

Dunkler und weniger quellend

# Thermisch vergütetes Laubholz

Die Holzmodifizierung ist in den letzten Jahren wichtiger geworden. Zu den angewandten Methoden gehören unter anderem die thermische Behandlung und das Dämpfen. Beide Verfahren verändern die Farbe des Holzes deutlich und werden heute auch zu diesem Zweck eingesetzt. Aber auch die übrigen Eigenschaften des Holzes verändern sich stark.<sup>1</sup>

Die Grundlagen der thermischen Vergütung wurden an und für sich schon vor Jahrzehnten entwickelt. Erste Arbeiten wurden bereits 1937 von *Stamm* in den USA durchgeführt. In den 70er-Jahren des

F. Bächle, P. Niemz<sup>2</sup>

vergangenen Jahrhunderts kamen zahlreiche Forschungsarbeiten hinzu. So ist zum Beispiel *Burmester* (1973, 1975) zu nennen, der das FWD (Feuchte-Wärme-Druckverfahren) zur Dimensionsstabilisierung von Spanplatten entwickelte. Weitere Arbeiten führten unter anderem auch *Kollmann* und *Schneider* (1964) durch.

Bei der thermischen Behandlung mit Temperaturen zwischen 170 bis über 200 °C wird die Farbe des Holzes deutlich dunkler. Gleichgewichtsfeuchte und Quellung sinken und die mechanischen Eigenschaften verschlechtern sich, während die Pilzresistenz steigt. Je intensiver die Behandlung, umso dunkler wird das Holz.

Bei der thermischen Vergütung wird die Holzstruktur auf chemischer Ebene verändert, was je nach Behandlungsparametern verschieden stark ausgeprägte Änderungen der physikalischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften des Holzes bewirkt (*Burmester* 1970, *Kollmann* und *Schneider* 1964). Insbesondere wird der Anteil an Hemicellulose deutlich reduziert.

Die thermische Modifizierung wird heute sowohl zur Verbesserung der Pilzresistenz



Abbildung 1:  
Einsatz von  
thermisch  
modifiziertem  
Laubholz im  
Innenausbau  
(Firma Balz  
Holz AG).



Abbildung 2:  
Küche mit ther-  
misch behandel-  
tem Laubholz  
(Firma Spreewald-  
holz, Deutschland).

als auch zur Farbänderung eingesetzt, um die derzeit gefragten dunklen Farbtöne zu erzielen. Dunkle Farbtöne sind bei den heimischen Holzarten kaum vorhanden.

Haupteinsatzgebiete von thermisch behandeltem Laubholz sind Parkett und

Möbel. **Abbildungen 1 und 2** zeigen Beispiele für den Holzeinsatz.

Auch das Dämpfen wird eingesetzt um eine andere und homogenere Farbe zu erreichen. Bekanntes Beispiel ist gedämpfte Rotbuche.

<sup>1</sup> «Untersuchungen zu ausgewählten Eigenschaften von im Autoklav industriell thermisch vergütetem Laubholz.» Die Arbeiten wurden vom Schweizerischen Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung gefördert.

<sup>2</sup> Von F. Bächle, Forstingenieur ETH, und Prof. Dr. Peter Niemz, ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Arbeitsgruppe Holzphysik.

## Dämpfen und Wärmebehandlung

unterscheiden sich deutlich. Eine gute Übersicht zum Dämpfen geben *Riehl, Welling* und *Frühwald* (2003). Beim Dämpfen sinkt der Elastizitätsmodul des Holzes mit steigendem Dampfdruck und steigender Dämpftemperatur (*Kollmann* 1955). Bei starkem Dämpfen nimmt die Zähigkeit (Bruchschlagarbeit) deutlich stärker ab als die Druckfestigkeit (*Kollmann* 1955). Auch *Gonet* (1973) berichtet, dass sich die Rohdichte, Druckfestigkeit und statische Biegefestigkeit unabhängig von der Art der Vorbehandlung gegenüber unbehandeltem Holz nicht wesentlich verändern.

Das Dämpfen kann in üblichen Anlagen zur Furnierherstellung erfolgen, aber auch in Autoklaven mit Überdruck (*Riehl, Welling* und *Frühwald* 2003, *Deliski* 2003).

