

Zur Dimensionsstabilisierung von Holz*

Von Arno Burmester

Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem

Zusammenfassung

Das von Natur aus geringe Quell- und Schwindvermögen von Teakholz beruht vor allem auf dem niedrigen Gehalt an hydrolysierbarer Hemicellulose. Auch die Wärmebehandlung halbtrockenen Holzes unter Druck führt zu einer ähnlich großen Verminderung des Hemicellulosegehaltes und dadurch zur Verbesserung der Formbeständigkeit des Holzes. Die meisten bekannten Stabilisierungsverfahren beruhen auf der teilweisen Verdrängung des Sorptionswassers durch eingelagerte Stoffe. Die verschiedenartigen Vergütungsverfahren bewirken nur geringfügige grundsätzliche Unterschiede in der Stabilisierung in den einzelnen Teilbereichen der relativen Luftfeuchtigkeit, weil für die Restquellung der verbleibende Hohlraum in der Zellwand unabhängig von der Art seiner Entstehung von ausschlaggebender Bedeutung ist.

The dimensional stabilization of wood

Summary

The low swelling and shrinking power of teakwood is mainly due to the low content of hydrolysable hemicellulose. Heat-treatments of semi-dry wood also result in a correspondingly high reduction in the content of hemicellulose and thus in an improvement of the dimensional stability of wood. Most known methods of stabilization are based on the partial displacement of sorptional water by embedded substances. The various methods of improvement effect only minor fundamental differences in the stabilization in the individual sub-sections of relative humidity of air, because the remaining cellwall opening, irrespective of the kind of its development, is of decisive importance with regard to residual swelling.

Einleitung

Im natürlichen Zustand, also im lebenden Baum, befindet sich Holz ständig im gequollenen Zustand. Das Schwinden setzt erst ein, wenn nach Unterbrechung des Saftstromes die Austrocknung erfolgt und der Wassergehalt der Zellwände vermindert wird. Die damit verbundenen und für die Holzbearbeitung sich nachteilig auswirkenden Erscheinungen des Schwindens, Reißens und Verwerfens sowie die ständigen mit der Schwankung der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit verbundenen Dimensionsänderungen des Holzes sind so allgemein bekannt, daß nicht näher darauf eingegangen werden soll.

Es ist schon seit langem bekannt, daß das Quellungs- und Schwindvermögen der einzelnen Holzarten unterschiedlich groß ist. Keylwerth [1962] ermittelte den Einfluß der Rohdichte auf die Quellung und fand eine allgemeingültige Beziehung zwischen diesen beiden Größen. Zugleich wurde aber dargelegt, daß sehr große Abwei-

chungen einzelner Holzarten von dieser Gesetzmäßigkeit vorkommen, d. h., daß außer der Rohdichte noch andere Faktoren wesentlichen Einfluß ausüben.

Formbeständigkeit von Teakholz

Vorbilder aus der Natur haben schon in vielen Fällen zur Lösung technischer Probleme gedient. Eine Holzart mit ausgezeichneten Eigenschaften ist Teak (*Tectona grandis* L. f.). Das Teakholz ist bekannt wegen seines guten Stehvermögens; man hat bisher jedoch nur Vermutungen über die Ursache der verhältnismäßig geringen Quellung dieses Holzes angestellt, die bei einer Rohdichte von $\rho_0 = 0,63 \text{ g/cm}^3$ für $\alpha_t = 0,6\%$, $\alpha_r = 3,0\%$ und $\alpha_t = 5,8\%$ beträgt.

Die von Burmester und Wille durchgeführten chemischen und physikalischen Untersuchungen [Burmester, Wille 1975a] führten zu dem Ergebnis, daß Teak im Vergleich zu anderen Laubböhlern wie Eiche und Buche mit nur 6,4% einen ungewöhnlich niedrigen Gehalt an hydrolysierbarer Hemicellulose hat (Tab. 1). Auch im Holz der Robinie (*Robinia pseudoacacia*) wurden lediglich 8,2% davon festgestellt. Die Quellung von Robinienholz mit einer Rohdichte von $\rho_0 = 0,614 \text{ g/cm}^3$ wurde mit $\alpha_r = 2,8\%$ und $\alpha_t = 4,7\%$ bestimmt. Die genannten Verfasser sind daher der Ansicht, daß der niedrige Gehalt an hydrolysierbarer Hemicellulose der ausschlaggebende Grund für das günstige Quellungsverhalten von Teak- und Robinienholz ist. Diese Hypothese wird durch weitere Versuchsergebnisse gestützt, die bei Vergütungsbehandlungen von Eichenholz mit Wärme gewonnen werden konnten.

