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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 99 (1948)

Heft: 3

Artikel: Festigkeit und Verformung von Nadelholz bei Druck quer zur Faser

Autor: Frey-Wyssling, A. / Stüssi, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766379

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: 09.07.2025

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

Festigkeit und Verformung von Nadelholz bei Druck quer zur Faser

Von *A. Frey-Wyßling* und *F. Stüßi*, ETH, Zürich

1. Bei der Untersuchung der Festigkeiten und Verformungen von Holzprismen unter Druck mit verschiedenen Beanspruchungsrichtungen gegenüber der Faserrichtung (Versuchsanordnung Abb. 1) im Institut für Baustatik an der ETH zeigten sich im Verhalten von Nadelholz unter Druck quer zur Faser (Beanspruchungsebene senkrecht zur Stammaxe) einige grundsätzliche und charakteristische Unterschiede gegenüber Druckbeanspruchung in zur Stammaxe parallelen Ebenen.

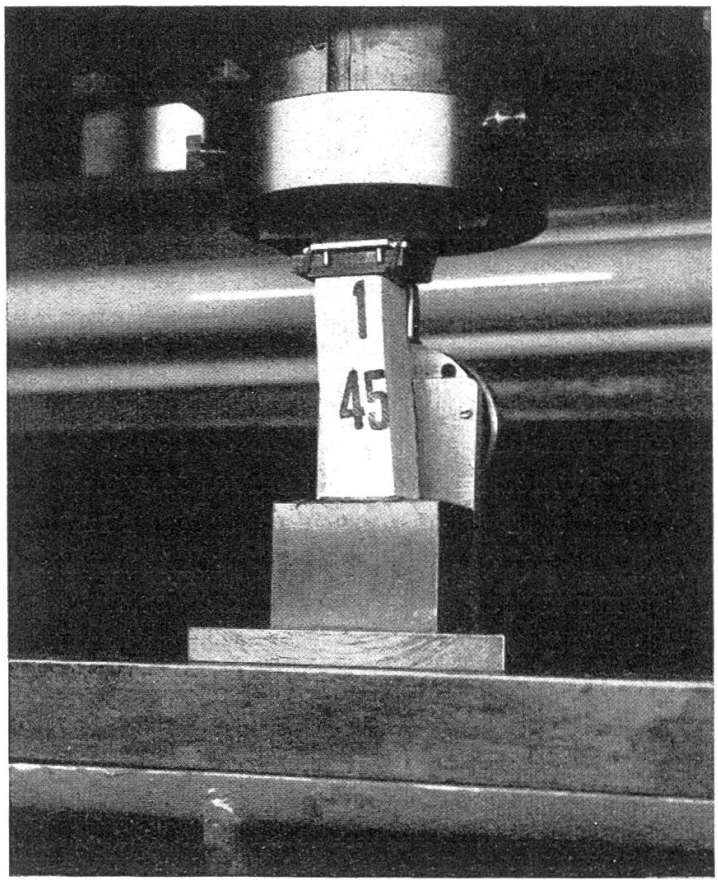

Abb. 1

Abb. 2 zeigt das Bruchbild von zwei durch Querdruck in radialer Richtung beanspruchten Prismen aus Rottannenholz; unter der Bruchlast tritt eine schichtweise Verschiebung des Frühholzes in tangen-

tialer Richtung ein. Diese Verschiebung, die in Abb. 3 noch deutlicher zu erkennen ist, hat zur Folge, daß die ursprünglich eben gehobelten Seitenflächen nach Erreichen der Tragfähigkeitsgrenze stark gerippt erscheinen.

