

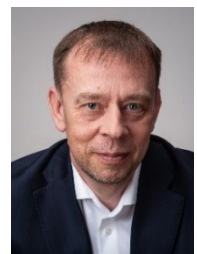
Die neue europäische Holzbau-Brand-Bemessungsnorm EC5-1-2 – was ist neu und besser

Geklebte Holzbauteile im Brandfall – BSH, BSP, I-Träger

Prof. Dr. Andrea Frangi
ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion
Zürich, Schweiz



Prof. Dr. Alar Just
TalTech, School of Engineering
Tallinn, Estonia



Dr. Norman Werther
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, Deutschland



Die neue europäische Holzbau-Brand-Bemessungsnorm EC5-1-2 – was ist neu und besser

1. Einführung

Der Eurocode 5 (EC 5) bzw. die Bemessungsnormen EN 1995 – «Bemessung und Konstruktion von Holzbauten» wurden 2004 in Europa eingeführt. Ziel war es, die unterschiedlichen oder gar fehlenden Richtlinien für die Bemessung von Holzbauten in den Mitgliedsstaaten des Europäischen Normungskomitees (CEN) durch ein gemeinsames technisches Regelwerk mit vergleichbarem Sicherheitskonzept zu ersetzen und so damit beizutragen Barrieren innerhalb Europas weiter abzubauen.

Um die Anwendbarkeit über den Lauf der Zeit zu gewährleisten und damit die stetigen technischen Entwicklungen und Erkenntnisgewinne abzubilden, erteilte die Europäische Kommission 2012 das Mandat zur Überarbeitung und damit zur Erarbeitung für eine zweite Generation dieser Normenreihe. Neben der Aktualisierung der technischen Inhalte sollte im Prozess der Überarbeitung vor allem der «ease of use», also die Praxistauglichkeit und die Anwenderfreundlichkeit als eines der wesentlichen Kernziele für die zweite Generation der Normenreihe verfolgt werden. Ab dem Jahr 2026 werden so nach umfassender Überarbeitung der gesamten Eurocode 5 Reihe neue Versionen erhältlich sein.

Gemeinsam mit den Bemessungsregeln zum Nachweis der Standsicherheit von Holzbaukonstruktionen unter Normaltemperatur (EN 1995-1-1) entstehen mit der EN 1995-1-2 neue begleitende Regeln zum Nachweis von Holzbaukonstruktionen für den Brandfall. Die Erarbeitung der neuen EN 1995-1-2 wurde im Auftrag des Europäischen Normungskomitees (CEN) von einem Projektteam (PT) durchgeführt, das aus den folgenden Personen besteht: Andrea Frangi (ETH Zürich), Jouni Hakkarainen (Eurofins Expert Services, Helsinki), Alar Just (TalTech University, Tallinn), Joachim Schmid (ETH Zürich & IGNIS Fire-Design-Consulting, Zürich), Norman Werther (TU München). Grundlage dieser Überarbeitung bilden die in den letzten Jahren auf nationaler und internationaler Ebenen entstandenen Forschungsberichte, prüftechnische Erkenntnisse und zugehörige Veröffentlichungen, die den aktuellen Stand der Technik in Bezug auf das brandschutztechnische Verhalten und die Brandschutzbemessung von Holzbauwerken abbilden. Hierzu zählen unter anderem die European Technical Guideline «Fire Safety in Timber Buildings» [3] oder die Berichte die aus der COST Action FP1404 «Fire Safe Use of Bio-Based Building Products» resultieren [4-6].

2. Struktur der neuen EN 1995-1-2

Tabelle 1 gibt einen Überblick zum Aufbau des Normenentwurfes und einen Vergleich zur aktuell gültigen EN 1995-1-2:2004. Im Vergleich der aktuellen EN 1995-1-2 [1] und dem vorliegenden Normenentwurf [2] wird deutlich, dass im neuen Dokument der Fokus darauf liegt die ganzheitliche brandschutztechnische Bemessung von Holzbaukonstruktionen durch die Regelungen des Hauptteils abzudecken, ohne dabei wie in EN 1995-1-2:2004 den Regelungen des Anhangs zu bedürfen.

