



**HAL**  
open science

## Zur Abbrandrate von Holz in Abhängigkeit der Rohdichte

A. Gilka-Bötzow, A. Heiduschke, P. Haller

► **To cite this version:**

A. Gilka-Bötzow, A. Heiduschke, P. Haller. Zur Abbrandrate von Holz in Abhängigkeit der Rohdichte. European Journal of Wood and Wood Products, 2010, 69 (1), pp.159-162. 10.1007/s00107-010-0430-1. hal-00587604

**HAL Id: hal-00587604**

**<https://hal.science/hal-00587604>**

Submitted on 21 Apr 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Zur Abbrandrate von Holz in Abhängigkeit der Rohdichte

The velocity of combustion in relation to the density of wood

A. Gilka-Bötzow

*Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, TU Darmstadt*

E-Mail: [gilka-boetzow@massivbau.tu-darmstadt.de](mailto:gilka-boetzow@massivbau.tu-darmstadt.de)

A. Heiduschke, P. Haller

*Professur für Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen, TU Dresden*

## Abstract

In this study, the velocity of combustion (charring rate) of wood in relation to the mass density was determined. Three material types: Balsa, undensified and densified spruce and compressed laminated wood with material densities ranging between 155 and 1340 kg/m<sup>3</sup> were investigated. The specimens were exposed for 30 min in a furnace to the ISO 834 Standard Fire. The experimental results show that the charring rate decreases exponentially with the increase in density. For densities above 800 kg/m<sup>3</sup> the charring rate reaches a constant value and becomes independent of the density. The reason for the non-linear charring behavior is the thermal conductivity of wood which increases with the increase in density. At the same time the isolating performance of the char layer decreases.

## 1 Einleitung

In Haller (2004) wird ein Verfahren beschrieben, nach dem aus verdichteten Fichtenholzlamellen Platten gefertigt werden, welche anschließend in einem thermomechanischen Prozess zu Profilen geformt werden können. Für den rechnerischen Nachweis im Brandfall der i. d. R. dünnwandigen Profilquerschnitte sind Kennwerte bezüglich der Abbrandraten von verdichtetem Fichtenholz erforderlich.

Die Bemessung von Holzbauteilen im Brandfall nach DIN EN 1995-1-2 kann nach dem vereinfachten Bemessungsverfahren mit reduziertem Querschnitt mit Hilfe der Abbrandrate  $\beta_0$  (in mm/min) erfolgen. Diese errechnet sich aus dem Quotienten der Abbrandtiefe und der Brandeinwirkungsdauer. Dabei ist die

Abbrandtiefe die Distanz zwischen der ursprünglichen Bauteiloberfläche und der durch Temperatureinwirkung braun verfärbten, aber noch nicht zu Holzkohle umgewandelten, Schicht – der Abbrandgrenze (Lache 1992). Zur Ermittlung der Abbrandrate gibt es derzeit keine standardisierten Prüfverfahren. Die in der Norm enthaltenen Werte für  $\beta_0$  bei Normbrandbeanspruchung basieren auf Literaturwerten unterschiedlicher Herkunft. Differenziert wird nur zwischen Nadel- und Laubholz in Abhängigkeit der Rohdichte.

Der Einfluss der Rohdichte auf die mechanischen Eigenschaften des Holzes ist hinlänglich bekannt (Vorreiter 1949). Untersuchungen von Haller und Wehsener (2004) haben gezeigt, dass sich Festigkeit und Steifigkeit von Fichtenholz etwa proportional mit dem Verdichtungsgrad bzw. der Rohdichte ändern. Ähnlich verhält sich dies in Bezug auf das Brandverhalten. Hölzer mit Rohdichten von kleiner als  $300 \text{ kg/m}^3$  gelten als gut brennbar, jene mit Dichten von  $300$  bis  $1000 \text{ kg/m}^3$  als mittelmäßig brennbar und wiederum jene mit Dichten über  $1000 \text{ kg/m}^3$  als schlecht brennbar (Niemz 1993).

