



- Untersuchungen zu mechanischen Eigenschaften von thermisch behandeltem Holz -

Projektportrait

In diesem Forschungsprojekt werden die holztechnologischen und holzbiologischen Eigenschaften von thermisch modifiziertem Holz untersucht. Die Behandlung des Holzes erfolgte beim Projektpartner Ets. Röthlisberger SA in Glovelier (Schweiz) in einer Pilotanlage des dänischen Anlagenherstellers "WTT-Wood Treatment Technology". Das WTT-Verfahren gehört zu den Feuchte-Wärme-Druck-Verfahren

Die Untersuchung der Holzeigenschaften erfolgt in den Laboren des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft sowie des Instituts für Forstbotanik und Baumphysiologie der Universität Freiburg. Die Versuche gliedern sich in einen holztechnologischen und einen holzbiologischen Teil. In der ersten Versuchsphase wurden Kennwerte zum Quell- und Schwindverhalten, dem Sorptionsverhalten, der Dimensionsstabilität sowie zu den Festigkeitseigenschaften der Holzarten Buche, Esche, Eiche, Fichte, Kiefer und Tanne ermittelt. Im Anschluss daran werden in der zweiten Versuchsphase holzbiologische Versuche zur Ermittlung der Resistenz der thermisch behandelten Hölzer gegenüber Holzzerstörenden Pilzen durchgeführt.

Mechanische Eigenschaften

Im Zuge der thermischen Behandlung von Holz findet eine Veränderung der Holzstruktur statt. Dies kann zur Reduzierung verschiedener Festigkeitseigenschaften führen. Das Ausmaß der Reduzierung der verschiedenen Festigkeitseigenschaften ist - neben der Holzart - abhängig von der Intensität der Behandlung. Folgende drei Versuchsvarianten wurden untersucht:

- Unbehandeltes, getrocknetes Holz
- Bei 160°C behandeltes Holz
- Bei 180°C behandeltes Holz

Um den Grad der Veränderung der Festigkeitseigenschaften der behandelten Hölzer beurteilen zu können, wurden Untersuchungen zum Masseverlust, zur Brinell-Härte, Biegefestigkeit und Biege-E-Modul sowie zur Bruchschlagarbeit durchgeführt. Die Ergebnisse der thermisch behandelten Hölzer wurden zum Vergleich den Festigkeiten unbehandelter Proben gegenübergestellt.

Versuchsbeschreibung

Die Ausgangsbretter wurden gemäß DIN 350-1 aus drei Stämmen, jeweils aus dem Splint- und Kernbereich gewonnen. Jedes Brett wurde nach der technischen Trocknung auf 10 bis 12% entsprechend der drei Behandlungsvarianten in drei Teile von etwa 120cm Länge aufgetrennt. Anschließend erfolgte die thermische Behandlung. Die Untersuchungen der Festigkeitseigenschaften wurden an im Normklima konditionierten fehlerfreien Normproben gemäß der in Tabelle 1 aufgeführten Normen durchgeführt.

Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen zur Festigkeit mit der jeweiligen Norm sowie Abmaße und minimal verwendeten Prüfkörperanzahl (Prüfpunkte) je Behandlungsvariante

Versuch	Norm	Abmaße	Anzahl
Dichte	DIN 52182	50x20x20mm	12
Brinell-Härte	DIN 1534	35x100x50mm	29
Biegefestigkeit	DIN 52186	20x20x360mm	8
E-Modul	DIN 52186	20x20x360mm	8
Bruchschlagarbeit	DIN 52189	20x20x300mm	12

Die Ermittlung der Brinell-Härte sowie der Biegefestigkeit und des Biege-E-Modul erfolgte auf einer Prüfmaschine der Firma Zwick. Die Brinell-Härte wurde auf den Hirnflächen abweichend von der Norm nicht über den Durchmesser des Abdrucks, sondern über die Eindringtiefe der Stahlkugel ermittelt (Abbildung 1). Die Bruchschlagarbeit wurde mit einem Pendelschlagwerk der Firma Hahn und Kolb geprüft.