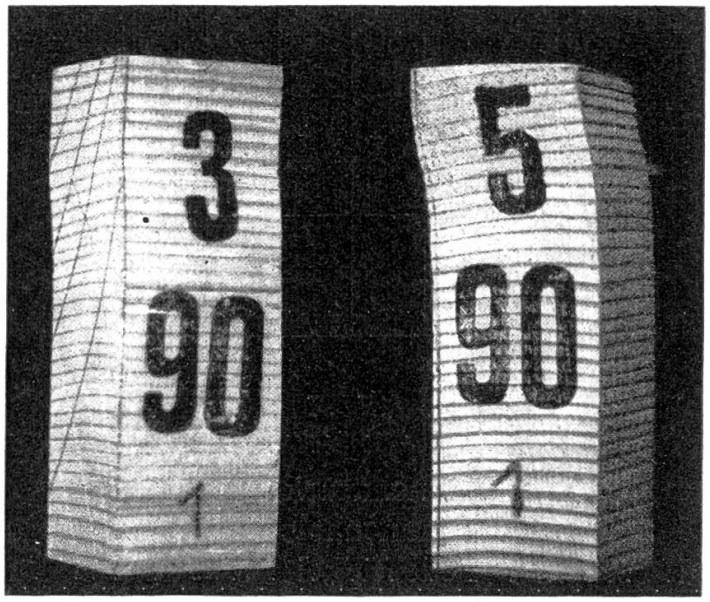

Abb. 2

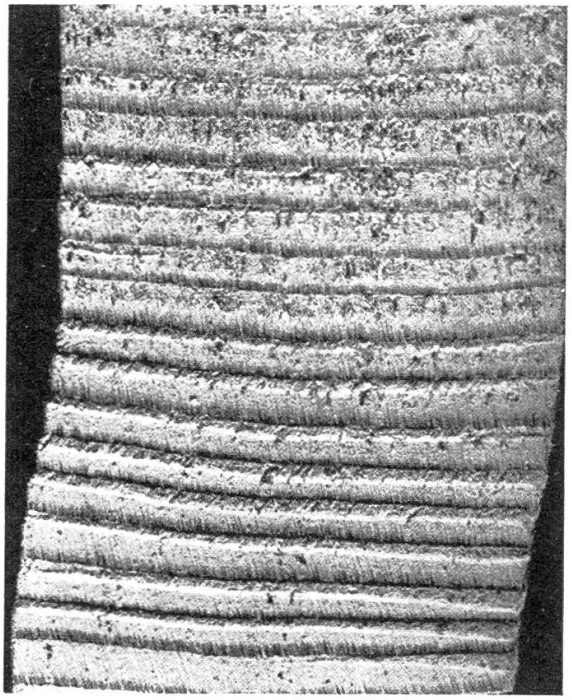

Abb. 3

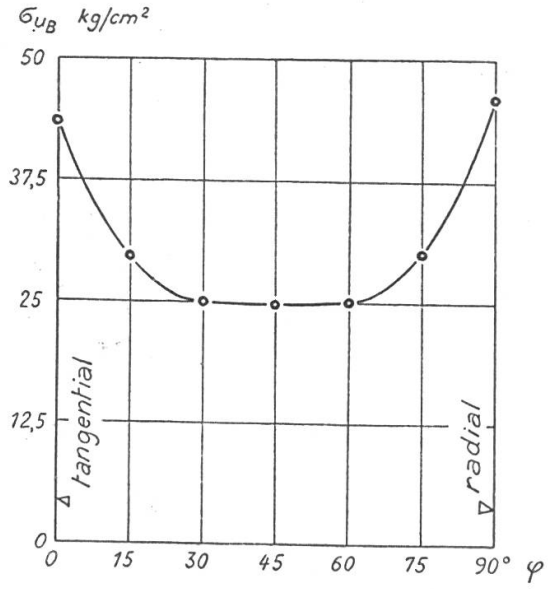

Abb. 4

In Abb. 4 sind die Prismendruckfestigkeiten σ_{uB} von Prismen 2,5 × 2,5 × 7,5 cm aus Rottannenholz mit einem Darrgewicht $r_0 =$ 0,43 t/m³ und bei einer Feuchtigkeit $w = 13{,}3\,\%$ für verschiedene Winkel φ zwischen Druckrichtung u und tangentialer Richtung x auf-