Nachfolgend wird über die Eigenschaften von industriell in einem Autoklav unter Einwirkung von Wärme und Druck (*Giebler*, 1981) wärmebehandeltem Holz berichtet. Dabei werden wesentliche physikalische und mechanische Eigenschaften dargestellt.

## Versuchsergebnisse

**Tabelle 1** zeigt eine Zusammenstellung der Messergebnisse der mechanischen Prüfungen.

**Rohdichte:** Die Dichte nimmt mit steigender Intensität der Behandlung tendenziell ab (**Tab. 1**). Dies ist auf die thermische Zersetzung des Holzes zurückzuführen, aber auch auf die reduzierte Gleichgewichtsfeuchte. In einzelnen Fällen haben wir leicht höhere Dichten bei intensiver behandeltem Holz gemessen; dies dürfte jedoch auf natürliche Dichte-

schwankungen des unbehandelten Holzes zurückzuführen sein.

**E-Modul und Biegefestigkeit:** Beim Biege-E-Modul nehmen die Werte für Ahorn und Buche ab, für die Esche jedoch zu. Der Verlauf von «unbehandelt – Stufe 2 – Stufe 3» ist aber nicht immer gleichmäßig. Die Biegefestigkeit nimmt bei intensiverer Behandlung deutlich ab. Lediglich bei der Esche ist bei der Behandlungsstufe 2 kein wesentlicher Festigkeitsverlust zu verzeichnen. Das Bruchbild wird mit zunehmender Behandlungsintensität deutlich spröder.

**Brinell-Härte:** Bei Belastung in radialer Richtung wurden leicht höhere Werte erzielt als in tangentialer Richtung. Die Brinell-Härte nimmt in beiden Belastungsrichtungen bei zunehmender Behandlungsstärke ab. Eine Ausnahme bildet Esche Stufe 2. Diese Ausnahmen sind aber auf Unterschiede in der Dichte zurückzuführen, mit der die Härte korreliert.

### Sorptionsverhalten und Quellung:

**Abbildung 3** zeigt die Ergebnisse. Es zeigen sich deutliche Unterschiede im Sorptionsverhalten und in der Quellung zwischen den einzelnen Behandlungsstufen. Mit zunehmender Behandlungsintensität sinken Gleichgewichtsfeuchte und Quellung. Diese Unterschiede sind deutlicher ausgeprägt als bei den mechanischen Eigenschaften. Die Holzfeuchte wird durch die Wärmebehandlung um bis zu ca. 50% verringert. Die Quellung in tangentialer und radialer Richtung geht im Vergleich zum unbehandelten Holz um bis zu 60% zurück (vgl. **Tab. 2**). Das anisotrope Verhalten der Quellung bleibt aber auch nach der thermischen Behandlung bestehen.

**pH-Wert:** Durch die Behandlung sinkt der pH-Wert. Eine klare Tendenz der Behandlungsintensität ist nicht erkennbar.

**Farbänderung:** Bei zunehmender Behandlungsstärke werden die Proben deutlich dunkler. Bei Vorliegen eines fakulta-

### Was wurde untersucht, und wie?

Es wurde industriell wärmebehandeltes Holz der *Firma Balz Holz AG* in Langnau i. E. untersucht. Geprüft wurde unbehandeltes sowie in zwei Stufen behandeltes Holz. Mit zunehmender Zahl (0 = unbehandelt) steigt die Intensität der Behandlung. Dies spiegelt sich auch im deutlich dunkleren Farbton der Behandlungsstufe III gegenüber Stufe II wider. **Abbildungen 3 und 4** zeigen Beispiele. Geprüft wurden Ahorn, Buche und Esche.

Bei Ahorn stand nur behandeltes Holz zur Verfügung. Wegen der industriellen Behandlung konnte nur unbehandeltes Holz der Gesamtcharge zum Vergleich verwendet werden. Da jeweils mehrere Kubikmeter Holz gleichzeitig behandelt werden mussten, ist eine gewisse natürliche Variabilität der Dichte und der Materialeigenschaften der Gesamtcharge zu berücksichtigen. Bei Laborversuchen kann man dies durch Behandlung nebeneinander liegender Prüfkörper ausgleichen, nicht aber bei Industrieversuchen. Dadurch treten gewisse Schwankungen auf, die bei Laborversuchen nicht vorhanden sind.

