B ?***	1,0	3696	32,72	32,72	48,35	48,35	27,28	27,28	15,63	15,63	25,00	25,00	9,32	9,32
2	16	100	100	16			F 30-B	0,5	4620	14,18	14,18	28,36	28,36	15,82	15,82	14,18	14,18	25,00	25,00	1,31	1,31
2	16	100	100	16			F 60-B ?***	0,5	4620	14,18	14,18	28,36	28,36	45,82	45,82	14,18	14,18	25,00	25,00	25,31	25,31
3	18 (GKF)	40	80		18		F 30-B	1,0	2957	36,40	39,40	kein rechnerischer Abbrand									
3	18 (GKF)	40	80		18		F 60-B ?***	1,0	2957	36,40	39,40	52,03	55,03	23,60	20,60	15,63	15,63	25,00	25,00	6,38	3,98
4a	15 (GKF)	50	80		15		F 30-B	1,0	3696	28,00	31,00	43,63	-	2,00	-	15,63	-	3,20	-	-	-
4a	15 (GKF)	50	80		15		F 60-B ?***	1,0	3696	28,00	31,00	43,63	46,63	32,00	29,00	15,63	15,63	25,00	25,00	13,10	10,70
4b	18 (GKB)	50	80			18	F 30-B	1,0	3696	36,40	39,40	kein rechnerischer Abbrand									
4b	18 (GKB)	50	80			18	F 60-B ?***	1,0	3696	36,40	39,40	52,03	55,03	23,60	20,60	15,63	15,63	25,00	25,00	6,38	3,98
5a	12,5 (GKF)	100	100		12,5		F 30-B	1,0	9240	21,00	24,00	36,63	39,63	9,00	6,00	15,63	15,63	14,40	9,60	-	-
5a	12,5 (GKF)	100	100		12,5		F 60-B ?***	1,0	9240	21,00	24,00	36,63	39,63	39,00	36,00	15,63	15,63	25,00	25,00	18,70	16,30
5b	15 (GKB)	100	100			15	F 30-B	1,0	9240	28,00	31,00	43,63	46,63	2,00	-	15,63	-	3,20	-	-	-
5b	15 (GKB)	100	100			15	F 60-B ?***	1,0	9240	28,00	31,00	43,63	46,63	32,00	29,00	15,63	15,63	25,00	25,00	13,70	10,70
5c	2 x 9,5 (GKB)	100	100			2 x 9,5	F 30-B	1,0	9240	25,90	28,90	41,53	44,53	4,10	1,10	15,63	15,63	6,56	1,76	-	-
5c	2 x 9,5 (GKB)	100	100			2 x 9,5	F 60-B ?***	1,0	9240	25,90	28,90	41,53	44,53	34,10	31,10	15,63	15,63	25,00	25,00	14,78	12,38
6a	8/12,5	40	80	8	12,5		F 30-B	1,0	2957	23,50	26,50	39,13	42,13	6,50	3,50	15,63	15,63	10,40	5,60	-	-
6a	8/12,5	40	80	8	12,5		F 60-B ?***	1,0	2957	23,50	26,50	39,13	42,13	36,50	33,50	15,63	15,63	25,00	25,00	16,70	14,30
6b	8/15	40	80	8		15	F 30-B	1,0	2957	30,50	33,50	kein rechnerischer Abbrand									
6b	8/15	40	80	8		15	F 60-B ?***	1,0	2957	30,50	33,50	46,13	49,13	29,50	26,50	15,63	15,63	25,00	25,00	11,10	8,70
6c	8/2x9,5	40	80	8		2 x 9,5	F 30-B	1,0	2957	28,40	31,40	44,03	47,03	1,60	-	15,63	-	2,56	-	-	-
6c	8/2x9,5	40	80	8		2 x 9,5	F 60-B ?***	1,0	2957	28,40	31,40	44,03	47,03	31,60	28,60	15,63	15,63	25,00	25,00	12,78	10,38

Weitere Wandaufbauten und Berechnungen in der Tabelle 3c

*** Überprüfung zur Einstufung in die nächst höhere Brandschutzklasse

Tabelle 3b - Tragende Wandkonstruktionen mit ein- und zweilagiger Beplankung (ohne Hohlraumdämmung) nach DIN 4102-4 Tabelle 50 - Berechnung nach Anhang D

EN 1995-1-2																		
DIN Tab. 50	ideelle Abbrandtiefe						ideeller Querschnitt				Festigkeits- und Steifigkeitswerte						Nachweise	
	k_o Schmal- seite	k_o Längs- seite	d_o Schmal- seite	d_o Längs- seite	d_{ef} Schmal- seite	d_{ef} Längs- seite	h_{red}	b_{red}	I_{red}	i_{red}	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	$f_{c,0,k}$	$E_{0,05}$	λ (bei $S_k = 240$ cm)	k_c "kalt"	Ausnutzungsgrad	
Zeile	-	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ²	-	-	N/mm ²	N/mm ²	-		Druckspannungs- nachweis	Stabilitäts- nachweis
1a	0,39	0,39	2,72	2,72	5,78	5,78	74,22	38,44	130,98	2,14	1,0	1,0	21,00	7400	112,01	0,251	0,06	0,25
1a	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
1b	kein rechnerischer Abbrand						80,00	50,00	213,33	2,31	1,0	1,0	21,00	7400	103,92	0,207	0,04	0,21
1b	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
2	1,00	1,00	7,00	7,00	33,31	33,31	66,69	33,38	82,51	1,93	1,0	1,0	21,00	7400	124,66	0,207	0,10	0,48
2	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
3	kein rechnerischer Abbrand						80,00	40,00	170,67	2,31	1,0	1,0	21,00	7400	103,92	0,288	0,04	0,15
3	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
4a	0,39	-	2,75	-	5,95	-	74,05	50,00	169,17	2,14	1,0	1,0	21,00	7400	112,28	0,250	0,05	0,19
4a	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
4b	kein rechnerischer Abbrand						80,00	50,00	213,33	2,31	1,0	1,0	21,00	7400	103,92	0,288	0,04	0,15
4b	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
5a	0,72	0,58	5,04	4,06	19,44	13,66	80,56	72,69	316,74	2,33	1,0	1,0	21,00	7400	103,19	0,292	0,08	0,26
5a	rechnerisch fast vollständiger Abbrand (Restbreite: 3,4 mm)																	
5b	0,39	-	2,75	-	5,95	-	94,05	100,00	693,21	2,71	1,0	1,0	21,00	7400	88,40	0,388	0,05	0,12
5b	rechnerisch fast vollständiger Abbrand (Restbreite: 14,6 mm)																	
5c	0,49	0,35	3,44	2,46	10,00	4,22	90,00	91,56	556,29	2,60	1,0	1,0	21,00	7400	92,37	0,358	0,05	0,15
5c	rechnerisch fast vollständiger Abbrand (Restbreite: 11,3 mm)																	
6a	0,60	0,46	4,22	3,24	14,62	8,84	65,38	22,32	51,97	1,89	1,0	1,0	21,00	7400	127,16	0,197	0,10	0,49
6a	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
6b	kein rechnerischer Abbrand						80,00	40,00	170,67	2,31	1,0	1,0	21,00	7400	103,92	0,288	0,04	0,15
6b	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
6c	0,37	-	2,62	-	5,18	-	74,82	40,00	139,60	2,16	1,0	1,0	21,00	7400	111,12	0,255	0,05	0,18
6c	rechnerisch vollständiger Abbrand																	

Weitere Wandaufbauten und Berechnungen in der Tabelle 3d

Tabelle 3c - Tragende Wandkonstruktionen mit ein- und zweilagiger Beplankung (ohne Hohlraumdämmung) nach DIN 4102-4 Tabelle 50 - Berechnung nach Anhang D

DIN Tab. 50	feuerabgewandte Beplankung	Stiel		feuerzugewandte Beplankung			Feuerwiderstand Klasse	Ausnutzungsgrad α_7	Normalkraft	Bekleidung Schmal-seite	Bekleidung Längs-seite	Zeitlimit		Dauer des Abbrandes		theoretische Abbrandzeit (bis $d_{chr,n} = 25$ mm)		Anteiliger Abbrand (bis $d_{chr,n} = 25$ mm)		Anteiliger Abbrand (ab $d_{chr,n} = 25$ mm)	
				HWS $\rho=600$ kg/m^3	NH C24	HWS $\rho=600$ kg/m^3						GKF	GKB	Schmal-seite	Längs-seite	Schmal-seite	Längs-seite	Schmal-seite	Längs-seite	Schmal-seite	Längs-seite
	d_2/d_3 mm	b_1 mm	d_1 mm	d_2/d_3 mm	d_2 mm	d_2/d_3 mm						$N_{d,fi}$ N	$t_f = t_{ch}$ min	$t_f = t_{ch}$ min	t_a min	t_a min	$t - t_f$ min	$t - t_f$ min	$t_a - t_f$ min	$t_a - t_f$ min	mm
7	13/9,5	40	80	13	9,5		F 30-B	1,0	2957	22,04	25,04	37,67	40,67	7,96	4,96	15,63	15,63	12,73	7,93	-	-
7	13/9,5	40	80	13	9,5		F 60-B ?***	1,0	2957	22,04	25,04	37,67	40,67	37,96	34,96	15,63	15,63	25,00	25,00	17,86	15,46
8	12,5/9,5	40	80		12,5/9,5		F 30-B	1,0	2957	30,10	33,10	kein rechnerischer Abbrand									
8	12,5/9,5	40	80		12,5/9,5		F 60-B ?***	1,0	2957	30,10	33,10	45,73	48,73	29,99	26,90	15,72	15,72	25,00	25,00	11,42	9,02
9	22/18	40	80	22	18****		F 60-B	1,0	2957	60,64	63,64	kein rechnerischer Abbrand									
9	22/18	40	80	22	18****		F 90-B ?***	1,0	2957	60,64	63,64	76,27	79,27	29,36	26,36	15,63	15,63	25,00	25,00	10,98	8,58
10a	15/12,5	50	80		15/12,5		F 60-B	1,0	3696	42,00	45,00	57,63	60,63	18,00	15,00	15,63	15,63	25,00	23,99	1,90	-
10a	15/12,5	50	80		15/12,5		F 90-B ?***	1,0	3696	42,00	45,00	57,63	60,63	48,00	45,00	15,63	15,63	25,00	25,00	25,90	23,50
10b	15/15	50	80		15	15	F 60-B	1,0	3696	49,00	52,00	64,63	67,63	11,00	8,00	15,63	15,63	17,59	12,80	-	-
10b	15/15	50	80		15	15	F 90-B ?***	1,0	3696	49,00	52,00	64,63	67,63	41,00	38,00	15,63	15,63	25,00	25,00	20,30	17,90
10c*	15/2 x 9,5	50	80		15	2 x 9,5	F 60-B	1,0	3696	46,90	49,90	62,53	65,53	13,10	10,10	15,63	15,63	20,95	16,15	-	-
10c*	15/2 x 9,5	50	80		15	2 x 9,5	F 90-B ?***	1,0	3696	46,90	49,90	62,53	65,53	43,10	40,10	15,63	15,63	25,00	25,00	21,98	19,58
10c**	15/2 x 9,5	50	80		15	2 x 9,5	F 60-B	1,0	3696	60,20	63,20	kein rechnerischer Abbrand									
10c**	15/2 x 9,5	50	80		15	2 x 9,5	F 90-B ?***	1,0	3696	60,20	63,20	75,83	78,83	29,80	26,80	15,63	15,63	25,00	25,00	11,34	8,94

* Als Dicke der Gipskartonbeplankung wurde hier $h_p = 9,5 + (9,5 + 15)/2 = 21,75$ mm angesetzt.

** Als Dicke der Gipskartonbeplankung wurde hier $h_p = 9,5 + 9,5 + 15/2 = 26,5$ mm angesetzt.

*** Überprüfung zur Einstufung in die nächst höhere Brandschutzklasse

**** GKF mit $d = 18$ mm wird hier nur zur Überprüfung der Tendenz genutzt - nach NAD nicht anwendbar

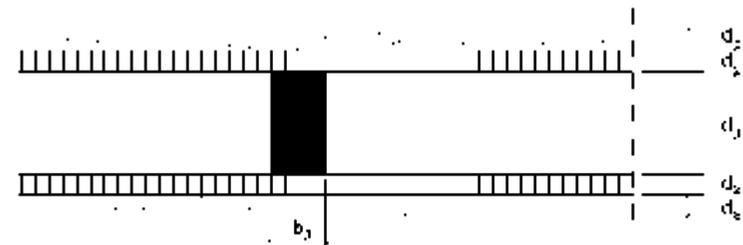


Tabelle 3d - Tragende Wandkonstruktionen mit ein- und zweilagiger Beplankung (ohne Hohlraumdämmung) nach DIN 4102-4 Tabelle 50 - Berechnung nach Anhang D

DIN Tab. 50	ideelle Abbrandtiefe						ideeller Querschnitt				Festigkeits- und Steifigkeitswerte						Nachweise	
	k_0 Schmal- seite	k_0 Längs- seite	d_0 Schmal- seite	d_0 Längs- seite	d_{ef} Schmal- seite	d_{ef} Längs- seite	h_{red}	b_{red}	I_{red}	i_{red}	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	$f_{c,0,k}$	$E_{0,05}$	λ (bei $S_x = 240$ cm)	k_c "kalt"	Ausnutzungsgrad	
Zeile	-	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ²	-	-	N/mm ²	N/mm ²	-		Druckspannungs- nachweis	Stabilitäts-nachweis
7	0,67	0,53	4,70	3,72	17,43	11,65	62,57	16,69	34,07	1,81	1,0	1,0	21,00	7400	132,88	0,182	0,13	0,74
7	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
8	kein rechnerischer Abbrand						80,00	40,00	170,67	2,31	1,0	1,0	21,00	7400	103,92	0,288	0,04	0,15
8	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
9	kein rechnerischer Abbrand						80,00	40,00	170,67	2,31	1,0	1,0	21,00	7400	103,92	0,288	0,04	0,15
9	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
10a	1,00	1,00	7,00	7,00	33,90	30,99	rechnerisch vollständiger Abbrand											
10a	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
10b	0,81	0,67	5,69	4,71	23,29	17,51	56,71	14,98	22,77	1,64	1,0	1,0	21,00	7400	146,60	0,150	0,21	1,38
10b	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
10c*	0,91	0,77	6,38	5,40	27,33	21,55	52,67	6,89	8,39	1,52	1,0	1,0	21,00	7400	157,86	0,130	0,48	3,73
10c*	rechnerisch vollständiger Abbrand																	
10c**	kein rechnerischer Abbrand						80,00	50,00	213,33	2,31	1,0	1,0	21,00	7400	103,92	0,288	0,04	0,15
10c**	rechnerisch vollständiger Abbrand																	

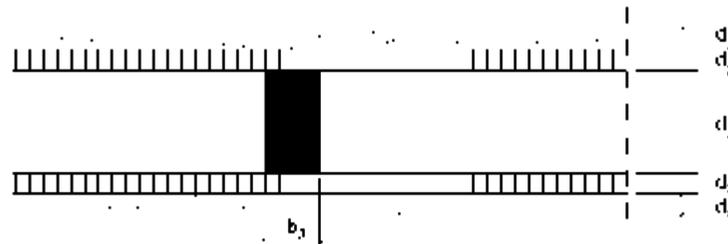


Tabelle 4 - Nachweis von raumabschließenden Wandkonstruktionen mit einlagiger Beplankung nach DIN 4102-4 Tabelle 51 - Berechnung nach Anhang E

Zeile	Material	DIN 4102-4											EN 1995-1-2											Einteilung der errechneten Dauer in eine Feuerwiderstandsklasse			
		Feuerabgewandte		Dämmschicht		Stiel		Luftschicht	Feuerzugewandte Beplankung			DIN 4102-4		Grundwerte Wärmedämmung				Positionsbeiwerte			Fugenbeiwerte				Feuerwiderstandsdauer in min		
		HWS	GKF	MF-Platten	NH S10	HWS	GKF		GKB	Feuerwiderstandsklasse	Ausnutzungsgrad α_7	$t_{ins,d5}$	$t_{ins,3}$	$t_{ins,Luft}$	$t_{ins,d1}$	$k_{pos,d1}$	$k_{pos,d3}$	$k_{pos,Luft}$	$k_{pos,d1}$	$k_{j,d1}$	$k_{j,d3}$	$k_{j,d2}$	$t_{ins,i} \times k_{pos,i} \times k_{j,i}$				
		$\rho=600$ kg/m ³	d ₅ mm	d ₃ mm	ρ kg/m ³	b mm	d mm	mm	d ₁ mm	d ₁ mm	d ₁ mm																
1a	G/Spa	13		80	30	40	80	0	13			F 30-B	1,0	12,35	9,60	0	12,35	0,74	1	1	0,80	1	1	1	28,62	<	F 30-B
1b	G/Spa	13		80	30	40	80	0	13			F 30-B	1,0	14,30	9,60	0	14,30	0,74	1	1	0,80	1	1	1	31,62	=	F 30-B
1c	S/Spa	13		80	30	40	80	0	13			F 30-B	1,0	14,30	16,32	0	14,30	1,50	1	1	0,80	1	1	1	49,21	=	F 30-B
1d	G/Spa	13		80	30	40	80	0		12,5		F 30-B	1,0	12,35	9,60	0	17,50	0,74	1	1	0,79	1	1	1	32,56	=	F 30-B
1e	S/Spa	13		80	30	40	80	0		12,5		F 30-B	1,0	14,30	16,32	0	17,50	1,50	1	1	0,79	1	1	1	51,60	=	F 30-B
1f*	G/Spa	13		80	30	40	80	0			18	F 30-B	1,0	12,35	9,60	0	25,20	0,74	1	1	0,90	1	1	1	41,42	=	F 30-B
1g*	S/Spa	13		80	30	40	80	0			18	F 30-B	1,0	14,30	16,32	0	25,20	1,50	1	1	0,90	1	1	1	60,45	>	F 30-B
2a	S/Spa	13		40	50	40	80	40	13			F 30-B	1,0	12,35	8,80	5 min	12,35	0,60	1	1	0,80	1	1	1	31,09	=	F 30-B
2b	S/Spa	13		40	50	40	80	40		12,5		F 30-B	1,0	14,30	8,80	5 min	17,50	0,60	1	1	0,79	1	1	1	36,21	=	F 30-B
3	Die Dämmung der Wandaufbauten in Zeile 3 erfordern eine Rohdichte ≥ 100 kg/m ³ . Hierfür werden keine k_{den} -Werte im Anhang E angegeben.																										
4	Die Dämmung der Wandaufbauten in Zeile 4 besteht aus HWL-Platten. Für diesen Dämmstoff werden im Anhang E keine Werte angegeben.																										
5	Die Dämmung der Wandaufbauten in Zeile 5 besteht aus HWL-Platten. Für diesen Dämmstoff werden im Anhang E keine Werte angegeben.																										
6	Mehrlagige Wandaufbauten werden in den Tabellen 5 a und 2b überprüft																										
7	Mehrlagige Wandaufbauten werden in den Tabellen 5 a und 2b überprüft																										
8	Die Dämmung der Wandaufbauten in Zeile 8 erfordern eine Rohdichte ≥ 100 kg/m ³ . Hierfür werden keine k_{den} -Werte im Anhang E angegeben.																										
9	Die Dämmung der Wandaufbauten in Zeile 9 besteht aus HWL-Platten. Für diesen Dämmstoff werden im Anhang E keine Werte angegeben.																										
10	Das Berechnungsverfahren nach Anhang E darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																										
11	Das Berechnungsverfahren nach Anhang E darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																										
12a	G		12,5	40	30	40	80	40		12,5		F 30-B	2,5	17,50	4,80	5 min	17,50	0,71	1	1	0,79	1	1	1	36,05	=	F 30-B
12b	S		12,5	40	30	40	80	40		12,5		F 30-B	2,5	17,50	8,16	5 min	17,50	1,50	1	1	0,79	1	1	1	53,24	=	F 30-B
13	Die Dämmung der Wandaufbauten in Zeile 13 besteht aus HWL-Platten. Für diesen Dämmstoff werden im Anhang E keine Werte angegeben.																										
14	Mehrlagige Wandaufbauten werden in den Tabellen 5 a überprüft																										
15	Mehrlagige Wandaufbauten werden in den Tabellen 5 a überprüft																										
16	Die Dämmung der Wandaufbauten in Zeile 13 besteht aus HWL-Platten. Für diesen Dämmstoff werden im Anhang E keine Werte angegeben.																										
17	Die Dämmung der Wandaufbauten in Zeile 13 besteht aus HWL-Platten. Für diesen Dämmstoff werden im Anhang E keine Werte angegeben.																										
18	Das Berechnungsverfahren nach Anhang E darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																										
19	Das Berechnungsverfahren nach Anhang E darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																										
20	Das Berechnungsverfahren nach Anhang E darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.																										

G = Glaswolle (Tabellenwert E.2 - 26 kg/m³) Spa = Sperrholz (≥ 450 kg/m³)
 S = Steinwolle Spa = Spanplatte (≥ 450 kg/m³)

= feuerzugewandte Seite

* GKB mit d = 18 mm wird hier nur zur Überprüfung der Tendenz genutzt - nach NAD nicht anwendbar

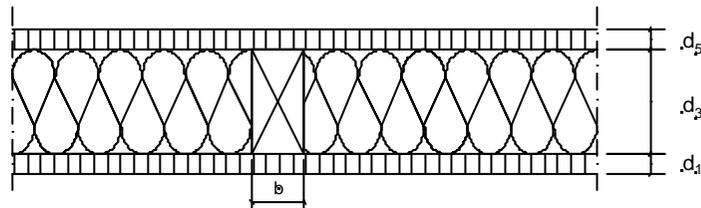
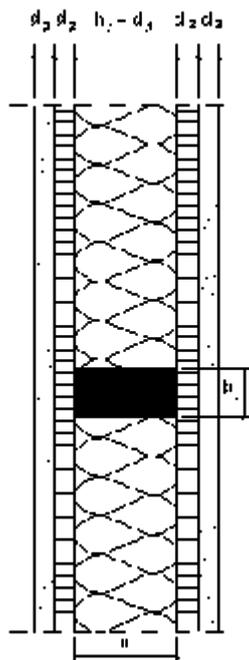


Tabelle 5 a - Nachweis von raumabschließenden Wandkonstruktionen mit zweilagiger Beplankung - nach DIN 4102-4 Tabelle 51 - Berechnung nach Anhang E

DIN 4102-4																				Feuerwiderstandsklasse	Ausnutzungsgrad α_T
Zeile	Material	feuerzugewandte Seite			feuerabgewandte Seite			Dämmschicht			Stiel		Luftschicht	feuerzugewandte Seite			feuerabgewandte Seite				
		innere Beplankung 1			innere Beplankung 2			MF-Platten		HWL	NH S10			äußere Beplankung 1			äußere Beplankung 2				
		HWS $\rho=600$ kg/m ³	GKF	GKB	HWS $\rho=600$ kg/m ³	GKF	GKB	MF-Platten	D		b	d		HWS $\rho=600$ kg/m ³	GKF	GKB	HWS $\rho=600$ kg/m ³	GKF	GKB		
d ₂ mm	d ₂ mm	d ₂ mm	d ₄ mm	d ₄ mm	d ₄ mm	d ₃ mm	ρ kg/m ³	D	b	d	d ₁ mm	d ₁ mm	d ₁ mm	d ₅ mm	d ₅ mm	d ₅ mm					
6a	S/Spe	16			16			80	30		40	80	0	16			16			F 60-B	1,0
6b	-	16			16			80	30		40	80	0		12,5			12,5		F 60-B	1,0
6c*	S/Spa	16			16			80	30		40	80	0			18			18	F 60-B	1,0
7a	S/Spe	16			16			60	50		40	80	20	16			16			F 60-B	1,0
7b	-	16			16			60	50		40	80	20		12,5			12,5		F 60-B	1,0
7c	S/Spe	16			16			60	50		40	80	20			15			15	F 60-B	1,0
14a	-	13			13			60	50		40	80	20		12,5			12,5		F 60-B	0,5
14b*	S/Spe	13			13			60	50		40	80	20			18			18	F 60-B	0,5

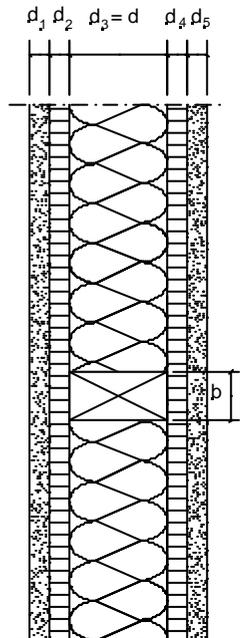


* GKF mit d = 18 mm wird hier nur zur Überprüfung der Tendenz genutzt - nach NAD nicht anwendbar
 Spe = Sperrholz (≥ 450 kg/m³) = feuerzugewandte Seite
 Spa = Spanplatte (≥ 450 kg/m³)

G = Glaswolle (Tabellenwert E.2 - 26 kg/m³)
 S = Steinwolle

Tabelle 5 b - Nachweis von raumabschließenden Wandkonstruktionen mit zweilagiger Beplankung - nach DIN 4102-4 Tabelle 51 - Berechnung nach Anhang E

DIN 4102-4				EN 1995-1-2																				
Zeile	Material	Feuerwiderstandsklasse	zul. σ in N/mm ²	Grundwerte der Wärmedämmung					Positionsbeiwerte					Fugenbeiwerte					Feuerwiderstandsdauer in min		Einteilung der errechneten Feuerwiderstandsdauer in eine Feuerwiderstandsklasse			
				$t_{ins,d1}$	$t_{ins,d2}$	$t_{ins,d3}$	$t_{ins,Luft}$	$t_{ins,d4}$	$t_{ins,d5}$	$k_{pos,d1}$	$k_{pos,d2}$	$k_{pos,d3}$	$k_{pos,Luft}$	$k_{pos,d4}$	$k_{pos,d5}$	$k_{j,d1}$	$k_{j,d2}$	$k_{j,d3}$				$k_{j,d4}$	$k_{j,d5}$	$t_{ins,d} \cdot k_{pos,d} \cdot k_{j,i}$
6a	S/Spe	F 60-B	2,5	15,20	15,20	16,32	0	15,20	15,20	0,7	0,6	1	1	1	1,5	1	1	1	1	1	1	74,08	=	F 60-B
6b	-	F 60-B	2,5	Die äußere Bekleidung des Wandaufbaus besteht aus Gipsplatten des Typs F (nach EN 520). Für diesen Plattentyp werden in Tab. E5 keine Positionsbeiwerte angegeben																				
6c	S/Spa	F 60-B	2,5	25,20	17,60	16,32	0	17,60	25,20	1	0,8	1	1	1	1,2	1	1	1	1	1	1	103,44	>	F 60-B
7a	S/Spe	F 60-B	2,5	15,20	15,20	13,20	0	15,20	15,20	0,7	0,6	1	1	1	1,5	1	1	1	1	1	1	70,96	=	F 60-B
7b	-	F 60-B	2,5	Die äußere Bekleidung des Wandaufbaus besteht aus Gipsplatten des Typs F (nach EN 520). Für diesen Plattentyp werden in Tab. E5 keine Positionsbeiwerte angegeben																				
7c	S/Spe	F 60-B	2,5	21,00	15,20	13,20	0	15,20	21,00	1	0,8	1	1	1	1,2	1	1	1	1	1	1	86,76	=	F 60-B
14a	-	F 60-B	1,25	Die äußere Bekleidung des Wandaufbaus besteht aus Gipsplatten des Typs F (nach EN 520). Für diesen Plattentyp werden in Tab. E5 keine Positionsbeiwerte angegeben																				
14b	S/Spe	F 60-B	1,25	25,20	12,35	13,20	0	12,35	25,20	1	0,8	1	1	1	1,2	1	1	1	1	1	1	90,87	>	F 60-B