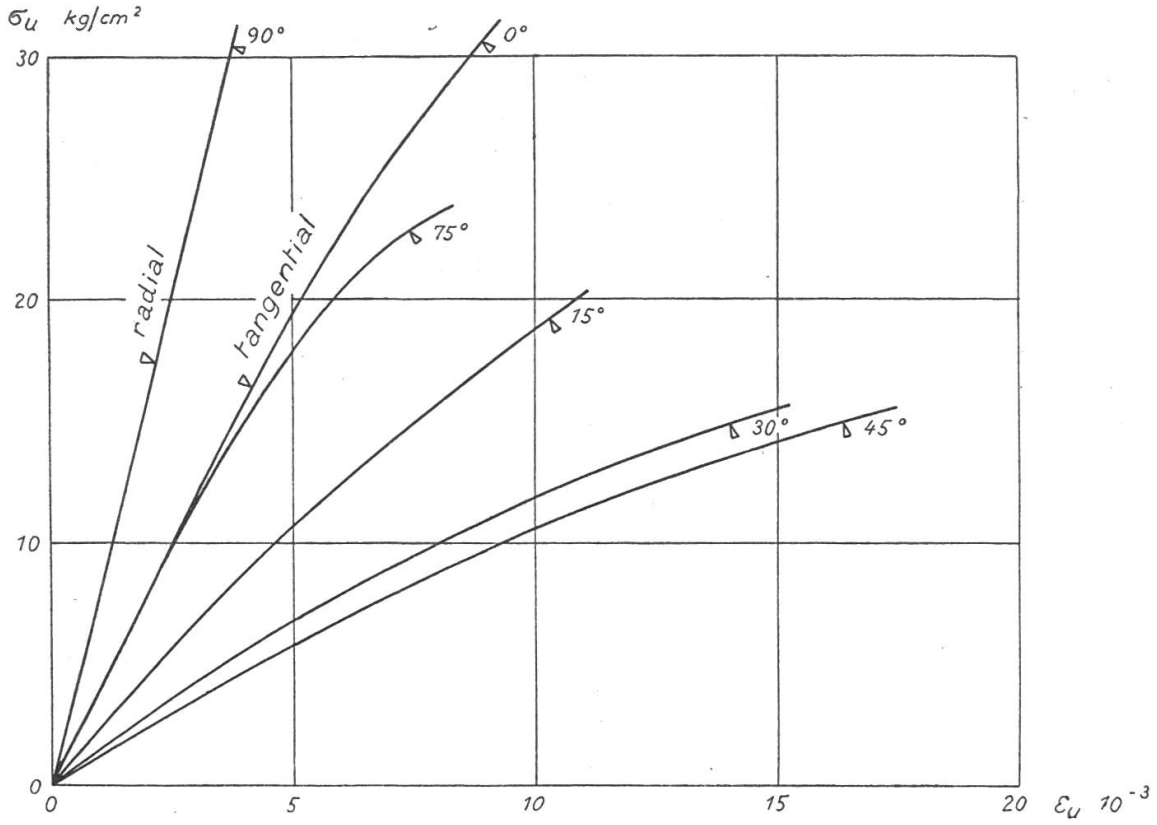

Abb. 5

getragen; der Verlauf dieser Festigkeitswerte stimmt nicht mit der Festigkeitstheorie von Holz für Beanspruchungsebenen parallel zur Stammaxe überein [1].

In Abb. 5 sind die spezifischen Zusammendrückungen ε_u (in Beanspruchungsrichtung σ_u und 2 Minuten nach Aufbringen der Last gemessen) für wachsende Beanspruchung σ_u und für verschiedene Winkel φ aufgetragen. Diese Spannungsdehnungsdiagramme zeigen nun, daß für zwischen 0° und 90° liegende Winkel φ, d. h. abgesehen von Druck in tangentialer und radialer Richtung, auch bei kleinen Laststufen keine Proportionalität zwischen Spannung und Verformung besteht, sondern daß die Verformungen stärker wachsen als die Spannungen. Das Diagramm für $\varphi = 60°$ ist nicht eingetragen, da es praktisch im Rahmen der Zeichnungsgenauigkeit mit demjenigen für $\varphi = 30°$ zusammenfällt. Für $\varphi = 90°$ (Radialdruck) ist die Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung bis zu etwa zwei Drittel der Bruchlast praktisch vollkommen; für $\varphi = 0°$ (Tangentialdruck) wird diese Proportionalität durch die Krümmungseinflüsse der Jahrringe offensichtlich gestört. Die Abweichungen der Spannungsdehnungsdiagramme von der Proportionalität für Winkel φ zwischen 0° und 90° müssen nun so erklärt werden, daß unter Normalspannungen in tangentialer und radialer Richtung wohl Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung (für Belastungen unterhalb einer bestimmten Proportionalitätsgrenze) besteht, nicht aber für Schubbeanspruchungen.

