



Die „Sammlung Vieweg“ hat sich die Aufgabe gestellt, Wissens- und Forschungsgebiete, Theorien, chemisch-technische Verfahren usw., die im Stadium der Entwicklung stehen, durch zusammenfassende Behandlung unter Beifügung der wichtigsten Literaturangaben weiteren Kreisen bekanntzumachen und ihren augenblicklichen Entwicklungsstand zu beleuchten. Sie will dadurch die Orientierung erleichtern und die Richtung zu zeigen suchen, welche die weitere Forschung einzuschlagen hat.

Als Herausgeber der einzelnen Gebiete, auf welche sich die Sammlung Vieweg zunächst erstreckt, sind tätig, und zwar für:

- Physik** (theoretische und praktische, und mathematische Probleme):  
Herr Geh. Reg.-Rat Prof. Dr., Dr.-Ing. E. h. **Karl Scheel**, Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Charlottenburg;
- Chemie** (Allgemeine, Organische und Anorganische Chemie, Physikal. Chemie, Elektrochemie, Technische Chemie, Chemie in ihrer Anwendung auf Künste und Gewerbe, Photochemie, Metallurgie, Bergbau):  
Herr Prof. Dr. **Bernhard Neumann**, Techn. Hochschule Breslau;
- Technik** (Wasser-, Straßen- und Brückenbau, Maschinen- und Elektrotechnik, Schiffsbau, mechanische, physikalische und wirtschaftliche Probleme der Technik):  
Herr Prof. Dr.-Ing. E. h. **Fritz Emde**, Techn. Hochschule Stuttgart.

### *Neuere und neueste Hefte der „Sammlung Vieweg“*

- Heft 31. Dr. Heinrich Faßbender: *Die technischen Grundlagen der Elektromedizin.* Mit 77 Abbildungen. M. 3,60.
- Heft 32/33. Prof. Rudolf Richter: *Elektrische Maschinen mit Wicklungen aus Aluminium, Zink und Eisen.* Mit 51 Abbildungen. M. 5,40.
- Heft 34. Obering. Carl Beckmann: *Haus- und Geschäfts-Telephonanlagen.* Mit 78 Abbildungen. M. 2,70.
- Heft 35. Dr. Aloys Müller: *Theorie der Gezeitenkräfte.* Mit 17 Abb. M. 2,70.
- Heft 36. Prof. Dr. W. Kummer: *Die Wahl der Stromart für größere elektrische Bahnen.* Mit 7 Abbildungen. M. 2,25.
- Heft 37. Dr. Reinhold Rieke: *Die Arbeitsmethoden der Silikatchemie.* 2. Aufl. Mit 4 Abbildungen. M. 3,15.
- Heft 38. Prof. Dr. Albert Einstein: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. (Gemeinverständlich.)* 14. Auflage. (61. bis 65. Tausend.) Mit 4 Figuren. M. 2,70.
- Heft 39/40. Dr. Richard Grammel: *Die hydrodynamischen Grundlagen des Fluges.* Mit 83 Abbildungen. M. 4,50.
- Heft 41/42. Ingenieur Georg Duffing: *Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung.* Mit 23 Abb. M. 4,25.
- Heft 43. Dr. Robert Schwarz: *Feuerfeste und hochfeuerfeste Stoffe.* 2. vermehrte Auflage. Mit 10 Abbildungen. M. 1,80.
- Heft 44. Dr. Iwan Döry: *Einphasenbahnmotoren.* Mit 75 Abbildungen. M. 2,70.
- Heft 45. Prof. Dr. K. Fajans: *Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen.* Durchgesehener Abdruck der 4. Auflage. Mit 11 Abbildungen und 14 Tabellen. 4,50.

Fortsetzung siehe 3. und 4. Umschlagseite.

# Elastische Messungen an Fichtenholz

von

Dr.-Ing. Robert Schlüter



---

Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges., Braunschweig

1932

---

---

**Herausgeber dieses Heftes:**  
**Geh. Reg.-Rat Prof. Dr.-Ing. e. h. Karl Scheel, Berlin**

---

---

ISBN 978-3-322-98271-1      ISBN 978-3-322-98974-1 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-322-98974-1

**Alle Rechte vorbehalten**

## Vorwort

Die Mehrzahl der elastischen Messungen am Holz rührt von technischer Seite her. Von den Veröffentlichungen, die in der dieser Arbeit beigefügten Schrifttumübersicht, bei der weitgehende Vollständigkeit angestrebt wurde, aufgeführt sind, greifen nur wenige das Problem der Holzuntersuchung vom physikalischen Gesichtspunkte aus an.

Der ausgeprägt anisotrope Aufbau des Holzes macht physikalisch orientierte Untersuchungen erforderlich.

In dieser Richtung soll die vorliegende Arbeit beitragen weiterzukommen und durch Untersuchung elastischer Zusammenhänge die Kenntnis der Grundlagen vertiefen.

Herrn Dr. H. Hörig danke ich für die Anregung zu diesen Versuchen, für den vielfachen fördernden Rat und die eigenhändige mechanische Ausführung der von ihm konstruierten Teile der Meßanordnung (Spiegelsystem, Eichvorrichtung und Zentrierlehren).

Braunschweig, im März 1932.

**Robert Schlüter**

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einführung	
Die Veranlassung zu den Versuchen . . . . .	1
Das Ziel der Arbeit . . . . .	1
Hauptteil	
<b>A. Das Versuchsmaterial . . . . .</b>	<b>4</b>
1. Allgemeine Angaben über das Holz für die Versuche . . . . .	4
2. Das Orientierungssystem für die Entnahme und Kennzeichnung der Probekörper . . . . .	5
3. Übersicht über die Zeichen . . . . .	7
4. Die Herstellung, Behandlung und Aufbewahrung der Probekörper	8
<b>B. Die Durchführung der Versuche . . . . .</b>	<b>9</b>
1. Die Herstellung der Verbindung zwischen Holz und Stahl. . . . .	9
2. Die konstruktive Durchbildung der Versuchsanordnung . . . . .	11
a) Die Aufnahme der Probekörper . . . . .	11
b) Die Belastungswaage . . . . .	12
c) Die Spiegelmeßvorrichtung. . . . .	13
d) Die Eichvorrichtung . . . . .	14
3. Der Gang der Untersuchung . . . . .	14
4. Die Fehlerquellen und die Genauigkeit der Messungen . . . . .	15
<b>C. Die Auswertungen der Messungen . . . . .</b>	<b>18</b>
1. Die Berechnung des Elastizitätsmoduls . . . . .	18
2. Die Berechnung des scheinbaren Schubmoduls . . . . .	18
3. Zusammenstellung der Messungen . . . . .	19
4. Besprechung der Messungen . . . . .	28
Ergebnisse. . . . .	36
Schlußwort von H. Hörig . . . . .	38
Literatur . . . . .	41
Anhang	
Schrifttumübersicht . . . . .	43

## Einführung

### Die Veranlassung zu den Versuchen

Bei den Forschungsarbeiten des von Herrn Dr. H. Hörig geleiteten Laboratoriums der Pianofortefabrik Grotrian-Steinweg in Braunschweig ergab sich die Notwendigkeit, die Materialkonstanten des Fichtenholzes zu bestimmen. Das Fichtenholz findet Verwendung für Resonanzböden von Flügeln und Pianos.

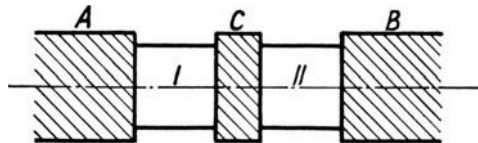


Abb. 1. A, B, C sehr starre Körper (Stahl) im Vergleich zu Holz I, II Würfeln aus dem zu untersuchenden Holz

Herr Dr. Hörig schlug dem Verfasser vor, den Versuch zu machen, an kleinen Würfeln aus Holz die Schubmoduln durch Parallelverschiebung zweier gegenüberliegender Seiten gegeneinander zu bestimmen. Hierbei sollte die Parallelführung durch Anordnung eines Würfelpaares mit einem starren Zwischenstück erfolgen<sup>1)</sup>.

### Das Ziel der Arbeit

Dem Verfasser fielen die Aufgaben zu:

- a) Eine Anordnung zu entwickeln, die eine einwandfreie Messung der Verschiebung  $u$  von C bei feststehenden A und B gestattete.

---

<sup>1)</sup> Über Versuchsanordnungen von im Prinzip ähnlicher Bauart (betreffend Knick und Ausbeuluntersuchungen) vgl. die Arbeit von F. Bollenrath (3) und die dort angegebene Literatur, insbesondere: Andrade, Proc. Roy. Soc. London (A) **85**, 1911. Filon (4). E. Inglis, ebenda **103**. — Im vorliegenden Falle ist wesentlich die starre Lagerung der beiden äußeren Würfelflächen.

Hierzu war Vorbedingung, eine Methode zu finden, die Würfel mit *A*, *B* und *C* zu verbinden (Abb. 2).

- b) An einer Reihe von Holzwürfeln, deren strukturelle Orientierung nach den Gesichtspunkten der Anisotropie zu wählen war, eine Reihe von Messungen so durchzuführen, daß die Zahlen bei einer Ausarbeitung der Theorie der Anordnung von Abb. 1 zur Grundlage dienen könnten<sup>1)</sup>.
- c) Ein Urteil darüber zu gewinnen, wie weit die gemessenen Zahlen bei Probekörpern, die im Ausgangsmaterial sich dicht nebeneinander bzw. hintereinander befunden hatten, und bei Würfeln, die verschiedenen Brettern (Stämmen) der gleichen Holzart entstammten, verschieden ausfallen.

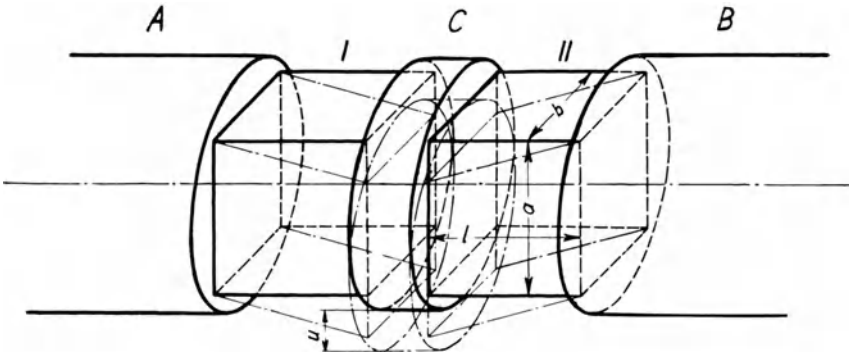


Abb. 2. Vereinfachte Darstellung der Versuchsanordnung

Bereits Helmholtz (9)<sup>2)</sup> hat auf die Anisotropie des Holzes und die Ähnlichkeit des Holzes mit Stoffen, die aus kristallinischer Substanz aufgebaut sind, hingewiesen.

Der englische Physiker Carrington (22, 23, 24) hat an Spruce<sup>3)</sup> Werte für die Elastizitäts- und Schubmoduln und die Querkontraktion gemessen. Er ging hierbei von der Annahme aus, daß das Holz in seinem elastischen Verhalten mit dem eines rhombischen Kristalls zu ver-

<sup>1)</sup> Auf diese Theorie wird H. Hörig an anderer Stelle demnächst eingehen.

<sup>2)</sup> Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis.

<sup>3)</sup> Sammelname für amerikanisches Fichtenholz. Carrington untersuchte wahrscheinlich Sitka Spruce, *picea sitchensis* [*picea sitkaensis* (Carr.), H. Mayr], da dieses Holz vorzugsweise für den Flugzeugbau Verwendung findet.

gleichem sei; die Lage der Kristallachsen wurde von ihm entsprechend den durch die Jahresringstruktur gegebenen natürlichen Symmetrieverhältnissen gewählt.

Carrington bestimmte die Elastizitätsmoduln und die Poisson'sche Konstante aus Biegeversuchen, die Schubmoduln aus Verdrehungsversuchen.

Hörig (29) hat die Carrington'schen Messungen vom Standpunkte der W. Voigt'schen Elastizitätstheorie anisotroper Körper eingehend bearbeitet; u. a. hat er die Dehnungs- und Torsionsflächen berechnet, die wegen der großen zahlenmäßigen Unterschiede der verschiedenen Moduln außergewöhnlich charakteristische Formen annehmen. Die vorliegende Arbeit will dazu beitragen, analoges Zahlenmaterial für Resonanzholz zu beschaffen, das botanisch dem Spruce sehr nahe steht.

Das im folgenden benutzte Koordinatensystem<sup>1)</sup> ist mit dem von Hörig benutzten identisch.

---

<sup>1)</sup> Siehe Abb. 4, S. 5.



## Hauptteil

### A. Das Versuchsmaterial

#### 1. Allgemeine Angaben über das Holz für die Versuche

Entsprechend der Aufgabe erstreckte sich die Untersuchung in der Hauptsache auf Fichtenholz, wie es für die Resonanzböden von Flügeln, Pianinos und Geigen Verwendung findet (Abb. 3). Das Holz

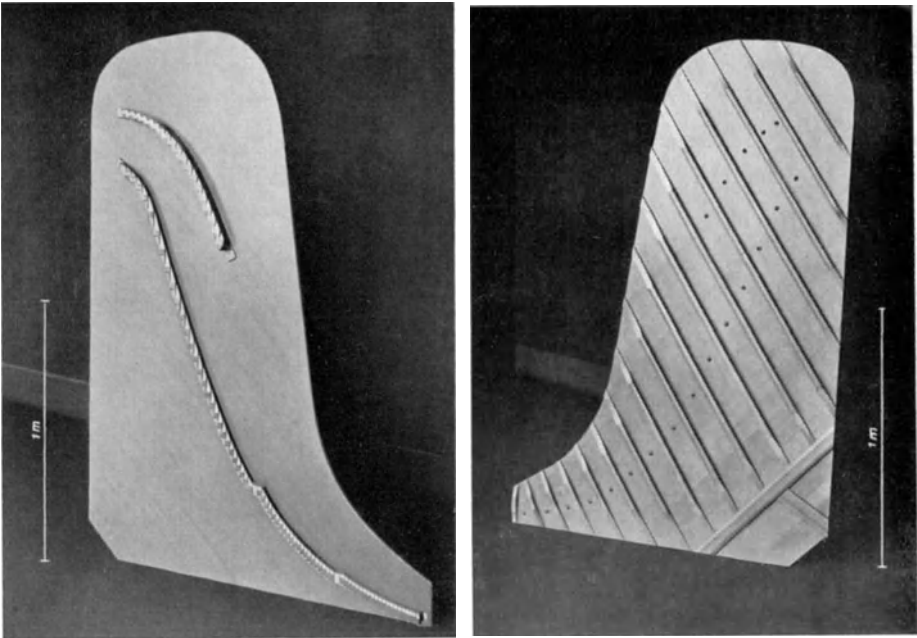


Abb. 3. Resonanzboden eines Flügels. Vorderseite und Rückseite

für diese Resonanzböden wird, soweit es sich um Qualitätsinstrumente handelt, aus Rumänien (Bukowina) bezogen. Der handelsübliche Name ist „Bukowina-Fichte“, der botanische Name „*picea excelsa*“ (Familie der *abietaceae*).

Man kann sorgfältig ausgesuchtes Fichtenholz als einen anisotropen, jedoch homogenen Körper ansprechen. Es ist anisotrop, weil die Größe der elastischen Effekte gesetzmäßig von der Lage der Symmetrieachsen beim Versuch abhängig ist. Andererseits ist das Resonanzholz weitgehend homogen, weil bei Volumenelementen, die verschiedenen Stellen eines größeren Stückes entnommen sind, praktisch die Größe der Effekte konstant bleibt, solange die Beanspruchungen in der gleichen Orientierung zu den Symmetrieachsen erfolgen.

## 2. Das Orientierungssystem für die Entnahme und Kennzeichnung der Probekörper

Für die Orientierung bei der Entnahme der Probekörper aus einem größeren Stück wurde das auf S. 6 erwähnte System gewählt, das sich auf die dem Auge sichtbaren Symmetrieeigenschaften des Holzes, auf die Jahresringstruktur gründet<sup>1)</sup>. Voraussetzung ist, daß der Probekörper, z. B. ein Würfel, so klein gewählt wird, daß die in ihm enthaltenen Abschnitte der Jahresringe praktisch als ebene Flächen angesprochen werden können. Da man diese Abschnitte bis zu einer Hirschnittlänge von 30 mm finden kann, so bedingt die Annahme ebener Jahresringflächen durchaus keine Entfernung von den praktisch zu verwirklichenden Verhältnissen. Die Stärke des Resonanzbodens für Klaviere — und nur diese ist für die Länge der Jahresringabschnitte maßgebend — übersteigt z. B. nicht 10 bis 12 mm.

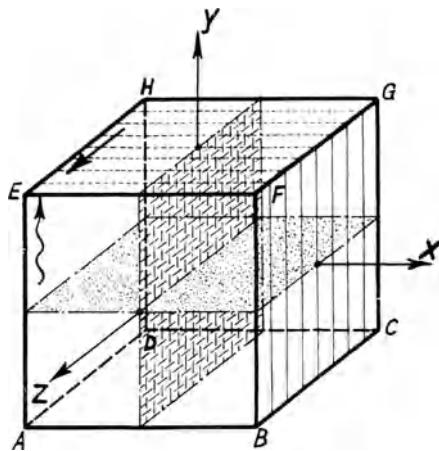


Abb. 4

Vereinfachte Darstellung eines Holzwürfels mit eingezeichnetem Orientierungssystem

Abb. 4 ist die schematische Darstellung eines Würfels aus Fichtenholz.

<sup>1)</sup> Die Unsymmetrie innerhalb eines Jahresringes, die durch die Verteilung des Spätholzes in einem Jahresringe gegeben ist, wurde hierbei vernachlässigt.

Abb. 5 und 6 zeigen die Entnahme des Probekörpers aus dem Stamm und die Lage des Orientierungssystems zum Stamm.

Die Fläche  $BCGF$  (Abb. 4) ist durch einen Schnitt parallel zum Radius und parallel zur Achse des Stammes erzeugt (Axialschnitt).

Die Fläche  $ABFE$  ist durch einen Schnitt senkrecht zum Radius und parallel zur Achse des Stammes erzeugt (Tangentialschnitt).

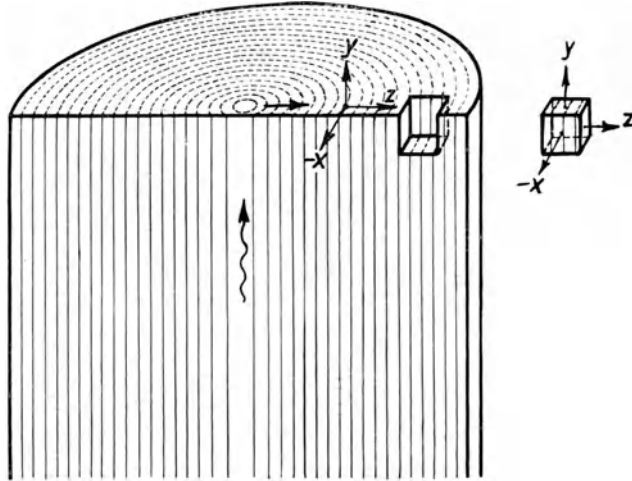


Abb. 5 und 6

Entnahme des Probekörpers aus dem Stamm und Lage des Orientierungssystems zum Stamm

(In den Abb. 5 und 6 ist das Verhältnis der Größe des Würfels zum Durchmesser des Stammes aus Gründen der Anschaulichkeit abweichend von den tatsächlichen Verhältnissen dargestellt. In Wirklichkeit hat der Stamm einen Durchmesser von ungefähr 1 m)

Die Fläche  $EFGH$  ist durch einen Schnitt parallel zum Radius und senkrecht zur Achse des Stammes erzeugt (Hirnschnitt).

Der gerade Pfeil in der Fläche  $EFGH$  zeigt die radiale Wachstumsrichtung<sup>1)</sup> an. Die Spitze des Pfeiles zeigt nach der Rinde des Stammes zu.

<sup>1)</sup> In radialer Richtung wächst der Stamm durch jährliche Neubildung einer Jahresringschicht unter der Rinde. Das Wachstum setzt im Frühjahr plötzlich ein, um im Sommer immer langsamer zu werden und im Herbst ganz aufzuhören. Der prozentuale Anteil der dunkleren Schicht (Spätholz) an der Jahresringbreite ist von maßgebendem Einfluß (86) auf die Festigkeit des Stammes. Jedoch ist eine Schätzung dieser Schicht nur bei wenigen Holzarten möglich. Bei Fichtenholz ist sie besonders erschwert durch den schlecht sichtbaren Übergang von Früh- zu Spätholz.

