

Hintergründe der Tragwiderstandsbemessung von Brettsperrholz im Brandfall

Conference Paper

Author(s):

Fahrni, Reto; Klippel, Michael

Publication date:

2021-05

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000489944>

Rights / license:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](#)

Hintergründe der Tragwiderstandsbemessung von Brettsperrholz im Brandfall

Reto Fahrni, Michael Klippel
ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion

1 EINLEITUNG

Die Bedeutung des verhältnismässig jungen Holzbauproduktes Brettsperrholz nimmt seit dessen Erfindung in den 1990er Jahren weiterhin massiv zu. Gemäss den kürzlich veröffentlichten Daten des Holzkuriers (2020) verdoppelte sich die Produktion von Brettsperrholz in Mitteleuropa innerhalb von nur vier Jahren (2016-2020). Es wird erwartet, dass der Markt für Brettsperrholz in den nächsten Jahren weiter stark anwachsen wird. Entsprechende Produktionskapazitätssteigerungen sind angekündigt.

Angesichts des zunehmenden Marktanteils von Brettsperrholz ist es umso wichtiger, dass die nächste Generation der europäischen (EN) und schweizerischen (SIA) Normen entsprechende Bemessungsmodelle für Brettsperrholz im Brandfall beinhalten. So wird der neue Eurocode 5 (EN 1995-1-2:202x) entsprechende Bemessungsmodelle für den Brandfall und auch für die Nachweise bei Normaltemperatur von Brettsperrholz enthalten. Im Rahmen von S-WIN Tagungen wurden die kommenden Modelle insbesondere für die Berechnung von Abbrandtiefen in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern (z.B. Klebstoff, Schichtstärke, Orientierung des Elementes) schon verschiedentlich (Frangi & Klippel 2015, Klippel & Schmid 2019) thematisiert. Im Rahmen der Konsultationen zum Entwurf des neuen Eurocode 5 für den Brandfall (EN 1995-1-2:202x) zeigte sich jedoch, dass die konzeptionellen Hintergründe für das verwendete Traglastmodell (Methode des effektiven Querschnitts) insbesondere in Bezug auf die Berücksichtigung der reduzierten Festigkeit und Steifigkeit in den erwärmten Bereichen hinter der Holzkohle noch unklar sind. Der folgende Text versucht die wichtigsten Hintergründe zu den Traglastmodellen von Brettsperrholz im Brandfall zu erklären und somit dem Ingenieur in der Praxis zusätzliche Informationen zu bieten. Da sich sichtbares Brettsperrholz auch in Bezug auf die Branddynamik (z.B. Flammengrössen an der Fassade, Brandverlauf, Eintreten der Abkühlphase) von herkömmlichen Holzbauten unterscheidet, geht der Text zudem kurz auf diese Eigenheiten und deren Auswirkung auf den grundsätzlichen Brandschutz des entsprechenden Gebäudes ein.

2 BRANDVERHALTEN VS. ABBRANDVERHALTEN

Wenn es darum geht, den Zusammenhang zwischen Tragwiderstand und Feuerwiderstand zu charakterisieren, wird des Öfteren von "Brandverhalten" gesprochen. Dies klingt umgangssprachlich korrekt; sollte allerdings so nicht verwendet werden, da der Begriff normiert ist (vgl. VKF Brandschutzrichtlinie 13-15 und EN 13501-1 (2016)) und sich auf die Charakterisierung des Baustoffs während der Entstehung eines Brandes (Brandverhaltens-Klassen RF1-4 in der VKF, Klassen A-F nach EN) bezieht. Wenn es um die Charakterisierung eines Bauteils in der Vollbrandphase geht, sollte stattdessen von Brandbeitrag oder im Holzbau treffender von Abbrandverhalten gesprochen werden, welches zur Ermittlung des Feuerwiderstandes R bzw. REI relevant ist.

Das "Brandverhalten" entspricht der französischen Bezeichnung "reaction au feu", welche etwas besser die tatsächliche Klassierung basierend auf Entzündlichkeit, Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, Rauchbildung, Abtropfen etc. abbildet als der deutsche Begriff. Von diesem Begriff leitet sich auch die Abkürzung RF ab.

In Bezug auf das Brandverhalten unterscheidet sich Brettsperrholz unwesentlich von anderen Holzbauteilen. Unbehandeltes Brettsperrholz aus Fichte/Tanne wird in Klassen RF3 (VKF) bzw. D (EN) eingeteilt. Ein wichtiger Unterschied besteht jedoch in Bezug auf die Branddynamik (siehe Kapitel 5): Einzelne Holzbalken oder grossflächiges Brettsperrholz unterscheiden sich deutlich in Bezug auf deren Brandbeitrag, also dem Beitrag zur Wärmefreisetzung im Vollbrand. Es erscheint missverständlich, wenn die VKF jedoch die RF Klasse mit einem qualitativen Brandbeitrag verknüpft, z.B. "RF3 (zulässiger Brandbeitrag)", obschon sich die RF Klassen konsequent auf das Brandverhalten beziehen. Aus der RF-Klasse kann nicht auf den Brandbeitrag in der Vollbrandphase geschlossen werden.

