

2016

BAUPHYSIK KALENDER



Brandschutz

Vorwort

Die ganzheitliche Betrachtung des vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzes mit einer Gesamtbewertung der baulichen, anlagentechnischen und organisatorischen Maßnahmen unter Berücksichtigung der nutzungsbedingten Gefährdungspotentiale und Schutzziele spielt bei der Planung und Errichtung von Bauwerken eine maßgebende Rolle. Alle an Entwurf, Planung und Ausführung von Bauwerken Beteiligten sowie Bauproduktehersteller, Materialprüfanstalten und Bauaufsichtsbehörden müssen ein hohes Maß an Fachkenntnis sowie einen Überblick über den aktuellen Stand aller relevanten Bereiche besitzen. Nur durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit können sichere und optimierte Brandschutzkonzepte entwickelt und realisiert, Umplanungen vermieden und Genehmigungsverfahren optimiert werden.

Der Bauphysik-Kalender 2016 widmet sich dem vorbeugenden baulichen sowie dem abwehrenden Brandschutz. Er soll für die Planung und Ausführung bei Neubauten und im Bestand eine aktuelle, verlässliche und praxisgerechte Arbeitsgrundlage schaffen. Die folgenden Inhalte werden vermittelt:

- Kommentierung/Erläuterung aktueller Bauordnungen, wichtiger Verordnungen und Gesetze, Leitfäden, Richtlinien sowie Normen;
- Beiträge über das Brandverhalten gebräuchlicher und innovativer Baustoffe sowie Baukonstruktionen;
- Vorstellung der neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Ingenieurmethoden im Brandschutz sowie möglicher Bemessungsverfahren im konstruktiven Brandschutz;
- ausgewählte Beiträge zu aktuellen Fragestellungen und Problemen auf dem Gebiet des vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzes.

Zu Beginn der Rubrik A *Allgemeines und Regelwerke* wird die Neuauflage des Brandschutzleitfadens des Bundes vorgestellt und kommentiert. Darin werden einheitliche Brandschutzgrundsätze für Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung von Gebäuden des Bundes geliefert und die Schutzzielbetrachtung und Risikobewertung für gebäudespezifische Brandschutzkonzepte gefordert.

Im Anschluss folgen zwei Beiträge mit Ausführungen zur europäischen Harmonisierung im Brandschutz und zu den bauordnungsrechtlichen Regelungen hinsichtlich der Verwendung von Bauprodukten in Deutschland, die sich sowohl inhaltlich als auch in ihrer Form aufgrund des Urteils des Gerichtshofs der Europäischen Union (EuGH) vom 16. 10. 2014 ändern werden. Im vierten Beitrag wird der aktuelle Stand hinsichtlich des Leistungsbildes und der Honorierung für den Brandschutz, insbesondere nach der Veröffentlichung des neuen AHO-Heftes Nr. 17 in 2015, vorgestellt. Ein weiterer Beitrag behandelt den vorbeugenden Brandschutz aus zivilrechtlicher Sicht, indem die Brandschutzleistungen, die den Architekten und Ingenieuren obliegen und worin der jeweilige, werkvertragliche

Brandschutz-Erfolg von Architekten und Ingenieuren besteht, abgehandelt werden.

Im Bereich des abwehrenden Brandschutzes behandelt ein weiterer Beitrag die Brandschutzbedarfsplanung zur Aufstellung von leistungsfähigen Feuerwehren in den Kommunen.

In der Rubrik B *Materialtechnische Grundlagen* werden materialtechnische Betrachtungen im Brandschutz aufgeführt. Dazu gehören das Brandverhalten von Kunststoffen sowie Beschichtungs- und Verkleidungssysteme, die als Lösungen für brandschutztechnische Ertüchtigungsmaßnahmen für Bauteile angewendet werden können.

Zu den Nachweisverfahren im Brandschutz wird im ersten Beitrag der Rubrik C *Bauphysikalische Planungs- und Nachweisverfahren* ausführlich auf die Ingenieurmethoden im Brandschutz eingegangen. Mit der Anwendung derartiger Berechnungsverfahren ist es mittlerweile möglich u. a. die erforderlichen Brandschutzmaßnahmen, insbesondere bei komplexeren Aufgabenstellungen, objektiv zu bestimmen und zu bewerten. Die brandschutztechnischen Nachweise von Bauteilen bzw. Tragwerken auf Grundlage der aktuellen Teile 1-2 der Eurocodes 1 bis 6 ist Schwerpunkt von fünf weiteren Beiträgen in dieser Rubrik. Die jeweiligen Eurocodeteile 1-2 sind mittlerweile mit ihren nationalen Anhängen in allen Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt.

In der Rubrik D *Konstruktive Ausbildung von Bauteilen und Bauwerken* werden aktuelle Fragestellungen und Entwicklungen aus Forschung und Praxis im Bereich des Brandschutzes behandelt.

Ein aktuelles Thema stellt die Problematik der Sonderbauten mit großen Menschenansammlungen dar. Im ersten Beitrag dieser Rubrik werden die Schutzziele und besonderen Anforderungen an Versammlungsstätten, unter Berücksichtigung der Novellierung der Muster-Versammlungsstättenverordnung im Jahr 2014, vorgestellt.

Im zweiten Beitrag wird der Brandschutz bei hölzernen Konstruktionen detailliert beschrieben. Die Bedeutung des Holzbaus geht mittlerweile weit über den klassischen Einfamilienhausbau hinaus. So zeigt der Baustoff Holz sein Potential auch immer öfter in mehrgeschossigen Gebäuden, bei Umnutzungen und Aufstockungen von Bestandsgebäuden.

Die Problematik des natürlichen als auch maschinellen Rauch- und Wärmeabzuges wird in zwei Beiträgen behandelt, in denen auf den aktuellen Stand der Normung eingegangen sowie Praxisbeispiele aufgezeigt werden.

In einem weiteren Beitrag werden Überlegungen zu einer sachgerechten Risikobewertung bei der Erstellung von Brandschutzkonzepten vorgestellt, die es ermöglichen, Brandschutzkonzepte so aufzustellen, dass einerseits eine ausreichende Brandsicherheit gewährleistet wird und diese andererseits effizient, sinnvoll und wirt-

schaftlich sind. Das Zusammenwirken aller Brandschutzkomponenten soll gezielt erkannt und genutzt werden können, um insbesondere die Erfordernis und Wirkung von Kompensationsmaßnahmen zum Nachweis einer ausreichenden Brandsicherheit in einem Brandschutzkonzept abzuleiten.

Das in der Öffentlichkeit umfangreich diskutierte Thema des Brandverhaltens von Wärmedämm-Verbundsystemen, insbesondere mit expandiertem Polystyrol (EPS) als Dämmstoff und die damit einhergehenden Brandschutzmaßnahmen, werden in einem weiteren Beitrag behandelt.

Der siebte Beitrag der Rubrik D befasst sich mit den drei Themengebieten, die den abwehrenden Brandschutz maßgeblich betreffen, nämlich die Flächen für die Feuerwehr, Löschwasserversorgung und Löschwasserrückhaltung. Dabei wird auf allgemeine Rechtsgrundlagen und thematisch notwendige Details eingegangen.

Ausführungen zum „Brandschutz im Bestand“ und dem Umgang mit Abweichungen in Bestandsgebäuden sind die Schwerpunkte zweier weiterer Beiträge.

Im letzten Beitrag der Rubrik wird auf Fehler bei der Brandschutzplanung eingegangen. Bei der Aufstellung

von Brandschutzkonzepten können Fehler bei der baurechtlichen Einordnung der Gebäude, bei der Risikoanalyse oder bei den konzeptionellen Planungen passieren. Der Beitrag zeigt mögliche Fehlerquellen auch anhand von Beispielen aus der Praxis auf.

