Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 125 (1974)

Heft: 6

Artikel: Die chemische Modifizierung des Holzes

Autor: Bariska, M. / Popper, R. / Strasser, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766229

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die chemische Modifizierung des Holzes[1]

Von *M. Bariska, R. Popper, Ch. Strasser,* Zürich 842.9 : 812.702

(Aus dem Institut für mikrotechnologische Holzforschung der ETH)

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Holzes sind keine konstanten Grössen, da sie ja eine Auswahl der genetisch offerierten Möglichkeiten darstellen, welche noch durch die Umwelteinwirkungen in diese oder jene Richtung betont werden können. Der Mensch berücksichtigte diese Variabilität der Holzeigenschaften, indem er die Bauelemente überdimensionierte oder grosse Toleranzen erlaubte, indem er jedes seiner Produkte mit grosser Sorgfalt bearbeitete, wie beispielsweise die Musikinstrumente. Ob eine Holzeigenschaft als gut oder mangelhaft taxiert wird, wird aufgrund utilitaristischer Überlegungen entschieden. Es wird von der praktischen Anwendung her beurteilt, ob eine dieser Eigenschaften überhaupt verbessert werden kann oder verbessert werden muss. Die Begriffe «vorteilhaft» und «mangelhaft» sind relativ; je nach Einsatz können beide auf die gleiche Holzeigenschaft angewendet werden. Zum Beispiel werden vom Holz gute Brenneigenschaften gefordert, wenn es zu Brennzwecken verwendet wird; sobald es sich aber um Holzkonstruktionen handelt, wird die Entflammbarkeit des Holzes als nachteilig beurteilt.

Ein besonderes Augenmerk wird sowohl in der Praxis als auch in der Forschung dem Wasseraufnahme- bzw. Wasserabgabevermögen gewidmet.

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Holzes variieren stark mit seiner Hygroskopizität. So vermindern sich die Festigkeitseigenschaften um durchschnittlich einen Drittel vom trockenen bis zum nassen Zustand; dabei quillt das Volumen um etwa 10 bis 20 Prozent, begleitet von einer Abnahme der Dichte, der Isoliereigenschaften und der natürlichen Dauerhaftigkeit usw. Betrachtet man denjenigen Bereich im Holz, in dem die Prozesse der Wasserbindung stattfinden, nämlich den molekularen Bereich, so ist es einleuchtend, dass durch eine Manipulation an den dem Wasser gegenüber aktiven Molekülstellen, das heisst an den sogenannten Sorptions-

[1] Vortrag, gehalten am 17. Dezember 1973 an der ETH Zürich im Rahmen der holzwirtschaftlichen Kolloquien.

stellen, zweierlei Effekte herbeigeführt werden können: erstens eine Herabsetzung und zweitens eine Steigerung von deren Hygroskopizität:

— Wenn die wassersorptiven Stellen im Holz chemisch in hydrophobe umgewandelt werden, wird das Holz nur noch begrenzt schwinden und quellen — das Holz ist demzufolge dimensionsstabiler geworden. Aber auch jene Eigenschaften, welche durch die Variation des Wassergehaltes bis anhin Änderungen erfuhren, bleiben nunmehr konstant.

— Wenn aber die wasseraktive, innere Fläche des Holzes erweitert wird, die Struktur des Holzes quasi aufgelockert und so dem Wasser besser zugänglich gemacht wird, steigt die Plastizität des Holzes merklich an. Als Resultat lässt sich das Holz zu Formen biegen, pressen und verarbeiten, zu denen es in natürlichem Zustand nicht gebracht werden kann.

— Auch eine dritte Möglichkeit scheint erwähnenswert zu sein, eine Art Kombination dieser beiden Verfahren, indem nach einer Lockerung der Holzsubstanz Stoffe hineingebracht werden, zum Beispiel Metalle, wodurch das Holz besondere neue Eigenschaften erhält.

Welche Möglichkeiten gibt es, Holz dimensionsstabil zu machen?

Es ist grundsätzlich dafür zu sorgen, dass dem Wasser der Zutritt ins Holzinnere verwehrt wird. Dies kann a) mit Oberflächenüberzug, b) durch Füllen der Hohlräume des Holzes mit wasserabweisenden Stoffen und c) durch Hydrophobisierung der Holzsubstanz erreicht werden.

a) Das Holz kann mit wasserabstossenden Anstrichen und Folien gegen Wasser geschützt werden. Diese Verfahren sind am billigsten und am einfachsten, haben aber den Nachteil, dass eine Verletzung der schützenden Schicht genügt, um den Holzkörper dem Wasser erneut zugänglich zu machen.

b) Die Tränkung des Holzes mit Salzen oder porenfüllenden, hydrophoben Stoffen wie Paraffin ist bereits eine wirksamere Massnahme, jedoch bedeutend teurer:

Die Anreicherung des Holzes mit Salzen drückt beispielsweise dessen Quellmasse auf rund die Hälfte herab. Das Salz diffundiert in die Zellwand und hindert das Wasser daran, den gleichen Raum einzunehmen. Der Nachteil dieses Verfahrens wird in der starken korrosiven Wirkung gesehen, wenn dieses Holz mit Metallen in Berührung kommt (1).

Die Paraffinhydrophobisierung scheint vor allem in der Spanplattenindustrie Fuss zu fassen, wo es keine technischen Schwierigkeiten bereitet, diesen Stoff der Leimflotte beizumengen, um so das Paraffin im Spankuchen möglichst gleichmässig zu verteilen. Dieses Verfahren kommt jedoch für Massivholz kaum in Frage (2).

