Brandverhalten von Brettsperrholzplatten

Grundlagen

Wird dem Holz genügend Wärme zugeführt, führt ein thermischer Prozess (Pyrolyse) zur Zersetzung des Holzes unter Bildung von Holzkohle und brennbaren Gasen. Die Kohleschicht bildet einen Isolator und schützt das innere Holz vor der Wärmeeinwirkung. Der zeitliche Verlauf der thermischen Zersetzung von Holz, die Abbrandgeschwindigkeit (im folgenden mit β bezeichnet) wird als Verkohlungstiefe bezogen auf die Branddauer (in mm/min.) definiert. Die Lage der Abbrandgrenze zwischen Holz und Holzkohle wird gemäß EN 1995-1-2 [1] durch die Position der 300°-Isotherme definiert.

Tab. 1: Ideelle Abbrandgeschwindigkeit bn sowie Abbrandgeschwindigkeit für den eindimensionalen Abbrand β_0 gemäß EN 1995-1-2 [1]

Material	**β_0 [mm/Min.]**	**β_n [mm/Min.]**
Nadelholz und Buche		
Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von ρ_k = 290 kg/m³	0,65	0,7
Vollholz mit einer charakteristischen Rohdichte von ρ_k = 290 kg/m³	0,65	0,8
Platten		
Holzbekleidungen	0,9	-
Sperrholz	1,0	-
Holzwerkstoffplatten außer Sperrholz	0,9	-

Die Berechnung des Feuerwiderstandes von Holzkonstruktionen erfolgt in der Regel über die Bestimmung des Abbrandes. Als Berechnungsgrundlage wird meist die Bemessungsmethode mit reduziertem Querschnitt gemäß EN 1995-1-2 verwendet. Die Kenntnis des zeitlichen Verlaufes des Abbrandes spielt somit eine wesentliche Rolle für die Bemessung von Holzkonstruktionen im Brandfall. Für während der gesamten Branddauer ungeschützte Holzbauteile unter ISO-Normbrandbeanspruchung kann eine über die Zeit konstante Abbrandgeschwindigkeit angenommen werden [2]. Diese Erkenntnis legt die Annahme nahe, dass die Beiden in ihren Wirkungen gegenläufigen Einflüsse auf den Abbrand, nämlich die steigende Brandraumtemperatur einerseits und die steigende Wärmedämmung der gebildeten Holzkohleschicht anderseits, sich für den Fall der ISO-Normbrandbeanspruchung nahezu aufheben. Für stabförmige Bauteile unterscheidet die EN 1995-1-2 zwischen Abbrandgeschwindigkeit für den eindimensionalen Abbrand β_0 und ideelle Abbrandgeschwindigkeit β_n („notional charring rate“) [3]. Die ideelle Abbrandgeschwindigkeit β_n berücksichtigt näherungsweise die Effekte von Eckausrundungen und Rissen und ist somit größer als diejenige für den eindimensionalen Abbrand. Tab. 1 zeigt die gemäß EN 1995-1-2 vereinbarte ideelle Abbrandgeschwindigkeit β_n sowie die Abbrandgeschwindigkeit für den eindimensionalen Abbrand β_0.

Für flächige Holzplattenelemente gibt die EN 1995-1-2 Angaben zur eindimensionalen Abbrandgeschwindigkeit, wobei nur zwischen Holzbekleidungen, Sperrholzplatten und Holzwerkstoffplatten außer Sperrholz unterschieden wird.

Abb. 1: Gemessene Abbrandtiefe für unbekleidete bzw. mit Spanplatten oder Gipsplatten bekleidete Holzbauteile, die einseitig der ISO-Normbrandbeanspruchung ausgesetzt wurden [4]. Das Versagen

der Brandschutzbekleidungen erfolgte nach 25, 38 bzw. 57 Minuten.