Die Rubrik E *Materialtechnische Tabellen* beinhaltet neben den jährlich aktualisierten bauphysikalischen Materialkennwerten einen Beitrag mit materialtechnischen Tabellen für den Brandschutz. Hier werden Kennwerte angegeben, die vor allem für die zunehmend im Brandschutz eingesetzten Brandsimulationen sowie Ingenieurmethoden relevant sind.

Mit seinen vielfältigen Beiträgen stellt der Bauphysik-Kalender 2016 eine solide Arbeitsgrundlage sowie ein aktuelles Nachschlagewerk nicht nur für die Praxis, sondern auch für Lehre und Forschung dar. Für kritische Anmerkungen sind die Autoren, der Herausgeber und der Verlag dankbar.

Der Herausgeber möchte an dieser Stelle allen Autoren für ihre Mitarbeit und dem Verlag für die angenehme Zusammenarbeit herzlichst danken.

Hannover, im Februar 2016
Nabil A. Fouad

Inhaltsübersicht

A Allgemeines und Regelwerke

- A 1 Neufassung des Brandschutzleitfadens für Gebäude des Bundes 3
Paul Schmitz
- A 2 Europäische Harmonisierung im Brandschutz 29
Peter Proschek
- A 3 Bauordnungsrechtliche Regelungen zur Verwendung von Bauprodukten 49
Peter Proschek
- A 4 Leistungsbild und Honorierung im Brandschutz 2015 61
Udo Kirchner
- A 5 Brandschutzbedarfsplanung für Kommunen 83
Manfred Fennen
- A 6 Brandschutz aus zivilrechtlicher Sicht 97
Klaus-Udo Reichelt

B Materialtechnische Grundlagen

- B 1 Brandschutz von Baukonstruktionen mit Kunststoffen 117
Edith Antonatus
- B 2 Brandschutzbekleidungen und -beschichtungen 139
Peter Proschek

C Bauphysikalische Planungs- und Nachweisverfahren

- C 1 Ingenieurmethoden im Brandschutz 157
Nina Schjerve, Christian Lebeda, Ulrich Schneider
- C 2 Grundlagen nach Eurocode 1 223
Jochen Zehfuß
- C 3 Brandschutzbemessung von Betonbauteilen nach Eurocode 2 245
Björn Kampmeier, Jochen Zehfuß, Ekkehard Richter
- C 4 Brandschutztechnische Bemessung im Stahl- und Stahlverbundbau nach Eurocode 3 und 4 275
Peter Schaumann, Florian Tabeling, Thomas Kirsch
- C 5 Brandschutzbemessung von Holzbauteilen nach Eurocode 5 313
Björn Kampmeier
- C 6 Brandschutzbemessung von Mauerwerkskonstruktionen nach Eurocode 6 335
Thorsten Mittmann

D Konstruktive Ausbildung von Bauteilen und Bauwerken

- D 1 Brandschutzkonzepte für Versammlungsstätten – Versammlungsstättenverordnung (VStättVO) 353
Jochen Zehfuß, Karsten Foth, Christoph Klinzmann
- D 2 Brandschutz bei hölzernen Bauteilen nach den nationalen Regeln / Brandschutzkonzepte bei hölzernen Bauwerken 375
Michael Dehne, Dirk Kruse, Björn Kampmeier

- D3 Natürliche Entrauchung mit NRA 399
Gary Blume, Thomas Fr. Hegger
- D4 Maschinelle Entrauchung mit MRA 427
Gary Blume, Frank Wahl
- D5 Sachgerechte Risikobewertung für Brandschutzkonzepte 445
Udo Kirchner
- D6 Brandschutz bei Wärmedämm-Verbundsystemen 463
Thomas Merkwitsch, Nabil A. Fouad
- D7 Flächen für die Feuerwehr, Löschwasserversorgung und
Löschwasserrückhaltung 491
Manfred Fennen
- D8 Abweichungen bei Bestandsbauten 515
Sven Schmieder
- D9 Umgang mit Abweichungen bei Bestandsgebäuden 529
Eckhard Hagen, Jens Upmeyer
- D10 Fehler in der Brandschutzplanung 547
Sylvia Heilmann

E Materialtechnische Tabellen

- E1 Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz 565
Nina Schjerve, Ulrich Schneider
- E2 Materialtechnische Tabellen 603
Rainer Hohmann

Stichwortverzeichnis 681

Hinweis des Verlages

Die Recherche zum Bauphysik-Kalender ab Jahrgang 2001 steht
im Internet zur Verfügung unter www.ernst-und-sohn.de

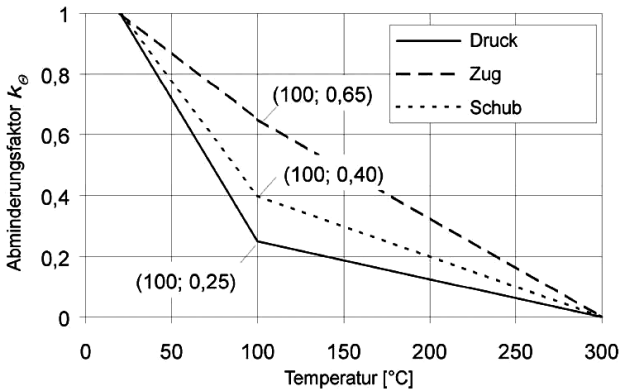


Bild 5. Abminderungsfaktor für die Festigkeit von Nadelholz parallel zur Faser (EC 5-1-2; Bild B.4)

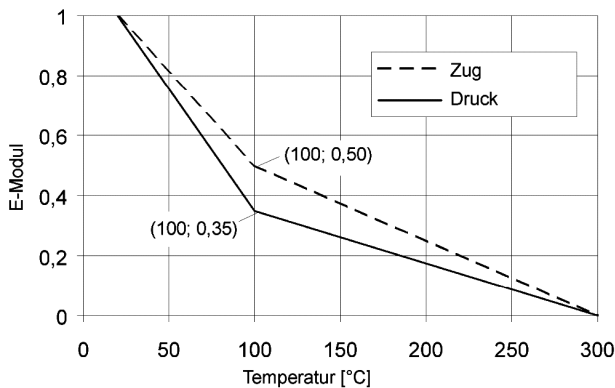


Bild 6. Einflüsse der Temperatur auf den E-Modul von Nadelholz parallel zur Faser (EC 5-1-2; Bild B.5)

Für eine Druckbeanspruchung quer zur Faserrichtung gelten dieselben Abminderungsfaktoren wie in Faserrichtung.

Die beschriebenen Rechenwerte sind im Zusammenhang mit den allgemeinen Rechenverfahren anzuwenden. Bei Anwendung der vereinfachten Rechenverfahren bietet der Eurocode zwei alternative Vorgehensweisen, wie mit reduziertem Aufwand die temperaturbedingte Festigkeitsreduzierung im Brandfall zu berücksichtigen ist (vgl. Abschn. 4).

3 Brandschutztechnischer Nachweis

Für Holzbauteile, die unter Normaltemperatur nach EC 5-1-1 bemessen wurden, kann der rechnerische Nachweis der Feuerwiderstandsdauer nach EC 5-1-2 mithilfe vereinfachter Rechenverfahren (Nachweisstufe 2) oder mit den allgemeinen Rechenverfahren (Nachweisstufe 3) geführt werden. Die in DIN 4102-4 zur Verfügung gestellten tabellarischen Daten (Nachweisstufe 1) zur brandschutztechnischen Bemessung existieren im EC 5-1-2 nicht mehr.

Der EC 5-1-2 darf nur in Verbindung mit seinem Nationalen Anhang (DIN EN 1995-1-2/NA:2010-12) be-

nutzt werden. Der Nationale Anhang enthält die national festzulegenden Parameter und schreibt vor, welche Rechenverfahren verwendet werden dürfen oder zur Anwendung gesperrt sind.