Mehr Erfolg können Tränkungen mit wasserlöslichen Substanzen für sich buchen, die, nachdem sie in die Zellwand gelangt sind, in wasserunlösliche umgesetzt werden. Dabei fanden Phenol-Formaldehydharze eine kommerziell bedeutende Verwendung (Impreg). Bei einem Harzgehalt von 40 Pro-

zent wird das Quellmass um zwei Drittel vermindert; allerdings unter Festigkeitseinbussen, da durch die verwendeten Katalysatoren offensichtlich die Holzsubstanz selbst angegriffen wird (3).

Die erwähnten Behandlungen sind Beispiele für Mängel und Schwierigkeiten bei diesen Verfahren, da keines darauf abzielt, die Hydrophobisierung dort herbeizuführen, wo sie auch etwas nützen würde, nämlich an den hydrophilen Molekülstellen. Die in dieser Richtung angelaufenen Forschungsarbeiten sind zahlreich, sie haben jedoch noch nicht jenes Stadium erreicht, in dem ein Verfahren ökonomisch eingesetzt werden könnte.

Welches sind im Holz die Stellen, die Wasser temporär festhalten können?

Die Holzsubstanz enthält in ihrem Molekülgerüst zahlreiche Molekülgruppen, die Wassermoleküle mit elektrostatischen Anziehungskräften ansich binden können.

Bei der Wassersorption spielen die Hydroxyl-Gruppen wegen ihres überwiegenden Anteils unter den hydrophilen Gruppen die weitaus wichtigste Rolle. Kraft ihrer polaren Natur gehen sie mit dem eindringenden Wasser, aber auch untereinander, eine halbchemische Bindung ein, die sogenannte Wasserstoff-Brücke. Diese Bindung richtet in den Zellulosekristallen die Kettenmoleküle aus; durch diese Wasserstoff-Brücken werden auch chemisch nicht gleiche Stoffe wie die Hemizellulosen an den Zellulosen in der Zellwand oder die Pektinstoffe und die Zellulosen in der Mittelschicht aneinander befestigt. Diese Bindung ist es, welche dem Holz seine Druckfestigkeit quer zur Faser verleiht. Aber diese Bindung — eine sekundäre Valenzbindung — erlaubt der Holzsubstanz auch eine beschränkte Bewegungsfreiheit, indem die Wasserstoff-Brücken unter grösseren mechanischen Spannungen nachgeben, zerreissen, sich aber an anderen Stellen wieder ausbilden, weil sie ihre Polarität und so ihre Aktivität nicht einbüssen. Auf diese Art werden Belastungen im Holzkörper verteilt.

Es ist anzunehmen, dass eine Umwandlung der OH-Gruppen in andere chemische Verbindungen nicht ohne Auswirkung auf die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Holzes bleiben wird. Das Wesen der Methode, das Holz durch die Hydrophobisierung seiner sorptiven Stellen dimensional zu stabilisieren, besteht darin, dass die hydrophilen OH-Gruppen durch Veresterung in weniger wassersorptive Gruppen umgewandelt werden. Aus der Literatur sind bereits eine Reihe Veresterungsverfahren bekannt, die darauf abzielten, die Dimensionsstabilität des Holzes zu erhöhen. Es seien hier die Azetylierung, Butylierung, Crotonylierung, Allylierung, Crotylierung und Phthalierung erwähnt (4, 5 und andere).

Was die Dimensionsstabilität des Holzes betrifft, zeigt sich die Azetylierung am wirksamsten mit einem quellungshemmenden Effekt bis zu 80 Prozent. Durch die Azetylierung gewinnt das Holz auch an Formstabilität. Zu-

dem wurde eine bessere Beständigkeit gegenüber Chemikalien beobachtet und eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Mikroorganismen und Termiten. Nachteilig wirkt bei diesem Verfahren, dass das Azetanhydrid vermutlich auch mit dem Hydratwasser, das im Holz auch nach einer sorgfältigen Trocknung zurückbleibt, in Reaktion tritt. Dadurch verlangsamt sich der Behandlungsprozess, wobei vom Azetanhydrid nur etwa die Hälfte mit dem Holz reagieren wird. Diese technologische Schwierigkeit verteuert das Verfahren beträchtlich.

Die theoretischen Aspekte der Azylierung, das heisst der Azetylierung und Phthalierung, wurden ins Forschungsprogramm unseres Institutes aufgenommen, um Kenntnisse über den Mechanismus dieser Art Dimensionsstabilisierung zu sammeln. Insbesondere war es von Interesse, die beiden Veresterungsverfahren zu vergleichen, denn man hoffte dabei auch grundsätzliche Erkenntnisse zu gewinnen, zum Beispiel über die Beteiligung der alkoholischen bzw. phenolischen OH-Gruppen an der Wasseraufnahme vom Holz oder über die Affinität und Wasserzugänglichkeit der sorptiven Molekülgruppen vor und nach der Azylierung. Hier einige Resultate dieser Untersuchungen (6):