Der geschlängelte Pfeil in der Fläche  $ABFE$  zeigt die axiale Wachsrichtung an. Die Spitze des Pfeiles zeigt nach der Krone des Baumes.

Die  $y$ -Achse des Orientierungssystems läuft parallel zur Längsachse des Stammes, wobei der Sinn der axialen Wachsrichtung durch das positive Vorzeichen gekennzeichnet werden soll.

Die  $x$ -Achse des Orientierungssystems läuft senkrecht zur Längsachse des Stammes als Tangente an die Jahresringe.

Die  $z$ -Achse des Orientierungssystems läuft senkrecht zur Längsachse des Stammes als Radius, wobei die radiale Wachsrichtung durch das positive Vorzeichen gekennzeichnet wird.

### 3. Übersicht über die Zeichen<sup>1)</sup>

	Maßeinheit
$a$ = Dicke einer Probe . . . . .	mm
$b$ = Breite einer Probe . . . . .	mm
$F$ = Querschnitt der Probe . . . . .	mm <sup>2</sup>
$l_v$ = Versuchslänge der Probe . . . . .	mm
$l$ = Meßlänge der Probe . . . . .	mm
$f$ = Pfeilhöhe, Durchbiegung . . . . .	mm
$\sigma$ = bezogene Zug- oder Druckspannung, Normalspannung . . . . .	kg/mm <sup>2</sup>
$\tau$ = bezogene Schubspannung, Tangentialspannung . . . . .	kg/mm <sup>2</sup>
$u$ = Verschiebung (gegenseitige Verschiebung zweier Flächenelemente vom senkrechten Abstand $l$ infolge von Schubspannungen), $u = l \cdot \operatorname{tg} \gamma$ . . . . .	mm
$\omega$ = Neigungswinkel eines Endquerschnittes beim Biegeversuch.	
$m$ = Verhältnis der Längsdehnung zur Querkürzung, Poissonsche Zahl.	
$\mu$ = Verhältnis der Querkürzung zur Längsdehnung <sup>2)</sup> $\mu = 1/m$ .	
$P$ = Belastung . . . . .	kg
$S$ = Skalenausschlag bei Fernrohrablesung . . . . .	mm
$e$ = Empfindlichkeit des Kippspiegels.	
$E$ = Elastizitätsmodul Dehnungsmodul (Young's modulus). . . . .	kg/mm <sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Die Zeichen wurden nach Möglichkeit nach dem Normblatt DIN 1350 gewählt.

<sup>2)</sup> Bei Kohlrausch und A. Föppl wird das Verhältnis von Querkürzung zur Längsdehnung mit „Poissonsche Zahl“ bezeichnet.

		Maßeinheit
$\alpha$	= Dehnungszahl ( $\alpha = 1/E$ ) . . . . .	mm <sup>2</sup> /kg
$\gamma$	= Schiebung (im Bogenmaß).	
$G$	= Schubmodul (Modulus of rigidity) . . . . .	kg/mm <sup>2</sup>
$\beta$	= Schubzahl ( $\beta = 1/G$ ) . . . . .	mm <sup>2</sup> /kg
$E_{x, \pm y}$	{	Elastizitätsmodul (errechnet aus dem Biegeversuch). Der erste Zeiger gibt an, zu welcher Achse des Orientierungssystems die Längsachse des Stabes beim Biegeversuch parallel liegt. Der zweite Zeiger zeigt die Kraft an, die die Durchbiegung hervorruft, durch Angabe der Achse, zu der die Kraft parallel läuft.
$E_{x, \pm z}$		
$E_{y, \pm x}$		
$E_{y, \pm z}$		
$E_{z, \pm x}$		
$E_{z, \pm y}$		
	(Scheinbarer Schubmodul <sup>1)</sup> ) . . . . .	kg/mm <sup>2</sup>
$G_{x, \pm y}$	{	Der scheinbare Schubmodul ergibt sich aus der Formel zur Berechnung des Schubmoduls für isotrope Stoffe $G = \tau/\gamma$ . Der erste Zeiger bezeichnet ohne Vorzeichenangabe die festgehaltene Fläche durch die Angabe der Achse, auf der diese Fläche senkrecht steht. Der zweite Zeiger zeigt die Richtung der Schubbeanspruchung an durch die Angabe der Achse, zu der die Schubkraft parallel läuft.
$G_{x, \pm z}$		
$G_{y, \pm x}$		
$G_{y, \pm z}$		
$G_{z, \pm x}$		
$G_{z, \pm y}$		

#### 4. Die Herstellung, Behandlung und Aufbewahrung der Probekörper

Die für die Versuche benötigten Würfel aus Bukowina-Fichte wurden aus Brettern genommen. Die Bretter werden in einem luftigen Holzschuppen mehrere Jahre getrocknet und kurz vor Eintritt in die Fertigung

<sup>1)</sup> Wie in der vorliegenden Arbeit mitgeteilt wird, sind die Effekte, die man bei verschiedenen typischen Orientierungen der Würfel mißt, von einem Charakter, der zeigt, daß man keinesfalls annehmen darf, man hätte es hier mit einfachem Schub zu tun, in dem Sinne, daß

$$\tau/\gamma = \text{dem der betreffenden Orientierung entsprechenden Schubmodul wäre}$$

Um nun aber in dieser Arbeit sich einer kurzen und anschaulichen Bezeichnungsweise bedienen zu können, sei ohne alle Rücksicht auf die theoretische Berechtigung der Quotient

$$\tau/\gamma = \text{kurz als „scheinbarer Schubmodul“},$$

oder, wo Irrtum in dieser Beziehung ausgeschlossen scheint, auch einfach als „Schubmodul“ bezeichnet. **Es sei aber ausdrücklich betont, daß dies lediglich eine vereinfachte Ausdrucksweise sein soll**, und es erst Sache der Theorie sein wird, klarzustellen, mit welchen Konstanten oder Funktionen von Konstanten die hier gemessenen „Schubmoduln“ zu identifizieren sind.

in besonderen Trockenkammern künstlich getrocknet. Die Bretter haben die Maße 1000 bis 2200 mm · 120 bis 190 mm · 24 bis 30 mm. Diese Brettergrößen sind handelsüblich für Bukowina-Fichte, wie sie in der Klavierindustrie für die Rippen, die zur Versteifung der Resonanzböden dienen, Verwendung finden. Bevor die Bretter zerschnitten wurden, sind sie genau nach dem oben erwähnten Orientierungssystem gezeichnet worden. Die Würfel wurden sodann mit der Handsäge herausgeschnitten und durch Hobeln von Hand in der Stoßlade<sup>1)</sup> auf genaue Größe gebracht.

Die Aufbewahrung der Würfel erfolgte in Blechgefäßen im Laboratoriumsraum. Es wurde dafür Sorge getragen, daß die Temperatur bei 18° und der Feuchtigkeitsgehalt im Laboratorium ungefähr bei 45% relative Feuchtigkeit konstant gehalten wurden. Die Kontrolle geschah durch einen schreibenden Thermohygrographen, der in der Mitte des Raumes aufgestellt war. Dieser wiederum wurde mit einem Aspirationspsychrometer periodisch geeicht.

Die künstliche Trocknung wurde so weit geführt, daß der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes im Gleichgewicht mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Laboratorium stand. Die danach noch möglichen Schwankungen des Feuchtigkeitsgehaltes des Holzes sind so gering, daß sie praktisch ohne Einfluß auf die qualitative Beurteilung der Meßwerte sind. Die Schwankungen während einer Messung sind selbstverständlich erst recht ohne jede Bedeutung.

## **B. Die Durchführung der Versuche**

### **1. Herstellung der Verbindung zwischen Holz und Stahl**

Die erste Aufgabe bei Inangriffnahme der Versuche war die Schaffung einer neuartigen „Einspannung“ für die Probekörper. Alle bisherigen Versuche zur Bestimmung des Schubmoduls von Holz entfernten sich erheblich durch die Art der Einspannung der Probekörper von den durch die theoretische Definition des Schubmoduls gegebenen Bedingungen, ganz abgesehen von den Experimenten mit sogenannten Schubkörpern (184). Auch die Bestimmung des Schubmoduls aus dem Verdrehungsversuch, der bekanntlich einen relativ langen Stab erfordert, kann bei Holz nicht zu richtigen Werten führen, wenn auf der Meßlänge die Homogenität der Jahresringstruktur nicht genügend gewährleistet ist. Das aber ist z. B. bei den Orientierungen III und IV auf Tafel 1 technisch kaum zu erreichen. Daß man streng genommen —

---

<sup>1)</sup> Einspannvorrichtung der Tischler für kleine Holzteile.

bei jeder Methode — zu einer Bestimmung der wahren Moduln beim Holz die Lage der tatsächlichen „Kristallachsen“ erst bestimmen müßte, hat Hörig betont (29, S. 378).

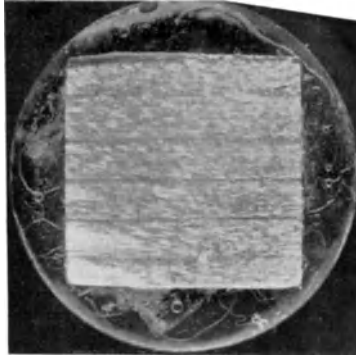


Abb. 7. Bild einer Fuge<sup>1)</sup> zwischen Glas und Holz. Die Fuge wurde durch Abdrücken gewaltsam zerstört. Der Bruch erfolgte dicht neben der Fuge. Sehr häufig verlief der Bruch im vollen Holz. Verleimung  $\tau_{x, \pm y}$  bzw.  $\tau_{x, \pm z}$



Abb. 8. Bild einer schlechten Fuge zwischen Stahl und Holz. Grund: Un-  
genügende Entfettung der Stahlscheibe. Die Fuge wurde durch Abdrücken  
gewaltsam zerstört. Verleimung  $\tau_{z, \pm x}$  bzw.  $\tau_{z, \pm y}$

Die Verleimung des Holzes mit einem Material, dessen Konstanten ungleich größer sind, bot die Möglichkeit, eine Einspannung zu schaffen, die den theoretischen Anforderungen näher kommt. Sie bietet dem

<sup>1)</sup> Verleimfläche.

Theoretiker eine einwandfreie Unterlage für die Behandlung der „Grenzflächen“, da die in den Verleimungsflächen angreifenden „äußeren Kräfte“ hier tatsächlich gleichmäßig über die Fläche verteilt sind, und diese selbst wegen der im Vergleich zum Holz als starr zu betrachtenden Stahlflächen bei der Deformation des Holzes eben bleiben.

Nach langen systematischen Versuchen gelang es, das Holz mit Stahl und Glas so einwandfrei zu verleimen, daß die Fugenfestigkeit die Holzfestigkeit erreichte und übertraf.

Die Schwierigkeiten bei der Beschaffung des Leimes wurden durch die folgenden Bedingungen verursacht:

1. Die Haftfähigkeit des Leimes sowohl auf dem Stahl als auch auf dem Holz sollte so gut sein, daß die Festigkeit der Fuge die des zu untersuchenden Holzes übertraf oder mindestens erreichte.

2. Die Vorbehandlung des Holzes sollte frei von chemischen oder thermischen Vorgängen, wie z. B. starker Erwärmung, sein.

3. Der Verleimvorgang sollte sich ohne Anwendung hohen Verleimdruckes vollziehen.

4. Auch Hirnschnitte sollten einwandfrei verleimt werden. (Die Verleimung von Hirnschnitten macht bereits bei Verbindung von Holz mit Holz große Schwierigkeiten.)

## 2. Die konstruktive Durchbildung der Versuchsanordnung

a) Die Aufnahme der Probekörper und der Verleimvorgang

Die Notwendigkeit, die Messungen an den Probekörpern in den verschiedensten Winkelstellungen zu dem gewählten Achsensystem vorzunehmen, führte zu der Wahl von Zylindern zur Aufnahme der Probekörper (Abb. 9). Gegen die plangeschliffenen Stirnflächen der Zylinder wurden die Probekörper geleimt.

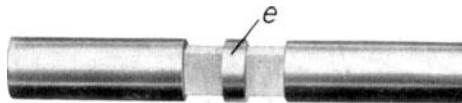


Abb. 9. Die Stahlzylinder mit den zwischengeleimten Holzwürfeln

Die Zylinder wurden mit Schiebeseitz in die Bohrung der Blöcke *a* und *b* eingeführt, die auf einer gemeinsamen Grundplatte *c* befestigt waren (Abb. 10). Die beiden Bohrungen in den Blöcken wurden mit größter Sorgfalt hergestellt, um sie zum genauen Fluchten zu bringen. Die Feststellschrauben *F* dienten als Sicherung gegen Eigenbewegungen



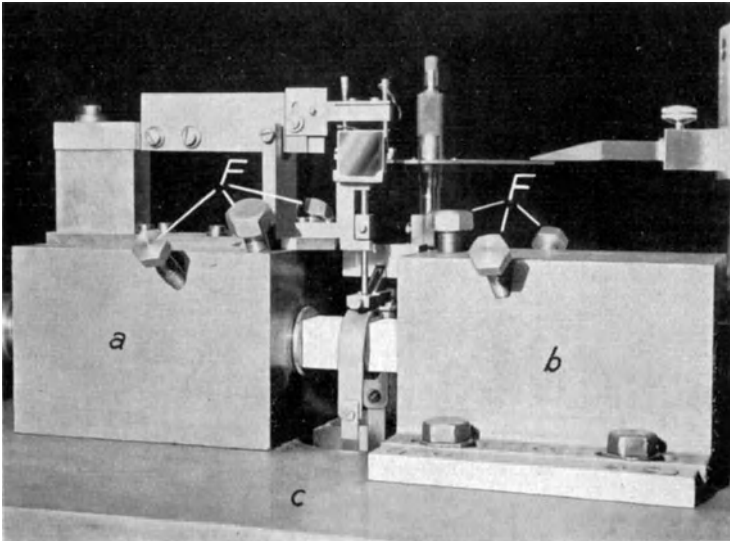


Abb. 10. Die Versuchsanordnung

der Zylinder. Neben den Vorteilen während der Messungen erwies sich die Zylinderform der Aufnahmeorgane auch als äußerst zweckmäßig für den Verleimvorgang.

#### b) Die Belastungswaage

An die Belastungsvorrichtung waren folgende Forderungen zu stellen:

1. Laststufen von 0,5 zu 0,5 kg bis zu einer Höchstlast von 50 kg.
2. Stoßfreier Angriff der Last.
3. Regelungsmöglichkeit der Aufbringungsgeschwindigkeit der Last.
4. Fernsteuerung.
5. Schwingungsfreier Angriff der Last.
6. Unempfindlichkeit gegen Stöße.

Auf Grund dieser Forderungen und um die Kosten niedrig zu halten, fiel die Wahl für die Belastungsvorrichtung auf eine Hebelwaage (Abb. 11).

Der sich in Kugellagern sehr leicht drehende Hebel  $h$  steht durch ein besonderes Zugorgan  $i$  mit der Stahlscheibe, an der die Belastung angreifen soll, in Verbindung. Mittels verschiedener Laufgewichte  $k$  können die gewünschten Laststufen auf der geeichten Skala  $p$  eingestellt werden.

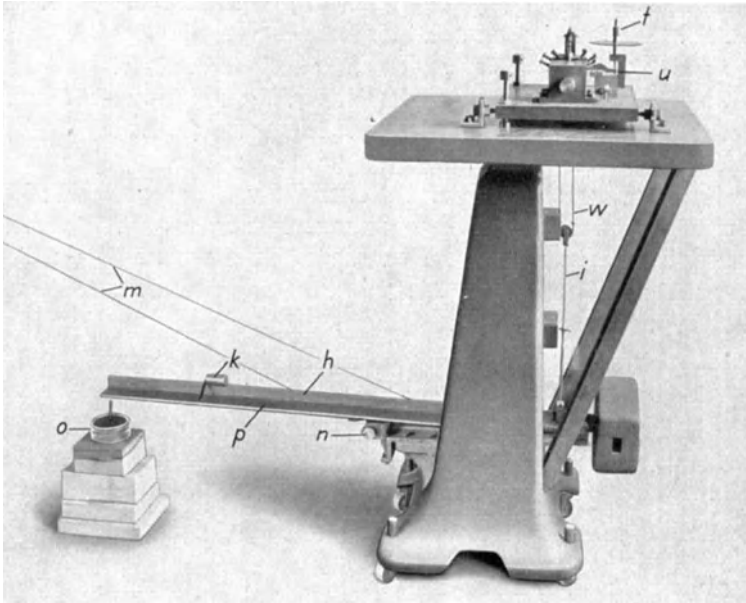


Abb. 11. Die Gesamtanordnung

Die Anbringung der Gegengewichte für den Hebel erfolgte dergestalt, daß die Verbindungslinie des rechten mit dem linken Schwerpunkt nahe durch den Drehpunkt ging, d. h. der Schwerpunkt des Systems nahe im Drehpunkt lag. Die Betätigung der Hebelwaage erfolgte durch die mit Fäden gesteuerte Bewegung eines Nockels. Die Dämpfung der Schwingungen des freien Hebels geschah durch eine einfache mit Paraffin gefüllte Flüssigkeitsbremse *o*, deren Einbau eine Nacheichung bedingte.

### c) Die Spiegelmeßvorrichtung

Bei der Wahl der Meßvorrichtung für die Bewegungen der Probekörper unter dem Einfluß der Last war die Notwendigkeit, mit den dem Laboratorium zur Verfügung stehenden Mitteln auszukommen von einschneidender Bedeutung. Die Wahl fiel auf eine optische Methode, die Winkelmessung mit Spiegel und Skala. Es wurde ein Spiegelhalter konstruiert, wie ihn Abb. 10 zeigt. Die Spitze des unteren Fühlstiftes, der sich auf die Mittelscheibe *e* (Abb. 9) bzw. eine Kugel *q* des Eichhebels aufsetzt, trägt den Halter für den Spiegel, der in seiner Lage ferner durch die Spitzen zweier anderer senkrecht von oben angebrachter Stifte gesichert

wird. Die geschliffenen und polierten Spitzen der Stifte ruhen in Achatpfannen. Die Spitze des Fühlstiftes steht in einem gewissen Abstände zu der Verbindungslinie der beiden anderen Spitzen. Bei Bewegungen des Fühlstiftes kippt daher der Spiegelhalter. Dieses Kippen des Spiegels wurde durch ein Fernrohr beobachtet. Es gelang, die Empfindlichkeit der Meßeinrichtung bis auf 1:10000 zu steigern. Für die meisten Messungen erwies sich eine Empfindlichkeit von 1:5000 bis 1:7000 als zweckmäßig. Der Abstand der unteren Spitze von der Verbindungslinie der beiden oberen Spitzen ist veränderlich. Bei einer Empfindlichkeit von 1:5000 und einem Abstand des Spiegels von der Skala von 2500 mm beträgt der Abstand 0,5 mm.

#### d) Die Eichvorrichtung

Die Bewegungen einer Mikrometerschraube  $t$  wurden mit einem gleicharmigen Hebel  $u$  auf den Fühlstift übertragen (Abb. 11). Eine bestimmte Drehung der Mikrometerschraube wurde dann mit dem entsprechenden Ausschlag auf der Skala verglichen. Die Genauigkeit der Ablesung an der Mikrometerschraube wurde durch eine aufgesetzte Teilscheibe erhöht. Ferner wurde stets das Mittel aus mindestens drei Ablesungen genommen und dafür Sorge getragen, daß bei Einstellung der Mikrometerschraube der Richtungssinn eingehalten wurde.

### 3. Der Gang der Untersuchung

Die aufgeleimten Würfel wurden in die zu untersuchende Stellung gedreht und die Feststellschrauben  $F$  angezogen. Die Befestigung des aus dünnem elastischen Messingband, Stahlbändern und Spansschloß bestehenden Übertragungsorganes  $i$  für die Belastung geschah durch eine Schraubenverbindung  $w$  (Abb. 11). Das obere Messingblech war an der Stelle, wo sich der Hebel der Eichvorrichtung auf die Mittelscheibe legen sollte, ausgespart.

Die symmetrische Orientierung der Würfel zu den Blöcken und damit der zentrische Angriff der Last wurde durch die Einstellung nach dem unteren Fühlstift erreicht. Die Lage dieses Stiftes blieb stets unverändert. Jetzt konnte mit den Belastungen begonnen werden. Die Belastung wurde durch die Drehung des Nockels  $n$  (Abb. 11) ausgelöst. Abgelesen wurde sofort nach vollendeter Freigabe der Last. Dieser Augenblick war bei der Beobachtung durch das Fernrohr deutlich an einem kurzzeitigen Stillstand der Bewegung des Skalenbildes über dem Fadenkreuz zu erkennen. Der Eindruck des kurzzeitigen Stillstandes wurde hervorgerufen durch eine gedämpfte Schwingung, die durch den

geringen Stoß bei der Freigabe der Last und die elastischen Kraftübertragungsorgane entsteht.

