

3-

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300714



5 16

22

x  
2.304



# MITTHEILUNGEN

AUS DEM

## MECHANISCH-TECHNISCHEN LABORATORIUM

DER

**K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE**

IN

MÜNCHEN

VON

**J. BAUSCHINGER**

O. PROFESSOR DER TECHNISCHEN MECHANIK UND GRAPHISCHEN STATIK.

NEUNTES HEFT,

MITTHEILUNG X ENTHALTEND:

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ELASTICITÄT UND FESTIGKEIT VON FICHTEN- UND KIEFERN-BAUHÖLZERN

MIT 7 GRÖßEREN TABELLEN UND 4 BLÄTTERN ABBILDUNGEN.



MÜNCHEN

THEODOR ACKERMANN

KÖNIGLICHER HOF-BUCHHÄNDLER

1883. 92

III 17991



- IX. Heft: Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit von Fichten- und Kiefern-Bauhölzern. 34 S. u. 4 Tafeln. Preis M. 4.—
- X. Heft: Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der wichtigsten natürlichen Bausteine in Bayern. 26 S. u. 5 Doppeltafeln. Preis M. 8.—
- XI. Heft: Versuche über die Abnützbarkeit und Druckfestigkeit von Pflaster- und Schottermaterialien. 36 S. u. 2 Tafeln. Preis M. 6.—
- XII. Heft: Ueber das Verhalten gusseiserner, schmiedeiserner und steinerner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung (Anspritzen). Mit 3 Blättern Abbildungen.  
Vergleichende Versuche über die Schweissbarkeit des Fluss- und Schweisseisens. Mit 2 Tabellen u. 2 Figuren im Text. — 36 S. Preis M. 10.—
- XIII. Heft: Ueber die Veränderung der Elasticitätsgrenze und der Festigkeit des Eisens und Stahls durch Strecken und Quetschen, durch Erwärmen und Abkühlen und durch oftmal wiederholte Beanspruchung. 51 S. Mit 25 Tabellen, 2 lithographirten Blättern und 1 Lichtdrucktafel. Preis M. 10.—
- XIV. Heft: Verhandlungen der Münchener Conferenz und der von ihr gewählten ständigen Commission zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden für Bau- und Constructionsmaterialien. Mit 4 Blättern Abbildg. Preis M. 16.—
- XV. Heft: Ueber das Verhalten gusseiserner und schmiedeiserner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung. (2. Versuchsreihe). Mit 2 Blättern Abbildungen.  
Zerknickungsversuche. (1. Reihe.) Mit 43 grösseren Tabellen und 2 Blättern Abbildungen.

SECHZEHNTHES HEFT,

ENTHALTEND:

MITTHEILUNG XIX: UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ELASTICITÄT UND FESTIGKEIT VERSCHIEDENER NADELHÖLZER.  
MIT 2 GRÖßEREN TABELLEN, 2 LITHOGRAPHIRTEN BLÄTTERN UND EINER LICHTDRUCKTAFEL.

MITTHEILUNG XX: ÜBER DIE VERÄNDERUNG DER FESTIGKEIT DES NADELHOLZES NACH DEM FÄLLEN.  
MIT EINER GRÖßEREN TABELLE.

- XVII. Heft: Versuche über die Elasticität und Festigkeit von Treibriemen, Seilen und Ketten. Mit 5 Blättern Abbildungen. 34 S. Preis M. 12.—
- XVIII. Heft: Elasticität, Festigkeit und Abnützbarkeit verschiedener Stein-Materialien. Mit 2 grossen Tabellen und 3 Blättern Abbildungen. 60 S. Preis M. 12.—
- XIX. Heft: Versuche über die Frostbeständigkeit natürlicher und künstlicher Bausteine. Mit 4 grossen Tabellen. 71 S. Preis M. 10.—
- XX. Heft: Einfluss der Zeit bei Zerreiß-Versuchen mit verschiedenen Metallen. Mit 11 Tabellen und 18 Blättern Abbildungen. 38 S. Preis M. 22.—
- XXI. Heft: Ueber den Einfluss der Gestalt der Probestäbe auf die Ergebnisse der Zugversuche mit denselben. Mit 5 grossen Tabellen und 4 Blättern Abbildungen. 43 S. Preis M. 10.—

Akc. Nr. 801/52

g. x. 47/1883



# MITTHEILUNGEN

AUS DEM

# MECHANISCH-TECHNISCHEN LABORATORIUM

DER

**K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE**

IN

**MÜNCHEN**

*J. M. 18387*

VON



**J. BAUSCHINGER**

O. PROFESSOR DER TECHNISCHEN MECHANIK UND GRAPHISCHEN STATIK.

NEUNTES HEFT,

MITTHEILUNG X ENTHALTEND:

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ELASTICITÄT UND FESTIGKEIT VON FICHTEN- UND KIEFERN-BAUHÖLZERN

MIT 7 GRÖßEREN TABELLEN UND 4 BLÄTTERN ABBILDUNGEN.

**MÜNCHEN**

**THEODOR ACKERMANN**

KÖNIGLICHER HOF-BUCHHÄNDLER

1883.

*G 16  
22*

7. x. 47/1883



MITTHEILUNGEN

7. x. 47/1883



nr inw. 1851



LABORATORIUM

MICHIELS

## Vorwort.

Die Herausgabe meiner „Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der k. technischen Hochschule in München“ hat seit dem Jahre 1879, wo das achte Heft derselben erschien, eine Unterbrechung erlitten. Sie wurden bis dahin zuerst in der „Zeitschrift des Bayerischen Architekten- und Ingenieurvereins“ und in der „Zeitschrift für Baukunde“, in welcher letztere jene im Jahre 1878 übergegangen ist, veröffentlicht und unmittelbar darnach als Separat-Abdrücke in besonderen Heften versandt. Gegen diese Art der Veröffentlichung erhoben sich aber bei mir selber in dem Masse mehr und mehr Bedenken, als der Umfang meiner experimentellen Arbeiten und zugleich mit ihnen die Mannigfaltigkeit der Materialien, an denen die Versuche angestellt wurden, zunahm. Ich glaubte, den Mitgliedern der Vereine, deren Organ die „Zeitschrift für Baukunde“ ist, nicht zumuthen zu dürfen, Abhandlungen, und oft recht umfangreiche Abhandlungen, mit in den Kauf nehmen zu müssen, die entweder mehr nur theoretisches Interesse haben, oder sich auf Gebieten bewegen, die dem Hüttentechniker, oder dem Maschineningenieur, oder dem Forstmann näher liegen, als dem Bauingenieur. Deshalb suchte ich seit dem Jahre 1879 meine verschiedenen Abhandlungen in solchen Zeitschriften, wie z. B. im „Dingler'schen Journal“, im „Civilingenieur“, in den „Glaser'schen Annalen“ etc. etc. unterzubringen, von denen ich voraussetzen konnte, dass sich ihr Leserkreis speziell dafür interessiren würde. Das aber hatte nun allerdings wieder den Nachtheil, dass sich meine Veröffentlichungen, die denn doch wieder in verschiedenen Hinsichten im Zusammenhange unter einander stehen, so sehr zersplitterten, dass es Solchen, die sich für alle interessiren, sehr schwer, wenn nicht unmöglich wurde, sich dieselben zu verschaffen. Klagen, welche mir von Zeit zu Zeit und von verschiedenen Seiten her darüber zu Ohren kamen, und deren Berechtigung ich selber am meisten fühlte, wenn ich bei neuen Arbeiten auf die älteren, nun in verschiedenen Zeitschriften zerstreuten verweisen musste, weckten schon vor längerer Zeit, als ich eben daran gehen wollte, mehrere grössere Versuchsreihen für die Veröffentlichung auszuarbeiten, den Gedanken in mir, meine Arbeiten zukünftig in der Gestalt der früheren Separat-Ausgabe der „Mittheilungen“ und als Fortsetzung derselben zu publiciren, aber ohne sie zuvor in eine Zeitschrift zu geben, sondern in selbständigen, der Zeit und dem-Umfange nach zwanglos erscheinenden Heften. Herr Theodor Ackermann, der Verleger der ersten 8 Hefte der „Mittheilungen“, ging bereitwillig auf diesen Plan ein, und so legen wir hiemit dem technischen Publicum das erste Heft der neuen Reihe der „Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der technischen Hochschule in München“ vor, das aber, des Zusammenhanges mit den früheren halber, fortlaufend als neuntes nummerirt ist. Es enthält Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit von Fichten- und Kiefern-Bauhölzern, welche Untersuchungen mit Unterstützung der kgl. bayr. Staatsregierung angestellt worden sind, u. deren Resultate, in Probestücken und Zahlenreihen dargestellt, im vorigen Jahre in der Landes- Industrie- Gewerbe- und Kunst-Ausstellung zu Nürnberg zur Ansicht gebracht worden waren. Die nächsten Hefte werden Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der wichtigsten, in Bayern vorkommenden natürlichen Bausteine, dann solche über verschiedene Sorten

von Eisen und Stahl bringen, Arbeiten, deren Resultate ich gleichfalls schon im vorigen Jahre in der Nürnberger Ausstellung mitgetheilt habe. Nach diesen wird ein Heft mit den Resultaten einer grösseren Versuchsreihe über Ver-  
 nietungen erscheinen, die gegenwärtig im Gange ist etc. etc. Dazwischen hinein sollen solche Hefte zur Aus-  
 gabe gelangen, in denen meine, in der Zeit seit 1879 in verschiedenen Zeitschriften erschienenen Abhandlungen  
 gesammelt werden, nachdem sie gegebenen Falls umgearbeitet und durch neue Versuche ergänzt worden sind,  
 sodass die Abnehmer sämtlicher Hefte nach und nach in den Besitz aller der Abhandlungen kommen können,  
 welche ich über die, im mechanisch-technischen Laboratorium durchgeführten Arbeiten veröffentlicht habe und noch  
 veröffentlichen werde. Jedes Heft wird indessen nur aus einer umfassenden Abhandlung bestehen, oder aus  
 mehreren kleineren verwandten Inhaltes, und für sich allein käuflich sein, damit Diejenigen, die sich nur für eine  
 gewisse Reihe von Arbeiten oder nur für solche Versuche interessiren, die mit bestimmten Materialien angestellt  
 worden sind, nicht auch andere, für sie weniger Interesse bietende mit in den Kauf nehmen müssen.

Möge meinen „Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der technischen Hochschule  
 in München“ in dieser neuen Art ihrer Herausgabe die gleiche freundliche Aufnahme zu Theil werden, wie ihren  
 Vorgängern.

München, am 31. Mai 1883.

**Bauschinger.**

**Berichtigungen zu Heft IX der Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium  
 der technischen Hochschule zu München.**

Seite 11, linke	Spalte, Zeile	6 von unten	l. $\varphi$ statt $\gamma$ .
„ 13, „	„ „	18 von oben	l. 9 „ 8.
„ 13, „	„ „	32 u. 33 von oben	l. die berechneten und beobachteten Werthe von $\varphi$ , statt von $\varphi$ u. $\varphi'$ .
„ 13, rechte	„ „	8 von unten	l. II statt I.
„ 15, linke	„ „	10 von oben	l. $\lambda$ statt $\varphi$ .
„ 15, „	„ „	12 „ „	l. in der Formel $\varphi - \varphi_0$ statt $\varphi = \varphi_0$ .
„ 15, „	„ „	11 „ „	unten l. $\lambda$ statt $\nu$ .
„ 15, rechte	„ „	28 „ „	unten l. F statt L.
„ 17, linke	„ „	16 „ „	oben l. S. 6 statt S. 7.
„ 23, rechte	„ „	4 „ „	unten l. S. 2 statt S. 3.

## Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit von Fichten- und Kiefern-Bauhölzern.

(Mit 7 grösseren Tabellen und 4 Blättern Abbildungen.)

### I. Abschnitt: Zweck der Untersuchungen und Material für dieselben.

Die Untersuchungen, über welche im Nachfolgenden berichtet werden soll, erstreckten sich hauptsächlich über den Einfluss des Standortes und der Fällzeit auf die Elasticität und Festigkeit der wichtigsten Nadel-Bauhölzer. Zur Beschaffung des, zu den Versuchen nothwendigen Materials wurde die Unterstützung der königlich bayerischen Staatsregierung angerufen. Diese Unterstützung wurde bereitwilligst und im ausreichenden Maasse gewährt.

An jedem der vier Standorte, die sogleich näher beschrieben werden sollen, und die wir in der Folge kurz mit Lichtenhof (L), Frankenhofen (F), Regenhütte (R) und Schliersee (Sch) bezeichnen werden, wurden vier, 90—100 Jahre alte vollkommen gesunde und fehlerfreie Stämme (Kiefern am erstgenannten Standorte, Fichten an den drei letzteren) an solchen Plätzen ausgewählt, welche betreffs Dichte des Bestandes etc. ziemlich übereinstimmende Verhältnisse hatten. Je zwei von diesen Stämmen wurden im Sommer (August des Jahres 1881) die beiden anderen im darauf folgenden Winter (December und Januar) gefällt. Die Bäume wurden dabei ca.  $1\frac{1}{2}$  m hoch über dem Boden abgeschnitten. Von jedem derselben wurden sofort zwei, von unten auf unmittelbar aufeinanderfolgende, je 3 m lange Stücke abgetrennt, auf der Sonnenseite mit 1 S u. 1 Z, 2 S u. 2 Z u. s. w. gezeichnet und in kürzester Frist an das Laboratorium auf offenen Eisenbahnwägen versendet. Denselben wurde von dem betreffenden kgl. Oberförster eine kurze Relation beigegeben, enthaltend eine Beschreibung des Standortes und Bestandes, Angabe des Tages der Fällung, der Entrindung und des Versandtes, sowie der Witterung vom Fällungs- bis zum Versendungstage. Diese mir zugegangenen Relationen habe ich in Tabelle I zusammengestellt und geordnet nach der „Anleitung zur Standorts- und Bestandsbeschreibung beim forstlichen Versuchswesen“ (abgedruckt und erläutert in Ganghofers forstlichem Versuchswesen, Band I Heft 1). Die im Sommer gefällten Stämme wurden mit 1 und 2, die im Winter gefällten mit 3 und 4 bezeichnet. Zur Bezeichnung des Standortes

wurde diesen Ziffern der Anfangsbuchstabe desselben hinzugefügt (L. F. R. Sch.) und noch St oder Z, je nachdem der betreffende Abschnitt der untere oder der obere war.

Innerhalb 5 bis 14 Tagen nach der jeweiligen Versandzeit kamen die Abschnitte im Laboratorium an und wurden im freien Hofe desselben, an der Nordseite des Gebäudes auf starke Hölzer aufgelagert und mit Brettern leicht bedeckt. So blieben sie ca. 2 Monate liegen. Alsdann wurde mit der Bearbeitung der Versuchsstücke und mit den Versuchen selbst begonnen.

Aus jedem der  $2 \times 4 \times 4 = 32$  Abschnitte wurde auf der Dampfsäge nach genauer Vorzeichnung ein Balken von möglichst grossen quadratischem Querschnitt so herausgeschnitten, dass der Kern ganz oder doch nahezu in dessen Mitte zu liegen kam und die Querschnittsseiten parallel zur Süd-Nord, bzw. Ost-West Richtung liefen. Diese Balken wurden auf Biegungs-Elasticität und Festigkeit geprüft, indem sie, und zwar diejenigen aus den Abschnitten der Stämme 1 und 3 von Süd nach Nord, diejenigen aus den Abschnitten der Stämme 2 und 4 von Nord nach Süd, durchgebogen und endlich durchgebrochen wurden.