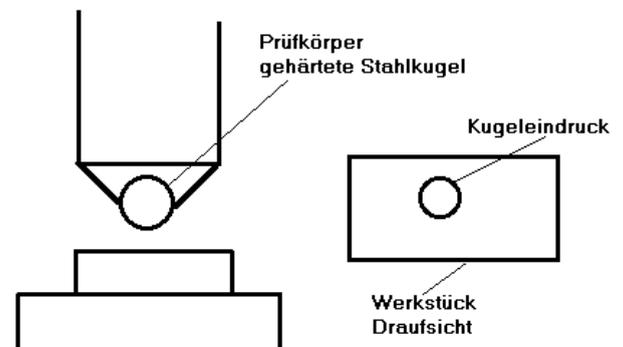


Abbildung 1: Ermittlung der Brinell-Härte über die Eindringtiefe der Stahlkugel in die Probe.



Ergebnisse und Diskussion

Im Zuge der hydrothermischen Behandlung kommt es zu einem partiellen Abbau von Holzsubstanz, aber auch zur Bildung neuer Verbindungen. Hiervon betroffen ist nach bisherigem Erkenntnisstand vor allem die Hemizellulose. Der Abbau findet je nach Holzart unterschiedlich stark statt. Auf Grund der dadurch verringerten Zahl von frei verfügbaren Hydroxylgruppen, nimmt behandeltes Holz bei gleicher Umgebungsfeuchte weniger Feuchtigkeit auf. Substanzabbau und ein verändertes Sorptionsverhalten beeinflussen die Festigkeitseigenschaften und führen zu einer verringerten Dichte des behandelten Holzes.

Aufgrund starker Rissbildungen beim behandelten Eichenholz konnten aus diesem Holz für diese Prüfungen keine Prüfkörper gewonnen werden. Es wurde daher Eichenholz verwendet, welches nur bei 160°C behandelt worden ist, von welchem jedoch die Herkunft (Anzahl der Stämme und Entnahmebereich – Kern- oder Splintholz) nicht genau bekannt ist.

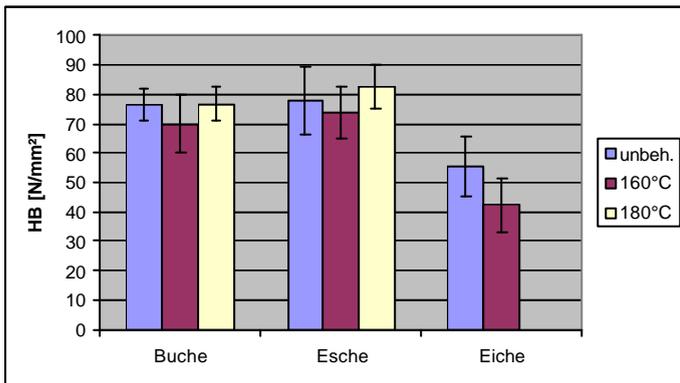


Abbildung 2: Mittelwerte und Standardabweichung der Brinell-Härte für die untersuchten Temperaturvarianten der Holzarten Buche, Esche und Eiche

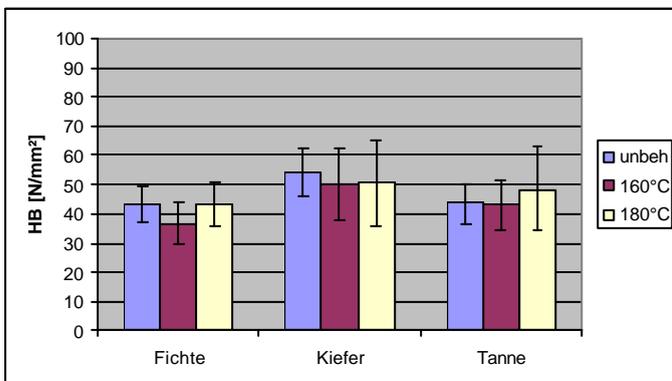


Abbildung 3: Mittelwerte und Standardabweichung für die Brinell-Härte der verschiedenen Temperaturvarianten für die Holzarten Fichte, Kiefer und Tanne

Veränderungen der Masse und Dichte

Die Höhe des Masseverlusts infolge hydrothermischer Behandlung ist von der Holzart abhängig. Bis auf Tanne wurde bei den Laubhölzern ein etwas höherer Substanzabbau festgestellt. Als Grund wird hierfür in der Literatur der nach Holzart unterschiedliche Anteil der Hauptbestandteile Zellulose Hemizellulose und Lignin angegeben. Die Darrdichte der thermisch behandelten Hölzer ist dem Masseverlust entsprechend gegenüber der Kontrollvariante verringert. Die Normal-Rohdichte (konditioniert bei 20°C und 65% Luftfeuchte) verringert sich zusätzlich durch die reduzierte Feuchteaufnahme des behandelten Holzes. Die Einzelheiten zur Veränderungen der Massen und Dichten sind der nachfolgenden Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Dichte im absolut trockenen Zustand (Darrdichte) und bei Lagerung im Normalklima (Normal-Rohdichte) und Masseverluste der verschiedenen Temperaturvarianten für alle Holzarten