Bild 1 veranschaulicht die Wasserdampf-Aufnahmefähigkeit des unbehandelten und des azylierten Tannenholzes. Die Proben, dünne Holzschnitte, stammen aus den Frühholzzonen der Jahrringe. Auf der Vertikalachse sind die Wassergehalte der Proben (in Gewichtsprozenten bezogen auf den Trokkenzustand) aufgetragen. Auf der Horizontalachse sind die Sorptionsdampfdrücke (p) als Bruchteil des Sättigungsdampfdruckes (p_0) angegeben. Die Kurven repräsentieren Gleichgewichtszustände zwischen Wassergehalt der Proben und der jeweiligen Umgebungsfeuchtigkeit bei Raumtemperatur (20 °C). Das Bild zeigt, dass eine Verminderung des Wasseraufnahmevermögens vom Holz durch die Phthalierung erst bei höheren Wassergehalten messbar wird, während die Azetylierung im ganzen hygroskopischen Bereich hemmend wirkt. Messungen an Proben aus den Spätholzzonen ergaben nur quantitative Unterschiede, indem Spätholz sich als etwas wasserfreundlicher erwies als Frühholz. Der Mechanismus der beiden Veresterungsverfahren ist ziemlich verschieden:

Die Veresterung mit Azetanhydrid in Anwesenheit von Pyridin als Katalysator verläuft nach folgender Gleichung

$$R—OH + (CH_3CO)_2O \rightarrow CH_3COOR + CH_3COOH$$

R bedeutet einen Polysaccharid-, Lignin- oder einen anderen organischen Rest im Holz. Das Pyridin übernimmt bei dieser Reaktion nicht nur die Funktion des Katalysators, sondern auch jene des Quellmittels, insbesondere für Lignin (7). Die Quellung ermöglicht einen guten Zugang der Veresterungslösung zu den Hydroxylgruppen des Holzes.

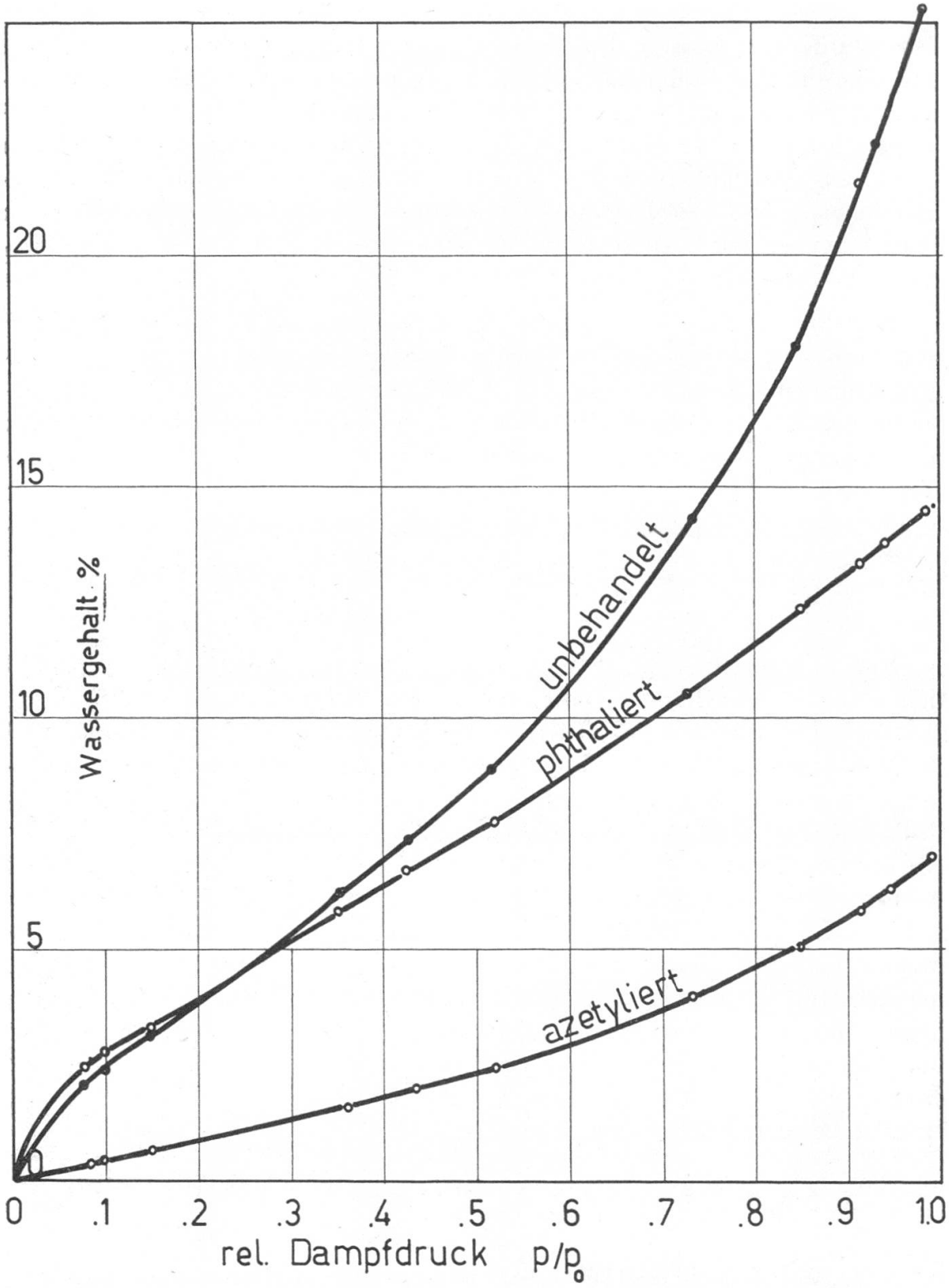

Abbildung 1. Wasserdampfaufnahme von unbehandelten, phthalierten bzw. azetylierten Tannenfrühholz-Proben in Abhängigkeit vom relativen Dampfdruck der Umgebung (bei T = 20 °C)

Bei der Azylierung der Holzpolyosen mit Phthalsäureanhydrid in Anwesenheit von Pyridin als Katalysator bildet sich ein dibasischer Polyosen-

phthalsäureester, in dem eine Carboxylgruppe unverestert bleibt. Die Reaktion verläuft nach folgender Gleichung:

$$R—OH + C_6H_4(CO)_2O \rightarrow RO \cdot CO \cdot C_6H_4 \cdot COOH$$

R kennzeichnet einen organischen Rest, der eine alkoholische Hydroxylgruppe trägt.