Das Brandverhalten von anfänglich vor Brandeinwirkung geschützten Holzbauteilen wurde durch mehrere Brandprüfungen untersucht [4]. Abb. 1 zeigt die gemessene Abbrandtiefe für mit Spanplatten oder Gipsplatten bekleidete Holzbauteile, die einseitig der ISO-Normbrandbeanspruchung ausgesetzt wurden. Die Zeitdauer t_f bis zum Versagen der Brandschutzbekleidung, die durch das Abfallen der Bekleidungen in den Ofen definiert ist, erfolgte nach 25, 38 bzw. 57 Minuten (Temperatur in der Fuge zwischen Bekleidung und Bauteil ≥ 300°C). In diesem Fall kann somit angenommen werden, dass die Zeitdauer t_{ch} bis zur Verkohlung der ursprünglich geschützten Holzbauteile nach 25, 38 bzw. 57 Minuten erfolgte. In der Abb. 1 ist auch die gemessene Abbrandtiefe für ein ungeschütztes Holzbauteil dargestellt. Aus der Abbildung erkennt man, dass der Abbrand von anfänglich vor Brandeinwirkung geschützten Holzbauteilen nicht linear ist, d. h. die Annahme einer über die Zeit konstante Abbrandgeschwindigkeit nicht mehr zutrifft. Unmittelbar nach dem Versagen der Brandschutzbekleidung wird ein erhöhter Abbrand festgestellt. Der Grund dafür ist, dass beim Versagen der Brandschutzbekleidung die Oberfläche des ursprünglich geschützten Holzbauteils einer höheren Brandraumtemperatur ausgesetzt wird, während sich noch keine Holzkohleschicht gebildet hat, die der Wirkung der hohen Temperatur im Brandraum entgegenwirkt. Nach dem starken Abbrand, der in den ersten 5 bis 10 Minuten nach dem Versagen der Brandschutzbekleidung beobachtet wird, beginnt die Abbrandgeschwindigkeit abzunehmen, da die steigende Brandraumtemperatur durch die Wärmedämmung der zunehmenden Holzkohleschicht kompensiert wird.

Basierend auf diesen Brandprüfungen gibt EN 1995-1-2 eine vereinfachte Methode zur Berechnung des Abbrandes von anfänglich vor Brandeinwirkung geschützten Holzbauteilen, die zwei unterschiedliche Brandphasen berücksichtigt (vgl. Abb. 2). Es wird angenommen, dass die Abbrandgeschwindigkeit während der unterschiedlichen Brandphasen konstant über die Zeit ist. Die unterschiedlichen Brandphasen sind durch folgende Zeiten charakterisiert (vgl. Abb. 2):

t_{ch}	die Zeit bis zum Beginn des Abbrandes des Bauteils
t_f	die Zeit bis zum Versagen der Brandschutzbekleidung oder anderer Brandschutzmaterialien
t_a	die Zeit ab der die Abbrandgeschwindigkeit für ungeschützte Bauteile wieder angenommen werden kann

1	Verlauf für ungeschützte Bauteile mit der Abbrandgeschwindigkeit β_n oder β_0 gemäß Tab. 1	
2	Verlauf für anfänglich geschützte Bauteile bei denen der Abbrand tch beim Versagen der Brandschutzbekleidung t_f beginnt:	
	2a	Nach Abfall der Brandschutzbekleidung beginnt der Abbrand mit doppelter Abbrandgeschwindigkeit
	2b	Nach dem Erreichen einer Abbrandtiefe von 25 mm reduziert sich die Abbrandgeschwindigkeit auf die Werte für ungeschützte Bauteile gemäß Tab. 1

Abb. 2: Darstellung der Abbrandgeschwindigkeit für geschützte Bauteile gemäß EN 1995-1-2

Die vereinfachte Berechnungsmethode gemäß vgl. Abb. 2 kann für Brandschutzbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffplatten sowie für Gipsplatten Typ A und H verwendet werden, da für diese Platten der Beginn des Abbrandes des Bauteils beim Versagen (= Abfallen) der Brandschutzbekleidung angenommen wird, d. h. $t_{ch} = t_f$. Der Beginn des Abbrandes t_{ch} und der Zeitpunkt des Versagens der Brandschutzbekleidung t_f können auf der Grundlage von Versuchen oder vereinfacht gemäß den in EN 1995-1-2 angegebenen Gleichungen ermittelt werden. Nähere Details zu der vereinfachten Berechnungsmethode für geschützte Holzbauteile gemäß EN 1995-1-2 können [3] entnommen

werden.