3 ABBRANDVERHALTEN VON BRETTSPERRHOLZ

Das Abbrandverhalten von Vollholz kann in guter Näherung für einen EN/ISO Standardbrand (ISO834-1, 1999) durch eine konstante Abbrandrate beschrieben werden. Bei verklebten Holzbauteilen gilt dies ebenso, sofern die Verklebung auch im Brandfall standhält. Allerdings wird gerade bei Brettsperrholz bei einigen Klebstoff-Lagenaufbau-Kombinationen ein Abfallen von verkohlenden Lagen festgestellt (Klippel & Schmid 2019). Aus diesem Grund schlägt der Entwurf des nächsten Eurocodes 5 vor, dass die beiden Fälle "mit" und "ohne" Abfallen von verkohlenden Lagen zu unterscheiden sind. Bleiben die Lagen an Ort und Stelle, darf mit einer konstanten Abbrandrate gerechnet werden wie bei Vollholz. Im Falle von abfallenden Lagen muss bei Deckenelementen jedoch das "Treppenmodell" angewendet werden, bei dem die ersten 25 mm nach jeder Klebefuge mit der doppelten Abbrandrate angesetzt werden müssen (Frangi & Klippel 2015).

Kürzlich durchgeführte Untersuchungen der Structural Timber Association (STA) in England deuten darauf hin, dass das Verhalten im Brandfall bezüglich Abfallens von verkohlenden Schichtteilen für Kombinationen aus Klebstoff und Lagenaufbau unabhängig vom Brettsperrholz-Hersteller ist, sofern die europäischen Qualitätssicherungs-Standards befolgt wurden. Um das Verhalten der Brettsperrholzelemente zu charakterisieren und zu wissen, welches Abbrandmodell für die ingenieurmässige Bemessung verwendet werden muss, wird der neue Eurocode 5 eine neue Prüfmethode beinhalten. Basierend auf Klippel et al. (2019) schlägt der zukünftige Eurocode vor eine spezifische Brettsperrholzplatte auf dessen Masseverlust in einer Brandprüfung zu untersuchen. Bleibt der Masseverlust unter einem Grenzwert, so kann davon ausgegangen werden, dass die getestete Klebstoff-Lagenaufbau-Kombination im Brandfall kein signifikantes Abfallen der verkohlenden Schichtteile zeigt und somit eine konstante eindimensionale Abbrandrate für die Feuerwiderstandsbemessung verwendet werden kann.

4 TRAGWIDERSTAND (R) VON BRETTSPERRHOLZ IM STANDARDBRAND

4.1 Einleitung

Der dritte Entwurf des Eurocodes 5 (EN 1995-1-2:202x) sieht für die Berechnung des Tragwiderstandes von Brettsperrholz unter Einwirkung des EN/ISO Standardbrand die Methode des effektiven Querschnittes vor, ähnlich wie sie bereits bei Vollholz und Brettschichtholz angewendet wird. Dabei wird ein effektiver Holzquerschnitt berechnet, welcher gegenüber dem ursprünglichen Querschnitt um den Abbrand sowie eine Kompensationsschicht verkleinert wird. Diese Kompensationsschicht berücksichtigt dabei die Verringerung der Festigkeit und Steifigkeit im erwärmten Holz hinter der Kohleschicht. Da in dieser Schicht die Festigkeit (und auch Steifigkeit) komplett vernachlässigt wird, wird sie auch „Nullfestigkeitsschicht“ (engl.: zero-strength layer, ZSL), d_0 bzw. d_{red} genannt. Dieser Artikel verwendet die gebräuchliche, englische Abkürzung ZSL und den Buchstaben d_0 .

Im Folgenden wird zuerst der Hintergrund der Methode des effektiven Querschnittes anhand eines Beispiels mit Brettschichtholz rekapituliert. Danach folgt die Betrachtung von Brettsperrholz für denselben Beispielfall, einmal für die Haupttragrichtung und einmal für die sekundäre Tragrichtung. Die Beispiele fokussieren ausschliesslich auf die Berechnung des effektiven Querschnittes. Der Tragwiderstand kann damit nach den Prinzipien der Baustatik und unter Annahme eben-bleibender Querschnitte (d.h. die Dehnung nimmt linear mit dem Abstand zum Schwerpunkt zu) berechnet werden.

4.2 Hintergrund am Beispiel von Brettschichtholz

Zur Veranschaulichung der Methode des effektiven Querschnitts bietet es sich an, die modellierte Festigkeit und die tatsächliche Festigkeit über die Querschnittshöhe zu betrachten. Die Abminderung der Festigkeit (wie auch die Steifigkeit) von Holz wird dabei als rein temperaturabhängig betrachtet (Abb. 1). Bei 20 °C wird erwartungsgemäss die volle Festigkeit angerechnet, während man davon ausgeht, dass Holz ab einer Temperatur von 300 °C vollständig zu Kohle umgewandelt wurde und somit Festigkeit und Steifigkeit komplett verloren hat. Dazwischen darf nach Eurocode bilinear interpoliert werden mit einer zusätzlichen Stützstelle bei 100 °C.