Der brandschutztechnische Nachweis ist erbracht, wenn für die erforderliche Feuerwiderstandsdauer sichergestellt ist, dass der Bemessungswert der Beanspruchungen im Brandfall den zugehörigen Wert der Beanspruchbarkeiten nicht überschreitet.

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.7})$$

3.1 Bemessungswert der Beanspruchungen

Die Beanspruchungen im Brandfall sind entsprechend DIN EN 1990 nach Gleichung 6.11 zu bestimmen.

$$E_{d,fi,t} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + (\psi_{1,i} \text{ oder } \psi_{2,i}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (\text{DIN EN 1990; Gl. 6.11 a, b})$$

Hierzu wird im Nationalen Anhang zum EC 1-1-2 empfohlen, dass auch für die veränderliche Leiteinwirkung $Q_{k,1}$ als Kombinationsbeiwert $\Psi_{2,1}$ zu verwenden ist. Einzige Ausnahme ist, wenn der Wind die Leitein-

wirkung darstellt. In diesem Fall ist dann für den Wind $\Psi_{1,1}$ als Kombinationsbeiwert zu benutzen.

Alternativ dürfen die Einwirkungen aus den Einwirkungen bei Normaltemperatur E_d berechnet werden.

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.8})$$

Der Abminderungsfaktor η_{fi} wird mit

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \Psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.9})$$

berechnet. Vereinfachend darf η_{fi} auch ohne weiteren Nachweis, auf der sicheren Seite liegend, mit 0,6 angesetzt werden. Der Abminderungsfaktor η_{fi} ist im Vergleich zum Beton-, Stahl- oder Mauerwerksbau kleiner, da das Eigengewicht der Holzbauteile im Verhältnis zu den aufgebracht veränderlichen Lasten geringer ist und die Abminderung im Brandfall für veränderliche Lasten deutlich größer (z. B. von 1,5 auf 0,3 bei einer Wohnnutzung) als für ständige Lasten (von 1,35 auf 1,0) ist.

3.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeiten

Für den brandschutztechnischen Nachweis nach EC 5-1-2 dürfen für die Festigkeitswerte anstelle der bei Normaltemperatur geforderten 5%-Fraktilewerte die 20%-Fraktilewerte eingesetzt werden.

Die Umrechnung der charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitswerte von der 5%-Fraktile auf die 20%-Fraktile erfolgt mithilfe des Faktors k_{fi} . Die Werte für k_{fi} sind in Tabelle 2 in Abhängigkeit des Materials bzw. der Art der Verbindung angegeben. Je stärker ein Material in seinen Eigenschaften streut, desto weiter ist der 20%-Fraktilewert von dem 5%-Fraktilewert entfernt, desto größer ist der Umrechnungsfaktor k_{fi} . Daher hat Massivholz mit einem k_{fi} von 1,25 einen größeren Wert als das deutlich homogenere aufgebaute Brettschichtholz mit einem k_{fi} von 1,15.

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.4})$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.5})$$

Tabelle 2. Werte für k_{fi} (EC 5-1-2; Tab. 2.1)

Material	k_{fi}
Massivholz	1,25
Brettschichtholz	1,15
Holzwerkstoffe	1,15
Furnierschichtholz	1,1
Auf Abscheren beanspruchte Verbindungen mit Seitenteilen aus Holz oder Holzwerkstoffen	1,15
Auf Abscheren beanspruchte Verbindungen mit außen liegenden Stahlblechen	1,05
Auf Herausziehen beanspruchte Verbindungsmittel	1,05

Auf die gleiche Weise sind die Steifigkeiten und Beanspruchbarkeiten von Verbindungen von der 5%-Fraktile auf die 20%-Fraktile umzurechnen.

Die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten berechnen sich dann mit:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.1})$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.2})$$

Der Modifikationsbeiwert $k_{mod,fi}$ berücksichtigt die temperaturabhängige Festigkeits- und Steifigkeitsabnahme im Brandfall. Zur Bestimmung der $k_{mod,fi}$ -Werte sind im EC 5-1-2 zwei alternative Verfahren vorgesehen, die in Abschnitt 4 vorgestellt werden. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fi}$ wird zu 1,0 gesetzt.

3.3 Grundsätze der Nachweisführung

Im Brandfall entzündet das Holzbauteil bei einer Temperatur von etwa 300°C und brennt von der Oberfläche zum Querschnittinneren ab. Die voranschreitende Abbrandgrenze hat eine nahezu konstante Geschwindigkeit. Gleichzeitig wird der Randbereich des verbleibenden Restquerschnitts erwärmt. Diese Erwärmung führt zu reduzierten Steifigkeits- und Festigkeitswerten. Beide Effekte müssen bei der brandschutztechnischen Bemessung berücksichtigt werden. Der Eurocode stellt hierzu zwei vereinfachte Rechenverfahren bereit (EC 5-1-2; Kap. 4.2.2 und Kap. 4.2.3).

Änderungen des statischen Systems sowie der Auflagerbedingungen müssen bei der brandschutztechnischen Bemessung berücksichtigt werden (EC 5-1-2; Kap. 2.4.1(1)). Ein unsymmetrischer Abbrand kann dazu führen, dass sich die statischen Randbedingungen ändern. So kann beispielsweise durch einen einseitigen Abbrand einer Stütze eine Ausmitte und damit eine zusätzliche Momentenbeanspruchung entstehen oder durch den Ausfall von Aussteifungssystemen kann sich die Knick- oder Kipplänge vergrößern (EC 5-1-2; Kap. 4.3.2(1) und Kap. 4.3.3(1)).

Die Aussteifungssysteme biege- und druckbeanspruchter Bauteile gelten ohne Nachweis als ausreichend tragicher, wenn mindestens 60% der erforderlichen Flächen bzw. Dicke im Brandfall erhalten bleiben. Die Anschlüsse der Aussteifungen müssen jedoch brandschutztechnisch nachgewiesen werden (EC 5-1-2; Kap. 4.3.5(2)). Über mehrere Geschosse durchlaufende Stützen eines als horizontal unverschieblich angenommenen Tragwerks dürfen für die brandschutztechnische Bemessung in jedem Geschoss als beidseitig eingespannt angenommen werden. Lediglich der Anschluss an die oberste Decke ist als gelenkig anzusehen (EC 5-1-2; Kap. 4.3.3(2)).

Wärmedehnungen des Baustoffs Holz müssen bei der brandschutztechnischen Bemessung nicht berücksichtigt werden. Die Wärmedehnungen sind vergleichsweise gering und wirken zudem dem Schwinden infolge der

Trocknung des Holzes entgegen. Wärmedehnungen anderer Baustoffe wie z.B. Zugbändern aus Stahl müssen hingegen berücksichtigt werden (EC 5-1-2; Kap. 2.4.1(4)).

Druckbeanspruchungen rechtwinklig zur Faser müssen im Brandfall in der Regel nicht nachgewiesen werden. Auch Schubbeanspruchungen für rechteckige und runde Querschnitte müssen bei den vereinfachten Rechenverfahren nicht nachgewiesen werden (EC 5-1-2; Kap. 4.3.1(1)). Für Bauteile, bei denen bei Normaltemperatur die Schubbeanspruchung maßgebend ist, sollte dieser Nachweis jedoch auch im Brandfall geführt werden [6].