Alle diese Besonderheiten bei Querdruck lassen sich nun baustatisch nur so erklären, daß hier nicht mehr nur die eigentlichen Materialeigenschaften das Verhalten des Baustoffes bestimmen, sondern daß die Form des Querschnittsaufbaues von grundlegender Bedeutung ist. Dies führt dazu, daß Festigkeits- und Elastizitätstheorie des Baustoffes Holz für Querdruck durch die Begriffe « Festigkeit der Form » und « Elastizität der Form » erweitert werden muß [2].

Es war nun unbedingt erwünscht, daß die erwähnten Besonderheiten von Nadelholz unter Querdruck nicht nur von der Baustatik aus erklärt und gedeutet werden, sondern daß die baustatische Deutung durch eine vom Botaniker vorgenommene mikroskopische Untersuchung der Zellenform in bis zum Bruch beanspruchten Prüfkörpern ergänzt und überprüft werde. Nachstehend werden die Ergebnisse dieser beiden Untersuchungen, derjenigen des Baustatikers und derjenigen des Botanikers, für die wichtigsten Grundfälle von Querdruck bei Rottannenholz zusammengestellt. Dabei verzichten wir hier ausdrücklich auf eine quantitative Auswertung der Beobachtungen.

---

[1] *F. Stüßi:* Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser. Schweiz. Bauzeitung, Band 128, 16. Nov. 1946.

[2] *F. Stüßi:* Über Grundlagen des Ingenieurholzbaues. Schweiz. Bauzeitung, 65. Jahrgang, 14. Juni 1947.

2. Bei Querdruck in radialer oder tangentialer Richtung ist die Festigkeit durch Unstabilwerden der rechteckförmigen Zellen bestimmt; die scheinbare Materialfestigkeit σ_{uB} ist für $\varphi = 0^0$ und $\varphi = 90^0$ somit in Wirklichkeit eine kritische Beanspruchungsgrenze der Zellwände im Sinne eines Stabilitätsproblems. In Abb. 6 ist eine idealisierte Zelle im Querschnitt mit den beiden möglichen Formen des symmetrischen und des unsymmetrischen Knickens des durch die Zellwände gebildeten Rahmens skizziert. Die mikroskopischen Aufnahmen, von denen Abb. 7 sich auf Frühholz und Abb. 8 auf Spätholz unter tangentialem Querdruck bezieht, zeigen, daß bei einzelnen Zellen eine Mischform des Ausknickens vorkommt, daß aber im ganzen die unsymmetrische Knickform deutlich überwiegt.

Die Festigkeitswerte Abb. 4 zeigen, daß unter Radialdruck die Festigkeit merklich größer ist als die Festigkeit unter Tangentialdruck. Analog zeigt Abb. 5, daß unter Radialdruck die Verformungen kleiner sind als unter Tangentialdruck. Dies ist eigentlich erstaunlich, denn bei Tangentialdruck können die Belastungen durch zusammenhängende Schichten von kräftigem Spätholz übertragen werden, und die schwachen Frühholzzellen können nicht stärker zusammengedrückt oder auch nicht früher zerstört werden als die Spätholzzellen. Im Gegensatz dazu muß bei Radialdruck die Kraft abwechslungsweise durch Schichten von Frühholz- und Spätholzzellen übertragen werden, und es dürfte somit zunächst erwartet werden, daß die Festigkeit unter Radialdruck durch die Festigkeit der schwachen Frühholzzellen allein bestimmt sei. Daß dies nun aber offensichtlich nicht der Fall ist, muß darauf zurückgeführt werden, daß die *Markstrahlen* eine Kraftübertragung zwischen aufeinanderfolgenden Spätholzschichten besorgen und damit die Frühholzschichten entlasten. In Abb. 9 ist diese Wirkung der Markstrahlen als eine Art « Armierung » des Querschnittes schematisch skizziert; die Festigkeitsgrenze erscheint hier durch das Unstabilwerden der Markstrahlen bestimmt. Das mikroskopische Bild Abb. 10 zeigt deutlich das Abknicken der Markstrahlen an der Jahrringgrenze unter der Bruch-