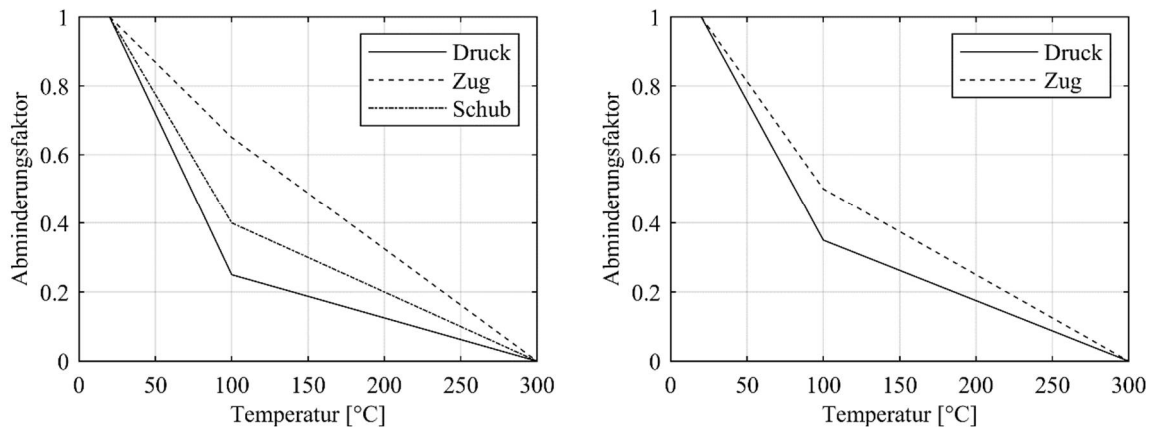


Abb. 1: Reduktion der Festigkeiten (links) und Steifigkeiten (rechts) in Abhängigkeit von der Temperatur gemäss EN 1995-1-2:2004.

Die folgenden Beispiele beziehen sich auf einen Feuerwiderstand von 60 Minuten. Die Abbildungen (Abb. 2, Abb. 3, Abb. 4 und Abb. 5) zeigen die Temperatur (linke y-Achse) als schwarze Linie in Abhängigkeit der Tiefe hinter der Oberfläche (x-Achse). Man kann sich damit quasi einen Querschnitt vorstellen, der „links“ dem Brand ausgesetzt ist. Das Temperaturprofil entstammt einer finite-element Simulation mit den Materialparametern gemäss Eurocode 5 (EN 1995-1-2, Dichte 420 kg/m³, Holzfeuchte 12 %). Üblicherweise betrachtet man die Abbrandtiefe d_{char} als der Ort (Isotherme), wo die Temperatur 300 °C erreicht. Somit beträgt diese 42 mm (dunkel hinterlegt in den Abbildungen). Dies entspricht exakt der Abbrandtiefe mit einer konstanten Abbrandrate von 0.7 mm/min, wie man sie gemäss SIA 265 ansetzt. Mit den bekannten Temperaturen lässt sich nun für jede beliebige Tiefe der zugehörige Abminderungsfaktor der Festigkeit berechnen (orange Linie, rechte y-Achse). Die eigentliche Festigkeit berechnet sich dabei als Multiplikation dieses Abminderungsfaktors mit der normierten Festigkeit bei 20 °C. Der Begriff «Abminderung» (nach Eurocode 5) ist dabei leicht verwirrend, da ein höherer Abminderungsfaktor eine geringere Abminderung der Festigkeit bedeutet.

Wie beschrieben zeigt die orange Linie (Abb. 2) die tatsächliche Festigkeit über die Bauteilhöhe. Die Methode des effektiven Querschnitts nimmt jedoch praktischerweise an, dass man ab einer gewissen Tiefe die volle Festigkeit anrechnen darf. Dazu wird der ursprüngliche Querschnitt um die Abbrandtiefe d_{char} und zusätzlich noch um einen Wert ZSL d_0 reduziert. In der aktuellen SIA 265 sowie im aktuellen Eurocode 5 beträgt dieser Wert konstant 7 mm. Der Entwurf des nächsten Eurocode 5 sieht jedoch für lineare Bauteile einen ZSL von 10 mm vor, wie hier dargestellt. Somit ist die Festigkeitsabminderung nach der Methode des effektiven Querschnittes (rote Linie) Null bis zur Nullfestigkeitsgrenze und danach Eins. Wenn man nun die orange und die rote Linie vergleicht sieht man, wo und wieviel die Norm-Methode die Festigkeiten unter- respektive überschätzt (schraffierte Flächen). Damit wird auch klar, dass die «Kompensationsschicht» oder eben ZSL d_0 bewusst einen Teil der Festigkeit vernachlässigt, um damit die Überschätzung an anderer Stelle zu kompensieren.

Aus dem Bauchgefühl heraus könnte man nun auf die Idee kommen, den ZSL so zu wählen, dass beide schraffierten Flächen identisch sind. Dies ist jedoch nicht korrekt, da man damit zwei wichtige Punkte ausser Acht liesse: (1) Für den Biege- und Torsionswiderstand ist der Effekt der berücksichtigten Festigkeit abhängig von der Distanz vom Schwerpunkt des Restquerschnitts. (2) Da die Steifigkeit über die Tiefe nicht

konstant, sondern auch temperaturabhängig ist, müsste dies ebenso berücksichtigt werden bei einem Vergleich der vernachlässigten und überschätzten Festigkeiten.