Die Beobachtung wurde für jede Laststufe mindestens dreimal wiederholt. Bei einwandfreier Leimung und unbeschädigtem Holz war die größte Differenz der drei Werte für die gleiche Belastung stets kleiner als 2,5 % bezogen auf den Mittelwert. Selbst zeitlich auseinanderliegende Beobachtungen gaben nur geringe Abweichungen der gemessenen Werte, wie das nachstehende Beispiel zeigt:

Versuchsbericht Nr. 34; Würfel: 96—97;  $1/a = 1$ ; Stellung  $\tau_{y, x}$

Datum	Uhrzeit	Skalaablesungen			Mittelwert
		mm			
3. 12. 30	22 <sup>10</sup>	328,2	328,2	328,0	11,2
		317,0	317,0	316,8	
		11,2	11,2	11,2	
4. 12. 30	10 <sup>30</sup>	325,0	324,9	324,8	10,97
		314,0	313,9	313,9	
		11,0	11,0	10,9	

Die Charakteristik der Ausschlagbewegung war so ausgeprägt, daß Störungen der Messung durch fehlerhafte Verleimung, Verletzungen des Holzes, Bewegungsbehinderung des Waagehebels usw. sich dem Beobachtenden durch augenfällige Veränderung der gewohnten typischen Bewegung sofort bemerkbar machten. Die Zeitspanne zwischen dem Beginn der Belastung und der Ablesung betrug etwa 2 bis 3 Sekunden. Es wurde nach Möglichkeit versucht, den Anteil der elastischen Nachwirkung am Gesamtausschlag auszuschalten. Die elastische Nachwirkung macht sich noch nach Stunden geltend, falls die Belastung unter Einwirkung bleibt.

#### 4. Die Fehlerquellen und die Genauigkeit der Messungen

Es soll unterschieden werden zwischen:

- a) Fehler in der Belastungswaage,
- b) Eichfehler,
- c) Fehler im Fühlstift und Spiegelhalter,
- d) Fehler der Prüfkörper.

Zu a). Zur Ermittlung der Belastungsfehler wurde eine Versuchsreihe ausgeführt, bei der die Belastungen jeweils mit der Belastungswaage und mit direkt von Hand angehängten geeichten Gewichten eines

Gewichtsatzes vorgenommen wurden. Die Ergebnisse ließen einen Unterschied zwischen den beiden Belastungen von  $\pm 0,5\%$  erkennen.

Zu b) und c). Zur Eichung, d. h. zur Feststellung der Empfindlichkeit, dienten Mikrometerschraube, Hebelübertragung, Fühlstift, Spiegelhalter, Fernrohr und Skala.

Die Fehler, die bei der Benutzung dieser Organe entstehen können, setzen sich aus den als „zufälligen Fehlern“ bezeichneten Ablesefehlern und den Instrumentenfehlern, die in der Genauigkeit der Ausführung der Organe bedingt sind, zusammen. Während die Ablesefehler das Meßergebnis ebensogut zu klein wie auch zu groß erscheinen lassen, besteht die Möglichkeit, die Instrumentenfehler durch Korrektionsangaben zu verkleinern.

Die Ablesegenauigkeit der Mikrometerschraube in Maßeinheiten ist gleich dem Quotienten aus der durch die Intervallgröße bedingten Ablesegenauigkeit in Skalenteilen und der Empfindlichkeit (14). Sie beträgt für die Mikrometerschraube:

$$\frac{1/10 \text{ Skt.}}{100} = 1 \mu,$$

und für die Fernrohrablesung:

$$\frac{1/10 \text{ Skt.}}{5000-10000} = 0,02-0,01 \mu \text{ (1 Skt. = 1 mm).}$$

Für die Meßgenauigkeit bei der Eichung ist die Güte der Ausführung der Mikrometerschraube, der Hebelübertragung, der Stiftführung und der Spiegelhalterkonstruktion maßgebend. Eine besondere Rolle spielt dabei der Meßdruck an den Berührungsstellen der Übertragungsorgane.

Die Fehler bei der Feststellung der Empfindlichkeit können mit  $\pm 1\%$  angenommen werden, wie das nachstehende Beispiel, das aus der Reihe der Messungen herausgegriffen wurde, zeigt.

Stellung der Mikrometerschraube:

Anfangsstellung . . . . .	11,36 mm
Endstellung . . . . .	11,31 „
Differenz . . . . .	0,05 mm

Fünf Ablesungen auf der Skala:

821,1	822,0	823,0	820,0	815,0 mm
490,0	491,0	491,0	488,8	487,0 „
331,1	331,0	332,0	331,2	328,0 mm

Mittelwert: 330,86 mm.

Größte Abweichung vom Mittel 2,86 mm = 0,86%.

Der Meßfehler bei einer Belastungsmessung muß kleiner sein als der beim Eichen ermittelte, da die Instrumentenfehler von Hebel und Mikrometerschraube fortfallen. Zwar bleibt der Hebel zwischen Fühlstift und Scheibe eingeschaltet, doch fällt ihm während der Belastungsmessung keine Aufgabe zu.

Bei der Auswertung der Meßergebnisse addieren sich jedoch zu den Fehlern der Belastungsmessung die der Eichung und die der Waage, wenn man von den Materialfehlern zunächst absieht.

Nimmt man den Eichfehler und den Waagefehler mit je 0,5% an, und schätzt man den Fehler bei der Belastungsmessung auf 0,3%, so ergibt sich im ungünstigsten Falle der gesamte, durch die Instrumente bedingte Fehler zu 1,3%. Im Vergleich hierzu ist die Ablesegenauigkeit als sehr hoch zu bezeichnen.

Die Genauigkeit der Messung reicht für die vorliegenden Versuche, die zunächst einen Überblick über die Erscheinungen geben sollen, aus. Eine Steigerung der Genauigkeit würde durch Verwendung einer optischen Methode (Interferenz) oder durch die Verwendung eines Thermorelais zu erreichen sein.

Zu d). Fehler der Prüfkörper. Es ist zu unterscheiden zwischen Stofffehlern und Formfehlern. Der anatomische Aufbau des Holzes birgt in sich die Möglichkeit von Materialfehlern, die die Sauberkeit der Messungen beeinflussen. Die Grundmasse des Holzes wird aus Zellulosekristallen, Lignin, Holzgummi und Harzen gebildet (28)<sup>1)</sup>. Die Bauform der Grundmasse sind die Zellen, zwischen die bei den untersuchten Nadelhölzern die Markstrahlen gebettet sind. Die Markstrahlen gehen von der Rinde nach dem Innern des Stammes, dem Kern zu. Der Aufbau der Zellen hängt, außer den für den ganzen Stamm typischen Bedingungen wie Boden, Licht usw., von klimatischen und jahreszeitlichen Einflüssen ab.

Die Materialschwankungen werden verringert durch die Entnahme der Probekörper hintereinander in Richtung der Stammachse. Hierbei ist zu beachten, daß es sich nicht lediglich um Aufbaufehler handelt, sondern daß auch die unvermeidlichen Schwankungen der Temperatur und Feuchtigkeit des Materials ihren Einfluß ausüben. In einigen Sonderreihen wurde der Versuch unternommen, den Einfluß dieser beiden letzten Faktoren zu ermitteln mit dem Resultat, daß die im Laboratoriumsraum eintretenden Schwankungen Abweichungen von maximal

---

<sup>1)</sup> Die Zellulose tritt in Faserform auf. Die Fasern sind aus kleinen Kriställchen aufgebaut, die eine bestimmte spiralförmige Regelung in der Anordnung zeigen (1, 27).

5% verursachen können. Das Holz antwortet aber so träge auf diese veränderten Bedingungen, daß während der Messungen an einem Würfel-paar in einer bestimmten Aufleimung, die höchstens vier Stunden dauerten, die Meßwerte praktisch nicht beeinflußt wurden.

Materialfehler können ferner entstehen bei der Herstellung der Probekörper. Dem wurde durch Vermeidung übermäßiger Einspannung bei der Bearbeitung und durch Verwendung schärfster Werkzeuge entgegengearbeitet.

Da bei der Anfertigung der Probekörper sehr genaue Lehren ge-braucht wurden, so konnte die Form der Versuchskörper gut eingehalten werden. Die Abweichungen bei einer Querschnittform von  $400 \text{ mm}^2$  lagen stets unter 2% und wurden überdies nach Möglichkeit in der Rechnung berücksichtigt.

## C. Die Auswertung der Messungen

### 1. Die Berechnung des Elastizitätsmoduls

Die Elastizitätsmoduln wurden durch den Biegeversuch bestimmt. Ein mit seinen Enden auf zwei Schneiden lose aufliegender Stab wurde durch eine in der Mitte angreifende Einzellast durchgebogen. Die durch die Durchbiegung hervorgerufene Neigung der Enden wurde mittels aufgesetzter Spiegel durch ein Fernrohr beobachtet.

Der Elastizitätsmodul ergibt sich sodann aus der bekannten Formel zu

$$E^1) = \frac{3 \cdot P \cdot l^2}{4 \cdot b \cdot a^3 \cdot \text{tg } \omega} \quad (1)$$

### 2. Die Berechnung des scheinbaren Schubmoduls<sup>2)</sup>

Die Berechnung des scheinbaren Schubmoduls soll unter Zuhilfenahme der schematischen Darstellung des verformten Würfelpaares (Abb. 2, S. 2) an einem Beispiel erläutert werden.

---

<sup>1)</sup> Die für  $E$  bei wiederholten Messungen erhaltenen Zahlen stimmen bis auf wenige Prozent. Die Bewertung dieser Zahlen wird aber, wenigstens bei  $E_x$  und  $E_z$  (entsprechend den Fällen I, II und III, IV auf Tafel 1) sehr erschwert durch die praktische Unmöglichkeit, Stäbe von theoretisch genügender Flachheit auch genügend homogen zu bekommen. Von dieser Schwierigkeit abgesehen konnte im vorliegenden Falle der Einfluß der sogenannten Schubkorrektur (vgl. z. B. 11, 398) auf die Durchbiegung nicht einwandfrei erfaßt werden, weil die tatsächlichen Schubmoduln hier noch nicht bestimmt sind. In den Tabellen ist daher neben den Werten für  $E$  auch der Wert für  $\text{tg } \omega$  angegeben, um spätere Korrekturrechnungen zu ermöglichen.

<sup>2)</sup> Beachte auch hier Anmerkung 1 auf S. 8.

Versuchsbericht Nr. 48

Nummern der Versuchskörper . . . . .	66 und 67
Material der Versuchskörper . . . . .	Bukowina-Fichte
Form der Versuchskörper . . . . .	Würfel
Höhe des Würfels . . . . .	$a = 20$ mm
Breite des Würfels . . . . .	$b = 20$ mm
Länge des Würfels . . . . .	$l = 20$ mm
Verkürzungsverhältnis . . . . .	$l/a = 1$
Belastung . . . . .	$P = 2$ kg
Querschnitt . . . . .	$F = 2 \cdot a \cdot b = 800$ mm <sup>2</sup>
Skalenausschlag . . . . .	$S = 13,5, 13,7, 13,5 = 13,57$ mm
Empfindlichkeit . . . . .	$e = 1/V = 15,03 \cdot 10^{-5}$
Vergrößerung . . . . .	$V = 1/e = 6648$
Verschiebung . . . . .	$u = S \cdot e = 0,002038$ mm
Verschiebung im Abstand 1 mm von der festgehaltenen Fläche	$\gamma = u/l = 0,000102$
Schubspannung . . . . .	$\tau = P/F = 0,0025$ kg/mm <sup>2</sup>
Schubmodul . . . . .	$G = \tau/\gamma = 24,5$ kg/mm <sup>2</sup>

Die Formel für die Berechnung des scheinbaren Schubmoduls bei der gewählten Versuchsanordnung mit zwei Würfeln lautet also:

$$G = \frac{P \cdot l}{2 \cdot a \cdot b \cdot S \cdot e} \quad 1) \quad (2)$$

für einen Würfel:

$$G = \frac{P \cdot l}{a \cdot b \cdot S \cdot e} \quad (3)$$

### 3. Zusammenstellung der Messungen

Die bei den Biege- und Schubbeanspruchungen an Bukowina-Fichte gemessenen Effekte sind in den Tabellen 1, 2, 3 und 4 zusammengestellt.

---

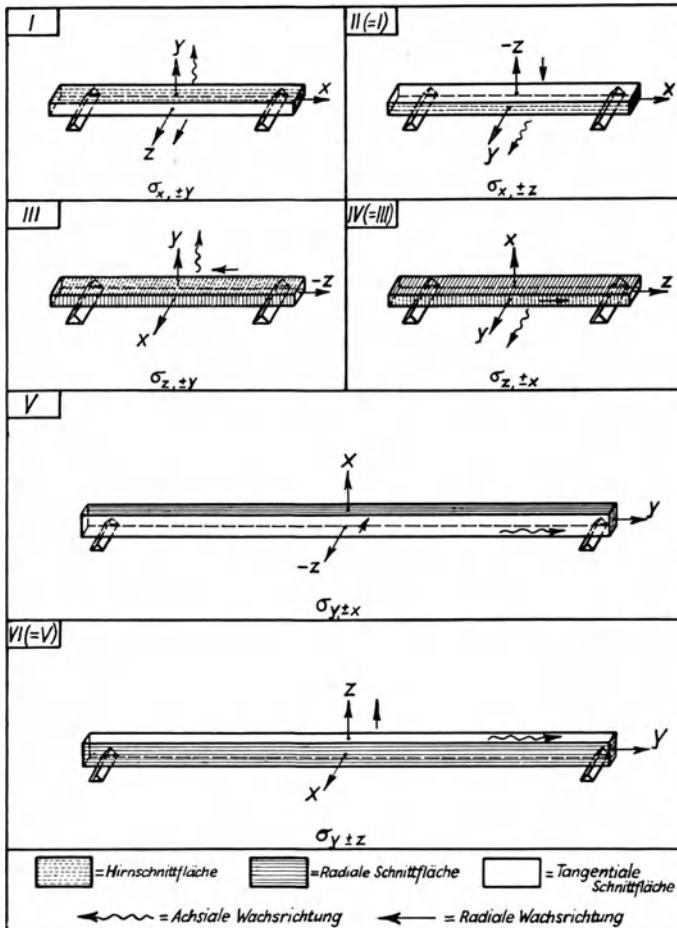
<sup>1)</sup> Es sei nochmals betont, daß diese scheinbaren Schubmoduln nur Zahlen sind, welche die Messungsergebnisse der vorliegenden Arbeit in einfacher Weise wiedergeben. Tatsächlich ist die gemessene Senkung des starren Mittelstückes (bei der ersten Formel) oder der starren Endplatte (bei der zweiten Formel) das Resultat einer sehr komplizierten Verformung, bei der Dehnung, Schub und Querdeformation zusammenwirken. Vgl. Anmerkung 1 auf S. 8.



Um den Überblick über die Tabellen zu erleichtern, sind die Tafeln I und 2 entworfen.

In diesen Tafeln sind alle Stellungen, in denen die Feststellung der elastischen Effekte erfolgte, schematisch dargestellt.

Tafel I. Vereinfachte Darstellung der Versuchsanordnung bei der Ermittlung der Elastizitätsmoduln<sup>1)</sup>



<sup>1)</sup> Die Flachstäbe für die Anordnungen I und II wurden durch Verleimen sorgfältig ausgesuchter, benachbarter Abschnitte hergestellt.

Tafel 2. Vereinfachte Darstellung der Versuchsanordnung bei der Ermittlung der „Schubmoduln“

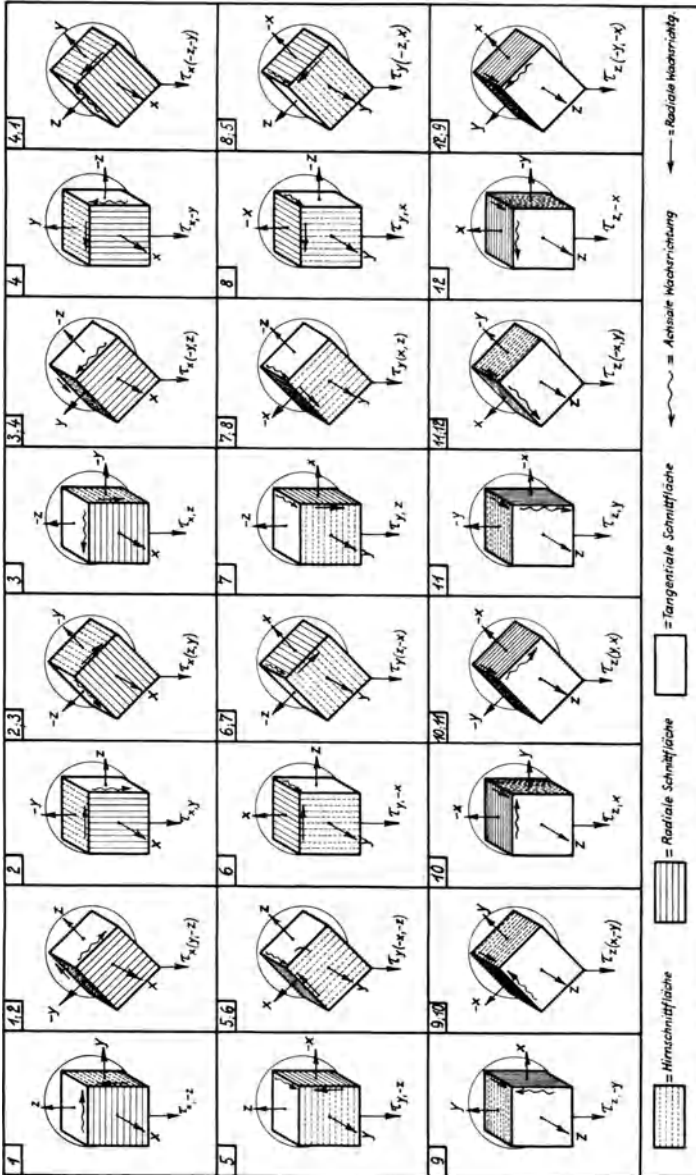


Tabelle 1. Werte für die Elastizitäts- und „Schubmoduln“ von Bukowina-Fichte. Material Nr. 70

Spalte	Lfde. Nr.:	1	2	3	4	5
1	Versuchsb. Nr. . . . . .	55	55	54	55	57
2	Material Nr. . . . . .	70	70	70	70	70
3	Nr. des Versuchskörpers .	159	157	143	162	73
4	Form des Versuchskörpers	Flachstab	Flachstab	Flachstab	Flachstab	Stab
5	$a$ . . . . . mm	6	6	6,3	5,8	6)
6	$b$ . . . . . „	20	20	9	20	6)
7	$l$ . . . . . „	100	100	100	100	631
8	$l/a$ . . . . .	16,6	16,6	15,8	17,25	7)
9	$P$ . . . . . kg	0,5	0,5	0,5	0,5	5,034
10	$\sigma \cdot 10^3$ . . . . . kg/mm <sup>2</sup>	4,17	4,17	3,45	4,31	13,37
11	Raumgewicht <sup>1)</sup> . . . . . g cm <sup>3</sup>	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
12	Feuchtigkeitsgehalt <sup>2)</sup> . . . . . %	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
13	Zahl der Jahresringe je cm	13	13	13	12,6	13
14	Spätholzanteil <sup>3)</sup> . . . . . %	24	24	22	22	18
	I $E_{x, \pm y}$ <sup>4) 5)</sup> . . . . . kg/mm <sup>2</sup>	75,8	—	—	—	—
	$tg \omega \cdot 10^3$ . . . . .	11,45	—	—	—	—
	II $E_{x, \pm z}$ . . . . .	—	69,4	—	—	—
	$tg \omega \cdot 10^3$ . . . . .	—	12,51	—	—	—
	III $E_{z, \pm y}$ . . . . .	—	—	95,5	—	—
	$tg \omega \cdot 10^3$ . . . . .	—	—	17,47	—	—
	IV $E_{z, \pm x}$ . . . . .	—	—	—	136,8	—
	$tg \omega \cdot 10^3$ . . . . .	—	—	—	7,025	—
	V $E_{y, \pm z}$ . . . . .	—	—	—	—	1102
	$tg \omega \cdot 10^3$ . . . . .	—	—	—	—	9,54
	VI $E_{y, \pm x}$ . . . . .	—	—	—	—	1112
	$tg \omega \cdot 10^3$ . . . . .	—	—	—	—	9,64

1) Ermittelt nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz (Darrgewicht).