Gleichwohl führte eine Abstimmung mit der «Horizontal Fire Group» dazu, dass nun zwischen den materialspezifischen Eurocodes (EN 199x-1-2) in der Brandschutzbemessung eine gleiche harmonisierte Struktur im Aufbau vorliegt, was der Anwenderfreundlichkeit beiträgt. Hierbei wurde das bereits in anderen Eurocodes bekannte Prinzip einer dreistufigen Möglichkeit von Nachweisebenen mit unterschiedlicher Komplexität und Genauigkeit auch für den Holzbau vollständig etabliert. Somit werden zukünftig

- tabellierte Nachweise (Kapitel 6),
- vereinfachte Bemessungsmodelle (Kapitel 7) und
- Grundlagen für erweiterte numerische Bemessungsmodelle (Kapitel 8)

parallel und gleichwertig zur Verfügung gestellt.

Neben den bereits in der aktuellen EN 1995-1-2 bekannten Prinzipien zu vereinfachten (Hand)-Bemessungsmodellen und den Grundlagen für numerische Simulationsmodelle, wird mit dem Kapitel 6 in der neuen EN 1995-1-2 erstmals durch die Listung nachgewiesener Konstruktionsaufbauten oder vordefinierter Kennwerte (wie zur Schutzwirkung (t_{prot}) von Bekleidungen oder für die vom Aufbau des Querschnitts abhängige Kompensationschicht ($d_{0,\text{ef}}$) bei Brettsper Holz) dem Anwender eine sehr einfache und effiziente Möglichkeit zum Nachweis des Feuerwiderstandes gegeben. In Deutschland oder der Schweiz sind solche Ansätze bisher aus den tabellierten Nachweisen der DIN 4102-4 oder den Lignum Dokumentationen bekannt. Trotz des gestiegenen Umfangs an Regelungen und der Erweiterung des Anwendungsbereiches soll durch die so angepasste Struktur weiterhin eine einfache Anwendung ermöglicht werden.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Inhalte und Aufbau zwischen der aktuellen EN 1995-1-2 und der Überarbeitung

EN 1995-1-2:2004 [1]	EN 1995-1-2:2025 Entwurf [2]
1 Allgemeines	1 Allgemeines
-	2 Normative Verweise
-	3 Begriffe, Definitionen, Symbole
2 Grundlagen der Bemessung	4 Grundlagen der Bemessung
3 Materialeigenschaften	5 Materialeigenschaften
4 Bemessungsverfahren für mechanische Beanspruchbarkeit	6 Tabellierte Nachweise
5 Bemessungsverfahren für Wand- und Deckenkonstruktionen	7 Vereinfachte Bemessungsverfahren
-	8 Numerische Bemessungsverfahren
6 Verbindungen	9 Verbindungen
7 Konstruktive Ausführung	10 Konstruktive Ausführung und Detailierung
Anhang A: Parametrische Brandbeanspruchung	Anhang A: Naturbrandbemessung von Holzkonstruktionen
Anhang B: Allgemeine Berechnungsverfahren	Anhang B: Beurteilung des Verhaltens der Klebefuge bei Brandeinwirkung
Anhang C: Tragende Deckenbalken und Wandstiele in vollgedämmten Konstruktionen	Anhang C: Bestimmung der Abbrandrate von Holz und Holzwerkstoffen
Anhang D: Abbrand von Bauteilen in Wand- und Deckenkonstruktionen mit ungedämmten Hohlräumen	Anhang D: Bestimmung der Schutzwirkung für Gefachdämmstoffe
Anhang E: Berechnung der raumabschließenden Funktion von Wand- und Deckenkonstruktionen	Anhang E: Externe Brandeinwirkung durch Brände in Holzbauten
Anhang F: Anleitung für Benutzer dieses Teils des Eurocodes	Anhang F: Bestimmung der Abfallzeiten von Bandschutzmaterialien
-	Anhang G: Bestimmung der Brandschutzwirkung von Schichten für die brandabschnittsbildende Funktion
-	Anhang I: Bemessungsmodell für Holz-Stegträger
-	Anhang M: Materialkennwerte
-	Anhang T: Bestimmung der Temperatur in Holzbauanteilen