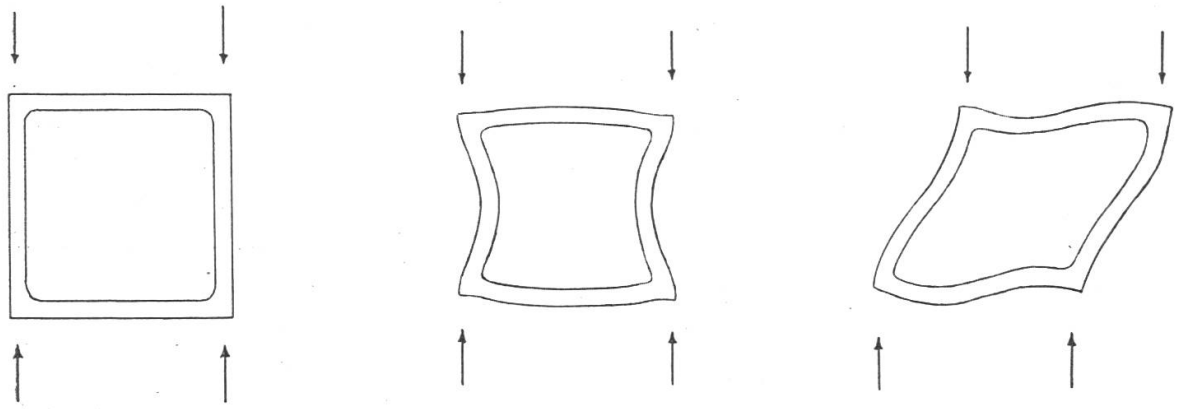

Abb. 6

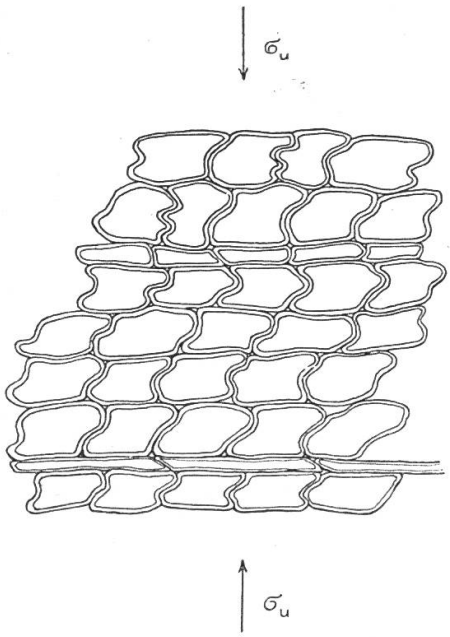

Abb. 7

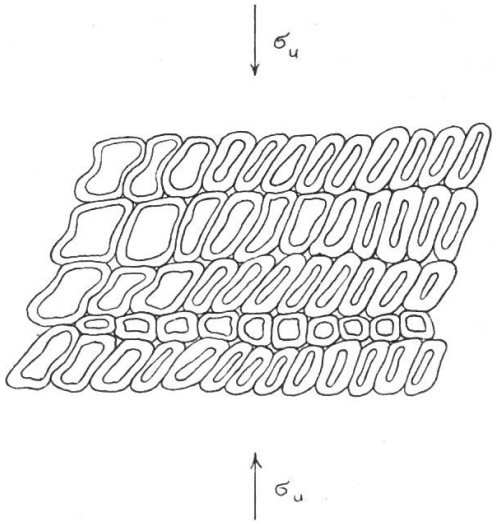

Abb. 8

last. Die Markstrahlen haben somit außer ihrer Funktion im Dienste der Leitung und Speicherung der Nährstoffe auch eine wesentliche Aufgabe bei der Festigung des Gewebes.