Von den, beim Ausschneiden jener Balken abgefallenen Schwartlingen wurden bei den Stämmen 1 und 3 die beiden auf der Ost- und Westseite gelegenen, bei den Stämmen 2 und 4 die beiden auf der Nord- und Südseite gelegenen ausgewählt und davon 50 cm lange Stücke abgeschnitten, so zwar, dass diese Länge bei den Schwartlingen der untern (St) Abschnitte vom unteren Ende, bei den Schwartlingen der oberen (Z) Abschnitte vom oberen Ende aus abgetragen wurde. Aus diesen Stücken wurden mittelst der Bandsäge Lamellen von 50 cm Länge, ca. 8 cm Breite und 2 cm Dicke geschnitten, so, dass die Mitten der Sehnen der Jahrringe in die Mitte der Breite der Lamelle fielen und die eine Breitseite der letzteren in die gerade Sägeschnittfläche des Schwartlings zu liegen kam. Diese Lamellen dienten zu den Versuchen auf Zug-Elasticität und Festigkeit, nachdem sie zuvor noch in passende, später zu beschreibende Formen gebracht worden waren.

Von den bei den Biegungsversuchen erhaltenen beiden Bruchstücken der Balken wurde bei den untern (St) Abschnitten das untere und bei den oberen (Z) Abschnitten das obere genommen. Von denselben wurden, und zwar bei ersterem vom unteren Ende aus, bei letzterem vom oberen Ende aus, je ein 50 cm langes, ferner zwei je 15 cm lange und endlich ein 8 cm langes Stück abgeschnitten, unmittelbar nacheinander oder in Zwischenräumen, je nachdem die ganze Strecke von 88 cm astfrei war, oder Aesten ausgewichen werden musste.

Aus dem ersten, 50 cm langen Stück wurde eine Lamelle von denselben Dimensionen wie die obigen herausgeschnitten, so, dass sie den Kern in ihrer Mitte enthielt und mit der Breitseite parallel zur Süd-Nordrichtung war bei den Stücken aus den Stämmen 1 und 3 und parallel zur Ost-Westrichtung bei den Stücken aus den Stämmen 2 und 4. Diese Lamellen dienten, wie die vorigen, zu den Versuchen über Zug-Elasticität und Festigkeit.

Aus dem einen der beiden 15 cm langen Stücke wurde ein Parallelepiped von 15 cm Länge und ca.  $10 \times 10$  cm Querschnitt so herausgeschnitten, dass es den Kern in der Mitte enthielt, aus dem anderen zwei solche Parallelepipede aus diagonal gegenüberliegenden Ecken, aus der nordwestlichen und südöstlichen bei den Stücken aus den Stämmen 1 und 3, aus der nordöstlichen und südwestlichen bei denjenigen aus den Stämmen 2 und 4. Diese Parallelepipede wurden zu den Versuchen über Druck-Elasticität und Festigkeit benützt.

Die 8 cm langen Stücke waren zu Abscheerungsversuchen parallel zur Faserrichtung bestimmt.

Das zweite der, bei den Biegungsversuchen erhaltenen beiden Bruchstücke wurde ins Freie, in den Hof des Laboratoriums gelegt, um später zu Untersuchungen über die Frage verwendet zu werden, ob und welchen Einfluss Standort und Fällzeit auf die Dauerhaftigkeit des Holzes haben.

## 2. Abschnitt. Die Biegungsversuche.

Zu den Biegungsversuchen konnten die auf der Dampfsäge aus den Blöcken geschnittenen Balken ohne weitere Zubearbeitung verwendet werden. Sie wurden genau ausgemessen, auf einer Decimalbrückenwaage gewogen, um das spezifische Gewicht zu erhalten, dann in die Prüfungsmaschine gebracht, so dass sie auf eine Spannweite von 250 cm frei anlagen und die in der Mitte concentrirte Kraft, die mittels der Maschine ausgeübt wurde, in der Richtung von der Süd- nach der Nordseite des Baums wirkte bei den Balken aus den Stämmen 1 und 3, in der Richtung von der Nord- nach der Südseite bei denen aus den Stämmen 2 und 4.

Um zu verhüten, dass sich die Stützpunkte zu sehr in den Balken eindrückten, wurden an die Enden derselben eiserne Platten von ca. 1 cm Dicke angeschraubt, welche an den Stützen anlagen. In der Mitte wurde zwischen

das eiserne, prismatische Druckstück\*) mit 8,5 cm breiter Druckfläche und den zu prüfenden Balken ein ca. 2 cm dickes und 20 cm in der Längsrichtung des letzteren messendes Brettstück so gelegt, dass seine Fasern senkrecht zu denen des Balkens liefen. Dadurch setzte es einer Biegung, die mit der des Balkens zugleich stattfindet, nur geringen Widerstand entgegen, verhinderte aber das Eindringen des Druckstückes in den Balken.

Bis zur Elasticitätsgrenze und etwas über dieselbe hinaus wurden die Durchbiegungen mittels des von mir construirten Messapparates gemessen, dessen Beschreibung und Abbildung in der schon oben citirten Broschüre enthalten ist. Ich begnüge mich hier anzugeben, dass er aus drei Rollenfühlhebeln besteht, von denen der eine die Bewegung der Mitte, die beiden andern die Bewegungen der den Stützpunkten gegenüberliegenden Endpunkte der elastischen Linie messen. Das arithmetische Mittel der beiden letzteren von der ersteren Bewegung abgezogen, giebt die wirkliche Ausbiegung der elastischen Linie. Die Uebersetzung der Rollenfühlhebel war 1:10; ein cm der Eintheilung des Gradbogens derselben hat daher den Werth von  $\frac{1}{10}$  cm. Da der Gradbogen in mm getheilt ist und  $\frac{1}{10}$  mm mittelst des auf dem Zeiger angebrachten Nonius gemessen werden können, so erhält man die Ausbiegungen bis auf  $\frac{1}{100}$  mm genau.

Nach Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze wurden die Rollenfühlhebel abgenommen und an die Mitte der Vorderfläche des Balkens das eine Ende eines, in mm getheilten Stangenzirkels angelegt, dessen am andern Ende befindliche, den Nonius tragende Hülse auf einem, zwischen das Gestell der Maschine geklemmten Stück Holz befestigt war. Indem sich der Balken durchbog, schob er den Stangenzirkel vor sich her, und an dem Nonius der Hülse konnte bis auf Zehntelmillimeter die Durchbiegung abgelesen werden. Diese Messung wurde, da der Messapparat nicht gefährdet war, bis zum Bruch des Balkens fortgesetzt. Sie gibt allerdings nur die Bewegung der Mitte, in welcher diejenige der Enden der elastischen Linie noch mitgehalten ist, konnte aber mittels der vorausgegangenen genaueren Messungen mit den Rollenfühlhebeln leicht so corrigirt werden, dass die etwa noch bleibenden Fehler gegen die grossen Durchbiegungen nach Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze vernachlässigt werden konnten.

Nach dem Bruche, welcher immer in oder nahe der Mitte erfolgte, wurde der an der Bruchstelle noch zusammenhängende Balken aus der Maschine genommen, in der Mitte

\*) Ich muss, um hier nicht gar zu weitläufig zu werden, die Construction der Werder'schen Prüfungsmaschine, mit der sämtliche Versuche angestellt wurden, als bekannt voraussetzen. Sie ist ausführlich beschrieben in der Broschüre: „Maschine zum Prüfen der Festigkeit der Materialien, construiert von L. Werder, ausgeführt in der Maschinenbau-Actiengesellschaft Nürnberg, vormals Klett und Co. und Instrumente zum Messen der Gestaltsveränderung der Probekörper construiert von J. Bauschlinger.“ (Zu beziehen von Th. Riedl's Buchhandlung in München).

mit der Baumsäge auseinandergeschnitten und das eine der beiden Stücke, wie oben beschrieben, zu den Probestücken für Zug, Druck und Abscheerung verarbeitet, das andere in's Freie gelegt. Von den Sägespänen wurde eine Durchschnittsprobe in ein Glasentchen gefüllt, und dasselbe in ein Oelbad getaucht, dessen Temperatur constant auf 101° C. erhalten wurde, während fortwährend ein Strom Luft, die durch Schwefelsäure getrocknet war, durch die Späne strich. Eine mindestens 8 stündige Dauer reichte, wie Vorversuche zeigten, aus, um die Späne vollkommen zu

trocknen und so durch den Gewichtsverlust, welchen sie erfahren hatten, den Feuchtigkeitsgehalt derselben vor der Trocknung zu erhalten. Er wird im Nachfolgenden immer in Procenten des Gewichts der feuchten Substanz angegeben.

Es ist unmöglich, hier die sämtlichen Biegungsversuche an den 32 Balken im Detail wiederzugeben. Ich muss mich darauf beschränken, als Beispiel einen derselben, den folgenden, herauszuheben und von den übrigen nur die Endresultate anzugeben.

### 5. Versuch, am 17. October 1881.

Balken aus dem oberen Abschnitte des Stammes 1 von Regenhütte (R. 1. Z.), auf Biegung in der Richtung von Süd nach Nord geprüft.

		rechts	mitten	links
Querschnitts-Dimensionen:	Breite b:	hinten: 19,42 cm	19,33 cm	18,90 cm
		vorn: 19,23 „	19,33 „	18,95 „
	Höhe h:	oben: 19,17 „	19,17 „	19,16 „
		unten: 19,77 „	19,64 „	19,57 „
	Mittel:	19,40 „	19,37 „	19,14 „
		19,305 cm.		

Spannweite: 250 cm; ganze Länge: 297,7 cm; Volumen: 110970 cc; abs. Gewicht; 64,95 kg; spec. Gew.: 0,585.

1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Zeit	Belastg. P Tonnen	Mittlerer Zeiger $\frac{1}{10}$ cm	Rechter Zeiger $\frac{1}{10}$ cm	Linker Zeiger $\frac{1}{10}$ cm	Sa. der beiden Seitenzeiger $\frac{1}{10}$ cm	$\frac{1}{2}$ Sa. der beiden Seitenzeiger $\frac{1}{10}$ cm	Columnne 3 minus 7 Ausbieg. $\frac{1}{10}$ cm	Differ. $\frac{1}{1000}$ cm	Bemerkungen	
9 <sup>h</sup> 55'	0	0	0	0	0	0	0		Der Balken ist, besonders auf der Südseite, in Folge von Pilzbildung ziemlich schwarz geworden.	
57'	0,2	0,71	0,21	0,21	0,42	0,21	0,50	50		
59'	0,4	1,30	0,25	0,35	0,60	0,30	1,00	50		
10 <sup>h</sup> 1'	0,6	1,89	0,18	0,60	0,78	0,39	1,50	50		
3'	0,8	2,50	0,03	0,95	0,98	0,49	2,01	51		
5'	0	0,09	0,02	0,13	0,15	0,07	0,02			
7'	0,8	2,52	0,02	1,00	1,02	0,51	2,01	50		
9'	1,0	3,15	— 0,15	1,43	1,28	0,64	2,51	50		
11'	1,2	3,79	— 0,34	1,85	1,51	0,76	3,03	52		
13'	1,4	4,43	— 0,55	2,30	1,75	0,88	3,55	52		
15'	1,6	5,01	— 0,60	2,50	1,90	0,95	4,06	51		
17'	0	0,17	— 0,05	0,40	0,35	0,17	0,00			
19'	1,6	5,01	— 0,59	2,52	1,93	0,96	4,05			
21'	1,8	5,59	— 0,55	2,60	2,05	1,02	4,57	52		
23'	2,0	6,15	— 0,51	2,68	2,17	1,08	5,07	50		
25'	2,2	6,71	— 0,46	2,73	2,27	1,13	5,58	51		
27'	2,4	7,25	— 0,42	2,78	2,36	1,18	6,07	49		
29'	0	0,20	— 0,06	0,44	0,38	0,19	0,01			
31'	2,4	7,24	— 0,42	2,78	2,36	1,18	6,06			
33'	2,6	7,80	— 0,36	2,83	2,47	1,23	6,57	51		
35'	2,8	8,35	— 0,33	2,87	2,54	1,27	7,08	51		
37'	3,0	8,90	— 0,28	2,91	2,63	1,31	7,59	51		
39'	3,2	9,44	— 0,24	2,94	2,70	1,35	8,09	50		
41'	0	0,22	— 0,06	0,45	0,39	0,19	0,03			
43'	3,2	9,41	— 0,24	2,94	2,70	1,35	8,06			
45'	3,4	9,98	— 0,20	2,97	2,77	1,38	8,60	54		
47'	3,6	10,55	— 0,16	3,00	2,84	1,42	9,13	53		
49'	3,8	11,10	— 0,12	3,03	2,91	1,45	9,65	52		
51'	4,0	11,65	— 0,08	3,06	2,98	1,49	10,16	51		
53'	0	0,24	— 0,05	0,45	0,40	0,20	0,04			
										Elasticitätsgrenze.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Zeit	Belastg. P Tonnen	Mittlerer Zeiger $\frac{1}{10} \text{ cm}$	Rechter Zeiger $\frac{1}{10} \text{ cm}$	Linker Zeiger $\frac{1}{10} \text{ cm}$	Sa. der beiden Seiten- zeiger $\frac{1}{10} \text{ cm}$	$\frac{1}{2}$ Sa. der beiden Seiten- zeiger $\frac{1}{10} \text{ cm}$	Columnne 3 minus 7 Ausbieg. $\frac{1}{10} \text{ cm}$	Differ. $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Bemerkungen
10 <sup>h</sup> 55'	4,0	11,64	— 0,08	3,06	2,98	1,49	10,15		
57'	4,2	12,22	— 0,03	3,08	3,05	1,52	10,70	55	
59'	4,4	12,80	0,00	3,11	3,11	1,55	11,25	55	
11 <sup>h</sup> 1'	4,6	13,40	0,04	3,14	3,18	1,59	11,81	56	
3'	4,8	14,05	0,07	3,15	3,22	1,61	12,44	63	
5'	0	0,28	— 0,05	0,47	0,42	0,21	0,07		
7'	4,8	14,08	0,08	3,16	3,24	1,62	12,46		
9'	5,0	14,75	0,12	3,18	3,30	1,65	13,10	64	
11'	5,2	15,46	0,16	3,21	3,37	1,68	13,78	68	
13'	5,4	16,24	0,19	3,23	3,42	1,71	14,53	75	
15'	0	0,36	— 0,06	0,50	0,44	0,22	0,14		Knacken.

Nun wurden die Rollenfühlhebel abgenommen und der Stangenzirkel angelegt, mit dem folgende Messungen erhalten wurden:

1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
Belast.	Stand d. Nonius	Aus- biegung	Ausbg. corrig.	Differ.	Bemerkungen	Belastg.	Stand d. Nonius	Aus- biegung	Ausbg. corrig.	Differ.	Bemerkungen
Tonnen	cm	cm	cm	$\frac{1}{100} \text{ cm}$		Tonnen	cm	cm	cm	$\frac{1}{100} \text{ cm}$	
0	100,00	0,00	0,00			6,8	97,71	2,29	2,15	16	
1	99,68	0,32	0,25	25		7,0	97,45	2,55	2,41	26	
2	99,39	0,61	0,51	26		7,2	97,22	2,78	2,64	23	
3	99,10	0,90	0,76	25		7,4	96,75	3,25	3,11	47	
4	98,82	1,18	1,02	26	Knacken.	7,5	96,43	3,57	3,43	32	starker Krach.
5	98,55	1,45	1,31	29		7,6	96,02	3,98	3,84	41	
5,2	98,48	1,52	1,38	7		7,7	95,66	4,34	4,20	36	
5,4	98,43	1,57	1,45	7		7,8	95,34	4,66	4,52	32	
5,6	98,36	1,64	1,49	4		7,9	95,11	4,89	4,75	23	
5,8	98,30	1,70	1,56	7		8,0	94,51	5,49	5,35	60	leises Knistern.
6,0	98,22	1,78	1,64	8		8,1	94,08	5,92	5,78	43	
6,2	98,12	1,88	1,74	10		8,2	92,10	7,90	7,76	198	starker Krach, Wag- schale sinkt, Bruch.
6,4	98,02	1,98	1,84	10							
6,6	97,87	2,13	1,99	15							

Nachdem der Balken in der Mitte auseinander geschnitten, wurde eine Durchschnittsprobe der Sägespäne in die Glasente I gefüllt, deren Tara 15,923 gr ist. Das Bruttogewicht betrug vor dem Trocknen 17,612 gr und nach demselben 17,059 gr.  $17,612 - 15,923 = 1,689 \text{ gr}$  Holzspäne enthielten also  $17,612 - 17,059 = 0,553 \text{ gr}$  Wasser oder  $\frac{55,3}{1,689} = 32,8 \%$ .