Brandverhalten von Brettsperrholz

Zum Brandverhalten von Brettsperrholz wurde eine erste Serie von Brandprüfungen durchgeführt [1], um zu untersuchen, ob sich im Brandfall Brettsperrholzplatten ähnlich wie Vollholzplatten verhalten. Die Brandprüfungen erfolgten an unbelasteten Prüfkörpern auf dem kleinen Horizontalofen an der EMPA in Dübendorf unter ISO-Normbrandbeanspruchung. Die Prüfkörper bestanden aus 1,15 m langen und 0,95 m breiten Brettsperrholzplatten mit der Gesamtdicke von 60 mm. Als Einflussparameter wurden die Dicke und Anzahl der Schichten sowie der für die Verklebung der Schichten verwendete Klebstoff variiert, wobei 5 verschiedene Polyurethan (PUR) -Klebstoffe und ein Melamin-Harnstoff-Formaldehyd (MUF) -Klebstoff untersucht wurden. Abb. 3 zeigt die gemessene Abbrandtiefe für die Versuchskörper mit 5 Schichten (10, 10, 10, 10, 20 mm). Aus der Abbildung lässt sich feststellen, dass der Zeitverlauf des Abbrandes für alle Brettsperrholzplatten gleich ist, bis die erste Schicht der Brettsperrholzplatte (10 mm) vollständig verkohlt ist. Danach nimmt der Abbrand für die weiteren Schichten der mit PUR-verklebten Brettsperrholzplatten signifikant zu; im Gegensatz dazu bleibt der Abbrand von mit MUF-verklebte Brettsperrholzplatte nahezu unverändert. Der Grund dafür ist das während der Brandversuche beobachtete Abfallen der verkohlten Schichten. Es hat sich somit gezeigt, dass die Abbrandgeschwindigkeit von Brettsperrholzplatten nicht mehr konstant über die Zeit ist, falls sich die verkohlten Schichten von der Platte ablösen, und das Brandverhalten von Brettsperrholzplatten durch das Verhalten der einzelnen Bretterlagen charakterisiert ist.

Folgende zwei Grenzsituationen können angenommen werden:

- Wenn sich die einzelnen Schichten der Brettsperrholzplatte nach der Verkohlung nicht ablösen, schütz die sich bildende Holzkohleschicht den verbleibenden, nicht verkohlten Teil der Brettsperrholzplatte vor der Wärmeeinwirkung. In diesem Fall ist für Brettsperrholz ein ähnliches Brandverhalten wie Vollholz zu erwarten.
- Wenn sich die einzelnen Schichten der Brettsperrholzplatte nach der Verkohlung ablösen, geht die Schutzwirkung der sich bildenden Holzkohleschicht verloren. Nach der Verkohlung und Abfallen jeder einzelnen Schicht ist in diesem Fall wegen der steigenden Brandraumtemperatur mit einem erhöhten Abbrand zu rechnen, ähnlich wie für geschützte Holzbauteile nach dem Versagen der Brandschutzbekleidung (vgl. Abschnitt 1). Das Verhalten des verwendeten Klebstoffes bei hohen Temperaturen beeinflusst stark das Ablösen der einzelnen verkohlten Schichten der Brettsperrholzplatte. Zudem beeinflusst auch die Position der Brettsperrholzplatte (horizontal bei Decken, vertikal bei Wänden) das Ablösen der einzelnen verkohlten Schichten der Brettsperrholzplatte.

Abb. 3: Gemessene Abbrandtiefe für Brettsperrholzplatten mit 5 Schichten (10, 10, 10, 10, 20 mm) für ISO-Normbrandeinwirkung [1].