Baumart	Behandlung	Darrdichte [kg/m³]	Rohdichte [kg/m³]	Masseverlust (Darrgewichte) [%]
Buche	unbeh.	704	730	
	160°C	652	670	5
	180°C	618	630	8
Esche	unbeh.	665	690	
	160°C	631	648	4
	180°C	602	619	7
Eiche	unbeh.	639	712	
	160°C	575	600	15
	180°C	540	560	17
Fichte	unbeh.	430	453	
	160°C	420	436	1
	180°C	423	433	0
Kiefer	unbeh.	536	562	
	160°C	516	539	2
	180°C	519	533	1
Tanne	unbeh.	426	449	
	160°C	383	397	9
	180°C	380	391	9

Brinell-Härte

Generell ist bei allen Holzarten nach einer zunächst stattfindenden Reduktion bei einer Behandlungstemperatur von 160°C ein erneuter Anstieg der Härte - bei einer Behandlungstemperatur von 180°C - zu erkennen (Abbildungen 2 und 3). Bei Buche, Esche und Tanne weist die Temperaturvariante 180°C sogar leicht höhere Werte als das unbehandelte Holz auf. Am stärksten ist der Rückgang mit 14 N/mm² bzw. 28% beim Eichenholz.

Biegefestigkeit und E-Modul

Die Ergebnisse zeigen für alle Holzarten eine deutliche Reduktion der Biegefestigkeit durch die thermi-



sche Behandlung. Am stärksten ist der Rückgang bei Fichte und Buche. Dort verringert sich die Biegefestigkeit um jeweils ca. 37% (bei einer Behandlungstemperatur von 160°C). Den geringsten Rückgang weist Eiche auf (8%). Bei Buche, Fichte und Kiefer zeigt sich bei höherer Temperatur (180°C) – im Vergleich zur 160°C Variante – ein geringfügiger, im Bereich der Streuung liegender, Anstieg der Biegefestigkeit. Bei Esche und Tanne dagegen verringert sich die Biegefestigkeit mit zunehmender Temperatur weiter (Abbildungen 4 und 5).

Die Ergebnisse zur Ermittlung des statischen E-Moduls zeigen keine signifikanten Veränderungen. Buche und Tanne weisen jeweils einen leichten Anstieg des statischen E-Moduls mit der Behandlung auf. Esche dagegen weist einen entgegen gesetzten Trend auf – das statische E-Modul nimmt mit der Behandlung leicht ab. Bei Fichte und Kiefer ist nach einem zunächst leichten Abfall des E-Moduls bei der Behandlungstemperatur von 160°C ein erneuter

leichter Anstieg des E-Moduls bei der 180°C-Variante zu erkennen. Die Werte der 180°C-Variante legen dabei sogar leicht über denen des Ausgangswertes des unbehandelten Holzes. Eiche weist ebenfalls nur einen leichten Rückgang beim E-Modul auf. Für alle Baumarten sind die Veränderungen des E-Moduls sehr gering (Abbildungen 6 und 7).

Bruchschlagarbeit

Wie schon bei der Biegefestigkeit dargestellt, reduziert sich auch die Bruchschlagarbeit infolge der thermischen Behandlung. Bei Buche und Esche ist bei höherer Temperatur ein weiterer deutlicher Rückgang in der Bruchschlagarbeit zu erkennen. Bei 160°C liegt der Rückgang der Bruchschlagarbeit bei Buche bei 39%, bei 180°C bei 55%. Bei Esche sind es 24% und 59%. Bei Eiche liegt der Rückgang der Bruchschlagarbeit bei 160°C bei etwa ca. 25%. Bei Fichte zeigt sich nach einem zunächst deutlichen Rückgang bei 160°C anschließend bei 180°C ein