4 Vereinfachte Rechenverfahren

Der EC 5-1-2 stellt zwei alternativ anwendbare vereinfachte rechnerische Nachweise zur brandschutztechnischen Bemessung von Holzbauteilen zur Verfügung. Beide Verfahren werden im Nationalen Anhang des EC 5-1-2 für Deutschland zugelassen. Voraussetzung zur Anwendung der vereinfachten Nachweise ist eine Temperaturbeanspruchung entsprechend der Einheits-temperaturzeitkurve. Mit den beiden vereinfachten Verfahren, die in Kap. 4.2.2 und 4.2.3 des EC 5-1-2 dargestellt werden, können die Querschnitteigenschaften im Brandfall ermittelt werden. Der Nachweis ist dann mit den Bemessungsregeln nach EC 5-1-1 analog zum Tragfähigkeitsnachweis bei Normaltemperatur zu führen. Das genauere Verfahren nach Kap. 4.2.3 (Methode mit reduzierten Eigenschaften) darf nur für Rechteckquerschnitte aus Nadelholz mit drei- oder vierseitiger Brandbeanspruchung, und für Rundhölzer mit allseitiger Brandbeanspruchung angewendet werden. Das Verfahren nach Kap. 4.2.2 (Methode mit reduziertem Querschnitt) darf hingegen für alle Fälle angewendet werden. Die Methode mit reduziertem Querschnitt liegt im Allgemeinen auf der sicheren Seite, sodass bei knapp verfallenen Tragfähigkeitsnachweisen eine erneute Berechnung mithilfe des genaueren Verfahrens lohnenswert sein kann [7].

4.1 Vereinfachtes Bemessungsverfahren mit reduziertem Querschnitt

4.1.1 Grundlagen

Bei der Bemessung mit reduziertem Querschnitt wird zusätzlich zum vorhandenen Abbrand durch den Abzug einer Querschnittdicke von maximal 7 mm die Abnahme der Festigkeit sowie die Reduzierung des E-Moduls aufgrund erhöhter Temperaturen im Querschnitttrand berücksichtigt. Der Wert für den erhöhten Abbrand ($k_0 \cdot d_0$) steigt in den ersten 20 Minuten von null auf 7 mm linear an und bleibt dann für den weiteren Brandverlauf konstant bei 7 mm. So wird das in Abschnitt 2 geschilderte Erwärmungsverhalten des Restquerschnitts berücksichtigt.

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 4.1})$$

mit

d_{ef} ideelle Abbrandtiefe

$d_{char,n}$ Bemessungswert der ideellen Abbrandtiefe ($\beta_n \cdot t$)

mit

β_n ideelle Abbrandrate nach Tab. 3.1; EC 5-1-2

t Branddauer in Minuten

$k_0 = t/20$ für $t > 20$ Minuten; $k_0 = 1,0$

$d_0 = 7$ mm

Die brandschutztechnische Bemessung erfolgt dann mit den Materialkennwerten bei Normaltemperatur. Bei dem Bemessungsverfahren mit reduziertem Querschnitt ist der Faktor zur Berücksichtigung der temperaturabhängigen Festigkeitsabnahme $k_{mod,fi}$ somit immer 1,0. Die pauschale Abminderung der Querschnittsabmessungen stellt für die verschiedenen Beanspruchungsarten einen oberen Grenzwert dar.

4.1.2 Beispiel 1: Bemessung einer Stütze

Bild 7 zeigt eine 3,5 m lange Stütze aus Nadelholz C24 mit einem Querschnitt 18 cm × 18 cm. Es soll der Nachweis für R30 geführt werden. Die Stütze ist einseitig durch die ETK brandbeansprucht und wird durch folgende zentrisch angreifende Einwirkungen belastet.

$F_{G,k} = 50$ kN (ständig)

$F_{Q,k} = 75$ kN (veränderlich; KLED = mittel)

$q_{w,k} = 2,0$ kN/m (veränderlich; KLED = kurz)

Der Stabilitätsnachweis bei Normaltemperatur liefert mittels Ersatzstabverfahren eine Spannungsausnutzung von 82%.

Der Nachweis der Feuerwiderstandsdauer wird mit der Methode mit reduziertem Querschnitt geführt.

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 4.1})$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 3.2})$$

mit

Abbrandrate: $\beta_n = 0,8$ mm/min (EC 5-1-2; Tab. 3.1)

Branddauer: $t = 30$ min

$$d_{char,n} = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31 \text{ mm}$$

Es ergeben sich folgende Querschnittswerte:

$$b_r = b = 18,0 \text{ cm}$$

$$h_r = h - 1 \cdot d_{ef} = 18 - 3,1 = 14,9 \text{ cm}$$

$$A_r = b_r \cdot h_r = 18,0 \cdot 14,9 = 268,2 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,r} = \frac{b_r \cdot h_r^3}{12} = \frac{18,0 \cdot 14,9^3}{12} = 4962 \text{ cm}^4$$

$$I_{z,r} = \frac{b_r^3 \cdot h_r}{12} = \frac{18,0^3 \cdot 14,9}{12} = 7241 \text{ cm}^4$$

$$W_{y,r} = \frac{b_r \cdot h_r^2}{6} = \frac{18,0 \cdot 14,9^2}{6} = 666 \text{ cm}^3$$

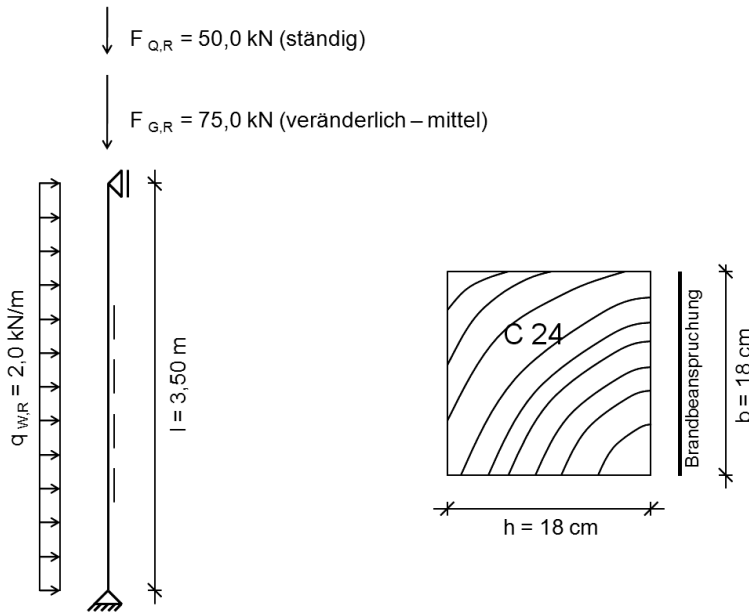


Bild 7. Bemessung einer Stütze

Für den brandschutztechnischen Nachweis sind zwei Lastfallkombinationen zu untersuchen. Bei Lastfallkombination 1 wird die Verkehrslast $F_{Q,k}$ als Leiteinwirkung angenommen, sodass aufgrund des Kombinationsbeiwertes $\Psi_{2,w}$ für die Windlast diese nicht zu berücksichtigen ist. Die Schnittgrößen im Brandfall betragen für die Lastfallkombination 1:

$$N_{d,fi} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \psi_{2,1} \cdot F_{Q,k} \\ = 1,0 \cdot 50 + 0,3 \cdot 75 = 72,5 \text{ kN}$$

Durch den einseitigen Abbrand entsteht ein zusätzliches Moment. Der Hebelarm entspricht dem halben rechnerischen Abbrand (d_{ef}).

$$\Delta M_{d,fi} = N_{d,fi} \cdot e \\ e = \frac{d_{ef}}{2} = \frac{31 \cdot 10^{-1}}{2} = 1,6 \text{ cm} \\ \Delta M_{d,fi} = 72,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} = 1,16 \text{ kNm} \\ M_{d,fi} = \frac{\Psi_{2,w} \cdot q_{w,k} \cdot l^2}{8} = 0 \\ M_{d,tot,fi} = \Delta M_{d,fi} = 1,16 \text{ kNm}$$

Bei der Lastkombination 2 wird der Wind als Leiteinwirkung angenommen und daher mit dem Kombinationsbeiwert $\Psi_{1,1}$ multipliziert. Das Zusatzmoment, hervorgerufen aus dem einseitigen Abbrand, wird auf der sicheren Seite liegend nicht berücksichtigt, da es der Momentenbeanspruchung aus Wind entgegen wirkt und somit entlasten würde. Es folgt:

$$N_{d,fi} = \gamma_{GA} \cdot F_{G,k} + \Psi_{2,1} \cdot F_{Q,k} \\ = 1,0 \cdot 50 + 0,3 \cdot 75 = 72,5 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{d,fi} = \text{wird nicht berücksichtigt}$$

$$M_{d,fi} = \frac{\Psi_{1,w} \cdot q_{w,k} \cdot l^2}{8} = \frac{0,2 \cdot 2,0 \cdot 3,50^2}{8} = 0,61 \text{ kNm}$$

$$M_{d,tot,fi} = M_{d,fi} = 0,61 \text{ kNm}$$

Lastfallkombination 1 ist maßgebend, da $M_{d,tot,fi}(\text{LFK1}) = 1,16 \text{ kNm} > M_{d,tot,fi}(\text{LFK2}) = 0,61 \text{ kNm}$.

