



*Dr. Mandy Peter  
Dr.-Ing., Institutsleiterin  
Institut des Zimmerer- und  
Holzbaugewerbes e.V.  
Berlin, Deutschland*

## **Brandschutz in Europa – Möglichkeiten für den Holzbau**

**Fire protection in Europe - opportuni-  
ties for wood construction**

**Protezione antincendio in Europa -  
Possibilità per le costruzioni in legno**

**Dokument in Deutsch**



# Brandschutz in Europa – Möglichkeiten für den Holzbau

## 1 Einführung

Das Hauptziel von Brandschutzmaßnahmen ist es, der Entstehung eines Brandes sowie der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorzubeugen. Im Falle eines Brandes müssen die Rettung von Leben sowie wirksame Löscharbeiten möglich sein. Neben dem Schutz des Lebens gilt das Ziel der schnellen Brandbekämpfung auch dem Erhalt von Sachwerten sowie dem Schutz der Umwelt, da weniger schädigende Stoffe freigesetzt werden.

In den vergangenen Jahren wurden in den europäischen Regelungen zur Bemessung von Holzkonstruktionen unter Normaltemperaturen umfangreiche Neuerungen vollzogen. Diese Entwicklungen haben eine Überarbeitung der Vorschriften für den Nachweis im Brandfall erforderlich gemacht. In diesen Vorschriften finden sich sowohl bewährte Verfahren als auch neue Erkenntnisse aus der Brandschutzforschung im Holzbau wieder. Sie ermöglichen einen differenzierten Nachweis von Holzkonstruktionen im Brandfall. Damit erweitern sie den Anwendungsbereich des regenerativen Werkstoffs Holz und liefern einen maßgeblichen Beitrag zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Baustoffen.

## 2 Brandverhalten von Holz

Der nachwachsende Rohstoff Holz ist normal entflammbar. Die Einstufung in die Klasse der brennbaren Baustoffe ist weder ein Indiz für die Höhe des Brandentstehungsrisikos einer Konstruktion noch für das Tragverhalten von Holz im Brandfall. Das Risiko einer Brandentstehung wird im Wesentlichen durch die Ausstattung und Nutzung der Gebäude beeinflusst. Das Tragverhalten von Holz im Brandfall ist von der Temperaturentwicklung und den damit verbundenen Festigkeits- und Steifigkeitsabnahmen abhängig. Gerade in diesem Punkt zeigt der Baustoff Holz durch zwei wichtige Eigenschaften ein sehr positives Verhalten. Die geringe Wärmeleitfähigkeit sowie die Bildung einer schützenden Holzkohleschicht im Brandfall führen zu einem geringen Abbrand und einer geringen Erwärmung des verbleibenden Restquerschnitts (Abbildung 1 und 2).

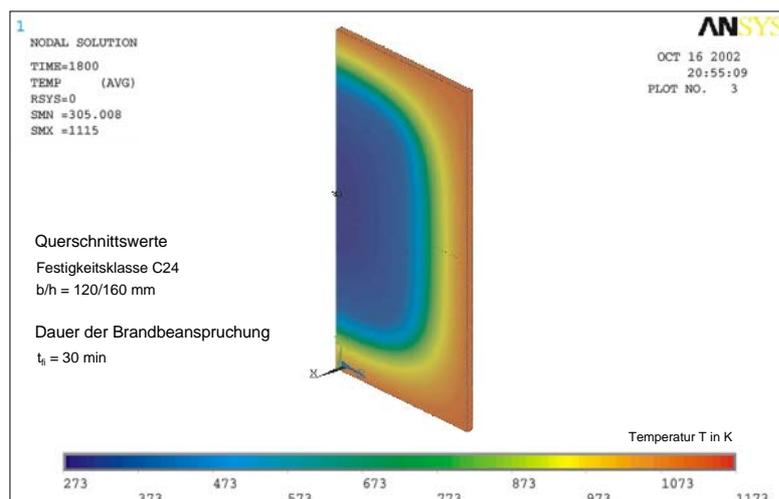


Abbildung 1: Temperaturverteilung über den halben Querschnitt nach einer Brandbeanspruchungsdauer von 30 Minuten nach [2]