Die Berechnung der vorstehenden Versuchsreihe ergibt folgende Resultate: Nach den bekannten Biegungsformeln

$$\delta = \frac{3}{2} \frac{Pl}{bh^2} \quad 1)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{48} \frac{Pl^3}{f\theta} = \frac{1}{4} \frac{Pl^3}{fbh^3} \quad 2)$$

wo  $\delta$  die Biegungsspannung in den äussersten Fasern,  $\varepsilon$  den Elasticitätsmodul, P die in der Mitte concentrirte Kraft, l die Spannweite, b und h des Querschnitts Breite und Höhe,  $\theta$  dessen Trägheitsmoment und f den Biegungspfeil bezeichnen, wird mit den oben angegebenen Dimensionen

$$\delta = \frac{3}{2} \cdot \frac{1000 P \cdot 250}{19,375^3} = 51,6 P^{\text{at}}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{4} \frac{1000 P \cdot 250^3}{\frac{f}{10} \times 19,305^4} = 28124 \frac{P^{\text{at}}}{f}$$

wo P in t und f in  $\frac{1}{10} \text{ cm}$  ausgedrückt sind, wie sie die Messung unmittelbar ergibt, während  $\delta$  und  $\varepsilon$  in kg pro qcm, also, wie wir der Kürze halber sagen, in Atmosphären (abg. at) gemessen sind.

Die Elasticitätsgrenze liegt in obiger Versuchsreihe bei 4t Belastung, wo die, bis dahin nahezu constanten Differenzen der 9ten Columnne anfangen zu wachsen, also bei

$$\delta_c = 51,6 \times 4,0 = 206^{\text{at}}$$

und der Elasticitätsmodul innerhalb dieser Grenze ist

$$\hat{\varepsilon} = 28124 \times \frac{4,0}{10,16} = 111000^{\text{at}}$$

Der Bruch erfolgte bei 8200 kg Belastung oder bei einer Biegungsspannung von

$$\delta_0 = 51,6 \times 8,2 = 423 \text{ "},$$

welche Zahl also die Biegefestigkeit misst.

Die nach Abnahme der Rollenfühlhebel mit dem Stangen- zirkel allein vorgenommenen Messungen wurden folgender- massen behandelt: Neben die Werthe für den Biegungspfeil, welche der Stangenzirkel unmittelbar ergibt (3. Columne), wurden die für die gleiche Belastung mit dem feinen Mess- apparat erhaltenen und von der Bewegung an den Stütz- punkten befreiten Zahlen geschrieben, so weit sie eben- gingen, im obigen Beispiel bis 5,4t (4. Columne). Der Unter- schied der auf gleicher Linie stehenden Zahlen in beiden Columnen gibt den Einfluss der Bewegung der den Stütz- punkten gegenüberliegenden Enden der elastischen Linie und der durch die vorhergegangenen Messungen hervor- gebrachten bleibenden Einbiegung zu erkennen. Dieser Unterschied, anfangs kleiner, wird gegen die, bei der vor- herigen Messung erreichte grösste Belastung allmählich nahezu constant, und obwohl er, streng genommen, noch fort und fort wachsen muss, wenn auch immer weniger und weniger, habe ich mich doch begnügt, die folgenden Zahlen der 3. Columne nur durch Abziehen jenes constanten Unterschiedes zu corrigiren. Der dadurch entstandene Fehler ist an sich nicht gross und bei der eigenthümlichen Form der Arbeitsdiagramme, zu deren Construction und Berechnung die Messungen mit dem Stangenzirkel dienen sollten, von geringem Einfluss, ja gegenüber dem Fehler, der wegen des Einflusses der Zeit bei den Messungen des Pfeils über die Elasticitätsgrenze hinaus gemacht wird, verschwindend.

Wenn man sich die Zahlen der 1. Columne, die Be- lastungen in Tonnen, als Abscissen und die der 4. Columne, die Biegungspfeile in Centimetern, als zugehörige Ordinaten aufgetragen denkt, so erhält man ein Diagramm, dessen Inhalt, in Tonnen-Centimetern ausgedrückt, erhalten wird, indem man die Belastungs-Intervalle der 1. Columne multiplicirt mit den arithmetischen Mitteln des Pfeils an ihrem Anfang und Ende und die Producte addirt. Diese Summe, von dem Inhalt des Rechtecks abgezogen, dessen Grundlinie die Bruchbelastung und dessen Höhe der Pfeil im Momente des Bruches ist, gibt mit hinreichender Annäherung die bis zum Bruche geleistete Biegearbeit in Tonnen-Centi- metern, oder, mit 10 multiplicirt, in Kilogramm-Metern. So findet sich im obigen Beispiel der Diagramm-Inhalt =

$$1,0 \times \frac{0+0,25}{2} + 1,0 \times \frac{0,25+0,51}{2} + 1,0 \times \frac{0,51+0,76}{2} + \dots$$

$$= 11,421 \text{ ts cm}$$

und die Biegearbeit =

$$8,2 \times 7,76 - 11,421 = 52,211 \text{ ts cm} = 522 \text{ kgm.}$$

Diese Zahl ist jedoch nicht bloß von der Qualität des Materials, sondern auch von den Querschnittsdimensionen und der angewendeten Spannweite abhängig. Auf gleiche

Querschnittsdimensionen reducirt, (die Spannweite war ohne- dies bei allen Versuchen dieselbe, 250 cm) geben die so erhaltenen Zahlen offenbar einen Maassstab für Festigkeit und zugleich Zähigkeit des betreffenden Holzstückes. Diese Reduction kann so vorgenommen werden.

Unter denselben Voraussetzungen, unter welchen die Formeln 1) und 2) auf S. 4 bis zum Bruche ausgedehnt werden, ist

$$\mathfrak{A} = \int_0^{f_0} P \, df$$

die Biegearbeit bis zum Bruche, wenn  $f_0$  den Biegungs- Pfeil im Momente, wo jener stattfindet, bezeichnet. Nun ist nach Formel 2)

$$P = \frac{4bh^3\varepsilon}{l^3} f$$

und diess oben substituirt und zwischen den Grenzen integrirt, gibt

$$\mathfrak{A} = \frac{2bh^3\varepsilon}{l^3} f_0^2.$$

Hierin ist, wenn man mit  $P_0$  die Bruchbelastung be- zeichnet, nach Formel 2)

$$f_0^2 = \frac{1}{16} \frac{P_0^2 l^6}{\varepsilon^2 b^2 h^6}$$

und folglich:

$$\mathfrak{A} = \frac{1}{8} \frac{l^3}{\varepsilon b h^3} P_0^2.$$

Wird endlich hierin wieder nach Formel 1) gesetzt:

$$P_0^2 = \frac{4}{9} \frac{b^2 h^4}{l^2} \delta_0^2$$

wo  $\delta_0$  die Biegefestigkeit des Materials bezeichnet, so wird

$$\mathfrak{A} = \frac{1}{18} \frac{b h l}{\varepsilon} \delta_0^2,$$

Für die Querschnittsdimensionen  $b_0$  und  $h_0$ , für die- selbe Spannweite  $l$  und dasselbe Material, also das gleiche  $\delta_0$  und  $\varepsilon$  wird

$$\mathfrak{A}_0 = \frac{1}{18} \frac{b_0 h_0 l}{\varepsilon} \delta_0^2$$

und daher

$$\mathfrak{A}_0 = \mathfrak{A} \cdot \frac{b_0 h_0}{b h}.$$

Die Reduction der wie oben gefundenen Arbeit  $\mathfrak{A}$  für ein Probestück von den Querschnittsdimensionen  $b$  und  $h$  auf Normal-Querschnittsdimensionen  $b_0$  und  $h_0$  geschieht also durch Multiplication jener mit  $\frac{b_0 h_0}{b h}$ . In unserm speci- ellen Beispiel ist, wenn  $b_0 = 20 \text{ cm}$  und  $h_0 = 20 \text{ cm}$  als Normaldimensionen angenommen werden:

$$\mathfrak{A}_0 = 522 \times \frac{400}{19,305^2} = 560 \text{ kgm.}$$

Die auf oben beschriebene Weise an den 32 Ab- schnitten erhaltenen Resultate der Biegeversuche sind, zugleich mit einigen Angaben über Alter der Stämme

oder die Zahl ihrer Jahrringe und den Durchmesser der Trumme, in Tabelle II enthalten, deren Einrichtung keiner weiteren Erläuterung mehr bedarf.

### 3. Abschnitt. Die Zug-Versuche.

Die für die Zugversuche bestimmten Lamellen wurden in die Form gebracht, wie sie Figur 1 auf Blatt I zeigt. Die Endköpfe wurden in gusseiserne Schuhe, die in Fig. 2 Blatt I abgebildet sind, eingespannt. Um ein gutes Anlegen der Vorderflächen der Köpfe an die entsprechenden Wände der Schuhe zu erreichen und damit eine möglichst gleichförmige Vertheilung des Zuges, werden die Keile an der Hinterseite der Schuhe gut angezogen. Die Schuhe liegen mit ihren, im Längsprofil trapezförmig gestalteten Hintertheilen in den ähnlich geformten Mäulern der Zugköpfe der Werder'schen Prüfungsmaschine.

Die Verlängerung des mittleren, prismatischen Theil des Probestückes wurde auf eine Länge von 5 cm mittels meines „Spiegelapparates“ gemessen, dessen Einrichtung ich hier als bekannt voraussetzen muss. Ich beschränke mich darauf, zu erwähnen, dass er aus zwei Rollenfühlhebeln besteht, deren Drehung mittelst Spiegeln und Ablesefernrohren gemessen wird. Diese Fühlhebel sind zu beiden Seiten des Probestückes angeordnet, um, bei nicht ganz gleichmässiger Vertheilung des Zuges, die mittlere Verlängerung zu erhalten, und um die Ablesungen von der Eigenbewegung des Probestückes zu befreien. Gewöhnlich benütze ich eine solche Uebersetzung, dass an der in Doppelmillimeter getheilten Scala noch  $\frac{1}{5000}$  mm abgelesen wird; für Holz begnügte ich mich mit einer geringeren, sodass die Genauigkeit nur bis auf  $\frac{1}{3500}$  mm ging.

Die Elasticitätsgrenze des Holzes für Zug fällt entweder ganz mit der Bruchgrenze zusammen oder liegt doch sehr nahe daran. Ich habe mich davon schon bei früheren Gelegenheiten überzeugt und auch diesmal wieder, so zu sagen wider Willen, indem mir einigemal das Probestück mit dem daran befestigten Spiegelapparat zerriss, ohne dass ich eine Elasticitätsgrenze gefunden hatte. Da hiedurch der Messapparat allemal stark gefährdet und die Kenntniss einer, so nahe an der Bruchgrenze gelegenen Elastici-

tätsgrenze ohne practischen Werth ist, so wurde mit der Messung der Verlängerung immer nur bis zu einer gewissen, willkürlich gewählten Grenze gegangen, mindestens bis zu einem Drittheil der Bruchbelastung, und für dieses Intervall also der Elasticitätsmodul berechnet. Dabei wurde es, als unnöthig, unterlassen, wiederholt auf die Belastung Null zurückzugehen und die bleibende Ausdehnung zu messen. Nach Erreichung jener Grenze wurde der Messapparat abgenommen und das Probestück durch allmähliche Steigerung der Belastung zum Bruch gebracht. Dabei mussten die Druckschrauben der Schuhe (Fig. 2 Blatt I) wiederholt stark angezogen werden, um ein Herausziehen des mittleren schwächeren Theils des Probestückes aus den Köpfen durch Ueberwinden der Schubfestigkeit längs der Fasern zu verhindern. Aber bei Belastungen von über 3,2 t war auch dieses Mittel nicht mehr ausreichend und es musste dann zu einer Verschwächung des Querschnittes, am besten durch Verminderung der Dicke desselben mittels Abfeilen, die Zuflucht genommen werden, um das Stück zum Bruch durch Zerreißen zu bringen. Letzteres war jedoch nur bei solchen Stücken, deren Zugfestigkeit 1000<sup>at</sup> überstieg, nothwendig.

An den Bruchstücken waren fünf typische Bruchformen zu unterscheiden, die in den Figuren 3 bis 7 auf Blatt I nach photographischen Aufnahmen im Maassstabe von ungefähr 1:2 $\frac{1}{2}$  abgebildet sind und mit folgenden Namen und Abkürzungen bezeichnet werden sollen:

- Fig. 3: kurz, stumpf (k. st.)  
 „ 4: kurz, zackig (k. z.)  
 „ 5: blätterig (bl.)  
 „ 6: faserig (f.)  
 „ 7: langfaserig (l. f.)

In derselben Reihenfolge, in welcher hier die Bruchformen aufgezählt sind, stehen, von der kleineren zur grösseren aufsteigend, in der Regel die Zugfestigkeiten der Probestücke.

Unmittelbar nach erfolgtem Bruche wurden mittels einer groben Holzraspel Späne von den Bruchstücken genommen, in eine Glasente gefüllt und getrocknet, um ihren Feuchtigkeitsgehalt zu bestimmen.

Nachstehend gebe ich wieder ein Beispiel der so durchgeführten Messungen.

88. Versuch, am 23. November 1881.

Lamelle von Fichtenholz aus dem oberen Abschnitte des Stammes 1 von Regenhütte und zwar aus dem nach Westen gelegenen Schwartling (R. 1. Z. W.), auf Zug geprüft.

Querschnitt:  $3,94 \times 1,03 = 4,06$  qcm; Länge für die Messung der Ausdehnung: 5,00 cm; Uebersetzung

am Spiegelapparat:  $\frac{1}{350}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zeit	Belastung Tonnen	Ableseung im linken Spiegel $\frac{1}{350} \text{ cm}$	Beweg. desselben $\frac{1}{350} \text{ cm}$	Ableseung im rechten Spiegel $\frac{1}{350} \text{ cm}$	Beweg. desselben $\frac{1}{350} \text{ cm}$	Sa. d. Col. 4 u. 6 Verlängerung $\frac{1}{700} \text{ cm}$	Differ. $\frac{1}{7000} \text{ mm}$	Bemerkungen und Resultate
10 <sup>h</sup> 9'	0	15,00	0	27,00	0	0		
" 10'	0,1	15,39	0,39	26,87	0,13	0,52	52	Elasticitäts-Modul zwischen 0 und 1,6t (394 <sup>at</sup> ): $\hat{\epsilon} = \frac{1000 P}{4,06} \cdot \frac{\Delta l}{5} = \frac{3 \cdot 500000}{4,06} \cdot \frac{P}{\Delta l}$ $= 862000 \times \frac{1,6}{9,63}$ $= 143000^{\text{at}}$
" 11'	0,2	15,60	0,60	26,47	0,53	1,13	61	
" 12'	0,3	15,73	0,73	26,00	1,00	1,73	60	
" 13'	0,4	15,89	0,89	25,52	1,48	2,37	64	
" 14'	0,5	16,12	1,12	25,13	1,87	2,99	62	
" 15'	0,6	16,45	1,45	24,84	2,16	3,61	62	
" 16'	0,7	16,79	1,79	24,53	2,47	4,26	65	
" 17'	0,8	17,10	2,10	24,22	2,78	4,88	62	
" 18'	0,9	17,40	2,40	23,90	3,10	5,50	62	
" 19'	1,0	17,69	2,69	23,57	3,43	6,12	62	
" 20'	1,1	17,98	2,98	23,26	3,74	6,72	60	
" 21'	1,2	18,27	3,27	22,91	4,09	7,36	64	
" 22'	1,3	18,50	3,50	22,53	4,47	7,97	61	
" 23'	1,4	18,70	3,70	22,18	4,82	8,52	55	
" 24'	1,5	18,90	3,90	21,87	5,13	9,03	51	
" 25'	1,6	19,20	4,20	21,57	5,43	9,63	60	
" 26'	0	15,16	0,16	26,47	0,53	0,69		

Nachdem bei 3,0t Belastung der Bruch noch nicht erfolgt war, wurde der Querschnitt des Probestückes auf  $3,04 \times 0,52 \text{ cm} = 1,77 \text{ qcm}$  verschwächt, worauf der Bruch bei 1,8t eintrat. Zugfestigkeit also  $= \frac{1800}{1,77} = 1020^{\text{at}}$ . Bruchform: faserig. Von den abgeraspelten Holzspänen wurde ein Theil in die Glasente II gefüllt, deren Tara 17,487 gr beträgt. Bruttogewicht der Ente vor dem Trocknen: 19,867 gr, nach 14 stündigem Trocknen: 19,568 gr. Es verloren demnach  $19,867 - 17,487 = 2,380 \text{ gr}$  Holzspäne durch das Trocknen  $19,867 - 19,568 = 0,299 \text{ gr}$  oder 12,6% Wasser.