Es ergeben sich folgende Spannungen:

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{72,5 \cdot 10^3}{268,2 \cdot 10^2} = 2,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{\Delta M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{1,16 \cdot 10^6}{666 \cdot 10^3} = 1,74 \text{ N/mm}^2$$

Die Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten errechnen sich im Brandfall nach Abschnitt 3.2:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.1, 2.4})$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{S_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.2, 2.5})$$

mit

$$k_{fi} = 1,25 \quad (\text{EC 5-1-2; Tab. 2.1})$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0 \quad (\text{EC 5-1-2 (NA); Kap. 5 zu 2.3 (1)})$$

$k_{\text{mod,fi}}$ wird ebenfalls zu 1,0 gesetzt, da die Festigkeits- und Steifigkeitsreduzierung aufgrund der Temperaturerhöhung bereits über den um 7 mm erhöhten Abbrand berücksichtigt wurde. Es folgt:

$$f_{c,0,d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{21,0}{1,0} = 26,3 \text{ N/mm}^2$$

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

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{7333}{1,0} = 9250 \text{ N/mm}^2$$

Der Stabilitätsnachweis wird analog zur Bemessung unter Normaltemperatur nach dem Ersatzstabverfahren geführt:

Die Knicklänge ist:

$$l_{\text{ef,y}} = \beta_y \cdot l$$

$$l_{\text{ef,z}} = \beta_z \cdot l$$

$$\beta_y = 1,0 = \beta_z \text{ (Eulerfall 2)}$$

$$l_{\text{ef,y}} = l_{\text{ef,z}} = 1,0 \cdot 3,50 = 3,50 \text{ m}$$

Für die Bestimmung der Schlankheit der Stütze ist der erhöhte Abbrand zu berücksichtigen.

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_{\text{ef,y}}}{\sqrt{I_y/A_r}} = \frac{3,50 \cdot 10^2}{\sqrt{4962/268,2}} = 81,4$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{\text{ef,z}}}{\sqrt{I_z/A_r}} = \frac{3,50 \cdot 10^2}{\sqrt{7241/268,2}} = 67,4$$

Die Knickbeiwerte sind:

$$k_{c,fi} = \frac{1}{k_{fi} + \sqrt{k_{fi}^2 - \lambda_{\text{rel,fi}}^2}} \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.25, 6.26})$$

$$k_{y,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel,y,fi}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,y,fi}}^2 \right] \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.27})$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel,z,fi}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,z,fi}}^2 \right] \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.28})$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (Vollholz)} \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.29})$$

$$\lambda_{\text{rel,y,fi}} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.21})$$

$$\lambda_{\text{rel,y,fi}} = \frac{81,4}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,3}{9250}} = 1,38$$

$$\lambda_{\text{rel,z,fi}} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 6.22})$$

$$\lambda_{\text{rel,z,fi}} = \frac{67,4}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,3}{9250}} = 1,14$$

Es folgt:

$$k_{y,fi} = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,38 - 0,3) + 1,38^2] = 1,56$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,15 - 0,3) + 1,15^2] = 1,25$$

$$k_{c,y,fi} = \min \left\{ \frac{1}{1,56 + \sqrt{1,56^2 - 1,38^2}}; 1,0 \right\} = 0,44$$

$$k_{c,z,fi} = \min \left\{ \frac{1}{1,25 + \sqrt{1,25^2 - 1,15^2}}; 1,0 \right\} = 0,57$$

Der Spannungsnachweis lautet:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.23})$$

Der Materialbeiwert k_m berücksichtigt den Einfluss der Spannungsverteilung in Bezug auf die Inhomogenität von Holz. Er beträgt bei Rechteckquerschnitten aus Vollholz:

$$k_m = 0,7 \quad (\text{EC 5-1-1; Kap. 6.1.6 (2)})$$

Da keine Biegespannungen $\sigma_{m,z}$ vorliegen, muss dieser Term nicht berücksichtigt werden.

Für den Spannungsnachweis gilt:

$$\frac{2,70}{0,44 \cdot 26,3} + \frac{1,74}{30,0} = 0,29 < 1,0$$

Nachweis für R30 erbracht!

4.2 Genaues Bemessungsverfahren mit reduzierter Steifigkeit und Festigkeit

4.2.1 Grundlagen

Das Modell des genauen Bemessungsverfahrens entspricht eher den vorhandenen Bedingungen. Durch die Durchwärmung des Querschnitts vermindern sich seine Festigkeits- und Steifigkeitswerte. Dies muss bei der brandschutztechnischen Bemessung berücksichtigt werden. Die mittlere Temperatur T_m im Restquerschnitt ist entscheidend für die Bestimmung der Festigkeits- und Steifigkeitswerte des Restquerschnittes. Diese Temperatur kann indirekt über das Verhältnis des beflamten Umfangs (p) zur Querschnittfläche (A_r) des Restquerschnitts bestimmt werden. Die Reduzierung der Festigkeit erfolgt über den Modifikationsbeiwert $k_{\text{mod,fi}}$. Der Verlauf der Festigkeitsabnahme ist Bild 8 zu entnehmen bzw. kann mit den in EC 5-1-2 angegebenen Formeln berechnet werden.

Je größer der Quotient aus p/A_r wird, desto höher ist die mittlere Temperatur im Restquerschnitt, desto kleiner ist der $k_{\text{mod,fi}}$ -Wert, desto geringer ist die Restfestigkeit. Da die Reduzierung der Zug-, Druck- und Biegefestigkeit sowie des E-Moduls und Schubmoduls in der Berechnung berücksichtigt wird, kann mit dem „realen“ Restquerschnitt gerechnet werden.