**Behandlungsmethodik:** Das Holz wurde industriell nach der von *Giebler* (1981) beschriebenen Methode im Autoklav in Stickstoffatmosphäre wärmebehandelt. Dabei wurde unbehandeltes Holz und in zwei Stufen mit unterschiedlicher Intensität (Stufe 2 und 3) behandeltes Holz geprüft. Die Behandlungsintensität steigt mit der Behandlungsstufe an. Die Behandlungsstufen unterscheiden sich in den Prozess-Parametern Umgebungsdruck, Restsauerstoffgehalt, Temperatur und Zeitdauer. Gleichzeitig wurden aus den jeweiligen Holz-Chargen auch unbehandelte Bretter als Referenzproben geprüft.

**Untersuchungsmethoden:** Die Messungen erfolgten überwiegend an Biegestäben nach DIN 52186 mit den Abmessungen 20 x 20 x 400 mm (radial x tangential x längs). Die Proben wurden bis zum Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte im Normalklima (20°C/65% relative Luftfeuchte) klimatisiert. An Proben im Format DIN A4 wurde zudem der Farbausgleich von rotkernigem Buchen- und braunkernigem Eschenholz geprüft. Dabei sollte geprüft werden, inwieweit eine Farbgleichheit durch die Wärmebehandlung erreicht wird.

Folgende Eigenschaften wurden geprüft:

- Normalrohndichte;
- Gleichgewichtsfeuchte und Quellung bei 20°C und Variation der relativen Luftfeuchte im Klimaschrank bei 35%, 50%, 65%, 80% und 93%;
- Biege-E-Modul und Biegefestigkeit, Bruchdehnung;
- Brinell-Härte. Messung mittels Universalhärtemesskopf der Firma *Zwick* über Bestimmung der Eindringtiefe der Kugel; die Härteprüfung nach *Brinell* erfolgte sowohl auf die Radial- als auch Tangentialfläche; Prüflast 1000N, Messung nach Entlastung;
- pH-Wert. Messung nach der von *Roffael* und *Kossatz* (1981) beschriebenen Methode;
- Wärmeleitzahl: mittels Gerät *Kemtherm QTM-D3* der Firma *Kyto Electronic*.

| Material/<br>Behandlung | Quellung<br>tangential | Quellung<br>radial |
|-------------------------|------------------------|--------------------|
| Ahorn Stufe 2           | 3,7%                   | 2,1%               |
| Ahorn Stufe 3           | 3,1%                   | 2,1%               |
| Buche unbeh.            | 9,5%                   | 4,4%               |
| Buche Stufe 2           | 6,4%                   | 2,9%               |
| Buche Stufe 3           | 5,7%                   | 2,6%               |
| Esche Stufe 2           | 6,2%                   | 3,2%               |
| Esche Stufe 3           | 3,8%                   | 1,5%               |

Tabelle 2: Quellung der Laubhölzer in tangentialer und radialer Richtung bei 20°C und 93% relativer Luftfeuchte.

| Holzart           | Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> ) | Holzfeuchte (%) | Biegefestigkeit (N/mm <sup>2</sup> ) | Bruchdehnung (%) | Biege-Modul (N/mm <sup>2</sup> ) | Brinell-Härte HbE (N/mm <sup>2</sup> )<br>Druckrichtung tangential | Brinell-Härte HbE (N/mm <sup>2</sup> )<br>Druckrichtung radial |
|-------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|--|--|
| Ahorn Stufe 2     | 0,561                          | 6,2             | 95,3                                 | 0,9              | 12009                            | 22,4   | 30,4   |
| Ahorn Stufe 3     | 0,564                          | 5,5             | 46,7                                 | 0,45             | 10059                            | 17,5   | 25,1   |
| Buche unbehandelt | 0,738                          | 10,9            | 132,8                                | 2,07             | 13140                            | 39,3   | 42,4   |
| Buche Stufe 2     | 0,692                          | 9,1             | 76,7                                 | 0,78             | 11092                            | 29,5   | 34,6   |
| Buche Stufe 3     | 0,656                          | 8,7             | 53,8                                 | 0,51             | 11776                            | 16,6   | 20,5   |
| Esche unbehandelt | 0,633                          | 10,3            | 97,6                                 | 1,68             | 9503                             | 33,2   | 36,9   |
| Esche Stufe 2     | 0,659                          | 8,1             | 96,5                                 | 0,9              | 12002                            | 36,7   | 33,4   |
| Esche Stufe 3     | 0,56                           | 5,9             | 44                                   | 0,44             | 10313                            | 20   | 24,1   |

Tabelle 1: Zusammenstellung der mechanischen Kennwerte (Mittelwerte).

