

# Brandverhalten von Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz

Robert Westphal, Björn Kampmeier

Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

## Abstract

Durch den angestrebten Waldumbau von Nadelholzreinbeständen zu resilienten Laub- und Mischwäldern wird der Anteil an Laubbäumen in deutschen Wäldern zukünftig steigen. Aktuell wird zur stofflichen Rohholznutzung größtenteils Nadelholz verwendet. Um auch zukünftig die Wertschöpfung aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern zu sichern, ist die Ausweitung des stofflichen Nutzungspotentials von Laubholz erforderlich. Derzeit werden tragende Bauteile aus Buchenholz nur als Träger oder Stützen eingesetzt. Durch das starke Quell- und Schwindverhalten ist Buchenholz für die Herstellung flächiger Bauteile bisher nicht geeignet. Die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg und die Hochschule Magdeburg-Stendal untersuchen daher im BMEL-geförderten Verbundvorhaben „Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz“ die Herstellung von Brettsperrholz aus Buchenholz. Durch eine chemische Holzmodifizierung wurde die Dimensionsstabilität des Buchenholzes erhöht, sodass nun auch die Fertigung flächiger Bauteile möglich ist. Dafür untersucht die Hochschule Magdeburg-Stendal das Brandverhalten des modifizierten Buchenholzes. Die Untersuchungen zeigen, dass modifiziertes Buchenholz die gleichen brandschutztechnischen Anforderungen wie Nadelholz erfüllen kann und damit die perspektivische Zulassung des Baustoffes möglich ist.

## 1. Hintergrund

Der Klimawandel bedroht den Wald. Durch die Häufung von Wetterextremen wie Hitze, Trockenheit und Sturm, wird die Stabilität des Ökosystems Wald erheblich gefährdet. Damit steigt das Verlustrisiko großer Waldflächen, welche beispielsweise von Schädlingen befallen oder durch Waldbrände zerstört werden. Gesunde Wälder sind für uns unverzichtbar, damit diese auch zukünftig ihre Schutz- und Nutzfunktionen erbringen können (United Nations, 2014). Eine Anpassungsstrategie ist der Waldumbau von Nadelholzreinbeständen zu klimaresilienten, standortangepassten Laub- und Mischwäldern (Bundesregierung, 2008). Aktuell wird zur stofflichen Rohholznutzung größtenteils Nadelholz verwendet (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2021). Um auch zukünftig die Wertschöpfung aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern zu sichern, ist die Ausweitung des stofflichen Nutzungspotentials von Laubholz erforderlich. Die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg und die Hochschule Magdeburg-Stendal untersuchen im BMEL-geförderten Verbundvorhaben „Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz“ die Herstellung von Brettsperrholz aus Buchenholz.

Buchenholz weist neben sehr guten mechanischen Eigenschaften auch starkes Quellen und Schwinden bei ändernder Holzfeuchte auf (Bosshard, 1974). Die geringe Dimensionsstabilität ist der Grund, warum bisher nur stabförmige Bauprodukte wie Träger oder Stützen als tragende Bauteile aus Buchenholz eingesetzt werden (Torno et al., 2017). Frühere Forschungsvorhaben zeigten das enorme Potential von Buchen-Brettsperrholz (Franke et al., 2014). Die durchgeführten Prüfungen zur Delaminierungsbeständigkeit

wurden aufgrund des starken Quell- und Schwindverhaltens jedoch nicht bestanden, sodass eine Dauerhaftigkeit dieser Bauteile nicht gegeben ist. Um zukünftig auch flächige Bauteile aus Brettsperrholz zu fertigen, wurde ein Holzmodifizierungsverfahren mit Polyethylenglykol entwickelt, welches zu einer entsprechenden Dimensionsstabilisierung führt (Burian et al., 2020). Polyethylenglykol wird derzeit überwiegend in der Pharma- und Kosmetikindustrie eingesetzt, ist wasserlöslich und nicht-toxisch. Die Modifizierung erfolgt mittels Vakuum-Druck-Imprägnierung. Die Hochschule Magdeburg-Stendal bewertet in dem Forschungsvorhaben den Einfluss der Modifizierung auf das Brandverhalten und die Festigkeitseigenschaften der neuartigen Buchenholzbauteile. Dieser Beitrag stellt einen Auszug der Projektergebnisse bezüglich des Brandverhaltens des neuen Baustoffes dar.