Spe = Sperrholz (600 kg/m³) = feuerzugewandte Seite

Spa = Spanplatte

G = Glaswolle (Tabellenwert E.2 - 26 kg/m³)

S = Steinwolle

Tabelle 6 - Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Aufbau der Wände nach Tabelle 50 der DIN 4102-4 (Nachweis der Tragfähigkeit - Raumabschluss wird hier nicht gefordert)

DIN Tab. 50	Wandaufbau								Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102-4	Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach dem Berechnungsverfahren EN 1995-1-2 Anhang D	Sicherheitsniveau
	feuerabgewandte Beplankung			Stiel		feuerzugewandte Beplankung					
	HWS $\rho=600$ kg/m ³	GKF	GKB	NH C24		HWS $\rho=600$ kg/m ³	GKF	GKB			
Zeile	d ₂ /d ₃ mm	d ₂ /d ₃ mm	d ₂ /d ₃ mm	b ₁ mm	d ₁ mm	d ₂ /d ₃ mm	d ₂ /d ₃ mm	d ₂ /d ₃ mm	Tragfähigkeit der Wand	Tragfähigkeit der Wand	
1a	25			50	80	25			F 30-B	F 30-B	eingehalten
1b	2 x 16			50	80	2 x 16			F 30-B	F 30-B	eingehalten
2	16			100	100	16			F 30-B	F 30-B	eingehalten
3		18		40	80		18		F 30-B	F 30-B	eingehalten
4a		15		50	80		15		F 30-B	F 30-B	eingehalten
4b			18	50	80			18	F 30-B	F 30-B	eingehalten
5a		12,5		100	100		12,5		F 30-B	F 30-B	eingehalten
5b			15	100	100			15	F 30-B	F 30-B	eingehalten
5c			2 x 9,5	100	100			2 x 9,5	F 30-B	F 30-B	eingehalten
6a	8	12,5		40	80	8	12,5		F 30-B	F 30-B	eingehalten
6b	8		15	40	80	8		15	F 30-B	F 30-B	eingehalten
6c	8		2 x 9,5	40	80	8		2 x 9,5	F 30-B	F 30-B	eingehalten
7	13	9,5		40	80	13	9,5		F 30-B	F 30-B	eingehalten
8		12,5/9,5		40	80		12,5/9,5		F 30-B	F 30-B	eingehalten
9	22	18		40	80	22	18		F 60-B	F 60-B	eingehalten
10a		15/12,5		50	80		15/12,5		F 60-B	F 60-B	eingehalten
10b		15	15	50	80		15	15	F 60-B	F 60-B	eingehalten
10c*		15	2 x 9,5	50	80		15	2 x 9,5	F 60-B	F 60-B	eingehalten
10c**		15	2 x 9,5	50	80		15	2 x 9,5	F 60-B	F 60-B	eingehalten

* Als Dicke der Gipskartonbeplankung wurde hier $h_p = 9,5 + (9,5 + 15)/2 = 21,75$ mm angesetzt

** Als Dicke der Gipskartonbeplankung wurde hier $h_p = 9,5 + 9,5 + 15/2 = 26,5$ mm angesetzt

Tabelle 7 - Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Aufbau der Wände nach Tabelle 51 der DIN 4102-4 (Nachweis der Tragfähigkeit - Nachweis des Raumabschlusses)

DIN Tab. 51	feuerzugewandte Beplankung			Stiel		feuerzugewandte Beplankung			Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102-4	Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach dem Berechnungsverfahren EN 1995-1-2 Anhang C	Sicherheitsniveau	Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102-4	Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach dem Berechnungsverfahren EN 1995-1-2 Anhang E	Sicherheitsniveau
	HWS $\rho=600$ kg/m ³	GKF	GKB	NH C24		HWS $\rho=600$ kg/m ³	GKF	GKB						
Zeile	d ₂ /d ₃ mm	d ₂ mm	d ₂ /d ₃ mm	b ₁ mm	d ₁ mm	d ₂ /d ₃ mm	d ₂ mm	d ₂ /d ₃ mm						
1a	13			40	80	13			F 30-B	F < F 30-B	eingehalten	F 30-B	F < F 30-B	eingehalten
1b	13	12,5		40	80		12,5		F 30-B	F < F 30-B	eingehalten	F 30-B	F 30-B	eingehalten
1c	13			40	80			18	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	F 30-B	eingehalten
2a	13			40	80	13			F 30-B	F < F 30-B	eingehalten	F 30-B	F 30-B	eingehalten
2b	13			40	80		12,5		F 30-B	F < F 30-B	eingehalten	F 30-B	F 30-B	eingehalten
2c	13			40	80			18	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	F 30-B	eingehalten
3a	8			40	80	8			F 30-B	F < F 30-B	eingehalten	k _{dens} -Wert für Dämmung mit einer Rohdichte $\rho = 100$ kg nicht vorhanden		
3b	8			40	80		12,5		F 30-B	F < F 30-B	eingehalten	k _{dens} -Wert für Dämmung mit einer Rohdichte $\rho = 100$ kg nicht vorhanden		
3c	8			40	80			18	F 30-B	F 30-B	eingehalten	k _{dens} -Wert für Dämmung mit einer Rohdichte $\rho = 100$ kg nicht vorhanden		
4	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 4 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wird nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.													
5	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 5 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wird nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.													
6a	2 x 16			40	80	2 x 16			F 60-B	F 30-B	eingehalten	F 60-B	F 60-B	eingehalten
6b	2 x 16	12,5		40	80	16	12,5		F 60-B	F 30-B	eingehalten	F 60-B	F 60-B	eingehalten
6c	16		18	40	80	16		18	F 60-B	F 30-B < F < F 60-B	eingehalten	F 60-B	(F 90-B)	nicht direkt zu beurteilen
7	2 x 16			40	80	2 x 16			F 60-B	F 30-B < F < F 60-B	eingehalten	F 60-B	F 60-B	eingehalten
8a	19			40	80	19			F 60-B	F 30-B	eingehalten	k _{dens} -Wert für Dämmung mit einer Rohdichte $\rho = 100$ kg nicht vorhanden		
8b	19			40	80			18	F 60-B	F 30-B	eingehalten	k _{dens} -Wert für Dämmung mit einer Rohdichte $\rho = 100$ kg nicht vorhanden		
9	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 9 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wird nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.													
10	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.													
11	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.													
12a		12,5		40	80		12,5		F 30-B	F < F 30-B	eingehalten	F 30-B	F 30-B	eingehalten
12b			18	40	80			18	F 30-B	F < F 30-B	eingehalten	F 30-B	F 30-B	eingehalten
13	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 9 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wird nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.													
14a	13	12,5		40	80	13	12,5		F 60-B	F 30-B < F < F 60-B	eingehalten	Für den Plattentyp F werden keine Positionsbeiwerte angegeben		
14b			2 x 9,5	40	80			2 x 9,5	F 60-B	F 30-B	eingehalten	F 60-B	(F 90-B)	nicht direkt zu beurteilen
15	8	12,5		40	80	8	12,5		F 60-B	F 30-B	eingehalten	für den Plattentyp F werden keine Positionsbeiwerte angegeben		
16	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 9 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wird nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.													
17	Die Dämmung des Wandaufbaus in Zeile 9 besteht aus HWL-Platten. Für das Rechenverfahren nach Anhang C wird nur Mineralfaserdämmung als Volldämmung zugelassen.													
18	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.													
19	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.													
20	Das Berechnungsverfahren nach Anhang C darf nur für Feuerwiderstandsklassifizierungen bis F 60 angewandt werden.													

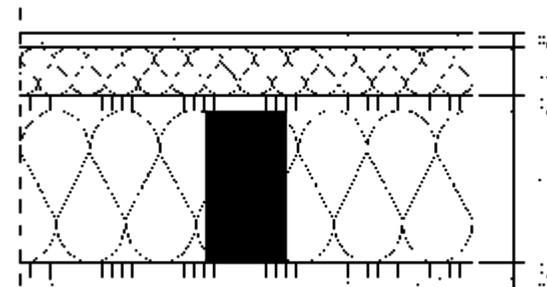
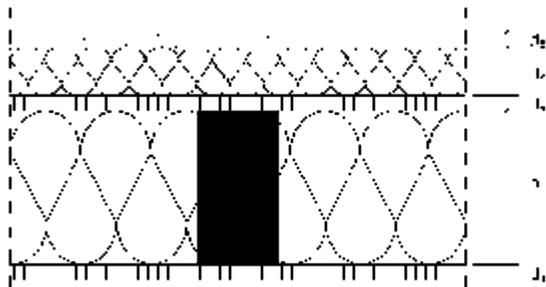
Tabelle 8 - Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Aufbau der Deckenkonstruktionen nach Tabelle 56 der DIN 4102-4 - jedoch immer mit Volldämmung (Nachweis der Tragfähigkeit - Nachweis des Raumabschlusses)

DIN 4102-4													
Zeile	untere Beplankung				vorh. Spannweite	Balken		Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102-4	Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach dem Berechnungsverfahren EN 1995-1-2 Anhang C	Sicherheitsniveau	Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102-4	Einstufung der Feuerwiderstandsklasse nach dem Berechnungsverfahren EN 1995-1-2 Anhang E	Sicherheitsniveau
	HWS $\rho=600$ kg/m^3	GKF	GKB	GKF		NH C24							
	d_1 mm	d_1 mm	d_2 mm	d_2 mm	l mm	b mm	h mm	Tragfähigkeit der Decke	Tragfähigkeit der Decke	Raumabschluss der Decke	Raumabschluss der Decke		
1 - 3*	16				3000	80	160	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
1 - 3*	13	9,5			3000	100	160	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
1 - 3*		12,5			3000	120	140	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
1 - 3*	16				4000	80	220	F 30-B	F 60-B	nicht direkt zu beurteilen	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
1 - 3*	13	9,5			4000	100	200	F 30-B	F 60-B	nicht direkt zu beurteilen	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
1 - 3*		12,5			4000	120	180	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
1 - 3*	16				5000	80	280	F 30-B	F 60-B	nicht direkt zu beurteilen	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
1 - 3*	13	9,5			5000	100	240	F 30-B	F 60-B	nicht direkt zu beurteilen	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
1 - 3*		12,5			5000	120	220	F 30-B	F 60-B	nicht direkt zu beurteilen	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
4 - 6**		12,5		12,5	3000	80	140	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
4 - 6**		12,5		12,5	4000	100	140	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich
4 - 6**		12,5		12,5	5000	120	120	F 30-B	F 30-B	eingehalten	F 30-B	Materialkennwerte fehlen	keine Aussage möglich

* Rippenabstand $e = 0,625$ m

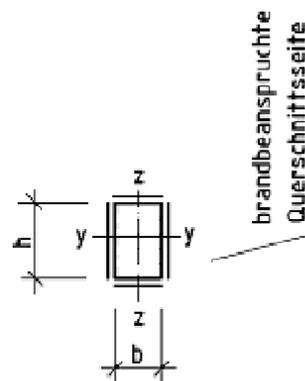
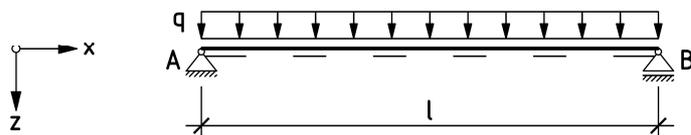
** Rippenabstand $e = 0,50$ m



Anhang B Bemessungsbeispiele für Holzbauteile

Beispiel B.1.1

Vollholzträger C24 mit konstantem Querschnitt für den Brandfall (F30), 4-seitig brandbeansprucht



$g_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$ (ständig)

$p_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$ (veränderlich-mittel) Kategorie A

$l = 4 \text{ m}$

$b/h = 12/24 \text{ cm}$

$e = 0,70 \text{ m}$ (Balkenabstand)

Festigkeitsklasse C24

Brandbeanspruchung: vierseitig

Feuerwiderstandsdauer: $t_f = 30 \text{ min}$

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

Die brandschutztechnische Bemessung wurde mit dem Brandschutzbemessungsprogramm BRABEM durchgeführt. Als Eingangsparameter für die Holzgüte wurde NH II gewählt.

Der Ausnutzungsgrad im Brandfall beträgt 70%.

Der Balken ist nach DIN 4102-4 in die Feuerwiderstandsklasse F30 einzustufen.

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Die Bemessung des Vollholzträgers mit konstantem Querschnitt für den Brandfall erfolgt nach DIN 4102-22 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[3] 9.4 (4), Gl. (14)

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$

$\gamma_{Q,1} = 1,5$

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$q_d = e \cdot (\gamma_G \cdot g_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,35 \cdot 3 + 1,5 \cdot 3) = 5,99 \text{ kN/m}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{5,99 \cdot 4^2}{8} = 11,98 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Einwirkungen nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

$$M_{d,fi} = 0,65 \cdot M_d = 0,65 \cdot 11,98 = 7,79 \text{ kNm}$$

Genauere Methode

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

hier: $\gamma_{GA,j} = 1,0$

$\psi_{1,1} = 0,5$ Kategorie A

$$q_{d,fi} = e \cdot (\gamma_{GA} \cdot g_k + \psi_{1,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,0 \cdot 3 + 0,5 \cdot 3) = 3,15 \text{ kN/m}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{dA} \cdot l^2}{8} = \frac{3,15 \cdot 4^2}{8} = 6,30 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{0,mean} = \frac{2}{3} \cdot 11000 = 7333 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 690 = 460 \text{ N/mm}^2$$

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

Querschnittswerte

$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min}$ Abbrandrate

$t_f = 30 \text{ min}$ Branddauer

$d_0 = 7 \text{ mm}$

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.3

Theorie I. Ordnung

[6] 6.1 Abs. 3

[6] Gl. (3)

[6] 4.1 Abs. 3

[6] Gl. (1)

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.2

[1] Tab. F.5

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Tab. 74

[6] 5.5.2.1 a)

$$\begin{aligned}
 d(t_f) &= \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 & = 24 \text{ mm} & \text{[6] Gl. (9.1)} \\
 d_{\text{ef}} &= d(t_f) + d_0 = 24 + 7 & = 31 \text{ mm} & \text{[6] Gl. (9)} \\
 b(t_f) &= b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 12 - 2 \cdot 3,1 & = 5,8 \text{ cm} \\
 h(t_f) &= h - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 24 - 2 \cdot 3,1 & = 17,8 \text{ cm} \\
 A_r &= b(t_f) \cdot h(t_f) = 5,8 \cdot 17,8 & = 103,24 \text{ cm}^2 \\
 W_{y,r} &= \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{5,8 \cdot 17,8^2}{6} & = 306,28 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$\begin{aligned}
 f_{d,fi} &= k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} & \text{[6] Gl. (10)} \\
 E_{d,fi} &= k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} & \text{[6] Gl. (10.1)} \\
 G_{d,fi} &= k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2/3 \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} & \text{[6] Gl. (10.2)}
 \end{aligned}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0 \quad \text{[6] 5.5.2.1 (a)}$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad \text{[6] Tab. 75}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad \text{[6] 5.5.2.1 (b)}$$

$$\begin{aligned}
 f_{m,d,fi} &= 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} & = 30 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{d,fi} &= 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{7333}{1,0} & = 9166,3 \text{ N/mm}^2 \\
 G_{d,fi} &= 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{2/3 \cdot 460}{1,0} & = 383,3 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[6] 5.5.2.2

Kippbeiwert

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel},m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \end{cases} \quad \text{[1] Gl. (68)}$$

$$\lambda_{\text{rel},m,fi} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef},y,fi} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}} \quad \text{[1] Gl. (70)}$$

$$l_{\text{ef},y,fi} = 4 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\lambda_{\text{rel},m,fi} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot 17,8 \cdot 10}{\pi \cdot (5,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{30}{\sqrt{9166,3 \cdot 383,3}}} = 1,04$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 1,4 \quad \text{[1] Gl. (68)}$$

$$k_{m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,04 = 0,78$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{7,79 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 25,43 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{25,43}{0,78 \cdot 30} = 1,09 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 20,57 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{20,57}{0,78 \cdot 30} = 0,88 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Genauerer Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit

[6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

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

[6] Tab. 74

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9.1)

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d(t_f) = 12 - 2 \cdot 2,4 = 7,2 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 24 - 2 \cdot 2,4 = 19,2 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + 2 \cdot h(t_f) = 2 \cdot 7,2 + 2 \cdot 19,2 = 52,8 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t_f) \cdot h(t_f) = 7,2 \cdot 19,2 = 138,24 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{7,2 \cdot 19,2^2}{6} = 442,37 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10)}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10.1)}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2/3 \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10.2)}$$

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [6] \text{ Gl. (10.4)}$$

$$= 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} = 0,83$$

$$k_{\text{mod,E,fi}} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [6] \text{ Gl. (10.6)}$$

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} = k_{\text{mod,G,fi}} = 0,89$$

$$k_{\text{fi}} = 1,25 \quad [6] \text{ Tab. 75}$$

$$\gamma_{\text{M,fi}} = 1,0 \quad [6] \text{ 5.5.2.1 (b)}$$

$$f_{\text{m,d,fi}} = 0,83 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} = 24,9 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{d,fi}} = 0,89 \cdot 1,25 \cdot \frac{7333}{1,0} = 8158,0 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{\text{d,fi}} = 0,89 \cdot 1,25 \cdot \frac{2/3 \cdot 460}{1,0} = 341,2 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[6] 5.5.2.2

Kippbeiwert

$$k_{\text{m,fi}} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel,m,fi}}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \end{cases} \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef,y,fi}} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{m,d,fi}}}{E_{\text{d,fi}} \cdot G_{\text{d,fi}}}} \quad [1] \text{ Gl. (70)}$$

$$l_{\text{ef,y,fi}} = 4 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot 19,2 \cdot 10}{\pi \cdot (7,2 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{24,9}{\sqrt{8158,0 \cdot 341,2}}} = 0,84$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$k_{\text{m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,84 = 0,93$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{7,79 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 17,61 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{m,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{17,61}{0,93 \cdot 24,9} = 0,76 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 14,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{14,24}{0,93 \cdot 24,9} = 0,61 < 1,0$$

Nachweis erbracht

[1] Gl. (67)

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2

Die Bemessung des Vollholzträgers mit konstantem Querschnitt für den Brandfall erfolgt nach EN 1995-1-2 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[10] 6.4.3.2 (3), Gl. (10)

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$

[10] Tab. A.1.2(A)

 $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkung

$$q_d = e \cdot (\gamma_G \cdot g_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,35 \cdot 3 + 1,5 \cdot 3) = 5,99 \text{ kN/m}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

Theorie I. Ordnung

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{5,99 \cdot 4^2}{8} = 11,98 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Einwirkungen nach EN 1995-1-2

Vereinfachte Methode

[14] 2.4.2 (2)

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

[14] 2.4.2 (3), Gl. (2.8) Anmerkung 2

$$M_{d,fi} = 0,6 \cdot M_d = 0,6 \cdot 11,98 = 7,19 \text{ kNm}$$

Genauere Methode

[14] 2.4.2 (1)

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[10] Gl. (6.11b)

hier: $\psi_{1,1} = 0,5$

[10] Tab. A.1.1

$$q_{d,fi} = e \cdot (g_k + \psi_{1,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (3 + 0,5 \cdot 3) = 3,15 \text{ kN/m}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{3,15 \cdot 4^2}{8} = 6,30 \text{ kNm}$$

 $\psi_{2,1} = 0,3$

[10] Tab. A.1.1

$$q_{d,fi} = e \cdot (g_k \oplus \psi_{2,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (3 + 0,3 \cdot 3) = 2,73 \text{ kN/m}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{2,73 \cdot 4^2}{8} = 5,46 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach EN 1995-1-2

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

[7] Tab. 1

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{05} = 7400 \text{ N/mm}^2$$

Methode mit reduziertem Querschnitt

[14] 4.2.2

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [14] \text{ Tab. 3.1}$$

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

$$k_0 = 1,0 \quad [14] \text{ Tab. 4.1}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad [14] 4.2.2$$

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0 = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (4.1)}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 12 - 2 \cdot 3,1 = 5,8 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 24 - 2 \cdot 3,1 = 17,8 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 5,8 \cdot 17,8 = 103,24 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{5,8 \cdot 17,8^2}{6} = 306,28 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{m,d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.2) u. (2.5)}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0 \quad [14] 4.2.2 (5)$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [14] 2.3 (1)$$

$$f_{m,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 24}{1,0} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 7400}{1,0} = 9250 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegedrillknicken

[13] 6.3.1 (4)

Kippbeiwert

$$k_{\text{crit},fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel},m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \end{cases} \quad [13] \text{ Gl. (6.34)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{f_{\text{m,d,fi}}}{\sigma_{\text{m,crit}}}} \quad [13] \text{ Gl. (6.30)}$$

$$l_{\text{ef,y,fi}} = 4 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\sigma_{\text{m,crit}} = \frac{0,78 \cdot b(t)^2}{h(t) \cdot l_{\text{ef,y,fi}}} \cdot E_{\text{d,fi}} = \frac{0,78 \cdot (5,8 \cdot 10)^2}{17,8 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10^3} \cdot 9250 = 34,09 \text{ N/mm}^2 \quad [13] \text{ Gl. (6.32)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{30}{34,09}} = 0,94$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \quad [13] \text{ Gl. (6.34)}$$

$$k_{\text{crit,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,94 = 0,86$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{7,19 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 23,48 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{23,48}{0,86 \cdot 30} = 0,91 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 20,57 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{20,57}{0,86 \cdot 30} = 0,80 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{5,46 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 17,83 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{17,83}{0,86 \cdot 30} = 0,69 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [14] \text{ Tab. 3.1}$$

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

$$d_{\text{char,n}} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{\text{char,n}} = 12 - 2 \cdot 2,4 = 7,2 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{char,n}} = 24 - 2 \cdot 2,4 = 19,2 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 p &= 2 \cdot b(t) + 2 \cdot h(t) = 2 \cdot 7,2 + 2 \cdot 19,2 &= 52,8 \text{ cm} \\
 A_r &= b(t) \cdot h(t) = 7,2 \cdot 19,2 &= 138,24 \text{ cm}^2 \\
 W_{y,r} &= \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{7,2 \cdot 19,2^2}{6} &= 442,37 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.2) u. (2.5)}$$

$$\begin{aligned}
 k_{mod,m,fi} &= 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} & [14] \text{ Gl. (4.2)} \\
 &= 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} &= 0,81
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{mod,E,fi} &= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} & [14] \text{ Gl. (4.4)} \\
 &= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} &= 0,88
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{fi} &= 1,25 & [14] \text{ Tab. 2.1} \\
 \gamma_{M,fi} &= 1,0 & [14] \text{ 2.3 (1)}
 \end{aligned}$$

$$f_{m,d,fi} = 0,81 \cdot \frac{1,25 \cdot 24}{1,0} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 0,88 \cdot \frac{1,25 \cdot 7400}{1,0} = 8140 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegedrillknicken

[13] 6.3.1 (4)

Kippbeiwert

$$k_{crit,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases} \quad [13] \text{ Gl. (6.34)}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sigma_{m,crit}}} \quad [13] \text{ Gl. (6.30)}$$

$$l_{ef,y,fi} = 4 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b(t)^2}{h(t) \cdot l_{ef,y,fi}} \cdot E_{d,fi} = \frac{0,78 \cdot (7,2 \cdot 10)^2}{19,2 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10^3} \cdot 8140 = 42,86 \text{ N/mm}^2 \quad [13] \text{ Gl. (6.32)}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{24,3}{42,86}} = 0,75$$

für $\lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75$

[13] Gl. (6.34)

$$k_{crit,fi} = 1,0$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{7,19 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 16,25 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{16,25}{1,0 \cdot 24,3} = 0,69 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 14,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{14,24}{1,0 \cdot 24,3} = 0,59 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{5,46 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 12,34 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{12,34}{1,0 \cdot 24,3} = 0,51 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungs- verfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung		
		Verhältnis G_k / Q_k		
		0,5	1,0	2,0
DIN 4102-4	Volllast	0,70		
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	1,11	1,09	1,07
	Genau	0,78	0,88	0,98
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,77	0,76	0,75
	Genau	0,55	0,61	0,68
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,93	0,91	0,89
	Genau $\psi_{1,1}$	0,71	0,80	0,89
	$\psi_{2,1}$	0,57	0,69	0,82
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,68	0,69	0,66
	Genau $\psi_{1,1}$	0,52	0,59	0,65
	$\psi_{2,1}$	0,42	0,51	0,60

Verhältnis G_k / Q_k

0,5

1,0

2,0

 g_k in kN/m^2

2,0

3,0

4,0

 p_k in kN/m^2

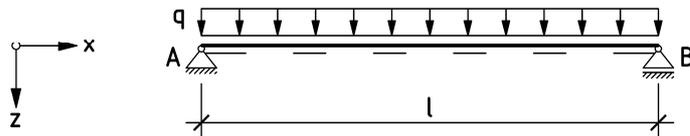
4,0

3,0

2,0

Beispiel B.1.2

Vollholzträger C35 mit konstantem Querschnitt für den Brandfall (F30), 4-seitig brandbeansprucht

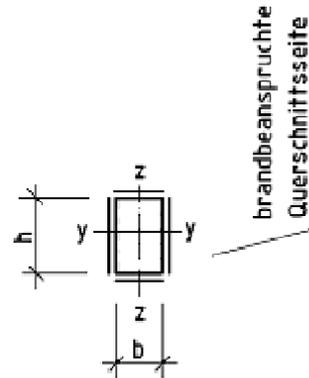


$g_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$ (ständig)
 $p_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$ (veränderlich-mittel) Kategorie A
 $l = 4 \text{ m}$
 $b/h = 12/24 \text{ cm}$
 $e = 0,70 \text{ m}$ (Balkenabstand)

Festigkeitsklasse C35

Brandbeanspruchung: vierseitig

Feuerwiderstandsdauer: $t_f = 30 \text{ min}$



Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

Die brandschutztechnische Bemessung wurde mit dem Brandschutzbemessungsprogramm BRABEM durchgeführt. Als Eingangsparameter für die Holzgüte wurde NH I gewählt.

Der Ausnutzungsgrad im Brandfall beträgt 54%.
Der Balken ist nach DIN 4102-4 in die Feuerwiderstandsklasse F30 einzustufen.