Stabilisierung von Holz durch Wärmebehandlung unter Druck

Der am Beispiel des Teakholzes von der Natur aufgezeigte Weg zur Dimensionsstabilisierung von Holz beruht auf einer Verminderung der am stärksten Wasserdampf sorbierenden Holzbestandteile, die zugleich am leichtesten durch Hydrolyse abbaubar sind. Entsprechende Versuche mit Einwirkung von Schwefelsäure auf Holz zeigten jedoch, daß allein die Entfernung dieser chemischen Komponente keine Verminderung, sondern sogar eine Ver-

* Die Untersuchung wurde durch ERP-Mittel des Landes Berlin gefördert.

Vortrag anlässlich der 9. Dreiländer-Holztagung in Berlin 1975

Tabelle 1. Analytik verschiedener Laubböhlern

Holzart	Lignin (NaClO ₂)	α -Cellulose nach Kürschner	Hydrolysierbare Hemicellulose	Hemicellulosefraktion			Summe der Hemicellulose	Summe der Extrakte
				A	B	C/D		
Buche	24,3	49,6	22,8	20,2	6,0	5,0	31,2	3,7
Eiche	25,8	38,2	19,5	16,7	4,0	0,6	21,3	15,3
Eiche/FWD	29,5	38,6	6,4	3,4	0,1	2,7	6,2	19,6
Teak	25,3	52,3	5,6	13,4	4,6	2,8	20,8	13,0
Robinie			8,2					

größerung der Quellung zur Folge hat, weil die nach Herauslösen der Hemicellulose in der Zellwand neu entstandenen Hohlräume vom Wasser eingenommen werden und damit zusätzlich zu Quellung und Schwindung beitragen (Bild 1). Erst die Schaffung neuer Bindungen zwischen den chemischen Zellwandbestandteilen, die eine Verringerung der Hohlräume bewirken, verursacht eine

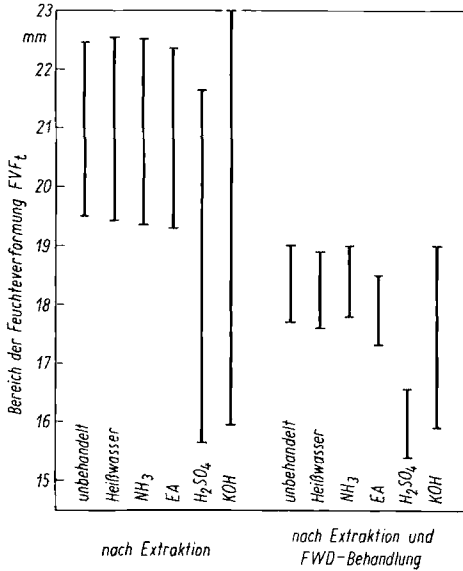


Bild 1. Feuchteverformung von verschiedenartig behandeltem Buchenholz

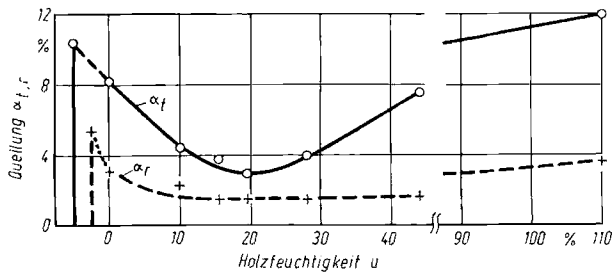


Bild 2. Quellung von Eichen-Kernholz nach FWD-Behandlung bei verschiedener Holzfeuchtigkeit