Nach Vorreiter (1949) steigt die Brandgeschwindigkeit  $B$  (in  $\%/min$ ) hyperbolisch mit abnehmender Rohdichte, wobei  $B$  als das Differential der durch die Verbrennung entstandenen Gewichtsänderung nach der Abbrandzeit definiert ist. Von ihm wurden Hölzer verschiedener Rohdichten von Balsa ( $160 \text{ kg/m}^3$ ) bis Pockholz ( $1270 \text{ kg/m}^3$ ) untersucht. Die Ergebnisse dieser Brandversuche können jedoch aufgrund des stark andersartigen Prüfregimes nur eine Tendenz aufzeigen. Die Relevanz von Dichteunterschieden auf die Abbrandgeschwindigkeit innerhalb einer Holzart ist generell nur für die üblichen Dichtestreuungen, nicht jedoch für verdichtetes Material, untersucht worden. In Tabelle 1 sind der Literatur entnommene Abbrandraten zusammengefasst.

Tabelle 1. Abbrandraten von Holz, sinngemäß erweitert nach Piazza et al. (2007)

Table 1. Charring rates of wood

Holzart	Feuchte	Rohdichte	Abbrandrate	Quelle
	u	$\rho$	$\beta_0$	
	[%]	$[\text{kg/m}^3]$	$[\text{mm/min}]$	
Allgemein	-	$> 290$	0,65	DIN EN 1995-1-2
Laubholz	-	$> 450$	0,50 (ohne Buche)	DIN EN 1995-1-2

Laubholz	-	> 350	0,54	Hartl und Blaß (1995)
Fichte	10	-	0,56-1,02	Mikkola (1990)
	20	-	0,60	Mikkola (1990)
	8	433	0,71	Lache (1992)
	20	459	0,63	Lache (1992)
	-	S 10, MS 10, > BS	0,65 (Kernrisse)	OEN B 3800-4
	-	MS 10, > BS 11	0,60 (ungerissen)	OEN B 3800-4
Kiefer	10	-	0,80	Mikkola (1990)
	8	497	0,81 (Splint)	Lache (1992)
	8	491	0,69 (Kern)	Lache (1992)
Buche	8	700	0,80	Lache (1992)
	20	689	0,72	Lache (1992)
	-	> 600	0,80	OEN B 3800-4
	-	> 290	0,65	DIN EN 1995-1-2
Eiche	10-15	491	0,59	Topf, Röhl
	8	656	0,60	OEN B 3800-4

## 2 Material und Methoden

Da die Abbrandraten von Holzart zu Holzart deutlich voneinander abweichen können (siehe Tab. 1), beschränken sich die Untersuchungen im Wesentlichen auf Fichtenholz (*Picea abies*). Aufgrund ihrer geringen bzw. hohen Dichte wurden außerdem Balsa- und Kunstharz-Pressholzproben (KHP) nach DIN 7707 hinzugezogen. Neben unverdichteten Proben wurde verdichtetes Fichtenholz mit Rohdichten von 600 bis 1320 kg/m<sup>3</sup> untersucht. Die Holzfeuchte des verdichteten Materials betrug im Mittel 7,2 % und lag damit ca. 2 % unter jener des unverdichteten Holzes (9 %). Der Einfluss der Holzfeuchte auf die Abbrandrate kann jedoch im Allgemeinen wegen der geringen Bandbreite der Ausgleichsfeuchte (zwischen 7 und 15 %) vernachlässigt werden. Die Herstellung des Pressholzes erfolgte nach einem von Haller und Wehsener (2003) beschriebenen Verfahren. Dabei wird das Material in

Heizpressen über Kontaktwärme bis auf ca. 140 °C erwärmt und anschließend unter geringem Druck senkrecht zur Faser um bis zu 70 % verdichtet.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Brandversuche orientieren sich an dem in Lache (1992) beschriebenen Verfahren. Es wurde jedoch auf eine kontinuierliche Messung der Abbrandgeschwindigkeit verzichtet, da in der vorher genannten Arbeit gezeigt werden konnte, dass der Abbrand über die Zeit als konstant angesehen werden kann. Die Versuche wurden bei der Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH mit einem Kleinprüfstand nach DIN 4102-8 durchgeführt.