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Die Bemessung des Vollholzträgers mit konstantem Querschnitt für den Brandfall erfolgt nach DIN 4102-22 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[3] 9.4 (4), Gl. (14)

$$\text{hier: } \gamma_{G,j} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5$$

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.3

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$q_d = e \cdot (\gamma_G \cdot g_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,35 \cdot 3 + 1,5 \cdot 3) = 5,99 \text{ kN/m}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{5,99 \cdot 4^2}{8} = 11,98 \text{ kNm}$$

Theorie I. Ordnung

Bemessungswert der Einwirkung nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

$$M_{d,fi} = 0,65 \cdot M_d = 0,65 \cdot 11,98 = 7,79 \text{ kNm}$$

[6] 6.1 Abs. 3

[6] Gl. (3)

Genauere Methode

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[6] 4.1 Abs. 3

[6] Gl. (1)

$$\text{hier: } \gamma_{GA,j} = 1,0$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A}$$

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.2

$$q_{d,fi} = e \cdot (\gamma_{GA} \cdot g_k + \psi_{1,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,0 \cdot 3 + 0,5 \cdot 3) = 3,15 \text{ kN/m}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{dA} \cdot l^2}{8} = \frac{3,15 \cdot 4^2}{8} = 6,30 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

[1] Tab. F.5

$$f_{m,k} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 13000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 810 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{0,mean} = \frac{2}{3} \cdot 13000 = 8666,7 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 810 = 540 \text{ N/mm}^2$$

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

[6] 5.5.2.1 a)

Querschnittswerte

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

[6] Tab. 74

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

[6] 5.5.2.1 a)

$$\begin{aligned}
 d(t_f) &= \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 &= 24 \text{ mm} & [6] \text{ Gl. (9.1)} \\
 d_{\text{ef}} &= d(t_f) + d_0 = 24 + 7 &= 31 \text{ mm} & [6] \text{ Gl. (9)} \\
 b(t_f) &= b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 12 - 2 \cdot 3,1 &= 5,8 \text{ cm} \\
 h(t_f) &= h - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 24 - 2 \cdot 3,1 &= 17,8 \text{ cm} \\
 A_r &= b(t_f) \cdot h(t_f) = 5,8 \cdot 17,8 &= 103,24 \text{ cm}^2 \\
 W_{y,r} &= \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{5,8 \cdot 17,8^2}{6} &= 306,28 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$\begin{aligned}
 f_{d,fi} &= k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} & [6] \text{ Gl. (10)} \\
 E_{d,fi} &= k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} & [6] \text{ Gl. (10.1)} \\
 G_{d,fi} &= k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2/3 \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} & [6] \text{ Gl. (10.2)}
 \end{aligned}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0 \quad [6] \text{ 5.5.2.1 (a)}$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [6] \text{ Tab. 75}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [6] \text{ 5.5.2.1 (b)}$$

$$f_{m,d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{35}{1,0} = 43,75 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{8666,7}{1,0} = 10833 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{2/3 \cdot 540}{1,0} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[6] 5.5.2.2

Kippbeiwert

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel},m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \end{cases} \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$\lambda_{\text{rel},m,fi} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef},y,fi} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}} \quad [1] \text{ Gl. (70)}$$

$$l_{\text{ef},y,fi} = 4 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\lambda_{\text{rel},m,fi} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot 17,8 \cdot 10}{\pi \cdot (5,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{43,75}{10833 \cdot 450}} = 1,16$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 1,4 \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$k_{m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,16 = 0,69$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{7,79 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 25,43 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{25,43}{0,69 \cdot 43,75} = 0,84 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 20,57 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{20,57}{0,69 \cdot 43,75} = 0,68 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Genaueres Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit

[6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [6] \text{ Tab. 74}$$

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm} \quad [6] \text{ Gl. (9.1)}$$

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d(t_f) = 12 - 2 \cdot 2,4 = 7,2 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 24 - 2 \cdot 2,4 = 19,2 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + 2 \cdot h(t_f) = 2 \cdot 7,2 + 2 \cdot 19,2 = 52,8 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t_f) \cdot h(t_f) = 7,2 \cdot 19,2 = 138,24 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{7,2 \cdot 19,2^2}{6} = 442,37 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10)}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10.1)}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2/3 \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10.2)}$$

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [6] \text{ Gl. (10.4)}$$

$$= 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} = 0,83$$

$$k_{\text{mod,E,fi}} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [6] \text{ Gl. (10.6)}$$

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} = k_{\text{mod,G,fi}} = 0,89$$

$$k_{\text{fi}} = 1,25 \quad [6] \text{ Tab. 75}$$

$$\gamma_{\text{M,fi}} = 1,0 \quad [6] \text{ 5.5.2.1 (b)}$$

$$f_{\text{m,d,fi}} = 0,83 \cdot 1,25 \cdot \frac{35}{1,0} = 36,31 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{d,fi}} = 0,89 \cdot 1,25 \cdot \frac{8666,7}{1,0} = 9641,7 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{\text{d,fi}} = 0,89 \cdot 1,25 \cdot \frac{2/3 \cdot 540}{1,0} = 400,5 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[6] 5.5.2.2

Kippbeiwert

$$k_{\text{m,fi}} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel,m,fi}}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \end{cases} \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef,y,fi}} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{m,d,fi}}}{\sqrt{E_{\text{d,fi}} \cdot G_{\text{d,fi}}}}} \quad [1] \text{ Gl. (70)}$$

$$l_{\text{ef,y,fi}} = 4 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot 19,2 \cdot 10}{\pi \cdot (7,2 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{36,31}{\sqrt{9641,7 \cdot 400,5}}} = 0,93$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$k_{\text{m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,93 = 0,86$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{7,79 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 17,61 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{m,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{17,61}{0,86 \cdot 36,31} = 0,56 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [2] \text{ Gl. (67)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 14,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{14,24}{0,86 \cdot 36,31} = 0,46 < 1,0$$

Nachweis erbracht

[1] Gl. (67)

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2

Die Bemessung des Vollholzträgers mit konstantem Querschnitt für den Brandfall erfolgt nach EN 1995-1-2 nach dem Vereinfachten und dem Genauerem Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\text{hier: } \gamma_{G,j} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5$$

[10] 6.4.3.2 (3),
Gl. (10)

[10] Tab. A.1.2(A)

[10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkung

$$q_d = e \cdot (\gamma_G \cdot g_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,35 \cdot 3 + 1,5 \cdot 3) = 5,99 \text{ kN/m}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{5,99 \cdot 4^2}{8} = 11,98 \text{ kNm}$$

Theorie I. Ordnung

Bemessungswert der Einwirkung nach EN 1995-1-2

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

$$M_{d,fi} = 0,6 \cdot M_d = 0,6 \cdot 11,98 = 7,19 \text{ kNm}$$

[14] 2.4.2 (2)

[14] 2.4.2 (3), Gl.
(2.8) Anmerkung 2

Genauere Methode

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\text{hier: } \psi_{1,1} = 0,5$$

$$q_{d,fi} = e \cdot (g_k + \psi_{1,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (3 + 0,5 \cdot 3) = 3,15 \text{ kN/m}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{3,15 \cdot 4^2}{8} = 6,30 \text{ kNm}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3$$

$$q_{d,fi} = e \cdot (g_k \oplus \psi_{2,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (3 + 0,3 \cdot 3) = 2,73 \text{ kN/m}$$

[14] 2.4.2 (1)

[10] Gl. (6.11b)

[10] Tab. A.1.1

[10] Tab. A.1.1

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{2,73 \cdot 4^2}{8} = 5,46 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach EN 1995-1-2

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{m,k} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{05} = 8700 \text{ N/mm}^2$$

[7] Tab. 1

Methode mit reduziertem Querschnitt

[14] 4.2.2

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [14] \text{ Tab. 3.1}$$

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

$$k_0 = 1,0 \quad [14] \text{ Tab. 4.1}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad [14] 4.2.2$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (4.1)}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{ef} = 12 - 2 \cdot 3,1 = 5,8 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{ef} = 24 - 2 \cdot 3,1 = 17,8 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 5,8 \cdot 17,8 = 103,24 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{5,8 \cdot 17,8^2}{6} = 306,28 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.2) u. (2.5)}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0 \quad [14] 4.2.2 (5)$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [14] 2.3 (1)$$

$$f_{m,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 35}{1,0} = 43,75 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 8700}{1,0} = 10875 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegedrillknicken

[13] 6.3.1 (4)

Kippbeiwert

$$k_{\text{crit,fi}} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel,m,fi}}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \end{cases} \quad [13] \text{ Gl. (6.34)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{f_{\text{m,d,fi}}}{\sigma_{\text{m,crit}}}} \quad [13] \text{ Gl. (6.30)}$$

$$l_{\text{ef,y,fi}} = 4 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\sigma_{\text{m,crit}} = \frac{0,78 \cdot b(t)^2}{h(t) \cdot l_{\text{ef,y,fi}}} \cdot E_{\text{d,fi}} = \frac{0,78 \cdot (5,8 \cdot 10)^2}{17,8 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10^3} \cdot 10875 = 40,08 \text{ N/mm}^2 \quad [13] \text{ Gl. (6.32)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{43,75}{40,08}} = 1,04$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \quad [13] \text{ Gl. (6.34)}$$

$$k_{\text{crit,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,04 = 0,78$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{7,19 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 23,48 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{23,48}{0,78 \cdot 43,75} = 0,69 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 20,57 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{20,57}{0,78 \cdot 43,75} = 0,60 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{5,46 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 17,83 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{17,83}{0,78 \cdot 43,75} = 0,52 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

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

[14] Tab. 3.1

$$\begin{aligned}
 t &= 30 \text{ min} && \text{Branddauer} \\
 d_{\text{char,n}} &= \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 && = 24 \text{ mm} \\
 b(t) &= b - 2 \cdot d_{\text{char,n}} = 12 - 2 \cdot 2,4 && = 7,2 \text{ cm} \\
 h(t) &= h - 2 \cdot d_{\text{char,n}} = 24 - 2 \cdot 2,4 && = 19,2 \text{ cm} \\
 p &= 2 \cdot b(t) + 2 \cdot h(t) = 2 \cdot 7,2 + 2 \cdot 19,2 && = 52,8 \text{ cm} \\
 A_r &= b(t) \cdot h(t) = 7,2 \cdot 19,2 && = 138,24 \text{ cm}^2 \\
 W_{y,r} &= \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{7,2 \cdot 19,2^2}{6} && = 442,37 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

[14] Gl. (3.2)

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{m,d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.2) u. (2.5)}$$

$$\begin{aligned}
 k_{\text{mod},m,fi} &= 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} \\
 &= 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} && = 0,81
 \end{aligned} \quad [14] \text{ Gl. (4.2)}$$

$$\begin{aligned}
 k_{\text{mod},E,fi} &= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} \\
 &= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} && = 0,88
 \end{aligned} \quad [14] \text{ Gl. (4.4)}$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [14] 2.3 (1)$$

$$f_{m,d,fi} = 0,81 \cdot \frac{1,25 \cdot 35}{1,0} = 35,44 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 0,88 \cdot \frac{1,25 \cdot 8700}{1,0} = 9570 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegedrillknicken

[13] 6.3.1 (4)

Kippbeiwert

$$k_{\text{crit},fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel},m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \end{cases} \quad [13] \text{ Gl. (6.34)}$$

$$\lambda_{\text{rel},m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} \quad [13] \text{ Gl. (6.30)}$$

$$l_{\text{ef},y,fi} = 4 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 \cdot b(t)^2}{h(t) \cdot l_{\text{ef},y,fi}} \cdot E_{d,fi} = \frac{0,78 \cdot (7,2 \cdot 10)^2}{19,2 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10^3} \cdot 9570 = 50,39 \text{ N/mm}^2 \quad [13] \text{ Gl. (6.32)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{35,44}{50,39}} = 0,84$$

für $\lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 0,75$

$$k_{\text{crit,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,84 = 0,93$$

[13] Gl. (6.34)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{7,19 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 16,25 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{16,25}{0,93 \cdot 35,44} = 0,49 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 14,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{14,24}{0,93 \cdot 35,44} = 0,43 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{5,46 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 12,34 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{12,34}{0,93 \cdot 35,44} = 0,37 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

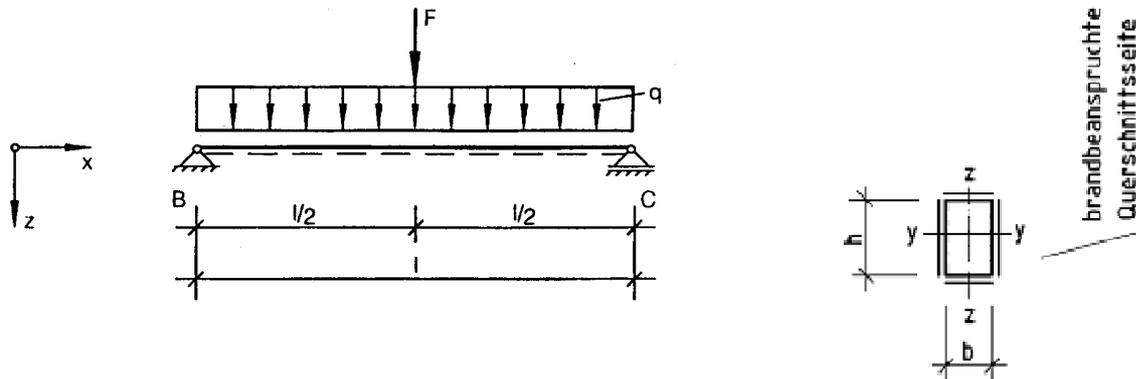
Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungs- verfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung		
		Verhältnis G_k / Q_k		
		0,5	1,0	2,0
DIN 4102-4	Volllast	0,54		
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,86	0,84	0,83
	Genau	0,61	0,68	0,76
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,57	0,56	0,55
	Genau	0,41	0,46	0,51
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,70	0,69	0,68
	Genau $\psi_{1,1}$	0,54	0,60	0,67
	$\psi_{2,1}$	0,43	0,52	0,62
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,50	0,49	0,48
	Genau $\psi_{1,1}$	0,38	0,43	0,48
	$\psi_{2,1}$	0,31	0,37	0,44

Verhältnis G_k / Q_k	g_k in kN/m^2	p_k in kN/m^2
0,5	2,0	4,0
1,0	3,0	3,0
2,0	4,0	2,0

Beispiel B.2

Vollholzträger mit konstantem Querschnitt für den Brandfall (F30), 4-seitig brandbeansprucht



$g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$ (ständig)
 $p_k = 3,50 \text{ kN/m}^2$ (veränderlich-mittel)
 $F_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ (ständig)

Brandbeanspruchung: vierseitig
 Feuerwiderstandsdauer: $t_f = 30 \text{ min}$

$l = 4 \text{ m}$
 $b/h = 12/24 \text{ cm}$
 $e = 0,70 \text{ m}$ (Balkenabstand)
 Festigkeitsklasse C24

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

Die brandschutztechnische Bemessung wurde mit dem Brandschutzbemessungsprogramm BRABEM durchgeführt. Als Eingangsparameter für die Holzgüte wurde NH II gewählt.

Der Ausnutzungsgrad im Brandfall beträgt 82%.
Der Balken ist nach DIN 4102-4 in die Feuerwiderstandsklasse F30 einzustufen.

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Die Bemessung des Vollholzträgers mit konstantem Querschnitt für den Brandfall erfolgt nach DIN 4102-22 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[3] 9.4 (4), Gl. (14)

$$\text{hier: } \gamma_{G,j} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5$$

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$q_d = e \cdot (\gamma_G \cdot g_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,35 \cdot 1 + 1,5 \cdot 3,5) = 4,62 \text{ kN/m}$$

$$F_d = e \cdot \gamma_G \cdot F_k = 0,7 \cdot 1,35 \cdot 5 = 4,73 \text{ kN}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} + \frac{F_d \cdot l}{4} = \frac{4,62 \cdot 4^2}{8} + \frac{4,73 \cdot 4}{4} = 13,97 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Beanspruchung nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

$$M_{d,fi} = 0,65 \cdot M_d = 0,65 \cdot 13,97 = 9,08 \text{ kNm}$$

Genauere Methode

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\text{hier: } \gamma_{GA,j} = 1,0$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A}$$

$$q_{d,fi} = e \cdot (\gamma_{GA} \cdot g_k + \psi_{1,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,0 \cdot 1 + 0,5 \cdot 3,5) = 1,93 \text{ kN/m}$$

$$F_{d,fi} = e \cdot \gamma_{GA} \cdot F_k = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{dA} \cdot l^2}{8} + \frac{F_{dA} \cdot l}{4} = \frac{1,93 \cdot 4^2}{8} + \frac{3,5 \cdot 4}{4} = 7,36 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{0,mean} = \frac{2}{3} \cdot 11000 = 7333 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 690 = 460 \text{ N/mm}^2$$

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

Querschnittswerte

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

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.3

Theorie I. Ordnung

[6] 6.1 Abs. 3

[6] Gl. (3)

[6] 4.1 Abs. 3

[6] Gl. (1)

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.2

[1] Tab. F.5

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Tab. 74

$$\begin{aligned}
 d_0 &= 7 \text{ mm} && [6] \text{ 5.5.2.1 a)} \\
 d(t_f) &= \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 && = 24 \text{ mm} && [6] \text{ Gl. (9.1)} \\
 d_{ef} &= d(t_f) + d_0 = 24 + 7 && = 31 \text{ mm} && [6] \text{ Gl. (9)} \\
 b(t_f) &= b - 2 \cdot d_{ef} = 12 - 2 \cdot 3,1 && = 5,8 \text{ cm} \\
 h(t_f) &= h - 2 \cdot d_{ef} = 24 - 2 \cdot 3,1 && = 17,8 \text{ cm} \\
 A_r &= b(t_f) \cdot h(t_f) = 5,8 \cdot 17,8 && = 103,24 \text{ cm}^2 \\
 W_{y,r} &= \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{5,8 \cdot 17,8^2}{6} && = 306,28 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$\begin{aligned}
 f_{d,fi} &= k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} && [6] \text{ Gl. (10)} \\
 E_{d,fi} &= k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} && [6] \text{ Gl. (10.1)} \\
 G_{d,fi} &= k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2/3 \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} && [6] \text{ Gl. (10.2)} \\
 k_{mod,fi} &= 1,0 && [6] \text{ 5.5.2.1 (a)} \\
 k_{fi} &= 1,25 && [6] \text{ Tab. 75} \\
 \gamma_{M,fi} &= 1,0 && [6] \text{ 5.5.2.1 (b)} \\
 f_{m,d,fi} &= 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} && = 30 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{d,fi} &= 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{7333}{1,0} && = 9166,3 \text{ N/mm}^2 \\
 G_{d,fi} &= 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{2/3 \cdot 460}{1,0} && = 383,3 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[6] 5.5.2.2

Kippbeiwert

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases} \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,y,fi} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}} \quad [1] \text{ Gl. (70)}$$

$$\begin{aligned}
 l_{ef,y,fi} &= 4 \text{ m} && \text{Abstand der gehaltenen Punkte} \\
 \lambda_{rel,m,fi} &= \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot 17,8 \cdot 10}{\pi \cdot (5,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{30}{\sqrt{9166,3 \cdot 383,3}}} && = 1,04 \\
 &\text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 && [1] \text{ Gl. (68)}
 \end{aligned}$$

$$k_{m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,04 = 0,78$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{9,08 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 29,65 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{29,65}{0,78 \cdot 30} = 1,27 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{7,36 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 24,03 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{24,03}{0,78 \cdot 30} = 1,03 \cong 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Genauerer Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit [6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [6] \text{ Tab. 74}$$

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm} \quad [6] \text{ Gl. (9.1)}$$

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d(t_f) = 12 - 2 \cdot 2,4 = 7,2 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 24 - 2 \cdot 2,4 = 19,2 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + 2 \cdot h(t_f) = 2 \cdot 7,2 + 2 \cdot 19,2 = 52,8 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t_f) \cdot h(t_f) = 7,2 \cdot 19,2 = 138,24 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{7,2 \cdot 19,2^2}{6} = 442,37 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall [6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10)}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10.1)}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2/3 \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10.2)}$$

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [6] \text{ Gl. (10.4)}$$

$$= 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} = 0,83$$

$$k_{\text{mod,E,fi}} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} = k_{\text{mod,G,fi}} = 0,89$$

$$k_{\text{fi}} = 1,25$$

$$\gamma_{\text{M,fi}} = 1,0$$

$$f_{\text{m,d,fi}} = 0,83 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} = 24,9 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{d,fi}} = 0,89 \cdot 1,25 \cdot \frac{7333}{1,0} = 8158,0 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{\text{d,fi}} = 0,89 \cdot 1,25 \cdot \frac{2/3 \cdot 460}{1,0} = 341,2 \text{ N/mm}^2$$

[6] Gl. (10.6)

[6] Tab. 75

[6] 5.5.2.1 (b)

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[6] 5.5.2.2

Kippbeiwert

$$k_{\text{m,fi}} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel,m,fi}}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \end{cases}$$

[1] Gl. (68)

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef,y,fi}} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{m,d,fi}}}{E_{\text{d,fi}} \cdot G_{\text{d,fi}}}}$$

[1] Gl. (70)

$$l_{\text{ef,y,fi}} = 4 \text{ m}$$

Abstand der gehaltenen Punkte

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot 19,2 \cdot 10}{\pi \cdot (7,2 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{24,9}{\sqrt{8158,0 \cdot 341,2}}} = 0,84$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4$$

[1] Gl. (68)

$$k_{\text{m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,84 = 0,93$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{9,08 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 20,53 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{m,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{20,53}{0,93 \cdot 24,9} = 0,89 < 1,0$$

Nachweis erbracht

[1] Gl. (67)

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{7,36 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 16,64 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{16,64}{0,93 \cdot 24,9} = 0,72 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2

Die Bemessung des Vollholzträgers mit konstantem Querschnitt für den Brandfall erfolgt nach EN 1995-1-2 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \right\} \quad [10] \text{ 6.4.3.2 (3), Gl. (10)}$$

$$\text{hier: } \gamma_{G,j} = 1,35 \quad [10] \text{ Tab. A.1.2 (A)}$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5 \quad [10] \text{ Tab. A.1.2 (A)}$$

Bemessungswerte der Einwirkung

$$q_d = e \cdot (\gamma_G \cdot g_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1,35 \cdot 1 + 1,5 \cdot 3,5) = 4,62 \text{ kN/m}$$

$$F_d = e \cdot \gamma_G \cdot F_k = 0,7 \cdot 1,35 \cdot 5 = 4,73 \text{ kN}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} + \frac{F_d \cdot l}{4} = \frac{4,62 \cdot 4^2}{8} + \frac{4,73 \cdot 4}{4} = 13,97 \text{ kNm} \quad \text{Theorie I. Ordnung}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach EN1995-1-2

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d \quad [14] \text{ 2.4.2 (2)}$$

$$M_{d,fi} = 0,6 \cdot M_d = 0,6 \cdot 13,97 = 8,38 \text{ kNm} \quad [14] \text{ 2.4.2 (3), Gl. (2.8)}$$

Genauere Methode

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \right\} \quad [14] \text{ 2.4.2 (1)}$$

$$\text{hier: } \psi_{1,1} = 0,5 \quad [10] \text{ Gl. (6.11b)}$$

$$q_{d,fi} = e \cdot (g_k + \psi_{1,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1 + 0,5 \cdot 3,5) = 1,93 \text{ kN/m} \quad [10] \text{ Tab. A.1.1}$$

$$F_{d,fi} = e \cdot F_k = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} + \frac{F_{d,fi} \cdot l}{4} = \frac{1,93 \cdot 4^2}{8} + \frac{3,5 \cdot 4}{4} = 7,36 \text{ kNm}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3$$

$$q_{d,fi} = e \cdot (g_k \oplus \psi_{2,1} \cdot p_k) = 0,7 \cdot (1 + 0,3 \cdot 3,5) = 1,44 \text{ kN/m}$$

$$F_{d,fi} = e \cdot F_k = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} + \frac{F_{d,fi} \cdot l}{4} = \frac{1,44 \cdot 4^2}{8} + \frac{3,5 \cdot 4}{4} = 6,38 \text{ kNm}$$

[10] Tab. A.1.1

Bemessung für den Brandfall nach EN1995-1-2

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

[7] Tab. 1

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{05} = 7400 \text{ N/mm}^2$$

Methode mit reduziertem Querschnitt

[14] 4.2.2

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [14] \text{ Tab. 3.1}$$

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

$$k_0 = 1,0 \quad [14] \text{ Tab. 4.1}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad [14] 4.2.2$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (4.1)}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{ef} = 12 - 2 \cdot 3,1 = 5,8 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{ef} = 24 - 2 \cdot 3,1 = 17,8 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 5,8 \cdot 17,8 = 103,24 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{5,8 \cdot 17,8^2}{6} = 306,28 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.2) u. (2.5)}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0 \quad [14] 4.2.2 (5)$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [14] 2.3 (1)$$

$$f_{m,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 24}{1,0} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 7400}{1,0} = 9250 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegedrillknicken

[13] 6.3.1 (4)

Kippbeiwert

$$k_{crit,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

[13] Gl. (6.34)

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sigma_{m,crit}}}$$

[13] Gl. (6.30)

$$l_{ef,y,fi} = 4 \text{ m}$$

Abstand der gehaltenen Punkte

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b(t)^2}{h(t) \cdot l_{ef,y,fi}} \cdot E_{d,fi} = \frac{0,78 \cdot (5,8 \cdot 10)^2}{17,8 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10^3} \cdot 9250 = 34,09 \text{ N/mm}^2$$

[13] Gl. (6.32)

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{30}{34,09}} = 0,94$$

für $0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4$

[13] Gl. (6.34)

$$k_{crit,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,94 = 0,86$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{8,38 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 27,36 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{27,36}{0,86 \cdot 30} = 1,06 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{7,36 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 24,03 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{24,03}{0,86 \cdot 30} = 0,93 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{6,38 \cdot 10^6}{306,28 \cdot 10^3} = 20,83 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{20,83}{0,86 \cdot 30} = 0,81 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

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

[14] Tab. 3.1

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

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

[14] Gl. (3.2)

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 12 - 2 \cdot 2,4 = 7,2 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 24 - 2 \cdot 2,4 = 19,2 \text{ cm}$$

$$p = 2 \cdot b(t) + 2 \cdot h(t) = 2 \cdot 7,2 + 2 \cdot 19,2 = 52,8 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 7,2 \cdot 19,2 = 138,24 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{7,2 \cdot 19,2^2}{6} = 442,37 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{m,d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.2) u. (2.5)

$$k_{\text{mod},m,fi} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} = 0,81$$

[14] Gl. (4.2)

$$k_{\text{mod},E,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{52,8 \cdot 10^{-2}}{138,24 \cdot 10^{-4}} = 0,88$$

[14] Gl. (4.4)

$$k_{fi} = 1,25$$

[14] Tab. 2.1

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[14] 2.3 (1)

$$f_{m,d,fi} = 0,81 \cdot \frac{1,25 \cdot 24}{1,0} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 0,88 \cdot \frac{1,25 \cdot 7400}{1,0} = 8140 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegedrillknicken

[13] 6.3.1 (4)

Kippbeiwert

$$k_{\text{crit},fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel},m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel},m,fi} \end{cases}$$

[13] Gl. (6.34)

$$\lambda_{\text{rel},m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sigma_{m,\text{crit}}}}$$

[13] Gl. (6.30)

$$l_{\text{ef},y,\text{fi}} = 4 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{m,crit}} = \frac{0,78 \cdot b(t)^2}{h(t) \cdot l_{\text{ef},y,\text{fi}}} \cdot E_{\text{d,fi}} = \frac{0,78 \cdot (7,2 \cdot 10)^2}{19,2 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10^3} \cdot 8140 = 42,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{24,3}{42,86}} = 0,75$$

für $\lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 0,75$

$$k_{\text{crit,fi}} = 1,0$$

Abstand der gehaltenen Punkte

[13] Gl. (6.32)

[13] Gl. (6.34)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{8,38 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 18,94 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{18,94}{1,0 \cdot 24,3} = 0,78 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{7,36 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 16,64 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{16,64}{1,0 \cdot 24,3} = 0,68 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{\text{m,y,d,fi}} = \frac{M_{\text{d,fi}}}{W_{\text{y,r}}} = \frac{6,38 \cdot 10^6}{442,37 \cdot 10^3} = 14,42 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{\text{m,y,d,fi}}}{k_{\text{crit,fi}} \cdot f_{\text{m,d,fi}}} = \frac{14,42}{1,0 \cdot 24,3} = 0,59 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

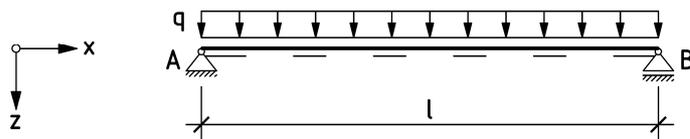
Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungs- verfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung			
		A	B	C	D
DIN 4102-4	Volllast	0,82			
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	1,27	0,98	1,27	1,27
	Genau	1,03	0,80	0,82	1,30
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,89	0,66	0,89	0,89
	Genau	0,72	0,53	0,57	0,91
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	1,06	0,80	1,06	1,06
	Genau $\psi_{1,1}$	0,93	0,70	0,74	1,18
	$\psi_{2,1}$	0,81	0,61	0,62	1,12
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,78	0,57	0,78	0,78
	Genau $\psi_{1,1}$	0,68	0,50	0,55	0,87
	$\psi_{2,1}$	0,59	0,44	0,46	0,82

- A veränderlich-mittel (Nutzlast - Kategorie A)
- B wie Beispiel A für eine Festigkeitsklasse C35
- C veränderlich-kurz (Schnee)
- D veränderlich-lang (Nutzlast - Kategorie E)

Beispiel B.3

Brettschichtholzträger mit konstantem Querschnitt für den Brandfall (F30), 4-seitig brandbeansprucht



$q_{G,k} = 2,50 \text{ kN/m}$ (ständig)
 $q_{N,k} = 0,75 \text{ kN/m}$ (veränderlich-kurz)
 $q_{S,k} = 5,00 \text{ kN/m}$ (veränderlich-kurz)

Nutzungsstufe 2

$l = 20 \text{ m}$

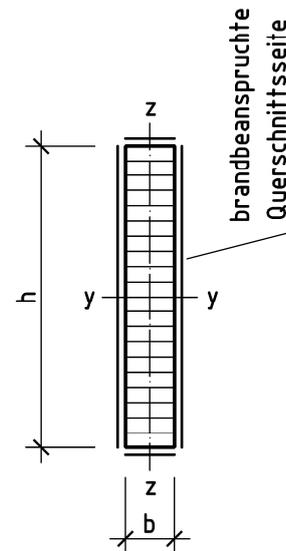
$b/h = 16/120 \text{ cm}$

$e = 3,33 \text{ m}$ Pfettenabstand

Festigkeitsklasse GL24h

Brandbeanspruchung: vierseitig

Feuerwiderstandsdauer: $t_f = 30 \text{ min}$



Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

Die brandschutztechnische Bemessung wurde mit dem Brandschutzbemessungsprogramm BRABEM durchgeführt. Als Eingangsparameter für die Holzgüte wurde BSH II gewählt.