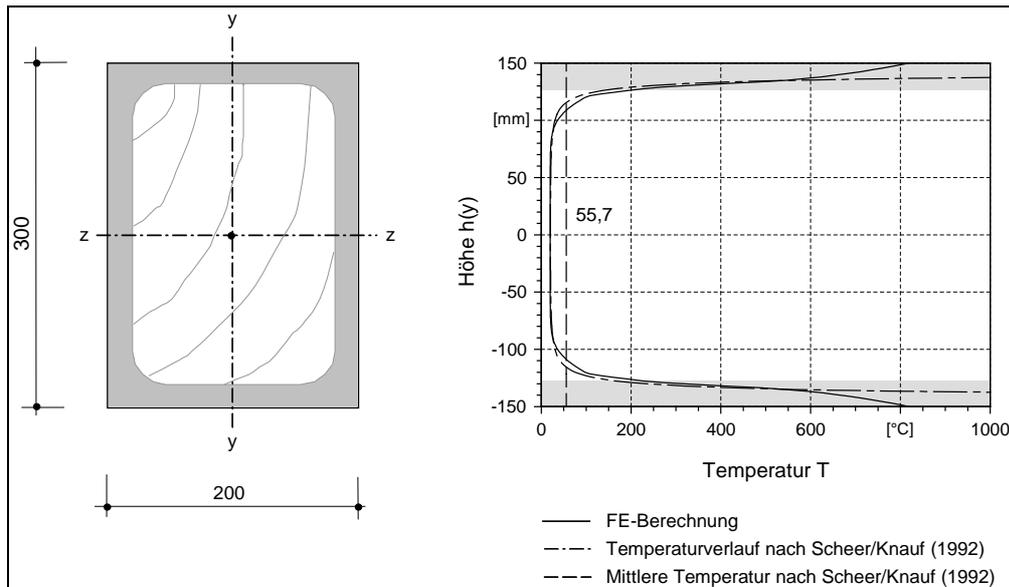


Abbildung 2: Temperaturverläufe entlang der Symmetrieachse y-y über die Querschnittshöhe für eine Festigkeitsklasse C24 und eine Ausgangsfeuchte von 12% für eine Brandbeanspruchungsdauer von 30 Minuten nach [2] und [4]

### 3 Europäische Regelungen zum Brandschutz

Sowohl zur Bezeichnung und Prüfung von Baustoffen bezüglich ihres Brandverhaltens als auch zur Angabe der Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen wurden in die europäische Normung neue Regelungen aufgenommen.

#### 3.1 Klassifizierung von Baustoffen zu ihrem Brandverhalten

Bei der Einteilung der Baustoffe in Brennbarkeitsklassen werden die Anforderungen im Vergleich zu den bisherigen Regelungen deutlicher differenziert. Die Klassifizierung von Bauprodukten zu ihrem Brandverhalten ist in der europäischen Norm EN 13501-1:2002-02 „Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests“ geregelt. Die Einstufung ist in 6 Klassen mit den Bezeichnungen A bis F untergliedert. Dabei werden die Bauprodukte neben der Brennbarkeit unter Berücksichtigung ihrer praktischen Anwendung bewertet. Die Prüfung der Brennbarkeit erfolgt in der Regel mit dem SBI-Test (Single Burning Item). In diesem Test werden die Bauprodukte mit einer Initialflamme beflammt und neben der Flammausbreitung auch die Wärme- (heat release rate) sowie die Rauchentwicklung (smoke release rate) gemessen. Zusätzlich zur Brennbarkeitsklasse werden die Eigenschaften zur Rauchentwicklung (s1 bis s3) und zum brennenden Abtropfen/Abfallen (d0 bis d2) festgelegt. Die Angabe s1 bezeichnet Bauprodukte, die strenge Kriterien an die Rauchentwicklung erfüllen, mit d0 werden Baustoffe gekennzeichnet, bei denen im Brandfall kein brennendes Abtropfen/Abfallen auftritt.