3. Inhalt der neuen EN 1995-1-2

Mit der Überarbeitung der EN 1995-1-2 werden die produkttechnologischen Entwicklungen der letzten 20 Jahre nun auch in der Brandschutzbemessung im Holzbau aufgegriffen. Gleichzeitig wird dabei den aktuellen nationalstaatlichen Brandschutzanforderungen innerhalb Europas und ingenieurtechnischen Bedürfnissen im Hinblick auf das mehrgeschossige Bauen mit Holz bis und über die Hochhausgrenze hinaus Rechnung getragen. So werden die Bemessungsverfahren für Verbindungen als auch für den Raumabschluss von Holzbau-elementen, die bisher auf 60 Minuten ausgelegt sind, zukünftig auf eine Anwendung für bis zu 120 Minuten Feuerwiderstand angepasst und erweitert. Zudem werden auf Basis zahlreicher Forschungsaktivitäten der letzten Jahre weiterführende Ansätze zur Naturbrand-bemessung von Holzbauteilen bereitgestellt [6] – [8]. In diesem Gesamtkontext wurden Bemessungsregeln für Brettsperrholz, Holz-Beton-Verbundelemente und Holz-Stegträger berücksichtigt, aber auch inzwischen praxisrelevante Holzarten (wie z.B. Esche), Dämmstoffe (wie z.B. biogene Dämmstoffe) und Bekleidungen (wie z.B. Gipsfaserplatten) mit in die Bemessungskonzepte aufgenommen.

Eine wesentliche Konkretisierung und Differenzierung erfolgt mit der zweiten Generation der EN 1995-1-2 bezüglich des Modells zur Beschreibung des Abbrandverhaltens. Der Grund hierfür ist einerseits die Notwendigkeit auch den Einfluss von Verklebungen auf das Abbrandverhalten erfassen zu können und andererseits anwendungsbezogen den Einfluss innerer und äußerer Parameter auf das Abbrandverhalten situationsspezifisch abzubilden. Hierzu werden verklebte Holzprodukte unterschieden, deren «bond line integrity maintained» und Produkte deren «bond line integrity» innerhalb der Brandeinwirkung als «not maintained», jeweils für anfänglich geschützte sowie ungeschützte Bauteile. Falls es zu einem Versagen der Klebefuge kommt und damit ein Versagen der «bond line integrity» eintritt, kann es zu einem Abfallen der verkohlenden und den Restquerschnitt schützenden Kohleschicht kommen. Zur Bewertung dieses Leistungsmerkmals der Verklebung wurde im Anhang B des EN 1995-1-2 Normentwurfs ein entsprechendes Bewertungsverfahren zur Einstufung des Verhaltens aufgenommen. Innerhalb der Brandeinwirkung werden so fünf verschiedene Phasen des Abbrandes (Phase 0 – Phase 4) unterschieden, vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2.

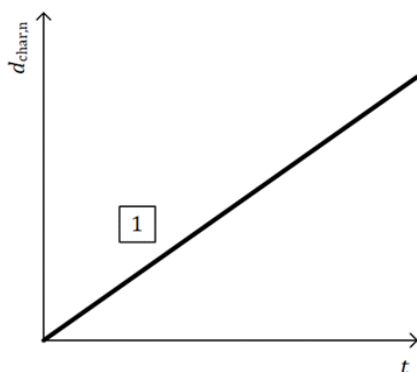


Abbildung 1: Phasen des Abbrandes für anfänglich ungeschützte Seiten von Holzbauteilen, wenn die Klebefuge keinen Einfluss auf das Abbrandverhalten hat