Der Ausnutzungsgrad im Brandfall beträgt 60%. Damit kann der Balken nach DIN 4102-4 in die Feuerwiderstandsklasse F30 eingestuft werden.

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Die Bemessung des Brettschichtholzträgers für den Brandfall erfolgt nach DIN 4102-22 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

[3] 9.4 (4), Gl. (14)

$$\text{hier: } \gamma_{G,j} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5$$

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,35 \cdot 2,5 = 3,38 \text{ kN/m}$$

$$q_{N,d} = \gamma_Q \cdot q_{N,k} = 1,5 \cdot 0,75 = 1,13 \text{ kN/m}$$

$$q_{S,d} = \gamma_Q \cdot q_{S,k} = 1,5 \cdot 5,0 = 7,50 \text{ kN/m}$$

Aufgrund der Dachneigung treten Einwirkungen aus Wind ausschließlich als Windsog auf, der als günstig wirkende veränderliche Einwirkung in diesem Beispiel nicht berücksichtigt wird. Eine Überlagerung von Nutzlasten der Kategorie H (Dächer) mit Schneelasten ist nicht erforderlich. Da beide veränderliche Einwirkungen der Klasse der Lasteinwirkungsdauer kurz angehören, ergibt sich der maßgebende Bemessungswert der Einwirkungen für eine Kombination aus Eigengewicht und Schnee.

$$q_d = q_{G,d} + q_{S,d} = 3,38 + 7,50 = 10,88 \text{ kN/m}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{10,88 \cdot 20^2}{8} = 544,00 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

$$M_{d,fi} = 0,65 \cdot M_d = 0,65 \cdot 544 = 353,60 \text{ kNm}$$

Genauere Methode

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$\text{hier: } \gamma_{GA,j} = 1,0$$

$$\psi_{1,N} = 0 \quad \psi_{2,N} = 0$$

$$\psi_{1,S} = 0,2 \quad \psi_{2,S} = 0$$

Eine Überlagerung von Nutzlasten der Kategorie H (Dächer) mit Schneelasten ist nicht erforderlich. Da die Kombinationsbeiwerte ψ_1 und ψ_2 der Nutzlasten Null sind, ergibt sich der maßgebende Bemessungswert der Einwirkungen für eine Kombination aus Eigengewicht und Schnee.

$$q_{G,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot q_{G,k} = 1,0 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ kN/m}$$

$$q_{N,d,fi} = \psi_{1,N} \cdot q_{N,k} = 0 \cdot 0,75 = 0$$

$$q_{S,d,fi} = \psi_{1,S} \cdot q_{S,k} = 0,2 \cdot 5,0 = 1,0 \text{ kN/m}$$

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.3

[1] 8.1 Gl. (1)

Eigengewicht

Nutzlasten (Dächer)

Schnee

Theorie I. Ordnung

[6] 6.1 Abs. 3

[6] Gl. (3)

[6] 4.1 Abs. 3

[6] Gl. (1)

[1] Tab. A.3

[1] Tab. A.2

[1] Tab. A.2

Eigengewicht

Nutzlasten (Dächer)

Schnee

$$q_{d,fi} = q_{G,d,fi} + q_{S,d,fi} = 2,5 + 1,0 = 3,5 \text{ kN/m}$$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{3,5 \cdot 20^2}{8} = 175,0 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

[1] Tab. F.9

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 11600 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,mean} = \frac{5}{6} \cdot 11600 = 9666,7 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 720 = 600 \text{ N/mm}^2$$

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

[6] 5.5.2.1 a)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [6] \text{ Tab. 74}$$

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad [6] 5.5.2.1 a)$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm} \quad [6] \text{ Gl. (9.1)}$$

$$d_{ef} = d(t_f) + d_0 = 21 + 7 = 28 \text{ mm} \quad [6] \text{ Gl. (9)}$$

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d_{ef} = 16 - 2 \cdot 2,8 = 10,4 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d_{ef} = 120 - 2 \cdot 2,8 = 114,4 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t_f) \cdot h(t_f) = 10,4 \cdot 114,4 = 1189,76 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{10,4 \cdot 114,4^2}{6} = 22684,8 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10)}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10.1)}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [6] \text{ Gl. (10.2)}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0 \quad [6] 5.5.2.1 (a)$$

$$k_{fi} = 1,15 \quad [6] \text{ Tab. 75}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [6] 5.5.2.1 (b)$$

$$f_{m,d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{24}{1,0} = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{9666,7}{1,0} = 11117 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{600}{1,0} = 690 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[6] 5.5.2.2

Kippbeiwert

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

[1] Gl. (68)

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,y,fi} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}}$$

[1] Gl. (70)

Die Aussteifung des Binders ist derart auszuführen, dass der verbleibende Restquerschnitt der Aussteifung 60% der für die Bemessung unter Normaltemperatur erforderlichen Querschnittsfläche beträgt und die mechanischen Verbindungsmittel die Anforderungen nach [3] 5.8 erfüllen. Die Abstützung behält somit während der maßgebenden Feuerbeanspruchung von 30 Minuten ihre Funktionstüchtigkeit. Der Abstand der gehaltenen Punkte entspricht dem Pfettenabstand.

$$l_{ef,y,fi} = 3,33 \text{ m}$$

Abstand der gehaltenen Punkte

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{3,33 \cdot 10^3 \cdot 114,4 \cdot 10}{\pi \cdot (10,4 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{27,6}{\sqrt{11117 \cdot 690}}} = 1,06$$

für $0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4$

$$k_{m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,06 = 0,77$$

[1] Gl. (68)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{353,6 \cdot 10^6}{22684,8 \cdot 10^3} = 15,59 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{15,59}{0,77 \cdot 27,6} = 0,73 < 1,0$$

Nachweis erbracht

[1] Gl. (67)

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{175 \cdot 10^6}{22684,8 \cdot 10^3} = 7,71 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{7,71}{0,77 \cdot 27,6} = 0,36 < 1,0$$

Nachweis erbracht

[1] Gl. (67)

Genauerer Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit

[6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate}$$

[6] Tab. 74

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9.1)

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d(t_f) = 16 - 2 \cdot 21 = 11,8 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 120 - 2 \cdot 21 = 115,8 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + 2 \cdot h(t_f) = 2 \cdot 11,8 + 2 \cdot 115,8 = 255,2 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t_f) \cdot h(t_f) = 11,8 \cdot 115,8 = 1366,4 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{11,8 \cdot 115,8^2}{6} = 26372,2 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10)

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10.1)

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10.2)

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

[6] Gl. (10.4)

$$= 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{255,2 \cdot 10^{-2}}{1366,4 \cdot 10^{-4}} = 0,92$$

$$k_{mod,E,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

[6] Gl. (10.6)

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{255,2 \cdot 10^{-2}}{1366,4 \cdot 10^{-4}} = k_{mod,G,fi} = 0,94$$

$$k_{fi} = 1,15$$

[6] Tab. 75

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{m,d,fi} = 0,92 \cdot 1,15 \cdot \frac{24}{1,0} = 25,4 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 0,94 \cdot 1,15 \cdot \frac{9666,7}{1,0} = 10450 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = 0,94 \cdot 1,15 \cdot \frac{600}{1,0} = 648,6 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[6] 5.5.2.2

Kippbeiwert

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

[1] Gl. (68)

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,y,fi} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}}$$

[1] Gl. (70)

$$l_{ef,y,fi} = 3,33 \text{ m}$$

Abstand der gehaltenen Punkte

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{3,33 \cdot 10^3 \cdot 115,8 \cdot 10}{\pi \cdot (11,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{25,4}{\sqrt{10450 \cdot 648,6}}} = 0,93$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4$$

[1] Gl. (68)

$$k_{m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,93 = 0,86$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{353,6 \cdot 10^6}{26372,2 \cdot 10^3} = 13,41 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{13,41}{0,86 \cdot 25,4} = \underline{0,61 < 1,0} \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{175 \cdot 10^6}{26372,2 \cdot 10^3} = 6,64 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{6,64}{0,86 \cdot 25,4} = \underline{0,30 < 1,0} \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (67)}$$

Berechnung nach EC5

Die Bemessung des Brettschichtholzträgers für den Brandfall erfolgt nach EN 1995-1-2 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5$$

[10] 6.4.3.2 (3), Gl. (10)

[10] Tab. A.1.2(A)

[10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkung

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,35 \cdot 2,5 = 3,38 \text{ kN/m}$$

$$q_{N,d} = \gamma_Q \cdot q_{N,k} = 1,5 \cdot 0,75 = 1,13 \text{ kN/m}$$

$$q_{S,d} = \gamma_Q \cdot q_{S,k} = 1,5 \cdot 5,0 = 7,50 \text{ kN/m}$$

Eigengewicht

Nutzlasten (Dächer)

Schnee

Aufgrund der Dachneigung treten Einwirkungen aus Wind ausschließlich als Windsog auf, der als günstig wirkende veränderliche Einwirkung in diesem Beispiel nicht berücksichtigt wird. Eine Überlagerung von Nutzlasten der Kategorie H (Dächer) mit Schneelasten ist nicht erforderlich. Da beide veränderliche Einwirkungen der Klasse der Lasteinwirkungsdauer kurz angehören, ergibt sich der maßgebende Bemessungswert der Einwirkungen für eine Kombination aus Eigengewicht und Schnee.

$$q_d = q_{G,d} + q_{S,d} = 3,38 + 7,50 = 10,88 \text{ kN/m}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{10,88 \cdot 20^2}{8} = 544,00 \text{ kNm}$$

Theorie I. Ordnung

Bemessungswert der Einwirkung nach EN1995-1-2

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

$$M_{d,fi} = 0,6 \cdot M_d = 0,6 \cdot 544 = 326,4 \text{ kNm}$$

[14] 2.4.2 (2)

[14] 2.4.2 (3), Gl. (2.8)

Genauere Methode

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$\psi_{1,N} = 0 \quad \psi_{2,N} = 0$$

$$\psi_{1,S} = 0,2 \quad \psi_{2,S} = 0$$

[14] 2.4.2 (1)

[10] Gl. (6.11b)

[10] Tab. A.1.1

[10] Tab. A.1.1

Bemessungswerte der Einwirkungen

Eine Überlagerung von Nutzlasten der Kategorie H (Dächer) mit Schneelasten ist nicht erforderlich. Da die Kombinationsbeiwerte ψ_1 und ψ_2 der Nutzlasten Null sind, ergibt sich der maßgebende Bemessungswert der Einwirkungen für eine Kombination aus Eigengewicht und Schnee

hier: $\psi_{1,1}$

$$q_{G,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot q_{G,k} = 1,0 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ kN/m}$$

$$q_{N,d,fi} = \psi_{1,N} \cdot q_{N,k} = 0 \cdot 0,75 = 0$$

$$q_{S,d,fi} = \psi_{1,S} \cdot q_{S,k} = 0,2 \cdot 5,0 = 1,0 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,fi} = q_{G,d,fi} + q_{S,d,fi} = 2,5 + 1,0 = 3,5 \text{ kN/m}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{3,5 \cdot 20^2}{8} = 175,0 \text{ kNm}$$

$$\psi_{2,1} \quad q_{G,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot q_{G,k} = 1,0 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ kN/m}$$

$$q_{N,d,fi} = \psi_{1,N} \cdot q_{N,k} = 0 \cdot 0,75 = 0$$

$$q_{S,d,fi} = \psi_{1,S} \cdot q_{S,k} = 0 \cdot 5,0 = 0 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,fi} = q_{G,d,fi} + q_{S,d,fi} = 2,5 + 0 = 2,5 \text{ kN/m}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgröße

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{2,5 \cdot 20^2}{8} = 125,0 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach EN1995-1-2

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{05} = 9400 \text{ N/mm}^2$$

[8] Tab. 1

Methode mit reduziertem Querschnitt

[14] 4.2.2

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate}$$

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

$$k_0 = 1,0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 21 + 1,0 \cdot 7 = 28 \text{ mm}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{ef} = 16 - 2 \cdot 2,8 = 10,4 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{ef} = 120 - 2 \cdot 2,8 = 114,4 \text{ cm}$$

[14] Tab. 3.1

[14] Tab. 4.1

[14] 4.2.2

[14] Gl. (3.2)

[14] Gl. (4.1)

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 10,4 \cdot 114,4 = 1189,76 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{10,4 \cdot 114,4^2}{6} = 22684,8 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{m,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 24}{1,0} = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 9400}{1,0} = 10810 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegedrillknicken

Kippbeiwert

$$k_{crit,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sigma_{m,crit}}}$$

Die Aussteifung des Binders ist derart auszuführen, dass der verbleibende Restquerschnitt der Aussteifung 60% der für die Bemessung unter Normaltemperatur erforderlichen Querschnittsfläche beträgt und die mechanischen Verbindungsmittel die Anforderungen nach [6] 6 erfüllen. Die Abstützung behält somit während der maßgebenden Feuerbeanspruchung von 30 Minuten ihre Funktionstüchtigkeit. Der Abstand der gehaltenen Punkte entspricht dem Pfettenabstand.

$$l_{ef,y,fi} = 3,33 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b(t)^2}{h(t) \cdot l_{ef,y,fi}} \cdot E_{d,fi}$$

$$= \frac{0,78 \cdot (10,4 \cdot 10)^2}{114,4 \cdot 10 \cdot 3,33 \cdot 10^3} \cdot 10810 = 23,94 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{27,6}{23,94}} = 1,07$$

[14] 2.3

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

[14] Gl. (2.2) u. (2.5)

[14] 4.2.2 (5)

[14] Tab. 2.1

[14] 2.3 (1)

[13] 6.3.1 (4)

[13] Gl. (6.34)

[13] Gl. (6.30)

Abstand der gehaltenen Punkte

[13] Gl. (6.32)

für $0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4$

[13] Gl. (6.34)

$$k_{crit,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,07 = 0,76$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{326,4 \cdot 10^6}{22684,8 \cdot 10^3} = 14,39 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{14,39}{0,76 \cdot 27,6} = \underline{0,69 < 1,0} \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,2: \quad \sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{175 \cdot 10^6}{22684,8 \cdot 10^3} = 7,71 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{7,71}{0,76 \cdot 27,6} = \underline{0,37 < 1,0} \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

$$\psi_{2,1} = 0: \quad \sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{125 \cdot 10^6}{22684,8 \cdot 10^3} = 5,51 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{5,51}{0,76 \cdot 27,6} = \underline{0,26 < 1,0} \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate}$$

[14] Tab. 3.1

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

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm}$$

[14] Gl. (3.2)

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{char,n} = 16 - 2 \cdot 2,1 = 11,8 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{char,n} = 120 - 2 \cdot 2,1 = 115,8 \text{ cm}$$

$$p = 2 \cdot b(t) + 2 \cdot h(t) = 2 \cdot 11,8 + 2 \cdot 115,8 = 255,2 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 11,8 \cdot 115,8 = 1366,4 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{11,8 \cdot 115,8^2}{6} = 26372,2 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.2) u. (2.5)}$$

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} \quad [14] \text{ Gl. (4.2)}$$

$$= 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{255,2 \cdot 10^{-2}}{1366,4 \cdot 10^{-4}} = 0,91$$

$$k_{mod,E,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} \quad [14] \text{ Gl. (4.4)}$$

$$= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{255,2 \cdot 10^{-2}}{1366,4 \cdot 10^{-4}} = 0,94$$

$$k_{fi} = 1,15 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [14] \text{ 2.3 (1)}$$

$$f_{m,d,fi} = 0,91 \cdot \frac{1,15 \cdot 24}{1,0} = 25,12 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 0,94 \cdot \frac{1,15 \cdot 9400}{1,0} = 10161 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegedrillknicken

[13] 6.3.1 (4)

Kippbeiwert

$$k_{crit,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases} \quad [13] \text{ Gl. (6.34)}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sigma_{m,crit}}} \quad [13] \text{ Gl. (6.30)}$$

$$l_{ef,y,fi} = 3,33 \text{ m} \quad \text{Abstand der gehaltenen Punkte}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b(t)^2}{h(t) \cdot l_{ef,y,fi}} \cdot E_{d,fi} \quad [13] \text{ Gl. (6.32)}$$

$$= \frac{0,78 \cdot (11,8 \cdot 10)^2}{115,8 \cdot 10 \cdot 3,33 \cdot 10^3} \cdot 10161 = 28,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{25,12}{28,60}} = 0,94$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \quad [13] \text{ Gl. (6.34)}$$

$$k_{crit,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,94 = 0,86$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{326,4 \cdot 10^6}{26372,2 \cdot 10^3} = 12,38 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{12,38}{0,86 \cdot 25,12} = 0,57 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,2: \quad \sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{175 \cdot 10^6}{26372,2 \cdot 10^3} = 6,64 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{6,64}{0,86 \cdot 25,12} = 0,31 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

$$\psi_{2,1} = 0: \quad \sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{125 \cdot 10^6}{26372,2 \cdot 10^3} = 4,74 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

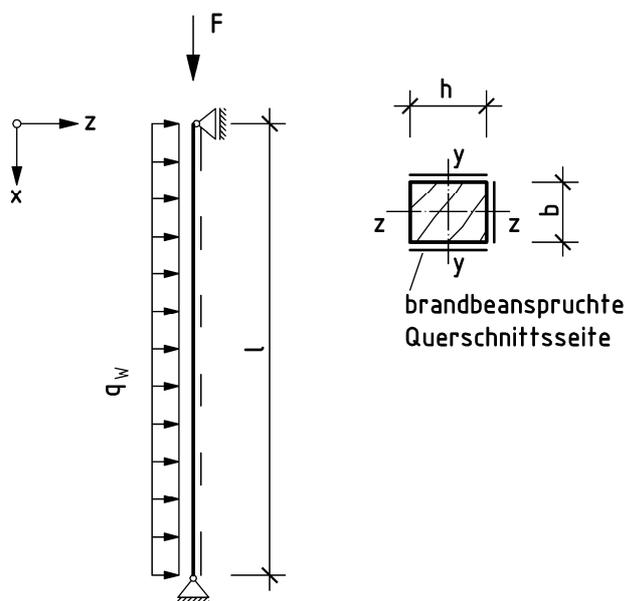
$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{4,74}{0,86 \cdot 25,12} = 0,22 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.33)}$$

Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungsverfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung	
		GL 24h	GL 24c
DIN 4102-4	Volllast	0,60	
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,73	1,09
	Genau	0,36	0,54
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,61	0,90
	Genau	0,30	0,45
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,69	1,01
	Genau $\psi_{1,1}$	0,37	0,54
	$\psi_{2,1}$	0,26	0,39
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,57	0,82
	Genau $\psi_{1,1}$	0,31	0,44
	$\psi_{2,1}$	0,22	0,31

Beispiel B.4

Gelenkig gelagerte Stütze für den Brandfall (F 30), 3-seitig brandbeansprucht



- $F_{G,k} = 80 \text{ kN}$ (ständig)
 $F_{Q,k} = 100 \text{ kN}$ (veränderlich)
 $q_{w,k} = 1,6 \text{ kN/m}$ (veränderlich-kurz)
 $l = 5,0 \text{ m}$
 $b/h = 20/30 \text{ cm}$
 Festigkeitsklasse GL28h
 Brandbeanspruchung: dreiseitig
 Feuerwiderstandsdauer: $t_f = 30 \text{ min}$

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

Die brandschutztechnische Bemessung wurde mit dem Brandschutzbemessungsprogramm BRABEM durchgeführt. Als Eingangsparameter für die Holzgüte wurde BSH II gewählt.

Der Ausnutzungsgrad im Brandfall beträgt 54%.
Damit kann die Stütze nach DIN 4102-4 in die Feuerwiderstandsklasse F30 eingestuft werden.

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Die Bemessung der Brettschichtholzstütze für den Brandfall erfolgt nach DIN 4102-22 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[3] 9.4 (4), Gl. (14)

[3] Tab. A.3

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$\begin{aligned}
 F_{G,d} &= \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 80 &= 108,0 \text{ kN} \\
 F_{Q,d} &= \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 100 &= 150,0 \text{ kN} \\
 q_{W,d} &= \gamma_Q \cdot q_{W,k} = 1,50 \cdot 1,6 &= 2,4 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Einwirkungskombinationen (Ek)Kombinationsbeiwerte ψ_0

$$\psi_{0,Q} = 0,7$$

$$\psi_{0,W} = 0,6$$

$$\text{Ek 1: } F_{G,d} \oplus F_{Q,d} \oplus 0,6 \cdot q_{W,d}$$

$$\text{Ek 2: } F_{G,d} \oplus q_{W,d} \oplus 0,7 \cdot F_{Q,d}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Einwirkungskombination Ek 1

$$\begin{aligned}
 N_d &= F_{G,d} + F_{Q,d} = 108 + 150 &= 258,0 \text{ kN} \\
 M_d &= \frac{0,6 \cdot q_{W,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,6 \cdot 2,4 \cdot 5,0^2}{8} &= 4,5 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Einwirkungskombination Ek 2

$$\begin{aligned}
 N_d &= F_{G,d} + 0,7 \cdot F_{Q,d} = 108 + 0,7 \cdot 150 &= 213,0 \text{ kN} \\
 M_d &= \frac{q_{W,d} \cdot l^2}{8} = \frac{2,4 \cdot 5,0^2}{8} &= 7,5 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach DIN 4102-22**Vereinfachte Methode**

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

Einwirkungskombination Ek 1

$$\begin{aligned}
 N_{d,fi} &= 0,65 \cdot 258 &= 167,70 \text{ kN} \\
 M_{d,fi} &= 0,65 \cdot 4,5 &= 2,93 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Einwirkungskombination Ek 2

$$\begin{aligned}
 N_{d,fi} &= 0,65 \cdot 213 &= 138,45 \text{ kN} \\
 M_{d,fi} &= 0,65 \cdot 7,5 &= 4,88 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Genauere Methode

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$\text{hier: } \gamma_{GA,j} = 1,0$$

$$\psi_{1,Q} = 0,5 \quad \psi_{2,Q} = 0,3$$

$$\psi_{1,W} = 0,5 \quad \psi_{2,W} = 0$$

[3] 8.1

Eigengewicht

Nutzlasten (Kat. B)

Wind

[3] Tab. A.2

Nutzlasten (Kat. B)

Wind

Theorie I. Ordnung

[6] 6.1 Abs. 3

[6] Gl. (3)

[6] 4.1 Abs. 3

[6] Gl. (1)

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.2

[3] Tab. A.2

Einwirkungskombinationen

$$\text{Ek 1: } \gamma_{\text{GA}} \cdot F_{\text{G,k}} \oplus \psi_{1,\text{Q}} \cdot F_{\text{Q,k}} \oplus \psi_{2,\text{W}} \cdot q_{\text{W,k}}$$

$$\text{Ek 2: } \gamma_{\text{GA}} \cdot F_{\text{G,k}} \oplus \psi_{1,\text{W}} \cdot q_{\text{W,k}} \oplus \psi_{2,\text{Q}} \cdot F_{\text{Q,k}}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Ek 1

$$\begin{aligned} N_{\text{d,fi}} &= \gamma_{\text{GA}} \cdot F_{\text{G,k}} + \psi_{1,\text{Q}} \cdot F_{\text{Q,k}} \\ &= 1,0 \cdot 80 + 0,5 \cdot 100 &= 130,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{\text{d,fi}} = \frac{\psi_{2,\text{W}} \cdot q_{\text{W,k}} \cdot l^2}{8} = 0$$

Ek 2

$$\begin{aligned} N_{\text{d,fi}} &= \gamma_{\text{GA}} \cdot F_{\text{G,k}} + \psi_{2,\text{Q}} \cdot F_{\text{Q,k}} \\ &= 1,0 \cdot 80 + 0,3 \cdot 100 &= 110,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{\text{d,fi}} = \frac{\psi_{1,\text{W}} \cdot q_{\text{W,k}} \cdot l^2}{8} = \frac{0,5 \cdot 1,6 \cdot 5,0^2}{8} = 2,5 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach DIN 4102-22**charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften**

$f_{\text{m,k}}$	=	28 N/mm ²
$f_{\text{c,0,k}}$	=	26,5 N/mm ²
$E_{0,\text{mean}}$	=	12600 N/mm ²
G_{mean}	=	780 N/mm ²
$E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 12600$	=	10500 N/mm ²
$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 780$	=	650 N/mm ²