3. Bei Querdruck unter zwischen 0° und 90° liegenden Winkeln φ wird ein einzelner Zellenquerschnitt durch die in Abb. 11 skizzierten Spannungen

$$\sigma_x = \sigma_u \cdot \cos^2 \varphi,$$
$$\sigma_y = \sigma_u \cdot \sin^2 \varphi,$$
$$\tau_x = \tau_{yx} = \sigma_u \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi$$

oder durch die Kräfte (auf die Längeneinheit bezogen)

$$P_x = \frac{a}{2} \cdot \sigma_x ,$$
$$P_y = \frac{b}{2} \cdot \sigma_y ,$$
$$Q_x = b \cdot \tau_{xy},$$
$$Q_y = a \cdot \tau_{xy}$$

beansprucht.

Die Querkräfte Q_x und Q_y verursachen nun primär eine Verbiegung der Zellwände, die an die Stelle der Schubverformung des Materials tritt. Grundsätzlich handelt es sich nun aber hier um eine Verformung, deren Größe ganz ausgesprochen von der Form des Querschnittsaufbaues und nicht mehr nur von der Elastizität des Materials abhängt. Dies erklärt, warum der scheinbare Schubmodul von Holz in Hirnschnittebenen so außerordentlich klein ist. Nun kommt aber noch eine

zweite Wirkung hinzu: Die auf den verformten Zellquerschnitt einwirkenden Normalkräfte P_x und P_y üben nun, gerade dank der Verformungen η und ξ, zusätzliche Biegungsmomente $P_x \cdot \eta$ und $P_y \cdot \xi$ aus, die die primär durch die Querkräfte Q_x und Q_y, bzw. durch die Momente $Q_x \cdot a$ und $Q_y \cdot b$ verursachten Verformungen weiter vergrößern. Es liegt somit hier ein sogenanntes « Formänderungsproblem » oder ein « Spannungsproblem zweiter Ordnung » vor. Damit ist auch die Begrün-