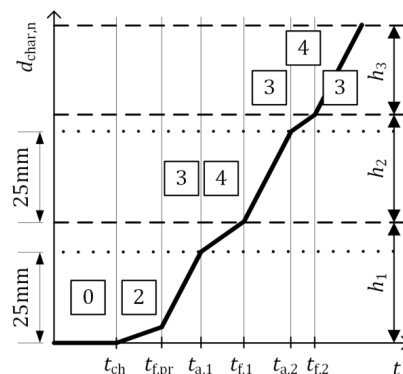


Abbildung 2: Phasen des Abbrandes für anfänglich geschützte Seiten von Holzbauteilen, wenn die Klebefuge einen Einfluss auf das Abbrandverhalten hat

- | | |
|---|--|
| 0 | Encapsulated phase (Phase 0) |
| 1 | Normal charring phase (Phase 1) |
| 2 | Protected charring phase (Phase 2) |
| 3 | Post-protected charring phase (Phase 3) |
| 4 | Consolidated charring phase (Phase 4) |
| t_{ch} | Start time of charring |
| $t_{f,pr}$ | Failure time of the fire protection system |
| h | Lamella thickness |

Die Abbrandrate jeder Phase ergibt sich dabei unter der systematischen Berücksichtigung der spezifischen Rand- und Einbaubedingungen. So kann für das jeweils vorliegende Szenario über zugehörige Modifikationsfaktoren dem Einfluss von Fugen, der Faserorientierung, der Mehrseitigkeit der Brandeinwirkung, der Schutzwirkung von Bekleidungen oder auch z.B. der Vorerwärmung Rechnung getragen werden, vgl. Gleichung (1).

$$\beta_n = \prod k_i \cdot \beta_0 \quad (1)$$

β_n Bemessungswert der ideellen Abbrandrate innerhalb einer Phase [mm/min]

β_0 Basiswert der eindimensionalen Abbrandrate bei Normbrandbeanspruchung [mm/min]

$\prod k_i$ Produkt der zu berücksichtigenden Modifikationsfaktoren [–]

Da bezüglich der Anwendung der Abbrandrate in der aktuellen Norm auch Fehlinterpretationen auftraten, werden nun in der zweiten Generation der EN 1995-1-2 die Abbrandphasen und die Modifikationsfaktoren dem Anwender erstmals ganzheitlich in Kapitel 5 gegeben. Hieraus wird auch ersichtlich, dass für anfänglich geschützte sowie auch für Produkte, bei denen ein Abfallen von verkohlten Brettlagen infolge des thermischen Versagens der Klebefuge auftritt, stufenförmige Phasen des Abbrandes auftreten, vgl. Abbildung 2.

Für anfänglich geschützte Bauteile erlaubt die zukünftige zweite Generation der EN 1995-1-2 nun auch normativ die Berücksichtigung der erhöhten Schutzfunktion bezüglich des Abfallens von Bekleidungen ($t_{f,pr}$) für Gipskartonplatten Typ A, F und Gipsfaserplatten im Hinblick auf einen daraus resultierenden reduzierten Abbrand in der «protected charring phase» (Phase 2). Im Vergleich zum heutigen Ansatz, der normativ nur die Schutzwirkung für den Beginn des Abbrandes (t_{ch}) für einige Bekleidungsmaterialien liefert, wird so eine deutliche Optimierung der Bemessung möglich. Ein zugehöriges Bestimmungsverfahren für beide Schutzfunktionen (t_{ch}) und ($t_{f,pr}$) liefert die EN 13381-7 [9].

Eine wesentliche Änderung in der Nachweisstruktur der neuen EN 1995-1-2 ist die Streichung des Verfahrens der «Methode mit reduzierten Eigenschaften» und die damit verbundene Erweiterung der Bemessungsregeln für die «Methode mit reduziertem Querschnitt» (künftig umbenannt in «Methode mit effektivem Querschnitt»). Hierdurch wird für alle Holzbauteile einheitlich und vergleichbar mit den bisherigen Regelungen durch die Ermittlung des ideellen (effektiven) Restquerschnittes in Verbindung mit angepassten Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften und einer reduzierten Einwirkung im Brandfall eine Bemessung in Anlehnung an die Regelungen bei Normaltemperatur ermöglicht.