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt**Querschnittswerte**

$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$	Abbrandrate	
$t_f = 30 \text{ min}$	Branddauer	
$d_0 = 7 \text{ mm}$		
$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,7 \cdot 30$		= 21 mm
$d_{\text{ef}} = d(t_f) + d_0 = 21 + 7$		= 28 mm
$b(t_f) = b - 2 \cdot d(t_f) = 20 - 2 \cdot 2,8$		= 14,4 cm
$h(t_f) = h - 1 \cdot d(t_f) = 30 - 1 \cdot 2,8$		= 27,2 cm
$A_r = b(t_f) \cdot h(t_f) = 14,4 \cdot 27,2$		= 391,68 cm ²
$W_{y,r} = \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{14,4 \cdot 27,2^2}{6}$		= 1775,62 cm ³

[3] 8.1

Theorie I. Ordnung

[1] Tab. F.9

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Tab. 74

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Gl. (9.1)

[6] Gl. (9)

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] 5.5.2.1 b)

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10)

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10.1)

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

[6] Gl. (10.3)

$$k_{fi} = 1,15$$

[6] 5.5.2.1 a)

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] Tab. 75

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{c,0,d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{26,5}{1,0} = 30,48 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{28}{1,0} = 32,20 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{10500}{1,0} = 12075 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{650}{1,0} = 747,5 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[1] 10.3

Knicklängen

$$l_{ef,y} = \beta_y \cdot l$$

$$l_{ef,z} = \beta_z \cdot l$$

$$\beta_y = \beta_z = 1,0 \quad (\text{Eulerfall 2})$$

[1] Tab E. 1

$$l_{ef,y} = l_{ef,z} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 5,0 = 5,0 \text{ m}$$

Schlankheit für das Knicken um die y-Achse

[1] 10.3.1

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{I_{y,r}/A_r}} = \frac{l_{ef,y}}{h(t_f)/\sqrt{12}} = \frac{5,0 \cdot 10^2}{27,2/\sqrt{12}} = 63,69$$

Schlankheit für das Knicken um die z-Achse

[1] 10.3.1

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{I_{z,r}/A_r}} = \frac{l_{ef,z}}{b(t_f)/\sqrt{12}} = \frac{5,0 \cdot 10^2}{14,4/\sqrt{12}} = 120,19$$

Knickbeiwerte

[1] 10.3.1

$$k_{c,fi} = \min \left\{ \frac{1}{\bar{k}_{fi} + \sqrt{\bar{k}_{fi}^2 - \lambda_{rel,c,fi}^2}} ; 1,0 \right\}$$

[1] Gl. (64)

$$\bar{k}_{fi} = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,c,fi}^2]$$

[1] Gl. (65)

$$\beta_c = 0,1 \quad (\text{für Brettschichtholz})$$

$$\lambda_{\text{rel,c,y,fi}} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad [1] \text{ Gl. (66)}$$

$$= \frac{63,69}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{30,48}{12075}} = 1,02$$

$$\lambda_{\text{rel,c,z,fi}} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad [1] \text{ Gl. (66)}$$

$$= \frac{120,19}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{30,48}{12075}} = 1,92$$

$$\bar{k}_{y,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,02 - 0,3) + 1,02^2 \right] = 1,06$$

$$\bar{k}_{z,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,92 - 0,3) + 1,92^2 \right] = 2,42$$

$$k_{c,y,fi} = \min \left\{ \frac{1}{1,06 + \sqrt{1,06^2 - 1,02^2}} ; 1,0 \right\} = 0,74$$

$$k_{c,z,fi} = \min \left\{ \frac{1}{2,42 + \sqrt{2,42^2 - 1,92^2}} ; 1,0 \right\} = 0,26$$

Kippbeiwert

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m,fi}} & \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{\text{rel,m,fi}}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{\text{rel,m,fi}} \end{cases} \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef,y,fi}} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}} \quad [1] \text{ Gl. (69)}$$

$$\lambda_{\text{rel,m,fi}} = \sqrt{\frac{5,0 \cdot 10^3 \cdot 27,2 \cdot 10}{\pi \cdot (14,4 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32,2}{\sqrt{12075 \cdot 747,5}}} = 0,47$$

$$k_{m,fi} = 1,0$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

Ek 1

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{167,7 \cdot 10^3}{391,68 \cdot 10^2} = 4,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{2,93 \cdot 10^6}{1775,62 \cdot 10^3} = 1,65 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{4,28}{0,74 \cdot 30,48} + \frac{1,65}{1,0 \cdot 32,2} \quad [1] \text{ Gl. (71)}$$

$$= 0,24 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{\text{red}} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{4,28}{0,26 \cdot 30,48} + 0,7 \cdot \frac{1,65}{1,0 \cdot 32,2} \quad [1] \text{ Gl. (72)}$$

$$= 0,58 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Ek 2

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{138,45 \cdot 10^3}{391,68 \cdot 10^2} = 3,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{4,88 \cdot 10^6}{1775,62 \cdot 10^3} = 2,75 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,53}{0,74 \cdot 30,48} + \frac{2,75}{1,0 \cdot 32,2} \quad [1] \text{ Gl. (71)}$$

$$= 0,24 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,53}{0,26 \cdot 30,48} + 0,7 \cdot \frac{2,75}{1,0 \cdot 32,2} \quad [1] \text{ Gl. (72)}$$

$$= 0,51 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

Ek 1

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{130 \cdot 10^3}{391,68 \cdot 10^2} = 3,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{0}{1775,62} = 0 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,32}{0,74 \cdot 30,48} + 0 \quad [1] \text{ Gl. (71)}$$

$$= 0,15 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,32}{0,26 \cdot 30,48} + 0 \quad [1] \text{ Gl. (72)}$$

$$= 0,42 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Ek 2

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{110 \cdot 10^3}{391,68 \cdot 10^2} = 2,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{1775,62 \cdot 10^3} = 1,41 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,81}{0,74 \cdot 30,48} + \frac{1,41}{1,0 \cdot 32,2} \quad [1] \text{ Gl. (71)}$$

$$= 0,17 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,81}{0,26 \cdot 30,48} + 0,7 \cdot \frac{1,41}{1,0 \cdot 32,2}$$

$$= 0,39 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

[1] Gl. (72)

Genauerer Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit

[6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate}$$

[6] Tab. 74

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9.1)

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d(t_f) = 20 - 2 \cdot 21 = 15,8 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 1 \cdot d(t_f) = 30 - 1 \cdot 21 = 27,9 \text{ cm}$$

$$u_r = 1 \cdot b(t_f) + 2 \cdot h(t_f) = 15,8 + 2 \cdot 27,9 = 71,6 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t_f) \cdot h(t_f) = 15,8 \cdot 27,9 = 440,82 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t_f) \cdot h(t_f)^2}{6} = \frac{15,8 \cdot 27,9^2}{6} = 2049,81 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10)

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10.1)

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10.3)

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{71,6 \cdot 10^{-2}}{440,82 \cdot 10^{-4}} = 0,87$$

[6] Gl. (10.4)

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{71,6 \cdot 10^{-2}}{440,82 \cdot 10^{-4}} = 0,93$$

[6] Gl. (10.5)

$$k_{mod,E,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{71,6 \cdot 10^{-2}}{440,82 \cdot 10^{-4}} = 0,95$$

[6] Gl. (10.6)

$$k_{mod,G,fi} = k_{mod,E,fi} = 0,95$$

$$k_{fi} = 1,15$$

[6] Tab. 75

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{c,0,d,fi} = 0,87 \cdot 1,15 \cdot \frac{26,5}{1,0} = 26,51 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,fi} = 0,93 \cdot 1,15 \cdot \frac{28}{1,0} = 29,95 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 0,95 \cdot 1,15 \cdot \frac{10500}{1,0} = 11471,3 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = 0,95 \cdot 1,15 \cdot \frac{650}{1,0} = 710,1 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

[1] 10.3

Knicklängen

$$l_{ef,y} = \beta_y \cdot l$$

$$l_{ef,z} = \beta_z \cdot l$$

$$\beta_y = \beta_z = 1,0 \quad (\text{Eulerfall 2})$$

[1] Tab E. 1

$$l_{ef,y} = l_{ef,z} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 5,0 = 5,0 \text{ m}$$

Schlankheit für das Knicken um die y-Achse

[1] 10.3.1

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{I_{y,r}/A_r}} = \frac{l_{ef,y}}{h(t_f)/\sqrt{12}} = \frac{5,0 \cdot 10^2}{27,9/\sqrt{12}} = 62,11$$

Schlankheit für das Knicken um die z-Achse

[1] 10.3.1

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{I_{z,r}/A_r}} = \frac{l_{ef,z}}{b(t_f)/\sqrt{12}} = \frac{5,0 \cdot 10^2}{15,8/\sqrt{12}} = 109,65$$

Knickbeiwerte

[1] 10.3.1

$$k_{c,fi} = \min \left\{ \frac{1}{\bar{k}_{fi} + \sqrt{\bar{k}_{fi}^2 - \lambda_{rel,c,fi}^2}} ; 1,0 \right\}$$

[1] Gl. (64)

$$\bar{k}_{fi} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,c,fi}^2 \right]$$

[1] Gl. (65)

$$\beta_c = 0,1 \quad (\text{für Brettschichtholz})$$

$$\lambda_{rel,c,y,fi} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}}$$

[1] Gl. (66)

$$= \frac{62,11}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,51}{11471,3}} = 0,95$$

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}}$$

[1] Gl. (66)

$$= \frac{109,65}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,51}{11471,3}} = 1,68$$

$$\bar{k}_{y,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (0,95 - 0,3) + 0,95^2 \right] = 0,98$$

$$\bar{k}_{z,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,68 - 0,3) + 1,68^2 \right] = 1,98$$

$$k_{c,y,fi} = \min \left\{ \frac{1}{0,98 + \sqrt{0,98^2 - 0,95^2}} ; 1,0 \right\} = 0,82$$

$$k_{c,z,fi} = \min \left\{ \frac{1}{1,98 + \sqrt{1,98^2 - 1,68^2}} ; 1,0 \right\} = 0,33$$

Kippbeiwert

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m,fi}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases} \quad [1] \text{ Gl. (68)}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{I_{ef,y,fi} \cdot h(t_f)}{\pi \cdot b(t_f)^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sqrt{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}}} \quad [1] \text{ Gl. (69)}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{5,0 \cdot 10^3 \cdot 27,9 \cdot 10}{\pi \cdot (15,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{29,95}{\sqrt{11471,3 \cdot 710,1}}} = 0,43$$

$$k_{m,fi} = 1,0$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

Ek 1

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{167,7 \cdot 10^3}{440,82 \cdot 10^2} = 3,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{2,93 \cdot 10^6}{2049,81 \cdot 10^3} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,8}{0,82 \cdot 26,51} + \frac{1,43}{1,0 \cdot 29,95} = 0,22 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (71)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,8}{0,33 \cdot 26,51} + 0,7 \cdot \frac{1,43}{1,0 \cdot 29,95} = 0,47 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (72)}$$

Ek 2

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{138,45 \cdot 10^3}{440,82 \cdot 10^2} = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{4,88 \cdot 10^6}{2049,81 \cdot 10^3} = 2,38 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,14}{0,82 \cdot 26,51} + \frac{2,38}{1,0 \cdot 29,95} = 0,22 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (71)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,14}{0,33 \cdot 26,51} + 0,7 \cdot \frac{2,38}{1,0 \cdot 29,95} = 0,41 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (72)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

Ek 1

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{130 \cdot 10^3}{440,82 \cdot 10^2} = 2,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{0}{2049,81} = 0 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,95}{0,82 \cdot 26,51} + 0 \quad [1] \text{ Gl. (71)}$$

$$= 0,14 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,95}{0,33 \cdot 26,51} + 0 \quad [1] \text{ Gl. (72)}$$

$$= 0,34 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Ek 2

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{110 \cdot 10^3}{440,82 \cdot 10^2} = 2,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{2049,81 \cdot 10^3} = 1,22 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,5}{0,82 \cdot 26,51} + \frac{1,22}{1,0 \cdot 29,95} \quad [1] \text{ Gl. (71)}$$

$$= 0,16 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,5}{0,33 \cdot 26,51} + 0,7 \cdot \frac{1,22}{1,0 \cdot 29,95} \quad [1] \text{ Gl. (72)}$$

$$= 0,31 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2

Die Bemessung der Brettschichtholzstütze für den Brandfall erfolgt nach EN 1995-1-2 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[10] 6.4.3.2 (3), Gl. (10)

[10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$\begin{aligned}
 F_{G,d} &= \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 80 &= 108,0 \text{ kN} \\
 F_{Q,d} &= \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 100 &= 150,0 \text{ kN} \\
 q_{W,d} &= \gamma_Q \cdot q_{W,k} = 1,50 \cdot 1,6 &= 2,4 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Eigengewicht
Nutzlasten (Kat. B)
Wind

Einwirkungskombinationen (Ek)Kombinationsbeiwerte ψ_0

$$\psi_{0,Q} = 0,7$$

$$\psi_{0,W} = 0,6$$

$$\text{Ek 1: } F_{G,d} \oplus F_{Q,d} \oplus 0,6 \cdot q_{W,d}$$

$$\text{Ek 2: } F_{G,d} \oplus q_{W,d} \oplus 0,7 \cdot F_{Q,d}$$

[10] Tab. A.1.1
Nutzlasten (Kat. B)
Wind

bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Theorie I. Ordnung

Einwirkungskombination Ek 1

$$N_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 108 + 150 = 258,0 \text{ kN}$$

$$M_d = \frac{0,6 \cdot q_{W,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,6 \cdot 2,4 \cdot 5,0^2}{8} = 4,5 \text{ kNm}$$

Einwirkungskombination Ek 2

$$N_d = F_{G,d} + 0,7 \cdot F_{Q,d} = 108 + 0,7 \cdot 150 = 213,0 \text{ kN}$$

$$M_d = \frac{q_{W,d} \cdot l^2}{8} = \frac{2,4 \cdot 5,0^2}{8} = 7,5 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach EN 1995-1-2**Vereinfachte Methode**

[13] 2.4.2 (2)

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

[13] 2.4.2 (3)

Einwirkungskombination Ek 1

$$N_{d,fi} = 0,6 \cdot 258 = 154,8 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = 0,6 \cdot 4,5 = 2,7 \text{ kNm}$$

Einwirkungskombination Ek 2

$$N_{d,fi} = 0,6 \cdot 213 = 127,8 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = 0,6 \cdot 7,5 = 4,5 \text{ kNm}$$

Genauere Methode

[13] 2.4.2 (1)

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

[10] Gl. (6.11b)

$$\text{hier: } \psi_{1,Q} = 0,5 \quad \psi_{2,Q} = 0,3$$

[10] Tab. A.1.1

$$\psi_{1,W} = 0,2 \quad \psi_{2,W} = 0$$

[10] Tab. A.1.1

Einwirkungskombinationen

$$\text{Ek 1: } \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} \oplus \psi_{1,Q} \cdot F_{Q,k} \oplus \psi_{2,W} \cdot q_{W,k}$$

$$\text{Ek 2: } \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} \oplus \psi_{1,W} \cdot q_{W,k} \oplus \psi_{2,Q} \cdot F_{Q,k}$$

bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Ek 1

$$N_{d,fi} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{1,Q} \cdot F_{Q,k} \\ = 1,0 \cdot 80 + 0,5 \cdot 100 = 130,0 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = \frac{\psi_{2,W} \cdot q_{W,k} \cdot l^2}{8} = 0$$

Ek 2

$$N_{d,fi} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{2,Q} \cdot F_{Q,k} \\ = 1,0 \cdot 80 + 0,3 \cdot 100 = 110,0 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = \frac{\psi_{1,W} \cdot q_{W,k} \cdot l^2}{8} = \frac{0,2 \cdot 1,6 \cdot 5,0^2}{8} = 1,0 \text{ kNm}$$

Bemessung für den Brandfall nach EN 1995-1-2

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 10200 \text{ N/mm}^2$$

[8] Tab. 1

Methode mit reduziertem Querschnitt

[14] 4.2.2

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [14] \text{ Tab. 3.1}$$

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

$$k_0 = 1,0 \quad [14] \text{ Tab. 4.1}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad [14] 4.2.2$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 21 + 1,0 \cdot 7 = 28 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (4.1)}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{ef} = 20 - 2 \cdot 2,8 = 14,4 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 1 \cdot d_{ef} = 30 - 1 \cdot 2,8 = 27,2 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 14,4 \cdot 27,2 = 391,68 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{14,4 \cdot 27,2^2}{6} = 1775,62 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.2) u. (2.5)

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

[14] 4.2.2 (5)

$$k_{fi} = 1,15$$

[14] Tab. 2.1

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[14] 2.3 (1)

$$f_{c,0,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 26,5}{1,0} = 30,48 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 28}{1,0} = 32,2 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 10200}{1,0} = 11730 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegeknicken

[13] 6.3.1 (3)

Knicklängen

$$l_{ef,y} = \beta_y \cdot l$$

$$l_{ef,z} = \beta_z \cdot l$$

$$\beta_y = \beta_z = 1,0 \quad (\text{Eulerfall 2})$$

$$l_{ef,y} = l_{ef,z} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 5,0 = 5,0 \text{ m}$$

Schlankheit für das Knicken um die y-Achse

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{I_{y,r}/A_r}} = \frac{l_{ef,y}}{h(t)/\sqrt{12}} = \frac{5,0 \cdot 10^2}{27,2/\sqrt{12}} = 63,69$$

Schlankheit für das Knicken um die z-Achse

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{I_{z,r}/A_r}} = \frac{l_{ef,z}}{b(t)/\sqrt{12}} = \frac{5,0 \cdot 10^2}{14,4/\sqrt{12}} = 120,19$$

Knickbeiwerte

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

[13] Gl. (25)

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

[13] Gl. (26)

$$k_{y,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,y,fi}^2 \right]$$

[13] Gl. (6.27)

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,z,fi}^2 \right]$$

[13] Gl. (6.28)

$$\beta_c = 0,1 \quad (\text{für Brettschichtholz})$$

$$\lambda_{rel,y,fi} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}}$$

[13] Gl. (6.21)

$$= \frac{63,69}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{30,48}{11730}} = 1,03$$

$$\lambda_{rel,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}}$$

[13] Gl. (6.22)

$$= \frac{120,19}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{30,48}{11730}} = 1,95$$

$$k_{y,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,03 - 0,3) + 1,03^2 \right] = 1,07$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,95 - 0,3) + 1,95^2 \right] = 2,48$$

$$k_{c,y,fi} = \frac{1}{1,07 + \sqrt{1,07^2 - 1,03^2}} = 0,74$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{2,48 + \sqrt{2,48^2 - 1,95^2}} = 0,25$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

Ek 1

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{154,8 \cdot 10^3}{391,68 \cdot 10^2} = 3,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{2,7 \cdot 10^6}{1775,62 \cdot 10^3} = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,95}{0,74 \cdot 30,48} + \frac{1,52}{32,2} = 0,22 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.23)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,95}{0,25 \cdot 30,48} + 0,7 \cdot \frac{1,52}{32,2} = 0,55 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.24)}$$

Ek 2

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{127,8 \cdot 10^3}{391,68 \cdot 10^2} = 3,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{4,5 \cdot 10^6}{1775,62 \cdot 10^3} = 2,53 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,26}{0,74 \cdot 30,48} + \frac{2,53}{32,2} = 0,22 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.23)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,26}{0,25 \cdot 30,48} + 0,7 \cdot \frac{2,53}{32,2} = 0,48 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.24)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

Ek 1

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{130 \cdot 10^3}{391,68 \cdot 10^2} = 3,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{0}{1775,62} = 0 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,32}{0,74 \cdot 30,48} + 0 = 0,15 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.23)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,32}{0,25 \cdot 30,48} + 0 = 0,44 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.24)}$$

Ek 2

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{110 \cdot 10^3}{391,68 \cdot 10^2} = 2,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{1,0 \cdot 10^6}{1775,62 \cdot 10^3} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,81}{0,74 \cdot 30,48} + \frac{0,56}{32,2} = 0,14 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.23)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,81}{0,25 \cdot 30,48} + 0,7 \cdot \frac{0,56}{32,2} = 0,38 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.24)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [14] \text{ Tab. 3.1}$$

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

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{char,n} = 20 - 2 \cdot 2,1 = 15,8 \text{ cm} \quad [14] \text{ Gl. (4.1)}$$

$$h(t) = h - 1 \cdot d_{char,n} = 30 - 1 \cdot 2,1 = 27,9 \text{ cm}$$

$$p = 1 \cdot b(t) + 2 \cdot h(t) = 15,8 + 2 \cdot 27,9 = 71,6 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 15,8 \cdot 27,9 = 440,82 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b(t) \cdot h(t)^2}{6} = \frac{15,8 \cdot 27,9^2}{6} = 2049,81 \text{ cm}^3$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] 2.3

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot E_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.2) u. (2.5)

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{\rho}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{71,6 \cdot 10^{-2}}{440,82 \cdot 10^{-4}} = 0,87$$

[14] Gl. (4.3)

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{\rho}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{71,6 \cdot 10^{-2}}{440,82 \cdot 10^{-4}} = 0,92$$

[14] Gl. (4.2)

$$k_{mod,E,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{\rho}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{71,6 \cdot 10^{-2}}{440,82 \cdot 10^{-4}} = 0,95$$

[14] Gl. (4.4)

$$k_{fi} = 1,15$$

[14] Tab. 2.1

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[14] 2.3 (1)

$$f_{c,0,d,fi} = 0,87 \cdot \frac{1,15 \cdot 26,5}{1,0} = 26,51 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,fi} = 0,92 \cdot \frac{1,15 \cdot 28}{1,0} = 29,62 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 0,95 \cdot \frac{1,15 \cdot 1020}{1,0} = 11143,5 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis für Biegeknicken

[13] 6.3.1 (3)

Knicklängen

$$l_{ef,y} = \beta_y \cdot l$$

$$l_{ef,z} = \beta_z \cdot l$$

$$\beta_y = \beta_z = 1,0 \quad (\text{Eulerfall 2})$$

$$l_{ef,y} = l_{ef,z} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 5,0 = 5,0 \text{ m}$$

Schlankheit für das Knicken um die y-Achse

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{I_{y,r}/A_r}} = \frac{l_{ef,y}}{h(t_f)/\sqrt{12}} = \frac{5,0 \cdot 10^2}{27,9/\sqrt{12}} = 62,11$$

Schlankheit für das Knicken um die z-Achse

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{I_{z,r}/A_r}} = \frac{l_{ef,z}}{b(t_f)/\sqrt{12}} = \frac{5,0 \cdot 10^2}{15,8/\sqrt{12}} = 109,65$$

Knickbeiwerte

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

[13] Gl. (25)

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

[13] Gl. (26)

$$k_{y,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,y,fi}^2 \right] \quad [13] \text{ Gl. (6.27)}$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,z,fi}^2 \right] \quad [13] \text{ Gl. (6.28)}$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (für Brettschichtholz)}$$

$$\lambda_{rel,y,fi} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad [13] \text{ Gl. (6.21)}$$

$$= \frac{62,11}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,51}{11143,5}} = 0,96$$

$$\lambda_{rel,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad [13] \text{ Gl. (6.22)}$$

$$= \frac{109,65}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,51}{11143,5}} = 1,70$$

$$k_{y,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (0,96 - 0,3) + 0,96^2 \right] = 0,99$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,70 - 0,3) + 1,70^2 \right] = 2,02$$

$$k_{c,y,fi} = \frac{1}{0,99 + \sqrt{0,99^2 - 0,96^2}} = 0,81$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{2,02 + \sqrt{2,02^2 - 1,7^2}} = 0,32$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

Ek 1

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{154,8 \cdot 10^3}{440,82 \cdot 10^2} = 3,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{2,7 \cdot 10^6}{2049,81 \cdot 10^3} = 1,32 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,51}{0,81 \cdot 26,51} + \frac{1,32}{29,62} \quad [13] \text{ Gl. (6.23)}$$

$$= 0,21 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,51}{0,32 \cdot 26,51} + 0,7 \cdot \frac{1,32}{29,62} \quad [13] \text{ Gl. (6.24)}$$

$$= 0,44 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Ek 2

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{127,8 \cdot 10^3}{440,82 \cdot 10^2} = 2,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{4,5 \cdot 10^6}{2049,81 \cdot 10^3} = 2,20 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,9}{0,81 \cdot 26,51} + \frac{2,2}{29,62} \quad [13] \text{ Gl. (6.23)}$$

$$= 0,21 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,9}{0,32 \cdot 26,51} + 0,7 \cdot \frac{2,2}{29,62} \quad [13] \text{ Gl. (6.24)}$$

$$= 0,39 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

Ek 1

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{130 \cdot 10^3}{440,82 \cdot 10^2} = 2,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{0}{2049,81} = 0 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,95}{0,81 \cdot 26,51} + 0 \quad [13] \text{ Gl. (6.23)}$$

$$= 0,14 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,95}{0,32 \cdot 26,51} + 0 \quad [13] \text{ Gl. (6.24)}$$

$$= 0,35 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Ek 2

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{110 \cdot 10^3}{440,82 \cdot 10^2} = 2,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{1,0 \cdot 10^6}{2049,81 \cdot 10^3} = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,5}{0,81 \cdot 26,51} + \frac{0,49}{29,62} \quad [13] \text{ Gl. (6.23)}$$

$$= 0,13 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} = \frac{2,5}{0,32 \cdot 26,51} + 0,7 \cdot \frac{0,49}{29,62} \quad [13] \text{ Gl. (6.24)}$$

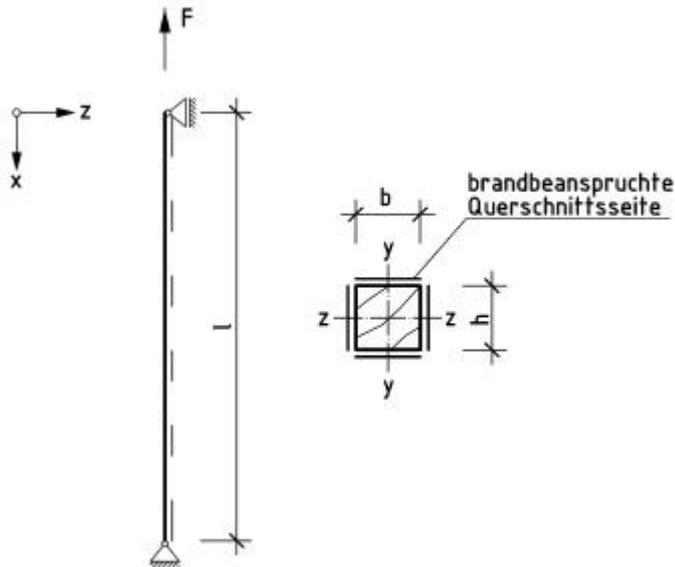
$$= 0,31 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungs- verfahren	Einwirkungser- mittlung	Ergebnis der Bemessung	
		GL 28h	GL 36h
DIN 4102-4	Volllast	0,54	
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,58	0,49
	Genau	0,42	0,36
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,47	0,40
	Genau	0,34	0,29
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,55	0,47
	Genau $\psi_{1,1}$	0,44	0,37
	$\psi_{2,1}$	0,37	0,32
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,44	0,38
	Genau $\psi_{1,1}$	0,35	0,30
	$\psi_{2,1}$	0,29	0,25

Beispiel B.5.1

Zugstab 10/10 cm für den Brandfall (F30), 4-seitig brandbeansprucht



$F_{G,k} = 20 \text{ kN}$ (ständig)
 $F_{Q,k} = 30 \text{ kN}$ (veränderlich-mittel -
 Kategorie A)

Nutzungsklasse 2

Zugstab: $b/h = 100/100 \text{ mm}$

Stablänge: $l = 4,00 \text{ m}$

Festigkeitsklasse C24

Brandbeanspruchung: vierseitig

Feuerwiderstandsdauer: $t_{fi} = 30 \text{ min}$

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

Die brandschutztechnische Bemessung wurde mit dem Brandschutzbemessungsprogramm BRABEM durchgeführt. Als Eingangsparameter für die Holzgüte wurde BSH II gewählt.