Der resultierende Tragwiderstand aus einer kombinierten thermischen und mechanischen finite-element Simulation berücksichtigt die beiden vorgenannten Effekte. Damit ist es möglich den ZSL so zu kalibrieren, dass der Tragwiderstand mit der Methode des effektiven Querschnittes jenem aus Simulationen entspricht (siehe auch 4.5). Jedoch resultieren für verschiedene Bauteilquerschnitte unterschiedliche ZSL Werte. Daher werden in der Normkalibrierung verschiedene Querschnitte berücksichtigt und ein ZSL bestimmt, welcher im Mittel zu einer guten Übereinstimmung führt (z.B. Fahrni 2021). Durch diese Kalibrierung wurde auch klar, dass die bisherigen 7 mm für den ZSL (für Vollholz und Brettschichtholz) einen zu geringen Wert darstellen und dieser auf 10 mm angehoben werden sollte.

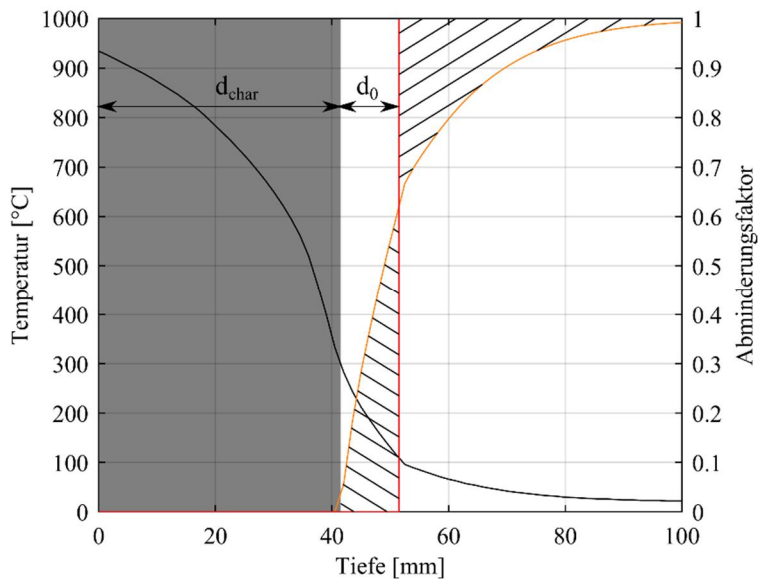


Abb. 2: Temperaturprofil (schwarz) und theoretisches Festigkeitsabminderungsprofil (orange) über die Tiefe nach 60 Minuten Standardbrand. Schraffiert dargestellt sind die vernachlässigten (nach unten) und «überschätzten» (nach oben) Festigkeiten nach SIA/Eurocode. Die effektive Abbrandtiefe ist rot dargestellt.

4.3 Brettsperrholz, Haupttragrichtung

Betrachten wir nun denselben Fall wie zuvor mit 60 Minuten Feuerwiderstand, jedoch für Brettsperrholz mit 30 mm dicken Lagen. In Abb. 3, Abb. 4 und Abb. 5 sind die tragenden Lagen bräunlich hinterlegt.

In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass der Klebstoff das Ablösen von verkohlenden Schichtteilen soweit verhindert, dass mit einer konstanten Abbrandrate gerechnet werden darf. Somit beträgt die Abbrandtiefe auch bei Brettsperrholz 42 mm und das eindimensionale Temperaturprofil ist ebenso identisch. Da die Lagen quer zur Tragrichtung nicht direkt zum Tragwiderstand beitragen, ist die orange Linie für die Festigkeitsabminderung in diesem Bereich gepunktet dargestellt (Abb. 3, Abb. 4, Abb. 5).

Wenn man zur Berechnung des effektiven Querschnitts wie von Brettschichtholz gewohnt einfach den ZSL von der Abbrandtiefe abziehen würde, dann käme der effektive Querschnitt in der Querlage (Abb. 3, gestrichelte rote Linie) zu liegen. Da die Querlage keinen Beitrag zum Widerstand in die Haupttragrichtung hat, könnte man auch den Beginn der nächsten tragenden Lage als Beginn des effektiven Querschnitts ansehen (durchgezogene rote Linie). Diese Betrachtungsweise ist jedoch nicht korrekt und kann zu unsicheren Ergebnissen führen. Dies kann auch anhand der vernachlässigten und überschätzten Festigkeiten festgestellt werden (Abb. 3): Über die gesamte Dicke der tragenden Längslage wird die Festigkeit (leicht) überschätzt. Da der ZSL komplett in der nicht-tragenden Querlage zu liegen

kommt, gibt es jedoch keine vernachlässigte Festigkeit in Haupttragrichtung. Damit bleibt die Überschätzung der Festigkeit unkompensiert.