4.2.2 Beispiel 2: Bemessung eines Biegebalkens

Bild 9 zeigt einen Biegeträger aus homogenem Brett-schichtholz der Festigkeitsklasse GL 28 h mit einem Querschnitt von 18 cm × 80 cm. Die Spannweite des Bauteils beträgt 15,0 m. Der Träger ist im Abstand von

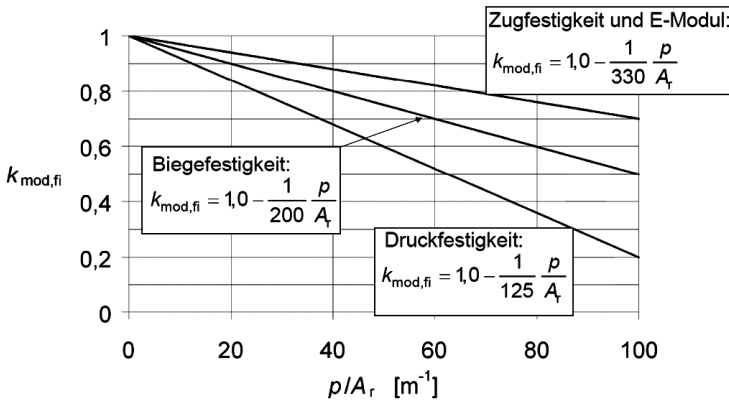


Bild 8. Entwicklung der mechanischen Eigenschaften unter Temperatureinfluss (EC 5-1-2; Kap. 4.2.3)

3,0 m durch Sparrenpfetten seitlich gehalten. Der Balken ist dreiseitig durch die ETK brandbeansprucht. Es soll der Nachweis für R30 geführt werden. Das Bauteil wird durch folgende Streckenlasten beansprucht:
 Eigengewicht: 4,0 kN/m
 Schneelast: 5,25 kN/m (Höhe > 1000 m über NN)

Die maßgebende Lastkombination für den Biegespannungsnachweis bei Normaltemperatur ist:

$$E_D = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \psi_{0,1} \cdot \gamma_{Q,2} \cdot Q_{k,2}$$

$$E_D = 1,35 \cdot 4,0 + 1,5 \cdot 5,25 = 13,3 \text{ kN/m}$$

Das maximale Biegemoment ist somit:

$$M_{y,d} = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

$$M_{y,d} = \frac{13,3 \cdot 15,0^2}{8} = 374 \text{ kNm}$$

Der Spannungsnachweis bei Normaltemperatur nach EC 5-1-1 ergibt eine Spannungsausnutzung von 97%.

Die Kombinationsregel für Einwirkungen im Brandfall lautet:

$$E_{d,fi,t} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

(DIN EN 1990; Gl. 6.11 a, b)

mit

$$\psi_{2,1} = 0,2 \quad (\text{DIN EN 1990 (NA); Tab. NA.1.1})$$

$$E_{d,fi} = 1,0 \cdot 4,0 + 0,2 \cdot 5,25 = 5,05 \text{ kN/m}$$

Das maximale Biegemoment im Brandfall beträgt:

$$M_{fi,d} = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

$$M_{fi,d} = \frac{5,05 \cdot 15,0^2}{8} = 142,0 \text{ kNm}$$

Vereinfacht darf auch für die Einwirkungen im Brandfall der Bemessungswert mit 60% des Wertes der kalten Bemessung angenommen werden.

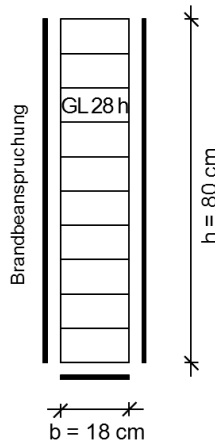
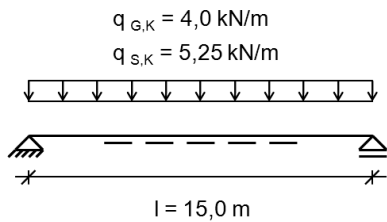


Bild 9. Bemessung eines Biegebalkens

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.8})$$

mit

$$\eta_{fi} = 0,6 \quad (\text{EC 5-1-2 (NA); Kap. 5 zu 2.4.2 (3)})$$

$$M_{E,d,fi} = 0,6 \cdot 374 = 224,4 \text{ kNm}$$

Bei kleinen Querschnitten führt der Nachweis mit vereinfachter Annahme der Einwirkungen oft zu unwirtschaftlichen Querschnitten, da viele veränderliche Einwirkungen im Brandfall kaum oder gar nicht berücksichtigt werden müssen. Hier empfiehlt sich das exakte Verfahren. Das vereinfachte Verfahren nach Gleichung 2.8 des EC 5-1-2 kann jedoch für große Querschnitte problemlos angewendet werden, da hier meistens die kalte Bemessung maßgebend ist. Im weiteren Verlauf wird daher mit $M_{fi,d} = 224,4 \text{ kNm}$ gerechnet. Die rechnerisch anzusetzende Abbrandtiefe entspricht bei der Methode mit reduzierten Eigenschaften der Abbrandrate multipliziert mit der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer.

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 3.2})$$

mit

$$\text{Abbrandrate: } \beta_n = 0,7 \text{ mm/min} \quad (\text{EC 5-1-2; Tab. 3.1})$$

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

$$d_{char,n} = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ mm}$$

Es handelt sich um einen 3-seitig beflammtm Querschnitt, da die Oberseite durch den Deckenaufbau über die geforderte Feuerwiderstandsdauer vor der Beflammung geschützt ist.

$$b_r = 18 - 2 \cdot 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$h_r = 80 - 2,1 = 77,9 \text{ cm}$$

$$W_{y,r} = \frac{13,8 \cdot 77,9^2}{6} = 13957 \text{ cm}^3$$

Für die Biegespannung folgt:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{22440}{13957} = 1,61 \text{ kN/cm}^2 = 16,1 \text{ N/mm}^2$$

Zur Berechnung der Festigkeits- und Steifigkeitsreduzierung im Brandfall wird als Eingangswert das Verhältnis aus beflammtm Umfang p [m] zur Fläche A_r [m²] – ermittelt am Restquerschnitt – benötigt.

$$p = 1 \cdot b_r + 2 \cdot h_r = 1 \cdot 13,8 + 2 \cdot 77,9 = 169,6 \text{ cm} = 1,696 \text{ m}$$

$$A_r = b_r \cdot h_r = 13,8 \cdot 77,9 = 1075 \text{ cm}^2 = 0,108 \text{ m}^2$$

Daraus folgt für die temperaturabhängige Abnahme der Biegefestigkeit:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 4.2})$$

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{1,696}{0,108} = 0,92$$

und für die temperaturabhängige Abnahme des E-Moduls:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 4.4})$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{1,696}{0,108} = 0,95$$

Die Bemessungswerte der Biegefestigkeit und des E-Moduls werden bestimmt durch:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.1, 2.4})$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{S_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.2, 2.5})$$

mit

$$k_{fi} = 1,15 \quad (\text{EC 5-1-2; Tab. 2.1})$$

$$f_k = 28,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{DIN EN 338; Tab. 1})$$

$$E_{0,g,0,5} = 10200 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{DIN EN 1194; Tab. 1})$$

$$\gamma_M = 1,0 \quad (\text{EC 5-1-2 (NA); Kap. 5 zu 2.3 (1)})$$

Es folgt:

$$f_{m,d,fi} = 0,92 \cdot 1,15 \cdot \frac{28,0}{1,0} = 29,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = 0,95 \cdot 1,15 \cdot \frac{10200}{1,0} = 11144 \text{ N/mm}^2$$

Der Träger ist im Abstand von 3,0 m seitlich gegen Kippen durch Pfetten gehalten. Der Kippbeiwert berechnet sich zu:

$$k_{crit,fi} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{für } 1,4 > \lambda_{rel,m,fi} \end{cases} \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.34})$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.30})$$

$$l_{ef} = 3,0 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b_r^2}{h_r \cdot l_{ef}} \cdot E_{d,fi} \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.32})$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot 138^2}{779 \cdot 3,0 \cdot 10^3} \cdot 11144 = 70,83 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{29,6}{70,83}} = 0,65$$

Daraus folgt:

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

Für den Nachweis der Biegespannung im Brandfall gilt:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (\text{EC 5-1-1; Gl. 6.11})$$

$$\frac{16,1 \text{ N/mm}^2}{1,0 \cdot 29,6 \text{ N/mm}^2} = 0,54 \leq 1,0$$

Nachweis für R30 erbracht!

5 Bemessung anfangs geschützter Bauteile

5.1 Grundlagen

Der EC 5-1-2 bietet auch ein Rechenverfahren zur Bemessung bekleideter Bauteile. Als Bekleidungen können zum Beispiel Holz-, Holzwerkstoff-, Gips- oder Mineralfaserplatten zum Einsatz kommen. Zur Beschreibung des Abbrandes geschützter Bauteile werden drei Zeitpunkte definiert, zwischen denen sich das Abbrandverhalten grundsätzlich ändert.