2) Bezogen auf das Darrgewicht.

3) Angegeben in Prozent der Jahresringbreite.

4) Für die Erklärung der Zeichen siehe Tafel 1.

5) Die Werte für die Elastizitätsmoduln sind ohne Schubkorrektur angegeben. (Die Werte für die Flachstäbe 143 und 162 bedürfen der Nachprüfung.)

6)  $a$  in Richtung der  $x$ -Achse = 19,3 mm.

$a$  in Richtung der  $z$ -Achse = 19,5 mm.

7)  $l/a_x = 32,7$ ;  $l/a_z = 32,35$ .

Tabelle I (Fortsetzung). Material Nr. 70

Spalte	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	39	38	39	38	39	50	50	50	50	45	37	45	45
2	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
3	88-89	86-87	88-89	86-87	88-89	108-109	108-109	108-109	108-109	94-95	84-85	94-95	94-95
4	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel
5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
6	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
7	20	20	10	10	5	5	10	10	5	20	20	10	4
8	1	2	4	4	8	1	1	0,5	0,25	1	1	0,5	0,2
9	4	2	4	4	8	4	4	4	2	2	1	4	4
10	5,0	2,5	5,0	5,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	2,5	2,5	5,0	5,0
11	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
12	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
13	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	12,5	12,5	12,5	12,5	13	13	13	13
14	18	18	18	18	18	19	19	19	19	21	18	21	21
1	$G_x, -z$	—	4,01	—	4,55	$G_y, -z$	—	65,2	63,1	$G_z, -y$	—	52,8	53,2
	$w \cdot 10^3 z$	—	12,47	—	10,99	$w \cdot 10^3 z$	—	0,767	0,396	$w \cdot 10^3 y$	—	0,947	0,376
1,2	$G_x, (y, -z)$	—	—	7,32	—	$G_y, (-x, -z)$	—	—	—	$G_z, (x, -y)$	—	—	—
	$w \cdot 10^3 z$	—	—	6,83	—	$w \cdot 10^3 z$	—	—	—	$w \cdot 10^3 y$	—	—	—
2	$G_x, y$	—	50,4	—	50,2	$G_y, -x$	—	64,9	56,2	$G_z, x$	—	3,87	3,705
	$w \cdot 10^3 z$	—	0,984	—	0,992	$w \cdot 10^3 z$	—	0,721	0,445	$w \cdot 10^3 z$	—	12,91	5,395
2,3	$G_x, (z, y)$	—	—	7,5	—	$G_y, (z, -x)$	—	—	—	$G_z, (y, x)$	—	—	—
	$w \cdot 10^3 z$	—	—	6,66	—	$w \cdot 10^3 z$	—	—	—	$w \cdot 10^3 x$	—	—	—
3	$G_x, z$	—	3,765	—	4,535	$G_y, z$	—	62,6	59,1	$G_z, y$	—	—	—
	$w \cdot 10^3 z$	—	13,285	—	11,02	$w \cdot 10^3 z$	—	1,61	0,423	$w \cdot 10^3 z$	—	48,5	54,1
3,4	$G_x, (-y, z)$	—	—	6,41	—	$G_y, (x, z)$	—	63,2	—	$G_z, (-x, y)$	—	—	—
	$w \cdot 10^3 z$	—	—	7,8	—	$w \cdot 10^3 z$	—	—	—	$w \cdot 10^3 z$	—	—	—
4	$G_x, -y$	—	48,8	—	51,9	$G_y, x$	—	67,1	61,0	$G_z, -x$	—	4,14	3,84
	$w \cdot 10^3 z$	—	1,024	—	0,962	$w \cdot 10^3 z$	—	0,745	0,409	$w \cdot 10^3 z$	—	12,08	5,21
4,1	$G_x, (-z, -y)$	—	—	7,94	—	$G_y, (-z, x)$	—	—	—	$G_z, (-y, -x)$	—	—	—
	$w \cdot 10^3 z$	—	—	6,3	—	$w \cdot 10^3 z$	—	—	—	$w \cdot 10^3 z$	—	—	—

1) Für die Erklärung der Zeichen siehe Tafel 2. — 2) Angegeben in Millimeter.

Tabelle 2. Werte für die Elastizitäts- und „Schubmoduln“  
von Bukowina-Fichte. Material Nr. 1

Spalte	Lfd. Nr.:	1	2	3	4	5
1	Versuchsbericht Nr. . . . .	56	56	56	53	32
2	Material Nr. . . . . .	1	1	1	1	1
3	Nr. des Versuchskörpers .	150	153	164	5	69
4	Form des Versuchskörpers	Flachstab	Flachstab	Flachstab	Flachstab	Stab
5	$a$ . . . . . mm	5,8	5,7	6,0	6,8	6)
6	$b$ . . . . . "	20,25	20,0	20,2	20,0	6)
7	$l$ . . . . . "	100	100	100	100	631
8	$l/a$ . . . . .	17,2	17,55	16,66	14,7	7)
9	$P$ . . . . . kg	0,5	0,5	0,5	0,5	5,034
10	$\tau \cdot 10^3$ . . . . . kg/mm <sup>2</sup>	4,26	4,38	4,125	3,98	13,1
11	Raumgewicht 1) . . g/cm <sup>3</sup>	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
12	Feuchtigkeitsgehalt <sup>2)</sup> . %	7,5	7,5	7,5	7,5	7,8
13	Zahl der Jahresringe je cm	3	3	3	2,8	3
14	Spätholzanteil <sup>3)</sup> . . . %	10	12,9	14,8	11	13
	I $E_x, \pm y$ <sup>4)</sup> . kg/mm <sup>2</sup>	41,65	—	—	—	—
	$tg \omega$ . . . . .	0,0228	—	—	—	—
	II $E_x, \pm z$ . . . . .	—	34,2	—	—	—
	$tg \omega$ . . . . .	—	0,02965	—	—	—
	III $E_z, \pm y$ . . . . .	—	—	88,6	—	—
	$tg \omega$ . . . . .	—	—	0,0097	—	—
	IV $E_z, \pm x$ . . . . .	—	—	—	88,7	—
	$tg \omega$ . . . . .	—	—	—	0,00673	—
	V $E_y, \pm z$ . . . . .	—	—	—	—	797
	$tg \omega$ . . . . .	—	—	—	—	0,012925
	VI $E_y, \pm x$ . . . . .	—	—	—	—	797
	$tg \omega$ . . . . .	—	—	—	—	0,01265

1) Ermittelt nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz (Darrgewicht).  
 2) Bezogen auf das Darrgewicht.  
 3) Angegeben in Prozenten der Jahresringbreite.  
 4) Für die Erklärung der Zeichen siehe Tafel 1.  
 5) Die Werte für die Elastizitätsmoduln sind ohne Schubkorrektur angegeben.  
 6)  $a$  in Richtung der  $x$ -Achse = 19,5 mm.  
 $a$  in Richtung der  $z$ -Achse = 19,7 mm.  
 7)  $l/a_x = 32,35$ ;  $l/a_z = 32,03$ .

Tabelle 2 (Fortsetzung). Material 1

Spalte	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 . . . . .	48	47	47	46	46	46	44	44	44
2 . . . . .	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 . . . . .	66-67	64-65	64-65	62-63	62-63	62-63	60-61	60-61	60-61
4 . . . . .	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel
5 . . . . .	20	20	20	20	20	20	20	20	20
6 . . . . .	20	20	20	20	20	20	20	20	20
7 . . . . .	20	10	4	20	10	4	20	10	4
8 . . . . .	1	0,5	0,2	1	0,5	0,2	1	0,5	0,2
9 . . . . .	2	4	4	4	4	4	2	4	4
10 . . . . .	2,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	2,5	5,0	5,0
11 . . . . .	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
12 . . . . .	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
13 . . . . .	3	3	3	3	3	3	3	3	3
14 . . . . .	13,4	10	10	11	11	11	10	10	10
<b>1</b> $G_x, -z^1)$	2,33	2,45	3,01	54,9	57,7	57,3	28,4	43,6	44,3
$u \cdot 10^3 2)$	21,4	20,4	6,63	1,82	0,866	0,349	1,76	1,145	0,4515
<b>2</b> $G_x, y$	25,2	39,8	47,9	56,4	61,7	49,0	2,06	2,31	2,57
$u \cdot 10^3$	1,985	1,25	0,417	1,77	0,81	0,4085	24,27	21,64	7,77
<b>3</b> $G_x, z$	2,34	2,34	3,07	56,1	63,2	48,3	29,7	41,7	45,3
$u \cdot 10^3$	21,38	21,38	6,52	1,78	0,79	0,414	1,684	1,199	0,441
<b>4</b> $G_x, -y$	24,5	39,4	46,25	54,9	59	49,25	2,18	2,20	2,50
$u \cdot 10^3$	2,04	1,27	0,432	1,82	0,847	0,496	22,94	22,73	7,72

1) Für die Erklärung der Zeichen siehe Tafel 2. — 2) Angegeben in Millimeter.

Tabelle 3. Werte für die „Schubmoduln“ von Bukowina-Fichte.  
Material Nr. 12

Spalte	Lfde. Nr.:			3	4
		1	2		
1	Versuchsbericht Nr. . .	40	26	19	21
2	Material Nr. . . . . .	12	12	12	12
3	Nr. des Versuchskörpers	19—20	21—22	45—46	49—50
4	Form d. Versuchskörpers	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel
5	$a$ . . . . . mm	20	20	20	20
6	$b$ . . . . . „	20	20	20	20
7	$l$ . . . . . „	20	20	20	20
8	$l/a$ . . . . .	1	1	1	1
9	$P$ . . . . . kg	2	2	2	2
10	$\tau \cdot 10^3$ . . . . . kg/mm <sup>2</sup>	2,5	2,5	2,5	2,5
11	Raumgewicht <sup>1)</sup> g/cm <sup>3</sup>	0,39	0,39	0,39	0,39
12	Feuchtigkeitsgehalt <sup>2)</sup> % <sub>0</sub>	9	9	9	9
13	Zahl d. Jahresringe je cm	10	10	10	10
14	Spätholzanteil <sup>3)</sup> . . . .	22,7	21	18	18,3
	<b>1</b> $G_{x, -z}$ <sup>4)</sup> kg/mm <sup>2</sup>	2,564	—	<b>5</b> $G_{y, -z}$ . .	<b>9</b> $G_{z, -y}$ .
	$u \cdot 10^3$ . . . . . mm	19,44	—	$u \cdot 10^3$ . . .	$u \cdot 10^3$ . .
	<b>1, 2</b> $G_{x, (y, -z)}$ . . . . .	—	4,64	<b>5, 6</b> $G_{y, (-x, -z)}$	<b>9, 10</b> $G_{z, (x, -y)}$
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	—	10,85	$u \cdot 10^3$ . . .	$u \cdot 10^3$ . .
	<b>2</b> $G_{x, y}$ . . . . .	30,0	—	<b>6</b> $G_{y, -x}$ . .	<b>10</b> $G_{z, x}$ . .
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	1,665	—	$u \cdot 10^3$ . . .	$u \cdot 10^3$ . .
	<b>2, 3</b> $G_{x, (z, y)}$ . . . . .	—	4,28	<b>6, 7</b> $G_{y, (z, -x)}$	<b>10, 11</b> $G_{z, (y, x)}$
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	—	11,65	$u \cdot 10^3$ . . .	$u \cdot 10^3$ . . .
	<b>3</b> $G_{x, z}$ . . . . .	2,667	—	<b>7</b> $G_{y, z}$ . . .	<b>11</b> $G_{z, y}$ . .
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	18,75	—	$u \cdot 10^3$ . . .	$u \cdot 10^3$ . .
	<b>3, 4</b> $G_{x, (-y, z)}$ . . . . .	—	4,20	<b>7, 8</b> $G_{y, (x, z)}$	<b>11, 12</b> $G_{z, (-x, y)}$
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	—	11,9	$u \cdot 10^3$ . . .	$u \cdot 10^3$ . . .
	<b>4</b> $G_{x, -y}$ . . . . .	30,7	—	<b>8</b> $G_{y, x}$ . . .	<b>12</b> $G_{z, -x}$ . .
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	1,629	—	$u \cdot 10^3$ . . .	$u \cdot 10^3$ . .
	<b>4, 1</b> $G_{x, (-z, -y)}$ . . . .	—	4,45	<b>8, 5</b> $G_{y, (-z, x)}$	<b>12, 9</b> $G_{z, (-y, -x)}$
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	—	11,25	$u \cdot 10^3$ . . .	$u \cdot 10^3$ . . .

- 1) Ermittelt nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz (Darrgewicht).
- 2) Bezogen auf das Darrgewicht.
- 3) Angegeben in Prozenten der Jahresringbreite.
- 4) Für die Erklärung der Zeichen siehe Tafel 2.
- 5)  $E_{y, \pm x}$  und  $E_{y, \pm z}$  bei Material Nr. 12 = 1253 bzw. 1275 kg/mm<sup>2</sup>.

Tabelle 4. Werte für die „Schubmoduln“ von Bukowina-Fichte.  
Material Nr. 32 I

Spalte	Lfde. Nr.:						
		1		2		3	4
1	Versuchsbericht Nr. . .	36		34		42	35
2	Material Nr. . . . .	32 I		32 I		32 I	32 I
3	Nr. des Versuchskörpers	100-101		96-97		102-103	98-99
4	Form d. Versuchskörpers	Würfel		Würfel		Würfel	Würfel
5	a . . . . . mm	20		20		20	20
6	b . . . . . "	20		20		20	20
7	l . . . . . "	20		20		20	20
8	l/a . . . . .	1		1		1	1
9	P . . . . . kg	2		4		2	2
10	$\tau \cdot 10^3$ . . . . . kg/mm <sup>2</sup>	2,5		5,0		2,5	2,5
11	Raumgewicht <sup>1)</sup> g/cm <sup>3</sup>	0,38		0,38		0,38	0,38
12	Feuchtigkeitsgehalt <sup>2)</sup> %	8		8		8	8
13	Zahl d. Jahresringe je cm	11		11		11	11
14	Spätholzanteil <sup>3)</sup> . . %	26		26		26	26
	<b>1</b> $G_{x, -z}$ <sup>4)</sup> kg/mm <sup>2</sup>	3,29	<b>5</b> $G_{y, -z}$ . .	85,6	<b>9</b> $G_{z, -y}$ .	28,47	—
	$u \cdot 10^3$ . . . . . mm	15,2	$u \cdot 10^3$ . . . .	1,17	$u \cdot 10^3$ . . .	1,756	—
	<b>1, 2</b> $G_{x, (y, -z)}$ . . . . .	6,62	<b>5, 6</b> $G_{y, (-x, -z)}$	84,4	<b>9, 10</b> $G_{z, (x, -y)}$	—	5,12
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	7,55	$u \cdot 10^3$ . . . .	1,18	$u \cdot 10^3$ . . .	—	9,77
	<b>2</b> $G_{x, y}$ . . . . .	36,8	<b>6</b> $G_{y, -x}$ . . . .	82,75	<b>10</b> $G_{z, x}$ . . . .	3,24	—
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	1,358	$u \cdot 10^3$ . . . .	1,21	$u \cdot 10^3$ . . .	15,44	—
	<b>2, 3</b> $G_{x, (z, y)}$ . . . . .	5,27	<b>6, 7</b> $G_{y, (z, -x)}$	80,7	<b>10, 11</b> $G_{z, (y, x)}$ .	—	6,66
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	9,49	$u \cdot 10^3$ . . . .	1,24	$u \cdot 10^3$ . . .	—	7,505
	<b>3</b> $G_{x, z}$ . . . . .	3,4	<b>7</b> $G_{y, z}$ . . . . .	80,7	<b>11</b> $G_{z, y}$ . . . .	26,8	—
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	14,7	$u \cdot 10^3$ . . . .	1,24	$u \cdot 10^3$ . . .	1,865	—
	<b>3, 4</b> $G_{x, (-y, z)}$ . . . . .	6,48	<b>7, 8</b> $G_{y, (x, z)}$ .	83,8	<b>11, 12</b> $G_{z, (-x, y)}$	—	5,18
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	7,715	$u \cdot 10^3$ . . . .	1,192	$u \cdot 10^3$ . . .	—	9,655
	<b>4</b> $G_{x, -y}$ . . . . .	36,18	<b>8</b> $G_{y, x}$ . . . . .	86,2	<b>12</b> $G_{z, -x}$ . . . .	3,29	—
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	1,382	$u \cdot 10^3$ . . . .	1,162	$u \cdot 10^3$ . . .	15,2	—
	<b>4, 1</b> $G_{x, (-z, -y)}$ . . . .	5,57	<b>8, 5</b> $G_{y, (-z, x)}$	87,9	<b>12, 9</b> $G_{z, (-y, -x)}$	—	5,85
	$u \cdot 10^3$ . . . . .	8,975	$u \cdot 10^3$ . . . .	1,137	$u \cdot 10^3$ . . .	—	8,545

- 1) Ermittelt nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz (Darrgewicht).
- 2) Bezogen auf das Darrgewicht.
- 3) Angegeben in Prozenten der Jahresringbreite.
- 4) Für die Erklärung der Zeichen siehe Tafel 1.
- 5)  $E_{y, \pm x}$  und  $E_{y, \pm z}$  bei Material Nr. 32 I = 1200 bzw. 1243 kg/mm<sup>2</sup>.



#### 4. Besprechung der Messungen

##### 1. Die Verschiebungen in Abhängigkeit von den Spannungen (Hookesche Gerade)

Die Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes für das untersuchte Material wurde wiederholt nachgeprüft und stets bestätigt gefunden.

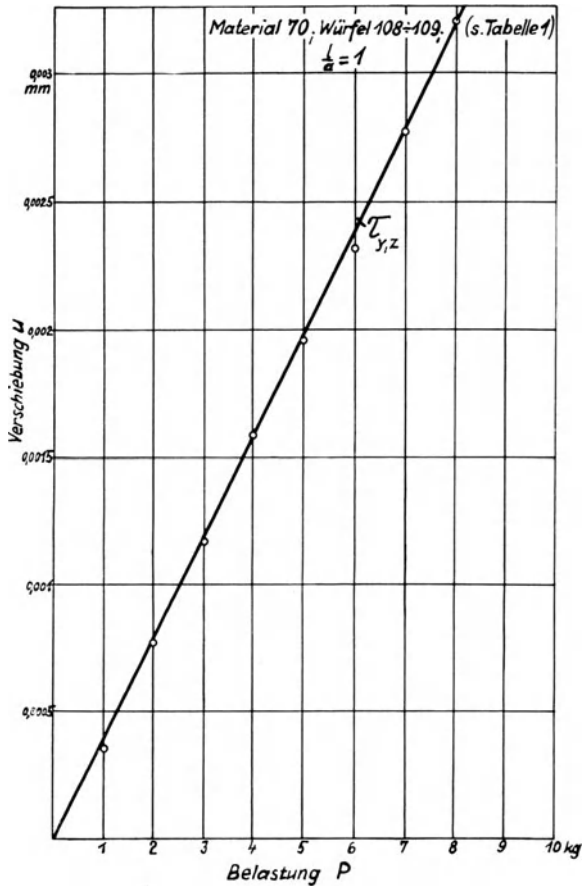


Abb. 12. Die Verschiebungen in Abhängigkeit von den Spannungen (Hookesche Gerade)

Ein Beispiel wird in der graphischen Darstellung der Abb. 12 gezeigt. Die Verformungen wurden für die bei den vorliegenden Untersuchungen zur Anwendung kommenden spezifischen Belastungen verhältnismäßig den Spannungen gefunden.

2. Auszug aus den Tabellen 1 und 2

Einen Auszug aus den Tabellen 1 und 2 gibt die Tabelle 5 wieder. Es wurde aus den  $\beta$ -Werten zweier Schubmessungen, die in um  $180^\circ$  verschiedenen Stellungen der Würfel vorgenommen wurden, das Mittel gebildet. Darauf wurden die Werte nach der Größe geordnet und zusammengefaßt. Es sei jedoch gleich an dieser Stelle betont, daß diese Zusammenfassung der Werte — wenn auch durch die bisherigen Versuchsergebnisse gegeben — eine willkürliche ist, die nur unter ausdrücklichen Hinweis auf die Versuchsanordnung begründet ist. Die Zusammenfassung ist geschehen, um dem Konstrukteur einen Überblick über charakteristische Erscheinungen am Werkstoff Holz zu geben (vgl. hierzu das Schlußwort S. 38).