Der Ausnutzungsgrad im Brandfall beträgt 0,73%.
 Der Zugstab kann nach DIN 4102-4 in die Feuerwiderstandsklasse F30 eingestuft werden.

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 20 = 27,00 \text{ kN}$$

[3] 9.4 (4), Gl. (14)

[3] Tab. A.3

[3] 8.1

ständig

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,5 \cdot 30 = 45,00 \text{ kN}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 27,00 + 45,00 = 72,00 \text{ kN}$$

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

$$N_d = F_d = 72,00 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

$$N_{dA} = 0,65 \cdot N_d = 0,65 \cdot 72,00 = 46,80 \text{ kN}$$

Genauere Methode

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\text{hier: } \gamma_{GA,j} = 1,0$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A}$$

$$N_{dA} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{1,1} \cdot F_{Q,k} = 1,0 \cdot 20 + 0,5 \cdot 30 = 35,00 \text{ kN}$$

Bemessung für den Brandfall nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

Querschnittswerte

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

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d(t_f) + d_0 = 24 + 7 = 31 \text{ mm}$$

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d_{ef} = 10 - 2 \cdot 3,1 = 3,8 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d_{ef} = 10 - 2 \cdot 3,1 = 3,8 \text{ cm}$$

$$A_{n,r} = b(t_f) \cdot h(t_f) = 3,8 \cdot 3,8 = 14,44 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

veränderlich

Theorie I. Ordnung

[6] 6.1 Abs. 3

[6] Gl. (3)

[6] 4.1 Abs. 3

[6] Gl. (1)

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.2

[1] Tab. F.5

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Tab. 74

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Gl. (9.1)

[6] Gl. (9)

[1] 12.5.1 (7)

[6] 5.5.2.1 b)

[6] Gl. (10)

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Tab. 75

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

[6] 5.5.2.1 b)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{46,8 \cdot 10^3}{14,44 \cdot 10^2} = 32,41 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{32,41}{17,5} = 1,85 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{35,0 \cdot 10^3}{14,44 \cdot 10^2} = 24,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{24,24}{17,5} = 1,39 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Genaueres Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit

[6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

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

[6] Tab. 74

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9.1)

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d(t_f) = 10 - 2 \cdot 2,4 = 5,2 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 10 - 2 \cdot 2,4 = 5,2 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + 2 \cdot h(t_f) = 2 \cdot 5,2 + 2 \cdot 5,2 = 20,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = b(t_f) \cdot h(t_f)$$

[1] 12.5.1 (7)

$$= 5,2 \cdot 5,2 = 27,04 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [7] \text{ Gl. (10)}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [7] \text{ Gl. (10.6)}$$

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{20,8 \cdot 10^{-2}}{27,04 \cdot 10^{-4}} = 0,77$$

$$k_{fi} = 1,25$$

[6] Tab. 75

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{t,0,d,fi} = 0,77 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 13,47 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{46,8 \cdot 10^3}{27,04 \cdot 10^2} = 17,31 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{17,31}{13,47} = 1,29 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{35,0 \cdot 10^3}{27,04 \cdot 10^2} = 12,94 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{12,94}{13,47} = 0,96 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2

Die Bemessung der Brettschichtholzstütze für den Brandfall erfolgt nach EN 1995-1-2 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad [10] \text{ 6.4.3.2 (3), Gl. (10)}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$ [10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 20 = 27,00 \text{ kN} \quad \text{Eigenlast}$$

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 30 = 45,00 \text{ kN} \quad \text{Veränderliche}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 27,00 + 45,00 = 72,00 \text{ kN}$$

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

$$N_d = F_d = 72,00 \text{ kN} \quad \text{Theorie I. Ordnung}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach EN 1995-1-2

Vereinfachte Methode

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

$$N_{1,d,fi} = 0,6 \cdot N_{1,d} = 0,6 \cdot 72,0 = 43,2 \text{ kN}$$

Genauere Ermittlung der Einwirkung

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kat. A}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{1,1} \cdot F_{Q,k} = 1,0 \cdot 20 + 0,5 \cdot 30 = 35,00 \text{ kN}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3 \quad \text{Kat. A}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{2,1} \cdot F_{Q,k} = 1,0 \cdot 20 + 0,3 \cdot 30 = 29,00 \text{ kN}$$

Bemessung für den Brandfall nach EN 1995-1-2

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

Methode mit reduziertem Querschnitt

Querschnittswerte

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

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

$$k_0 = 1,0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm}$$

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0 = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31,0 \text{ mm}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 10 - 2 \cdot 3,1 = 3,8 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 10 - 2 \cdot 3,1 = 3,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = b(t) \cdot h(t) = 3,8 \cdot 3,8 = 14,44 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 14}{1,0} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

[14] 2.4.2 (2)

[14] Gl. (2.8) und
2.4.2 (3)

[14] 2.4.2 (1)

[10] Gl. (6.11b)

[10] Tab. A.1.1

[10] Tab. A.1.1

[7] Tab. F.1

[14] 4.2.2

[14] Tab. 3.1

[14] Tab. 4.1

[14] 4.2.2

[14] Gl. (3.2)

[14] Gl. (4.1)

[14] 2.3

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

[14] 4.2.2 (5)

[14] Tab. 2.1

[14] 2.3 (1)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{43,2 \cdot 10^3}{14,44 \cdot 10^2} = 29,91 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{29,91}{17,5} = 1,71 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5 : \quad \sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{35,0 \cdot 10^3}{14,44 \cdot 10^2} = 24,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{24,24}{17,5} = 1,39 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3 : \quad \sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{29,0 \cdot 10^3}{14,44 \cdot 10^2} = 20,08 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{20,08}{17,5} = 1,15 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

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

[14] Tab. 3.1

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

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 10 - 2 \cdot 2,4 = 5,2 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 10 - 2 \cdot 2,4 = 5,2 \text{ cm}$$

$$p = 2 \cdot b(t) + 2 \cdot h(t) = 2 \cdot 5,2 + 2 \cdot 5,2 = 20,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = b(t) \cdot h(t) = 5,2 \cdot 5,2 = 27,04 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} \quad [14] \text{ Gl. (4.4)}$$

$$= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{20,8 \cdot 10^{-2}}{27,04 \cdot 10^{-4}} = 0,77$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{t,0,d,fi} = 0,77 \cdot \frac{1,25 \cdot 14}{1,0} = 13,48 \text{ N/mm}^2$$

[14] 2.3 (1)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{n,r}} = \frac{43,2 \cdot 10^3}{27,04 \cdot 10^2} = 15,98 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{15,98}{13,48} = 1,19 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{n,r}} = \frac{35,0 \cdot 10^3}{27,04 \cdot 10^2} = 12,94 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{12,94}{13,48} = 0,96 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{n,r}} = \frac{29,0 \cdot 10^3}{27,04 \cdot 10^2} = 10,72 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

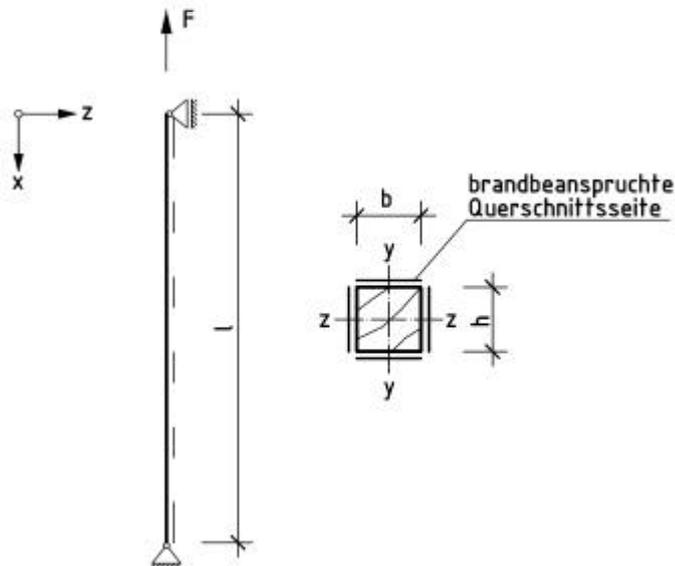
$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{10,72}{13,48} = 0,80 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungs- verfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung	
		Verhältnis Q_k / G_k	
		1,5 (30/20)	1,0 (25/25)
DIN 4102-4	Volllast	0,73	
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	1,85	1,83
	Genau	1,39	1,48
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	1,29	1,27
	Genau	0,96	1,02
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	1,71	1,69
	Genau $\psi_{1,1}$	1,39	1,48
	$\psi_{2,1}$	1,15	1,29
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	1,19	1,17
	Genau $\psi_{1,1}$	0,96	1,03
	$\psi_{2,1}$	0,80	0,89

Beispiel B.5.2

Zugstab 14/14 cm für den Brandfall (F30), 4-seitig brandbeansprucht



$F_{G,k} = 50 \text{ kN}$ (ständig)
 $F_{Q,k} = 100 \text{ kN}$ (veränderlich-mittel -
 Kategorie A)

Nutzungsklasse 2

Zugstab: $b/h = 140/140 \text{ mm}$

Stablänge: $l = 4,00 \text{ m}$

Festigkeitsklasse C24

Brandbeanspruchung: vierseitig

Feuerwiderstandsdauer: $t_{fi} = 30 \text{ min}$

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

Die brandschutztechnische Bemessung wurde mit dem Brandschutzbemessungsprogramm BRABEM durchgeführt. Als Eingangsparameter für die Holzgüte wurde BSH II gewählt.

Der Ausnutzungsgrad im Brandfall beträgt 65%.
 Der Zugstab kann nach DIN 4102-4 in die Feuerwiderstandsklasse F30 eingestuft werden.

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ kN}$$

[3] 9.4 (4), Gl. (14)

[3] Tab. A.3

[3] 8.1

ständig

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,5 \cdot 100 = 150,0 \text{ kN}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 67,5 + 150,0 = 217,5 \text{ kN}$$

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

$$N_d = F_d = 217,5 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

$$N_{dA} = 0,65 \cdot N_d = 0,65 \cdot 217,5 = 141,38 \text{ kN}$$

Genauere Methode

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\text{hier: } \gamma_{GA,j} = 1,0$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A}$$

$$N_{dA} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{1,1} \cdot F_{Q,k} = 1,0 \cdot 50 + 0,5 \cdot 100 = 100 \text{ kN}$$

Bemessung für den Brandfall nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

Querschnittswerte

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

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d(t_f) + d_0 = 24 + 7 = 31 \text{ mm}$$

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d_{ef} = 14 - 2 \cdot 3,1 = 7,8 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d_{ef} = 14 - 2 \cdot 3,1 = 7,8 \text{ cm}$$

$$A_{n,r} = b(t_f) \cdot h(t_f)$$

$$= 7,8 \cdot 7,8 = 60,84 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

veränderlich

Theorie I. Ordnung

[6] 6.1 Abs. 3

[6] Gl. (3)

[6] 4.1 Abs. 3

[6] Gl. (1)

[3] Tab. A.3

[3] Tab. A.2

[1] Tab. F.5

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Tab. 74

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Gl. (9.1)

[6] Gl. (9)

[1] 12.5.1 (7)

[6] 5.5.2.1 b)

[6] Gl. (10)

[6] 5.5.2.1 a)

[6] Tab. 75

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{141,38 \cdot 10^3}{60,84 \cdot 10^2} = 23,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{23,24}{17,5} = 1,33 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{100 \cdot 10^3}{60,84 \cdot 10^2} = 16,44 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{16,44}{17,5} = 0,94 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Genaueres Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit [6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [6] \text{ Tab. 74}$$

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm} \quad [6] \text{ Gl. (9.1)}$$

$$b(t_f) = b - 2 \cdot d(t_f) = 14 - 2 \cdot 2,4 = 9,2 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 14 - 2 \cdot 2,4 = 9,2 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + 2 \cdot h(t_f) = 2 \cdot 9,2 + 2 \cdot 9,2 = 36,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = b(t_f) \cdot h(t_f) \quad [1] \text{ 12.5.1 (7)}$$

$$= 9,2 \cdot 9,2 = 84,64 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall [6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [7] \text{ Gl. (10)}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [7] \text{ Gl. (10.6)}$$

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{36,8 \cdot 10^{-2}}{84,64 \cdot 10^{-4}} = 0,87$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [6] \text{ Tab. 75}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [6] \text{ 5.5.2.1 (b)}$$

$$f_{t,0,d,fi} = 0,87 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 15,23 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{141,38 \cdot 10^3}{84,64 \cdot 10^2} = 16,70 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{16,70}{15,23} = 1,10 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{100,0 \cdot 10^3}{84,64 \cdot 10^2} = 11,81 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{11,81}{15,23} = 0,87 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2**Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur****Kombinationsregel für Einwirkungen**

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad [10] \text{ 6.4.3.2 (3), Gl. (10)}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ kN} \quad \text{Eigenlast}$$

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 100 = 150,0 \text{ kN} \quad \text{Veränderliche}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 67,5 + 150,0 = 217,5 \text{ kN}$$

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Theorie I. Ordnung

$$N_d = F_d = 217,5 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Beanspruchung nach EN 1995-1-2**Vereinfachte Methode**

[14] 2.4.2 (2)

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

[14] Gl. (2.8) u. 2.4.2 (3)

$$N_{1,d,fi} = 0,6 \cdot N_{1,d} = 0,6 \cdot 217,5 = 130,5 \text{ kN}$$

Genauere Ermittlung der Einwirkung

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{1,1} \cdot F_{Q,k} = 1,0 \cdot 50 + 0,5 \cdot 100 = 100,0 \text{ kN}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3 \quad \text{Kategorie A}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{2,1} \cdot F_{Q,k} = 1,0 \cdot 50 + 0,3 \cdot 100 = 80,0 \text{ kN}$$

Bemessung für den Brandfall nach EN 1995-1-2**charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften**

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

Methode mit reduziertem Querschnitt**Querschnittswerte**

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

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

$$k_0 = 1,0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm}$$

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0 = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31,0 \text{ mm}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 14 - 2 \cdot 3,1 = 7,8 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 14 - 2 \cdot 3,1 = 7,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = b(t) \cdot h(t) = 7,8 \cdot 7,8 = 60,84 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 14}{1,0} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{130,5 \cdot 10^3}{60,84 \cdot 10^2} = 21,45 \text{ N/mm}^2$$

[14] 2.4.2 (1)

[10] Gl. (6.11b)

[10] Tab. A.1.1

[10] Tab. A.1.1

[7] Tab. F.1

[14] 4.2.2

[14] Tab. 3.1

[14] Tab. 4.1

[14] 4.2.2

[14] Gl. (3.2)

[14] Gl. (4.1)

[14] 2.3

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

[14] 4.2.2 (5)

[14] Tab. 2.1

[14] 2.3 (1)

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{21,45}{17,5} = 1,23 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{100,0 \cdot 10^3}{60,84 \cdot 10^2} = 16,44 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{16,44}{17,5} = 0,95 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{dA}}{A_{n,r}} = \frac{80,0 \cdot 10^3}{60,84 \cdot 10^2} = 13,15 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{13,15}{17,5} = 0,75 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [14] \text{ Tab. 3.1}$$

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

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$b(t) = b - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 14 - 2 \cdot 2,4 = 9,2 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 14 - 2 \cdot 2,4 = 9,2 \text{ cm}$$

$$p = 2 \cdot b(t) + 2 \cdot h(t) = 2 \cdot 9,2 + 2 \cdot 9,2 = 36,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = b(t) \cdot h(t) = 9,2 \cdot 9,2 = 84,64 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} \quad [14] \text{ Gl. (4.4)}$$

$$= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{36,8 \cdot 10^{-2}}{84,64 \cdot 10^{-4}} = 0,87$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [14] 2.3 (1)$$

$$f_{t,0,d,fi} = 0,87 \cdot \frac{1,25 \cdot 14}{1,0} = 15,23 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{n,r}} = \frac{130,5 \cdot 10^3}{84,64 \cdot 10^2} = 15,42 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{15,42}{15,23} = 1,01 > 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{n,r}} = \frac{100,0 \cdot 10^3}{84,64 \cdot 10^2} = 11,81 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{11,81}{15,23} = 0,78 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{n,r}} = \frac{80,0 \cdot 10^3}{84,64 \cdot 10^2} = 9,45 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{9,45}{15,23} = 0,62 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

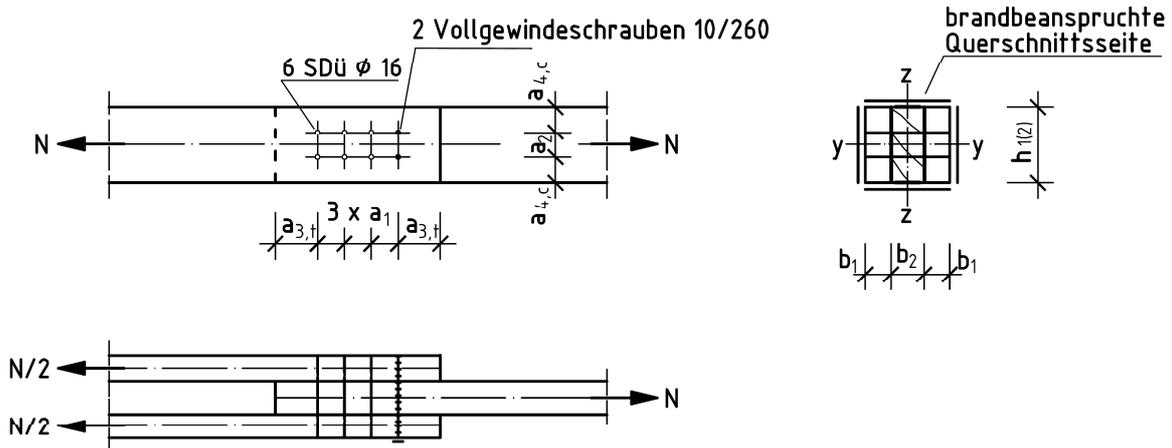
Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungs- verfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung	
		Verhältnis Q_k / G_k	
		2,0 (100/50)	1,0 (75/75)
DIN 4102-4	Volllast	0,65	
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	1,33	1,31
	Genau	0,94	1,05
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	1,10	1,08
	Genau	0,77	0,87
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	1,23	1,20
	Genau $\psi_{1,1}$	0,94	1,05
	$\psi_{2,1}$	0,75	0,92
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	1,01	0,99
	Genau $\psi_{1,1}$	0,78	0,87
	$\psi_{2,1}$	0,62	0,76

Anhang C Bemessungsbeispiele für Holzverbindungen

Beispiel C.1

Zweischnittige Zugverbindung mit Stabdübeln für den Brandfall (F30)



$F_{G,k} = 40 \text{ kN}$ (ständig)

$F_{Q,k} = 30 \text{ kN}$ (veränderlich)

Brandbeanspruchung: vierseitig

Feuerwiderstandsdauer: $t_{fi} = 30 \text{ min}$

Die Mindestabstände sind eingehalten.

Seitenhölzer: $b_1/h_1 = 80/180 \text{ mm}$

Mittelholz: $b_2/h_2 = 100/180 \text{ mm}$

Festigkeitsklasse C24

Stabdübel S 235, $d = 16 \text{ mm}$

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

$$N \leq 1,25 \cdot \text{zul}\sigma_1 \cdot (a_s - 30 \cdot v) \cdot d_{st} \cdot \eta \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{360}\right) = \text{zul}N$$

[5] Gl.(20)

$$N = F_{G,k} + F_{Q,k} = 40 + 30 = 70 \text{ kN}$$

$$v = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{für Vollholz}$$

[5] 5.5.4.2

$$\eta = \frac{(d_{st}/a_s)}{\min(d_{st}/a_s)} \leq 1,0$$

[5] Gl. (18)

$$\min(d_{st}/a_s) = 0,16 \cdot \sqrt{a_m/a_s} \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{l_{st}}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

[5] Gl. (21)

$$l_{st} = 2 \cdot a_s + a_m \geq 120$$

$$= 2 \cdot 80 + 100 = 260 > 120$$

$$l'_{st} = l_{st} = 260 \text{ mm}$$

[5] 5.8.4.1

$$\alpha = 0^\circ$$

[5] 5.8.4.1

$$\min(d_{st}/a_s) = 0,16 \cdot \sqrt{100/80} \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{260}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{0}{360}\right) = 0,18$$

$$\eta = \frac{16/80}{0,18} = \underline{1,11} > 1,0 \quad \text{keine Abminderung erforderlich}$$

$$\sigma_1 = 5,5 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{zulN} = 1,25 \cdot 5,5 \cdot (80 - 30 \cdot 0,8) \cdot 16 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{0}{360}\right) = 6160 \text{ N}$$

Nachweis:

$$\frac{N}{n \cdot \text{zulN}} = \frac{70}{12 \cdot 6,16} = \underline{0,95} < 1,0$$

[2] Tab. 10

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Die Holzbauteile der Zugverbindung werden nach DIN 4102-22 nach dem Vereinfachten und dem Genauerem Verfahren bemessen.

Für die beiden Seitenhölzer ergibt sich eine vierseitige Brandbeanspruchung, das Mittelholz wird dreiseitig brandbeansprucht. Die Bemessung im Brandfall erfolgt daher nur für die Seitenhölzer.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad [3] \text{ 9.4 (4), Gl. (14)}$$

$$\text{hier: } \gamma_{G,j} = 1,35 \text{ und } \gamma_{Q,1} = 1,5$$

[3] Tab. A.3

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ kN}$$

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 30 = 45 \text{ kN}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 54 + 45 = 99 \text{ kN}$$

[3] 8.1

Eigenlast

Veränderliche

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Theorie I. Ordnung

$$N_{1,d} = \frac{F_d}{2} = \frac{99}{2} = 49,5 \text{ kN}$$

$$N_{2,d} = F_d = 99,0 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

[6] 6.1 Abs. 3

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

[6] Gl. (3)

$$N_{1,dA} = 0,65 \cdot N_{1,d} = 0,65 \cdot 49,5 = 32,18 \text{ kN}$$

Genauere Methode

[6] 4.1 Abs. 3

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[6] Gl. (1)

hier: $\gamma_{GA,j} = 1,0$

$\psi_{1,1} = 0,5$ Kategorie A

$$N_{1,dA} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \psi_{1,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{40}{2} + 0,5 \cdot \frac{30}{2} = 27,5 \text{ kN}$$

[3] Tab. A.3

[3] Tab A.2

Bemessung der Verbindung nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

[1] Tab. F.5

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

[6] 5.5.2.1 a)

Querschnittswerte

$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min}$ Abbrandrate

[6] Tab. 74

$t_f = 30 \text{ min}$ Branddauer

$d_0 = 7 \text{ mm}$

[6] 5.5.2.1 a)

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9.1)

$$d_{ef} = d(t_f) + d_0 = 24 + 7 = 31 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9)

$$b(t_f) = b - d_{ef} = 8 - 3,1 = 4,9 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d_{ef} = 18 - 2 \cdot 3,1 = 11,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 2 \cdot \Delta A_{St,r} = b_1(t_f) \cdot h_1(t_f) - 2 \cdot [d \cdot b_1(t_f)]$$

$$= 4,9 \cdot 11,8 - 2 \cdot (16 \cdot 10^{-1} \cdot 4,9) = 42,14 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10)

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 a)

$$k_{fi} = 1,25$$

[6] Tab. 75

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{32,18 \cdot 10^3}{42,14 \cdot 10^2} = 7,64 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{7,64}{2/3 \cdot 17,5} = 0,65 < 1,0$$

Nachweis erbracht

[1] Gl. (43)

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{27,5 \cdot 10^3}{42,14 \cdot 10^2} = 6,53 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{6,53}{2/3 \cdot 17,5} = 0,56 < 1,0 \quad \text{Nachweis nicht erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Genauerer Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit [6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [6] \text{ Tab. 74}$$

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm} \quad [6] \text{ Gl. (9.1)}$$

$$b(t_f) = b - d(t_f) = 8 - 2,4 = 5,6 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 18 - 2 \cdot 2,4 = 13,2 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + h(t_f) - 2 \cdot d = 2 \cdot 5,6 + 13,2 - 2 \cdot 1,6 = 21,2 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 2 \cdot \Delta A_{St,r} = b_1(t_f) \cdot h_1(t_f) - 2 \cdot [d \cdot b_1(t_f)] \\ = 5,6 \cdot 13,2 - 2 \cdot (16 \cdot 10^{-1} \cdot 5,6) = 56,0 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall [6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [7] \text{ Gl. (10)}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [7] \text{ Gl. (10.6)}$$

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{21,2 \cdot 10^{-2}}{56 \cdot 10^{-4}} = 0,87$$

$$k_{fi} = 1,25 \quad [6] \text{ Tab. 75}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [6] 5.5.2.1 (b)$$

$$f_{t,0,d,fi} = 0,87 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 15,23 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{32,18 \cdot 10^3}{56 \cdot 10^2} = 5,75 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{5,75}{2/3 \cdot 15,23} = 0,57 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{27,5 \cdot 10^3}{56 \cdot 10^2} = 4,91 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,91}{2/3 \cdot 15,23} = 0,48 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Tragfähigkeitsnachweis für die Stabdübel im Brandfall

[6] 5.8.4.2

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Stabdübel im Brandfall

$$R_{k,fi} = k_{\text{conn,fi}} \cdot f_{h,1,k} \cdot (t_1 - 30 \cdot \beta_n) \cdot d \cdot \eta \cdot \frac{1}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad [6] \text{ Gl. (13.9)}$$

$$k_{\text{conn,fi}} = (0,18 + 0,003 \cdot d) \cdot \frac{450}{\rho} = \quad [3] \text{ Gl. (13.5)}$$

$$= (0,18 + 0,003 \cdot 16) \cdot \frac{450}{350} = 0,293$$

$$t_1 = b_{s1} = 80 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{d/t_1}{\min(d/t_1)} \leq 1,0 \quad [6] \text{ Gl. (13.7)}$$

$$\min(d/t_1) = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{t_2}{t_1}} \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{l'_{st}}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{360}\right) = \quad [6] \text{ Gl. (13.10)}$$

$$= 0,16 \cdot \sqrt{\frac{100}{80}} \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{260}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{0}{360}\right) =$$

$$\min(d/t_1) = 0,18$$

$$t_2 = b_2 = 100 \text{ mm}$$

$$l'_{st} = l_{st} = 260 \text{ mm} \quad \text{Stabdübel ohne Überstand} \quad [6] 5.8.4.1$$

$$\alpha = 0 \quad \text{Winkel zw. Kraft und Faserrichtung}$$

$$\eta = \frac{16/80}{0,18} = 1,08 > 1,0$$

$$\eta = 1,0$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad [1] \text{ Gl. (203)}$$

$$= 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 350 = 24,11 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{k,fi} = 0,293 \cdot 24,11 \cdot (80 - 30 \cdot 0,8) \cdot 16 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{k_{90} \cdot \sin^2 0 + \cos^2 0}$$

$$R_{k,fi} = 6329,55 \text{ N} \cong 6,30 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Stabdübel im Brandfall