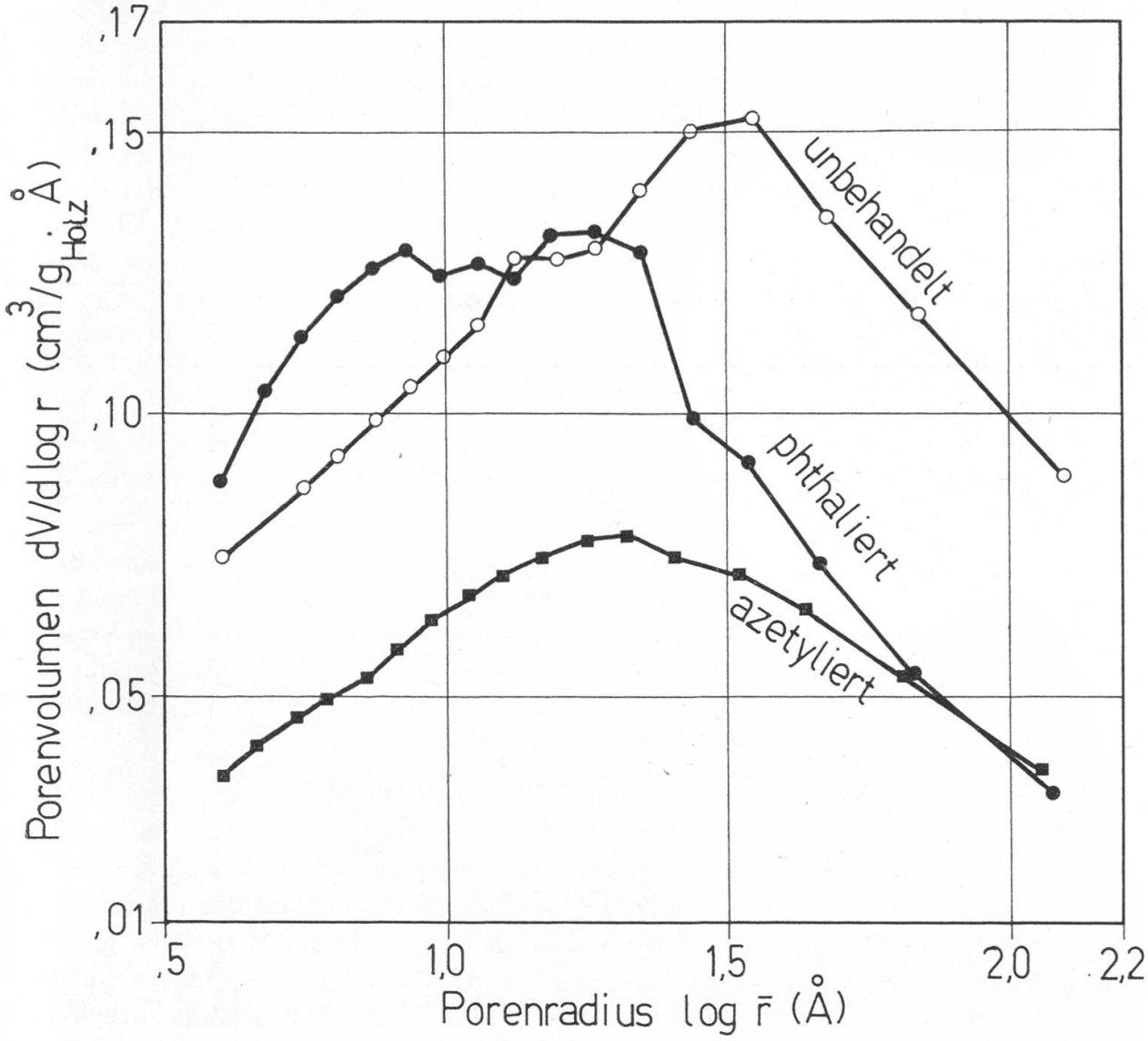

Abbildung 2. Häufigkeitsverteilung der Mikroporenradien in der Zellwandsubstanz von Tannenfrühholz-Proben in unbehandeltem, phthaliertem und azetyliertem Zustand.