In Tabelle 1 ist beispielhaft die Zuordnung der neuen europäischen Brennbarkeitsklassen nach DIN EN 13501-1:2002-02 zu den in Deutschland festgelegten bauaufsichtlichen Benennungen und Baustoffklassen zusammengestellt.

Europäische Klassifizierung			Deutsche Klassifizierung	
Europäische Klasse nach DIN EN 13501-1	Zusatzanforderungen		Bauaufsichtliche Benennung	Baustoffklasse
	keine Rauchentwicklung	kein brennendes Abtropfen/Abfallen		
A1	X	X	nicht brennbar	A1/A2
A2 -s1, d0	X	X		
B -s1, d0	X	X	schwer entflammbar	B1
C -s1, d0				
A2 -s2, d0		X		
A2 -s3, d0				
B -s2, d0				
B -s3, d0				
C -s2, d0				
C -s3, d0				
A2 -s1, d1	X			
A2 -s1, d2				
B -s1, d1				
B -s1, d2				
C -s1, d1				
C -s1, d2				
A2 -s3, d2				
B -s3, d2				
C -s3, d2				
D -s1, d0		X	normal entflammbar	B2
D -s2, d0				
D -s3, d0				
E				
D -s1, d2				
D -s2, d2				
D -s3, d2				
E d2				
F			leicht entflammbar	B3

Tabelle 1: Gegenüberstellung europäischer und deutscher Klassifizierungen von Bauprodukten

Die Brandverhaltensklasse ist zukünftig entsprechend der Mandate der Europäischen Kommission an die europäische Normungsorganisation CEN für die Produktnormen mit dem CE-Kennzeichen anzugeben.

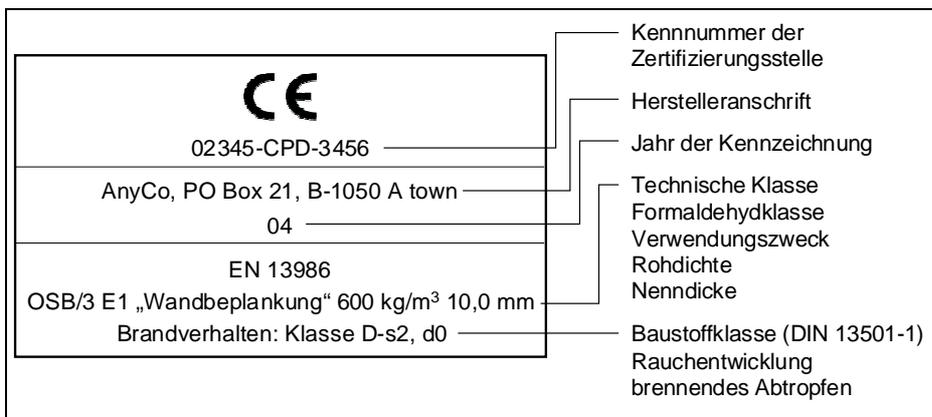


Abbildung 3: Beispiel einer CE-Kennzeichnung für OSB/3 zur Wandbeplankung nach DIN EN 13986:2004-03

Die Klassifizierungen für Holz und Holzwerkstoffe, die ohne weitere Prüfungen angegeben werden können, wurden im Rahmen eines cwft-Verfahrens (classification without further testing) durch eine Entscheidung der Europäischen Kommission festgelegt. Sie sind in Deutschland in den entsprechenden harmonisierten Produktnormen geregelt. So wird zukünftig Bauholz mit einer Mindestdicke von 22 mm und einer mittleren Rohdichte von  $350 \text{ kg/m}^3$  nach DIN EN 14081-1:2001-04 „Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ der Klasse D – s2, d0 zuzuordnen sein. Gleiches gilt für Brettschichtholz ab einer Dicke von 40 mm und einer mittleren Rohdichte von  $380 \text{ kg/m}^3$ . Für Holzwerkstoffe sind die Brennbarkeitsklassen in DIN EN 13986:2004-03 „Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung“ in Tabelle 8 angegeben.