[1] Gl. (195)

$$R_{d,fi} = k_{\text{mod,fi}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M}$$

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] Tab. 75

$$R_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{6,30}{1,0} = 7,25 \text{ kN}$$

Wirksame Anzahl für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel

[1] 12.3 (9)

$$n_{\text{ef}} = \left[\min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$$

[1] Gl. (210)

$$n_{ef} = \left[\min \left\{ 3; 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{80}{10 \cdot 16}} \right\} \right] \cdot \frac{90-0}{90} + 3 \cdot \frac{0}{90} = 2,26$$

$n = 3$ (Anzahl der Stabdübel in Faserrichtung hintereinander)

$a_1 = 80$ mm (Abstand der Stabdübel in Faserrichtung hintereinander)

Wirksame Gesamtzahl der Scherflächen $n_{ef,S}$:

$$n_{ef,S} = 4 \cdot n_{ef} = 4 \cdot 2,26 = 9,04$$

Nachweis der Verbindung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n_{ef,S} \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 32,18}{9,04 \cdot 7,25} = 0,98 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n_{ef,S} \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 27,5}{9,04 \cdot 7,25} = 0,84 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2

Die Zugverbindung wird für den Brandfall nach EN 1995-1-2 mit dem Vereinfachten und dem Genauerem Verfahren bemessen.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[10] 6.4.3.2 (3), Gl. (10)

[10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ kN}$$

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 30 = 45 \text{ kN}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 54 + 45 = 99 \text{ kN}$$

Eigenlast

Veränderliche

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Theorie I. Ordnung

$$N_{1,d} = \frac{F_d}{2} = \frac{99}{2} = 49,5 \text{ kN}$$

$$N_{2,d} = F_d = 99,0 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach EN 1995-1-2

Vereinfachte Methode

[14] 2.4.2 (2)

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

[14] Gl. (2.8) u. 2.4.2 (3)

$$N_{1,d,fi} = 0,6 \cdot N_{1,d} = 0,6 \cdot 49,5 = 29,7 \text{ kNm}$$

Genauere Ermittlung der Einwirkung

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \psi_{1,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{40}{2} + 0,5 \cdot \frac{30}{2} = 27,5 \text{ kN}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3 \quad \text{Kategorie A}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \psi_{2,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{40}{2} + 0,3 \cdot \frac{30}{2} = 24,5 \text{ kN}$$

Bemessung der Verbindung nach EN 1995-1-2

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

Methode mit reduziertem Querschnitt

Querschnittswerte

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

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

$$k_0 = 1,0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm}$$

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0 = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31,0 \text{ mm}$$

$$b(t) = b - d_{\text{ef}} = 8 - 3,1 = 4,9 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 18 - 2 \cdot 3,1 = 11,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 2 \cdot \Delta A_{\text{St},r} = b_1(t) \cdot h_1(t) - 2 \cdot [d \cdot b_1(t)] \\ = 4,9 \cdot 11,8 - 2 \cdot (16 \cdot 10^{-1} \cdot 4,9) = 42,14 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 14}{1,0} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

[14] 2.4.2 (1)

[10] Gl. (6.11b)

[10] Tab. A.1.1

[10] Tab. A.1.1

[7] Tab. F.1

[14] 4.2.2

[14] Tab. 3.1

[14] Tab. 4.1

[14] 4.2.2

[14] Gl. (3.2)

[14] Gl. (4.1)

[14] 2.3

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

[14] 4.2.2 (5)

[14] Tab. 2.1

[14] 2.3 (1)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{29,7 \cdot 10^3}{42,14 \cdot 10^2} = 7,05 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{7,05}{2/3 \cdot 17,5} = 0,60 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{27,5 \cdot 10^3}{42,14 \cdot 10^2} = 6,53 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{6,53}{2/3 \cdot 17,5} = 0,56 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{24,5 \cdot 10^3}{42,14 \cdot 10^2} = 5,81 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{5,81}{2/3 \cdot 17,5} = 0,50 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

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

[14] Tab. 3.1

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

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm}$$

[14] Gl. (3.2)

$$b(t) = b - d_{\text{char},n} = 8 - 2,4 = 5,6 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 18 - 2 \cdot 2,4 = 13,2 \text{ cm}$$

$$p = 2 \cdot b(t) + h(t) - 2 \cdot d = 2 \cdot 5,6 + 13,2 - 2 \cdot 1,6 = 21,2 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 2 \cdot \Delta A_{\text{St},r} = b_1(t) \cdot h_1(t) - 2 \cdot [d \cdot b_1(t)] \\ = 5,6 \cdot 13,2 - 2 \cdot (16 \cdot 10^{-1} \cdot 5,6) = 56,0 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} \quad [14] \text{ Gl. (4.4)}$$

$$= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{21,2 \cdot 10^{-2}}{56 \cdot 10^{-4}} = 0,89$$

$$k_{fi} = 1,25$$

[14] Tab. 2.1

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{t,0,d,fi} = 0,89 \cdot \frac{1,25 \cdot 14}{1,0} = 15,58 \text{ N/mm}^2$$

[14] 2.3 (1)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{29,7 \cdot 10^3}{56 \cdot 10^2} = 5,30 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{5,30}{2/3 \cdot 15,58} = 0,51 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

[13] Gl. (6.1)

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{27,5 \cdot 10^3}{56 \cdot 10^2} = 4,91 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,91}{2/3 \cdot 15,58} = 0,47 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

[13] Gl. (6.1)

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{24,5 \cdot 10^3}{56 \cdot 10^2} = 4,38 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Seitenhölzer

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,38}{2/3 \cdot 15,58} = 0,42 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

[13] Gl. (6.1)

Tragfähigkeitsnachweis für die Stabdübel im Brandfall

[14] 6.2.2.1

Die Bemessung erfolgt nach der Methode mit reduzierten Beanspruchungen.

$$t_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} 50 \\ 50 + 1,25 \cdot (d - 12) = 50 + 1,25 \cdot (16 - 12) = 55 \text{ mm} \end{array} \right.$$

[14] Gl. (6.4)

$$t_{1,vorh} = 80 \text{ mm} > 55 \text{ mm} = t_1$$

Charakteristischer mechanischer Widerstand eines Verbindungsmittels auf Abscheren

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk}$$

[14] Gl. (6.5)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right.$$

[13] Gl. (8.7)

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

[13] Gl. (8.32)

$$= 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 350 = 24,11 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1 \quad [13] \text{ Gl. (8.8)}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6} = 145927 \text{ Nmm} \quad [13] \text{ Gl. (8.30)}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,05 \cdot \frac{24,11 \cdot 80 \cdot 16}{2+1} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1+1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2+1) \cdot 145927}{24,11 \cdot 16 \cdot 80^2}} - 1 \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1+1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 145927 \cdot 24,11 \cdot 16} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 30869 \text{ N} \\ 19288 \text{ N} \\ 12638 \text{ N} \\ 12202 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (6.6)}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \cdot \frac{\eta_{fi} \cdot \gamma_{M,fi}}{\gamma_M \cdot k_{fi}} \quad [14] \text{ Gl. (6.7)}$$

$$k = 0,04 \quad [14] \text{ Tab. 6.3}$$

$$k_{fi} = 1,15 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [14] 2.3 (1)$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad [13] \text{ Tab. 2.3}$$

$$\eta_{fi} = 0,6 \quad [14] 2.4.2 (3) \text{ Anmerkung 2}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,04} \cdot \ln \cdot \frac{0,6 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15} = 22,82 \quad [14] \text{ Gl. (6.7)}$$

$$\eta = e^{-0,04 \cdot 22,82} = 0,401$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,401 \cdot 12,2 = 4,89 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.3) u. (2.6)}$$

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 4,89}{1,0} = 5,62 \text{ kN}$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad [14] 2.4.2 (3) \text{ Gl. (2.9)}$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A} \quad [10] \text{ Tab. A.1.1}$$

$$\eta_{fi} = \frac{40 + 0,5 \cdot 30}{1,35 \cdot 40 + 1,5 \cdot 30} = 0,556$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,04} \cdot \ln \cdot \frac{0,556 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15} = 24,75 \quad [14] \text{ Gl. (6.7)}$$

$$\eta = e^{-0,04 \cdot 24,75} = 0,372$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,372 \cdot 12,2 = 4,54 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.3) u. (2.6)}$$

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 4,54}{1,0} = 5,22 \text{ kN}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3 \quad \text{Kategorie A} \quad [10] \text{ Tab. A.1.1}$$

$$\eta_{fi} = \frac{40 + 0,3 \cdot 30}{1,35 \cdot 40 + 1,5 \cdot 30} = 0,495$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,04} \cdot \ln \cdot \frac{0,495 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15} = 27,63 \quad [14] \text{ Gl. (6.7)}$$

$$\eta = e^{-0,04 \cdot 27,63} = 0,331$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,331 \cdot 12,2 = 4,04 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.3) u. (2.6)}$$

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 4,04}{1,0} = 4,65 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right.$$

$$\left. = \min \left\{ 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{3}{13 \cdot 16}} \right. = 2,12 \right.$$

$$n_{ef,S} = 4 \cdot n_{ef} = 4 \cdot 2,12 = 8,48$$

Nachweis der Verbindung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n_{ef,S} \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 29,7}{8,48 \cdot 5,62} = \underline{1,25 > 1,0} \quad \text{Nachweis nicht erbracht}$$

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen $\psi_{1,1}$

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n_{ef,S} \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 27,5}{8,48 \cdot 5,22} = \underline{1,24 > 1,0} \quad \text{Nachweis nicht erbracht}$$

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen $\psi_{2,1}$

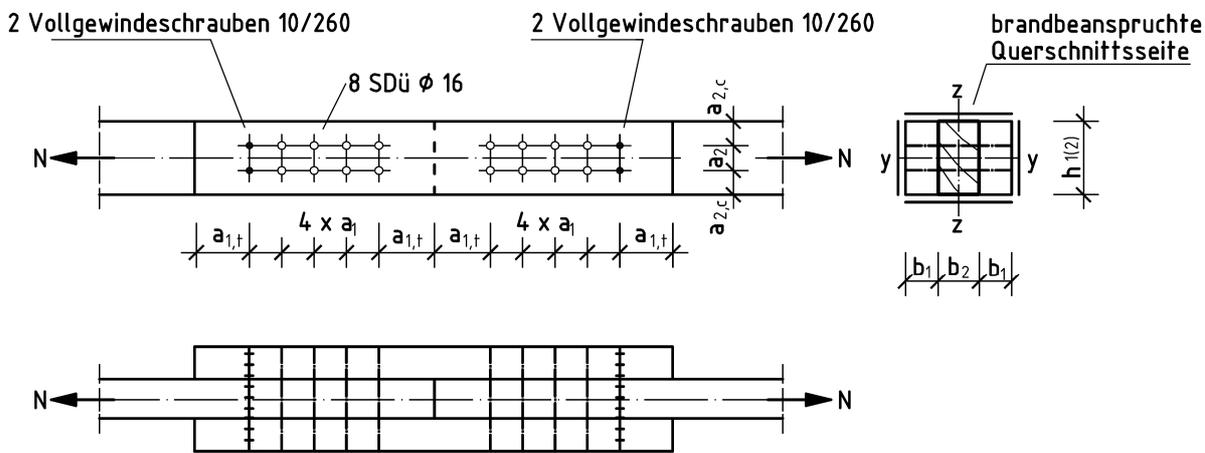
$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n_{ef,S} \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 24,5}{8,48 \cdot 4,65} = \underline{1,24 > 1,0} \quad \text{Nachweis nicht erbracht}$$

Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungsverfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung	
		C 24	C 35
DIN 4102-4 Stabdübel	Volllast	0,95	
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,65	0,44
	Genau	0,56	0,37
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,57	0,38
	Genau	0,48	0,32
DIN 4102-22 Stabdübel	Vereinfacht	0,98	0,98
	Genau	0,84	0,83
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,60	0,40
	Genau $\psi_{1,1}$	0,56	0,37
	$\psi_{2,1}$	0,50	0,33
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,51	0,34
	Genau $\psi_{1,1}$	0,47	0,32
	$\psi_{2,1}$	0,42	0,28
EN 1995-1-2 Stabdübel	Vereinfacht	1,25	1,17
	Genau $\psi_{1,1}$	1,24	1,16
	$\psi_{2,1}$	1,24	1,16

Beispiel C.2

Zugstoß mit Stabdübeln für den Brandfall (F30)



$F_{G,k} = 25 \text{ kN}$ (ständig)

$F_{Q,k} = 40 \text{ kN}$ (veränderlich-kurz - Wind)

Nutzungsklasse 2

Brandbeanspruchung: vierseitig
Feuerwiderstandsdauer: $t_{fi} = 30 \text{ min}$

Laschen: $b_1/h_1 = 80/180 \text{ mm}$

Zugstab: $b_2/h_2 = 100/180 \text{ mm}$

Festigkeitsklasse GL 24h

Stabdübel S 235, $d = 16 \text{ mm}$

Vollgewindeschrauben, selbstbohrend 10/260

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

$$N \leq 1,25 \cdot \text{zul}\sigma_1 \cdot (a_s - 30 \cdot v) \cdot d_{st} \cdot \eta \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{360}\right) = \text{zul}N$$

[5] Gl.(20)

$$N = F_{G,k} + F_{Q,k} = 25 + 40 = 65 \text{ kN}$$

$$v = 0,8 \text{ mm/min} \quad \text{für Vollholz}$$

[5] 5.5.4.2

$$\eta = \frac{(d_{st}/a_s)}{\min(d_{st}/a_s)} \leq 1,0$$

[5] Gl. (18)

$$\min(d_{st}/a_s) = 0,16 \cdot \sqrt{a_m/a_s} \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{l'_{st}}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

[5] Gl. (21)

$$l_{st} = 2 \cdot a_s + a_m \geq 120$$

$$= 2 \cdot 80 + 100 = 260 > 120$$

$$l'_{st} = l_{st} = 260 \text{ mm}$$

[5] 5.8.4.1

$$\alpha = 0^\circ$$

[5] 5.8.4.1

$$\min(d_{st}/a_s) = 0,16 \cdot \sqrt{100/80} \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{260}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{0}{360}\right) = 0,18$$

$$\eta = \frac{16/80}{0,18} = 1,11 > 1,0 \quad \text{keine Abminderung erforderlich}$$

$$\sigma_1 = 5,5 \text{ MN/m}^2$$

[2] Tab. 10

$$zulN = 1,25 \cdot 5,5 \cdot (80 - 30 \cdot 0,8) \cdot 16 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{0}{360}\right) = 6160 \text{ N}$$

Nachweis:

$$\frac{N}{n \cdot zulN} = \frac{65}{16 \cdot 6,16} = \underline{0,66} < 1,0$$

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Die Holzbauteile des Zugstoßes werden nach DIN 4102-22 nach dem Vereinfachten und dem Genauerem Verfahren bemessen. Für die beiden Laschen ergibt sich eine dreiseitige Brandbeanspruchung, der Zugstab wird nur von oben und unten brandbeansprucht. Die Bemessung im Brandfall erfolgt daher nur für die Laschen.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

[3] 9.4 (4), Gl. (14)

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[3] Tab. A.3

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 25 = 33,8 \text{ kN}$$

[3] 8.1

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 40 = 60,0 \text{ kN}$$

ständig

veränderlich

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 33,8 + 60 = 93,8 \text{ kN}$$

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Theorie I. Ordnung

$$N_{1,d} = \frac{F_d}{2} = \frac{93,8}{2} = 46,9 \text{ kN}$$

$$N_{2,d} = F_d = 93,8 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

[6] 6.1 Abs. 3

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

[6] Gl. (3)

$$N_{1,dA} = 0,65 \cdot N_{1,d} = 0,65 \cdot 46,9 = 30,49 \text{ kNm}$$

Genauere Methode

[6] 4.1 Abs. 3

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[6] Gl. (1)

hier: $\gamma_{GA,j} = 1,0$

[3] Tab. A.3

$\Psi_{1,1} = 0,5$ Wind

[3] Tab A.2

$$N_{1,dA} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \psi_{1,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{25}{2} + 0,5 \cdot \frac{40}{2} = 22,5 \text{ kN}$$

Bemessung der Verbindung nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

[1] Tab. F.9

$$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

[6] 5.5.2.1 a)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate}$$

[6] Tab. 74

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

[6] 5.5.2.1 a)

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9.1)

$$d_{ef} = d(t_f) + d_0 = 21 + 7 = 28 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9)

$$b(t_f) = b - d_{ef} = 8 - 2,8 = 5,2 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d_{ef} = 18 - 2 \cdot 2,8 = 12,4 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 2 \cdot \Delta A_{St,r} = b_1(t_f) \cdot h_1(t_f) - 2 \cdot [d \cdot b_1(t_f)]$$

$$= 5,2 \cdot 12,4 - 2 \cdot (16 \cdot 10^{-1} \cdot 5,2) = 47,8 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10)

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 a)

$$k_{fi} = 1,15$$

[6] Tab. 75

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{16,5}{1,0} = 18,98 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{30,49 \cdot 10^3}{47,8 \cdot 10^2} = 6,38 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{6,38}{2/3 \cdot 18,98} = 0,5 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{22,5 \cdot 10^3}{47,8 \cdot 10^2} = 4,71 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,71}{2/3 \cdot 18,98} = 0,37 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Genaueres Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit [6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [6] \text{ Tab. 74}$$

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,7 \cdot 30 = 21,0 \text{ mm} \quad [6] \text{ Gl. (9.1)}$$

$$b(t_f) = b - d(t_f) = 8 - 2,1 = 5,9 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 18 - 2 \cdot 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + h(t_f) = 2 \cdot 5,9 + 13,8 = 25,6 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 2 \cdot \Delta A_{St,r} = b_1(t_f) \cdot h_1(t_f) - 2 \cdot [d \cdot b_1(t_f)] \\ = 5,9 \cdot 13,8 - 2 \cdot (16 \cdot 10^{-1} \cdot 5,9) = 62,54 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall [6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [7] \text{ Gl. (10)}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} \quad [7] \text{ Gl. (10.6)}$$

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{25,6 \cdot 10^{-2}}{62,54 \cdot 10^{-4}} = 0,88$$

$$k_{fi} = 1,15 \quad [6] \text{ Tab. 75}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [6] 5.5.2.1 (b)$$

$$f_{t,0,d,fi} = 0,88 \cdot 1,15 \cdot \frac{16,5}{1,0} = 16,70 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{30,49 \cdot 10^3}{62,54 \cdot 10^2} = 4,88 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,88}{2/3 \cdot 16,70} = 0,44 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{22,5 \cdot 10^3}{62,54 \cdot 10^2} = 3,60 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{3,60}{2/3 \cdot 16,70} = 0,32 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Tragfähigkeitsnachweis für die Stabdübel im Brandfall

[6] 5.8.4.2

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Stabdübel im Brandfall

$$R_{k,fi} = k_{\text{conn,fi}} \cdot f_{h,1,k} \cdot (t_1 - 30 \cdot \beta_n) \cdot d \cdot \eta \cdot \frac{1}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad [6] \text{ Gl. (13.9)}$$

$$k_{\text{conn,fi}} = (0,18 + 0,003 \cdot d) \cdot \frac{450}{\rho} \quad [6] \text{ Gl. (13.5)}$$

$$= (0,18 + 0,003 \cdot 16) \cdot \frac{450}{380} = 0,27$$

$$t_1 = b_{s1} = 80 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{d/t_1}{\min(d/t_1)} \leq 1,0 \quad [6] \text{ Gl. (13.7)}$$

$$\min(d/t_1) = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{t_2}{t_1}} \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{l'_{st}}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{360}\right) \quad [6] \text{ Gl. (13.10)}$$

$$= 0,16 \cdot \sqrt{\frac{100}{80}} \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{260}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{0}{360}\right)$$

$$\min(d/t_1) = 0,18$$

$$t_2 = b_2 = 100 \text{ mm}$$

$$l'_{st} = l_{st} = 260 \text{ mm} \quad \text{Stabdübel ohne Überstand} \quad [6] \text{ 5.8.4.1}$$

$$\alpha = 0 \quad \text{Winkel zw. Kraft und Faserrichtung}$$

$$\eta = \frac{16/80}{0,18} = 1,1 > 1,0$$

$$\eta = 1,0$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad [1] \text{ Gl. (203)}$$

$$= 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,17 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{k,fi} = 0,27 \cdot 26,17 \cdot (80 - 30 \cdot 0,7) \cdot 16 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{k_{90} \cdot \sin^2 0 + \cos^2 0}$$

$$R_{k,fi} = 6670,21 \text{ N} \cong 6,67 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Stabdübel im Brandfall

[1] Gl. (195)

$$R_{d,fi} = k_{\text{mod,fi}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M}$$

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] Tab. 75

$$R_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{6,67}{1,0} = 7,67 \text{ kN}$$

Wirksame Anzahl für mehrere in Faserrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel

$$n_{\text{ef}} = \left[\min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$$

$$n_{\text{ef}} = \left[\min \left\{ 4; 4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{80}{10 \cdot 16}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - 0}{90} + 3 \cdot \frac{0}{90} = 2,93$$

$n = 4$ (Anzahl der Stabdübel in Faserrichtung hintereinander)

$a_1 = 80$ mm (Abstand der Stabdübel in Faserrichtung hintereinander)

[1] 12.3 (9)

[1] Gl. (210)

Wirksame Gesamtzahl der Scherflächen $n_{\text{ef,S}}$:

$$n_{\text{ef,S}} = 4 \cdot n_{\text{ef}} = 4 \cdot 2,93 = 11,72$$

Nachweis der Verbindung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{\text{d,1,fi}}}{n_{\text{ef,S}} \cdot R_{\text{d,fi}}} = \frac{2 \cdot 30,49}{11,72 \cdot 7,67} = 0,68 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{\text{d,1,fi}}}{n_{\text{ef,S}} \cdot R_{\text{d,fi}}} = \frac{2 \cdot 22,5}{11,72 \cdot 7,67} = 0,50 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2

Der Zugstoß wird für den Brandfall nach EN 1995-1-2 mit dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren bemessen.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[10] 6.4.3.2 (3), Gl. (10)

[10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 25 = 33,8 \text{ kN}$$

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 40 = 60,0 \text{ kN}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 33,8 + 60 = 93,8 \text{ kN}$$

Eigenlast

Veränderliche

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

$$N_{1,d} = \frac{F_d}{2} = \frac{93,8}{2} = 46,9 \text{ kN}$$

$$N_{2,d} = F_d = 93,8 \text{ kN}$$

Theorie I. Ordnung

Bemessungswert der Einwirkung nach EN 1995-1-2**Vereinfachte Methode**

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

$$N_{1,d,fi} = 0,6 \cdot N_{1,d} = 0,6 \cdot 46,9 = 28,14 \text{ kNm}$$

Genauere Ermittlung der Einwirkung

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\psi_{1,1} = 0,2 \quad \text{Wind}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \psi_{1,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{25}{2} + 0,2 \cdot \frac{40}{2} = 16,5 \text{ kN}$$

$$\psi_{2,1} = 0 \quad \text{Wind}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \psi_{2,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{25}{2} + 0 \cdot \frac{40}{2} = 12,5 \text{ kN}$$

Bemessung der Verbindung nach EN 1995-1-2**charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften**

$$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

Methoden mit reduziertem Querschnitt**Querschnittswerte**

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate}$$

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

$$k_0 = 1,0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 30 = 21,0 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 21 + 1,0 \cdot 7 = 28,0 \text{ mm}$$

$$b(t) = b - d_{ef} = 8 - 2,8 = 5,2 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{ef} = 18 - 2 \cdot 2,8 = 12,4 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 2 \cdot \Delta A_{St,r} = b_1(t) \cdot h_1(t) - 2 \cdot [d \cdot b_1(t)] \\ = 5,2 \cdot 12,4 - 2 \cdot (16 \cdot 10^{-1} \cdot 5,2) = 47,8 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[14] 2.4.2 (2)

[14] Gl. (2.8) u.
2.4.2 (3)

[14] 2.4.2 (1)

[10] Gl. (6.11b)

[10] Tab. A.1.1

[10] Tab. A.1.1

[8] Tab. F.1

[14] 4.2.2

[14] Tab. 3.1

[14] Tab. 4.1

[14] 4.2.2

[14] Gl. (3.2)

[14] Gl. (4.1)

[14] 2.3

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

[14] 4.2.2 (5)

[14] Tab. 2.1

[14] 2.3 (1)

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 16,5}{1,0} = 18,98 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{28,14 \cdot 10^3}{47,8 \cdot 10^2} = 5,89 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{5,89}{2/3 \cdot 18,98} = 0,47 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\Psi_{1,1} = 0,2: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{16,5 \cdot 10^3}{47,8 \cdot 10^2} = 3,45 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{3,45}{2/3 \cdot 18,98} = 0,27 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

$$\Psi_{2,1} = 0: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{12,5 \cdot 10^3}{47,8 \cdot 10^2} = 2,62 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{2,62}{2/3 \cdot 18,98} = 0,21 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad \text{Abbrandrate} \quad [14] \text{ Tab. 3.1}$$

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

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 30 = 21,0 \text{ mm} \quad [14] \text{ Gl. (3.2)}$$

$$b(t) = b - d_{\text{char},n} = 8 - 2,1 = 5,9 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 18 - 2 \cdot 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$p = 2 \cdot b(t) + h(t) = 2 \cdot 5,9 + 13,8 = 25,6 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 2 \cdot \Delta A_{\text{St},r} = b_1(t) \cdot h_1(t) - 2 \cdot [d \cdot b_1(t)] \\ = 5,9 \cdot 13,8 - 2 \cdot (16 \cdot 10^{-1} \cdot 5,9) = 62,54 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.1) u. (2.4)}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} \quad [14] \text{ Gl. (4.4)}$$

$$= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{25,6 \cdot 10^{-2}}{62,54 \cdot 10^{-4}} = 0,88$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{t,0,d,fi} = 0,88 \cdot \frac{1,15 \cdot 16,5}{1,0} = 16,70 \text{ N/mm}^2$$

[14] Tab. 2.1

[14] 2.3 (1)

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{28,14 \cdot 10^3}{62,54 \cdot 10^2} = 4,50 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,50}{2/3 \cdot 16,70} = 0,40 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,2: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{16,5 \cdot 10^3}{62,54 \cdot 10^2} = 2,64 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{2,64}{2/3 \cdot 16,70} = 0,24 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

$$\psi_{2,1} = 0: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{12,5 \cdot 10^3}{62,54 \cdot 10^2} = 2,00 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{2,00}{2/3 \cdot 16,70} = 0,18 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Tragfähigkeitsnachweis für die Stabdübel im Brandfall

[14] 6.2.2.1

Die Bemessung erfolgt nach der Methode mit reduzierten Beanspruchungen.

$$t_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} 50 \\ 50 + 1,25 \cdot (d - 12) = 50 + 1,25 \cdot (16 - 12) = 55 \text{ mm} \end{array} \right. \quad [14] \text{ Gl. (6.4)}$$

$$t_{1,vorh} = 80 \text{ mm} > 55 \text{ mm} = t_1$$

Charakteristischer mechanischer Widerstand eines Verbindungsmittels auf Abscheren