Eine Anpassung im Hinblick auf die Bestimmung des ideellen (effektiven) Restquerschnitts erfuhr auch der Parameter d_0 (Tiefe der Schicht, bei der die Festigkeit und Steifigkeit zu Null angenommen wird, Kompensationsschicht), da hierbei bisher den unterschiedlichen beanspruchungsspezifischen thermischen Entfestigungen für Druck und Zug sowie dem Einfluss der Dauer der Brandbeanspruchung nicht vollständig Rechnung getragen wurde. Resultierend daraus enthält die zweite Generation der EN 1995-1-2 angepasste beanspruchungsabhängige d_0 Werte.

Die bisherigen Anhänge C (Tragende Deckenbalken und Wandstiele in vollgedämmten Konstruktionen) und D (Abbrand von Bauteilen in Wand- und Deckenkonstruktionen mit ungedämmten Hohlräumen) wurden umfassend überarbeitet und in den Hauptteil der EN 1995-1-2 integriert. Das neue Bemessungsmodell für Holztafelkonstruktionen mit gefüllten Gefachhohlräumen basiert nun auf der Methode mit effektivem Querschnitt und ermöglicht die Berücksichtigung der Schutzfunktion verschiedener Dämmstoffe (Mineralwolle, Zellulose, Holzfasern, usw.) auf den Abbrand der Holzrippen. Dieses Leistungsmerkmal der Dämmstoffe «Protection Level, PL» kann über den Anhang D des Normenentwurfs bestimmt werden. Innerhalb der Tragfähigkeitsbemessung für Wandstiele oder Deckenbalken werden in der Bestimmung des ideellen (effektiven) Restquerschnitts zugehörige d_0 Werte abhängig vom Protection Level des Dämmstoffs bereitgestellt.

Als normativer Anhang I wird ein Bemessungsmodell für die Feuerwiderstandsberechnung von I-Trägern in Wand- und Deckenkonstruktionen vorgeschlagen. Das neue Modell folgt der Philosophie der effektiven Querschnittsmethode [12]. Die Lasten werden zwischen den Flanschen aufgeteilt. Der Verlust an Festigkeit und Steifigkeit, der bei Holz bei erhöhten Temperaturen auftritt, wird durch die Kompensationsschicht für den brandbeanspruchten Flansch berücksichtigt. Für die Wandstützen wird ein Knicknachweis vorgeschlagen, der

die Steifigkeit des Stegs bei erhöhten Temperaturen berücksichtigt. Für das Deckenmodell wird die Wirkung des Klebstoffs durch die Anwendung verschiedener Kompensationsschichten für die Zugflansche berücksichtigt.