### 3.2 Feuerwiderstand von Bauteilen und Verbindungen

Bei der Klassifizierung von Bauteilen zu ihrem Feuerwiderstand sind nach EN 13501-2:2003 Anforderungen bezüglich der Tragfähigkeit (R), des Raumabschlusses (E) und der Wärmedämmung (I) zu erfüllen. Gegebenenfalls kann die Einhaltung weiterer Leistungskriterien gefordert sein. Die Klassifizierung ist unter Angabe der Zeit, in der die funktionalen Anforderungen erfüllt werden, vorzunehmen. Für tragende Bauteile kann beispielsweise folgende Klasse definiert sein:

**REI 30** während 30 Minuten werden alle Kriterien an Tragfähigkeit, Raumabschluss und Wärmedämmung erfüllt

Für nichttragende Bauteile entfällt die Angabe R, so dass z.B. folgende Klasse deklariert werden kann:

**EI 90** während 90 Minuten werden die Kriterien an Raumabschluss und Wärmedämmung erfüllt

Die europäische Normung zum Nachweis des Feuerwiderstands von Holzbauteilen und Verbindungen ist in den letzten drei Jahren überarbeitet worden. Der Eurocode 5 zur Bemessung für den Brandfall liegt als Schlussentwurf prEN 1995-1-2:2003 „Design of timber structures - Part 1-2: General – Structural fire design“ vor und wird derzeit in eine harmonisierte Bemessungsnorm überführt. Dieses Verfahren bietet durch eine Vereinheitlichung der Bemessung die Möglichkeit, den Austausch von Dienstleistungen innerhalb Europas weiter auszubauen. Die Einarbeitung in diese Vorschriften lohnt sich also, zumal sie gegenüber derzeit gültigen nationalen Regelungen, wie beispielsweise denen der DIN 4102-22:2004-11 (Anwendungsdokument zur DIN 4102-4:1994-03), auch Vorteile bietet, von denen nachfolgend einige genannt werden.

Die Einwirkungen zum Nachweis des Feuerwiderstands von Holzbauteilen und Verbindungen sind nach prEN 1991-1-2:2001 anzusetzen. Zur Vereinfachung wird jedoch empfohlen, den Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall  $E_{d,fi}$  für übliche Fälle aus den Einwirkungen der Berechnung unter Normaltemperatur  $E_d$  durch Multiplikation mit einem Abminderungsfaktor  $\eta_{fi}$  von 0,6 zu ermitteln.

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (1)$$

Diese Regelung gilt mit Ausnahme von Bereichen mit größeren Nutzlasten, wie beispielsweise Flächen mit Anhäufungen von Gütern. Für alle übrigen Baustoffe sind für den Brandfall 70% der Größe 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. Nach DIN 4102-22:2004-11 sind für den Brandfall 65% der Einwirkungen unter Normaltemperatur zu berücksichtigen.

Im Gegensatz zu den bisherigen nationalen Regelungen zum Nachweis der Feuerwiderstandsdauern von Holzbauteilen enthält prEN 1995-1-2:2003 keine tabellierten Werte mehr. 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. Diese Vorgehensweise 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)

Für den Nachweis des Feuerwiderstands von Wänden, Decken und Dächern wurde nach prEN 1995-1-2:2003 eine gänzlich neue Verfahrensweise eingeführt. Im Gegensatz zu tabellierten Werten sieht sie eine Bemessung in Abhängigkeit von der jeweiligen raumseitigen und feuerabgewandten Bekleidung, der Dämmung in den Hohlräumen der Bauteile sowie der Dimensionierung der Stützen, Deckenbalken und Sparren vor. Somit ist ein differenzierter Nachweis in Abhängigkeit der jeweilig vorhandenen baulichen Situation möglich. Die Regeln gelten bislang für Feuerwiderstandsdauer bis 60 Minuten, da darüber hinaus keine abgesicherten Erkenntnisse aus Versuchen vorliegen. Als Beplankungsmaterialien sind Gipsbauplatten sowie Holzwerkstoffe zugelassen. Die Dämmschichtebenen sind mit mineralischen Faserdämmstoffen auszuführen. Als Versagenskriterium gilt eine Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgewandten Seite von 140 K. Dabei darf der Temperaturanstieg an keiner Stelle, wie beispielsweise an Stößen von Platten etc., einen Wert von 180 K übersteigen. Anhand dieser Verfahren ist es möglich, den Feuerwiderstand von individuellen Konstruktionen ohne die Durchführung kostenintensiver Versuche nachzuweisen.