Die Geometrie des Probekörpers wurde an die vorhandene Ofenöffnung angepasst. Es handelte sich um eine Zusammenstellung mehrerer Kleinproben variierender Breite (200 × 70 × Breite) auf einer Trägerplatte, die in einem 5 cm breiten Fichtenholzrahmen zusammengefasst waren. Dieser sollte eine größere gleichzeitige Versuchsanzahl ermöglichen und verhindern, dass die Proben seitlich ausweichen können. Insgesamt wurden drei Rahmen mit 51 Einzellamellen geprüft. Die Probekörper wurden einer 30-minütigen Brandbelastung senkrecht zur Faser nach Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) ausgesetzt.

Nach Ende des Versuchs wurden die Prüfkörper abgelöscht und die verkohlte Holzschicht bis auf die Abbrandgrenze abgetragen. Zur Ermittlung des Restquerschnitts wurden die Probekörper aufgetrennt und die verbliebenen Querschnittshöhen in Lamellenmitte ermittelt.

### **3 Ergebnisse und Diskussion**

Abbildung 1 zeigt die ermittelten Abbrandgeschwindigkeiten von Balsa, unverdichteter und verdichteter Fichte sowie KHP in Abhängigkeit der Rohdichte.

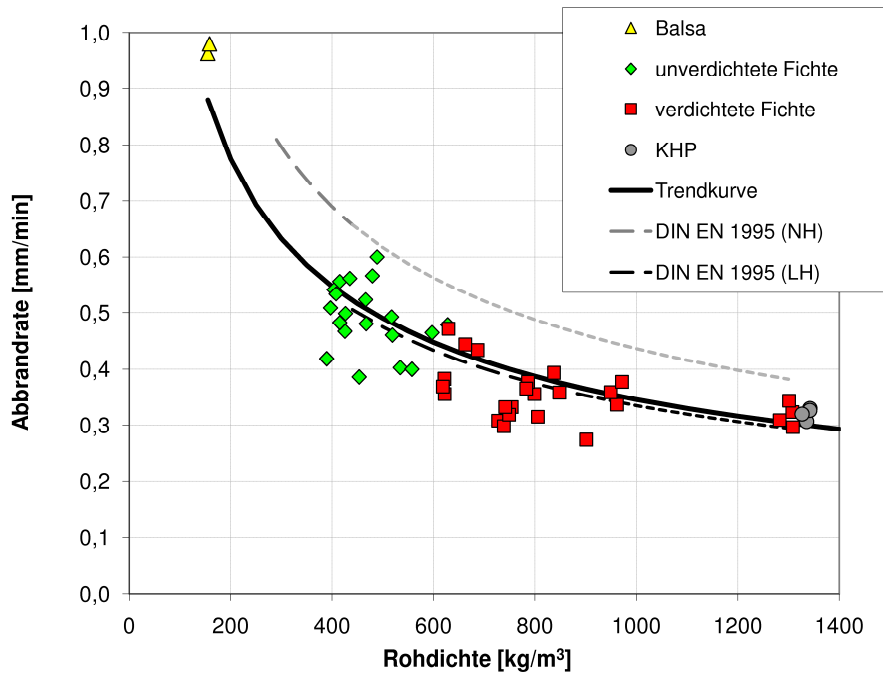


Abbildung 1. Rohdichte-Abbrandrate Diagramm

Figure 1. Density-charring rate diagram

Es wird deutlich, dass die Abbrandrate etwa exponentiell mit steigender Rohdichte abnimmt. Wählt man eine Trendkurve potenzieller Form so ergibt sich die Abbrandrate  $\beta_\rho$  in Abhängigkeit der Rohdichte  $\rho$  zu:

$$\beta_\rho = \sqrt{\frac{120}{\rho}} \quad \text{mit } R^2 = 0,74 \quad (1)$$

Die mittlere Rohdichte der unverdichteten Proben betrug  $470 \text{ kg/m}^3$  mit einer durchschnittlichen Abbrandrate von  $0,50 \text{ mm/min}$ . Für die verdichteten Proben mit einer durchschnittlichen Rohdichte von  $860 \text{ kg/m}^3$  wurde die mittlere Abbrandrate zu  $0,36 \text{ mm/min}$  bestimmt.

Ebenfalls in der Abbildung dargestellt sind zum Vergleich die nach DIN EN 1995-1-2 bzw. Gleichung 2 berechneten Abbrandraten in Abhängigkeit der Rohdichte. Den Kurven liegen  $\beta_0$ -Werte von  $0,65$  und  $0,5$  für Nadel- bzw. Laubholz (siehe Tab. 1) zu Grunde.

$$\beta_{0,\rho} = \beta_0 \times k_\rho \quad \text{mit } k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \quad (2)$$

Dabei ist  $\rho_k$  die charakteristische Rohdichte in  $\text{kg/m}^3$ . Für den Fall:  $\beta_0 = 0,5$  (Laubholz mit  $\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3$ ) sind Gleichung (1) und Gleichung (2) nahezu

identisch (siehe Abb. 1). Anzumerken ist, dass die Abbrandraten der Proben i. d. R. unter den Literaturwerten (Tab. 1) liegen, in sich jedoch konsistent sind. Da es sich bei den Angaben nach DIN EN 1995-1-2 um Bemessungswerte handelt, liegen diese jedoch auf der sicheren Seite. Mögliche Ursache für die beobachteten Abweichungen ist die wellige Oberfläche der Abbrandgrenze, welche nicht eindeutig zu bestimmen ist. Der dadurch entstandene Messfehler kann leicht bei  $\pm 0,5$  mm liegen.

Ab Dichten  $> 800 \text{ kg/m}^3$  nähert sich die Abbrandrate einer Konstanten von ca.  $0,3 \text{ mm/min}$  und kann dann als annähernd dichteunabhängig bezeichnet werden. Ursache für den nichtlinearen Verlauf der Abbrandrate ist die etwa linear mit der Rohdichte steigende Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  des Holzes (Vorreiter 1949). Für Rohdichten von  $350$  bzw.  $1100 \text{ kg/m}^3$  werden  $\lambda$ -Werte von  $0,09$  bzw.  $0,24 \text{ W/mK}$  angegeben.

Bei Rohdichten von  $1300 \text{ kg/m}^3$  sind die Zellen derart stark gefaltet, dass nahezu keine Zelllumen mehr vorhanden sind und annähernd die Reindichte der Zellwand von  $1500 \text{ kg/m}^3$  (Niemz 1993) erreicht wird. Mit steigenden Dichten ändert sich nicht nur die Wärmeleitfähigkeit des Holzes sondern auch die Konsistenz der entstehenden Kohleschicht. Diese wird mit zunehmender Rohdichte hart und sehr spröde. Die obere Schicht dieser Kohleart löste sich quaderförmig in sehr festen Stücken ab. Die unteren Schichten ließen sich nur mit großer Mühe bis auf die Abbrandgrenze entfernen. Es ist anzunehmen, dass die Wärmeleitfähigkeit der Holzkohleschicht mit deren Dichte zunimmt. Das Abbrandverhalten des Holzes wird jedoch wesentlich von dieser Holzkohleschicht beeinflusst, da deren Leitfähigkeit etwa sechsmal geringer als jene des Holzes ist (Hartl und Blaß 1995).