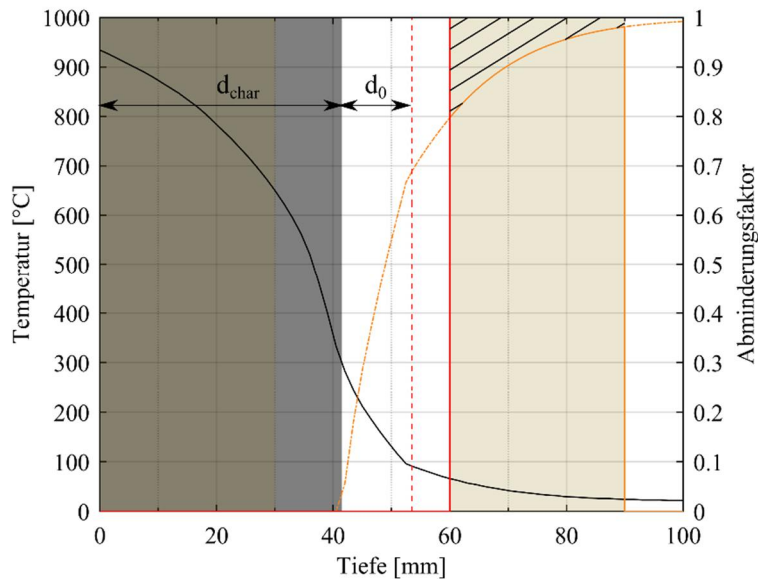


Abb. 3: CLT in Haupttragrichtung mit mangelnder Kompensation: Temperaturprofil (schwarz) und theoretisches Festigkeitsabminderungsprofil (orange) über die Tiefe nach 60 Minuten Standardbrand bei BSP (30 mm Lamellen, tragend=gelb). Schraffiert dargestellt ist die «überschätzte» (nach oben) Festigkeit.

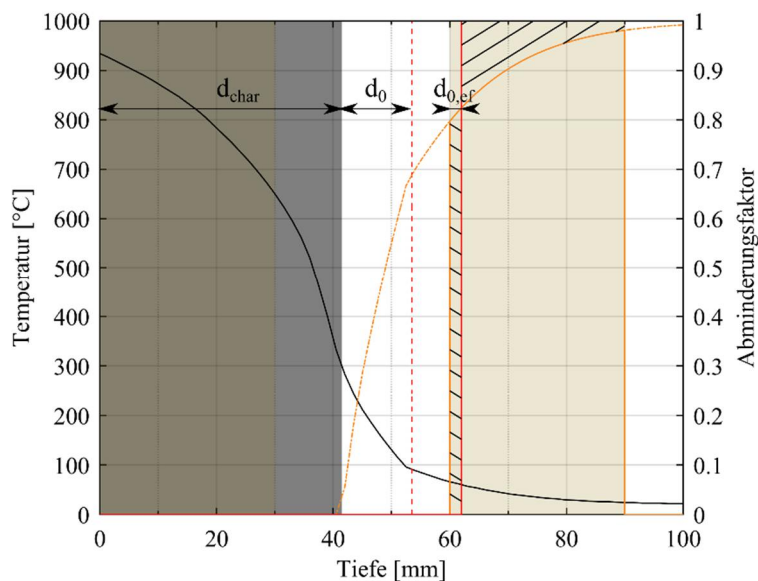


Abb. 4: CLT in Haupttragrichtung mit vorgeschlagener Kompensation $d_{0,ef} = 2$ mm: Temperaturprofil (schwarz) und theoretisches Festigkeitsabminderungsprofil (orange) über die Tiefe nach 60 Minuten Standardbrand bei BSP (30 mm Lamellen, tragend=gelb). Schraffiert dargestellt sind die vernachlässigten (nach unten) und «überschätzten» (nach oben) Festigkeiten nach Eurocode 5 Entwurf 3.

Um die verminderte Festigkeit in der erwärmten Längslage (Temperatur grösser als 20°C) zu kompensieren, schlägt der dritte Entwurf des Eurocode 5 vor, dass die erste tragende Lage um mindestens $d_{0,ef} = 2$ mm abgemindert sein muss (Abb. 4). Dies kann entweder schon durch den gewöhnlichen ZSL gegeben sein oder muss dann durch zusätzliche Verkleinerung des effektiven Querschnittes erreicht werden. Da der Abminderungsfaktor in einer grösseren Tiefe als der

gewöhnlichen Nullfestigkeitstiefe schon wieder verhältnismässig gross ist, genügt zur Kompensation ein eher geringer Wert für $d_{0,ef}$, was auch an den schraffierten Flächen in Abb. 4 konzeptionell erkannt werden kann.

4.4 Brettsperrholz, sekundäre Tragrichtung

Abb. 5 zeigt nochmals das zuvor diskutierte Beispiel (Schichtstärke 30mm), jedoch für die sekundäre Tragrichtung und somit in Querrichtung zur Haupttragrichtung. In diesem Beispiel ist es nun so, dass der ZSL von sich aus die erste tragende Lage um mindestens 2 mm abmindert, wodurch keine zusätzliche Reduktion des Restquerschnittes mehr nötig ist. Die schraffierten Flächen deuten an, dass die überschätzten Festigkeiten genügend kompensiert werden.