Der Zeitpunkt t_{ch} markiert den Beginn des Abbrandes. Zu diesem Zeitpunkt wird an der Oberfläche des zu schützenden Querschnitts eine Temperatur von etwa 300 °C erreicht. Bis zum Zeitpunkt t_{ch} hat der Querschnitt noch keine bleibende Schädigung durch Pyrolyse erfahren.

Der Zeitpunkt t_f beschreibt den Versagenszeitpunkt (das Abfallen) der Brandschutzbekleidung. Bei Bekleidungen mit schlechter Wärmedämmung oder Rissneigung kann es bereits vor dem Abfallen der Bekleidung zu einem Abbrand kommen. In dem Zeitraum zwischen t_{ch} und t_f wird der Querschnitt mit einer (gegenüber den Werten nach Tabelle 3.1 des EC 5-1-2) reduzierten Abbrandrate geschädigt, da die Bekleidung das Bauteil weiterhin vor der direkten Beflammung schützt. Bei gut dämmenden Bekleidungen fällt der Beginn des Abbrandes t_{ch} mit dem Versagen der Brandschutzbekleidung t_f zusammen. Um ein vorzeitiges Abfallen der Bekleidung auszuschließen, muss die Verankerungslänge der Verbindungsmittel l_a mindestens 10 mm im unverkohlten Querschnitt betragen.

Daraus folgt für die Mindestlänge der Verbindungsmittel:

$$l_{f,req} = h_p + d_{char,0} + l_a \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 3.16})$$

mit

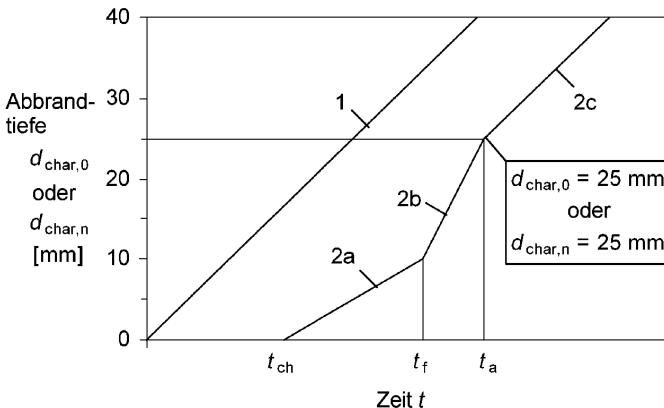
h_p Dicke der Bekleidung
 $d_{char,0}$ eindimensionale Abbrandtiefe
 l_a Mindestverankerungslänge (= 10 mm)

Nach dem Abfallen der Bekleidung zum Zeitpunkt t_f brennt der Querschnitt mit einer erhöhten Abbrandrate bis zum Zeitpunkt t_a . Dies rührt daher, dass der verbleibende Restquerschnitt zum Zeitpunkt des Abfallens der Bekleidung bereits vorerwärmt und getrocknet ist. Der Zeitpunkt t_a ist dadurch gekennzeichnet, dass die Abbrandtiefe den wie folgt definierten Wert erreicht:

$$\text{Minimum} \begin{cases} \text{Abbrandtiefe ohne Brandschutzbekleidung} \\ 25 \text{ mm} \end{cases} \quad (\text{EC 5-1-2; Kap. 3.4.3.1 (1)})$$

Nach dem Zeitpunkt t_a entsprechen die Abbrandraten wieder den Werten nach Tabelle 3.1 des EC 5-1-2. Die 25 mm Abbrandtiefe, ab der sich die Auswirkungen der Bekleidung auf die Abbrandrate wieder ausgeglichen haben, gelten vereinfacht für β_n und β_0 .

Für einige Fälle stellt der EC 5-1-2 Daten der charakteristischen Zeitpunkte der Abbrandrate zur Verfügung. Sofern die Rechengrundlagen nicht normiert sind, müssen die fehlenden Werte auf der Grundlage von Brandversuchen ermittelt werden. Das Verfahren darf grundsätzlich auch für andere Materialien, wie z. B. Dämmschichtbildner eingesetzt werden, jedoch liegen hierzu keine Formeln und Rechenwerte vor. Da



Legende

- 1) Verlauf für während der Branddauer ungeschützte Bauteile mit der ideellen Abbrandrate β_n (oder β_0)
- 2) Verlauf für anfänglich geschützte Bauteile nach dem Versagen der Brandschutzbekleidung
- 2a) Nach dem Abfall der Brandschutzbekleidung, Beginn des Abbrandes mit erhöhten Werten
- 2b) Nach Überschreiten der Abbrandtiefe von 25 mm reduziert sich die Abbrandrate auf die Werte der Tabelle 3.1

Bild 10. Darstellung der Abbrandtiefe in Abhängigkeit von der Zeit für $t_{ch} = t_f$ und einer Abbrandtiefe von 25 mm zum Zeitpunkt t_a (EC 5-1-2; Bild 3.4)

an einigen Stellen die erforderlichen Eingangswerte fehlen und durch Brandversuche ermittelt werden müssen, wird das prinzipielle Vorgehen nur an einem Beispiel erläutert.

5.2 Beispiel 3: Bemessung eines bekleideten Zugstabes

Bild 11 zeigt einen Zugstab mit einem Querschnitt von $16 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$. Der Zugstab besteht aus Nadelholz der Festigkeitsklasse C16 und ist durch eine Bekleidung aus Gipskartonbauplatten in einer Stärke von $9,5 \text{ mm}$ allseitig geschützt. Der Zugstab wird vierseitig beflammt und ist durch eine Zugkraft $E_d = 100 \text{ kN}$ belastet. Für den Zugstab ist eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten nachzuweisen. Die ideale Abbrandrate beträgt $0,8 \text{ mm/min}$ (Tab. 3.1; EC 5-1-2).

Der Abbrand des Querschnitts beginnt zum Zeitpunkt t_{ch} :

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 3.11})$$

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

Dieser Zeitpunkt entspricht ebenfalls dem Versagenszeitpunkt t_f der Gipskartonplatte:

$$t_f = t_{ch} = 12,6 \text{ min} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 3.15})$$

Nach dem Versagen der Gipskartonplatte verdoppelt sich der rechnerische Abbrand aufgrund der Vorerwärmung gemäß EC 5-1-2; Kap. 3.4.3.2. Daraus folgt:

$$0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ mm/min}$$

Die erhöhte Abbrandrate $\beta_{n,erhöht}$ ist anzusetzen bis zum Zeitpunkt t_a :

$$t_a = \min \left\{ \frac{2 \cdot t_f}{\frac{25}{k_3 \cdot \beta_n}} + t_f \right. \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 3.8})$$

$$t_a = \min \left\{ \frac{2 \cdot 12,6}{\frac{25}{2 \cdot 0,8}} + 12,6 = 28,2 \text{ min} \right.$$