## 4 Forschung für zukünftige Brandschutzregelungen

Um die Einsatzmöglichkeiten von Holz, insbesondere für Bauwerke an die Brandschutzanforderungen gestellt werden, zu erweitern und damit die Wettbewerbsfähigkeit des regenerativen Werkstoffs gegenüber anderen Baustoffen stetig auszubauen, wurden an der Technischen Universität Berlin in zwei vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) über die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) geförderten Forschungsvorhaben theoretische Untersuchungen zur Bemessung von Holzbauteilen und Verbindungen im Brandfall durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Projekte liefern abgesicherte theoretische Erkenntnisse über die Tragfähigkeit von Bauteilen und Verbindungen im Brandfall, auf deren Grundlage praxismgerechte Bemessungskonzepte entwickelt wurden.

### 4.1 Bemessung von Holzbauteilen im Brandfall

In den Untersuchungen [2] und [3] wurden theoretische Modelle entwickelt, mit denen es möglich ist, die Temperaturentwicklungen in Holzbauteilen und Verbindungen im Brandfall abzubilden (Abbildung 1 und Abbildung 5).

Im Forschungsvorhaben [2] wurden mit der Methode der Finiten Elemente auf der Grundlage des Temperaturprofils von Holzbauteilen im Brandfall und unter Berücksichtigung des plastischen Tragverhaltens des Holzes im Druckbereich Tragfähigkeiten von auf Zug, Druck und Biegung sowie kombiniert beanspruchten Voll- und Brettschichtholzbauteilen im Brandfall ermittelt.

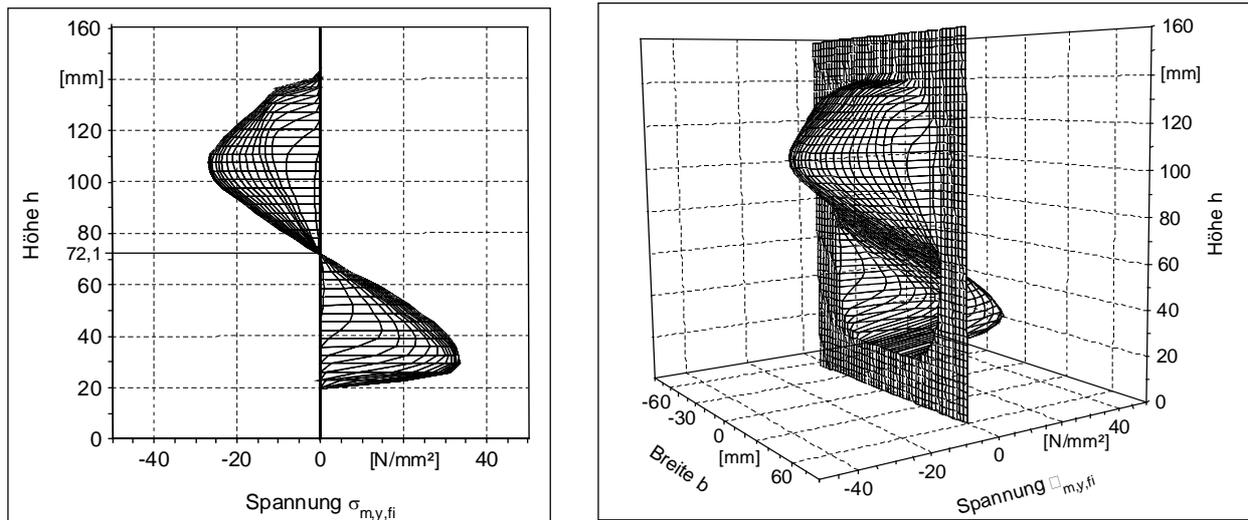


Abbildung 4: Biegespannungsverteilung über einen Vollholzquerschnitt  $b/h = 120/160$  mm der Festigkeitsklasse C24 nach einer Brandbeanspruchungsdauer von 30 Minuten