## 2. Methodik

Die brandschutztechnischen Anforderungen an Gebäude sind im Landesrecht definiert. So beinhalten die Landesbauordnungen auch Vorgaben, welches Brandverhalten Baustoffe und Bauteile aufweisen müssen. Das Brandverhalten von Baustoffen beschreibt den Beitrag, welchen die Baustoffe zum Beispiel durch die freigesetzte Wärme zu diesem Brand beitragen. Baustoffe werden dazu in nichtbrennbar, schwerentflammbar und normalentflammbar unterschieden. Bauteile werden abhängig ihrer Feuerwiderstandsfähigkeit unterteilt. Diese beschreibt, über welche Zeit das Bauteil unter normierter Brandbeanspruchung (Einheitstemperaturzeitkurve) die Standsicherheit und/oder den Widerstand gegen Brandausbreitung gewährleistet. Dabei wird unterschieden in feuerhemmende (30 Min.), hochfeuerhemmende (60 Min.) oder feuerbeständige (90 Min.) Bauteile.

Das Brandverhalten von Holz ist aus langjähriger Erfahrung bekannt, weshalb dieser Baustoff abhängig von Dichte und Einbaudicke ohne weitere Prüfung in die nationale Baustoffklasse B2 bzw. der europäische Brandverhaltensklasse D-s2,d0 eingestuft werden kann (*DIN 4102-4; DIN EN 13501-1*). Damit erfüllt Holz die bauaufsichtliche Anforderung normalentflammbar mit begrenzter Rauchentwicklung und nicht brennend abtropfend/abfallend. Der Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit kann über technische Regeln erfolgen. Die Bemessung von Holztragwerken im Brandfall erfolgt mittels DIN EN 1995-1-2, wobei die Abbrandrate einen wesentlichen Eingangsparameter darstellt.

Ein Ziel des Forschungsvorhabens war der Nachweis, dass Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz die notwendigen Anforderungen an das Brandverhalten erfüllt und damit perspektivisch im Holzbau verwendet werden darf. Die zur Bewertung erforderlichen Versuche ergeben sich aus den entsprechenden technischen Regeln, welche genormte Prüfverfahren und die einzuhaltenden Grenzwerte definieren. Zusätzlich wurden weitere Versuche durchgeführt, welche zur formalen Zulassung des Baustoffes zwar nicht notwendig sind, aus akademischer Sicht dennoch wertvolle Erkenntnisse liefern.

Der Versuchsplan zur Bewertung des Brandverhaltens umfasste:

- Versuche zur Bewertung der Brennbarkeit im Einzelflammentest (*DIN EN ISO 11925-2*) und SBI-Prüfstand (*DIN EN 13823*)
- Versuche zur Bestimmung allgemeiner Brandprüfparameter im Cone-Kalorimeter (*ISO 5660-1*)
- Versuche zur Bewertung des Klebstoffverhaltens unter Temperatureinwirkung im Scherzugversuchsstand
- Versuche zur Bestimmung der Abbrandrate im Bauteilofen.

Die benötigten Probekörper wurden durch die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg gefertigt. Neben dem modifizierten Buchenholz wurde auch herkömmliches Buchenholz als Referenz untersucht, wodurch sich der Einfluss des Modifizierungsverfahrens direkt bewerten ließ. Zusätzlich wurden ausgewählte Versuche mit Fichtenholz durchgeführt. Somit konnte das Brandverhalten des modifizierten Holzes auch direkt mit üblicherweise verwendetem Nadelholz verglichen werden.