In der Ausführlichkeit, wie oben beschrieben, wurden die Versuche nur an den 48 Lamellen aus den im Sommer gefällten Stämmen 1 und 2 angestellt. Für die anderen, aus den Stämmen 3 und 4 entnommenen musste ich mich mit Bestimmung der Zugfestigkeit allein begnügen.

Sämmtliche, auf die beschriebene Weise erhaltenen Resultate sind in der Tabelle III zusammengestellt. Man sieht, wie sehr verschieden die Zugfestigkeit nicht blos in den verschiedenen Stämmen, sondern mehr noch innerhalb eines und desselben Stammes ist; stets haben die aus der Mitte entnommenen Lamellen eine viel geringere, manchmal 5—6 mal so kleine Festigkeit, als die aus den Schwartlingen, und letztere selber wieder zeigen Festigkeiten, die auf der einen Seite manchmal 2—3fach so gross sind, als auf der entgegengesetzten, ohne dass jedoch ein Einfluss der Himmelsrichtung erkennbar wäre. Mit der geringeren Festigkeit ist auch stets ein geringerer Elasticitätsmodul verbunden, doch sind die Verschiedenheiten bei diesem nicht so gross als bei jener.

Um Anhaltspunkte für die Aufsuchung der Ursachen dieser grossen Verschiedenheiten zu gewinnen, wurden 1—1½ Jahre nach Anstellung der Zugversuche aus den Bruchstücken der Lamellen parallelepipedische Klötzchen entnommen, und zwar möglichst nahe der Bruchstelle, von ungefähr 3 bis 20 cm Grösse. An denselben wurde zunächst die mittlere Breite der Jahrringe bestimmt. Durch

genaues Ausmessen der Dimension, bis auf  $\frac{1}{10} \text{ mm}$  genau, und Abwiegen erhielt man das spezifische Gewicht und durch Trocknen von Bröckelchen, die man schon vor der genauen Bearbeitung der Klötzchen mit einem Messer von ihnen abgeschnitten und mittels der Scheere zerkleinert hatte, wurde endlich auf dieselbe Weise, wie bereits oben beschrieben, der Feuchtigkeitsgehalt bestimmt.

Dieser letztere schwankte sehr nahe um 10% herum. Durch künstliches Austrocknen einer grossen Anzahl der Klötzchen in einen warmen, offenen Luftstrom und wiederholten Bestimmung ihrer Dichtigkeit und ihres Feuchtigkeitsgehaltes überzeugte ich mich, dass erstere nur noch sehr wenig, nur höchstens 1½ Einheiten der 2. Decimalstelle geändert, verringert, wird, wenn die Feuchtigkeit noch erheblich, um 5—6%, abnimmt. Desshalb konnten die zuerst erhaltenen Dichtigkeitszahlen, als für 10% Feuchtigkeitsgehalt giltig, betrachtet werden. Sie wurden zusammen mit den mittleren Breiten der Jahrringe in Tabelle III eingetragen.

**4. Abschnitt. Die Druck-Versuche.**

Den Probestücken für die Druckversuche wurde die in Fig. 8 Blatt I abgebildete Gestalt gegeben. Auf die sorgfältig geebneten Stirnflächen a h und d e wurden, unter Zwischenlage von dünnem Pappendeckel, mittels Holzschrauben zwei eben und parallel gehobelte Platten von

Schmiedeeisen aufgeschraubt, von denen die eine bei der Probe an einer sehr leicht im Kugelgelenke beweglichen Druckplatte anlag, die nicht grösser war, als sie selbst. Nur auf diese Weise wurde es möglich, den auf die Stirnflächen ausgeübten Druck hinreichend gleichmässig über die Querschnittsfläche zu vertheilen. Ohne die beschriebene Armirung der Stirnflächen ist auch bei sorgfältigster Glättung derselben eine auch nur annähernd gleichmässige Druckvertheilung nicht zu erreichen. An einen Einfluss der Armirung auf die Elasticität und Festigkeit des Probestücks, wie ihn Mohr\*) schon bei directer Anlage der Stirnflächen an den Druckplatten vermuthet, ist dabei nicht zu denken. Die durch den Druck hervorgebrachten Verkürzungen und damit der Elasticitätsmodul und die Elasticitätsgrenze wurden an den Seitenflächen bc und gf mittels desselben Spiegelapparats gemessen, der bei den Zugversuchen gebraucht wird und zwar

auf eine Länge von 6 cm. Der Bruch erfolgte stets im verschwächten Theile des Probestückes. Derselbe gibt sich dadurch zu erkennen, dass die Fasern zusammengesoben werden, wodurch sich rings um das Probestück eine wulstförmige Erhöhung bildet. In dem Augenblick, wo dieser Vorgang beginnt, sinkt die Waagschale der Prüfungsmaschine herab und das Probestück kann bei weitem die Belastung nicht mehr ertragen, der es unmittelbar vorher widerstanden hatte. Eine Lösung des Zusammenhangs der Theile findet nicht statt.

Von den so geprüften Stücken wurde auf die schon beschriebene Weise der Feuchtigkeitsgehalt von Holzspänen bestimmt, die durch eine Holzraspel davon abgetrennt worden waren.

Folgende Versuchsreihe möge wieder als Beispiel dienen.

53. Versuch, am 14. November 1881.

Prisma von Fichtenholz aus dem oberen Abschnitt des Stammes 1 von Regenhütte und zwar aus der süd-östlichen Ecke (R. 1. Z. SO.) auf Druck geprüft.

Querschnitt:  $7,24 \times 9,095 = 65,84 \text{ qcm}$ ; Länge für die Messung der Verkürzung: 6,00 cm; ganze Länge: 15 cm; Uebersetzung am Spiegelapparat 1 : 500.

$$\text{Elasticitätsmodul } \varepsilon = \frac{1000 P}{65,84} \cdot \frac{\Delta l : 1000}{6} = \frac{6 \cdot 000000}{65,84} \cdot \frac{P}{\Delta l} = 91120 \frac{P}{\Delta l}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	
Zeit	Belastung Tonnen	Ablesung im linken Spiegel $\frac{1}{500} \text{ cm}$	Beweg. desselben $\frac{1}{500} \text{ cm}$	Ablesung im rechten Spiegel $\frac{1}{500} \text{ cm}$	Beweg. desselben $\frac{1}{500} \text{ cm}$	Sa. d. Col. 4 u. 6 Verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenz $\frac{1}{100000} \text{ cm}$	Bemerkungen und Resultate
8 <sup>h</sup> 27'	0	23,00	0	19,00	0	0		
28'	1	22,18	0,82	19,32	0,32	1,14	114	
29'	2	21,30	1,70	19,54	0,54	2,24	110	
30'	3	20,49	2,51	19,79	0,79	3,30	106	
31'	4	19,70	3,30	20,05	1,05	4,35	105	
32'	0	22,95	0,05	19,02	0,02	0,07		
33'	0,5	22,54	0,46	19,17	0,17	0,63	56	
34'	1,0	22,11	0,89	19,29	0,29	1,18	55	
35'	1,5	21,69	1,31	19,40	0,40	1,71	53	
36'	2,0	21,28	1,72	19,51	0,51	2,23	52	
37'	2,5	20,88	2,12	19,63	0,63	2,75	52	
38'	3,0	20,49	2,51	19,77	0,77	3,28	53	
39'	3,5	20,11	2,89	19,91	0,91	3,80	52	
40'	4,0	19,73	3,27	20,06	1,06	4,33	53	

\*) Civilingenieur. 1882 S. 138. — Während des Suchens nach einer Vorrichtung, durch welche der auf die Stirnflächen ausgeübte Druck möglichst gleichmässig vertheilt wird, kam mir folgender interessante und lehrreiche Fall vor: Ich hatte einmal zwischen die Stirnflächen und die auf sie aufgeschraubten schmiedeeisernen Platten recht dicke, etwa 1 cm starke Gummiplatten gebracht. Durch dieselben wurde bezüglich der Druckvertheilung innerhalb der Elasticitätsgrenze nicht viel erreicht. Die Druckfestigkeit des Prisma's aber, ein Kernstück aus dem untern Trumm des Stammes 1 von Lichtenhof, für welches nach Tab. IV ca. 213<sup>at</sup> Druckfestigkeit erwartet werden konnte, wurde schon bei 177<sup>at</sup> überschritten. Nach Abschrauben der Druckplatten zeigte

sich die Gummimasse keilförmig in alle die weicheren Frühjahrszonen der Jahrringe mehrere Millimeter tief eingetrieben und dadurch das Holz in der Nähe der Stirnfläche völlig zersplittert, ganz entsprechend der Erklärung, die ich schon im 1. Hefte dieser Mittheilung S. 7 von der Wirkung weicher Körper als Zwischenlagen bei Druckversuchen gegeben habe. — Allerdings wird durch die Reibung zwischen den Stirnflächen eines Druckprobestückes und den meist gusseisernen, harten Druckplatten die Querdilatation etwas verringert. Aber diese Verringerung ist nur sehr gering und erstreckt sich, wie ich mich durch directe Versuche überzeugt habe, nur auf sehr geringe Entfernungen, etwa 1 cm weit, von der Druckplatte. Auf den, in der Regel weiter weg, gegen die Mitte des Probestückes liegenden Bruch kann sie keinen Einfluss haben.

1	2	3	4	5	6	7	8	
Zeit	Belastung Tonnen	Ablesung im linken Spiegel $\frac{1}{500} \text{ cm}$	Beweg. desselben $\frac{1}{500} \text{ cm}$	Ablesung im rechten Spiegel $\frac{1}{500} \text{ cm}$	Beweg. desselben $\frac{1}{500} \text{ cm}$	Sa. d. Col. 4 u. 6 Verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenz. $\frac{1}{100000} \text{ cm}$	Bemerkungen und Resultate
8 <sup>b</sup> 41'	0	22,99	0,01	19,07	0,07	0,08		
„ 42'	4,0	19,76	3,24	20,07	1,07	4,31	51	
„ 43'	4,5	19,39	3,61	20,21	1,21	4,82	54	
„ 44'	5,0	19,01	3,99	20,37	1,37	5,36	51	
„ 45'	5,5	18,63	4,37	20,50	1,50	5,87	53	Elasticit.-Modul $\varepsilon = 91120 \times \frac{7,5}{7,98} = 86000^{\text{at}}$ .
„ 46'	6,0	18,27	4,73	20,67	1,67	6,40		
„ 47'	0	22,92	0,08	19,09	0,09	0,17		
„ 48'	6,0	18,30	4,70	20,69	1,69	6,39	54	
„ 49'	6,5	17,92	5,08	20,85	1,85	6,93	51	
„ 50'	7,0	17,57	5,43	21,01	2,01	7,44	54	
„ 51'	7,5	17,20	5,80	21,18	2,18	7,98	56	Elasticitätsgrenze bei $\frac{7500}{65,84} = 114^{\text{at}}$ .
„ 52'	8,0	16,83	6,17	21,37	2,37	8,54		
„ 53'	0	22,89	0,11	19,12	0,12	0,23		
„ 54'	8,0	16,89	6,11	21,41	2,41	8,52	56	Merkliches Nachgeben auf beiden Seiten.
„ 55'	8,5	16,52	6,48	21,60	2,60	9,08	56	
„ 56'	9,0	16,16	6,84	21,80	2,80	9,64	58	
„ 57'	9,5	15,78	7,22	22,00	3,00	10,22	62	
„ 58'	10,0	15,37	7,63	22,21	3,21	10,84		
„ 59'	0	22,78	0,22	19,18	0,18	0,40		

Bei 14,5t Belastung erfolgt der Bruch. Druckfestigkeit also  $= \frac{14500}{65,84} = 220^{\text{at}}$ . Von den abgeraspelten Spänen wurde ein Theil in die Glasente I gefüllt, deren Tara 15,923 gr beträgt. Bruttogewicht derselben vor dem Trocknen = 17,169 gr, nach dem Trocknen 16,803 gr; 17,169 — 15,923 = 1,246 gr Späne verloren also 17,169 — 16,803 = 0,366 gr oder 29,4% Feuchtigkeit.

In der beschriebenen Weise wurden die Versuche wieder nur mit den Probestücken aus den im Sommer gefällten Stämmen 1 und 2 angestellt. Diejenigen aus den Stämmen 3 und 4 wurden möglichst genau in eine parallelepipedische Form gebracht, ausgemessen, gewogen und dann, ohne Armirung an den Stirnflächen, zerdrückt. Daraus ergaben sich das spezifische Gewicht und die Druckfestigkeit.

Sämmtliche Resultate der Druckversuche sind in Tabelle IV enthalten.

### 5. Abschnitt. Abscheerungs-Versuche.

Die 8 cm langen Stücke oder vielmehr 8 cm dicken quadratischen Scheiben, welche aus den bei den Biegungsversuchen erhaltenen Bruchstücken der Balken abgeschnitten worden waren, wurden sammt den um sie herumgelegenen zugehörigen Abschnitten der Schwartlinge in folgender Weise zu Abscheerungsversuchen verwendet. Die quadratische Scheibe wurde zunächst durch diagonale Sägeschnitte (Fig. 9 Blatt I die Doppel-Linien) in vier ganz oder nahezu gleichschenkelige rechtwinkelige Dreiecke zerlegt, deren Spitzen in der Mitte des Baumes zusammenstossen. Jedes dieser Dreiecke wurde dann wieder durch einen Sägeschnitt, der parallel zu seiner Grundlinie durch die Mitte der Höhe ging, in zwei Stücke zerlegt. Jedes der so erhaltenen 8 Stücke, sowie die 4 zugehörigen Schwartlingstücke wurden dann, nachdem ihre Stirnflächen genau parallel und eben abgedreht worden waren, parallel zur Faserrichtung mitten

durchgescheert, sodass die Abscheerungsebenen radial waren und von der Mitte aus nach den vier Himmelsgegenden liefen (s. Fig. 9 die punctirten Linien, die in den drei vom Kern zur Peripherie aufeinanderfolgenden Stücken mit 1, 2, 3 bezeichnet sind, mit welchen Ziffern auch die Schnitte bezeichnet werden mögen). Dabei wurde die Zahl der durchschnittenen Jahrringe, die mittlere Breite derselben und bei den Probestücken aus den Stämmen 1 und 2 auch der mittlere Feuchtigkeitsgehalt an abgeraspelten Spänen bestimmt auf die bereits beschriebene Weise.

Sämmtliche Versuchsergebnisse sind in die Tabelle V eingetragen, deren Einrichtung keiner weiteren Erläuterung mehr bedarf.