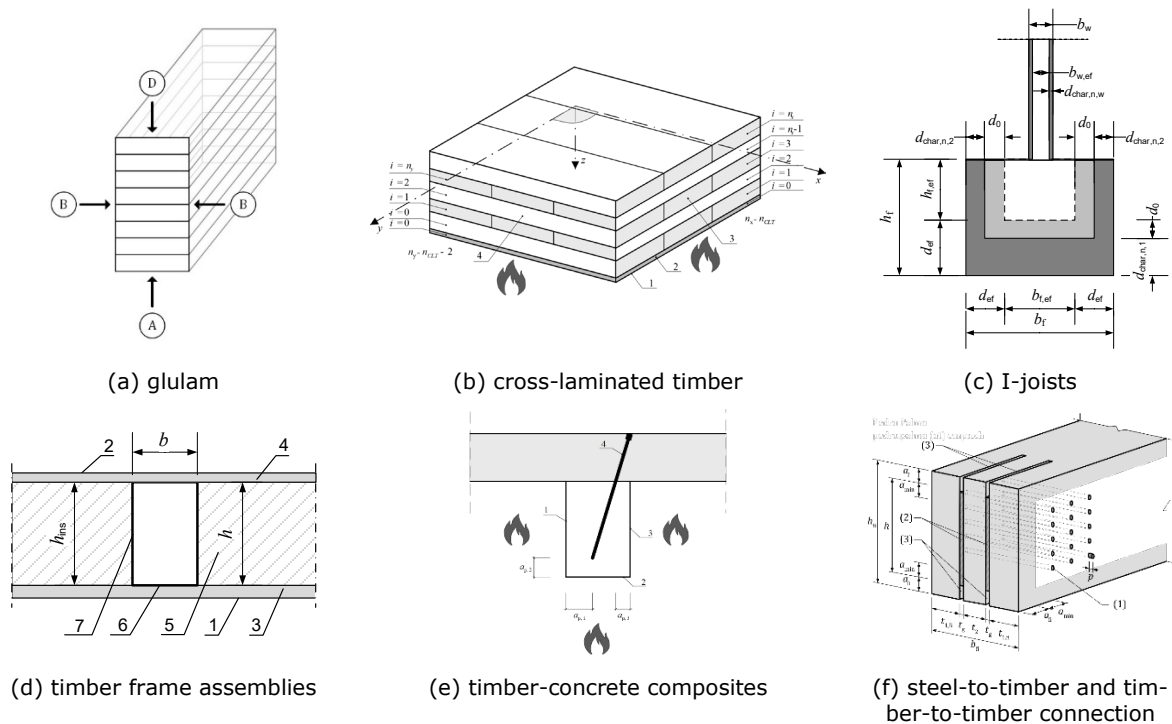


Abbildung 3: Unterschiedliche Bauteile und Verbindungen, die mit der neuen EN 1995-1-2 im Brandfall bemessen werden können

4. Anhang B der neuen EN 1995-1-2

Zur Bewertung des Leistungsmerkmals der Verklebung im Brandfall wurden im Anhang B zwei Prüfverfahren eingeführt, mit denen die Flächenverklebung von Holzschichten bzw. die Keilzinkungen in den Flanschen von Stegträgern untersucht werden können.

Für die Flächenverklebung ist es bekannt, dass das Ablösen von verkohlenden Schichtteilen zu einer erhöhten Abbrandrate führt, vgl. Abbildung 2. Dieses Phänomen kann mit der Temperaturmessung zwischen den Schichten experimentell untersucht werden. Die Erfahrung mit Temperaturmessungen hat jedoch gezeigt, dass die Evaluation der Flächenverklebung über die Temperatur nur mit korrekt installierten Thermodrähten durchführbar ist, wobei die korrekte Installation der Thermodrähte häufig sehr aufwendig oder nicht möglich ist [10]. Zudem ist es in der Vergangenheit häufig zu Fehlinterpretationen bei der Auswertung von Temperaturmessungen gekommen. Aus diesem Grund wurde für den Anhang B der Massenverlust der Prüfelemente infolge des Brandes als einfache und alternative Möglichkeit vorgestellt, um das Verhalten der Flächenverklebung im Brandfall zu beschreiben [11]. Diese Methode wurde im Rahmen des Forschungsprojektes GLIF (Glue Line Integrity in Fire) weiter untersucht und geprüft. Aufgrund der beobachteten grossen Streuung der Ergebnisse in den verschiedenen Brandöfen, wurde entschieden, die gemessene Abbrandrate als Kriterium zu wählen.

Ein maximaler Grenzwert für die gemessene mittlere Abbrandrate von 0.70 mm/min, bis zu welcher Abbrandrate kein Ablösen in Betracht gezogen werden muss, für Klebstoffe, die mit einem bestimmten Schichtaufbau geprüft werden, wurde festgelegt. Die genaue Bestimmung dieser mittleren Abbrandrate sowie die Mindestanzahl von erforderlichen Messpunkten muss dabei berücksichtigt werden.