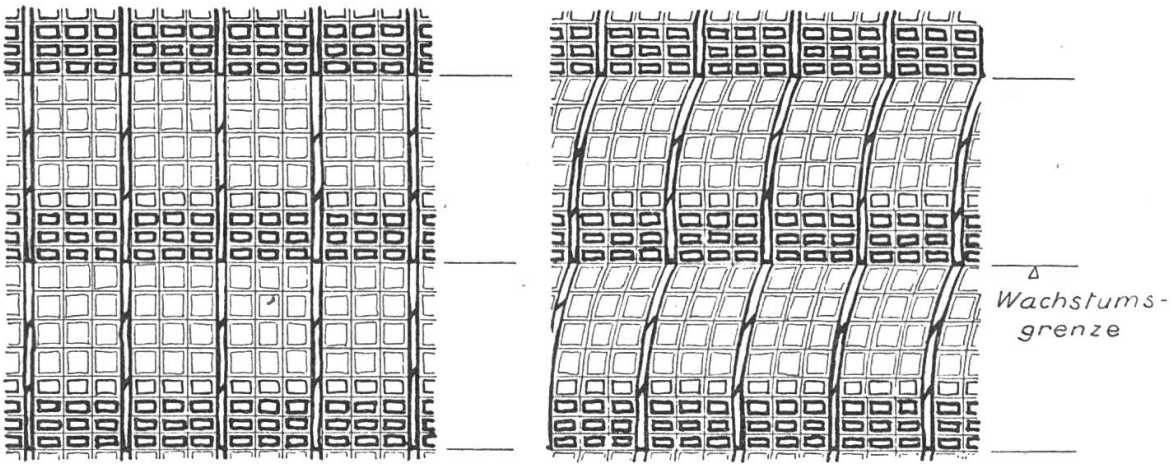

Abb. 9

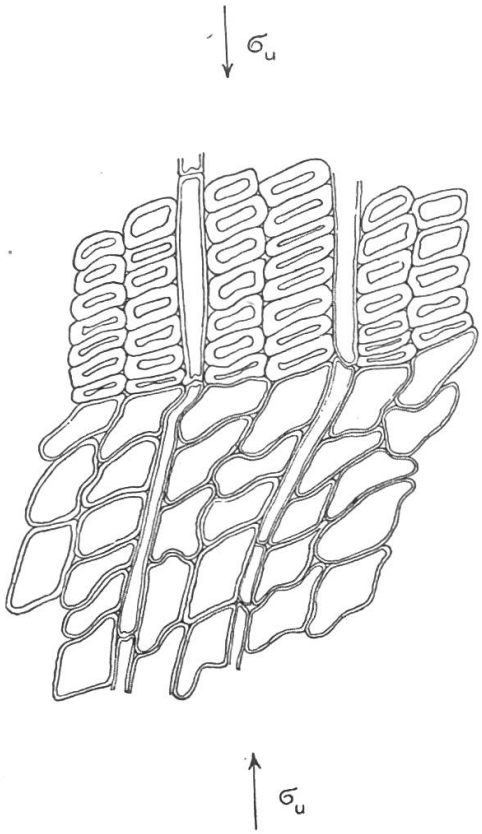

Abb. 10

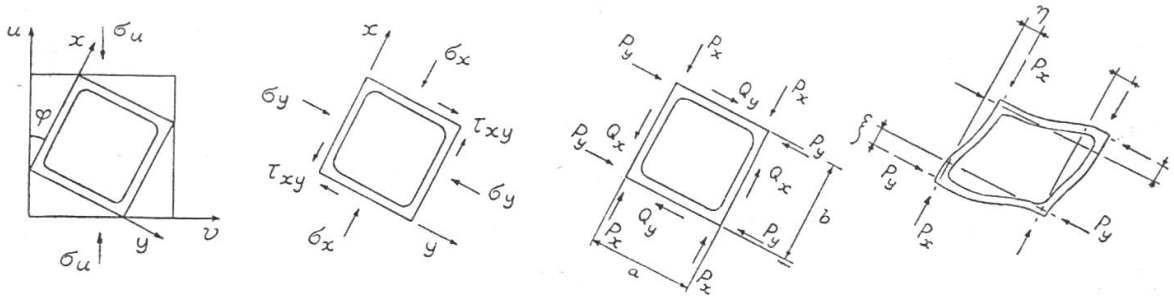

Abb. 11

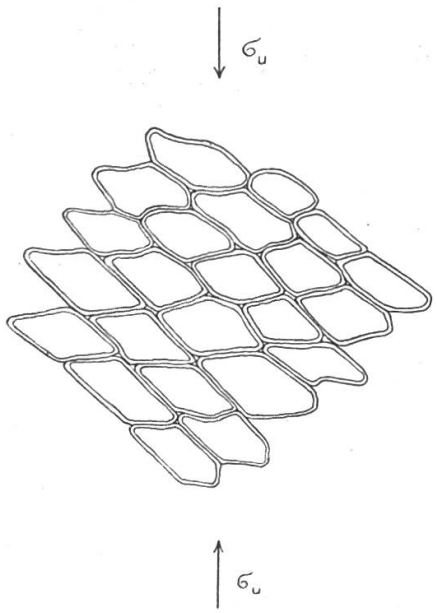

Abb. 12

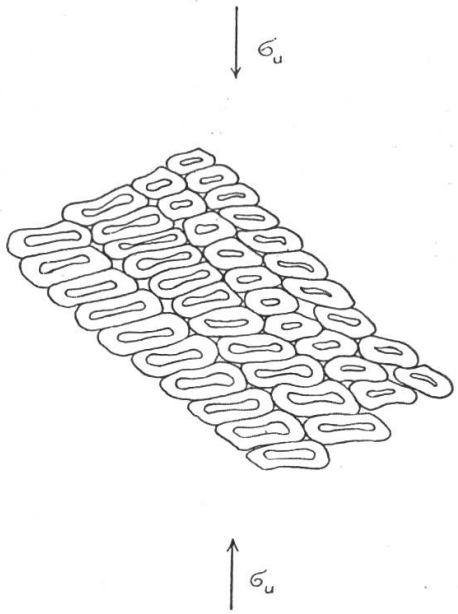

Abb. 13

dung dafür gefunden, warum Spannungen und Verformungen für $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ auch bei kleinen Laststufen nicht proportional zueinander sein können. Auch der Verlauf der Festigkeitskurve Abb. 4, die sich theoretisch aus zwei Ästen zusammensetzt, ist nun grundsätzlich leicht erklärlich.