### 6. Abschnitt. Beziehungen zwischen den mechanischen und physikalischen Eigenschaften.

Unter den mechanischen Eigenschaften des Holzes verstehe ich nach Wertheim\*) die Elasticitätsgrenze, den Elasticitätsmodul und die Festigkeit, unter den physikalischen die Dichtigkeit und den Feuchtigkeits- oder Wassergehalt. Die Beziehungen zwischen diesen Eigenschaften können aus den bisher besprochenen Versuchen, die zu einem anderen Zwecke und daher auch nach einem anderen Plane angestellt worden sind, nicht ermittelt werden. Ihre Kenntniss ist aber nothwendig, um die Resultate jener Versuche,

\*) Memoire sur les propriétés mécaniques du bois par MM. E. Chevandier et G. Wertheim, Paris 1848.

die unter verschiedenen Verhältnissen, namentlich bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden der betreffenden Probestücke angestellt werden mussten, miteinander vergleichen zu können. Desshalb stellte ich eine eigene Versuchsreihe zu dem Zwecke an, die in Rede stehenden Beziehungen, so weit das möglich war, aufzufinden. Ich wählte dazu einen, 664 cm langen Abschnitt eines 71 Jahre alten Fichtenstammes aus dem kgl. Park Forstenried bei München, den ich vom Zimmermeister Bleibinhaus dahier bezog, und der kurze Zeit, etwa die Woche vorher, gefällt worden war. Der Abschnitt, welchen ich in der Folge kurz mit „Stamm A“ bezeichnen werde, hatte unten einen Durchmesser von 344 mm, oben einen solchen von 301 mm; er wurde in die, in Fig. 1 Blatt II eingezeichneten 15 Stücke zersägt, welche in der Reihenfolge von unten nach oben mit Nr. 1 bis 15 bezeichnet wurden und verschiedene Länge hatten.

Die 50 cm langen vier Stücke 4, 7, 9 und 15 wurden so, wie es die Fig. 2 auf Blatt II zeigt, in fünf ebenso lange Lamellen a, b, c, d, e und in vier je 15 cm lange Parallelepipede, die aus der Mitte der ursprünglich 50 cm langen Stücke herausgeschnitten wurden, zerlegt. Erstere erhielten wieder die in Figur 1 Blatt I dargestellte Gestalt und dienten für Zugversuche, letztere die in Fig. 8 Blatt I abgebildete und wurden zu Druckversuchen benützt. Diese Zug- und Druckversuche wurden genau in der schon beschriebenen Weise durchgeführt.

Die 8 cm langen (dicken) vier Stücke 2, 5, 11 und 13 wurden zu Abscheerungsversuchen benützt, indem sie zunächst (s. Fig. 3 Blatt II) in die 12 Stücke  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2$  . . . zersägt und diese dann nach den punctirten Linien durchgescheert wurden.

Die 90 cm langen vier Stücke 3, 6, 10 und 12 wurden durch Längsschnitte, die durch den Kern gingen, in je 4 Stücke a, b, c, d (Fig. 4 Blatt II) zerlegt, welche, nachdem sie möglichst genau parallelepipedisch zubearbeitet worden waren, auf eine Spannweite von 80 cm frei aufliegend, durchgebogen und endlich durchgebrochen wurden, und zwar in den Richtungen der Pfeile, welche im Grundriss der Figur 4 angegeben sind. Die Durchbiegungen wurden dabei mittelst derselben drei Rollenfühlhebel gemessen, welche auch bei den im 2. Abschnitt beschriebenen Biegungsversuchen benützt worden sind. Bis zur, und ein wenig über die Elasticitätsgrenze hinaus bediente man sich der Uebersetzung 1:50 dieser Fühlhebel. Darauf wurde wieder auf die Belastung Null zurückgegangen und durch Auflegen der Stäbe auf die grösseren Rollen der Fühlhebel die Uebersetzung auf die 1:10 vermindert. Mit dieser wurden dann die Durchbiegungen bis zum Bruch verfolgt.

Die 10 cm dicken drei Scheiben 1, 8 und 14 sollten zur Bestimmung des Zusammenhanges zwischen Dichtigkeit und Feuchtigkeitsgehalt benützt werden. Zu diesem Behufe wurde die Scheibe 8 so, wie es Fig. 5 Blatt II zeigt, in die 10 Stücke a, a', b, c . . . . . i zerlegt, aus den

Scheiben 1 und 14 (s. Fig. 6, Blatt II) aber wurden nur möglichst grosse quadratische Stücke herausgeschnitten. Diese, mit 8a, 8a', 8b, 8c . . . . . 8i, 1 und 14 bezeichneten 12 Stücke wurden möglichst genau parallelepipedisch zubearbeitet, ausgemessen und gewogen, wodurch sich ihr spezifisches Gewicht beim ursprünglichen Feuchtigkeitsgrad oder auf der I. Trockenstufe ergab. Dieses Verfahren wurde wiederholt, nachdem sie durch allmähliches Austrocknen auf eine II., III. und endlich IV. Trockenstufe gelangt waren. Die letztere Trockenstufe war die der Lufttrockne, d. h. des Zustandes, wo das Holz an Luft von gleichbleibender Feuchtigkeit nichts mehr abgibt und feuchter oder trockner wird, je nach dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft. In den mässig geheizten Räumen des Laboratoriums (die Versuche wurden im Januar und Februar 1883 durchgeführt) wurde dieser Zustand bei ungefähr 10% Feuchtigkeitsgehalt des Holzes erreicht.

Nachdem jene 12 Holzstücke auf der letzten Trockenstufe ausgemessen und gewogen waren, wurden mittelst eines scharfen Messers Späne von denselben geschnitzt an solchen Stellen, dass der Feuchtigkeitsgehalt dieser Späne ohngefähr als der mittlere des betreffenden Holzstückes angesehen werden konnte, zu welchem Zwecke die Holzstücke natürlich zuerst gespalten werden mussten. Jene Späne wurden dann in dünne Streifen zerlegt und diese wieder mittels einer Baumscheere in kleine Bröckelchen („Schnittbröckelchen“) zerschnitten, welche in eine Glasente gefüllt wurden. Durch Abwiegen dieser Enten und Wiederwiegen derselben nach 8—14 stündigem Trocknen bei 101° C. unter Durchstreichen eines trockenen Luftstromes erhielt man den Feuchtigkeitsgehalt der Schnittbröckelchen, welcher nun mit hinlänglicher Annäherung gleich dem der betreffenden Holzstücke selber gesetzt werden konnte, da wohl angenommen werden darf, dass bei der beschriebenen Herstellung der Schnittbröckelchen aus lufttrocknen Holzstücken weder Feuchtigkeit aufgenommen noch abgegeben wird. Aus der Differenz der Gewichte der Holzstücke auf den Trockenstufen III, II und I gegenüber dem auf der Trockenstufe IV konnte dann ihr Feuchtigkeitsgehalt auf jenen niedrigeren Trockenstufen rückberechnet werden. Dieser Weg zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes von noch nicht lufttrocknen Holzstücken ist, wie hier gleich bemerkt werden mag, der einzige, welche zu richtigen Resultaten führt, wenn man nicht Vorrichtungen zur Verfügung hat, durch welche die ganzen Stücke vollständig ausgetrocknet werden können. Denn Späne, welche auf irgend welche Art von noch nicht lufttrocknen Holzstücken genommen werden, haben aus leichtbegreiflichen Gründen stets einen geringeren Feuchtigkeitsgehalt als die Holzstücke selbst.

Die Tabelle VI gibt in den Columnen 1 bis 9 die Resultate der Messungen, welche auf die eben beschriebene Weise an den 12 Holzstücken 8a, 8a', 8b . . . . . 8i, 1 u. 14

angestellt worden sind. Unter den Dimensionen: „längs“, „radial“ und „tangential“ sind dabei die Abmessungen in der Richtung der Faser, in der Richtung des Radius des Holzstammes und senkrecht darauf verstanden.

Als erste Annäherung für die Beziehung zwischen Dichtigkeit und Feuchtigkeitsgehalt hat bekanntlich Wertheim in dem schon citirten Memoir die Formel aufgestellt:

$$d' = d \left[ 1 - c (h - h') \right],$$

wo  $h$  den grössten Feuchtigkeitsgehalt, ausgedrückt in Prozenten,  $d$  die entsprechende Dichtigkeit,  $h'$  und  $d'$  dieselben Grössen bei einem geringeren Feuchtigkeitsgrad und  $c$  einen Erfahrungs-Coëfficienten, den Variations-Coëfficienten für 1 Prozent Feuchtigkeit, bedeuten. Diesen Coëfficienten findet Wertheim für Tannenholz im Mittel gleich 0,01034 und für Föhren 0,01056 (vgl. Tabelle X des Wertheim'schen Memoirs). Mit  $\varphi_1$  und  $\delta_1$  Feuchtigkeitsgehalt (Col. 9) und Dichtigkeit (Col. 8) auf der Trockenstufe I bezeichnend, mit  $\varphi$  und  $\delta$  dieselben Grössen auf den höheren Trockenstufen, habe ich aus der, der Wertheim'schen entsprechenden Formel

$$\gamma = \frac{\delta_1 - \delta}{\delta_1 (\varphi_1 - \varphi)}$$

den Variations-Coëfficienten  $\gamma$  berechnet und in Columnne 11 eingetragen, in Columnne 12 die Mittelwerthe. Man sieht,  $\gamma$  ist nicht constant für ein- und dasselbe Probestück, und die Mittelwerthe sind grösser oder kleiner je nach dem der höchste Feuchtigkeitsgehalt, von dem man ausgeht, der der Trockenstufe I, beziehentlich grösser oder kleiner ist. Der Mittelwerth von  $\gamma$  aus den 10 Stücken des Abschnittes 8, nämlich 0,0085, der zufällig fast derselbe bleibt, ob man bei Berechnung dieses Mittels das verschiedene Volumen der Stücke berücksichtigt oder nicht, liegt zwar zwischen den Werthen für die Stücke 1 und 14, nämlich 0,0084 und 0,0096, aber erheblich unter dem Mittel 0,0090 bei letzteren, und beide Mittel sind wieder erheblich kleiner als der von Wertheim gefundene Werth 0,01056 für Föhren. Wenn man aber die grosse Verschiedenheit der Einzelwerthe berücksichtigt, aus denen sowohl in unserer Tabelle VI als bei Wertheim die Mittel gezogen wurden, so wird die Abweichung unseres Hauptmittelwerthes von dem Wertheim'schen nicht sehr befremdlich erscheinen.

Da bei Anwendung der Wertheim'schen Formel auf unsere Versuche der grösste Feuchtigkeitsgrad sehr verschieden ist und der Werth von  $\gamma$  so sehr davon abhängt, so habe ich es vorgezogen, die in Tabelle VI niedergelegten Resultate auf eine etwas andere Weise zu berechnen, die bequemer in der Anwendung ist, und, wie gezeigt werden wird, zuverlässigere Resultate liefert. Ich bin zunächst nicht von dem Feuchtigkeitsgehalt  $\gamma$  in Prozenten des Gewichts des feuchten Holzes (Col. 9) ausgegangen, sondern von dem, in Prozenten  $\psi$  des Gewichts der vollkommen trockenen Substanz (kurz „des Trockengewichtes“) ausgedrückten Feuchtigkeitsgehalt. Beide stehen in der Beziehung

$$\varphi = \frac{100 \psi}{100 + \psi} \text{ oder } \psi = \frac{100 \varphi}{100 - \varphi}$$

zu einander und sind die so aus  $\varphi$  berechneten Werthe von  $\psi$  in Columnne 10 eingetragen. Für den Feuchtigkeitsgehalt  $\psi_0 = 12\%$ , der ungefähr der Lufttrockene entspricht, konnte dann in Columnne 8 aus den sich ziemlich nahe stehenden Trockenstufen III und IV leicht die zugehörige Dichtigkeit  $\delta_0$  ermittelt werden, zumal wenn man sich dafür auf 2 Dezimalstellen beschränkte, was schon desshalb geboten war, weil in den meisten Fällen die Ausmessung der Dimensionen nur mit einer Genauigkeit möglich war, welche die dritte Dezimalstelle des spezifischen Gewichtes unsicher macht. Diese Werthe von  $\delta_0$  sind in Columnne 13 eingetragen. Man sieht, sie sind für die verschiedenen Stücke des Abschnittes 8 sehr verschieden, von 0,405 bis 0,55, aber der mittlere Werth 0,465 stimmt ziemlich gut mit dem mittleren Werth von  $\delta_0$  aus den beiden Abschnitten 1 und 14, nämlich 0,455.

Aus diesen Werthen für  $\delta_0$  und  $\psi_0$  und denjenigen  $\delta$  und  $\psi$  für die erste und zweite Trockenstufe wurde dann mittelst der, der Wertheim'schen ganz gleich gebauten Formel

$$\gamma' = \frac{\delta - \delta_0}{\delta_0 (\psi - \psi_0)}$$

der Variations-Coëfficient  $\gamma'$  berechnet und in Columnne 14 eingetragen, in Columnne 15 die Mittelwerthe aus denen für die Trockenstufen I und II. Man sieht, die Uebereinstimmung dieser Werthe ist auch keine sehr befriedigende, aber im Ganzen doch besser, als bei den auf die vorige Weise berechneten Werthen von  $\gamma$ . Als Hauptmittelwerth von  $\gamma'$  kann 0,006 angenommen werden. Um den Genauigkeitsgrad dieses Werthes zu prüfen, habe ich aus der Formel

$$\delta = \delta_0 \left[ 1 + \gamma' (\psi - \psi_0) \right]$$

unter Einsetzung der Werthe  $\gamma' = 0,006$  und  $\psi_0 = 12\%$  sowie derjenigen Werthe von  $\delta$  und  $\psi$ , welche der II. Trockenstufe entsprechen,  $\delta_0$  berechnet. Die so erhaltenen Werthe von  $\delta_0$  sind in Col. 16 vorgetragen, sie weichen um höchstens eine Einheit der 2. Dezimalstelle von denen in der 13. Columnne ab, eine Uebereinstimmung, die genügend ist.

Die Stücke für Prüfung auf Zug, Druck, Biegung und Abscheerung wurden auf die schon oben beschriebene Art und Weise aus je vier Abschnitten des Stammes A herausgeschnitten, um sie ebenfalls durch 4 Trockenstufen hindurchzuführen, und so den Einfluss des Feuchtigkeitsgehaltes auf die mechanischen Eigenschaften zu finden.

Es wurden auf der I. (ursprünglichen) Trockenstufe geprüft:

auf Zug	die Stücke	4a, 7b, 9c, 15d und 4e
„ Druck	„ „	4f, 7g, 9h, 15i
„ Biegung	„ „	3a, 6b, 10c, 12d
„ Abscheerung	„ „	2a, 5b, 11c und 13d.

Auf der II. Trockenstufe wurden geprüft:

auf Zug	die Stücke	4b, 7c, 9d, 15a und 7e
„ Druck	„ „	4g, 7h, 9i, 15f

auf Biegung	die Stücke	3b, 6c, 10d, 12a
„ Abscheerung	„ „	2b, 5c, 11d, 13a,
	auf der III. Trockenstufe und zwar:	
auf Zug	die Stücke	4c, 7d, 9a, 15b und 9e
„ Druck	„ „	4h, 7i, 9f, 15g
„ Biegung	„ „	3c, 6d, 10a, 12b
„ Abscheerung	„ „	2c, 5d, 11a, 13b,
	auf der IV. Trockenstufe endlich und zwar:	
auf Zug	die Stücke	4d, 7a, 9b, 15e und 15e
„ Druck	„ „	4i, 7f, 9g, 15h
„ Biegung	„ „	3d, 6a, 10b, 12c
„ Abscheerung	„ „	2d, 5a, 11b, 13c.