Tabelle 5. Zusammenfassung der Werte für die „Schubmoduln“ aus Tabelle 1 und 2

	Material Nr. 1		Material Nr. 70	
	$l/a = 1$ kg/mm <sup>2</sup>	$l/a = 0,5$ kg/mm <sup>2</sup>	$l/a = 1$ kg/mm <sup>2</sup>	$l/a = 0,5$ kg/mm <sup>2</sup>
<b>1, 3<sup>1)</sup></b> $G_{x, \pm z}$ . . . . .	2,34	2,40	3,51	3,88
<b>10, 12</b> $G_{z, \pm x}$ . . . . .	2,37	2,25	3,87	4,00
<b>2, 4</b> $G_{x, +y}$ . . . . .	24,85	39,60	33,60	50,00
<b>9, 11</b> $G_{z, \pm y}$ . . . . .	29,10	42,60	45,60	50,60
<b>5, 7</b> $G_{y, \pm z}$ . . . . .	55,60	60,40	63,90	64,90
<b>6, 8</b> $G_{y, \pm x}$ . . . . .	55,65	60,30	63,10	66,00

Bei der Betrachtung der in dieser Tabelle aufgeführten Werte fällt auf, daß man in der Hauptsache drei Werte für den „Schubmodul“ unterscheiden muß. Besonders klar treten diese Verhältnisse bei den verkürzten Würfeln  $l/a = 0,5$  auf. Den geringsten Formänderungswiderstand zeigt das Fichtenholz bei Schiebungen um die  $y$ -Achse, d. h. um die Achse des Stammes. Die 12- bis 15fachen Werte zeigt das Holz bei Schiebungen um die  $z$ - und  $x$ -Achse in Richtung der Stammachse. Der Widerstand steigt bis auf das etwa 25fache des geringsten Wertes bei Schiebungen um die  $x$ -Achse in Richtung des Stammradius und bei Schiebungen um die  $z$ -Achse in Richtung einer Tangente an den Stamm.

Diese prinzipiellen Unterschiede der Werte für den „scheinbaren Schubmodul“ zeigten sich bei allen bisher untersuchten Stämmen der Bukowina-Fichte.

<sup>1)</sup> Die fettgedruckten Zahlen beziehen sich auf die Tafel 2.

Tabelle 6. Einfluß der Profile der Versuchskörper auf die Schubeffekte

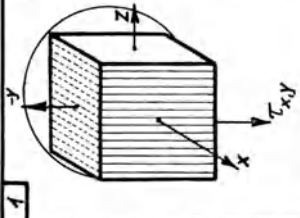
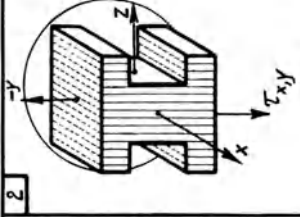
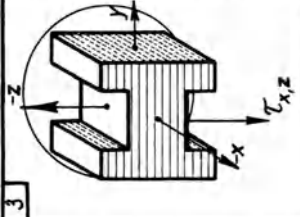
	1	2	3
			
Versuchsbericht Nr. . . . .	48	48	48
Material Nr. . . . .	66-67	66-67	66-67
Nr. des Versuchskörpers . . . . .	Würfel	—	—
Form des Versuchskörpers . . . . .	20	20	20
a . . . . .	20	20	20
b . . . . .	20	20	20
l . . . . .	1	1	1
l/a . . . . .	2	1,5	1,5
P . . . . .	800	600	600
F . . . . .	2,5	2,5	2,5
tau · 10 <sup>3</sup> . . . . .	1,33	1,25	—
W <sub>y</sub> <sup>2)</sup> . . . . .	25,2	17,7	—
G <sub>x,y</sub> . . . . .	0,0397	0,0565	—
beta <sub>x,y</sub> . . . . .	1,985	2,825	—
u · 10 <sup>3</sup> . . . . .	1,33	—	—
W <sub>z</sub> <sup>2)</sup> . . . . .	2,34	—	—
G <sub>x,z</sub> . . . . .	—	—	0,75
beta <sub>x,z</sub> . . . . .	—	—	2,35
u · 10 <sup>3</sup> . . . . .	—	—	0,427
	21,35	—	21,38

Abb. 13

Die Versuchsstellungen bei der Prüfung des Einflusses der Profile der Versuchskörper auf die Schubeffekte<sup>1)</sup> ( $G = \frac{1}{\beta} = \frac{P \cdot l}{F \cdot u}$ ; vgl. S. 19)

<sup>1)</sup> Es wurde nach der 2-Würfelmethode gemessen. — <sup>2)</sup> Widerstandsmoment.

### 3. Beziehungen der Schubzahlen $\beta = \frac{1}{G}$ untereinander

Zwischen den Werten<sup>1)</sup>, die verschiedenen Achsen entsprechen, um die geschoben wird, findet man bei dieser Anordnung folgenden Zusammenhang:

Es sind

$$\frac{\beta_{x, \pm y}}{\beta_{z, \pm y}} \text{ und } \frac{\beta_{x, \pm z}}{\beta_{z, \pm x}} \text{ nicht sehr von 1 verschieden,}$$

z. B. für Material Nr. 70

$$\frac{\beta_{x, \pm y}}{\beta_{z, \pm y}} = \frac{0,02975}{0,02195} = 1,36; \quad \frac{\beta_{x, \pm z}}{\beta_{z, \pm x}} = \frac{0,2846}{0,2567} = 1,11$$

und für Material Nr. 1

$$\frac{\beta_{x, \pm y}}{\beta_{z, \pm y}} = \frac{0,04025}{0,03444} = 1,17; \quad \frac{\beta_{x, \pm z}}{\beta_{z, \pm x}} = \frac{0,428}{0,472} = 0,91.$$

Es ist

$$\frac{\beta_{y, \pm z}}{\beta_{y, \pm x}} \text{ merklich gleich 1,}$$

z. B.:

$$\frac{\beta_{y, \pm z}}{\beta_{y, \pm x}} = \frac{0,01565}{0,01587} = 0,99 \text{ bei Material Nr. 70;}$$

$$\frac{\beta_{y, \pm z}}{\beta_{y, \pm x}} = \frac{0,0180}{0,01795} = \simeq 1 \text{ bei Material Nr. 1.}$$

### 4. Die in den 45°-Stellungen gemessenen Werte

Dreht man das Zweiwürfelsystem um die Verbindungslinie der Würfelmitten in die „45°-Stellung“, so sind die dann gemessenen  $\beta$ -Werte mehr oder weniger genau gleich dem arithmetischen Mittel aus den  $\beta$ -Werten, die man bei den um 45° benachbarten Orientierungen gewinnt).

### 5. Abhängigkeit der Werte für den Schubmodul vom Kürzungsverhältnis $l/a$

Die Art der Abhängigkeit der Werte für den Schubmodul vom Kürzungsverhältnis  $l/a$ , die in der graphischen Darstellung der Abb. 14

<sup>1)</sup> Die Werte wurden den Tabellen 1 und 2 entnommen als Mittelwerte der um 180° versetzten Messungen.

<sup>2)</sup> Vgl. die Tabellen 1 und 2.

wiedergegeben wurde, deuten ein Zustreben von  $G$  auf einen Grenzwert für  $l/a = 0$  an. Auch diese Beobachtungen sind für den Konstrukteur wesentlich.

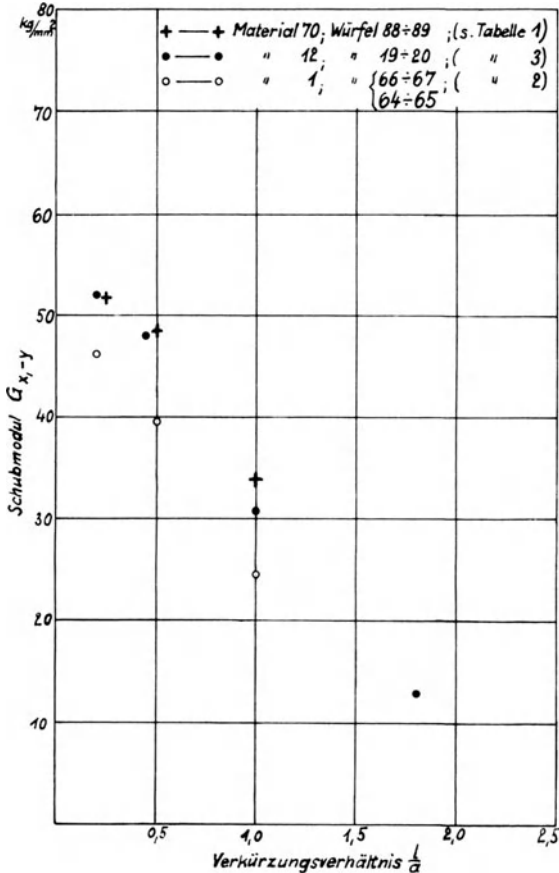


Abb. 14. Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Schubmoduln von dem Verkürzungsverhältnis

## 6. Die Untersuchung des Einflusses des Profils des Versuchskörpers auf die Größe der elastischen Effekte

Es wurden die Schubmoduln bei einem Würfelpaar mit dem Kantenverhältnis  $l/a = 1$  gemessen. Darauf wurde aus den Würfeln, ohne die Verleimung zu zerstören, mit sehr feinen Fräsern vorsichtig soviel Material herausgefräst, bis eine Doppel-T-Form entstand (Abb. 13). In

dieser neuen Form wurden die Würfel wieder gemessen. Die Resultate sind in der Tabelle 6 zusammengestellt. Sie sind für die theoretische Bearbeitung von besonderem Interesse.

Tabelle 7. Vergleich von Schubmessungen an zwei Würfeln mit solchen an einem Würfel

Lfd. Nr.:	1 Zwei Würfel	2 Ein Würfel <sup>1)</sup>	3 Zwei Würfel	4 Ein Würfel <sup>1)</sup>
Versuchsbericht Nr. . . . .	47	47	51	51
Material Nr. . . . .	1	1	70	70
Nr. des Versuchskörpers . . .	64—65	65	110—112	110
Form des Versuchskörpers . .	Würfel	Würfel	Würfel	Würfel
<i>a</i> . . . . . mm	20	20	20	20
<i>b</i> . . . . . „	20	20	20	20
<i>l</i> . . . . . „	10	10	20	20
<i>l/a</i> . . . . .	0,5	0,5	1	1
<i>P</i> . . . . . kg	4	2	2	1
$\tau \cdot 10^3$ . . . . . kg/mm <sup>2</sup>	5,0	5,0	2,5	2,5
Raumgewicht . . . . . g/cm <sup>3</sup>	0,34	0,34	0,413	0,413
Feuchtigkeitsgehalt . . . . %	7,5	7,5	6,75	6,75
Zahl der Jahresringe je cm . .	3	3	13	13
Spätholzanteil . . . . . %	10	10	20	20
<b>1</b> $\equiv$ <b>3</b> <sup>2)</sup> <i>G<sub>x, ±z</sub></i> . . . . .	2,4	2,4	3,26	2,8
<i>β<sub>x, ±z</sub></i> . . . . .	0,4165	0,4165	0,3067	0,357
<i>u</i> · 10 <sup>3</sup> . . . . .	20,82	20,82	15,3	17,85
<b>2</b> $\equiv$ <b>4</b> <i>G<sub>x, ±y</sub></i> . . . . .	39,6	11,8	32,3	9,66
<i>β<sub>x, ±y</sub></i> . . . . .	0,0253	0,0847	0,0309	0,1035
<i>u</i> · 10 <sup>3</sup> . . . . .	1,265	4,23	1,54	5,175

7. Messung der Effekte bei einzelnen Würfeln

Nachdem ein Schubversuch mit zwei Würfeln beendet war, wurde ein Würfel abgetrennt und der Versuch wiederholt. Durch die nunmehr freie Bewegungsmöglichkeit der Endfläche ergaben sich in bestimmten Orientierungen von den an zwei Würfeln gemessenen erheblich verschiedene Werte für den Schubmodul. Die Tabelle 7 bringt hierfür zwei Beispiele, die aus der Zahl der Versuchsreihen zur Beob-

<sup>1)</sup> Bei den Messungen an einem Würfel ist zu beachten, daß der Angriffspunkt der Last im Abstände von 15 mm bei *l/a* = 0,5 bzw. 25 mm bei *l/a* = 1 von der festgehaltenen Fläche liegt.

<sup>2)</sup> Die fettgedruckten Zahlen beziehen sich auf die Tafel 2.

achtung dieser Verhältnisse herausgegriffen wurden. Es ist zu beachten, daß in der Orientierung  $G_{x, \pm z}$  bzw.  $\beta_{x, \pm z}$ , in der besonders bei dem Material Nr. 1 ein Einfluß der Einwürfelmethode nicht zu bemerken ist, auch bei den Profilversuchen (s. unter 6.) keine Rückwirkung durch die Profiländerung eintritt.

Tabelle 8. Abhängigkeit der Schubeffekte von Druckspannungen

Lfd. Nr.:	1	2	3
Versuchsbericht Nr. . . . . .	20	22	24
Material Nr. . . . . .	12 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>
Nr. des Versuchskörpers . . . . .	47—48	54—55	58—59
Form des Versuchskörpers . . . . .	Würfel	Würfel	Würfel
$a$ . . . . . mm	20	20	20
$b$ . . . . . „	20	20	20
$l$ . . . . . „	20	20	20
$l/a$ . . . . .	1	1	1
$P$ . . . . . kg	2	2	2
$\tau \cdot 10^3$ . . . . . kg/mm <sup>2</sup>	2,5	2,5	2,5
Raumgewicht . . . . . g/cm <sup>3</sup>	0,39	0,34	0,34
Feuchtigkeitsgehalt . . . . . %	9	7,5	7,5
Zahl der Jahresringe je cm . . . . .	10	3	3
Spätholzanteil. . . . . %	18,3	10	10

	Ohne Druck	Mit Druck	Ohne Druck	Mit Druck	Ohne Druck	Mit Druck
<b>9, 11</b> $G_{z, \pm y}$ . . . . .	22,73	27,95	22,35	25,17	—	—
$\beta_{z, \pm y}$ . . . . .	0,044	0,0358	0,04475	0,03937	—	—
$u \cdot 10^3$ . . . . .	2,2	1,79	2,237	1,968	—	—
<b>10, 12</b> $G_{z, \pm x}$ . . . . .	2,25	2,025	2,23	1,81	—	—
$\beta_{z, \pm x}$ . . . . .	0,445	0,494	0,4487	0,552	—	—
$u \cdot 10^3$ . . . . .	22,25	24,7	22,43	27,6	—	—
<b>1, 3</b> $G_{x, \pm z}$ . . . . .	—	—	—	—	1,87	1,52
$\beta_{x, \pm z}$ . . . . .	—	—	—	—	0,535	0,658
$u \cdot 10^3$ . . . . .	—	—	—	—	26,75	32,9
<b>2, 4</b> $G_{x, \pm y}$ . . . . .	—	—	—	—	16,92	17,05
$\beta_{x, \pm y}$ . . . . .	—	—	—	—	0,0591	0,05865
$u \cdot 10^3$ . . . . .	—	—	—	—	2,955	2,932

Anmerkung. Für die Schubmoduln  $G_{y, \pm x}$  und  $G_{y, \pm z}$  konnte ein Einfluß des axialen Druckes nicht festgestellt werden.

<sup>1)</sup> Der Einfluß des axialen Druckes wurde auch bei der Bukowina-Fichte Nr. 70 und 32 I in gleichem Sinne bestätigt.

## 8. Messung des scheinbaren Schubmoduls bei gleichzeitiger Einwirkung einer Druckspannung

Die axialen Druckschrauben<sup>1)</sup> boten Gelegenheit, den Einfluß des Druckes auf die Schubeffekte zu beobachten. Zunächst wurde der Schubmodul an zwei Würfeln in der üblichen Weise festgestellt. Jetzt wurden die axialen Druckschrauben angezogen und an den sich nunmehr unter Spannung befindlichen Würfeln eine neue Schubmessung vorgenommen<sup>2)</sup>, nachdem die Sicherungsschrauben  $F$  in Abb. 10 sorgfältig angezogen worden waren. Diese Versuche zeitigten sehr eigenartige Ergebnisse, die in der Tabelle 8 wiedergegeben sind. Die Druckspannung bewirkte — gesetzmäßig bei allen bislang untersuchten Stämmen der Bukowina-Fichte — in bestimmten Orientierungen eine Vergrößerung und in einigen eine Verkleinerung der Schubeffekte. In anderen Orientierungen wiederum ließ sich mit der vorhandenen Meßanordnung kein Einfluß feststellen.

## 9. Messungen an Bakelite<sup>3)</sup>

Es erschien von Interesse, außer am Holz noch einige Messungen an einem isotropen Stoffe zu machen. Die Wahl fiel auf Bakelite, weil die Größenordnung der Schubmoduln den bei Holz gefundenen nahe zu liegen schien und diese Messungen eine Kontrolle der Anordnung gestatteten.

So ergab sich die größte Abweichung der bei Drehung um  $360^\circ$  in den vier  $90^\circ$ -Stellungen gemessenen Effekte mit 0,7% des Mittelwertes. Dieses Ergebnis ist als sehr gut zu bewerten, wenn man bedenkt, daß bei jeder Drehung der Zylinder die Feststellschrauben gelöst und wieder festgezogen werden müssen, und daß zwischen der Eichhebelkugel und der Stahlscheibe neue Punkte zur Berührung kommen. Ferner kann sich jede Exzentrizität der Stahlscheibe zu den Zylindern auswirken neben den Ablesefehlern, die durch die Zeitdifferenz zwischen Belastungsangriff und Ablesen bedingt sind. Die Messungen an Bakelite sollen fortgesetzt und durch Verdrehungsversuche ergänzt werden.

Die bisherigen Versuche ergaben für den scheinbaren Schubmodul die Werte, die in der Tabelle 9 zusammengestellt sind.

---

<sup>1)</sup> Siehe Abb. 11.

<sup>2)</sup> Die Versuchsanordnung gestattete leider keine Messung des ausgeübten Druckes. Aber auch so ließ sich qualitativ eine Abhängigkeit der Schubeffekte von der Stärke des Druckes feststellen.

<sup>3)</sup> Das Material wurde von der Bakelite G. m. b. H., Erkner bei Berlin, entgegenkommend zur Verfügung gestellt.



Tabelle 9. Messungen an Bakelitewürfeln

	Zwei Würfel	Ein Würfel <sup>1)</sup>
Versuchsbericht Nr. . . . .	17	17
Material Nr. . . . .	<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>	<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>
Raumgewicht . . . . . g/cm <sup>3</sup>	1,27	1,27
Nr. des Versuchskörpers . . .	52—53	52
Form des Versuchskörpers . .	Würfel	Würfel
<i>a</i> . . . . . mm	20	20
<i>b</i> . . . . . „	20	20
<i>l</i> . . . . . „	20	20
<i>l/a</i> . . . . .	1	1
<i>P</i> . . . . . kg	2	2
$\tau \cdot 10^3$ . . . . . kg/mm <sup>2</sup>	2,5	5,0
<i>G</i> . . . . . „	66,24	28,57
$\beta$ . . . . . mm <sup>2</sup> /kg	0,0158	0,035
<i>u</i> · 10 <sup>3</sup> . . . . . mm	0,755	3,5

### Ergebnisse

Entwicklung einer Meßanordnung nach dem von H. Hörig<sup>4)</sup> im Prinzip vorgeschlagenen Zwei-Würfelsystem zur elastischen Untersuchung kleiner Probekörper von Holz und ähnlichen Stoffen.

Schaffung einer „Einspannung“ der Probekörper, die der theoretischen Behandlung eher zugänglich ist, als es die bisherigen sind, da ihr definierte Verhältnisse zugrunde liegen. Gleichmäßig verteilter Angriff der äußeren Tangentialkräfte und eben bleibende „Einspann“-Flächen.

Im Gegensatz zu elastischen Messungen an größeren Probestücken aus Holz gelangt man bei sorgfältig ausgewählten Würfeln von etwa 20 mm Kantenlänge zu viel geringeren Streuungen der Meßwerte, so daß die Messungen am identischen Stück auf etwa 5% reproduzierbar sind. Die Messungen führen ferner zu Ergebnissen von durchaus gleichartigem Charakter. Damit sind wesentliche meßtechnische Grundlagen für das Studium der elastischen Anisotropie des Holzes und ähnlicher Stoffe gegeben.

Trotzdem die Versuchsanordnung in ihrem Aufbau der theoretischen Vorstellung des „einfachen Schubes“ nahe zu kommen scheint, zeigen die Messungen das Gegenteil. Während in je zwei Orientierungen, bei

<sup>1)</sup> Siehe Anmerkung 1, Tabelle 7, S. 33.