### **Einzelflammentest nach DIN EN ISO 11925-2**

Die Probekörper mit den einer Abmessungen von 250 mm × 90 mm × 30 mm (Länge × Breite × Dicke) wurden mit einem kleinen Gasbrenner, vergleichbar mit einer Feuerzeugflamme, für 30 s beflammt und danach ohne Beflammung weitere 30 s beobachtet (Abbildung 1 (a)). Nach DIN EN ISO 11925-2 ist der Probekörper auf der Fläche (150 mm oberhalb der Unterkante) und an der Unterkante zu beflammen. Je Beflammungspunkt sind sechs Versuche durchzuführen. Die Leistungskriterien der Klasse D-s2,d0 sind erfüllt, wenn sich die Flammenspitze über den Prüfzeitraum von 60 s nicht mehr als 150 mm über den Beflammungspunkt ausbreitet und das unter dem Probekörper positionierte Filterpapier nicht durch brennendes Abfallen/Abtropfen entzündet wird.

### **SBI-Prüfung nach DIN EN 13823**

Für die Brandprüfung im SBI-Prüfstand werden die Probekörper in L-Form stumpf gestoßen und mit einem in der Ecke angeordneten Gasbrenner (Wärmefreisetzungsrate von 30 kW) über die Prüfdauer von 20 Minuten beflammt (Abbildung 1 (b)). Der Probekörper bestand aus dreischichtigem Brettsperrholz mit einer Dicke von 96 mm. Der lange Flügel des Probekörpers hatte eine Länge von 1 m und eine Höhe von 1,5 m, der kurze Flügel eine Länge von 0,5 m und bei einer Höhe von 1,5 m. Die Leistungskriterien der Klasse D-s2,d0 sind erfüllt, wenn die Feuerwachstumsrate FIGRA  $\leq 750$  W/s, die Rauchentstehungsrate SPR  $\leq 180$  m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> und die insgesamt freigesetzte Rauchmenge TSP<sub>600 s</sub>  $\leq 200$  m<sup>2</sup> beträgt. Weiterhin darf kein brennendes Abfallen/Abtropfen innerhalb der ersten 600 s auftreten. In diesem Prüfungsaufbau wurde sowohl zwei modifizierte als auch zwei nicht modifizierter Probekörper untersucht.

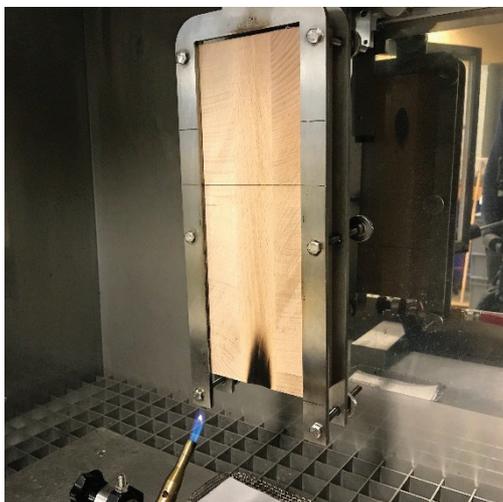
### **Cone-Kalorimeter nach ISO 5660-1**

Das Cone-Kalorimeter ist eine Versuchseinrichtung, bei der die Probekörper unter einem elektrischen Heizstrahler verbrannt werden (Abbildung 1 (c)). Ein wesentlicher Messwert ist die Wärmefreisetzungsrate, welche mittels Sauerstoffverbrauchskalorimetrie bestimmt wird. Die Wärmestromdichte des Strahlers lässt sich stufenlos im Bereich von 0 bis 100 kW/m<sup>2</sup> einstellen. Die Brandgase werden über eine Abzugshaube gesammelt und einer Gasanalyseeinheit zugeführt, um die O<sub>2</sub>-, CO<sub>2</sub>- und CO-Konzentration zu bestimmen. Eine Lasermessstrecke analysiert die optisch detektierbaren

Rauchbestandteile. Mittels Wägung des Probekörpers wird die zeitliche Massenänderung dokumentiert. Die Versuche wurden bei Wärmestromdichten von 15, 35 und 75 kW/m<sup>2</sup> durchgeführt. Für jede Wärmestromdichte wurden jeweils fünf Probekörper mit einer Abmessung von 100 mm × 100 mm × 30 mm (Länge × Breite × Dicke) aus modifiziertem Buchenholz, herkömmlichem Buchenholz und Fichtenholz bis zum Verlöschen des Flammenbrandes beobachtet.