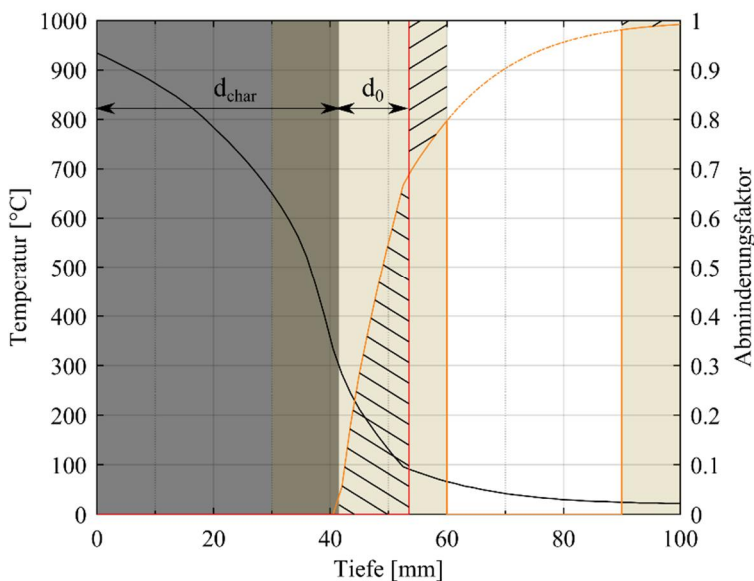


Abb. 5: CLT sekundäre Tragrichtung: Temperaturprofil (schwarz) und theoretisches Festigkeitsabminderungsprofil (orange) über die Tiefe nach 60 Minuten Standardbrand bei BSP (30 mm Lamellen, tragend=gelb). Schraffiert dargestellt sind die vernachlässigten (nach unten) und «überschätzten» (nach oben) Festigkeiten nach Eurocode Draft 3.

4.5 BEMESSUNGSMODELL 12+2

Der soeben präsentierte Ansatz wird auch als «12+2» Modell bezeichnet (Klippel und Schmid 2019). Die Zahlen beziehen sich dabei auf den ZSL von $d_0 = 12$ mm und $d_{0,ef} = 2$ mm. Die Werte wurden wie in Kapitel 4.2 beschrieben aus finite-element Simulationen hergeleitet, sodass die Methode des effektiven Querschnitts möglichst gut die resultierende Traglast aus den Simulationen widerspiegelt. Die beiden genannten ZSL gelten jedoch nur für Decken mit einer Brandbeanspruchung von auf Zug belasteten Lamellen, z.B. einfeldrigen Deckenelemente, die von unten dem Brand ausgesetzt sind. Da Holz auf Druck schneller an Festigkeit verliert (Abb. 1), sind auch die kalibrierten ZSL Werte höher: $d_0 = 16$ mm, $d_{0,ef} = 4$ mm. Diese Werte werden beispielsweise bei Durchlaufträgern im Bereich des Auflagers relevant. Aktuell ist vorgesehen, dass die genannten Werte sowohl für ungeschütztes Brettsperrholz, wie auch für anfänglich geschütztes Brettsperrholz gelten.

Für Wände wiederum gelten die genannten ZSL-Werte nicht, da dort (bei üblichen Wandhöhen) nicht die Festigkeit, sondern die Steifigkeit der Elemente massgebend wird. Die Abminderung der Steifigkeit mit zunehmender Temperatur unterscheidet sich von der Festigkeit (vgl. Abb. 1). Zudem muss bei Wänden üblicher Bauhöhe der Stabilitätsnachweis (Knicknachweis) mitberücksichtigt werden, welcher besonders sensitiv ist auf eine Steifigkeitsreduktion weit weg vom Schwerpunkt.

All dies führt dazu, dass die resultierenden effektiven Querschnitte von Brettsperrholz abhängig sind von der Belastungsrichtung, vom Lagenaufbau, von den Zug- oder Druckspannungen in den brandbelasteten Lamellen und auch von der Belastung selbst (reine Biegung oder mit Knickgefahr). Wie im Beispiel oben gezeigt, führt dies dazu, dass die beiden Tragrichtungen (falls auch die Querrichtung zum Lastabtrag inkludiert wird) rechnerisch unterschiedliche effektive Querschnitte.

Wie oben erwähnt, wurden die ZSL Werte so kalibriert, dass der resultierende Tragwiderstand jenem aus einer finite-element Simulation möglichst nahekommt. Verschiedene Aufbauten werden dabei von der Methode des effektiven Querschnitts unterschiedlich gut abgebildet. Abb. 6 zeigt die relative Traglast über die Feuerwiderstandsdauer von zwei verschiedenen Brettsperrholz-Aufbauten, jeweils für die Traglast nach der Simulation und nach der Methode des effektiven Querschnitts. Wie den Kurven zu entnehmen ist, stimmt das Modell sehr gut mit den Simulationen überein. Für den dargestellten fünf-Lagigen Aufbau ist das Modell fast durchgehend leicht konservativ, während es beim dreilagigen Aufbau die Traglast teilweise auch leicht überschätzt.