Der leitende Gedanke bei dieser Eintheilung war der, das arithmetische Mittel der gleichnamigen Werthe für ein und dieselbe Trockenstufe, z. B. der Zugfestigkeit, oder des Elasticitätsmoduls für Druck etc. von der Höhenlage im Stamm sowohl, als auch von der Lage im Querschnitt unabhängig zu machen. Diese Absicht konnte freilich nicht erreicht werden, weil sowohl der Feuchtigkeitsgehalt als auch die Dichtigkeit bei gleichem Feuchtigkeitsgrad (wie letzteres deutlich aus Columne 13 der Tabelle VI erkenntlich ist) sehr ungleichmässig vertheilt sind, nach der Länge des Stammes sowohl, als im Querschnitt desselben. In Tabelle VII gebe ich gleichwohl die Versuchsergebnisse so an, wie sie auf den verschiedenen Trockenstufen erhalten wurden, und bemerke zunächst folgendes dazu: Die Zahlen, welche die mechanischen Eigenschaften ausdrücken, also Elasticitätsmodul, Elasticitätsgrenze, Festigkeit, dann ausserdem Biegungspfeil und Biegungsarbeit bei den Biegungsversuchen, wurden, wie schon oben gesagt, im Wesentlichen auf dieselbe Weise beobachtet und berechnet, wie es für die Hauptversuche in den Abschnitten 2 bis 5 beschrieben worden ist. Die Dichtigkeit wurde in der Regel durch Ausmessen und Abwiegen der ganzen Versuchsstücke bestimmt, nur bei den complicirteren Stücken für die Zugversuche wurden diese Bestimmungen bloss an den parallelepipedischen Einspannköpfen gemacht, und zwar die Ausmessung der Dimensionen vor dem Versuch und die Bestimmung des Gewichtes an den, nach dem Versuch abgeschnittenen Einspannköpfen. — Der Feuchtigkeitsgehalt wurde mittelst Schnittbröckelchen ermittelt, die (natürlich nach dem Versuch) an solchen Stellen abgeschnitten worden waren, dass ihr Feuchtigkeitsgehalt ohngefähr als der mittlere des Stückes genommen werden konnte. Bei den Abscheerungsversuchen wurden dabei immer die 4 inneren oder Kernstücke, die 4 mittleren und die 4 äusseren zusammen genommen.

### 7. Abschnitt. Correctionen und Reductionen.

Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Probestücke, welche zu den Festigkeitsversuchen verwendet wurden, deren Resultate in den Tabellen II bis V und VII niedergelegt sind, geschah auf die bereits (S. 3) beschriebene Weise mittelst Glasentchen und Oelbad an Baumsägespänen

(bei den Biegungsversuchen in Tab. II), an Holzraspelspänen (bei den Zug-, Druck- und Abscheerungsversuchen in Tab. III bis V) und an Schnittbröckelchen (bei sämtlichen Versuchen in Tab. VII), welche sämtlich den noch nicht luftgetrockneten Probestücken entnommen worden waren. Der so erhaltene Feuchtigkeitsgehalt stimmt also nicht mit dem der Probestücke selber überein, er ist zu klein. Um ihn corrigiren zu können, mussten Parallelversuche angestellt werden mit den vorhin genannten drei Methoden und derjenigen, welche oben als die bezeichnet wurde, welche richtige Resultate ergibt. Zu diesem Behufe wählte ich einen ca. 1,5 m langen Abschnitt eines ziemlich nassen Fichten-Holzbalkens von etwa  $20 \times 20$  cm Querschnitt. Von demselben liess ich mittelst der Baumsäge zwei 8 cm dicke Scheiben nebeneinander herunter schneiden, die entfallenen Sägespäne mischen und einen Theil in eine Ente füllen, um ihren Feuchtigkeitsgehalt zu bestimmen. Die zweite Scheibe wurde diagonal in 4 dreieckige Stücke zerschnitten und den im ursprünglichen Stücke innen gelegenen Seitenflächen jener Holzraspelspäne und Schnittbröckelchen entnommen, deren Feuchtigkeitsgehalte bestimmt wurden. Der Rest der Scheibe wurde gewogen, dann luftgetrocknet gemacht, wieder gewogen und der Feuchtigkeitsgehalt mittelst Schnittbröckelchen bestimmt, die den Spaltflächen entnommen wurden, durch welche jene dreieckigen Stücke ihrer Höhe nach nochmal in je zwei Theile getheilt wurden. Dieser letztere Feuchtigkeitsgehalt konnte als der des luftgetrockneten Stückes angesehen werden und aus ihm wurde mittelst der Differenz der Gewichte durch Zurückrechnen der wahre Feuchtigkeitsgehalt der Scheibe in ihrem ursprünglichen Zustande gefunden.

Auf diese Weise wurden nach und nach in verschiedenen Zwischenräumen 6 Paar Holzscheiben von dem Balkenstück herabgeschnitten und an je der zweiten die eben beschriebenen Trockenversuche vorgenommen (Scheiben I bis VI). Aus vier von den zurückgelegten ersten Scheiben wurden je zwei ca. 6 cm dicke Holzpflockchen (1 und 1', 2 und 2' etc.) herausgespalten; von je einem derselben wurden Holzraspelspäne, von anderen Schnittbröckelchen entnommen und deren Feuchtigkeitsgehalt bestimmt, vom Stückchen 1 ausserdem auch Baumsägespäne. Dann wurden die Stücke gewogen, luftgetrocknet gemacht, wieder gewogen u. s. f. wie oben.

Die Resultate dieser Trockenversuche sind in nachstehender Tabelle (S. 13) enthalten. In derselben bedeutet  $\varphi'$  in der 2., 6. und 10. Columne den unrichtigen Feuchtigkeitsgehalt in Prozenten des Holzgewichtes, bestimmt mittelst Baumsäge-Spänen, Holzraspel-Spänen oder Schnittbröckelchen, welche den nicht luftgetrockneten Probestücken entnommen worden sind,  $\varphi$  aber in der 3., 7. und 11. Col. den durch Zurückrechnen aus den luftgetrockneten gefundenen Feuchtigkeitsgehalt, ebenfalls in Prozenten des Holzgewichtes.

Die Differenz  $\varphi - \varphi'$  kann in erster Annäherung als

proportional mit der Differenz zwischen  $\varphi$  und dem Feuchtigkeitsgehalt bei Lufttrockene, als welchen wir, nahezu übereinstimmend mit dem Früheren (vgl. Seite 10) 10% annehmen wollen, angesehen werden.\*) Daraus folgt, wenn  $\alpha$  einen Erfahrungscoefficient bedeutet, der natürlich einen verschiedenen Werth haben muss, je nachdem  $\varphi'$  an Baumsägespänen, an Holzraspelspänen oder an Schnittbröckelchen bestimmt worden ist,

$$\varphi - \varphi' = \alpha(\varphi - 10), \text{ also}$$

$$\alpha = \frac{\varphi - \varphi'}{\varphi - 10}$$

Die so berechneten Werthe von  $\alpha$  sind als  $\alpha_b$ ,  $\alpha_r$ ,  $\alpha_s$  in die 4., 8. und 12. Columne der untenstehenden Tabelle eingetragen. Aus den, am Ende dieser Columnen stehenden Mittelwerthen wurde dann mittelst der, aus der obigen folgenden Formel

$$\varphi = \frac{\varphi' - 10\alpha}{1 - \alpha}$$

der wahre Feuchtigkeitsgehalt  $\varphi$  aus dem falschen  $\varphi'$  berechnet und in die Columnen 5, 8 und 13 eingeschrieben. Man sieht, die Uebereinstimmung der Werthe von  $\alpha$  unter sich und diejenige der berechneten mit den beobachteten Werthen von  $\varphi$  ist bei den Trockenproben mittels Baumsäge- und Holzraspelspänen so gut, als es bei der unregelmässigen Vertheilung der Feuchtigkeit selbst in verhältnissmässig kleinen Holzstücken zu erwarten ist. Bei den Trockenproben mittels Schnittbröckelchen lässt diese Uebereinstimmung freilich mehr zu wünschen übrig, wovon der Grund wohl hauptsächlich darin liegen mag, dass diese Probe schon annähernd richtig ist. Aber eben desshalb und wegen der schon erwähnten Unregelmässigkeit der Vertheilung der Feuchtigkeit, ein Umstand, welcher derartige Versuche so sehr schwierig und unsicher macht, kann man auch hier mit der Uebereinstimmung von  $\varphi$  und  $\varphi'$  so ziemlich zufrieden sein.

Vergleichende Trocken-Versuche.

Probe-Stücke	Der Feuchtigkeitsgehalt $\varphi'$ ermittelt an											
	Baumsäge-Spänen				Holzraspel-Spänen				Schnitt-Bröckelchen			
	Nr.	$\varphi'$	beobachtet	$\alpha_b$	berechnet	$\varphi'$	beobachtet	$\alpha_r$	berechnet	$\varphi'$	beobachtet	$\alpha_s$
I	34,4	42,2	0,24	41	33,6	42,2	0,27	43	40,2	42,2	0,06	43
II	35,8	37,9	0,08	43	29,7	37,9	0,29	38	42,4	37,9	-0,16	45,5
III	32,4	41,7	0,29	38	26,4	41,7	0,48	33	39,5	41,7	0,07	42
IV	32,5	40,6	0,26	39	33,0	40,6	0,25	42	40,4	40,6	0,01	43
V	21,4	24,7	0,23	24,5	20,9	24,7	0,26	25	24,4	24,7	0,02	26
VI	17,0	18,8	0,20	19	16,1	18,8	0,31	19	20,5	18,8	-0,19	21,5
1 u. 1'	24,6	27,2	0,15	28,5	24,0	27,2	0,19	30	22,1	24,6	0,17	23
2 u. 2'					25,8	26,7	0,05	32	22,9	24,2	0,09	24
3 u. 3'					17,4	22,0	0,38	20	20,3	22,8	0,20	21
4 u. 4'					11,9	13,3	0,42	13	10,6	11,6	0,62	11
	Mittel:		0,21		Mittel:		0,29		Mittel:		0,09	

\*) Besser wäre es,  $\varphi - \varphi'$  proportional mit  $\frac{\varphi + \varphi'}{2} - 10$  zu setzen, aber die hieraus folgende complicirtere Formel schmiegt sich nur um so wenig besser den Beobachtungen an, dass ich es nicht für der Mühe werth hielt, sie statt der einfacheren einzuführen.

Mittelst der so gefundenen Werthe des Coëfficienten  $\alpha$  wurden die, bei den Versuchen der Tabellen II bis V und VII ermittelten Resultate für den Feuchtigkeitsgehalt der Probestücke corrigirt, und zwar diejenigen der Tabelle II mittelst der Formel

$$\varphi = \frac{\varphi' - 2,1}{0,79}, \quad 3)$$

entsprechend dem Werthe  $\alpha_b = 0,21$ ; diejenigen der Tabellen III bis V mittelst der Formel

$$\varphi = \frac{\varphi' - 2,9}{0,71}, \quad 4)$$

entsprechend dem Werthe  $\alpha_r = 0,29$ , und diejenigen der Tabelle VII mittelst der Formel

$$\varphi = \frac{\varphi' - 0,9}{0,91}, \quad 5)$$

entsprechend dem Werthe  $\alpha_s = 0,09$ . In den sämtlichen genannten Tabellen sind nur diese so corrigirten, wahren Werthe des Feuchtigkeitsgehaltes eingetragen.

Mit Hülfe der im vorigen Abschnitt (S. 11) aufgestellten Formel

$$\delta = \delta_0 (1 + \gamma'(\psi - \psi_0)),$$

in welcher  $\gamma' = 0,006$  und  $\psi_0 = 12\%$ , der Lufttrockene im Laboratorium entsprechend, ist, so dass

$$\delta = \delta_0 (1 + 0,006(\psi - 12))$$

wird, konnten nun folgende Reduktionen vorgenommen werden:

1) In Tabelle II ist der Feuchtigkeitsgehalt  $\varphi$  in Procenten des Holzgewichtes und das spezifische Gewicht, wie beide während der Prüfung stattfanden, als beobachtet eingetragen, es konnte daraus also, nachdem  $\varphi$  in  $\psi$  verwandelt, das spezifische Gewicht  $\delta_0$  für den lufttrockenen Zustand berechnet werden.

2) In Tabelle III ist für die Stämme 1 und 2 das spezifische Gewicht  $\delta_0$  der Probestücke bei Lufttrockenheit und der Feuchtigkeitsgehalt  $\varphi$  bei der Prüfung, als beobachtet, eingetragen; aus beiden berechnet sich das spezifische Gewicht  $\delta$  bei der Prüfung, nachdem zuvor  $\varphi$  wieder in  $\psi$  ausgedrückt worden ist.

3) In Tabelle IV ist für die Stämme 1 und 2 das spezifische Gewicht  $\delta_0$  der Probestücke bei Lufttrockenheit und der Feuchtigkeitsgehalt  $\varphi$  bei der Prüfung als beobachtet eingetragen, aus beiden folgt also wie vorhin das spezifische Gewicht  $\delta$  bei der Prüfung; und bei den Stämmen 3 und 4 ist  $\delta_0$  und  $\delta$  beobachtet, daraus konnte der Feuchtigkeitsgehalt  $\psi$  und  $\varphi$  bei der Prüfung gefunden werden.

4) In Tabelle VII endlich wurde, wie in Tabelle I, aus dem spezifischen Gewicht und dem Feuchtigkeitsgehalt bei der Prüfung das spezifische Gewicht für den lufttrockenen Zustand berechnet.

Fassen wir nun die Tabelle VII bezüglich des Zusammenhangs ins Auge, der zwischen den physikalischen Eigenschaften: Feuchtigkeitsgehalt und spezifisches Gewicht, und den mechanischen: Elasticitätsmodul, Elasticitätsgrenze und

Festigkeit stattfindet, von welcher letzteren vorläufig, der Unsicherheit der Bestimmung der Elasticitätsgrenze halber, nur die erste und dritte Berücksichtigung finden möge. Wir erleichtern uns den Ueberblick, indem wir die Resultate graphisch darstellen in Puncten, deren Abscissen Feuchtigkeitsgehalt oder spezifisches Gewicht, und deren Ordinaten Elasticitätsmodul oder Festigkeit sind, wie es auf den Blättern III und IV für die Beanspruchungen auf Biegung, Zug und Druck geschehen ist. Ein Blick auf diese Blätter zeigt, dass zwar im Grossen und Ganzen bei geringerem Feuchtigkeitsgehalt und grösserem spezifischen Trockengewicht ein höherer Elasticitätsmodul und eine grössere Festigkeit vorhanden ist, dass aber letztere Eigenschaften noch anderen Einflüssen unterliegen, die mindestens ebenso mächtig sind, wie die Wirkungen der Feuchtigkeit und des spezifischen Gewichtes und folglich diese ganz oder theilweise verdecken. Diese Einflüsse rühren natürlich von der örtlichen Beschaffenheit der Holzsubstanz in dem betr. Probestück oder dessen Bruchstelle her, dieses organischen Gebildes von fester Holzmasse (Cellulose, Lignin) mit Hohlräumen verschiedener Art (Poren, Höhlungen der Holzfasern etc.); das sich schon beim näheren Besichtigen eines Querschnittes mit blossem Auge, noch mehr aber bei der Betrachtung eines Dünnschnittes unter dem Mikroskop von ausserordentlich verschiedener Beschaffenheit zeigt, sowohl innerhalb desselben Querschnittes, als auch an gleichen Querschnittsorten in verschiedenen Höhenlagen desselben Stammes, wenn diese auch nur verhältnissmässig wenig, um 2—3 Meter, von einander entfernt sind. Bei den vergleichenden Betrachtungen, welche wir an den, in den Tabellen II bis V niedergelegten Zahlen im folgenden Abschnitt anstellen werden, dürfen wir daher geringere Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt und spezifischem Gewicht vernachlässigen.

Indessen zeigen die, in Tabelle VII gezogenen Mittelzahlen aus Biegungs-, Druck- und Abscheerungsfestigkeit (die Zugfestigkeit wurde aus Gründen, die aus dem im folgenden Abschnitt Enthaltene erhellen werden, ausser Acht gelassen) einerseits und dem Feuchtigkeitsgehalt andererseits ein so entschiedenes Steigen jener mit der Abnahme dieses letzteren, dass zu hoffen stand, die Bemühungen zur Auffindung einer Formel für den Zusammenhang beider würden nicht ganz ohne Erfolg bleiben. Diese Bemühungen habe ich nichtsdestoweniger zunächst nur auf die Druck- und dann auch auf die Schubfestigkeit ausgedehnt, erstens, weil bei jener, wie die Auseinandersetzungen des folgenden Abschnittes zeigen werden, die Wahrscheinlichkeit, zum Ziele zu gelangen, am grössten war und weil für später, am Schlusse dieser Abhandlung anzustellende Vergleichen eine wenigstens annähernd richtige Formel zwischen Druckfestigkeit und Feuchtigkeitsgehalt unentbehrlich ist; zweitens aber, weil, wie ebenfalls im folgenden Abschnitt erörtert werden wird, die Schubfestigkeit und

Druckfestigkeit des Holzes (beide längs der Faser genommen) im Zusammenhang stehen müssen.