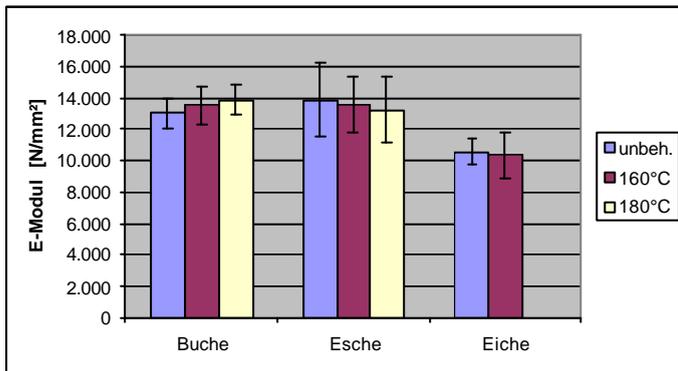


Abbildung 4: Mittelwerte für das statische E-Modul der verschiedenen Temperaturvarianten der Holzarten Buche, Esche und Eiche

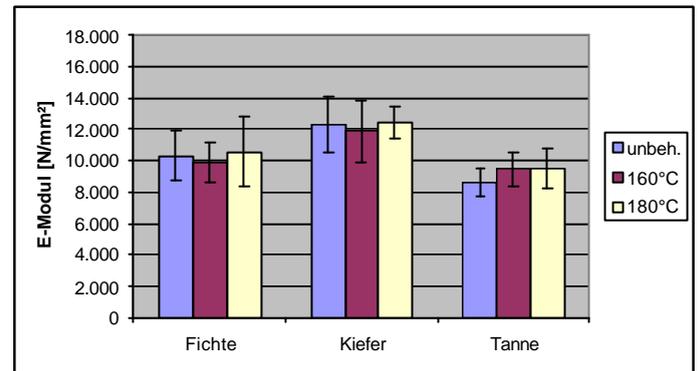


Abbildung 5: Mittelwerte für das statische E-Modul der verschiedenen Temperaturvarianten für die Holzarten Fichte, Kiefer und Tanne

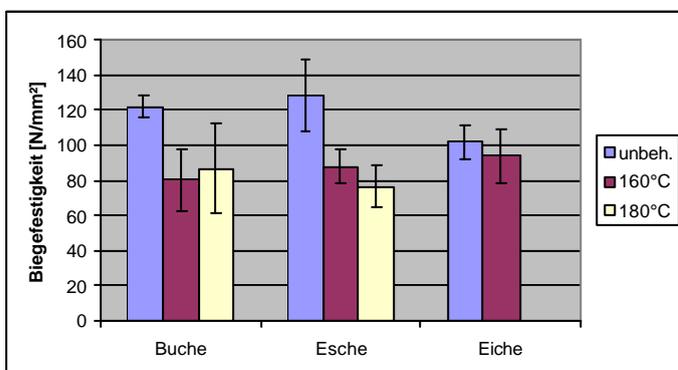


Abbildung 6: Mittelwerte für die Biegefestigkeit der verschiedenen Temperaturvarianten der Holzarten Buche, Esche und Eiche

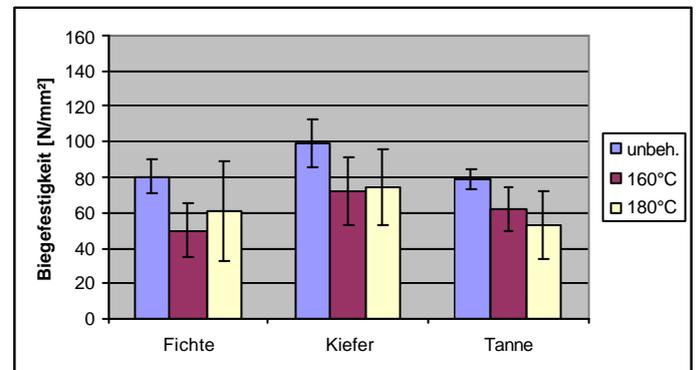


Abbildung 7: Mittelwerte für die Biegefestigkeit der verschiedenen Temperaturvarianten für die Holzarten Fichte, Kiefer und Tanne



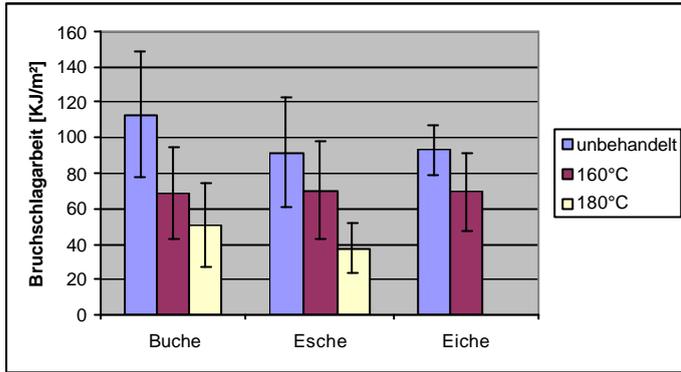


Abbildung 8: Mittelwerte für die Bruchschlagarbeit der verschiedenen Temperaturvarianten der Holzarten Buche, Esche und Eiche