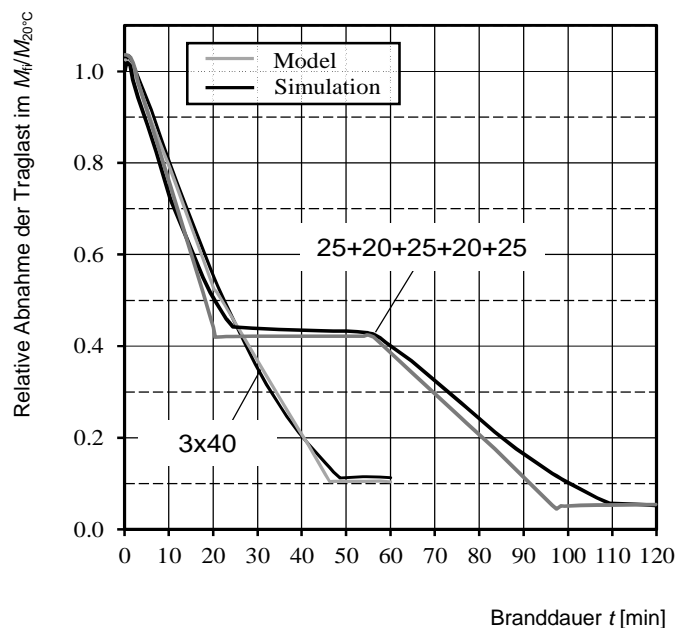


Abb. 6: Relative Traglast von CLT über die Feuerwiderstandsdauer für zwei verschiedene Aufbauten im Modell (grau) und in der Simulation (schwarz). (Klippel & Schmid 2019)

Es sollte erwähnt werden, dass die Herleitung eines angemessenen Bemessungsmodells für Brettsperrholz eine komplexe Aufgabe ist. Hierbei müssen zum Teil gegenläufige Aspekte wie z.B. Sicherheit, Einfachheit der Bemessung und Wirtschaftlichkeit in Balance gebracht werden. Aus diesem Grund werden im neuen Eurocode 5 verschiedene Möglichkeiten der Bemessung von Brettsperrholz im Brandfall angeboten. Neben tabellierten d_0 -Werte für häufig verwendete Brettsperrholzaufbauten wird es Modelle für die Berechnung der d_0 -Werte für anfänglich geschützte und direkt dem Brand ausgesetzte Wand- und Deckenbrettsperrholzelemente geben. Das im vorliegenden Artikel erwähnte und in aller Kürze präsentierte Modell „12+2“ zeigt auf, wie komplex die Herleitung eines Bemessungsmodells unter Berücksichtigung der erwähnten Aspekte sein kann, insbesondere für ein Produkt wie Brettsperrholz mit vielen Parametern (Klebstoff, Schichtstärke, Orientierung der Schichten, Orientierung der Elemente, etc.).

5 BRANDDYNAMIK

5.1 Ausbrandnachweis

Für gewisse Gebäude, z.B. Hochhäuser, stellt ein Versagen der Tragstruktur über den ganzen Brand hinweg unter Umständen kein akzeptiertes Szenario dar. Die Abkühlungsphase eines realen Brandszenarios wird allerdings bei gewöhnlichen Brandnachweisen basierend auf dem Standardbrand

nicht berücksichtigt. Jedoch wird oft davon ausgegangen, dass die hohen geforderten Feuerwiderstandsdauern (R90 und mehr) für die betroffenen Gebäude ausreichen, um implizit auch die Abkühlungsphase abzudecken. Für Gebäude mit nicht-brennbarer Tragstruktur und typischen mobilen Brandlasten (Interieur, Möbel etc.) ist diese Annahme wohl angebracht, da man davon ausgehen kann, dass die mobilen Brandlasten nach einer gewissen Zeit verbrannt sind und anschliessend eine Abkühlung im Raum einsetzt. Auch eine brennbare Tragstruktur kann in diesem Sinne als nicht-brennbar betrachtet werden, wenn sie während dem gesamten Feuerwiderstand durch nicht-brennbare Materialien gekapselt ist (Stichwort: RF1-Bauteile).

Die Annahme, dass ein hoher Feuerwiderstand die Abkühlphase mitberücksichtigt und somit ein Einsturz effektiv verhindert, muss kritisch hinterfragt werden, sobald die Tragstruktur mitbrennt. Je nach Grösse und Anordnung der brennbaren Oberflächen der Tragstruktur und in Abhängigkeit der Ventilationsbedingungen (Luftgeschwindigkeit, Turbulenz, Temperatur und Sauerstoffgehalt der Luft) kann die brennbare Tragstruktur zu einer Verlängerung der Abkühlphase bis hin zu einem völligen Ausbleiben der Abkühlung führen. Je länger der Brand dauert, desto geringer wird der tragende Holzquerschnitt und desto wahrscheinlicher wird ein Einsturz in einem realistischen Brandszenario.