Anhand der Ergebnisse wurden praxismgerechte Bemessungskonzepte erarbeitet, bei denen die Tragfähigkeit im Brandfall in Abhängigkeit der Tragfähigkeit sowie des Ausgangsquerschnitts unter Normaltemperaturen bestimmt wird. Eine Ermittlung sowohl des tragfähigen Restquerschnitts als auch der temperaturabhängigen Festigkeits- und Steifigkeitsabnahmen ist für diese Bemessungsmethode nicht erforderlich. Die ermittelte Tragfähigkeit kann direkt dem Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall gegenübergestellt werden.

$$R_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot R_d \quad (2)$$

mit:

$R_{d,fi}$  Bemessungswert der Tragfähigkeit im Brandfall

$R_d$  Bemessungswert der Tragfähigkeit unter Normaltemperaturen

$\eta_{fi}$  Reduktionsfaktor

Versuchsreihen zur Verifizierung des entwickelten Bemessungskonzepts werden derzeit in einem Anschlussvorhaben durch das Institut des Zimmerer- und Holzbaugewerbes in Zusammenarbeit mit der MFPA Leipzig durchgeführt. Zeigen die Versuchsergebnisse eine gute Übereinstimmung, ist eine Umsetzung des entwickelten Konzepts in die zukünftige Normung möglich und im Hinblick auf die praxismgerechte Handhabbarkeit empfehlenswert.

## 4.2 Bemessung von Holzverbindungen im Brandfall

Zur Beurteilung der Tragfähigkeit von stabförmigen Verbindungsmitteln im Brandfall wurden in [3] theoretische Modelle zur Bestimmung der Tragfähigkeit von zweischnittigen, auf Abscheren beanspruchten stabförmigen Verbindungsmitteln entwickelt. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse konnte ein Bemessungsverfahren für Holzverbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln für Brandbeanspruchungsdauern von 30 und 60 Minuten abgeleitet werden. Es sieht einen anwenderfreundlichen Nachweis der Verbindung für den Brandfall durch eine Abminderung der für Normaltemperaturen ermittelten Tragfähigkeit  $R_k$  vor.

Mit Hilfe von Finite-Element-Berechnungen konnten genaue Temperaturverteilungen von Stabdübelverbindungen für verschiedene Branddauern ermittelt werden (Abbildung 5). Die Untersuchungen zeigten, dass das Holz durch Aufnahme der durch den Stabdübel eingeleiteten Wärmeenergie diesen „kühlt“ und die Stahltemperaturen daher nicht so hoch werden wie ursprünglich erwartet. Es wurde weiter nachgewiesen, dass unter Berücksichtigung der anzunehmenden Temperaturverteilung im Stahl und im Holz und den damit verbundenen Abminderungen der Werkstofffestigkeiten, eine Bemessung der Verbindungen auf der Grundlage der Theorie von Johanson [1] wie im Kaltfall erfolgen kann. Das Bemessungsverfahren sieht vor, die Tragfähigkeit im Brandfall  $R_{k,fi}$ , in Analogie des Bemessungskonzepts für Holzbauteile, durch eine Reduzierung der Beanspruchbarkeit unter Normaltemperaturen  $R_k$  zu ermitteln.

$$R_{k,fi} = \eta_{fi} \cdot R_k$$

(3)