Wert, der auf dem Niveau des unbehandelten Holzes liegt. Kiefer und Tanne weisen ebenfalls eine Verringerung der Bruchschlagarbeit auf, die aber mit zunehmender Temperatur sich kaum verändert, die Werte von 160°C und 180°C liegen auf etwa gleichem Niveau (Abbildungen 8 und 9).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Wie bereits in zahlreichen Publikationen zu anderen thermischen Modifikationsverfahren, wurde auch beim dem hier untersuchten Feuchte-Wärme-Druck-Verfahren eine holzartenabhängige Reduktion einiger Festigkeitseigenschaften festgestellt. Die überwiegend geringfügige Reduktion der Brinell-Härte kann zum einen auf die reduzierte Holzfeuchte der behandelten Hölzer zurückzuführen sein, da die Festigkeit von Holz mit abnehmender Holzfeuchte zunimmt. Zum anderen wird über eine Zunahme kristalliner Strukturen der Zellulose bei höherer Behandlungstemperatur berichtet, welche für eine Steigerung der Oberflächenhärte verantwortlich sein könnte.

Die Ergebnisse zum statischen E-Modul und zur Biegefestigkeit spiegeln die Ergebnisse der aus der Literatur (zu anderen Verfahren der thermischen Modifizierung) bekannten Resultate wider. Die Elastizität wird durch die thermische Behandlung kaum, die mechanischen Brucheigenschaften jedoch deutlich beeinflusst. Dabei zeigen die Laubhölzer relativ eine stärkere Abnahme der Biegefestigkeit und Bruchschlagarbeit als die Nadelhölzer. Die absoluten Festigkeiten der untersuchten Laubhölzer liegen allerdings immer noch über dem Niveau der hydrothermisch behandelten Nadelholzproben und überwiegend auch höher als die unbehandelten Nadelholzproben.

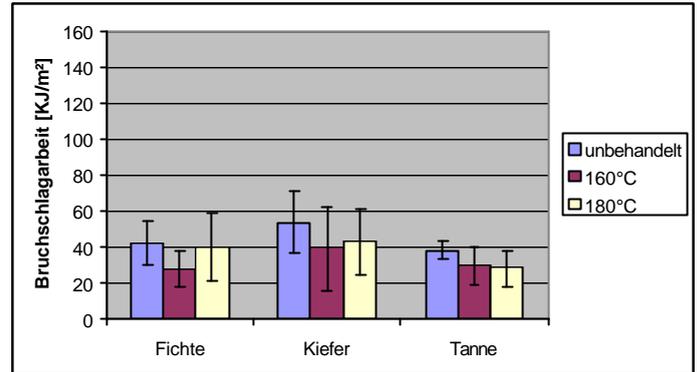


Abbildung 9: Mittelwerte für die Bruchschlagarbeit der verschiedenen Temperaturvarianten für die Holzarten Fichte, Kiefer und Tanne

Aus den vorgestellten Ergebnissen zur Festigkeit hydrothermisch behandelten Holzes wird deutlich, dass die in den vorhergegangenen Teilberichten vorgestellten Verbesserungen der Dimensionsstabilität und des Sorptionsverhaltens mit einem Festigkeitsverlust einhergehen. Die vorliegenden Ergebnisse basieren auf fehlerfreien Normproben und sind daher nicht ohne weiteres auf größere Querschnitte übertragbar. So kann thermisch behandeltes Holz in Bauteilgröße je nach Qualität des verwendeten Ausgangsmaterials vermehrte Rissbildung aufweisen. Eine fachkundige Vorsortierung ist unbedingt erforderlich, um eine zufrieden stellende Qualität beim Produkt zu erzielen. Thermisch behandeltes Holz sollte auf Basis des derzeitigen Behandlungsverfahrens nicht in Tragwerkskonstruktionen verwendet werden.



Abbildung 10: Die Elastizität verändert sich im Gegensatz zu den Festigkeitseigenschaften nach thermischer Behandlung kaum.