Für die Beurteilung von Keilzinkungen in den Flanschen von Stegträgern im Brandfall wurde hingegen im Anhang B eine Versuchsart mit kleinen Prüfkörpern eingeführt, die bei konstanter hoher Temperatur beansprucht werden. Die Prüfmethode wurde im Rahmen des Forschungsprojektes FIRENWOOD entwickelt und mit Brandversuchen kalibriert. Aufgrund der Versuchsergebnisse werden die Keilzinkungen in drei Leistungsklassen eingeteilt, die in der Bemessung für den Brandfall berücksichtigt werden.

5. FIRENWOOD

FIRENWOOD war ein Projekt zur Entwicklung von Brandbemessungsmodellen für Holzkonstruktionen (I-Träger, CLT, Brettschichtholz, eingeklebte Gewindestangen) und zur Entwicklung einer Methode für die Bewertung des Leistungsmerkmals der Verklebung im Brandfall. Hauptforschungspartner waren RISE, MPA Stuttgart, TalTech, TU München und ETH Zürich.

Proben mit 11 verschiedenen Klebstoffen aus unterschiedlichen Klebstofffamilien (PRF, MF, MUF, PUR, EPI) wurden aus Fichtenholz hergestellt. Das Holz stammte von den industriellen Partnern des Projekts, Moelven und Splitkon. Die Eigenschaften des Holzes wurden so homogen wie möglich gehalten, so dass die Ergebnisse hauptsächlich vom Verhalten der Klebstoffe abhängen. Die Prüfkörper wurden hauptsächlich von dem Industriepartner Masonite Beams hergestellt. Brandversuche in mittlerem und größerem Maßstab sowie Naturbrandversuche wurden in Trondheim durchgeführt. Kleinmaßstäbliche Versuche bei hohen Temperaturen wurden in Stuttgart durchgeführt. Eingeklebte Gewindestangen wurden in München getestet.

Brandversuche bestätigten, dass für Brettsperrholz und Brettschichtholz je nach verwendetem Klebstoff unterschiedliche Phasen des Abbrandes (Abbildungen 1 und 2) anzunehmen sind [13]. Basierend auf belasteten Brandversuchen mit den I-Trägern wurde die Methode mit effektivem Querschnitt für die I-Träger unter Berücksichtigung der Wirkung von Klebstoffen in den Keilzinkenverbindungen aktualisiert [14].

Ergebnisse von FIRENWOOD waren 1) das gemeinsame Verständnis und die Übereinstimmung über das Brandverhalten von verklebten Holzbauteilen und Verbindungen; 2) verbesserte Brandbemessungsmodelle für verklebte Holzbauteile und Verbindungen (I-Träger, Brettschichtholz, Brettsperrholz, eingeklebte Gewindestangen) unter Berücksichtigung des Klebstoffverhaltens; 3) einfache Bewertungsmethoden für Klebstoffe entsprechend ihrem Brandverhalten [15].



Abbildung 4: Brandversuche mit Brettschichtholz

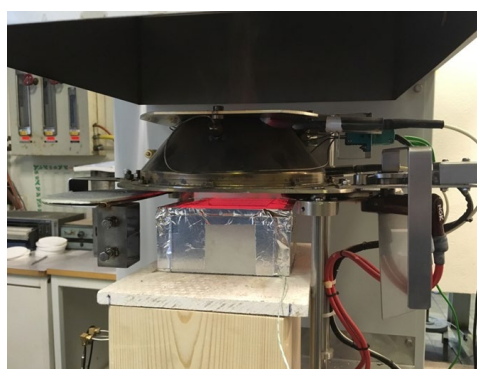


Abbildung 5: Small scale tests with cone heater

6. Ausblick

Auch wenn der Abschluss der Arbeit zur EN 1995-1-2 mit den Jahren 2025 noch weit entfernt scheint und zugehörige nationale Anwendungsdokumente wohl erst im Jahr 2027 zur Verfügung stehen werden, so sind die wesentlichen Änderungen bereits bekannt. Ersichtlich ist dabei, dass die zweite Generation der EN 1995-1-2 die Lücken der aktuellen EN 1995-1-2 schließt und vor allem neue Anwendungsbereiche ermöglicht und damit eine sichere und wirtschaftliche Bemessung von Holzbauwerken im Brandfall ermöglichen wird.