Abb. 2 stellt eine rechnerische Verarbeitung der Resultate aus Abb. 1 dar. Es ist nämlich möglich, die Verteilung der Mikroporen im Holz anhand der gemessenen Sorptionslinien zu schätzen, indem das Volumen des jeweils sorbierten Wassers (Vertikalachse) über jene Mikroporen (Horizontalachse) auf-

gezeichnet wird, welche durch die Kapillarkondensation infolge der Dampfdruckänderung gerade gefüllt werden. Aus Bild 2 werden zweierlei Effekte der Azylierung deutlich: Während durch die Phthalierung die Hygroskopizität des Holzes anfänglich erhöht wird (vgl. Porenvolumen über die kleinsten Porenradien) — und zwar vermutlich durch die Einführung neuer Karboxylgruppen in das Holz durch die Behandlung —, wird sie bei der Azetylierung halbiert. Auf der anderen Seite wird durch die Linksverschiebung der Kurvenmaxima eine Verminderung des Porenvolumens angezeigt; die Kleinsthohlräume der Zellwandsubstanz werden von den hineingebrachten Molekülen, die im Vergleich zu Wasser erheblich grössere Molekülvolumen aufweisen, verstopft und hindern so die Wassermoleküle am Zutritt ins Innere der Holzsubstanz. Die Veresterung der wassersorptiven Stellen durch die Azetylierung wirkt sich auf folgende zwei Arten aus: der hydrophile Charakter des Holzes wird auf chemischem Wege geschwächt, zugleich wird aber die Holzsubstanz kompakter, indem ihr Hohlraumvolumen vermindert wird. Auf die Quellmasse der Tannenholzproben blieben diese Änderungen nicht ohne Folgen: Durch die Azetylierung ging die Quellmasse um rund 75 Prozent, durch die Phthalierung um 65 Prozent zurück. Diese Quellungshinderung verläuft mit dem Wassergehalt nicht linear; sie wird um so ausgeprägter, je mehr Feuchtigkeit das Holz enthält. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass für die Dimensionsstabilität des Holzes der Verstopfungseffekt ausschlaggebend ist.

Für zukünftige Arbeiten ergibt diese Einsicht neue Aspekte. Einerseits wird man weniger nach Möglichkeiten Ausschau halten, das aktive Wasserbindevermögen des Holzes chemisch zu reduzieren, anderseits wird man vermehrt nach Verfahren suchen, hydrophobe Stoffe in die Holzsubstanz hineinzubringen und dort zu fixieren, wobei nunmehr technologische und ökonomische Gesichtspunkte in den Vordergrund treten werden.

Wie ist es nun aber möglich, Holz zu plastifizieren?

Kehren wir zu den Betrachtungen über die Bindekräfte im Holz zurück. In der Axialrichtung des Stammes herrschen die primären Valenzbindungen vor, chemische Bindungen, welche für die grosse Zugfestigkeit des Holzes in dieser Richtung verantwortlich sind und welche dem Material zugleich gute elastische Eigenschaften verleihen. «Elastisch» bedeutet, dass Verformungen, verursacht durch eine äussere Kraft, nach der Entlastung restlos zurückgehen. Die Verzerrungen im Material sind reversibel.

In der Querrichtung des Holzes findet man hingegen eine beträchtliche Anzahl halbchemische Bindungen — die Wasserstoffbrücken — und physikalische Haltekräfte — zum Beispiel die elektrostatische Anziehung —, die unter mechanischer Belastung zu plastischer Verformung führen. «Plastisch» bedeutet, dass das Material bei äusserer Kräfteeinwirkung anfänglich eine elastische, also reversible Deformation erleidet, bei Erreichen einer bestimmten Spannungsgrösse, der sogenannten Fliessspannung, jedoch zu flies-

sen beginnt. Beim Nachlassen der Spannung wird nur der elastische Teil der Verformung wiedergewonnen. Der elastische Teil reicht so weit, wie die sekundären Bindungen im Holz der Belastung standhalten können. Werden diese auseinandergerissen, so gleiten die Makromoleküle der Holzsubstanz aneinander vorbei, es findet ein plastisches Fliessen statt, die Holzsubstanz kriecht. Nach Wegnahme der Last können sich die sekundären Bindungen an anderen Stellen der Holzsubstanz neu absättigen. Aufgrund der elastischen Reserven dieser neugebildeten Bindungen, erfolgt anschliessend eine Rückfederung des Materials. — Es ist dies freilich eine zu stark vereinfachte Darstellung der rheologischen Vorgänge im Holz, sollte aber nur herausstreichen, wie die Plastizität des Holzes ungefähr vorzustellen sei.

Es stellt sich die Frage, wie die plastische Komponente der rheologischen Eigenschaften des Holzes zuungunsten der elastischen erhöht werden kann. Bei einer zerstörungsfreien, dauernden Verformung muss sich im Holz nämlich ein plastisches Fliessen abgespielt haben. Nach der herkömmlichen Plastifiziermethode wird das Holz in Heissdampf gebracht. Der heisse Wasserdampf gibt der Holzsubstanz thermische Energie, wodurch die Makromoleküle in eine gesteigerte Schwingung geraten. Dadurch schwächen sich die Bindekräfte unter den Molekülen etwas ab. Hier und dort werden sogar die sekundären Bindungen temporär aufgebrochen, so dass eine plastische Deformation des Holzkörpers unter Krafteinwirkung vor sich gehen kann. Dabei wirken die energiereichen Wassermoleküle als molekulares Schmiermittel. Wohl stellt diese Plastifizierung eine saubere, bequeme Methode dar und genügt in vielen Fällen den Anforderungen der Praxis. Sie ist aber auch mit Nachteilen behaftet, unter denen vielleicht die mangelhafte Formstabilität der Werkstücke am meisten Probleme verursacht. Man suchte daher seit längerem nach einer Alternativmöglichkeit, Holz chemisch aufzuweichen. (Die Heissdampfplastifizierung ist auch eine chemische Methode.) So weiss man beispielsweise, dass das Holz in Alkalilaugen eine permanente Flexibilität erhält, indem die OH-Gruppen der Polysacchariden über gewisse Zwischenstufen und unter Wasseraustritt in Alkoholate übergeführt werden. Diese Gruppen sind nicht nur schwer wasserlöslich, sondern sie verhindern auch eine gegenseitige Verankerung, die in den Polysacchariden des Holzes in Form der Wasserstoff-Brücken normalerweise vorkommt. Dadurch behält das Holz seine erhöhte Plastizität. Das plastische Holz eignet sich jedoch kaum für eine praktische Verwendung, da es an Textilien und an der Haut Ätzungen und Schädigungen hervorruft.