<sup>2)</sup> Bakelite „C“. (Bezeichnung der Bakelite G. m. b. H.)

<sup>3)</sup>  $E = 380 \text{ kg/mm}^2$ .

<sup>4)</sup> Siehe Einführung, S. 1.

denen um die gleiche Achse geschoben wurde, sich die gleichen Effekte hätten ergeben müssen, weichen diese bei den Schiebungen um die  $z$ - und  $x$ -Achse stark voneinander ab. Nur bei der Schiebung um die  $y$ -Achse ergeben sich die Effekte nahezu gleich.

Es ist (z. B. für Material Nr. 1, Tabelle 2)

$$\beta_{x, \pm y} \neq \beta_{y, \pm x}; \quad \text{und zwar} \quad \frac{\beta_{x, \pm y}}{\beta_{y, \pm x}} = \frac{0,04025}{0,01790} = 2,25,$$

$$\beta_{y, \pm z} \neq \beta_{z, \pm y}; \quad \text{und zwar} \quad \frac{\beta_{z, \pm y}}{\beta_{y, \pm z}} = \frac{0,0344}{0,0180} = 1,91,$$

$$\beta_{z, \pm x} = \simeq \beta_{x, \pm z}; \quad \text{und zwar} \quad \frac{\beta_{z, \pm x}}{\beta_{x, \pm z}} = \frac{0,4721}{0,4280} = 1,10.$$

Der Wert der vorliegenden Arbeit wird darin erblickt, daß ein einfaches System elastischer Deformationseffekte gemessen wird, das den typischen anisotropen Charakter des Holzes übersichtlich hervortreten läßt.

# Schlußwort

von H. Hörig

Die Resultate der Schlüterschen Messungen mögen auf den ersten Blick überraschend erscheinen, denn ohne theoretische Überlegungen könnte man erwarten, daß bei der Würfelform der Probekörper der Schubeffekt derart überwiegen würde, daß für Orientierungen, bei denen ein Schub um die gleiche Achse ins Spiel tritt, für die als „scheinbare Schubmoduln“ ausgerechneten Zahlen sich wenigstens ungefähr dieselbe Größenordnung ergeben würde. Das müßte bekanntlich, wenn nur einfacher Schub allein vorläge, der Fall sein. Ein Blick auf die Tabelle 5 von Schlüter zeigt, daß die Verhältnisse ganz anders liegen. Wenn der Schub in allen sechs Fällen stark überwiegen würde, so müßten nicht nur die Werte der beiden ersten Zeilen der Tabelle annähernd gleich sein, sondern auch die der dritten und sechsten, sowie die der vierten und fünften.

Tatsächlich hat man es in allen Fällen im wesentlichen mit einem Schub- und mit einem Biegungsgliede zu tun, und das letztere macht sich zum Teil stark bemerkbar. Daher sind alle scheinbaren Schubmoduln kleiner als die wahren. Daß die beiden letzten Zeilen der Tabelle 5 merklich gleiche Zahlen aufweisen, ist eine Eigenart des untersuchten Materials. Gerade dies ist ein wertvolles Ergebnis der vorliegenden Arbeit, worauf ich an anderer Stelle eingehen werde<sup>1)</sup>.

Für eine ganz rohe Schätzung der Größenordnung der drei wahren Schubmoduln, die hier durch Fettdruck hervorgehoben seien, wäre z. B. für Material Nr. 1:  $G_{x,z} = G_{z,x} = 2,35$  als Mittelwert aus den beiden ersten Zeilen zu entnehmen (für  $l/a = 1$ ). Für  $G_{y,z} = G_{z,y}$  wäre der Wert 55,6 aus der vorletzten Zeile anzusehen, während für  $G_{y,x} = G_{x,y}$  der Wert 55,65 aus der letzten Zeile zu nehmen wäre. Das Verhältnis dieser drei Zahlen zueinander wird dabei ziemlich richtig erhalten, die Absolutwerte dagegen sind, wie die Theorie<sup>1)</sup> unter gewissen Annahmen ergibt, um rund 50% zu klein.

---

<sup>1)</sup> Erscheint als Fortsetzung zu (29).

Die theoretische Behandlung der vorliegenden Versuchsanordnung begegnet schon bei isotropem Material erheblichen Schwierigkeiten. Ich habe den Versuch gemacht<sup>1)</sup>, den Fall näherungsweise zu behandeln, indem ich von der De Saint Venantschen Theorie des anisotropen Kragbalkens ausging, die durch K. Soecknick eine weitere Bearbeitung erfahren hat. Hier möchte ich kurz andeuten, zu welchen Resultaten ich gekommen bin.

Das von Schlüter gemessene Resonanzholz steht botanisch und elastisch dem Spruce sehr nahe, für das Carrington die neun Konstanten, die bei Behandlung als rhombisches System auftreten, gemessen hat. Da ich diese Zahlen im Sinne des Systems der W. Voigtschen Kristallphysik eingehend bearbeitet hatte (29), so lag es mir nahe, zunächst mit diesen Konstanten die Deformationen zu berechnen, die bei den Schlüterschen Versuchen für Spruce zu erwarten wären. Ich vollzog einen Übergang vom anisotropen Kragbalken zu dem vorliegenden Zweiwürfelsystem und erhielt schließlich ein System von „scheinbaren Schubmoduln“ im Sinne von Schlüter, das durchaus den gleichen Charakter hatte, wie das am Resonanzholz gemessene. Sodann habe ich versucht, aus denselben Gleichungen, ausgehend von den Schlüterschen Zahlen, durch ein Näherungsverfahren die dem Resonanzholz entsprechenden neun Konstanten zu ermitteln. Die für die vier von Schlüter gemessenen Materialien berechneten Zahlensysteme zeigten dann wiederum durchaus den gleichen Charakter wie das für Spruce aus den Carringtonschen Messungen bekannte Konstantensystem. Wegen der Resultate dieser Rechnungen muß hier auf die demnächstige Publikation verwiesen werden.

In Hinblick auf die Tabelle 5 seien hier die drei Schubmoduln angegeben, die sich als Mittelwerte aus vier Messungsreihen von Carrington an Spruce ergeben<sup>2)</sup>:

$$G_{x,z} = 2,65 \text{ kg/mm}^2; \quad G_{y,z} = 55,4 \text{ kg/mm}^2; \quad G_{y,x} = 66,5 \text{ kg/mm}^2.$$

Selbstverständlich kann die Theorie, die eine bestimmte Verteilung der äußeren Kräfte verlangt, die von der im Schlüterschen Falle an den angeleimten Flächen vorliegenden gleichmäßigen Verteilung wesentlich abweicht, nicht zu streng richtigen Resultaten führen. Wenn man aber die theoretisch geforderte Spannungsverteilung vollständig durchrechnet und aufzeichnet, so kann man sich doch über die Art der Verschiedenheit beider Fälle Klarheit verschaffen und sich ein Urteil darüber bilden,

---

<sup>1)</sup> Erscheint als Fortsetzung zu (29).

<sup>2)</sup> Vgl. hierzu Tabelle 1 in meiner Arbeit (29).

wie weit das ermittelte Konstantensystem richtig sein kann. Bemerken möchte ich noch, daß nicht nur zwei der Schubmoduln sich sehr nahe gleich ergeben, sondern auch zwei der unsymmetrischen Moduln. Ferner sei noch darauf hingewiesen, daß die von Schlüter bei seinen 45°-Messungen gefundenen Zahlen sich zwanglos der Theorie einfügen.

Schließlich sei noch erwähnt, daß sowohl bei den Carringtonschen Zahlen wie bei den von mir aus den Schlüter'schen Messungen ermittelten immer zu bedenken ist, daß diese Konstantensysteme sich auf das zunächst willkürlich gewählte, wenn auch anschaulich naheliegende Koordinatensystem nach Abb. 4 beziehen. Es ist aber möglich, daß das System der „Hauptkristallachsen“ im Sinne von Voigt noch eine andere Lage haben könnte, nach deren Bestimmung die Konstanten, die bisher gemessen wurden, noch transformiert werden müßten, um das einfachste System zu ergeben. Die Klärung dieser Frage muß Gegenstand einer besonderen Untersuchung sein. Bei einer Fortsetzung der vorliegenden Arbeit würde es gut sein, die Dehnungsmoduln, etwa nach einer Interferenzmethode oder mit dem Thermorelais<sup>1)</sup> an den identischen Würfeln getrennt zu messen und bei den „Verkürzungsmessungen“, die sich übrigens der Theorie ganz gut einfügen, eine größere Genauigkeit anzustreben. Der tiefere Grund für die Bemühung, an kleinen, würfelförmigen Probekörpern Messungen zu machen, war die Überlegung, daß Holzproben, die nicht unmittelbar hintereinander dem Brett entnommen werden, in unkontrollierbarer Weise verschieden sein können. Und es handelt sich zunächst darum, mit möglicher Sicherheit sozusagen an einem einzigen Probestück den elastischen Charakter des Resonanzholzes zu studieren, um prinzipielle Schlüsse ziehen zu können.

Braunschweig, 15. Januar 1932.

---

<sup>1)</sup> Vorschlag von Herrn Privatdozent Dr. Martin Rusch.

# Literatur

## 1. Theorie

- 1) Auerbach und Hort, Handb. d. physik. u. techn. Mechanik, Bd. III, 1. Teil: Statik und Dynamik elastischer Körper, 1927; Bd. IV, 2. Teil: Technische Physik der festen Körper, 1931.
- 2) Bach und Baumann, Elastizität und Festigkeit. Berlin, Verlag Julius Springer, 1927.
- 3) Bollenrath, F., Ausbeulerscheinungen an ebenen, auf Schub beanspruchten Platten. Luftfahrtforschung Heft 1. München und Berlin, Verlag R. Oldenbourg, 1929.
- 4) Filon, L. N. G., On an Approximate Solution for the Bending of a Beam of a Rectangular Cross-Section under any Optical Referenz to Points of Concentrated Discontinuous Loading. Phil. Trans. Series A, **201**, 126, 1903.
- 5) Föppl, A. Vorlesungen über technische Mechanik. Festigkeitslehre, Bd. III. Leipzig u. Berlin, Verlag B. G. Teubner, 1920.
- 6) Föppl, A. und L., Drang und Zwang. München u. Berlin, Verlag R. Oldenbourg, 1920.
- 7) Fuchs, S., Untersuchungen über die Schubspannungen im gebogenen Balken. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1914, S. 1330.
- 8) Geiger und Scheel, Handb. d. Phys. Bd. VI. Berlin, Verlag Julius Springer, 1928.
- 9) Helmholtz, Vorlesungen über theoretische Physik **2**, 103. Leipzig, Verlag J. A. Barth, 1902.
- 10) Kohlrausch, F., Lehrb. d. prakt. Phys., 16. Aufl. Leipzig u. Berlin, Verlag B. G. Teubner, 1930.
- 11) Love, Lehrb. d. Elastizität. Berlin u. Leipzig, Verlag B. G. Teubner, 1907.
- 12) Timoschenko, S., Über die Stabilität elastischer Systeme. Kiew 1910.
- 13) Timoschenko, S., Über die Stabilität versteifter Platten. Der Eisenbau, Jahrg. 12, S. 147—163, 1921.

## 2. Meßtechnik

- 14) Berndt, G., Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen, 2. Aufl. Berlin, Verlag Julius Springer, 1929.
- 15) Carrington, H., The Determination of Values of Young's Modulus and Poisson's Ratio by the Method of Flexures. Philosophical Magazine **41**, 206, 1921.

- 16) Föppl, K., Der Schubmesser. Ein neues Feinmeßgerät für Festigkeitsversuche. München, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, 1923.
- 17) Kurrein, M., Meßtechnik. Berlin, Verlag Julius Springer, 1923.
- 18) Wawrzyniok, K., Handb. d. Materialprüfungswesens. Berlin, Verlag Julius Springer, 1923.
- 19) Richter und v. Voss, Bauelemente der Feinmechanik.
- 20) Steuding, H., Messung mechanischer Schwingungen. Berlin, Verlag V. D. I., 1928.
- 21) Zingler, J., Theorie der zusammengesetzten Waagen. Berlin, Verlag Julius Springer, 1928.

### 3. Allgemeines

- 22) Carrington, H., The Moduli of Rigidity for Spruce. *Philos. Magazine* **41**, 848, 1921.
- 23) Carrington, H., Young's Modulus and Poisson's Ratio for Spruce. *Philos. Magazine* **43**, 871, 1922.
- 24) Carrington, H., The elastic constants of Spruce. *Philos. Magazine* **45**, 1055, 1923.
- 25) Hörig, H., Pianofortebau und technische Akustik. *Die Schalltechnik*, Heft 5, 1929.
- 26) Hansen, Chr. J., Über die Eigenschaften des Resonanzbodenholzes und seine Verwendung im praktischen Klavierbau. *Monatsblätter der Firma Grottrian-Steinweg, Braunschweig*, Heft 7/8, S. 40; Heft 9—12, S. 52, 1923.
- 27) Meyer, K. H. und Mark, H., Der Aufbau der hochpolymeren organischen Naturstoffe. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1930.
- 28) Moll, Fr., Künstliche Holzrocknung. Berlin, Verlag Julius Springer, 1930.
- 29) Hörig, H., Zur Elastizität des Fichtenholzes. I. Folgerungen aus Messungen von H. Carrington an Spruce. *Zeitschr. f. techn. Phys.*, 12. Jahrg., Nr. 8, S. 369, 1931.

## Anhang

# Schrifttumübersicht

Die schwierige Zugänglichkeit der Literatur über das Holz hat den Verfasser veranlaßt, anstatt sich lediglich auf die für die Versuche benutzten Schriften zu beschränken, in der nachfolgenden Schrifttumübersicht all die Literatur bekannt zu geben, die in jahrelanger praktischer Beschäftigung mit dem Werkstoff „Holz“ von ihm gesammelt wurde.

Es wurde in erster Linie diejenige Literatur zusammengestellt, die sich in irgendeiner Form mit den Festigkeitseigenschaften des Holzes befaßt. Darüber hinaus wurden jedoch auch Arbeiten aufgeführt, deren Kenntnis zum Verständnis des Verhaltens und der Eignung des Holzes als Konstruktionselement erforderlich scheint.

Die Fülle der Arbeiten mag zunächst überraschen. Es soll jedoch nicht versäumt werden, darauf hinzuweisen, daß der Wert der Mehrzahl dieser Veröffentlichungen ein sehr beschränkter ist.

Zunächst fehlen bei vielen Arbeiten — besonders bei den älteren — jegliche Angaben über den Feuchtigkeitsgehalt des Holzes. Selbst Hinweise auf den Zustand des untersuchten Materials, aus denen man auf den Feuchtigkeitsgehalt zurückschließen könnte, sind oftmals unterblieben. Andererseits haben eingehende Untersuchungen bewiesen, daß die Festigkeitseigenschaften des Holzes vom Feuchtigkeitsgehalt abhängen.

Sucht man ferner in den vielen Veröffentlichungen nach eindeutigen Angaben über die Orientierung der untersuchten Probekörper im Sinne der Untersuchungen des Verfassers, so wird man leider feststellen müssen, daß auch solche Angaben in den weitaus meisten Fällen fehlen. Selbst dort, wo sich entsprechende Hinweise finden, ist ihr Vorhandensein noch kein Beweis für die richtige Berücksichtigung der Wuchsstruktur bei der Auswertung der Versuche.

Es mag dem Verfasser entgegengehalten werden, daß sich die weitaus größte Zahl der Untersuchungen auf große Holzstücke bezieht. Bei diesen wird die peinliche Berücksichtigung der Wuchsstruktur zur Unmöglichkeit. Genau wie bei der Verwendung des Holzes als Bauelement nur selten entsprechende Rücksicht auf die Struktur genommen werden kann. Dem gegenüber ist der Verfasser überzeugt, daß, wenn erst einmal genügende Untersuchungen vorliegen, die den entscheidenden Einfluß der Orientierungen klar zutage treten lassen, es sich als wirtschaftlich erweisen wird, bei der Verwendung des Holzes sorgfältiger als bisher auf den Jahresringverlauf zu achten.



Dies trifft besonders für die Anwendungsgebiete zu, bei denen das günstige Verhältnis von Raumgewicht zu Festigkeit eine ausschlaggebende Rolle spielt, wie z. B. im Flugzeugbau (151). Hier könnte die Wettbewerbsfähigkeit des Holzes mit dem Stahl und den Leichtmetallen erheblich gesteigert werden (164).

Im Instrumentenbau ist die genaue Beachtung der elastischen Eigenschaften des Holzes bei der Konstruktion der Klangkörper unerlässlich.

Darüber hinaus werden durch die neuen Messungen die manchmal unglaublichen Streuungen der an Holz gemessenen Werte erheblich kleiner werden. Dies wiederum wird viel zur Beseitigung der leider immer noch so weit verbreiteten Mißachtung des Werkstoffes „Holz“ beitragen.

#### A. Allgemeine Literatur über das Holz

- 1) Duhamel du Monceau, M., De l'Exploitation des Bois. Paris 1755.
- 2) Duhamel du Monceau, M., La Physique des Arbres. Paris 1758.
- 3) Duhamel du Monceau, M., Du Transport, de la Conservation et de la Force des Bois. Paris 1777.
- 4) Bevan, Annals of philosophy, Nov. 1826, S. 270.
- 5) Tredgold, Über Bauholz. Franklin Journ., 1. S., 2, 45, 69, 174, 210, 1826—1827.
- 6) Chevandier und Wertheim, Mémoires sur les propriétés mecaniques du bois. Paris 1848.
- 7) Nördlinger<sup>1)</sup>, Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart, J. G. Cottascher Verlag, 1860.
- 8) Gribbon, Central American Timber. Zeitschr. d. Math. u. Phys. 4, 1620, New York 1877.
- 9) Hartig, E., Festigkeitsversuche. Tharandter Untersuchungen über den Einfluß der Fällungszeit auf die Dauerhaftigkeit des Fichtenholzes. Tharandter Forstl. Jahrbuch, 5. Mitt., 1879, S. 53—63.
- 10) Hartig, R., Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume. Berlin 1885.
- 11) Nördlinger, Die gewerblichen Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart, J. G. Cottascher Verlag, 1890.
- 12) The use of wood in mechanical engineering. Pract. Engineer 39, 1144, p. 137, Jan. 1909.
- 13) Kraus, P., Die Hölzer. Gewerbliche Mater.-Kd. 1. Stuttgart 1910.
- 14) Rudeloff, M., Versuche mit Eisenbahnschwellen. Gewerbefleiß, Heft 5, 1912, S. 382—411.
- 15) Weisskopf, Die Harthölzer für den Eisenbahnwagenbau. Glasers Ann. 72, 858, 1913.
- 16) Record, S. J., Mechanical Properties of Wood. New York, John Wiley & Sons, 1914.
- 17) Lang, G., Das Holz als Baustoff. Wiesbaden, C. W. Kreidels Verlag, 1915.

---

<sup>1)</sup> Bei Nördlinger finden sich noch die Namen folgender älterer Autoren: Aubry, Ardant, Barlow, Beaulieu, Dupin et Morin, Ebbels et Tredgold, Hagen, Minard et Désormes, Musschenbrök, Pacinotti et Peri, Rondelet.