Die Abbildungen 12 (Frühholz) und 13 (Spätholz) ($\varphi = 45^\circ$) bestätigen eindeutig das in Abb. 11 skizzierte Verformungsspiel und damit auch die daraus gezogenen Schlußfolgerungen.

4. Zusammenfassend läßt sich somit feststellen, daß die Besonderheiten im Verhalten von Nadelholz unter Querdruck eine Folge des Querschnittsaufbaues mit annähernd rechteckförmigen oder quadratischen Zellen sind. Bei radialem oder tangentialem Querdruck liegt deutlich ein Stabilitätsproblem vor, während bei Querdruck schräg zu den Zellwandrichtungen ein Spannungsproblem zweiter Ordnung vorliegt. Immer aber ist das Verhalten unter Querdruck von der Form des Querschnittsaufbaues entscheidend abhängig; wir müssen deshalb hier von

einer « Festigkeit der Form » und von einer « Elastizität der Form » sprechen. Bei unseren Untersuchungen hat sich ferner gezeigt, daß die Markstrahlen die Festigkeit gegenüber Radialdruck maßgeblich beeinflussen.

Résumé

Les particularités du comportement du bois résineux soumis à une pression perpendiculaire à la fibre proviennent de la structure de la coupe transversale, qui présente des cellules de formes plus ou moins rectangulaires ou carrées. Lors de pressions radiale ou tangentielle, il s'agit nettement d'un problème de stabilité; par contre, lors de pressions obliques par rapport à la direction des parois cellulaires, on se trouve en présence d'un problème de tension du deuxième degré. De toute façon, le comportement du bois soumis à une pression perpendiculaire à la fibre dépend de la forme de la structure de la coupe transversale; il y a donc lieu de parler d'une « résistance de forme » et d'une « élasticité de forme ».

En outre, nos recherches ont montré que les rayons médullaires exercent une influence notable sur la résistance à la pression radiale. *A. M.*

Einfluß der eidg. Finanzreform auf die Beitragsleistungen des Bundes

Von eidg. Oberforstinspektor Dr. *E. Heß*

Bei den Beratungen des Bundesgesetzes betreffend die Oberaufsicht über die Forstpolizei von 1876 hat der Gesetzgeber sich Rechenschaft gegeben über die tiefgreifenden Einschränkungen, die dem Waldbesitzer durch die gesetzlichen Bestimmungen auferlegt werden.

Strenge Gesetze waren notwendig, um die verwahrlosten Waldungen instand zu stellen und gegen die großen Wasserschäden, die sich anfangs und noch Mitte des 19. Jahrhunderts in der Schweiz ereigneten, anzukämpfen. Die damals für Aufforstungen und damit verbundene Verbauungen festgesetzten Beiträge von 50 bis 80 % haben in andern, ebenfalls vom Bund unterstützten Wirtschaftszweigen (Bauwesen, Landwirtschaft) öfters Kritik und Eifersucht hervorgerufen. Diese Kreise begreifen oft nicht, warum gerade für forstliche Zwecke die höchsten Subventionen ausgerichtet werden, höhere, als sie im Bau- und Meliorationswesen zugesichert werden können.

Der Grund hiefür ist darin zu suchen, daß beim Forstwesen derjenige, der Aufforstungen in Einzugsgebieten von Wildbächen ausführt, große Mittel aufwenden muß für Werke, die ihm keinen Ertrag abwerfen, für deren Unterhalt er vielmehr verantwortlich ist und die daher ständige finanzielle Opfer von ihm fordern.

Man nimmt dem Bodenbesitzer zum Beispiel Weide weg. Auch wenn es die schlechteste ist, die vom Vieh kaum mehr begangen wird oder