Seit etwa 8 Jahren wird auch mit Ammoniak experimentiert, Holz zeitweilig aufzuweichen (8). Ammoniak (NH_3) und Wasser besitzen viele Ähnlichkeiten hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften. Beide weisen vergleichbare Molekülgrössen auf, beide sind ausgezeichnete wasserstoffbrükkenbildende Medien. Ammoniak weist aber wegen seines tiefen Siedepunktes (— 33 °C) bereits bei Raumtemperatur thermodynamische Aktivitäten auf,

die dem Wasser erst bei etwa 200 °C eigen sind. Auch durchdringt Ammoniak das Holz, geschätzt aufgrund von Sorptionsverläufen, um zwei Grössenordnungen schneller als Wasser. Diese Eigenschaften lassen den Gedanken aufkommen, dass sich die NH_3-Plastifizierung zu einer Konkurrenzmethode für die Heissdampfweichmachung auswachsen könnte. Es kann wohl festgestellt werden, dass in NH_3-Dampf tatsächlich bessere Biegeresultate erzielt wurden, dass die Werkstücke nach der Behandlung eine gute Formstabilität zeigen und dass sogar Holzarten mit Erfolg gebogen werden konnten, an denen die herkömmliche Methode scheiterte (9). Doch die technischen Schwierigkeiten überwogen bis jetzt: die kostspielige und umständliche Tränktechnik, der irritierende Geruch des Tränkmittels und die starke Verfärbung des Holzes. Trotzdem scheint diese Methode, wenn auch langsam, ihren Weg in die Praxis zu finden. In den Oststaaten existieren bereits Anlagen, die alle mit dem Prinzip arbeiten, Vollholz oder Halbfertigprodukte, wie Furniere, Späne usw., mit wässrigem Ammoniak zu tränken und anschliessend zu pressen. Diese Holzprodukte zeigen durchgehend erhöhte Festigkeitseigenschaften, die infolge des Pressvorgangs der Dichtezunahme proportional sind (10).

An unserem Institut wird dieses Thema ebenfalls behandelt. Wir versuchen einerseits, einige Einblicke in den Erweichungsmechanismus zu gewinnen, um herauszufinden, was von diesem Prozess erwartet werden kann. Auf der anderen Seite ist man bestrebt, mit einem Entwicklungsprogramm jene Arbeitsbedingungen zu definieren, unter welchen optimale Resultate erzielt werden können. So wird beispielsweise der Einfluss der Behandlungsdauer, der Holzdimension und des Wassergehaltes auf den Biegeerfolg untersucht. Wir suchen zudem nach der einfachsten Technik, wobei der Arbeitshygiene besonderes Augenmerk geschenkt wird.

Es sei hier einer unserer Versuche kurz beschrieben, der recht gute Informationen über den Erweichungsvorgang des Holzes im Ammoniak liefert: Wird in einem geschlossenen Raum, der mit Ammoniakdampf gefüllt ist, ein Holzstab zum Schwingen gebracht, so wird diese Schwingung mit der Zeit abklingen, und zwar um so schneller, je mehr Ammoniak ins Holz drang, das heisst je plastischer der Stab geworden ist. Auf Bild 3 ist die schwingende Bewegung der Stabspitze, aufgezeichnet in der Zeit, zu sehen. Auf der vertikalen Achse sind die Amplituden der Schwingung, auf der horizontalen die Zeit aufgezeichnet. Aus diesem Versuch kann sowohl auf die elastischen Eigenschaften des Stabes geschlossen werden, die sich in der Frequenz der Schwingung manifestierten, als auch auf die Plastizität des Stabes, die in der Dämpfung der Schwingung messbar wird.

Werden diese beiden Eigenschaften des Stabes in Abhängigkeit der im Messraum stufenweise erhöhten relativen Dampfdrücke von NH_3 festgehalten, so kann aus diesen Resultaten das Bild 4 konstruiert werden. Dieses Bild gibt brauchbare Hinweise für den praktischen Einsatz dieser Technik; wird

das Holz bei etwa zwei Dritteln des Sättigungsdruckes mit NH_3 getränkt, so sinkt der E-Modul auf die Hälfte des Ausgangswertes. Gleichzeitig erhöht sich die plastische Verformbarkeit des Holzes annähernd um eine Grössenordnung. Es handelt sich hier offensichtlich um eine jener Arbeitsbedingungen, bei der optimale Biegeresultate erwartet werden können.