Klar wahrzunehmen ist ebenso, dass durch die notwendige Berücksichtigung neuer Produkte und die Erweiterung bekannter Bemessungsansätze der Umfang der Norm anwächst. Trotz dessen liegt ein zentraler Fokus darauf durch Neustrukturierung, Homogenisierungen und vereinfachte Regelungen die Anwenderfreundlichkeit beizubehalten und sogar zu erhöhen. Dennoch wird ähnlich wie bei der Umstellung auf die erste Generation der EN 1995-1-2 ein zusätzlicher Lern- und Ausbildungsprozess notwendig sein, deren Start bereits vor der finalen Erscheinung einsetzen wird.

7. Literatur

- [1] EN 1995-1-2: 2004 Eurocode 5 – Design of timber structures Part 1-2: Structural fire design.
- [2] EN 1995-1-2: 2025 Eurocode 5 – Design of timber structures Part 1-2: Structural fire design, Final draft for Formal Enquiry, August 5, 2022.
- [3] Östman B. et al.: Fire safety in timber buildings Technical Guideline for Europe. SP Technical research Institute of Sweden, Wood Technology. SP Report 2010:19. Stockholm, Sweden.
- [4] Just A., Schmid J. (eds): Improved fire design models for Timber Frame Assemblies – Guidance document, COST Action FP1404, Zürich, Switzerland, 2018.
- [5] Klippel, M., Just, A (eds): Guidance on Fire design of CLT including best practice, COST Action FP1404, Zürich, Switzerland, 2018.
- [6] Brandon, D., Kagiya K., Hakkarainen, T.: Performance based design for mass timber structures in fire – a design example, COST Action FP1404, Zürich, Switzerland, 2018.
- [7] Werther, N.: «Einflussgrößen auf das Abbrandverhalten von Holzbauteilen und deren Berücksichtigung in empirischen und numerischen Beurteilungsverfahren», Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, Technische Universität München, 11/2016.
- [8] Schmid J.: Structural Timber In Compartment Fires – The Timber Charring and Heat Storage Model, Open Eng. 2021; 11:435–452.
- [9] EN 13381-7:2019, Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 7: Applied protection to timber members, CEN, Brüssel.
- [10] Fahrni, R., Schmid, J., Klippel, M., Frangi, A.: Correct temperature measurements in fire exposed wood, World Conference on Timber Engineering WCTE, Seoul, Republic of Korea, 2018.
- [11] Klippel, M., Schmid, J., Fahrni, R., Kleinhenz, M., Frangi A.: Vorschlag einer Standardprüfmethode für Brettsperrholz im Brandfall, Bautechnik, 2019; 96(11): 824–831.
- [12] Mäger, K N., Just, A., Persson, T., Wikner A. Fire Design of I-joists in Wall Assemblies. 2020. 53rd Meeting of the International Network on Timber Engineering Research (INTER 2020), Online.
- [13] Just, A., Aicher, S., Nurk, J L., Henning, M. Influence of temperature resistance of bond lines on charring of glulam beams. 2022. 55th Meeting of the International Network on Timber Engineering Research (INTER 2022), Bad Aibling, Germany.
- [14] Nurk, J L., Just, A., Sterley, M. Small-scale experimental investigations with engineered wood in fire. 2022. Proceedings of 3rd Forum Wood Building Baltic. Riga, Latvia 2022.
- [15] Mäger, K N., Just, A., Sterley, M., Olofsson, R. Influence of adhesives on fire resistance of wooden i-joists. 2021. Proceedings of World Conference on Timber Engineering 2021 (WCTE 2021).