In den Fällen, in denen die betrachtete Brettsperrholzplatte mit einem Klebstoff hergestellt war, bei dem ein Abfallen der verkohlten Schichten beobachtet werden konnte, war auch der Einfluss der Dicke der Bretterlagen auf das globale Brandverhalten der Brettsperrholzplatte bemerkenswert. Abb. 4 zeigt die gemessene Abbrandtiefe für die Versuchskörper mit 5 Schichten (10, 10, 10, 10, 20 mm) und 3 Schichten (20, 20, 20 mm). Die Brettsperrholzplatten mit 5 Schichten waren nach 56 Minuten bzw. 60 Minuten vollständig verkohlt, dies entspricht einer Abbrandgeschwindigkeit von ca. 1,1 mm/min bzw. 1,0 mm/min. Die Brettsperrholzplatten mit 3 Schichten waren hingegen nach 67

Minuten bzw. 71 Minuten vollständig verkohlt, dies entspricht einer Abbrandgeschwindigkeit von ca. 0,9 mm/min. bzw. 0,85 mm/min. Falls sich die Bretterlagen nach der Verkohlung schichtenweise ablösen, hängt das Brandverhalten von Brettsperrholzplatten somit stark von der Anzahl und Dicken der einzelnen Schichten ab. Im Allgemeinen weisen dann Brettsperrholzplatten mit dicken Holzschichten ein besseres Brandverhalten auf als Brettsperrholzplatten mit dünnen Holzschichten.

Abb. 4: Gemessene Abbrandtiefe für Brettsperrholzplatten mit 5 Schichten (10, 10, 10, 10, 20 mm; Versuche V7 und V9) bzw. 3 Schichten (20, 20, 20mm; Versuche V8 und V10) für ISO-Normbrandeinwirkung [1].

Bemessung im Brandfall

Die Bemessung von Brettsperrholzplatten im Brandfall kann grundsätzlich mit der vereinfachten Bemessungsmethode mit reduziertem Querschnitt gemäß EN 1995-1-2 durchgeführt werden. Voraussetzung für die Anwendung der vereinfachten Bemessungsmethode ist der Nachweis der Tragfähigkeit bei Normaltemperatur gemäß EN 1995-1-1.

Der Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall wird nach folgender Gleichung durchgeführt:

$$E_{d,fi} \le R_{d,fi}$$

$E_{d,fi}$	Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall
$R_{d,fi}$	zugehöriger Bemessungswert der Beanspruchbarkeit im Brandfall

Der Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall $E_{d,fi}$ wird gemäß EN 1990 und EN 1991-1-2 berechnet. Bei der Berechnung von $E_{d,fi}$ dürfen die Nutzlasten mit einem gegenüber der Kaltbemessung reduzierten Wert, d. h. einem wahrscheinlicheren Wert (höherer Fraktilwert) berücksichtigt werden. Für ein Gebäude mit Büronutzung dürfen zum Beispiel die Nutzlasten gemäß EN 1990 mit dem Reduktionsbeiwert $\psi_2 = 0,3$ reduziert werden.

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes im Brandfall $R_{d,fi}$ darf wie folgt ermittelt werden:

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

mit $f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$

Die charakteristischen Festigkeitskennwerte f_k sind als 5 %-Fraktilen der Grundgesamtheit definiert, und zwar unmittelbar anwendbar auf Kurzzeit-Einwirkungen bei Normaltemperatur und einer Holzfeuchte von w = 12 %. Der Widerstandsbeiwert $\gamma_{M,fi}$ (Teilsicherheitsbeiwert für Holz im Brandfall) berücksichtigt die Streuung der Materialeigenschaften und die Modellunschärfen. Für die außergewöhnliche Einwirkung Brand gilt für alle Baustoffe $\gamma_{M,fi} = 1,0$. Da Brand eine außergewöhnliche Einwirkung darstellt, dürfen im Brandfall die Holzeigenschaften mit einem höheren Fraktilwert berücksichtigt werden. Der Wert $k_{fi} \cdot f_k$ entspricht der 20 %-Fraktile der Grundgesamtheit. Für Brettsperrholzplatten darf $k_{fi} = 1,15$ angenommen werden (gemäß EN 1995-1-2 für Brettschichtholz und Holzwerkstoffe).