Wenn man die Mittelzahlen für Druckfestigkeit und Feuchtigkeitsgehalt in Tabelle VII graphisch darstellt, wie es mit allen Zahlen jener Tabelle in den Blättern III und IV geschehen ist, oder wenn man auch nur die betreffende Figur auf Blatt IV ansieht, so scheint es, als ob die gesuchte Beziehung nur durch eine krumme, hyperbelartig gestaltete Linie dargestellt werden könnte. In der That lässt sich auch eine solche finden, welche die Resultate in Tabelle VII recht gut darstellt; auch in den Einzelzahlen. Ihre Gleichung ist:  $(\beta - 250)(\varphi - 10) = 285$ , mit  $\beta$  die Druckfestigkeit und mit  $\varphi$  den Feuchtigkeitsgehalt bezeichnet. Aber wenn schon eine einfache Ueberlegung zeigt, dass eine solche Curve unmöglich das wahre Gesetz darstellen könne, da sonst bei einem Feuchtigkeitsgehalte unterhalb einer gewissen Grösse die Druckfestigkeit unendlich oder doch sehr gross werden würde, während bei einem grossen Feuchtigkeitsgehalte die Druckfestigkeit fast constant bleiben müsste, so hat sich auch noch gezeigt, dass die Anwendung jener Curve auf Versuchsergebnisse, die bei Gelegenheit der Anstellung der Hauptversuche an correspondirenden Stücken der Stämme von Lichtenhof und Regenhütte erhalten worden waren, ganz unthunlich war. Zur Zeit nämlich, als die Druckversuche mit den Stämmen 1 und 2 angestellt wurden, lies ich aus dem oberen Trumme des Stammes 1 von Regenhütte (R. 1. Z) und zwar aus dem SW Theil des Querschnitts, dann aus demselben Trumm, aus dem NO Theile des Querschnitts und endlich aus dem untern Trumm des Stammes 1 von Lichtenhof (L. 1. St.), und zwar aus dem NO Theile des Querschnitts, je ein paar Druckprobestücke unmittelbar hintereinander heraus schneiden, von denen das eine im frischen, feuchten, das andere im lufttrockenen Zustande, der durch rasche, künstliche Trocknung hergestellt worden war, auf Festigkeit und Feuchtigkeitsgehalt geprüft wurden. Die erhaltenen Resultate sind folgende: (Der Feuchtigkeitsgehalt  $\varphi$  ist mittelst der Formel 4) auf Seite 13 corrigirt).

Bezeichnung des Probestückes	Druckfestigk. at.	Feuchtigkeitsgehalt $\varphi$
R. 1. Z. SW. a.	226	20%
„ „ „ „ b.	317	10,4%
R. 1. Z. NO. a.	211	21,5%
„ „ „ „ b.	303	10,7%
L. 1. St. NO. a.	338	18,0
„ „ „ „ b.	397	10,3

Wendet man auf diese, sowie auf die in Tabelle VII enthaltenen Resultate die einfache Proportionalformel:

$$\beta_0 = \beta \left[ 1 + \lambda (\varphi - \varphi_0) \right]$$

an, in der  $\beta$  die Druckfestigkeit beim Feuchtigkeitsgehalt  $\varphi$  und  $\beta_0$  diejenige bei einem niedrigeren Feuchtigkeitsgehalt  $\varphi_0$  bezeichnet, welcher in der Nähe der Lufttrockene

stattfindet, so finden sich für die Constante  $\lambda$  folgende Werthe: Aus der Combination

- 1) der I. mit der III. und IV. Trockenstufe in Tabelle VII . . . . .  $\lambda = 0,0243$
- 2) der II. mit der III. und IV. Trockenstufe derselben Tabelle . . . . .  $\lambda = 0,0535$
- 3) der Stücke a und b von R. 1. Z. SW.  $\lambda = 0,0420$
- 4) „ „ „ „ „ R. 1. Z. NO.  $\lambda = 0,0404$
- 5) „ „ „ „ „ L. 1. St. NO.  $\lambda = 0,0277$

Mittel:  $\varphi = 0,0366$

Mit diesem Mittelwerthe von  $\lambda$ , also mit der Formel

$$\beta_0 = \beta \left[ 1 + 0,0366 (\varphi - \varphi_0) \right], \quad 6)$$

berechnen sich nun aus den Mittelzahlen der Tabelle VII für die Druckfestigkeit  $\beta_0$  bei Lufttrockne ( $\varphi_0 = 10^0/0$ ) folgende Werthe:

432      362      393<sup>at</sup>

beziehungsweise f. d. I.      II. u. III u. IV. Trockenstufe,

und wenn man aus den Resultaten für die Stücke a jener drei Paare von Probestücken die Festigkeit für den Feuchtigkeitsgehalt der Stücke b berechnet, so findet man bezw.

308                  295                  437<sup>at</sup>  
 statt 317              303                  397<sup>at</sup>.

Man sieht, die Uebereinstimmung lässt immerhin zu wünschen übrig, doch war sie unter den gegebenen Verhältnissen nicht besser zu erwarten und ist auch nicht so schlecht, dass man obige Formel ganz verwerfen müsste. Diese mag daher, in Ermanglung einer besseren, als erste Annäherung beibehalten werden.

Wenn man auf die in Tabelle VII enthaltenen Mittelwerthe für die Schubfestigkeit auf den verschiedenen Trockenstufen die der obigen ähnlich gebaute Proportionalformel

$$\gamma_0 = \gamma \left[ 1 + \mu (\varphi - \varphi_0) \right]$$

anwendet, in der  $\gamma$  und  $\gamma_0$  die Schubfestigkeit und  $\mu$  einen constanten Faktor bedeutet, so erhält man für letzteren durch Combination der

- I. Trockenstufe mit der IV. . . . .  $\mu = 0,0382$
- II. „ „ „ „ . . . . .  $\mu = 0,0497$
- III. „ „ „ „ . . . . .  $\mu = 0,0413$

in Mittel:  $\mu = 0,0430$

Es stimmt also in der That, wie erwartet, dieser Mittelwerth mit dem für  $\nu$  bei der Druckfestigkeit erhaltenen so ziemlich überein und reducirt man mit ihm, also mit der Formel

$$\gamma_0 = \gamma \left[ 1 + 0,0430 (\varphi - \varphi_0) \right] \quad 7)$$

die Mittelwerthe der Schubfestigkeit in Tabelle VII auf den lufttrockenen Zustand ( $\varphi = 10^0/0$ ), so bekommt man, aus der

- I. Trockenstufe . . . . . 77<sup>at</sup>
- II. „ . . . . . 70<sup>at</sup>
- III. „ . . . . . 73<sup>at</sup>
- IV. „ . . . . . 72<sup>at</sup>

Werthe, die eine hinreichende Uebereinstimmung zeigen.

### 8. Abschnitt. Resultate und Folgerungen.

#### a) Zugversuche (Tabelle III).

Unter den, in den Tabellen II bis V niedergelegten Resultaten zeigen die in Tabelle III enthaltenen für die auf Zug untersuchten Probestücke die grössten Verschiedenheiten, wenn bei annähernd gleichen physikalischen Eigenschaften die mechanischen mit einander verglichen werden. Dies rührt zunächst davon her, dass der Querschnitt dieser Probestücke nur ein kleiner war und sein konnte, 2—4 qcm, und daher örtliche Verschiedenheiten der Qualität sich am meisten ausdrücken mussten. Ausserdem ist die Zugfestigkeit des Holzes längs seiner Faser sehr gross, ganz ausserordentlich gross, wenn man die weiten Hohlräume in Rücksicht zieht, die jeder Dünnschnitt unter dem Mikroskop zeigt; es ist daher nicht zu verwundern, dass sie zwischen weiten Grenzen hin und her schwankt.

Zunächst fällt in die Augen, dass die Kernstücke stets eine geringere, in der Regel eine weit kleinere Zugfestigkeit haben, als die der Peripherie entnommenen. Diese geringere Festigkeit ist meistens von einem kleineren spezifischen Gewicht begleitet, aber nicht immer; bei den Stämmen von Schliersee haben die Kernstücke meistens ein etwas grösseres spezifisches (Trocken-) Gewicht, als die äusseren, immer aber eine bedeutend geringere Festigkeit, als diese. Dagegen haben die Kernstücke (mit einer einzigen Ausnahme (L. 2. St. N. u. Mitte) stets eine grössere, in der Regel eine bedeutend grössere Jahrringbreite, als die den Schwartlingen entnommenen. Doch darf desswegen die grössere Jahrringbreite noch lange nicht als die direkte Ursache der geringeren Festigkeit angesehen werden. Denn wenn allerdings die vier Schlierseeer Stämme bei einer durchschnittlich grösseren Jahrringbreite eine durchschnittlich geringere Festigkeit zeigen, so fallen innerhalb eines und desselben Stammes, ja innerhalb eines und desselben Querschnittes bei den Schwartlingstücken keineswegs jene beiden Eigenschaften immer zusammen; im Gegentheil findet man bei diesen Stücken häufig sehr verschiedene Festigkeiten bei gleichen Jahrringbreiten (z. B. R. 4. St. N. u. S.), oder gleiche Festigkeiten bei sehr verschiedenen Jahrringbreiten (z. B. L. 2. St. N. u. S.) und sogar grössere Festigkeit bei grösserer Jahrringbreite (z. B. L. 1. Z. W. u. O.). Uebrigens zeigt auch eine einfache, nach genauerer Betrachtung von Dünnschnitten unserer Hölzer angestellte Ueberlegung die Richtigkeit obiger Behauptung. Herr Forstrath Prof. Dr. Nördlinger hatte die Güte, mir von 22 der in Rede stehenden Zugprobestücken, die ich mit Rücksicht auf sehr verschiedene Festigkeit, Dichtigkeit und Jahrringbreite ausgewählt habe, Dünnschnitte auf seine bekannte, ausgezeichnete Weise herstellen zu lassen. Dieselben zeigen, unter dem Mikroskop mit nur schwacher (50facher) Vergrösserung betrachtet, bei sehr selten vorkommenden Harzporen und geringen Unterschieden bezüglich der Dicke und Häufigkeit der Markstrahlen eine fast gleiche Struktur in

der Frühjahrszone der Jahrringe, dagegen sehr grosse Verschiedenheiten in der Struktur sowohl als in der Breite der Herbstzone im Vergleich zur Breite des ganzen Jahrringes. Da nun schon der blosse Anblick zeigt, dass die Festigkeit der Herbstzone (auf die Flächeneinheit bezogen) und auch die Dichtigkeit derselben bedeutend grösser sein muss, als die der Frühjahrszone, so ist klar, dass gerade die Beschaffenheit und Breite jener auf die Festigkeit und Dichtigkeit des ganzen Querschnitts von entscheidendem Einfluss sein muss.

Bezeichne  $\alpha'$  die auf die Flächeneinheit bezogene Zugfestigkeit der Herbstzone,  $\alpha''$  die der Frühjahrszone,  $\alpha$  die des ganzen Jahrringes: ferner  $b$  die Breite des letzteren,  $\zeta b$  die der Herbstzone,  $(1-\zeta)b$  also die der Frühjahrszone, so ist, wenn wir einen Querschnitt von der Breite des Jahrringes und der Länge 1 betrachten,

$$\alpha b = \alpha' \zeta b + \alpha'' (1-\zeta) b$$

$$\text{und folglich } \alpha = \alpha' \zeta + \alpha'' (1-\zeta),$$

die Zugfestigkeit also unabhängig von der ganzen Jahrringbreite, sondern nur bedingt von der Zugfestigkeit, also Beschaffenheit der beiden Zonen, und daher, bei

der fast constanten Beschaffenheit der Frühjahrszone, wesentlich abhängig von der Festigkeit der Herbstzone und ausserdem von der verhältnissmässigen Breite  $\zeta$  derselben.

Bezeichnen  $\delta$ ,  $\delta'$ ,  $\delta''$  die mittleren spezifischen Gewichte bezw. des ganzen Jahrringes, der Herbst- und der Frühjahrszone, so ergibt die Betrachtung eines Holzstückes von der Breite des Jahrringes, der Länge 1 und der Höhe 1 (in der Richtung der Faser)

$$\delta b = \delta' \zeta b + \delta'' (1-\zeta) b$$

$$\text{und folglich } \delta = \delta' \zeta + \delta'' (1-\zeta),$$

woraus bezüglich des spezifischen Gewichtes dieselben Schlüsse gezogen werden können, wie oben bezüglich der Festigkeit.

Zur Illustration dieser Betrachtungen stelle ich nachfolgend eine kurze Charakterisirung der oben erwähnten 22 Dünn-Querschnitte, wie sie sich unter einem Mikroskop mit ca. 50 facher Vergrösserung darstellen, mit den hauptsächlichsten, schon in Tabelle III niedergelegten Resultaten für die betr. Probestücke zusammen und bemerke, dass sich jene Charakterisirung, wie diese Resultate, immer auf den ganzen, beim Versuch abgerissenen Querschnitt, aber auch nur auf diesen erstreckt.

Bezeichnung	Mittler. Breite $b$ der Jahrringe $mm$	Specif. Gewicht bei Lufttrock.	Zugfestigkeit $at$	Aussehen des Dünnquerschnittes, verhältnissmässige Breite $\zeta$ der Herbstzone.
L. 2. Z. S.	0,75	0,45	564	Herbstzone zum Theil dicht gewebt, mit $\zeta = 0,2$ , zum Theil in den engeren Jahrringen ganz locker, fast wie die Frühjahrszone, mit $\zeta$ höchstens $= 0,1$ .
L. 2. St. S.	1,3	0,57	1560	Herbstzone durchweg sehr dicht, $\zeta = 0,2$ bis $0,4$ .
L. 2. Z. N.	0,64	0,41	661	Herbstzone grösstentheils ziemlich locker, $\zeta = 0,15-0,2$ .
L. 2. Z. M.	5,5	0,44	146	Herbstzone nur wenig dichter als die Frühjahrszone und nur am äussersten Rande. Uebergang zwischen beiden ganz verwischt, eine Grenze nicht erkennbar.
L. 3. St. W.	0,8	0,515	1010	Herbstzone sehr dicht, $\zeta = 0,15-0,25$ .
L. 3. St. O.	1,9	0,63	350	Herbstzone ausserordentlich verschieden, stellenweise ganz locker, wie Frühjahrs Holz, stellenweise ganz dicht, aber brockig, verworren; $\zeta = 0,15-0,3$ ; intensiv gelbes Ansehen, offenbar von einer kranken Stelle des Baumes.
L. 3. St. M.	2,6	0,51	280	Herbstzone ziemlich dicht; Grenze zwischen ihr und der Frühjahrszone gut erkennbar, $\zeta$ höchstens $= 0,1$ , meistens darunter.
L. 4. St. N.	0,66	0,55	1100	Herbstzone grösstentheils dicht gewebt; $\zeta = 0,15-0,25$ .
L. 4. St. N.	0,8	0,53	910	Herbstzone zum Theil dicht, mit $\zeta$ bis $0,3$ , zum Theil in den engeren Jahrringen aber sehr locker, mit $\zeta = 0,1$ .
L. 4. Z. N.	0,5	0,40	450	Herbstzone grösstentheils ziemlich dicht, aber $\zeta$ sehr klein, höchstens $0,2$ , meistens bis $0,15$ und $0,1$ herabgehend.
L. 4. Z. M.	3,3	0,47	280	Herbstzone zum Theil ziemlich dicht, zum Theil locker, aber der Uebergang von der Frühjahrs- zur Herbstzone leicht erkennbar; $\zeta$ höchstens $0,1$ .
F. 2. Z. N.	2,0	0,48	1050	Herbstzone ziemlich dicht; $\zeta = 0,25$ .
F. 2. St. N.	2,5	0,47	646	Herbstzone ziemlich locker, Uebergang von der Frühjahrs- in die Herbstzone sehr allmählich, Grenze schwer bestimmbar.
F. 3. Z. W.	0,8	0,50	1205	Herbstzone sehr dicht; $\zeta = 0,2-0,25$ .
F. 3. St. W.	2,0	0,45	545	Herbstzone zum Theil ziemlich dicht, zum Theil aber locker. Uebergang zur Frühjahrszone allmählich, $\zeta = 0,1-0,2$ .
F. 3. St. M.	3,4	0,42	195	Herbstzone ziemlich dicht, aber nur am äussersten Rand. Uebergang von der Frühjahrs- in die Herbstzone sehr verwischt. Grenze schwierig bestimmbar.
F. 4. Z. N.	0,65	0,55	1430	Herbstzone dicht; $\zeta = 0,2-0,3$ .
F. 4. St. N.	0,5	0,58	> 2450	Herbstzone sehr dicht; $\zeta = 0,3-0,4$ .
F. 4. Z. M.	2,7	0,48	450	Herbstzone dicht; Uebergang von der Frühjahrs- in die Herbstzone verwischt; $\zeta$ ungefähr $0,1-0,15$ .
Sch. 4. Z. N.	2,8	0,37	505	Herbstzone locker, zum Theil sehr locker; Uebergang von der Frühjahrs- in die Herbstzone sehr allmählich, $\zeta$ ungefähr $= 0,07$ bis höchstens $0,1$ .
Sch. 4. St. N.	2,4	0,37	640	Herbstzone ziemlich locker, aber dichter als vorhin; $\zeta$ höchstens $= 0,1$ .
Sch. 4. Z. M.	5,2	0,42	170	Herbstzone zum Theil locker bis zum Rand, grösstentheils aber bis zu diesem hin bedeutend dichter werdend; Uebergang von der Frühjahrs- zur Herbstzone sehr verwischt; $\zeta$ ungefähr $0,05$ .