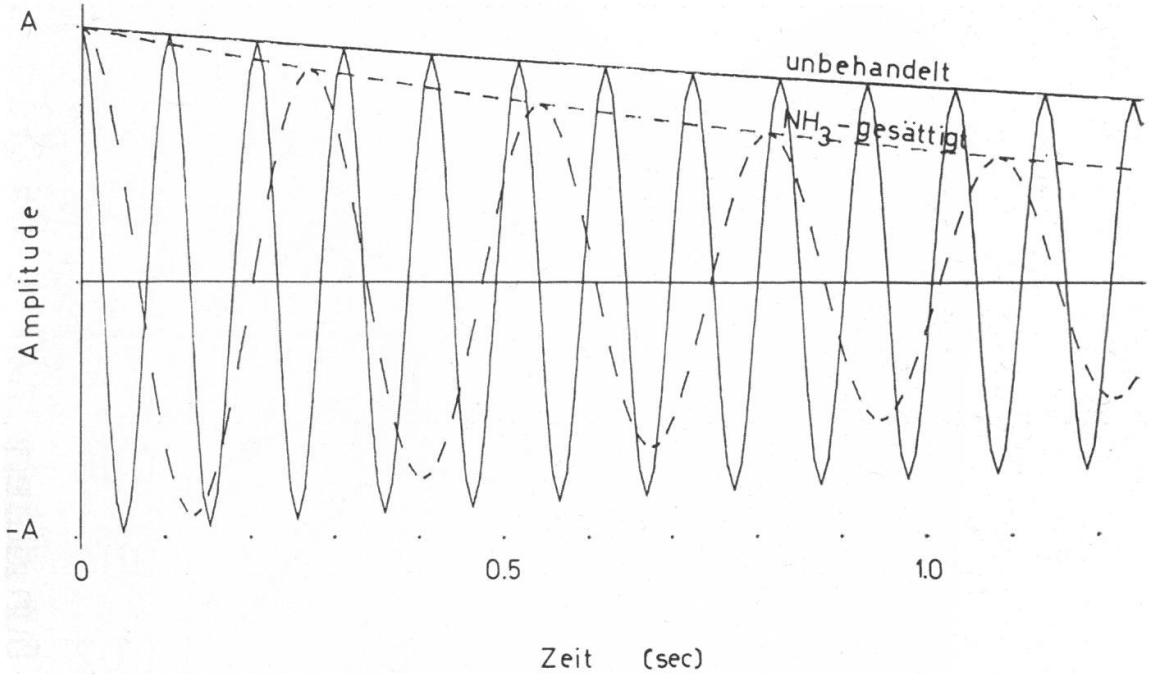

Abbildung 3. Schwingungsverlauf eines einseitig eingespannten Buchenstabes in unbehandeltem Zustand und nach der Sättigung mit Ammoniakdampf. (Vertikalachse in willkürlichem Massstab)

Trotz umsichtig geplanten Untersuchungen und trotz vorsichtiger Interpretation der Resultate läuft man Gefahr, Gründe und Erklärungen am falschen Ort zu suchen. So wurden in gebogenen Holzstücken, die mit dem blossen Auge beurteilt keine Biegefehler zeigten, unter dem Mikroskop eine Vielzahl von Mikrostauchlinien an den Faserzellen beobachtet (11). Diese Stauchlinien stellen kleine Zerstörungen dar, welche die mechanischen Eigenschaften des Holzes nur unwesentlich beeinträchtigen, eine Rückfederung des Holzes aber ausschliessen können. Die Formstabilität der Werkstücke muss daher nicht unbedingt mit den chemischen Auswirkungen des Tränkmittels in Zusammenhang stehen, sie dürfte unter anderem auch aus der partiellen Zerstörung der Holzstruktur resultieren.

Dimensionsstabilisierung und Plastifizierung — das sind zwei Themen der chemischen Modifizierung des Holzes, die an diesem Ort aus der Fülle weiterer Möglichkeiten herausgegriffen wurden. Eine chemische Modifizierung kann nämlich auch andere Ziele anvisieren als die genannten, so die Herabsetzung der Entflammbarkeit des Holzes, Verbesserung der Dauerhaf-

tigkeit, Erhöhung der Festigkeitseigenschaften usw. Jedes dieser Themen demonstriert eindrücklich, dass dabei nebst der Chemie auch andere Sparten der Wissenschaft, wie Biologie, Mechanik, Mathematik usw. gleichwertig engagiert sein müssen, um der komplexen Materie Holz gerecht zu werden.