Der Modifikationsfaktor $k_{mod,fi}$ berücksichtigt den Einfluss der Temperatureinwirkung auf die Materialeigenschaften. Bei der Bemessungsmethode mit reduziertem Querschnitt wird der Einfluss

der reduzierten Materialeigenschaften infolge hoher Temperaturen in der Nähe der Abbrandgrenze durch pauschale Reduktion des verbleibenden Restquerschnittes berücksichtigt, indem die Abbrandtiefe $d_{char,0}$ (Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm) bzw. $d_{char,n}$ (Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 6 mm) um die Abbrandtiefe $k_0 \cdot d_0$ mit dem Grundwert d_0 von 7 mm erhöht wird. Basierend auf den Resultaten von numerischen Untersuchungen wird in [2] jedoch ein größerer Grundwert d_0 für Brettsperrholzplatten empfohlen. Der daraus resultierende Querschnitt wird ideeller Querschnitt genannt.

Die effektive Abbrandtiefe d_{ef} zur Ermittlung des ideellen Restquerschnitts wird somit wie folgt berechnet:

- Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm

$$\label{eq:eqn_3} {d_{ef}} = {d_{char,0}} + {k_0} \cdot {d_0}$$

- Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 6 mm

$$\label{eq:eqn_4} {d_{ef}} = {d_{char,n}} + {k_0} \cdot {d_0}$$

d_{ef}	effektive Abbrandtiefe zur Ermittlung des ideellen Restquerschnitts
$d_{char,0}$	Abbrandtiefe von Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm für eine bestimmte Feuerwiderstandsdauer
$d_{char,n}$	Abbrandtiefe von Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 6 mm für eine bestimmte Feuerwiderstandsdauer
$k_0 \cdot d_0$	Schichtdicke zur Berücksichtigung des Einflusses der Temperatureinwirkung auf die Materialeigenschaften: d0 = 7 mm; k0 = 1 mm für Branddauer t ≥ 20 min

Die mechanischen Holzeigenschaften des ideellen Querschnitts entsprechen denjenigen des Ausgangsquerschnitts bei Normaltemperatur, jedoch multipliziert mit $k_{fi} = 1{,}15$. Der Modifikationsfaktor $k_{mod,fi}$ wird gleich 1,0 gesetzt. Der Koeffizient k_0 wächst in den ersten 20 Minuten linear von 0 auf 1 an und berücksichtigt näherungsweise, dass bei ungeschützten Holzoberflächen erst nach ungefähr 20 Minuten mit einer vollständigen Reduktion der Festigkeit und Steifigkeit des verbleibenden Restquerschnittes zu rechnen ist [4].

Bei der Berechnung der Abbrandtiefe von Brettsperrholzplatten muss der Einfluss des Abfallens der Holzkohleschichten berücksichtigt werden, da dieses Phänomen zu einer markanten Erhöhung der Abbrandgeschwindigkeit im Vergleich zu Vollholzplatten führt. In Analogie zur Berechnungsmethode für anfänglich vor Brandeinwirkung geschützte Holzbauteile (vgl. Abschnitt Grundlagen) kann vereinfacht die Berechnung der Abbrandtiefe von Brettsperrholzplatten wie folgt errechnet werden.

- Für die erste äußerste Schicht der Brettsperrholzplatte wird die Abbrandgeschwindigkeit $\beta_0 = 0{,}65$ mm/min (Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm) bzw. $\beta_n = 0{,}80$ mm/min (Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 6 mm) angenommen. Sind die Einzelbretter seitlich verklebt und in Längsrichtung durch Keilzinkung verbunden, kann der Einfluss der Längsfugen und Stöße vernachlässigt und die Abbrandgeschwindigkeit $\beta_0 = 0{,}65$ mm/min angenommen werden.
- Für die weiteren Schichten der Brettsperrholzplatten wird angenommen, dass der Abbrand mit doppelter Abbrandgeschwindigkeit erfolgt, d. h. $\beta_0 = 2 \cdot \beta_0 = 1{,}3$ mm/min bzw. $\beta_n = 2 \cdot \beta_n = 1{,}6$ mm/min. Für Schichten mit einer Dicke größer als 25 mm, kann angenommen werden, dass sich die Abbrandgeschwindigkeit nach dem Erreichen einer Abbrandtiefe von 25 mm auf den Wert des Abbrandes der ersten äußersten Schicht reduziert, d. h. $\beta_0 = 0{,}65$ mm/min (Brettsperrholz