### Abbrandrate im Bauteilofen

Zur Bestimmung der Abbrandrate wurden 1 m × 1 m große Probekörper mit im Inneren angeordneten Thermoelementen hergestellt und im Bauteilofen für eine Zeit von 120 Minuten unter der Einheitstemperaturzeitkurve beflammt (Abbildung 1 (d)). Es wurde je ein Bauteil aus modifiziertem Holz und aus herkömmlicher Buche untersucht. Die Abbrandrate wurde aus dem Verlauf der 300°C-Isotherme ermittelt (*DIN EN 1995-1-2*). Anschließend wurde das Bauteil entnommen, abgelöscht und nach Entfernen der Kohleschicht der verbleibende Restquerschnitt gemessen.



(a) Probekörper im Einzelflammentest nach der Beflammung



(b) Probekörper im SBI-Prüfstand während des Versuches



(c) Brennender Probekörper im Cone-Kalorimeter während des Versuches



(d) Bauteilofen der Hochschule Magdeburg-Stendal während des Versuches

Abbildung 1 Darstellung der durchgeführten Versuche zur Bewertung des Brandverhaltens.

### 3. Ergebnisse

#### Einzelflammentest nach DIN EN ISO 11925-2

Die im Einzelflammentest beobachtete vertikale Flammenausbreitung bei modifiziertem und herkömmlichem Buchenholz ist vergleichbar (Abbildung 2). Die zur Einstufung in die Klasse D erforderlichen Leistungskriterien wurden vom modifizierten Buchenholz erfüllt. Der Einfluss der Modifizierung ist hinsichtlich der Einstufung der Brennbarkeit im Einzelflammentest als nicht signifikant zu bewerten. Die Probekörper aus Fichtenholz zeigten eine etwa doppelt so lange Flamme, wobei die Kriterien zur Einstufung in die Klasse D trotzdem erfüllt wurden.

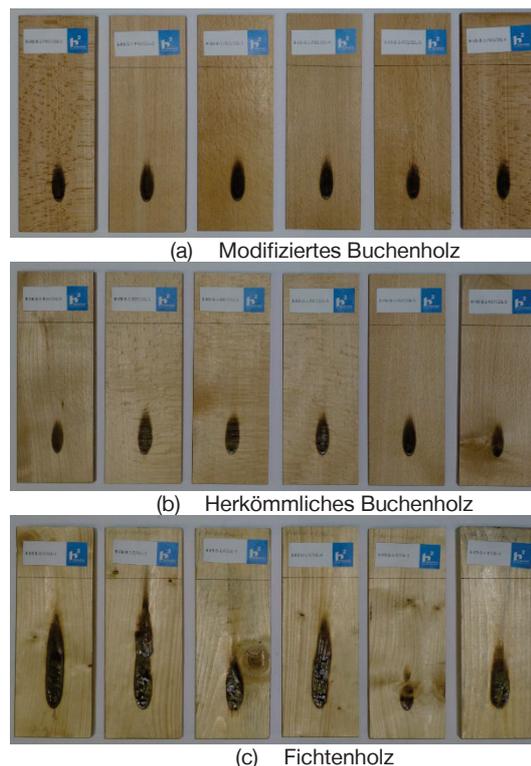


Abbildung 2 Je sechs Probekörper nach der Beflammung im Einzelflammentest. Die Flamme war bei modifiziertem und herkömmlichem Buchenholz vergleichbar. Der verkohlte Bereich ist beim Fichtenholz sichtbar größer ausgeprägt.

#### SBI-Prüfung nach DIN EN 13823

Modifiziertes Buchenholz erreicht die Kriterien zur Einstufung in die Klasse D-s1,d0. Die Modifizierung hat einen messbaren Einfluss auf die Wärmefreisetzungsrate und Rauchentwicklung, die Klassifizierungskriterien wurden dennoch erreicht. Während das modifizierte Buchenholz eine ca. 20 kW höhere Wärmefreisetzungsrate aufwies, lag die Rauchentwicklungsrates deutlich unter den Messwerten des herkömmlichen Buchenholzes.