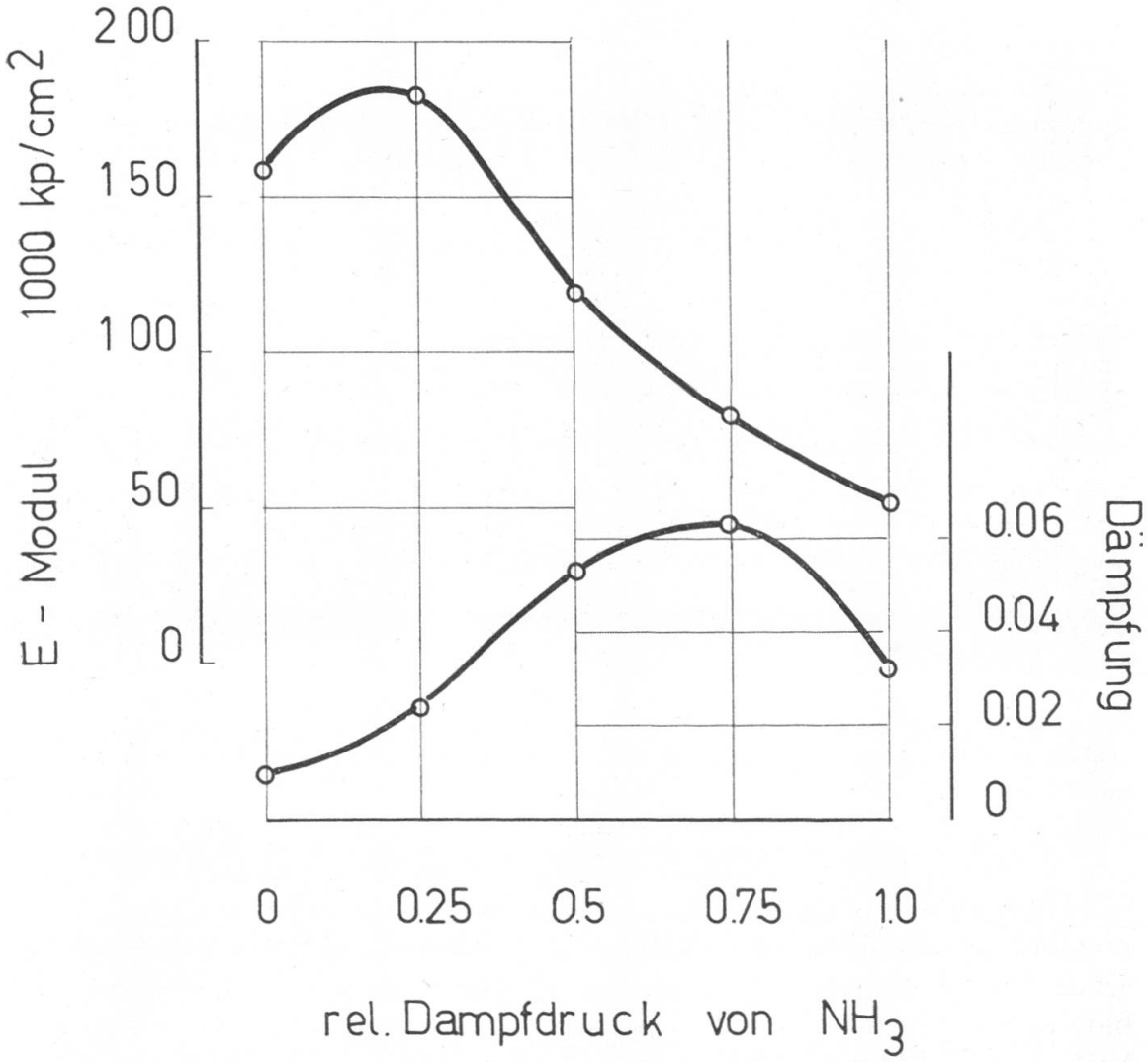

Abbildung 4. Einfluss des relativen Dampfdruckes von NH_3 auf den Elastizitätsmodul und auf die Schwingungsdämpfung eines einseitig eingespannten Buchenstabes

Résumé

Les modifications chimiques du bois

Le bois est un matériau hygroscopique. De l'état sec à l'état saturé, ses propriétés physiques et mécaniques dépendent de la teneur en eau du moment. Des essais sont faits dans le but de réduire cette dépendance du bois de la teneur en eau et de stabiliser ses propriétés; d'autre part, une ouverture accrue de la structure permet de plastifier ce matériau.

Il est fondamentalement possible, par différents procédés, d'empêcher le bois d'absorber de l'eau, par un traitement de la surface par exemple, ou par le remplissage des pores au moyen de matières hydrofuges, ou par un traitement chimique réduisant le nombre de cellules actives et diminuant l'hygrométricité de la matière. Le présent travail traite de quelques essais effectués à l'Institut de recherches sur le bois de l'EPFZ. Le remplissage des pores au moyen de matières hydrofuges a donné les meilleurs résultats.

L'ouverture de la structure, par contre, permet d'accéder à d'autres groupes hydrophiles, diminue l'élasticité et augmente la plasticité. Des essais personnels utilisant de l'ammoniaque comme agent de gonflement livrent quelques renseignements sur les conditions de plastification optimales. Lorsque la tension de vapeur oscille entre 0,66 et 0,75, le module d'élasticité à la flexion est à la moitié de sa valeur d'origine et la plasticité atteint un maximum. Traduction: *J.-P. Sorg*

Literaturverzeichnis

(1) *Bendtsen, B. A.:* U. S. Forest Service, Res. Paper FPL 60, May 1966

(2) Rundgespräch über «Hydrophobierung von Holz-Spanplatten». Holz als Roh- und Werkstoff 29 (1971) *12*, S. 447—448

(3) *Stamm, A. J., Seberg, R. M.:* U. S. Dept. Agr. FPL Mimeo, No. 1380 (1955)

(4) *Stamm, A. J., Tarkow, H.:* U. S. Patent No. 2, 417.995 (March 25, 1947)

(5) *Risi, J., Arsenan, D. F.:* For. Prod. J. 7 (1957), 8 (1958) 9, in Heften 6, 7, 8, 9

(6) *Popper, R., Bariska, M.:* Holz als Roh- und Werkstoff, 30 (1972), S. 289—294

(7) *Clermont, L. P., Bender, F.:* For. Prod. J. 5 (1957), S. 167—170

(8) *Schuerch, C.:* U. S. Patent No. 3, 282.313 (1966)

(9) *Bariska, M.:* Holzzentralblatt 95 (1969), S. 1309—1311

(10) *Berzinš, G. W., Rocens, K., Rumba, A.:* Holztechnologie 11 (1970), S. 48—52

(11) *Parham, R. A.:* Wood and Fiber 3 (1971), S. 22—34