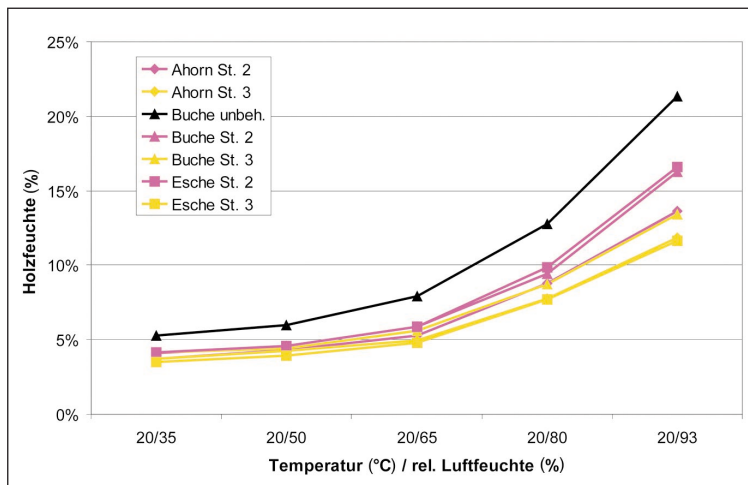


Abbildung 3: Holzfeuchten der untersuchten Laubhölzer.

| Holzart       | Dichte (g/cm <sup>3</sup> ) | Wärmeleit-zahl (W/mK) |
|---------------|-----------------------------|-----------------------|
| Buche unbeh.  | 0,703                       | 0,163                 |
| Buche Stufe 2 | 0,655                       | 0,155                 |
| Buche Stufe 3 | 0,623                       | 0,136                 |
| Esche unbeh.  | 0,689                       | 0,146                 |
| Esche Stufe 2 | 0,663                       | 0,141                 |
| Esche Stufe 3 | 0,591                       | 0,127                 |

Tabelle 3: Wärmeleit-zahl (W/mK) für Buche und Esche.

auf die durch die Wärmebehandlung hervorgerufene Reduzierung von Rohdichte und Holzfeuchte zurückzuführen.

tiven Farbkerns bei Buche (Rotkern) oder Esche (Braunkern) werden die Farbdifferenzen durch die Wärmebehandlung beseitigt. Die bei der Behandlung in Sauerstoffatmosphäre von Oelhafen, Niemz und Hurst (2006) festgestellte Bildung eines hellen Streifens in der Übergangzone zum Farbkern trat bei Behandlung in Stickstoff-

atmosphäre nicht auf (Abb. 4 und 5). Die erzielte Farbänderung ist jedoch nicht UV stabil (Oelhafen, Niemz und Hurst, 2006).

**Wärmeleitfähigkeit:** Tabelle 3 zeigt für Buche und Esche den Einfluss der thermischen Behandlung auf die Wärmeleitfähigkeit. Durch die Wärmebehandlung sinkt die Wärmeleit-zahl ab. Dies ist

## Diskussion

Durch die Wärmebehandlung kommt es zu deutlichen Eigenschaftsänderungen. Die Farbe wird mit zunehmender Behandlungsintensität dunkler, vorhandene Unterschiede im Farbkern bei Buche und Esche gleichen sich an. Dies führt zu einer



Abbildung 4: Buche mit Rotkern. Links unbehandelt, Mitte Stufe 2, rechts Stufe 3.



Abbildung 5: Esche mit Braunkern. Links unbehandelt, Mitte Stufe 2, rechts Stufe 3.

erheblichen Wertschöpfung. Die Gleichgewichtsfeuchte und die Quellung sinken mit steigender Behandlungsintensität auf bis zur Hälfte des unbehandelten Holzes. Der E-Modus sinkt leicht, die Festigkeit stark. Die Tendenz war bezüglich des E-Moduls und der Festigkeit nicht immer einheitlich. Hier kam es offensichtlich teilweise zu einer Überlagerung der Materialeigenschaften des unbehandelten Holzes. Es konnten nicht immer im Stamm exakt nebeneinanderliegende Proben verwendet werden. Der pH-Wert des Holzes sinkt durch die Wärmebehandlung ab. Letzteres korreliert mit dem Rückgang der Gleichgewichtsfeuchte.