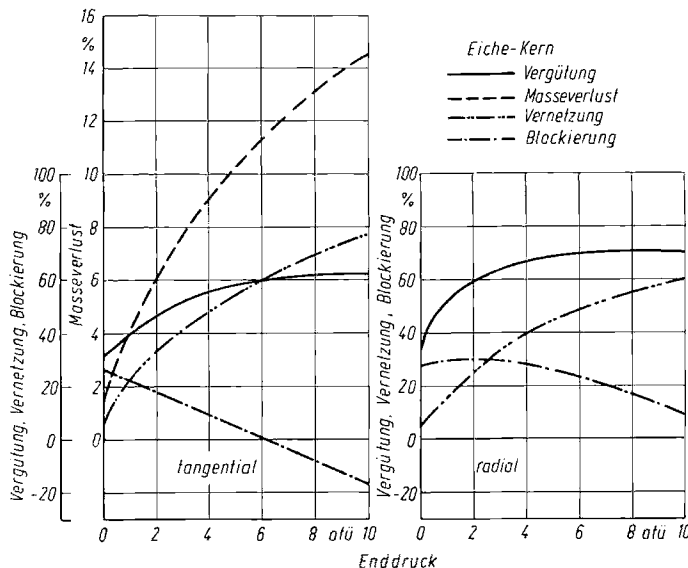


Bild 3. Druckeinfluß auf die FWD-Vergütung von Eichen-Kernholz

starke Verminderung der Quellung. Dies wird durch eine Wärmebehandlung halbtrockenen Holzes im geschlossenen System unter Druckeinwirkung bei Temperaturen unter 200 °C erreicht.

Eine vorherige Tränkung des Holzes mit Säure, die sich nachteilig auf die Festigkeit auswirkt, ist jedoch nicht erforderlich, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes zu Beginn der Wärmebehandlung im optimalen Bereich für eine milde Hydrolyse liegt. Bild 2 zeigt für Eichen-Kernholz, daß hierfür der halbtrockene Zustand am günstigsten ist. Eine 15stündige Erwärmung bei 160 °C reduziert die Quellung um etwa 70% [Burmester 1973]. Die Beachtung des optimalen Druckes, der bei einer Temperatur von 160 °C bei mindestens 6 atü liegen soll, ermöglicht eine Verminderung der Behandlungsdauer auf 5 h, wie aus Bild 3 hervorgeht. Die Vergütung beruht auf den mit dem Masseverlust zusammenhängenden chemischen und morphologischen Änderungen in der Zellwand. Bei Temperaturen über 150 °C diffundieren die Abbauprodukte aus der Zellwand und bewirken eine Schrumpfung des Holzes im Darrzustand und in noch stärkerem Maße im Feuchtzustand. Daraus ergibt sich, daß die durch den Abbau von Hemicellulose und Diffusion ihrer Spaltprodukte in der Zellwand freiwerdenden Hohlräume wieder geschlossen werden, indem sich neue chemische Bindungen zwischen den verbleibenden Komponenten bilden. Burmester und Wille nehmen an, daß es sich bei diesen Vernetzungen um die Bildung von Halbacetalbrücken zwischen den Cellulosemolekülen handelt, wie sie von Back [1973] beschrieben worden sind.

Die chemische Analyse des wärme/druckbehandelten Holzes weist mit steigendem Vergütungsgrad vor allem einen wachsenden Rückgang des Gehaltes an hydrolysierbarer Hemicellulose auf, der die entsprechenden Werte für Teakholz erreicht und sogar noch unterschreitet. Damit ist die Bedeutung dieser Hemicellulosefraktion für die Quellung des Holzes erneut aufgezeigt. Das 15 Stunden lang bei 160 °C wärme/druckbehandelte Eichenholz quillt, wie aus Bild 4 zu entnehmen ist, noch weniger als Teakholz, da auch die gesamte Hemifraktion A stark reduziert ist.

Die Wärme/Druckbehandlung bewirkt also eine Veränderung des Holzes, die im Ergebnis zu einem weit-

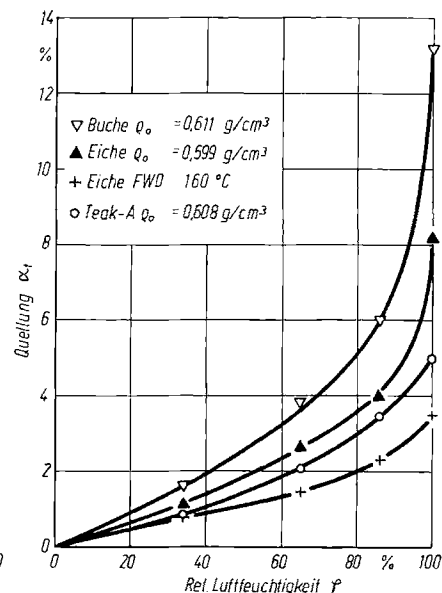


Bild 4. Quellung von Laubholz und von FWD-behandeltem Eichen-Kernholz

gehend hydrophobierten Material führt, das in der wesentlichen chemischen Zusammensetzung und im Quellungsverhalten dem von Natur aus formbeständigeren Teakholz sehr ähnelt.