- 18) Newlin, J. A., Mechanical Properties of Woods Grown in the United States. U. S. D. A. Nr. 556, 1917.
- 19) Baring, W. H., Timber: Its Identification and Mechanical Properties. London, The Royal Aeronautical Society, 1918.
- 20) Neger, F. W., Die Laubhölzer. Berlin u. Leipzig, Verlag W. de Gruyter & Co., 1920.
- 21) Betts, H. S., Timber: Its Strength, Seasoning and Grading. New York, Mc Graw Hill Book Co., 1924.
- 22) Koehler, A., The Properties and Uses of Woods. New York, Mc Graw Hill Book Co., 1924.
- 23) Seitz, Grundlagen des Ingenieurholzbaues. Berlin, Verlag Julius Springer, 1925.
- 24) Frese, O., Holz als Werkstoff. Zeitschr. d. Ver. d. Ing., Heft 41, S. 1349. Berlin 1926.
- 25) Hoyer, F., Das Holz in Technik und Gewerbe. Berlin, Verlag M. Krayn, 1926.
- 26) Gesteschi, Der Holzbau. Berlin, Verlag Julius Springer, 1926.
- 27) Kersten, Freitragende Holzbauten, 2. Aufl. Berlin, Verlag Julius Springer, 1926.
- 28) Hausendorff, Das Holz als Werkstoff. Zeitschr. d. Ver. d. Ing., Heft 22, S. 764. Berlin 1927.
- 29) Neger, F. W., neubearbeitet von Münch, E., Die Nadelhölzer (Koniferen) und übrigen Gymnospermen. Berlin u. Leipzig, Verlag W. de Gruyter & Co., 1927.
- 30) Sudworth, G. B., Check List of the Forest Trees of the United States, Their Names and Ranges. U. S. Departm. of Agricult. Miscellaneous Circ. 92, 1927.
- 31) Gayer, S., Die Holzarten und ihre Verwendung in der Technik. Leipzig, Verlag Dr. Max Jänecke, 1928.
- 32) Jaccard, P. und Frey, A., Einfluß von mechanischen Beanspruchungen auf die Micellarstruktur, Verholzung und Lebensdauer der Zug- und Druckholzelemente beim Dickenwachstum der Bäume. Jahrb. d. wissenschaftl. Botanik 68, Heft 5, 1928.
- 33) Sawkow, Methods of physico-mechanical Tests of Wood. Moskau 1929.
- 34) Monroy, J. A. v., Das Holz, gemeinfaßliche Darstellung seiner Erzeugung, Gewinnung und Verwendung. Berlin, VDI-Verlag, 1929.
- 35) Schwalbe, C. G., Vortrag über Holzforschung. Chem.-Ztg., Jahrg. 54, Nr. 68, S. 657—659, 1930.
- 36) Gesteschi, Grundlagen des neuzeitlichen Holzbaues. Berlin 1930.
- 37) Memmler, K., Materialprüfungswesen II. Sammlung Göschen, Heft 312, 1930.
- 38) Moll, Fr., Künstliche Holz Trocknung. Berlin, Verlag J. Springer, 1930.
- 39) Büsgen, M., Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena, Verlag von Gustav Fischer. 3. Aufl., 1927.
- 40) Exner, W. F., bearbeitet von Janka, G., Die Forstbenutzung. A. Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Handb. d. Forstwiss., 4. Aufl.

B. Allgemeine Literatur über die Prüfung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Holz

- 41) Burg, Zusammenstellung der Versuche über die Festigkeit verschiedener Bauhölzer und des Eisens. Jahrbücher d. Kaiserlich-Königlichen polytechnischen Instituts in Wien, von Prechtel, in 8, 5, 215, Wien 1819—1839.
- 42) Tredgold, Über die Stärke des Bauholzes. The London Journal of arts and sciences, 1. Ser., 2, 63, London 1820—1828.
- 43) Thurston (Haseltine), Apparatus or machine for testing and registering or recording the strength, elasticity and ductility of wood, iron and other materials. Specification of etc. London, Great Seal Patent Office, Nr. 96. (Die Beschreibungen der in England im I. Semester 1874 patentierten Erfindungen enthaltend.) London 1874.
- 44) Simpson, How to find the bearing strength of timber. The Manufacturer and Builder 11, 183, 1879.
- 45) Bauschinger, Versuche über die Festigkeit von Bauhölzern. Deutsche Industriezeitung 26, 445, 1879.
- 46) Gayer, Untersuchungen über die Festigkeit der einheimischen Nadelhölzer. Zentralbl. f. Holzind. 5, 113, 118, 128, 131, 1885.
- 47) Rudeloff, M., Bericht über die im Auftrage des Herrn Ministers für Landwirtschaft, Domänen und Forsten ausgeführten Holzuntersuchungen. Mitt. a. d. K. technischen Versuchsanstalten Heft 3. Berlin 1889.
- 48) Johnson, The government timber tests. (Prüfungsanstalt für Holz in Washington). Scientific American 65, 209, 1891.
- 49) Fernow, Timber physics. (Amtlicher Bericht über die Eigenschaften verschiedener amerikanischer Hölzer.) Engineering Records 28, 188, 1893.
- 50) Fernow, United timber tests (besonders Pinus palustris). Railwood Gazette 25, 542, 1893.
- 51) Tetmajer, Über Holzprüfungen. Mitt. d. Mater.-Prüfungsanstalt. Zürich 1896.
- 52) Schwappach, Untersuchungen über die technischen Eigenschaften des Fichtenholzes. Zentralbl. d. Bauverwaltung, Jahrg. 17, S. 243/244, 1897.
- 53) Rudeloff, M., Vorschriften des Verbandes f. d. Materialprüfung. Mitt. a. d. techn. Versuchsanstalt. Berlin 1899.
- 54) Malette, Essais des bois de construction. La revue technique 26, 321—324, Paris 1905.
- 55) Rudeloff, M., Aufstellung einheitlicher Methoden für die Prüfung von Holz. Mitt. a. d. Materialprüfungsamt, Gr. Lichterfelde 1907.
- 56) Hall, Die Beschlüsse des Weltverbandkongreß in Kopenhagen über Holzprüfungen. Mitt. d. internat. Verb. f. d. Materialprüfungen d. Technik 1, Heft 6, 1909.
- 57) Mitteilungen des VI. Kongreß des internat. Verbandes f. d. Materialprüfungen der Technik. New York 1912.
- 58) Markwardt, L. J., New Toughness Machine is Aid in Wood Selection. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin. Wood Working Industries, January 1926.

- 59) Standard methods of conducting static tests of timber in structural sizes. American Society for Testing Materials, 1927, S. 198—227.
- 60) Standard methods of testing small clear specimens of timber. American Society for Testing Materials, 1927, S. 143—227.
- 61) Memmler, K., Handbuch der Kautschukwissenschaft. Leipzig, Verlag S. Hirzel, 1930.
- 62) DIN, Holzprüfnormen DVM 2181. Aufgestellt vom Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik. Berlin, Beuth-Verlag G. m. b. H.
- 63) Jentsch, Sachsenberg, Technische Untersuchungen an afrikanischen Holzarten. Sperrholz, Heft 19/20, S. 285, Berlin 1931.

C. Schriften, die Angaben über mehrere Festigkeitseigenschaften des Holzes bringen<sup>1)</sup>

- 64) Brown, Über die Festigkeit des Holzes mehrerer Pinusarten in Amerika. Franklin Journ., N. S., 7, 230, 1823.
- 65) Buchmann, Über die Kohäsion der Baumaterialien, namentlich des Holzes und des Eisens. Polytechn. Journ. von G. u. M. Dingler 18, 26, Stuttgart 1823.
- 66) Hodgkinson, Über die Festigkeit von verschiedenen Hölzern. Polytechn. Journ. von G. u. M. Dingler 75, 241, Stuttgart 1823.
- 67) Bevan, Über die Festigkeit der Holzarten. The philosophical magazine and journal etc., by Tilloch and Taylor, in 8, 68, 269, 343, London 1823.
- 68) v. Gerstner, Über die relative Festigkeit der indischen Bauhölzer. Bulletin de sciences technologiques par le baron de Ferrussac 1—19; 10, 73, Paris 1824.
- 69) Coste, Über die Festigkeit von Hölzern. The Franklin Journal and American mechanic's magazine, 1. Ser., 3, 43, 92, Philadelphia 1826.
- 70) Zavadowsky, Über Holz und Festigkeit desselben. Journal des voies de communication Nr. 14, S. 30, St. Petersburg 1826.
- 71) Bevan, Über die Festigkeit verschiedener Holzarten. The philosophical magazine or annals of chemistry etc. by Taylor and Philopps 11, 241, London 1827.
- 72) Savart, F., Ann. de Chimie et de Physique 40, 5, 113, 1829.
- 73) Tredgold, Respektive Festigkeit verschiedener Hölzer. Polytechn. Journal von G. u. M. Dingler 10, 178, Stuttgart 1820—1853.
- 74) Laves, Einfluß der Feuchtigkeit auf die Festigkeitswerte. Mitt. d. Gewerbevern. f. d. Königreich Hannover 1836, 11. Liefg.
- 75) Laurent, Précis du cours de constructions à l'École forestière de Nancy. Grimblot 1840.
- 76) Karmarsch, Einfluß der Feuchtigkeit auf die Festigkeitswerte. Grundriß der Technologie II, 1841.
- 77) Chevandier und Wertheim, Annal. de chimie et de physique, Paris 1844.
- 78) Fink, Tragfähigkeit gespannter und ungespannter Hölzer. Polytechn. Zentrabl. von Hülse und Stöckardt 1851, S. 1485.
- 79) Behse, Die Tragfähigkeit eingerammter Pfähle. Zeitschr. f. Bauhandwerker S. 217, Braunschweig 1864.

---

<sup>1)</sup> Bei Lang (17) finden sich die Namen Buffon 1749 und Hagen 1833.

- 80) Rankine, On the strength of timber struts. *The Engineer* **32**, 323, London 1863.
- 81) Alpine, The supporting power of piles both of wood and iron. *The Artizon* S. 146, London 1868.
- 82) Decher, Tragfähigkeit eingerammter Pfähle. *Polytechn. Journ.* **173**, 161, Augsburg 1868.
- 83) Barré, Résistance des poteaux et des solives en bois. *Revue générale de l'architecture et des travaux publics*, Tome 27—32, **27**, 154, Paris 1869.
- 84) Cawley, Strength and elasticity of Japanese woods. *Engineering* **24**, 386. London, Edited by Maw & Dredge, 1877.
- 85) Thurston, Strength of yellow pine. *The Journal of the Franklin Institut* **110**, 157, 1879.
- 86) Nördlinger, Die Festigkeit der Hölzer in verschiedenen Jahreszeiten. *Centralbl. f. Agrikulturchemie* **9**, 600, 1879.
- 87) Wehage, Festigkeit von Bauhölzern. *Wochenblatt f. Architekten u. Ingenieure* **2**, 96, 1879.
- 88) Kidder, The transverse strength of southern and white pine. *Van Nostrand's eclectic engineering magazine* **21**, M. 22, 166, 1879.
- 89) Tetmayer, Knickungsfestigkeit der Bauhölzer. *Schw. Bauzeitung* **2**, 141; **11**, 110, 1882.
- 90) Thurston, Einfluß der Anstrengungsdauer auf die Elastizität und Festigkeit des Nadelholzes. *Dinglers Polytechn. Journal* **244**, 281, 1882.
- 91) Wrightson, Festigkeit und Elastizität des Fichtenholzes. *Dinglers Polytechn. Journal* **246**, 537, 1882.
- 92) Kidder, Fatigue of small spruce beams. *The Journal of the Franklin Institut* **114**, 261, 1882.
- 93) Heyn, Über den Einfluß der Baumkanten auf den Biegungswiderstand freiliegender Balken. *Der Civil-Ingenieur* **29**, 333, 1882.
- 94) Wagner, Die Festigkeit der Hölzer gemäß ihrer Fällzeit. *Holzindustrie-Ztg.* **2**, 89, 1882.
- 95) Estrada, Strength and other properties of Cuban woods. *Van Nostrand's eclectic engineering magazine* **29**, 417, 1882.
- 96) Bauschinger, M., *Mitt. d. mech.-techn. Labor. d. Techn. Hochschule München*, München 1883.
- 97) Lauboeck, Über die Festigkeit des Ailantusholzes. *Dinglers Polytechn. Journal* **257**, 433, 1885.
- 98) Tourtay, Vergleichende Festigkeitsversuche mit brasilianischen Hölzern. *Dinglers Polytechn. Journal* **257**, 336, 1885.
- 99) Preece, Strength of round timber. *The Electrician* **15**, 346, 1885.
- 100) Bauschinger, Festigkeit des Holzes. *Mitt. d. technologischen Gewerbemuseums, Abtlig. f. Holzindustr.*, Nr. 8, 1885, S. 64.
- 101) Turner, Die Festigkeit des Holzes. *Günthers Deutsche Tischlerzeitung* **14**, Nr. 26, 28, 1885.
- 102) Winkler, Hölzerne Balkenbrücken. *Hölzerne Balkenbrücken*, 2. Aufl., 1887, S. 14—47.
- 103) Zimmermann, Knickungsfestigkeit der Bauhölzer. *Technische Blätter* **20**, 157, 1888.
- 104) Spence, Strength of beams. *Engineering* **45**, 641, 1888.

- 105) Stanwood, New formula for the strength of yellow-pine. Railroad Gazette **24**, 76, 1891.
- 106) Forchheimer, Verhältnis der Biegungs- zur Scherfestigkeit des Holzes. Zeitschr. d. Österreichischen Ingenieur- u. Architektenvereins **43**, 157, 1891.
- 107) Stanwood, Tests of the strength of poles, Cornell University. Street Railway Journal **8**, 85, 1892.
- 108) Mayer, Berechnung auf Knickfestigkeit beanspruchter Holzstäbe. Zeitschr. d. Österreichischen Ingenieur- u. Architektenvereins **45**, 505, 1893.
- 109) Unwin, The testing of materials of construction. Proc. Roy. Soc. **57**, 1895.
- 110) Mikolascheck, Technische Blätter. Prag 1897.
- 111) Schwappach, Eigenschaften des amerikanischen Kiefernholzes. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen, Jahrg. 29, S. 376—381, 1897.
- 112) Rudeloff, Untersuchungen über den Einfluß des Blauwerdens auf die Festigkeit des Kiefernholzes. Mitt. a. d. Kgl. techn. Versuchsanstalten Berlin, Jahrg. 15, S. 1—45, 1897.
- 113) Wijkander, Versuche mit schwedischen Hölzern. Bonniers. Göteborg 1897.
- 114) Janka, Mitt. a. d. forstl. Versuchswesen i. Österreich. Mariabrunn, Verlag Frick, Wien, 1897.
- 115) Fernow, Relation of the strength of wood under compression to its transverse strength. Engineering and mining journal, Jahrg. 66, S. 63, 1898.
- 116) Rudeloff, Einfluß des Blauwerdens auf die Festigkeit von Kiefernholz. Mitt. a. d. Kgl. techn. Versuchsanstalt Berlin, Jahrg. 17, S. 209—239, Berlin 1899.
- 117) Storer, Einfluß des Blauwerdens auf die Festigkeit von Kiefernholz. Centrabl. d. Bauverwaltung, Jahrg. 20, S. 53—55, 1900.
- 118) Friedländer, Strength of timber. Journal of gas-lighting, water supply and sanitary improvement **77**, 811, London 1901.
- 119) Wijkander, Strength of structural timber. The Engineering and Building Record **50**, 743, New York 1904.
- 120) v. Schrenk and Hatt, Strength of timber treated with preservatives. The Railway Engineer **26**, 103, London 1905.
- 121) Ross, Diagrams for the strength of steel and wooden columns. Engineering news and American railway journal **55**, 470, New York 1906.
- 122) Nördlinger, Holzfestigkeitsprüfungen in der Versuchsanstalt in Mariabrunn. Zeitschr. d. Österr. Arch.- u. Ing.-Ver. 1907, S. 565.
- 123) Metzger, Druck- und Zugfestigkeit von Laub- und Nadelhölzern. Botan. Zentralbl. **7**, 16, 1910.
- 124) Warren, Elastizität und andere Eigenschaften der Harthölzer. Department of forestry, New-South-Wales. Sidney 1911.
- 125) Léon, A., Mitt. d. Wiener mech.-techn. Labor., Heft 13, 1911.
- 126) Baumann, Versuche über Elastizität und Festigkeit von Bambus-, Akazien-, Eschen-, und Hickoryholz. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. **1**, 229, Berlin 1912. Mitt. über Forschungsarbeiten, Heft 131, Ver. d. Ing., 1913.

- 127) Rudeloff, M., Untersuchungen an Fichtenholz. Mitt. a. d. Material-Prüfungsamt, Heft 7, S. 339, Gr. Lichterfelde 1912.
- 128) Janka, G., Festigkeit verschiedener Hölzer. Zentralbl. d. Bauverwaltung 1913, S. 706.
- 129) Troschel, Über die Festigkeit der Wasserbauhölzer. Zentralbl. d. Bauverwaltung 1913 u. 1915.
- 130) Vespermann, Bauhölzer und ihre Verbreitung im Welthandel. 1914.
- 131) Tiemann, H. D., Effect of Different Methods of Drying on Strength of Wood. Lumber World Review, April 1915.
- 132) Weisskopf, Untersuchungen von Teakholz. Glasers Annalen 1915, S. 68.
- 133) Einfluß oftmals wiederholter Belastung auf die Festigkeit von Holz. Nat. Physik. Labor. Teddington 58 u. 60, Report 1915/16.
- 134) Betts, H. S. und Newlin, J. A., Strength Tests of Structural Timbers Treated by Commercial Wood Preserving Processes. Railway Review, Februar 1916.
- 135) Newlin, J. A. und Wilson, Th. R. C., Mechanical Properties of Woods Grown in the U. S. U. S. Department of Agriculture, Bullet. Nr. 556, 1917. Government Printing Office Washington 1923.
- 136) Elmendorf, A., Testing Strength of Airplane Wing Ribs 55 to 96 in. Automotive Industry, July 1919.
- 137) The Effect of Kiln Drying on the Strength of Airplane Woods. National Advisory Committee for Aeronautics, Report No. 68, Washington D. C. 1919.
- 138) Deflection of Beams with Special Reference to Shear Deformations. Nat. Advis. Comm. f. Aeronaut. Report No. 180, Washington D. C. 1919.
- 139) Form Factors of Beams Subjected to Transverse Loading Only. Nat. Advis. Comm. f. Aeronaut. Report No. 181, Washington D. C. 1919.
- 140) Stresses in Wood Members Subjected to Combined Column and Beam Action. Nat. Advis. Comm. f. Aeronaut. Report No. 188, Washington D. C. 1919.
- 141) Forest Products Laboratory, Forest Service. Wood in Aircraft Construction. U. S. Department of Agriculture, Government Printing Office, Washington 1919.
- 142) Franz, Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Eigenschaft des Holzes. Motorwagen 1919, S. 495.
- 143) Hannoversche Waggonfabrik A.-G., Hannover-Linden. Hawa Nachr. Holz-Sondernummer, 3. Jahrg., Heft 5, 1921.
- 144) Wilson, T. C., Effect of Spiral Grain on the Strength of Wood. Journal of Forestry, Nov. 1921.
- 145) Baumann, R., Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule in Stuttgart. VDI-Verlag, VDI-Forschungsarbeit, Heft 231. Berlin 1922.
- 146) Carrington, H., Young's Modulus and Poisson's Ratio for Spruce. Philos. Magazine 43, 871, 1922.
- 147) Carrington, H., The elastic constants of spruce. Philos. Magazine VI, 45, 1055, 1923.
- 148) Hansen, C. J., Über die Eigenschaften des Resonanzbodenholzes und seine Verwendung im praktischen Klavierbau. Monatsbl. d. Firma Grottrian-Steinweg, Heft 7/8, S. 40; Heft 9/12, S. 52. Braunschweig 1923.

- 149) Wilson, T. C., Results of some Strength Tests on Wooden Poles. Forest Products Labor., Apr. Madison, Wisc. 1923.
- 150) Hatt, W. K., Strength of Wood. Mc Graw-Hill Book Co., Marks Handbook, S. 622, New York 1924.
- 151) Meyer, P., Die Frage des Baustoffs im Leichtbau. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 68, 555, Berlin 1924.
- 152) Newlin, A. und Johnson, R. P. A., Structural Timbers Defects and Their Influence on Strength. Proceedings of the American Society for Testing Maters., Part II, 24, 939, 975, Febr. 1924.
- 153) Johnson, R. P. A., The Strength of Mine Timbers. Mc Graw - Hill Book Co., Mining Magazine, New York 1924.
- 154) Markwardt, L. J., Tentative Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber, Serial Designation, D 143—224 T. Proceedings of the American Society for Testing Maters., Subcommittee IX of A. S. T. M. Com. D—7, Part I, 24, 939, 975, 1924.
- 155) Melan, Brückenbau I, 2. Aufl., 1910, S. 104.
- 156) Koehler, A. und Pillow, M. Y., Effect of High Temperatures on Mode of Fracture of a Softwood. South. Lumberman, Nashville, Tenn., issue of Dec. 1925.
- 157) Auerbach, E. und Hort, W., Statik und Dynamik elastischer Körper. Handb. d. physik. u. techn. Mechanik, Bd. III, 1. Teil. Leipzig, Verlag J. A. Barth, 1927.
- 158) Maier-Leibnitz, Beitrag zur Frage der tatsächlichen Tragfähigkeit einfacher und durchlaufender Balkenträger aus Baustahl St. 37 und aus Holz. Bautechnik, Heft 1, 1928, S. 11.
- 159) Graf, O., Die Festigkeitseigenschaften der Hölzer und ihre Prüfung. Maschinenbau 8, Nr. 19, 641, 1929.
- 160) Sieglerschmidt, H. und Stamer, J., Elastische Formänderungen gezogener Holzstäbe. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 73, 1649—1650, 1929.
- 161) Gaber, E., Festigkeitseigenschaften der Schwarzwaldhölzer. Bauingenieur Nr. 35, 1930, S. 597—602.
- 162) Fishbaugh, E. J., Airplane Spruce. American Society of Mechanical Engineers. Bericht d. Wood Industries Division for Presentation at the Semi Annual Meeting Detroit, June. Detroit, Mich. 1930.
- 163) Graf, O., Versuche der Deutschen Reichseisenbahn mit Bauhölzern verschiedener Herkunft. Bautechnik 7, 99, 1930.
- 164) Graf, O., Über wichtige technische Eigenschaften der Hölzer. Maschinenbau 9, Nr. 11, 375, 1930.
- 165) Forssell, C., Festigkeitsversuche bei (schwedischen) Nadelhölzern. Vetenskaps Akd. Handlingar, Nr. 104, S. 49—80, Stockholm 1930.
- 166) Mc Alister, E. H., Strength tests of old Douglas fir Timbers. University of Ore, pub'n., math. ser. 1930.
- 167) Baumann, R. und Schwarz, O., Das normale Verhalten der technischen Feststoffe. Handb. d. physik. u. techn. Mechanik, Bd. IV, 2. Hälfte. Leipzig, Verlag J. A. Barth, 1931.
- 168) Strength Values for Various American and European Species of Wood. Results of Tests on Small Clear Specimens. Forest Products Laboratory. U. S. Department of Agriculture.
- 169) Cohn-Wegner, Holz, Festigkeitszahlen und Ingenieur. Holzindustrie, Jahrg. 11, Nr. 25, 1931, S. 394—397.