### Zitierte und weiterführende Literatur

- Autorenkollektiv: Holzlexikon. DRW Verlag, Stuttgart, 4. Auflage, 2003.
- Autorenkollektiv: Lignovisionen Bd. 3., Modifiziertes Holz. Institut für Holzforschung, Universität für Bodenkultur, Wien, 2002.
- M. Bariska (1979): Die Methoden der Dimensionsstabilisierung bei Vollholzprodukten. Ihr derzeitiger Stand und Einsatzmöglichkeiten. *Holzforschung und Holzverwertung*, S. 28–32.
- A. Burmester (1973): Einfluss einer Wärme-Druckbehandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. *Holzforschung und Holzverwertung*, S. 237–243.
- A. Burmester (1973): Einfluss der Wärme-Druckbehandlung des halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 31, S. 237–243.
- A. Burmester (1975): Zur Dimensionsstabilisierung von Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 33, S. 333–335.
- A. Burmester (1970): Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit. Grundlagen und Vergütungsverfahren. BAM-Bericht Nr. 4. Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin.
- E. Giebler (1981): Dimensionsstabilisierung von Holz durch Feuchte/Wärme/Druck-Behandlung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 418, S. 87–94.
- N. Deliski (2003): Modeling and technologies for steaming wood materials in autoclaves. Habilitation, Forstwirtschaftliche Hochschule, Sofia.
- K. Junghans; Niemz, P. (2006): Behandlungsintensität bestimmt Thermoholzqualität. *Holz-Zentralblatt*, 14, S. 412.
- F. Kollmann; A. Schneider (1963): Über das Sorptionsverhalten von wärmebehandelten Hölzern. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 21, S. 77–85.
- F. Kollmann; A. Schneider (1964): Untersuchungen über den Einfluss von Wärmebehandlungen im Temperaturbereich bis 200° C auf wichtige physikalische und physikalisch-chemische Eigenschaften des Holzes.
- H. Militz: Thermal treatment of wood: European Processes and their Background, IRG/WP 02-40241, Cardiff, Wales, 2002.
- M. Oelhafen; P. Niemz; A. Hurst (2006): Untersuchungen zur thermischen Vergütung von Esche und Rotbuche mit dem Ziel der Farbänderung. Teil 1: Vorversuche, physikalische Eigenschaften. *Holztechnologie*, 47:2, S. 25–31.
- M. Oelhafen; P. Niemz; A. Hurst (2006): Untersuchungen zur thermischen Vergütung von Esche und Rotbuche mit dem Ziel der Farbänderung. Teil 2: Optische Eigenschaften. *Holztechnologie*, 47:3, S. 20–24.
- M. Patzelt, R. Stingl (2001): Thermische Modifizierung – Holzschutz ohne Chemie? *Holz-Zentralblatt*, 135, S. 169.
- R. Popper; P. Niemz; G. Eberle (2005): Untersuchungen zum Sorptions- und Quellungsverhalten von thermisch behandeltem Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 63, S. 135–148.
- T. Riehl; J. Welling; A. Frühwald (2002): Druckdämpfen von Schnittholz. Bericht Nr. 2002/01. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg.
- A. Schneider (1971): Untersuchungen über den Einfluss von Wärmebehandlung im Temperaturbereich von 100 bis 200° C auf Elastizitätsmodul, Druckfestigkeit und Bruchschlagarbeit von Kiefern-Splint und Buchenholz. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 29, S. 431–440.
- A. Schneider; H. Rusche (1973): Sorptionsverhalten von Buchen- und Fichtenholz nach Wärmeeinwirkung in Luft und im Vakuum. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 31, S. 313–319.
- A. J. Stamm; H. K. Burr; A. A. Kline (1946): Heat stabilized wood (Staywood). Rep. Nr. 1621, Forst Prod. Laboratory, Madison.
- A. J. Stamm; I. A. Hansen (1937): Minimizing wood shrinkage and swelling: Effect of heating in various gases. *Ind. Eng. Chem.* 29, S. 831–833.
- A. Teischinger; R. Stingl (2002): Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte, Lignovisionen Band 3. Institut für Holzforschung und VHÖ, Universität für Bodenkultur Wien.