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} \quad [14] \text{ Gl. (6.5)}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_1 \cdot d}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2} \cdot M_{y,Rk}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right. \quad [13] \text{ Gl. (8.7)}$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,20 \text{ N/mm}^2 \quad [13] \text{ Gl. (8.32)}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1 \quad [13] \text{ Gl. (8.8)}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6} = 145927 \text{ Nmm} \quad [13] \text{ Gl. (8.30)}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{26,2 \cdot 80 \cdot 16}{2 + 1} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1 + 1) + \frac{0,5 \cdot 26,2 \cdot 80 \cdot 16}{26,2 \cdot 16 \cdot 80^2} \cdot 145927} - 1 \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 145927 \cdot 26,2 \cdot 16} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 33536 \text{ N} \\ 16768 \text{ N} \\ 13581 \text{ N} \\ 12720 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (6.6)}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \cdot \frac{\eta_{fi} \cdot \gamma_{M,fi}}{\gamma_M \cdot k_{fi}} \quad [14] \text{ Gl. (6.7)}$$

$$k = 0,04 \quad [14] \text{ Tab. 6.3}$$

$$k_{fi} = 1,15 \quad [14] \text{ Tab. 2.1}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad [14] \text{ 2.3 (1)}$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad [13] \text{ Tab. 2.3}$$

$$\eta_{fi} = 0,6 \quad [14] \text{ 2.4.2 (3) Anmerkung 2}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,04} \cdot \ln \cdot \frac{0,6 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15} = 22,82 \quad [14] \text{ Gl. (6.7)}$$

$$\eta = e^{-0,04 \cdot 22,82} = 0,401$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,401 \cdot 12,72 = 5,10 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}} \quad [14] \text{ Gl. (2.3) u. (2.6)}$$

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 5,10}{1,0} = 5,87 \text{ kN}$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}}$$

$\psi_{1,1} = 0,2$ Wind

$$\eta_{fi} = \frac{25 + 0,2 \cdot 40}{1,35 \cdot 25 + 1,5 \cdot 40} = 0,352$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,04} \cdot \ln \cdot \frac{0,352 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15} = 36,16$$

$$\eta = e^{-0,04 \cdot 36,16} = 0,235$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,235 \cdot 12,72 = 2,99 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 2,99}{1,0} = 3,44 \text{ kN}$$

$\psi_{2,1} = 0$ Wind

$$\eta_{fi} = \frac{25 + 0 \cdot 40}{1,35 \cdot 25 + 1,5 \cdot 40} = 0,267$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,04} \cdot \ln \cdot \frac{0,267 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15} = 43,07$$

$$\eta = e^{-0,04 \cdot 43,07} = 0,179$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,179 \cdot 12,72 = 2,27 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 2,27}{1,0} = 2,61 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right.$$

$$\left. = \min \left\{ 4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{4}{13 \cdot 16}} = 2,74 \right. \right.$$

$$n_{ef,S} = 4 \cdot n_{ef} = 4 \cdot 2,74 = 10,96$$

Nachweis der Verbindung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n_{ef,S} \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 28,14}{10,96 \cdot 5,87} = \underline{0,87} < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen $\psi_{1,1}$

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n_{ef,S} \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 16,5}{10,96 \cdot 3,44} = \underline{0,88} < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

[14] 2.4.2 (3)
Gl. (2.9)

[10] Tab. A.1.1

[14] Gl. (6.7)

[14] Gl. (2.3) u. (2.6)

[10] Tab. A.1.1

[14] Gl. (6.7)

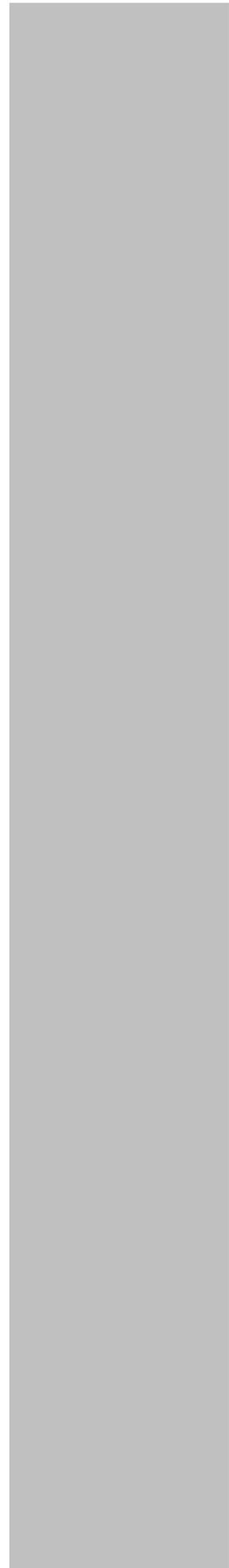
[14] Gl. (2.3) u. (2.6)

[13] Gl. (8.34)

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen $\psi_{2,1}$

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n_{ef,S} \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 12,5}{10,96 \cdot 2,61} = \underline{0,87 < 1,0}$$

Nachweis erbracht

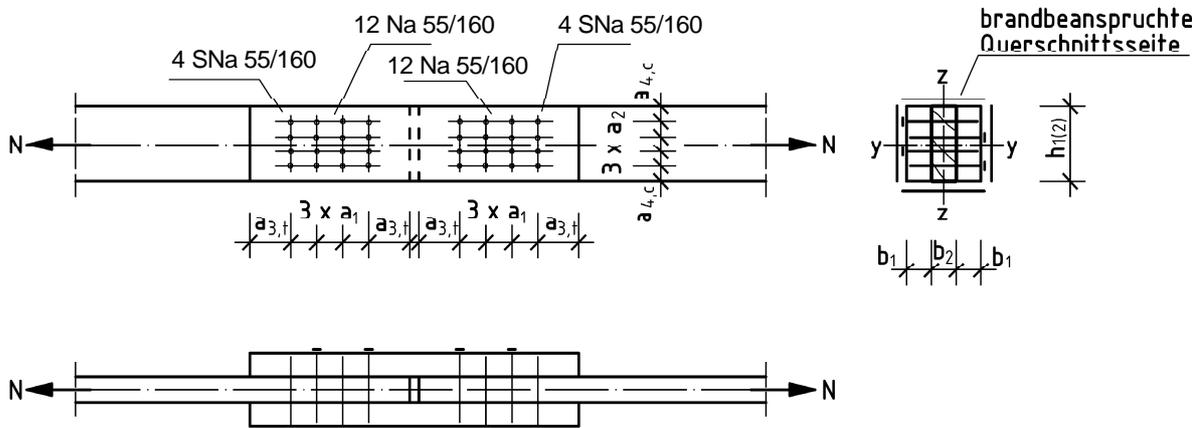


Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungsverfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung	
		GL 24h	GL 36h
DIN 4102-4 Stabdübel	Volllast	0,66	
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,50	0,32
	Genau	0,37	0,24
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,44	0,28
	Genau	0,32	0,21
DIN 4102-22 Stabdübel	Vereinfacht	0,68	0,67
	Genau	0,50	0,50
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,47	0,30
	Genau $\psi_{1,1}$	0,27	0,17
	$\psi_{2,1}$	0,21	0,13
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,40	0,26
	Genau $\psi_{1,1}$	0,24	0,15
	$\psi_{2,1}$	0,18	0,11
EN 1995-1-2 Stabdübel	Vereinfacht	0,87	0,80
	Genau $\psi_{1,1}$	0,88	0,81
	$\psi_{2,1}$	0,87	0,80

Beispiel C.3

Zugstoß mit Nägeln für den Brandfall (F30)



$F_{G,k} = 10 \text{ kN}$ (ständig)

$F_{Q,k} = 20 \text{ kN}$ (veränderlich-mittel - Kategorie A)

Nutzungsklasse 2

Brandbeanspruchung: vierseitig

Feuerwiderstandsdauer: $t_{fi} = 30 \text{ min}$

Laschen: $b_1/h_1 = 50/200 \text{ mm}$

Zugstab: $b_2/h_2 = 50/200 \text{ mm}$

Festigkeitsklasse C24

Nägeln Na 55x160 (vorgebohrt)

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-4

Anmerkung

$$N = F_{G,k} + F_{Q,k} = 10 + 20 = 30,00 \text{ kN}$$

Zulässige Kraft je Scherfuge und Nagel:

$$\text{zul } N = 1,25 \cdot \frac{500 \cdot d_n^2}{10 + d_n} = 1,25 \cdot \frac{500 \cdot 5,5^2}{10 + 5,5} = 1220 \text{ N} = 1,22 \text{ kN}$$

[2] Gl. (6)

Tragfähigkeitsnachweis für die Nägel im Brandfall

[5] 5.8.6

Folgende Bedingungen sind einzuhalten:

[5] 5.8.6.2

Einschlagtiefe $\geq 8 \cdot d_n$

$$50 \text{ mm} > 44 \text{ mm} = 8 \cdot 5,5 \text{ mm}$$

$d_n / a_s \geq \min(d_n / a_s)$

$$\min(d_n / a_s) = 0,05 \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{I_n} \right]^4 \right)$$

[5] Gl. (23)

$$= 0,05 \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{160} \right]^4 \right) = 0,06$$

$$d_n / a_s = 5,5 / 50 = 0,11$$

$0,11 > 0,06$ keine Abminderung erforderlich

Nachweis:

$$\frac{N}{n \cdot \text{zulN}} = \frac{30}{2 \cdot 12 \cdot 1,22} = \underline{1,02 \cong 1,0} \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Brandschutzbemessung nach DIN 4102-22

Die Holzbauteile des Zugstoßes werden nach DIN 4102-22 nach dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren bemessen. Für die beiden Laschen ergibt sich eine dreiseitige Brandbeanspruchung, der Zugstab wird nur von oben und unten brandbeansprucht. Die Bemessung im Brandfall erfolgt daher nur für die Laschen.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad [3] \text{ 9.4 (4), Gl. (14)}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[3] Tab. A.3

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 10 = 13,50 \text{ kN}$$

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 20 = 30,00 \text{ kN}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 13,5 + 30 = 43,5 \text{ kN}$$

[3] 8.1

ständig

veränderlich

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

Theorie I. Ordnung

$$N_{1,d} = \frac{F_d}{2} = \frac{43,5}{2} = 21,75 \text{ kN}$$

$$N_{2,d} = F_d = 43,50 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Einwirkung nach DIN 4102-22

Vereinfachte Methode

[6] 6.1 Abs. 3

$$E_{dA} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,65 \cdot E_d$$

[6] Gl. (3)

$$N_{1,dA} = 0,65 \cdot N_{1,d} = 0,65 \cdot 21,75 = 14,14 \text{ kN}$$

Genauere Methode

[6] 4.1 Abs. 3

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \right\}$$

[6] Gl. (1)

hier: $\gamma_{GA,j} = 1,0$

[3] Tab. A.3

$\Psi_{1,1} = 0,5$ Kategorie A

[3] Tab A.2

$$N_{1,dA} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \Psi_{1,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{10}{2} + 0,5 \cdot \frac{20}{2} = 10,00 \text{ kN}$$

Bemessung der Verbindung nach DIN 4102-22

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

[1] Tab. F.5

Vereinfachtes Verfahren mit ideellem Restquerschnitt

[6] 5.5.2.1 a)

Querschnittswerte

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

[6] Tab. 74

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

[6] 5.5.2.1 a)

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9.1)

$$d_{ef} = d(t_f) + d_0 = 24 + 7 = 31 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9)

$$b(t_f) = b - d_{ef} = 5 - 3,1 = 1,9 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d_{ef} = 20 - 2 \cdot 3,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 4 \cdot \Delta A_{Na,r} = b_1(t_f) \cdot h_1(t_f) - 4 \cdot [0,9 \cdot d \cdot b_1(t_f)]$$

[1] 12.5.1 (7)

$$= 1,9 \cdot 13,8 - 4 \cdot (0,9 \cdot 5,5 \cdot 10^{-1} \cdot 1,9) = 22,46 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

[6] Gl. (10)

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 a)

$$k_{fi} = 1,25$$

[6] Tab. 75

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 b)

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{14,14 \cdot 10^3}{22,46 \cdot 10^2} = 6,3 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{6,3}{2/3 \cdot 17,5} = 0,54 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{10 \cdot 10^3}{22,46 \cdot 10^2} = 4,45 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,45}{2/3 \cdot 17,5} = 0,38 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Genaueres Verfahren mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit

[6] 5.5.2.1 b)

Querschnittswerte

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

[6] Tab. 74

$$t_f = 30 \text{ min} \quad \text{Branddauer}$$

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm}$$

[6] Gl. (9.1)

$$b(t_f) = b - d(t_f) = 5 - 2,4 = 2,6 \text{ cm}$$

$$h(t_f) = h - 2 \cdot d(t_f) = 20 - 2 \cdot 2,4 = 15,2 \text{ cm}$$

$$u_r = 2 \cdot b(t_f) + h(t_f) - 4 \cdot [0,9 \cdot d]$$

$$= 2 \cdot 2,6 + 15,2 - 4 \cdot 0,9 \cdot 5,5 \cdot 10^{-1} = 18,42 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 4 \cdot \Delta A_{Na,r} = b_1(t_f) \cdot h_1(t_f) - 4 \cdot [0,9 \cdot d \cdot b_1(t_f)]$$

$$= 2,6 \cdot 15,2 - 4 \cdot (0,9 \cdot 5,5 \cdot 10^{-1} \cdot 2,6) = 34,37 \text{ cm}^2$$

[1] 12.5.1 (7)

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

[7] Gl. (10)

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

[7] Gl. (10.6)

$$= 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{18,42 \cdot 10^{-2}}{34,37 \cdot 10^{-4}} = 0,84$$

$$k_{fi} = 1,25$$

[6] Tab. 75

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] 5.5.2.1 (b)

$$f_{t,0,d,fi} = 0,84 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 14,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{14,14 \cdot 10^3}{34,37 \cdot 10^2} = 4,11 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,11}{2/3 \cdot 14,7} = 0,42 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{10 \cdot 10^3}{34,37 \cdot 10^2} = 2,91 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{2,91}{2/3 \cdot 14,7} = 0,30 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [1] \text{ Gl. (43)}$$

Tragfähigkeitsnachweis für die Nägel im Brandfall

[6] 5.8.6

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Nagel im Brandfall

$$R_{k,fi} = k_{\text{conn},fi} \cdot f_{h,1,k} \cdot (t_1 - 30 \cdot \beta_n) \cdot d \cdot \eta \cdot$$

[6] Gl. (13.9)

$$k_{\text{conn},fi} = (0,18 + 0,003 \cdot d) \cdot \frac{450}{\rho}$$

[6] Gl. (13.5)

$$= (0,18 + 0,003 \cdot 5,5) \cdot \frac{450}{350} = 0,253$$

$$t_1 = b_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{d/t_1}{\min(d/t_1)} \leq 1,0$$

[6] Gl. (13.7)

$$\min(d/t_1) = 0,05 \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{l_n}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{360}\right)$$

[6] Gl. (13.10)

$$= 0,05 \cdot \left(1 + \left[\frac{110}{160}\right]^4\right) \cdot \left(1 - \frac{0}{360}\right)$$

$$\min(d/t_1) = 0,06$$

$$t_2 = b_2 = 60 \text{ mm}$$

$$l_n = 160 \text{ mm} \text{ Stabdübel ohne Überstand}$$

[6] 5.8.4.1

$$\alpha = 0 \text{ Winkel zw. Kraft und Faserrichtung}$$

$$\eta = \frac{5,5/50}{0,06} = 1,83 > 1,0$$

$$\eta = 1,0$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

[1] Gl. (203)

$$= 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 5,5) \cdot 350 = 27,12 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{k,fi} = 0,253 \cdot 27,12 \cdot (50 - 30 \cdot 0,8) \cdot 5,5 \cdot 1,0 \cdot$$

$$R_{k,fi} = 981 \text{ N} \cong 0,98 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Nagel im Brandfall

[1] Gl. (195)

$$R_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M}$$

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[6] Tab. 75

$$R_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot \frac{0,98}{1,0} = 1,13 \text{ kN}$$

Nachweis der Verbindung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 14,14}{24 \cdot 1,13} = 1,04 > 1,0$$

Nachweis nicht erbracht

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 10,0}{24 \cdot 113} = 0,74 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Brandschutzbemessung nach EN 1995-1-2

Der Zugstoß wird für den Brandfall nach EN 1995-1-2 mit dem Vereinfachten und dem Genaueren Verfahren bemessen.

Bemessungswerte der Schnittgrößen unter Normaltemperatur

Kombinationsregel für Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

hier: $\gamma_{G,j} = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$

[10] 6.4.3.2 (3), Gl. (10)

[10] Tab. A.1.2(A)

Bemessungswerte der Einwirkungen

$$F_{G,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} = 1,35 \cdot 10 = 13,5 \text{ kN}$$

$$F_{Q,d} = \gamma_Q \cdot F_{Q,k} = 1,50 \cdot 20 = 30,0 \text{ kN}$$

$$F_d = F_{G,d} + F_{Q,d} = 13,5 + 30 = 43,5 \text{ kN}$$

ständig

veränderlich

Bemessungsmaßgebende Schnittgrößen

$$N_{1,d} = \frac{F_d}{2} = \frac{43,5}{2} = 21,75 \text{ kN}$$

$$N_{2,d} = F_d = 43,5 \text{ kN}$$

Theorie I. Ordnung

Bemessungswert der Einwirkung nach EN 1995-1-2

Vereinfachte Methode

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d = 0,6 \cdot E_d$$

$$N_{1,d,fi} = 0,6 \cdot N_{1,d} = 0,6 \cdot 21,75 = 13,05 \text{ kN}$$

[14] 2.4.2 (2)

[14] Gl. (2.8) u. 2.4.2 (3)

Genauere Ermittlung der Einwirkung

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \right\}$$

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \psi_{1,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{10}{2} + 0,5 \cdot \frac{20}{2} = 10,0 \text{ kN}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3 \quad \text{Kategorie A}$$

$$N_{1,d,fi} = \gamma_{GA} \cdot \frac{F_{G,k}}{2} + \psi_{2,1} \cdot \frac{F_{Q,k}}{2} = 1,0 \cdot \frac{10}{2} + 0,3 \cdot \frac{20}{2} = 8,0 \text{ kN}$$

[14] 2.4.2 (1)

[10] Gl. (6.11b)

[10] Tab. A.1.1

[10] Tab. A.1.1

Bemessung der Verbindung nach EN 1995-1-2

charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

[7] Tab. F.1

Methode mit reduziertem Querschnitt

[14] 4.2.2

Querschnittswerte

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

[14] Tab. 3.1

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

$$k_0 = 1,0$$

[14] Tab. 4.1

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

[14] 4.2.2

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm}$$

[14] Gl. (3.2)

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0 = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31,0 \text{ mm}$$

[14] Gl. (4.1)

$$b(t) = b - d_{\text{ef}} = 5 - 3,1 = 1,9 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 20 - 2 \cdot 3,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 4 \cdot \Delta A_{\text{Na},r} = b_1(t) \cdot h_1(t) - 4 \cdot [d \cdot b_1(t)]$$

$$= 1,9 \cdot 13,8 - 4 \cdot (5,5 \cdot 10^{-1} \cdot 1,9) = 22,04 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0$$

[14] 4.2.2 (5)

$$k_{fi} = 1,25$$

[14] Tab. 2.1

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[14] 2.3 (1)

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot \frac{1,25 \cdot 14}{1,0} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{13,05 \cdot 10^3}{22,04 \cdot 10^2} = 5,92 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{5,92}{2/3 \cdot 17,5} = 0,51 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5 : \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{10 \cdot 10^3}{22,04 \cdot 10^2} = 4,54 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{4,54}{2/3 \cdot 17,5} = 0,39 < 1,0$$

Nachweis erbracht [13] Gl. (6.1)

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,dA}}{A_{1,n,r}} = \frac{8,0 \cdot 10^3}{22,04 \cdot 10^2} = 3,63 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{3,63}{2/3 \cdot 17,5} = 0,31 < 1,0$$

Nachweis erbracht [13] Gl. (6.1)

Methode mit reduzierten Eigenschaften

[14] 4.2.3

Querschnittswerte

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

[14] Tab. 3.1

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

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ mm}$$

[14] Gl. (3.2)

$$b(t) = b - d_{\text{char},n} = 5 - 2,4 = 2,6 \text{ cm}$$

$$h(t) = h - 2 \cdot d_{\text{char},n} = 20 - 2 \cdot 2,4 = 15,2 \text{ cm}$$

$$p = 2 \cdot b(t_f) + h(t_f) - 4 \cdot d = 2 \cdot 2,6 + 15,2 - 4 \cdot 5,5 \cdot 10^{-1} = 18,2 \text{ cm}$$

$$A_{1,n,r} = A_{r,1} - 4 \cdot \Delta A_{\text{Na},r} = b_1(t) \cdot h_1(t) - 4 \cdot [d \cdot b_1(t)] = 2,6 \cdot 15,2 - 4 \cdot (5,5 \cdot 10^{-1} \cdot 2,6) = 33,8 \text{ cm}^2$$

Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für den Brandfall

[14] 2.3

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.1) u. (2.4)

$$k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r}$$

[14] Gl. (4.4)

$$= 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{18,2 \cdot 10^{-2}}{33,8 \cdot 10^{-4}} = 0,84$$

$$k_{fi} = 1,25$$

[14] Tab. 2.1

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[14] 2.3 (1)

$$f_{t,0,d,fi} = 0,84 \cdot \frac{1,25 \cdot 14}{1,0} = 14,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{13,05 \cdot 10^3}{33,8 \cdot 10^2} = 3,86 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{3,86}{2/3 \cdot 14,7} = 0,39 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Bemessungswert der Beanspruchung mit genauen Einwirkungen

$$\psi_{1,1} = 0,5: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{10 \cdot 10^3}{33,8 \cdot 10^2} = 2,96 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Laschen

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{2,96}{2/3 \cdot 14,7} = 0,30 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3: \quad \sigma_{1,t,0,d,fi} = \frac{N_{1,d,fi}}{A_{1,n,r}} = \frac{8 \cdot 10^3}{33,8 \cdot 10^2} = 2,37 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{1,t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{2,37}{2/3 \cdot 14,7} = 0,24 < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht} \quad [13] \text{ Gl. (6.1)}$$

Tragfähigkeitsnachweis für die Nägel im Brandfall

[14] 6.2.2.1

Charakteristischer mechanischer Widerstand eines Verbindungsmittels auf Abscheren

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} \quad [14] \text{ Gl. (6.5)}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,05 \cdot \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h1,k} \cdot d} \end{array} \right. \quad [13] \text{ Gl. (8.7)}$$

$$f_{h1,k} = f_{h2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 5,5) \cdot 350 = 27,12 \text{ N/mm}^2 \quad [13] \text{ Gl. (8.16)}$$

$$\beta = \frac{f_{h2,k}}{f_{h1,k}} = 1 \quad [13] \text{ Gl. (8.8)}$$

$$M_{y,Rk} = \frac{f_{u,k}}{600} \cdot 180 \cdot d^{2,6} = \frac{600}{600} \cdot 180 \cdot 5,5^{2,6} = 15143 \text{ Nmm} \quad [13] \text{ Gl. (8.14)}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,05 \cdot \frac{27,12 \cdot 50 \cdot 5,5}{2 + 1} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2 + 1) \cdot 15143}{27,12 \cdot 5,5 \cdot 50^2}} - 1 \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 15143 \cdot 27,12 \cdot 5,5} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 7458 \text{ N} \\ 8950 \text{ N} \\ 2919 \text{ N} \\ 2444 \text{ N} \end{cases}$$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

[14] Gl. (6.6)

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \cdot \frac{\eta_{fi} \cdot \gamma_{M,fi}}{\gamma_M \cdot k_{fi}}$$

[14] Gl. (6.7)

$$k = 0,08$$

[14] Tab. 6.3

$$k_{fi} = 1,15$$

[14] Tab. 2.1

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

[14] 2.3 (1)

$$\gamma_M = 1,3$$

[13] Tab. 2.3

$$\eta_{fi} = 0,6$$

[14] 2.4.2 (3)

Anmerkung 2

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,08} \cdot \ln \cdot \frac{0,6 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15}$$

$$= 11,41$$

[14] Gl. (6.7)

$$\eta = e^{-0,08 \cdot 11,41}$$

$$= 0,401$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,401 \cdot 2,44$$

$$= 0,98 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.3) u. (2.6)

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 0,98}{1,0}$$

$$= 1,13 \text{ kN}$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}}$$

[14] 2.4.2 (3) Gl. (2.9)

$$\psi_{1,1} = 0,5 \quad \text{Kategorie A}$$

[10] Tab. A.1.1

$$\eta_{fi} = \frac{10 + 0,5 \cdot 20}{1,35 \cdot 10 + 1,5 \cdot 20}$$

$$= 0,460$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,08} \cdot \ln \cdot \frac{0,460 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15}$$

$$= 14,73$$

[14] Gl. (6.7)

$$\eta = e^{-0,08 \cdot 14,73}$$

$$= 0,308$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,308 \cdot 2,44$$

$$= 0,75 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}}$$

[14] Gl. (2.3) u. (2.6)

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 0,75}{1,0}$$

$$= 0,86 \text{ kN}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3 \quad \text{Kategorie A}$$

[10] Tab. A.1.1

$$\eta_{fi} = \frac{10 + 0,3 \cdot 20}{1,35 \cdot 10 + 1,5 \cdot 20}$$

$$= 0,368$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,08} \cdot \ln \cdot \frac{0,368 \cdot 1,0}{1,3 \cdot 1,15}$$

$$= 17,52$$

[14] Gl. (6.7)

$$\eta = e^{-0,08 \cdot 17,52}$$

$$= 0,246$$

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} = 0,246 \cdot 2,44 = 0,60 \text{ kN}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$= \frac{k_{fi} \cdot F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1,15 \cdot 0,60}{1,0} = 0,69 \text{ kN}$$

[14] Gl. (2.3) u. (2.6)

Der Anschluss wird mit 12 Nägeln mit je 2 Scherflächen ausgeführt.
→ 24 Scherflächen

Nachweis der Verbindung mit vereinfachten Einwirkungen

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 13,05}{24 \cdot 1,13} = \underline{0,96} < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen $\psi_{1,1}$

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 10}{24 \cdot 0,86} = \underline{0,97} < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Nachweis der Verbindung mit genauen Einwirkungen $\psi_{2,1}$

$$\frac{2 \cdot N_{d,1,fi}}{n \cdot R_{d,fi}} = \frac{2 \cdot 8}{24 \cdot 0,69} = \underline{0,97} < 1,0 \quad \text{Nachweis erbracht}$$

Vergleich der unterschiedlichen brandschutztechnischen Bemessungen

Bemessungsverfahren	Einwirkungs- ermittlung	Ergebnis der Bemessung
DIN 4102-4 Nägel	Volllast	1,02
DIN 4102-22 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,54
	Genau	0,38
DIN 4102-22 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,42
	Genau	0,30
DIN 4102-22 Nägel	Vereinfacht	1,04
	Genau	0,74
EN 1995-1-2 Reduzierter Querschnitt	Vereinfacht	0,51
	Genau $\psi_{1,1}$	0,39
	$\psi_{2,1}$	0,31
EN 1995-1-2 Reduzierte Eigenschaften	Vereinfacht	0,39
	Genau $\psi_{1,1}$	0,30
	$\psi_{2,1}$	0,24
EN 1995-1-2 Nägel	Vereinfacht	0,96
	Genau $\psi_{1,1}$	0,97
	$\psi_{2,1}$	0,97