#### Cone-Kalorimeter nach ISO 5660-1

Abbildung 3 zeigt die im Wärmefreisetzungsrate für je fünf Probekörper bei unterschiedlichen Wärmestromdichten, wobei deutliche Unterschiede im Verlauf erkennbar sind. Unmittelbar nach der Zündung steigt die Wärmefreisetzungsrate für alle Proben stark an und erreicht das Maximum. Anschließend fällt sie exponentiell ab, bis nach ca. 500 s

eine Phase mit annähernd konstanter Wärmefreisetzungsrate erreicht ist. Im letzten Drittel der Versuchszeit steigt sie erneut an, bevor die Flamme verlöscht. Ein erneuter Anstieg der Wärmefreisetzungsrate ist für Holzproben typisch und resultiert aus dem Aufbrechen der gebildeten Kohleschicht, wodurch vermehrt Pyrolysegase freigesetzt werden und verbrennen. Die verschiedenen Kurvenverläufe sind daher durch die unterschiedlich ausgebildete Kohleschicht begründet. Beide Buchenhölzer bilden eine instabile, aus vielen einzelnen Stücken bestehende Kohleschicht. Dabei wölbte sich der verkohlte Probekörper aus herkömmlichem Buchenholz deutlich (Abbildung 4). Die Kohleschicht der Fichtenproben war stabil und kompakt und nur von wenigen Rissen durchzogen.

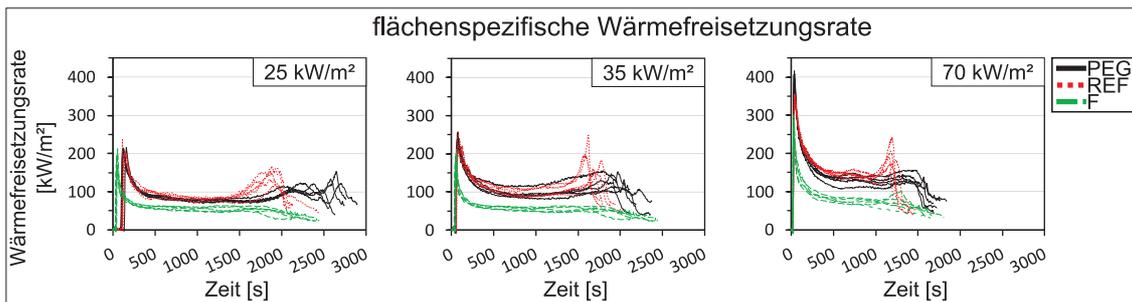


Abbildung 3 Verlauf der flächenspezifischen Wärmefreisetzungsrate für modifiziertes Buchenholz (PEG), herkömmliches Buchenholz (REF) und Fichtenholz (F) bei am Heizstrahler eingestellten Wärmestromdichten von 25, 35 und 70 kW/m<sup>2</sup>.



Abbildung 4 Probekörper im Cone-Kalorimeter unmittelbar vor Versuchsende. Der verkohlte Probekörper aus herkömmlichem Buchenholz ist deutlich verformt.

### Abbrandrate im Bauteilofen

Wie schon bei den vorherigen Versuchen im Labormaßstab festgestellt, zeigte sich ein deutlicher Unterschied bei der ausgebildeten Kohleschicht (Abbildung 5). Während das modifizierte Buchenholz eine deutlich stabilere Kohleschicht bildete, war bereits ein Großteil der Kohleschicht vom Probekörper aus herkömmlichen Buchenholz nach der Entnahme aus dem Brandofen abgefallen. Da die Kohleschicht isolierend wirkt, ist bei einer dicken schützenden Kohleschicht auch die Abbrandrate geringer. Die ermittelte Abbrandrate des modifizierten Buchenholzes lag mit 0,65 mm/min deutlich unter der des herkömmlichen Buchenholzes (0,80 mm/min).