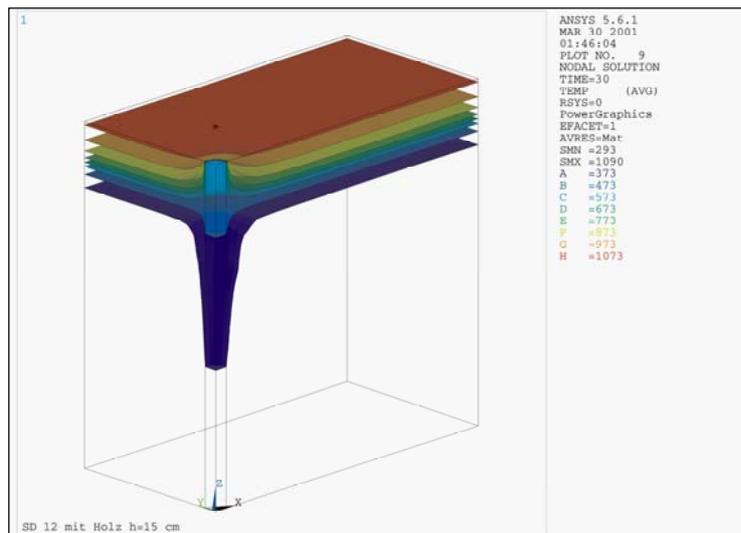


Abbildung 5: Temperaturverteilung innerhalb einer Holz-Stabdübel-Verbindung nach einer Brandbeanspruchungsdauer von 30 Minuten

Diese Erkenntnisse sind allerdings noch nicht in die derzeitigen Regelungen des überarbeiteten Eurocodes eingeflossen, da zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Eurocodes eine experimentelle Überprüfung der Erkenntnisse noch nicht erfolgt war. Zwischenzeitlich konnte das Bemessungskonzept anhand von Brandversuchen verifiziert werden (Abbildung 6). Auch Vergleiche mit in Frankreich durchgeführten Versuchen unter Normaltemperaturen zeigten gute Übereinstimmungen [4], so dass es möglich und empfehlenswert ist, dass Verfahren in die zukünftige Brandschutznormung zu integrieren.



Abbildung 6: Draufsicht auf den Brandofen nach Abschluss des Versuchs an einer zweischnittigen Holz-Holz-Stabübelverbindung

Die Untersuchungen zeigen zudem, dass es sinnvoll ist, auch für andere Verbindungsarten an einer Beschreibung der Temperaturverteilung in den Querschnitten bei Brandbeanspruchung zu arbeiten, da bei Kenntnis dieser Temperaturverteilung die üblichen Bemessungsverfahren verwendet werden können und damit häufig ausreichende Tragfähigkeiten auch ungeschützter Verbindungen im Brandfall für Feuerwiderstandszeiten von 30 bis 60 Minuten nachgewiesen werden können. Damit würde sich der konstruktive Aufwand bei bisher geschützt ausgeführten Verbindungen wesentlich verringern.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In den vergangenen drei Jahren wurden die europäischen Regelungen zur Bemessung von Holzkonstruktionen sowohl für Normaltemperaturen als auch für einen Nachweis im Brandfall überarbeitet. Die Vornormen werden derzeit in harmonisierte Bemessungsnormen überführt. Mit einer ausschließlichen Anwendbarkeit der europäischen Bemessungsnormen ist in ca. 8 bis 10 Jahren zu rechnen. Innerhalb dieses Zeitraums besteht jedoch die Möglichkeit einer alternativen Verwendung. Diese ist insbesondere im Bereich der Brandschutzbemessung empfehlenswert, da sie gegenüber den nationalen Bemessungsnormen auch Vorteile bietet.

## 6 Literatur

- [1] Johansen, K. W.: Theory of Timber Connections. Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau. Veröffentlichung Nr. 9, S. 249-262, Bern, Switzerland, 1949.
- [2] Peter, M.: Numerische Tragfähigkeitsermittlung von Holzbauteilen im Brandfall unter Berücksichtigung des nichtlinearen Materialverhaltens, Dissertation, Institut für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Berlin, 2003.
- [3] Povel, D.: Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln im Brandfall. Dissertation. Institut für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Berlin, 2002.
- [4] Scheer, C.; Knauf, Th. und Meyer-Ottens, C.: Rechnerische Brandschutzbemessung unbedeckter Holzbauteile - Grundlage für DIN 4102 Teil 4 (Entwurf). Sonderdruck aus Bautechnik 69, Heft 4, Informationsdienst Holz, 1992.
- [5] 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.