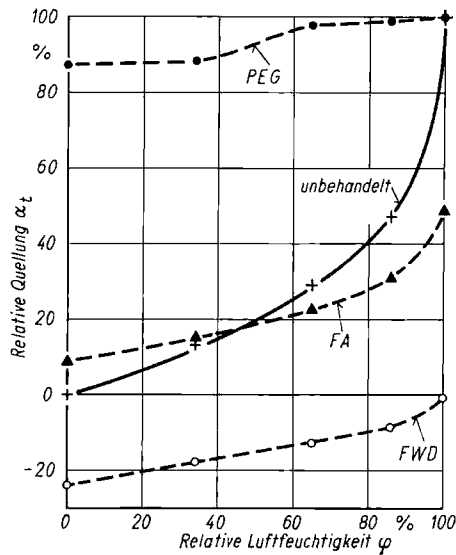


Bild 5. Veränderung des Quellungsbereiches durch verschiedene Vergütungsverfahren

Stabilisierung von tränkbarem Holz durch Füllen von Zellwandhohlräumen

Die meisten Stabilisierungsverfahren beruhen darauf, die vom Wasser in der Zellwand eingenommenen Hohlräume, deren Größe zwischen einigen und Hunderten von Å liegt, durch Stoffe der verschiedensten Art so weit wie möglich zu füllen, so daß das Holz im mehr oder weniger gequollenen Zustand verbleibt. Die damit erzielbare Quellungsänderung geht aus Bild 5 hervor. Am Beispiel des bekanntesten Produktes, Polyäthylenglykol, zeigt sich die allein auf Blockierung beruhende Wirkung einer physikalischen Füllung der Zellwandhohlräume. Im Gegensatz dazu steht die ausschließlich durch Vernetzung

erfolgende Stabilisierung der Wärme/Druck-Behandlung. Eine Mittelstellung nimmt die Vergütung mit Formaldehyd unter Wärmeeinwirkung ein, bei der sowohl Blockierung als auch Vernetzung auftreten.

Vergleich von Vergütungsverfahren

Eingehende Untersuchungen über das Ausmaß der Vergütung in den einzelnen Teilbereichen der relativen Luftfeuchtigkeit haben nur geringe grundsätzliche Unterschiede zwischen verschiedenen Vergütungsverfahren und -substanzen ergeben. Es ist also von nebensächlicher Bedeutung, ob die Stabilisierung durch Vernetzung oder Blockierung erfolgt. Entscheidend für die verbleibende Restquellung ist das verbleibende Hohlräumensystem. Dies konnte für eine Stabilisierung mit Polyäthylenglykol, Styrol, Methylmethacrylat, Diisocyanat, Tannin, Formaldehyd oder Wärme/Druck-Einwirkung festgestellt werden [Burmester, Wille 1975b]. Auch ob chemische Bindungen zur Holzsubstanz eintreten oder nicht, ist nicht ausschlaggebend.

Die Auswahl des für den jeweiligen Zweck bestgeeigneten Vergütungsverfahrens bestimmen daher andere Gesichtspunkte, von denen Kosten, Möglichkeit der Eingliederung in den Fertigungsprozeß, Tränkfähigkeit des Holzes und Beeinflussung anderer Holzeigenschaften die wichtigsten sind.

Schrifttum

Back, E.L. 1973. Cellulose bei hohen Temperaturen: Selbstvernetzung, Glasumwandlung und Schmelzen unter Einwirkung von Laserstrahlen. *Das Papier* 27 (10A): 475—484
 Burmester, A. 1973. Einfluß einer Wärme/Druck-Behandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. *Holz Roh-Werkstoff* 31 (6): 237—243
 Burmester, A., Wille, W.E. 1975a. Untersuchungen zur Formbeständigkeit von Teakholz. *Holz Roh-Werkstoff* 33 (4): 147—150
 Burmester, A., Wille, W.E. 1975b. Unveröffentlichte Versuchsergebnisse
 Keylwerth, R. 1962. Untersuchungen über freie und behinderte Quellung von Holz. 1. Mitt.: Freie Quellung. *Holz Roh-Werkstoff* 20 (7): 259—269