(a) Modifiziertes Buchenholz nach Versuch



(a) Herkömmliches Buchenholz nach Versuch



(b) Schnitt durch modifiziertes Buchenholz



(c) Schnitt durch herkömmliches Buchenholz

Abbildung 5 Darstellung der Kohleschicht nach Versuch. (a) und (b) zeigen die Probekörper unmittelbar nach dem Ablöschen. Die Bilder (c) und (d) zeigen die Ansicht nach Schnitt durch den Probekörper, die strichlierte Linie visualisiert die Abbrandgrenze.

#### 4. Schlussfolgerung

Ziel des Verbundvorhabens ist die Entwicklung von Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz, um die Ausweitung des stofflichen Nutzungspotentials nachhaltig bewirtschafteter Laubwälder zu gewährleisten. Das Modifizierungsverfahren mit Polyethylenglykol ist notwendig, um die Dimensionsstabilität des Buchenholzes zu erhöhen. Modifiziertes Buchenholz ist bezüglich der Brennbarkeit wie herkömmliches Buchen- oder Fichtenholz als normalentflammbar einzustufen. Die Holzmodifizierung hat einen signifikanten Einfluss auf die Struktur der Kohleschicht. Dadurch ist die Abbrandrate des modifizierten Buchenholzes geringer, was sich positiv auf die Feuerwiderstandsfähigkeit auswirkt. Damit bestehen aus brandschutztechnischer Sicht keine Bedenken, die grundsätzlich gegen eine Zulassung des neuartigen Baustoffes sprechen.

#### Fördernachweis

Die Projektergebnisse stammen aus dem vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über den Projektträger Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderte Vorhaben „Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz“, durchgeführt von der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (Prof. Dr. Bertil Burian, Prof. Dr. Marcus Müller, Sabrina Puttmann M.Sc., Lukas Müller B.Sc.) und der Hochschule Magdeburg-Stendal (Prof. Dr.-Ing. Björn Kampmeier, Robert Westphal M.Sc.). Die Autoren bedanken sich bei allen Beteiligten für die gute Zusammenarbeit.

## Quellen

- Bosshard, H. H. (1974). *Holzkunde—Mikroskopie und Makroskopie des Holzes* (Bd. 1). Birkhäuser Basel.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). (2021). *Waldbericht der Bundesregierung 2021*. Referat 513 - Nationale Waldpolitik, Jagd, Kompetenzzentrum Wald und Holz.
- Bundesregierung. (2008). *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel—Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen*.
- Burian, B., Müller, M., Puttmann, S., & Müller, L. (2020). *Endbericht zum Vorhaben „Verwendung von schwachem Laubholz für die Produktion von Brettsperrholz“* (FKZ 22003715). Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- DIN 4102-4 (2016) *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*. Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 13501-1 (2010) *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten*; Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 13823 (2010) *Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten— Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen*. Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 11925-2 (2020) *Prüfungen zum Brandverhalten- Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung- Teil 2: Einzelflammentest (ISO 11925-2:2020)*. Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 1995-1-2 (2010) *Eurocode 5: Bemessungen und Konstruktion von Holzbauten— Teil 1-2: Allgemeine Regeln— Tragwerksbemessung für den Brandfall*. Beuth Verlag GmbH.
- Franke, S., Vogel, M., Lehmann, M., & Sauser, F. (2014). *Mechanische Eigenschaften von Buchen-Brettsperrholz—Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz in Buche* (Schlussbericht P.006711-10-77DL-01\_PB-01). Berner Fachhochschule Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur.
- ISO 5660-1 (2015) *Prüfungen zum Brandverhalten von Baustoffen—Wärmefreisetzungs-, Rauchentwicklungs- und Masseverlustrate— Teil 1: Wärmefreisetzungsrates (Cone Calorimeter-Verfahren) und Rauchentwicklungsrate (dynamische Messung)*. ISO copyright office.
- Torno, S., Jentsch, A., & Lattke, F. (2017). *Konstruktive Bauprodukte aus europäischen Laubhölzern* (spezial). Informationsverein Holz e. V.
- United Nations (Hrsg.). (2014). *The value of forests: Payments for ecosystem services in a green economy*. United Nations.