Des Weiteren wurde im Brandversuch bei Proben mit Verdichtungsrichtung senkrecht zur Plattenebene eine Dickenquellung aus der Plattenebene beobachtet. Diese Proben wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Zum Beispiel zeigte eine von  $40 \text{ mm}$  auf  $29,5 \text{ mm}$  verdichtete Lamelle einseitig eine Rückverformung auf  $34,5 \text{ mm}$  auf. Dies verdeutlicht, dass durch das erneute Erhitzen des verdichteten Materials ca. die Hälfte des im thermomechanischen Verdichtungsprozess erzeugten Dichtezuwachses wieder verloren geht. Diese Rückverformung ist auf den so genannten „memory effect“ des verdichteten Holzes zurückzuführen.

## 4 Schlussfolgerung

Die Brandversuche an Balsa, unverdichteter und verdichteter Fichte sowie KHP haben gezeigt, dass die Abbrandrate wesentlich von der Rohdichte beeinflusst wird. Dies gilt insbesondere für Rohdichten unter  $800 \text{ kg/m}^3$ , oberhalb dieses Wertes kann die Abbrandrate dann als annähernd dichteunabhängig bezeichnet werden. Der untere Grenzwert der Abbrandrate liegt bei ca.  $0,3 \text{ mm/min}$ . Offensichtlich gewinnen bei sehr hoher Verdichtung die höhere Wärmeleitfähigkeit des dichteren Holzes und der ebenfalls dichteren Holzkohleschicht überproportional an Einfluss. Zur Abschätzung der Abbrandrate in Abhängigkeit der Rohdichte liefert Gleichung (2) nach DIN EN 1995-1-2 mit einem Basiswert  $\beta_0$  von 0,5 sehr gute Näherungen.

## Literatur

ISO 834-1 (1999) *Fire-resistance tests – Elements of building construction – General requirements*, Sept. 1999

DIN EN 1995-1-2 (2006) *Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*, Okt. 2006

DIN 4102-8 (2003) *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Kleinprüfstand*, Okt. 2003

DIN 7707 T1 und T2 (1997) *Kunstharz-Pressholz und IsolierVollholz: Prüfverfahren und Typen (Qualität A735 und A735-1 (KP20216))*, Jan. 1997

OENORM B 3800-4 (2000) *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Bauteile: Einreihung in die Brandwiderstandsklassen*, Mai 2000

Hartl H, Blaß HJ (Hrsg.) (1995) *Holzbauwerke nach EC 5. Bemessung und Baustoffe (Feuerwiderstand von Holz und Holzwerkstoffen)*. Bd. 1. Düsseldorf : Fachverl. Holz der Arbeitsgemeinschaft Holz

Formatted: German Germany

Field Code Changed

Formatted: German Germany

Haller P (2004) *Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises*. In: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* Bd. 53, Nr. 1/2, S 100-104

Haller P, Wehsener J (2003) *Entwicklung innovativer Verbindungen aus Pressholz und Glasfaserarmierungen für den Ingenieurholzbau*. Bd. 3003, IRB-Verlag, Stuttgart

Haller P, Wehsener J (2004) *Festigkeitsuntersuchung an Fichtenpressholz (FPH)*. *Holz Roh- Werkst* 62: 452-454



Lache M (1992) *Abbrandgeschwindigkeit von Vollholz, Brettschichtholz und Holzwerkstoffen, Forschungsbericht // Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft : T. Bd. 2484.* Stuttgart : IRB-Verl.

Mikkola E (1990) *Charring of wood.* Forschungsbericht, Technical Research Centre of Finland: VTT Research Reports 689

Formatted: English U.S.

Niemz P (1993) *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe.* Leinfelden-Echterdingen : DRW-Verl – ISBN 9783871813245

Vorreiter L (1949) *Holztechnologisches Handbuch.* Wien : Fromme & Co.

Piazza M, Del Senno M, Bernasconi A (2007) *Il legno e il fuoco. Nozioni di base e introduzione al calcolo.* promo legno, Milano

Formatted: Spanish Spain-Modern Sort