mit Fuge bis zu einer Dicke von 2 mm) bzw. β_n = 0,80 mm/min (Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 6 mm).

Abb. 5 vergleicht die gemäß dem vorher erwähnten Berechnungsmodell ermittelte Abbrandtiefe mit der gemessenen Abbrandtiefe für Brettsperrholzplatten mit 5 Schichten (10, 10, 10, 10, 20 mm) bzw. 2 Schichten (30, 30 mm), die der ISO-Normbrandeinwirkung einseitig ausgesetzt wurden [1]. Daraus erkennt man, dass dieses vereinfachte Berechnungsmodell zu sicheren Resultaten führt. Zu bemerken ist jedoch, dass der Effekt des Abfallens der Holzkohleschichten für den Tragwiderstand der Brettsperrholzplatten im Brandfall für die meisten baupraktischen Brettsperrholzabmessungen und -anwendungen nicht relevant ist, wie die in diesem Buch aufgeführten Beispiele zeigen. Zudem ist es zu erwarten, dass das Ablösen der Holzkohleschichten für vertikale Bauteile (Wände) weniger kritisch ist als für horizontale Bauteile (Decken) und somit das vorgeschlagene vereinfachte Berechnungsmodell im Fall von Brettsperrholzwänden zu konservativen Resultaten führt.

Abb. 5: Vergleich zwischen Berechnungsmodell und Brandversuche mit Brettsperrholzplatten mit 5 Schichten (10, 10, 10, 10, 20mm) bzw. 3 Schichten (20, 20, 20mm), die der ISO-Normbrandeinwirkung einseitig ausgesetzt wurden [1].

Falls es durch Brandversuche nachgewiesen wird, dass der für die Herstellung der Brettsperrholzplatten verwendete Klebstoff das Ablösen der einzelnen verkohlten Schichten nicht beeinflusst, darf angenommen werden, dass sich die Brettsperrholzplatten wie Vollholzplatten verhalten. Für die Berechnung der Abbrandtiefe darf dann für alle Schichten die Abbrandgeschwindigkeit β_0 = 0,65 mm/min (Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm) bzw. β_n = 0,80 mm/min (Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 6 mm) verwendet werden.

Beispiele Brandbemessung

- Fall 1: Brandeinwirkung 30 Minuten, Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm
- Fall 2: Brandeinwirkung 60 Minuten, Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm, Klebstoff "nicht temperaturbeständig"
- Fall 3: Brandeinwirkung 60 Minuten, Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm, Klebstoff "temperaturbeständig"
- Fall 4: Brandeinwirkung 60 Minuten, Brettsperrholz mit Fugen bis zu einer Dicke von 2 mm, Klebstoff "nicht temperaturbeständig", Brettsperrholz geschützt mit Gipsplatte Typ A, Dicke 12,5 mm

Referenzen

[1] ↑, ↑, ↑, ↑, ↑ Frangi A, Fontana M., E. Hugi, R. Jöbstl: Experimental analysis of cross-laminated timber panels, Fire Safety Journal 44 (2009) 1078-1087.
[2] ↑ König J., Schmid J.: Bonded timber deck in fire, Proceedings von 40. CIB-W18 Meeting, Bled, Slovenia, 28.-31. August 2007, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe.

From:
https://wiki.ihbv.at/ - **IHBV Wiki**

Permanent link:
https://wiki.ihbv.at/doku.php?id=bsphandbuch:design:fire&rev=1423560916

Last update: **2019/02/21 10:18**
Printed on 2026/11/10 01:41