- 170) Gaber, E. und Hoeffgen, H., Versuche über die Festigkeit von rot- und weißkernigem Rotbuchenholz. Zeitschr. d. Ver. d. Ing., Heft 14, S. 421, Berlin 1931.
- 171) The Relation of Specific Gravity of Wood to Its Sprinkage and Its Strength Properties. U. S. Department of Agriculture, Bul. 676.
- 172) U. S. Forest Service, Significance of the „Factor of Safety“ in working Stresses for Structural Timbers. Forest Products, Laboratory, Technic. Note No. 222, Madison, Wisconsin.
- 173) U. S. Forest Service, Comparative Strength of Air-Dried and Kiln-Dried Wood. Forest Products, Laboratory, Technic. Note No. 180, Madison, Wisconsin.

D. Schriften, die sich mit der Untersuchung einer physikalischen oder mechanischen Eigenschaft des Holzes befassen

1. Schub- und Scherfestigkeit

- 174) Bevan, Angaben über Verdrehungsfestigkeit. Philosophical Transactions 1829.
- 175) Trautwine, Shearing strengths of some american woods. The Franklin Journal, Jahrg. 109, 1879, S. 105.
- 176) Hochereau, Résistance de quelques bois au glissement de leurs fibres. Ann. trav. **41**, 19, 1882.
- 177) Winkler, Angaben über Schubfestigkeit. Hölzerne Balkenbrücken, 2. Aufl., 1887.
- 178) Grübler, M., Versuche über die Schubfestigkeit und -elastizität. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. **12**, 449—455, 1909.
- 179) Holländische Versuche von 1912. De Ingeneer, Techn. Gemeindeblatt 1912/13, S. 316.
- 180) Inokuty, Technical Papers, S. 163—172, Tokio 1913.
- 181) Young, A. W., Elderton, E. M., Pearson, K., The Torsion resulting from Flexure in Prisms with Cross-sections of Uni-axial Symmetry only. Cambridge University Press. Cambridge 1918.
- 182) Carrington, H., The Moduli of Rigidity for Spruce. Philos. Magazine **41**, 848, 1921.
- 183) Huber, K., Verdrehungselastizität und -festigkeit von Hölzern. Zeitschr. d. Ver. d. Ing., Heft 15, 1928, S. 500.
- 184) Gaber, E., Schubfestigkeit von Holz. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. **73**, Nr. 26, 932—935, 1929.
- 185) Thurston, Torsional resistance of materials (Hölzer) determined by a new apparatus with automatic registry. The Journal of the Franklin Institute **65**, 254, Philadelphia 1869—1873.

2. Druckfestigkeit

- 186) Schwappach, A., Untersuchung über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume, I. Kiefer. 1897.
- 187) Dankelmann, Einfluß des Blauwerdens auf die Druckfestigkeit des Kiefernholzes. Centralbl. d. Bauverwaltung, Jahrg. 17, S. 465/66, 1897.
- 188) Schwappach, Baumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. Centralblatt für Agrikulturchemie und rationellen Land-

- wirtschaftsbetrieb, Herausgeber Biedermann, R., Jahrg. 29, S. 257—260, Leipzig 1900.
- 189) Föppl, Angaben über Druckfestigkeit. Mitt. a. d. mechan., techn. Labor. d. Kgl. Techn. Hochschule zu München, Heft 29, S. 7—25, München 1904.
- 190) Cline und Heim, Versuche für die amerikanische Forstverwaltung. U. S. Department of Commerce, Bull. **108**, 1912.
- 191) Warren, Angaben über Druckfestigkeit. The Builder, II, 1912, S. 518—520.
- 192) Smith, P. W., Angaben über Druckfestigkeit. The Engineer, I, 1914, S. 391—393.
- 193) Trauer, Druckversuche mit Holz. Eisenbau **10**, 139, 1919.
- 194) Stamer, Über Druckversuche mit Holz bei Beanspruchung senkrecht zur Faserrichtung. Mitt. d. Material-Prüfungsamtes Groß-Lichterfelde 1920.
- 195) Graf, O., Beobachtungen über den Einfluß der Größe der Belastungsfläche auf die Widerstandsfähigkeit von Bauholz gegen Druckbelastung quer zur Faser. Bauingenieur **2**, 498, 1921.
- 196) Graf, O., Versuche über die Druckelastizität und -festigkeit von Tannen- und Eichenholz nach wiederholter Belastung. Bautechnik, Heft 30, 1928, S. 438.
- 197) Schlyter und Winberg, Die Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt. Ing. Vetenskaps Akd. Handlingar 92, Stockholm 1929.
- 198) Rothe, G., Druckfestigkeit und Druckelastizität des Rot- und Weißholzes der Fichte. Mitt. d. Sächs. forstl. Versuchsanstalt, Botan. Abtlg. Tharandter forstl. Jahrbuch **81**, Heft 4, 204—231, Berlin 1930.
- 199) Schüle, Mitt. d. intern. Verbandes f. d. Materialprüfung d. Technik, Bd. II, 8, Nr. 29, 4.

### 3. Biegeschwungungsfestigkeit

- 200) Versuche des Nat. Phys. Laborat. Engineering **101**, 603, 1916.
- 201) Moore und Commers, The Fatigue of Metals. Mc Graw-Hill Book Co., S. 244—250, New York 1927.
- 202) Angström, Schwedische Flugtechnische Untersuchungen. Aeronautical Journal, Sonderdruck, Oktober 1929.
- 203) Kraemer, O., Dauerbiegeversuche mit Hölzern“. Luftfahrtforschung **8**, Heft 2, 39, 1930.

### 4. Spaltfestigkeit

- 204) Rudeloff, M., Probekörper für Spaltversuche. Mitt. a. d. techn. Versuchsanstalt, S. 191, Berlin 1899.

### 5. Dämpfung

- 205) Pertz, E., Die Bestimmung der Baustoffdämpfung nach dem Verdrehungsausschwingungsverfahren. Braunschweig, Verlag Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges., 1928.

### 6. Poissonsche Konstante

- 206) Mallock, A., Poisson's Ratio for pine, Box and beech. Proc. Roy. Soc. **29**, 157, London 1879.
- 207) Carrington, H., Youngs' Modulus and Poisson's Ratio for Spruce. Philos. Magazine **1**, 873, 1922.

### 7. Härte

- 208) Ahrens, J., Zusammenstellung der Meßzahlen von Büsgen über Härte, von Tetmajer über Festigkeit. Industriewarte **290**, 263 264, 1911.
- 209) Janka, Härteprüfung des Holzes mittels Kugeldruckverfahrens. Mitt. d. VI. Kongress. d. intern. Verb. f. d. M. d. T. i. New York, Bericht XXIII, 3, New York 1912.
- 210) Petitpas, M. J., L'usinage des bois africains. Société des Ingenieurs Civils de France, Bulletin Jahrg. 81, Nr. 3 u. 4, 1928, S. 466.
- 211) Schwarzk, M. v. und Bues, K., Holzhärteprüfung mit dem Fallhärteprüfer. Maschinenbau **8**, Nr. 12, 403, 1929.
- 212) Stamer, J., Die Kugeldruck-Härteprüfung von Holz. Maschinenbau, Heft 7, 1929, S. 215.

### 8. Dauerhaftigkeit

- 213) Hartig, G. L., Versuche über die Lebensdauer der Hölzer. Stuttgart u. Tübingen 1822.
- 214) Rudeloff, Einfluß der Schlagzeit der Hölzer auf die Dauer des Holzes. Gesundheits-Ingenieur, Jahrg. 22, S. 163, München 1899.
- 215) Schiller-Tietz, Einfluß der Fällungszeit auf die Qualität der Nutz- und Bauhölzer. Deutsche Bauzeitung, Jahrg. 34, S. 346, Berlin 1900.
- 216) Wijkander, Einfluß der Zeit auf die Festigkeitseigenschaften des Holzes. Baumaterialienkunde, Jahrg. 9, S. 54, Stuttgart 1904.
- 217) Seufferheld, Versuche über die Dauerhaftigkeit des Pfahlmaterials, nach verschiedenen Methoden imprägniert. Weinbau u. Weinhandel, Jahrg. 23, Nr. 12, S. 113, Beil., Mainz 1905.
- 218) Janka, Fällzeit des Holzes. Zeitschr. f. d. Baugewerbe, Jahrg. 51, S. 184, Halle 1907.
- 219) Über die Abnutzbarkeit von Holz. Baumaterialienmarkt 1912, S. 148.
- 220) Über die Abnutzbarkeit von Holz. Jahresbericht d. Materialprüfungsamtes, S. 15, Groß-Lichterfelde 1913.
- 221) Dänische Untersuchungen über den Einfluß der Fällzeit auf die Eigenschaften des Fichtenholzes. Dansk Skovforenings Tidsskrift, Bind XII, S. 56—62, Kopenhagen 1927.
- 222) Malencovic, Die Holzkonservierung im Hochbau. Berlin, Verlag Julius Springer, 1928.
- 223) Mahlke-Troschel, Handbuch zur Holzkonservierung, 2. Aufl. Berlin, Verlag Julius Springer, 1928.
- 224) Lagerberg, T., Die Abhängigkeit der Fäule vom Wasserstand (schwedisch). Vatenkaps Akad. Handlingar, Nr. 104, S. 5—44, Stockholm 1930.
- 225) Knuchel, H., Untersuchungen über den Einfluß der Fällzeit auf die Eigenschaften des Fichten- und Tannenholzes. I Teil.: Einfluß

der Fällzeit auf einige physikalische und gewerbliche Eigenschaften des Holzes. Beiheft z. d. Zeitschr. d. Schweiz. Forstvereins Nr. 5, 1930. Bern, Buchdruckerei Böhler & Co., 1930.

- 226) Gäumann, E., Untersuchungen über den Einfluß der Fällungszeit auf die Eigenschaften des Fichten- und Tannenholzes. II. Teil: Einfluß der Fällungszeit auf die Dauerhaftigkeit des Fichten- und Tannenholzes. Beiheft z. d. Zeitschr. d. Schweiz. Forstvereins Nr. 6, 1930. Bern, Buchdruckerei Böhler & Co., 1930.

#### E. Lieferbedingungen für Holz

- 227) Newlin, J. A., Basic Grading Rules and Working Stresses for Structural Timbers. U. S. Department of Agriculture Circ. No. 295, 1923, S. 21.
- 228) Recommended Building Code Requirements for working stresses in building materials. U. S. Dep. of Commerce, Nat. Bureau of Standards, Report of building code committee 1926, S. 43.
- 229) American Lumber Standards. Dept. of Commerce Simplified Practice Recommendation No. 16, 1926.
- 230) Standards and Specifications in the wood-using industries. U. S. Department of Commerce, Nat. Bureau of Standards, Miscellaneous Publications No. 79, 1927, S. 18.
- 231) The National Hardwood Lumber Association, Rules for Measurement and Inspection of Hardwood Lumber, Cypress, Veneers, Thin Lumber and Plywood. Chicago 1928.
- 232) Abnahmebestimmungen für Hölzer. *Industria* 44, Nr. 2, S. 37—40, Mailand 1930.

#### F. Literatur über Untersuchungen an Holzkonstruktionen und Holzkonstruktionselementen

- 233) Bland, Working strength of bridge posts. *Van Nostrand's eclectic magaz.* 27, 201, 1882.
- 234) Bassoe, Verbindung von Rundholzbalken. *Norsk Teknisk Tidsskrift* 11 und 12, 1889.
- 235) Lang, Über die geschichtliche Entwicklung des verstärkten Balkens. Zur Entwicklung der Spannwerke des Bauwesens S. 94—101, Riga 1890.
- 236) Bock, Versuche an Holzbrücken. *Wochenschr. des österr. Ing.- und Architektenvereins* 1891, S. 21.
- 237) Schwirkus, Einfluß der Armierung der Holzverbände und deren Festigkeit. *Uhlands technische Rundschau, Gruppe 1—5*, 2, 55/56, Leipzig 1901.
- 238) Turner, I. B., Vorschriften, betreffend die eisernen und die hölzernen Hochbaukonstruktionen. *Mitt. d. Förderung, Lokal- und Straßenbahnwesen* 3, 110—114, 1909.
- 239) Lengeling, Versuche mit verdübelten und verstärkten Balken. *Glaser's Annalen* 1, 177—186, 1910.
- 240) Alvarez, Verdübelung von Balken. *Engineering Record* 1914.
- 241) Bestimmungen des preußischen Ministers für Volkswohlfahrt über die bei Holzbauten anzunehmenden Belastungen und zulässigen Beanspruchungen der Baustoffe vom 24. Dezember 1919.

- 242) Markwardt, L. J. and Chairman, Tentative Methods for Conducting Static Tests of Timbers in Structural Sizes, Serial Designations D 198—24 T. Proceedings of the American Society of Testing Materials. Part I, **24**, 976—994, Feb. 1924.
- 243) Rous, S. J. A-Normen für Holzbauten. Zürich 1925.
- 244) Die vorläufigen Bestimmungen für Holztragwerke. Herausgegeben v. d. Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft Bd. IV, 1926.
- 245) Bauvorschriften für Flugzeuge. Selbstverlag der Deutschen Gesellschaft für Luftfahrt. Adlershof 1928.
- 246) Schrenk, M. und Pilgrim, M. v., Festigkeit von Bolzen in Holzbauteilen. 114. DVL-Bericht i. d. „Luftfahrtforschung“ **2**, 147, 1928.
- 247) Stamer, J., Untersuchungen an zugfesten Anschlüssen im Holzbau. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. **73**, Nr. 17, Berlin, April 1929.
- 248) Schächterle, Holz als Baukonstruktionsmittel. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. **73**, 1771, 1929.
- 249) Berechnung der Holztragwerke. DIN-Normblatt 1074. Zeitschr. d. Ver. d. Ing., Heft 50, 1929, S. 1771.
- 250) Chopard, C., Festigkeitsversuche an Holzverbindungen mit abgestuften, geschlossenen Ringdübeln. Schweiz. Bauzeitung **95**, Nr. 8, S. 99—103; Nr. 9, S. 117—120, Zürich 1930.
- 251) Graf, O., Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Knotenpunktverbindungen aus Bauholz. Bauingenieur **11**, 277, 1930.
- 252) Graf, O., Druck- und Biegeversuche mit gegliederten Stäben aus Holz. VDI-Forschungsarbeiten Heft 319, VDI-Verlag, Berlin 1930.
- 253) Formänderungen bei Fachwerkkonstruktionen aus Holz. Bouwbedriff, Jahrg. 8, S. 8—10, Den Haag 1931.
- 254) Andersen, W., Untersuchungen über Bolzenverbindungen mit Holzkonstruktionen. Bautechnik, Jahrg. 9, Nr. 21, S. 305—316, 1931.
- 255) Heck, G. E., Built-up Southern Yellow Pine Timbers Tested for Strength. Nat'l Lumber Mftrs. Ass'n Wood Construction Service, Series E—2b.

**Neuere und neueste Hefte der „Sammlung Vieweg“**

- Heft 46. Dr. Bruno Alexander-Katz: *Quarzglas und Quarzguß*. Mit 43 Abb. M. 2,25.
- Heft 47. Prof. Dr. G. Berndt: *Radioaktive Leuchtfarben*. Mit 28 Abbildungen im Text und auf einer Lichtdrucktafel. M. 3,60.
- Heft 48. Dr. R. Fürth: *Schwankungserscheinungen in der Physik*. Mit 5 Abb. M. 3,15.
- Heft 50. Prof. Dr. C. Dorno: *Klimatologie im Dienste der Medizin*. Mit 11 Abbildungen. M. 2,70.
- Heft 51. Prof. Dr. C. Isenkrahe: *Zur Elementaranalyse der Relativitätstheorie*. M. 4,—.
- Heft 52. Dr.-Ing. Max Moeller: *Das Ozon. Eine physikalisch-chemische Einzeldarstellung*. Mit 32 Textfiguren. M. 5,40.
- Heft 53. Dr. V. Geilen: *Mathematik und Baukunst als Grundlagen abendländischer Kultur. — Wiedergeburt der Mathematik aus dem Geiste Kants*. M. 2,70.
- Heft 54. Dr. H. Heinrich Franck: *Die Verwertung von synthetischen Fettsäureestern als Kunstspeisefette in wirtschaftlicher, physiologischer und technischer Beziehung*. Mit 3 Abbildungen. M. 2,90.
- Heft 55. Dr. Alfred Wegener: *Die Entstehung der Mondkrater*. Mit 9 Abbild. im Text und auf 3 Tafeln. M. 2,—.
- Heft 56. Niels Bohr: *Drei Aufsätze über Spektren und Atombau*. 2. Auflage. Mit 13 Abbildungen. M. 4,50.
- Heft 57. Prof. Dr. Hans Cloos: *Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge*. Mit 24 Zeichnungen und einer Karte. M. 3,60.
- Heft 58. Dr. Walther Gerlach: *Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie*. 2. Auflage. Mit 43 Abbildungen.
- Heft 59. Prof. Dr. E. Study: *Denken und Darstellung in Mathematik und Naturwissenschaften*. 2. verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 10 Abbildungen. M. 3,35.
- Heft 60. Prof. Dr. techn. Milan Vidmar: *Theorie der Kreiselpumpe*. Mit 39 Abbildungen. M. 4,25.
- Heft 61. Reg.-Rat Dr. W. Meissner: *Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt*. Mit 66 Abbildungen. M. 3,60.
- Heft 62. Dr. K. Siebel: *Die Elektrizität in Metallen*. M. 3,15.
- Heft 63. Dr.-Ing. M. Dolch: *Die rationelle Verwertung der niederwertigen Braunkohlen*. Mit 7 Abbildungen. M. 2,70.
- Heft 65. E. Study: *Mathematik und Physik*. Eine erkenntnistheoretische Untersuchung. M. 1,35.
- Heft 66. Dr. Walter Schallreuter: *Über Schwingungserscheinungen in Entladungsröhren*. Mit 14 Abbildungen. M. 1,35.
- Heft 67. Prof. Dr. Eberhard Buchwald: *Das Korrespondenzprinzip*. M. 4,90.
- Heft 68. Direktor Dr. Iwan Döry: *Die Schüttelerscheinungen elektrischer Lokomotiven mit Kurbelantrieb*. Mit 12 Abbildungen. M. 1,35.
- Heft 69. Prof. Dr.-Ing. Fritz Emde: *Sinusrelief und Tangensrelief in der Elektrotechnik*. Mit 18 Bildern. M. 4,—.
- Heft 70. Laurenz Bock: *Die Konstitution der Ultramarine*. Mit 3 Abb. M. 2,15.
- Heft 71. Dr. Ernst v. Angerer: *Technische Kunstgriffe bei physikalischen Untersuchungen*. 2. Auflage. Mit 23 Abbildungen. M. 5,40.
- Heft 72. Dr. Fritz Giese: *Das außerpersönliche Unbewußte. Theoretische Bemerkungen zum intuitiven Denken*. M. 3,15.
- Heft 73. Dr.-Ing. Karl Becker: *Die Röntgenstrahlen als Hilfsmittel für die chemische Forschung*. M. 4,90.
- Heft 74. Dr. W. H. Creutzfeldt: *Korrosionsforschung vom Standpunkte der Metallkunde*. M. 1,80.