Die Abbrandtiefe bis zum Zeitpunkt t_a ist:

$$d_{char,n,1} = (t_a - t_f) \cdot \beta_{n,erhöht}$$

$$d_{char,n,1} = (28,2 - 12,6) \cdot 1,6 = 20,2 \text{ mm}$$

Die Abbrandtiefe zwischen dem Zeitpunkt t_a und der geforderten Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten ist:

$$d_{char,n,2} = (30 - t_a) \cdot \beta_n$$

$$d_{char,n,2} = (30 - 28,2) \cdot 0,8 = 3,8 \text{ mm}$$

Die gesamte Abbrandtiefe nach einer Branddauer von 30 Minuten beträgt somit:

$$d_{char,n,gesamt} = d_{char,n,1} + d_{char,n,2}$$

$$d_{char,n,gesamt} = 20,2 + 3,8 = 24 \text{ mm}$$

Der Nachweis der Feuerwiderstandsdauer wird mit der Methode mit reduziertem Querschnitt geführt. Es ergeben sich somit die folgenden Querschnittswerte:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 4.1})$$

$$d_{ef} = 24 + 1,0 \cdot 7 = 31 \text{ mm}$$

$$b(t) = h(t) = b - 2 \cdot d_{ef} = 14 - 2 \cdot 3,1 = 7,8 \text{ cm}$$

$$A_r = b(t) \cdot h(t) = 7,8^2 = 60,8 \text{ cm}^2$$

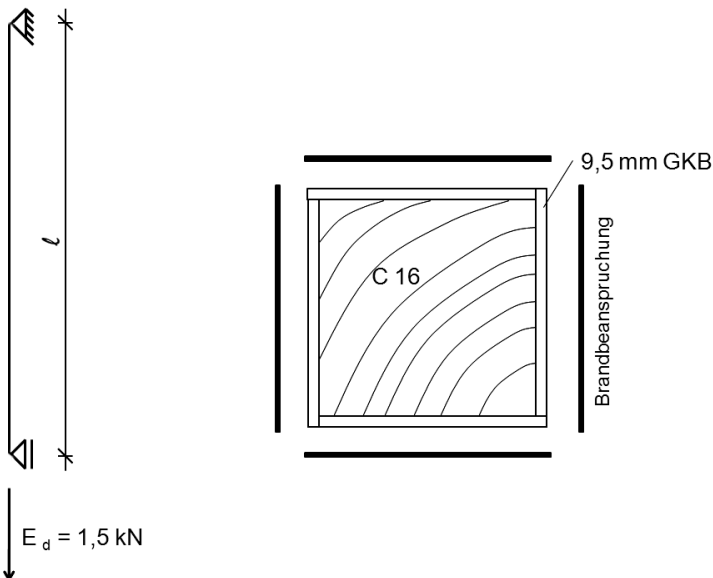


Bild 11. Bemessung eines bekleideten Zugstabes

Vereinfacht wird für die Einwirkungen im Brandfall der Bemessungswert mit 60% des Wertes der kalten Bemessung bei Raumtemperatur angenommen.

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.8})$$

$$E_{dA} = 0,6 \cdot 100 \text{ kN} = 60 \text{ kN}$$

Es ergibt sich folgende Normalspannung im Brandfall:

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{60 \cdot 10^3}{6080} = 9,87 \text{ N/mm}^2$$

Die Beanspruchbarkeit ist:

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (\text{EC 5-1-2; Gl. 2.1, 2.4})$$

$$f_{t,0,d,fi} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{10,0}{1,0} = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

Somit lautet der Spannungsnachweis:

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} = \frac{9,87}{12,5} = 0,79 < 1,0$$

Nachweis für R30 erbracht!

6 Bemessung von Holzverbindungen

Es ist allgemein bekannt, dass die Feuerwiderstandsdauer einer Konstruktion nur so hoch sein kann, wie ihr schwächstes Glied. Die Schwachpunkte aus brandschutztechnischer Sicht sind im Holzbau oftmals die Verbindungen zwischen den Bauteilen, die im modernen Ingenieurholzbau und Holztafelbau fast ausschließlich in Stahl ausgeführt werden. Die zumeist unbekleideten, filigranen Stahlverbindungen haben die Eigenschaft, sich im Brandfall aufgrund ihrer geringen Masse sehr schnell aufzuheizen und verlieren dadurch ihre Festigkeit. Zudem führt die hohe Wärmeleitfähigkeit der Verbindungsmittel zu einem erhöhten Temperatureintrag in den Querschnitt und damit zu einer verstärkten Schädigung des Bauteils in diesem Bereich. Ungeschützte Verbindungen besitzen je nach Ausführung und Auslastung in der Regel nur eine Feuerwiderstandsdauer von 15 bis maximal 25 Minuten.

Es ist also für eine Erhöhung der Feuerwiderstandsdauer erforderlich, die Stahlverbindungen vor Temperatureintrag zu schützen. Das Grundprinzip zur Verlängerung der Feuerwiderstandsdauer ist es, die Verbindungsmittel im Innern des Bauteils anzuordnen bzw. sie durch Bekleidungen zu schützen. Durch die Anordnung von Bekleidungen ist es leicht, die Feuerwiderstandsdauer auf 30 bis sogar 60 Minuten zu erhöhen. Der Einsatz von Holz oder Holzwerkstoffen eröffnet dabei die Möglichkeit, werkstoffgetreu und zugleich wirtschaftlich zu arbeiten. Zum Beispiel können freiliegende Köpfe von Bolzen oder Passbolzen versenkt und mit einer eingeleimten Holzscheibe geschützt, bzw. Nagelverbindungen durch aufgenagelte Laschen verdeckt werden.

Tabelle 3. Feuerwiderstandsdauern ungeschützter Verbindungen mit Seitenteilen aus Holz (EC 5-1-2, Tab. 6.1)

Verbindungsmittel	Feuerwiderstandsdauer $t_{d,fi}$ min	Voraussetzung ¹⁾
Nägel	15	$d \geq 2,8 \text{ mm}$
Schrauben	15	$d \geq 3,5 \text{ mm}$
Bolzen	15	$t_1 \geq 45 \text{ mm}$
Dübel	20	$t_1 \geq 45 \text{ mm}$
Verbindungsmittel entsprechend EN 912	15	$t_1 \geq 45 \text{ mm}$

1) d ist der Durchmesser des Verbindungsmittels und t_1 ist die Dicke des Seitenteils.

Die Bemessungsregeln für Verbindungen, bei denen die Verbindungsmittel auf Abscheren beansprucht werden, sind in den Kapiteln 6.2 und 6.3 angegeben. Die Regeln gelten ausschließlich für zweischnittige Verbindungen mit einem symmetrischen Aufbau. Die Regeln gelten sowohl für Holz-Holz- als auch für Holz-Stahl-Verbindungen. Ähnlich wie bei der brandschutztechnischen Bemessung der Bauteile existieren auch für den Nachweis der Verbindungen zwei alternativ anwendbare Wege.

Bemessungsregeln für auf Herausziehen beanspruchte Schrauben sind in Kapitel 6.4 des EC 5-1-2 dargestellt. Für zimmermannsmäßige Verbindungen existieren im EC 5-1-2 keine Bemessungsregeln.

6.1 Vereinfachte Regeln

In Tabelle 3 (EC 5-1-2; Tab. 6.1) werden die Feuerwiderstandsdauern für Verbindungen angegeben, die bei Normaltemperatur gemäß EC 5-1-1 bemessen wurden. Hieraus ist ersichtlich, dass bei Einhaltung der Anforderungen an die Seitenholzdicke oder den Verbindungsmitteldurchmesser eine Feuerwiderstandsdauer von 15 Minuten in jedem Fall gewährleistet ist. Für Verbindungen mit Stabdübeln beträgt die Feuerwiderstandsdauer sogar 20 Minuten.

Bei der vereinfachten Regel können die Feuerwiderstandsdauern der Tabelle für Schrauben, Bolzen und Stabdübel erhöht werden, indem die Seitenholzdicke und -breite sowie die Rand- und Seitenabstände der Verbindungsmittel gegenüber den erforderlichen Werten der Bemessung bei Normaltemperatur um den Wert a_{fi} vergrößert werden. Die erforderliche Seitenholzdicke wird durch das Erreichen des Versagensfalls (k) (Bild 12) (Lochleibungsversagen mit Fließgelenkausbildung in den Seitenhölzern) definiert [6]. Die erforderliche Seitenholzdicke beträgt:

$$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} \quad [8]$$