Die Nachweisführung des Tragwiderstandes über den gesamten Brand wird in der Schweiz (VKF Brandschutzvorschriften) nicht wirklich gefordert, ist in anderen Ländern (z.B. Grossbritannien) aber sehr relevant beim Bauen mit Holz. Zur Nachweisführung können parametrische Temperaturkurven nach EN 1991-1-2 oder auch sogenannte Zonen- und Feldmodelle verwendet werden. Ziel ist es dabei meist, die Wahrscheinlichkeit eines Ausbrandes (Engl: Burnout oder Auto-Extinguishment) ohne aktiven Eingriff der Feuerwehren nachzuweisen. Diese Art der Nachweisführung wird in das Konzept der leistungsabhängigen Verfahren eingeordnet und sollte von einem erfahrenen Brandschutzingenieur durchgeführt werden. Mit Zunahme der Komplexität und Höhe des Gebäudes sowie mit Zunahme der sichtbaren brennbaren Oberflächen wird dieser leistungsabhängige „Burnout-Nachweis“ relevanter und sollte in Betracht gezogen werden.

5.2 Flammenbildung an der Fassade

Ungekapselte (=sichtbare oder bekleidete) Holztragstrukturen haben nicht nur einen (negativen) Einfluss auf die Abkühlungsphase, sondern erhöhen auch die Wärmefreisetzungsrate im Vollbrand. Die zusätzliche Wärmefreisetzungsrate nimmt dabei ungefähr linear mit der brennbaren Oberfläche zu. Im Falle von Brettspertholz ist diese Wärmefreisetzungsrate im Vergleich zu einigen andern Bauweisen (z.B. Holz-Beton-Verbundbau) grösser.

Die erhöhte Wärmefreisetzungsrate hat in der Vollbrandphase eines typischen, ventilationsgesteuerten Brandes (Brandverlauf von zuströmendem Sauerstoff abhängig bzw. limitiert) vor allem einen Effekt auf die Grösse der Flammen vor der Ventilationsöffnung. Da zu diesem Zeitpunkt der einströmende Sauerstoff in der Luft schon komplett für die Wärmefreisetzung aus der mobilen Brandlast verwendet wird, strömen die überschüssigen brennbaren Gase aus dem Brandraum heraus. Sobald sie dort mit Sauerstoff in Kontakt kommen, verbrennen sie, was zur Flammenbildung führt. Daher muss damit gerechnet werden, dass grosse brennende Raumboflächen zu entsprechend hohen Flammen an der Fassade führen. Dies muss vor allem in Bezug auf den Brandübertritt in obere Geschosse sowie beim Brandüberschlag auf Nachbargebäude berücksichtigt werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Artikel zeigt die Hintergründe der Brandbemessung für Brettspertholz nach dem dritten Entwurf des Eurocodes 5 (EN 1995-1-2:202x). Grundsätzlich wird die Methode des effektiven Querschnitts analog Brettschichtholz angewendet. Durch die Querlagen genügt es jedoch nicht, den effektiven Querschnitt allein unter Berücksichtigung der Abbrandtiefe und des ZSL zu berechnen. Um sicherzustellen, dass der ZSL seine Funktion als Kompensationsschicht wahrnehmen kann, muss die erste tragende Lamelle im Brandfall bei Biegebelastung um mindestens 2 mm (Zug) respektive 4 mm (Druck) abgemindert werden. Die Unterscheidung nach der Belastungsrichtung ist nötig, da die temperaturabhängige Festigkeitsabminderung auf Zug und Druck nicht identisch ist. Weiter

unterscheiden sich die Festigkeits- und Steifigkeitsabminderungen, was dazu führt, dass für knickgefährdete Bauteile wie Wände nochmals andere ZSL Werte berücksichtigt werden müssen. Die vorgeschlagenen ZSL Werte im Entwurf des Eurocodes 5 wurden so kalibriert, dass der resultierende Tragewiderstand aus der Methode des effektiven Querschnitts möglichst nahe jenem aus finite-element Simulationen kommt.

Die beschriebene Nachweisführung basiert auf dem Standardbrand. Durch die typischerweise grossen ungekapselten Oberflächen bei Brettsperrholz kann dieser Nachweis allerdings das Verhindern eines Einsturzes über die gesamte Branddauer nicht garantieren. Zudem führen die brennbaren Oberflächen zu grösseren Flammen. Insbesondere bei komplexen und hohen Gebäuden sollte dem Rechnung getragen werden mit der Anwendung von fortgeschrittenen Brandmodellen.

7 REFERENZEN

- Eurocode 5 (2004) Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. CEN. (EN 1995-1-1).
- Eurocode 5 (2004) Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall. CEN. (EN 1995-1-2).
- Fahrni R. (2021) Reliability-based code calibration for timber in fire. Dissertation. ETH Zürich.
- Frangi A., Klippel M. (2015) Massivbau in Holz: Die Sicht des Brandschutzes. S-WIN Kurs 2015.
- Holzkurier (2020) BSP-Kapazität wird sich bis 2022 verdoppeln.
<https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2020/11/bsp--kapazitaet-wird-sich-bis-2022-verdoppeln.html>.
Abgerufen am 23.4.2021
- Klippel M., Schmid J. (2019) Brettsperrholz im Brandfall – Das neue Bemessungsmodell für Decken für die Revision des Eurocode 5. S-WIN 2019.
- Klippel M., Schmid J., Fahrni R., Kleinhenz M., Frangi A. (2019) Vorschlag einer Standardprüfmethode für Brettsperrholz im Brandfall. Bautechnik, 96. Jahrgang, Nummer 11, November 2019, Seiten 824-831.