Es folgt hieraus, dass eine dichte Herbstzone von grosser verhältnissmässiger Breite  $\zeta$  stets eine grosse Zugfestigkeit (und Dichtigkeit), eine locker gewebte und verhältnissmässig dünne Herbstzone aber stets eine geringere Festigkeit (und Dichtigkeit) des ganzen Querschnitts zur Folge hat, und dass die so bedeutend geringere Festigkeit der Kernstücke nicht sowohl von der grossen Breite der Jahrringe, sondern vielmehr von der lockeren Beschaffenheit und verhältnissmässig geringen Breite der Herbstzone herrührt; ebenso die geringere Festigkeit der breitringigen Stämme von Schliersee.

Dass ausser der, in Dünnschnitten sich zeigenden Struktur des Holzes auch der an Längsschnitten ersichtliche anatomische Bau desselben von Einfluss auf seine Zugfestigkeit sein müsse, ist von vornherein sehr wahrscheinlich und scheint auch aus den schon weiter oben (S. 7) charakterisirten verschiedenen Formen der Brüche und aus dem Zusammenhang derselben mit der Grösse der Zugfestigkeit hervorzugehen. Immer ist eine höhere Zugfestigkeit von einem faserigen Bruch, eine niedrigere von einem kurzen, stumpfen oder zackigen Bruch begleitet.

Der Hauptbestandtheil des Holzkörpers ist die Holzfasern; diese sind langgestreckte beiderseits zugespitzte völlig geschlossene Organe von einigen Millimetern Länge\*). Es ist klar, dass die Kraft, welche zum Abreissen eines Holzstabes angewendet wird, nur durch Vermittlung des seitlichen Zusammenhangs, welcher zwischen diesen Fasern stattfindet, auf jede von ihnen übertragen wird, durch die Schubspannungen, welche sich an den Berührungsfächen der Fasern untereinander in der Intercellularsubstanz entwickeln, wenn sie ihrer Länge nach übereinander weg geschoben oder gezogen werden sollen. Die Maximalgrösse dieser Schubspannung messen wir in der Schubfestigkeit  $\gamma_0$  des Holzes längs der Faser (Tab. V). Nennen wir  $d$  die Dicke einer Faser,  $l$  ihre Länge und  $\omega$  einen Factor zwischen  $1/2$  und 1, so steht uns zur Uebertragung der Zugkraft auf die Faser mittelst jener Schubspannung im günstigsten Falle, wo jede Faser bis zu ihrer Mitte in den sie zunächst umgebenden steckt, die halbe Oberfläche der Faser zu Gebote:

$$\frac{1}{2} \omega d \pi l,$$

und folglich die Maximalkraft:

$$\frac{1}{2} \omega d \pi l \gamma_0.$$

Soll diese zum Abreissen der Faser hinreichen, so muss

$$\frac{1}{4} d^2 \pi \alpha_0 < \frac{1}{2} \omega d \pi l \gamma_0,$$

$$\text{oder } \alpha_0 < \frac{2 \omega l}{d} \gamma_0,$$

$$\text{oder } \frac{\alpha_0}{\gamma_0} < \frac{2 \omega l}{d}$$

\*) Gayer, die Forstbenutzung; 6. Aufl. S. 8.  
Bauschinger, Mittheilungen, IX.

sein, wenn  $\alpha_0$  die mittlere Zugfestigkeit der Faser für den vollen Querschnitt derselben bezeichnet, wie sie gewöhnlich durch Abreissen eines Stabes und Division der dazu nöthigen Kraft durch den Stabquerschnitt erhalten wird. Andernfalls ziehen sich die Fasern auseinander heraus durch Ueberwindung der Schubfestigkeit.

Mein sehr geehrter Herr College Prof. Dr. Gayer hat die Güte gehabt, an 12 ihm übergebenen Probestücken die mittlere Länge der Fasern zu bestimmen. Es waren dies sämmtlich solche Stücke, von denen mir Herr Forst-rath Prof. Dr. Nördlinger Dünnschnitte hatte machen lassen. An diesen Dünnschnitten zählte ich im Mikroskop nach zwei auf einander senkrechten Richtungen, radial und tangential, approximativ die Anzahl der durchschnittenen Fasern, die auf eine Länge von 2 mm treffen. Bezeichnet  $\nu$  diese Zahl, so ist der mittlere Durchmesser  $d$  einer Faser gleich  $\frac{2}{\nu}$  mm und da man bei der geringen Dicke und verhältnissmässig grossen Länge der Fasern  $\omega = 1$  setzen darf, so wird  $\frac{2 \omega l}{d} = l \nu$ . Die so erhaltenen Werthe von  $l, \nu$  und  $l \nu$  sind in nachstehender Tabelle mit den aus den Tabellen III und V entnommenen Werthen von  $\alpha_0$  und  $\gamma_0$ , der Zugfestigkeit und Schubfestigkeit, und mit dem daraus berechneten Werth von  $\frac{\alpha_0}{\gamma_0}$  zusammengestellt.

Bezeichnung	Faserlänge l mm	Anzahl $\nu$ von Faser- Durch- messern auf eine Länge von 2 mm	Ver- hältniss $\frac{2 \omega l}{d}$ oder $l \nu$ im Mittel	Zugfestig- keit $\alpha_0$ at	Schub- festigkeit $\gamma_0$ at	Ver- hält- niss $\frac{\alpha_0}{\gamma_0}$
L. 2. Z. S.	4,20—5,00	55	253	564	44	13
L. 2. Z. M.	1,80—2,50	80	172	146	39	4
L. 2. Z. N.	3,50—4,20	55	212	661	40	17
L. 3. St. W.	3,40—4,50	55	217	1010	90	11
L. 3. St. O.	3,00—3,80	55	187	350	56	6
L. 4. St. N.	3,60—4,00	60	228	1100	51	22
L. 4. Z. N.	3,80—4,20	50	200	450	55	8
F. 3. Z. W.	4,80—5,60	53	276	1205	71	17
F. 3. St. W.	4,00—4,40	60	252	545	46	12
F. 4. Z. N.	4,20—6,00	59	301	1430	103	14
F. 4. St. N.	4,00—6,00	60	300	>2450	58	42
F. 4. Z. M.	3,20—5,20	100	420	450	43	10

Das Verhältniss  $\frac{2 \omega l}{d}$  ist also immer weit grösser als das der Zugfestigkeit zur Schubfestigkeit, und deshalb wird die Zugfestigkeit des Holzes stets durch Abreissen der Fasern überwunden, wenn die Art und Weise, wie dieselben neben und hintereinander gelagert sind, diejenige günstigste ist, wie wir sie oben vorausgesetzt haben. Aber das scheint in der Regel nicht der Fall zu sein. Meistens liegen wohl eine Anzahl nahezu gleichlanger Fasern fast ihrer ganzen Länge nach nebeneinander und stecken nur mit ihren Enden in einem ähnlichen folgenden Bündel. Wenn die Strecke, auf welche sich zwei, der Länge nach aufeinanderfolgende Fasern berühren, den Bruchtheil  $\mu$  ihrer halben Länge beträgt, so muss, da nun auch  $\omega$  näher gleich



$\frac{1}{2}$  als gleich 1 zu setzen ist, das Verhältniss  $\frac{2 \cdot 61}{d}$  oder  $1 \nu$  mit  $\frac{\mu}{2}$  multiplicirt werden, wodurch es nun leicht so verringert werden kann, dass es kleiner als  $\frac{\alpha_0}{\gamma_0}$  wird. Die ungeheure Mannichfaltigkeit, welche in der Anordnung der Fasern betreffs ihrer Lage neben- und hintereinander möglich ist, scheint mir der Hauptgrund der grossen Verschiedenheiten zu sein, welche die Zugfestigkeit innerhalb desselben Stammes, ja innerhalb desselben Querschnittes eines solchen zeigt.

Ausser den bisher betrachteten, im anatomischen Bau des Holzes sich aussprechenden, sozusagen geometrischen Verhältnissen, hat nun aber natürlich auch noch die eigentliche Holzsubstanz, ihrer Qualität, ihrer chemischen Zusammensetzung nach, Einfluss auf die Festigkeit.

Die Hauptbestandtheile der trockenen Holzmasse sind Cellulose und Lignin. „Man kann\*) annehmen, dass nahe die Hälfte derselben aus Lignin oder inkrustirenden Substanzen, die andere Hälfte nahezu aus Cellulose besteht.“ . . . . . „In dem Masse, als die Zellen mit fortschreitendem Wachsthum und Alter der Pflanzen mehr und mehr verholzen, nimmt der Ligningehalt zu, der Cellulosegehalt dagegen ab.“ . . . . . „Durch die bei der Verholzung stattfindende Einlagerung der inkrustirenden Substanzen in die Substanz der Zellwände wird auch eine physikalische Veränderung derselben herbeigeführt; es werden die Zellmembranen beträchtlich verdickt und in Folge dessen härter, unbiegsamer und schwerer verdaulich.“ . . . . . „Mit dem Grade der Verholzung oder Verdickung der Zellen und Gefässe steht mithin die Festigkeit der Pflanzen und Pflanzengewebe in einer gewissen Beziehung.“ . . . . . „Das im Frühjahr oder im Vorsommer gleichzeitig mit der Blattentwicklung gebildete Holz (Frühlingsholz) ist lockerer und besteht aus dünnwandigeren Zellen, als das dichtere Holz, welches im Nachsommer erzeugt wird (Herbstholz),

\*) Die hier unter Anführungszeichen angeführten Stellen sind Ebermayer's Physiologischer Chemie der Pflanzen, S. 174—177 entnommen.

bei welchem die Zellwände viel stärker verdickt sind.“ . . . . . „Welche mächtige Einwirkung das Sonnenlicht und der grössere oder geringere Bestandsschluss auf die Verholzung hat, sehen wir im Walde: Die im dichten Schluss erwachsenen Bäume besitzen in der Regel eine viel geringere Widerstandsfähigkeit gegen Stürme, gegen Schnee- und Eisdruck, als die Bäume solcher Bestände, die frühzeitig durchforstet wurden und stärker verholzen konnten. Ebenso ist bekannt, dass im freien Stande gewachsenes Holz härter und fester ist, als das im Innern gut geschlossener Bestände erwachsene.“

Insofern die Ligninbildung mit der Verdickung der Zellmembrane, namentlich des Herbstholzes, fortschreitet, ist ihrem Einfluss schon in dem oben ausgesprochenen Satze Rechnung getragen, dass eine dichte und verhältnissmässig breite Herbstzone immer eine grössere Festigkeit zur Folge hat. Aber Lignin wird auch in der Zellmembrane des FrühjahrsHolzes gebildet, und ausserdem ist es möglich, dass diejenige Zellsbstanz, welche reichlicher mit Lignin inkrustirt ist, an sich fester ist, als eine ligninärmere. Um dieser Frage etwas näher zu treten, ersuchte ich meinen Freund und Collegen, Herrn Prof. Dr. Ebermayer, eine Anzahl der von mir auf Zugfestigkeit geprüften Probestücke auf ihren Lignin-Gehalt zu untersuchen. Die Resultate seiner mit grösster Bereitwilligkeit unternommenen, mühevollen Arbeit stelle ich in nachfolgender Tabelle mit den von mir ermittelten hieher gehörigen Zahlen zusammen, die zum Theil schon in Tab. III enthalten sind, zum Theil an Dünquerschnitten aus denselben Stücken beobachtet worden sind. Ueber das angewandte Verfahren wird Herr Prof. Ebermayer an einem anderen Ort ausführlicher berichten, ich beschränke mich darauf, hier anzugeben, dass zu jeder Probe 5gr lufttrockenes Holz verwendet und dass das Lignin mittelst Bromwasser und chlorsaurem Kali und Salpetersäure (Schulze'sche Flüssigkeit) ausgezogen wurde, nachdem zuvor das Holz von den Resten der Saftbestandtheile und vom Harz durch Behandlung mit Aether, Alkohol, Wasser, verdünnten Säuren und Alkalien gereinigt worden war.

Bezeichnung	Gehalt in Proc. d. v. Saftbestandtheilen gereinigt.		Mittlere Breite der Jahrringe mm	Specif. Gewicht bei Lufttrocknen	Zugfestigkeit at	Aussehen des Dünquerschnittes, verhältnissmässige Breite $\zeta$ der Herbstzone.
	Lignin	Cellulose				
L. 1. Z. W.	53,69	46,31	0,66	0,38	436	Der Querschnitt besteht zur Hälfte aus breiteren Jahrringen mit dichter Herbstzone, deren verhältnissmässige Breite $\zeta = 0,3$ , zur anderen Hälfte aus schmäleren mit ganz lockerer Herbstzone, deren verhältnissmässige Breite höchstens 0,2, meist aber noch viel weniger beträgt.
L. 1. Z. O.	47,51	52,49	1,25	0,50	> 1000	Herbstzone dicht; $\zeta = 0,36-0,4$ .
L. 1. St. W.	45,46	54,54	1,0	0,55	> 1217	Herbstzone dicht bis sehr dicht; $\zeta = 0,4$ .
L. 1. St. M.	55,50	44,50	4,0	0,41	262	Herbstzone locker, zum Theil sehr locker, so dass ein Unterschied zwischen ihr und der Frühjahrszone kaum merkbar; $\zeta = 0,05-0,1$ .
Sch. 1. Z. O.	56,11	43,89†)	1,9	0,42	1070	Herbstzone zum Theil, gegen aussen hin, ziemlich dicht, zum Theil aber locker; $\zeta = 0,25-0,3$ .
Sch. 1. St. W.	52,27	47,73	1,8	0,39	542	Herbstzone grösstentheils sehr locker, Uebergang von der Frühjahrszone manchmal kaum erkennbar; $\zeta = 0,1-0,2$ .
Sch. 1. St. M.	56,17	43,83	5,7	0,37	180	Herbstzone nur am äussersten Rande dicht; Uebergang von der Frühjahrszone sehr allmählich; $\zeta$ höchstens 0,04.
Sch. 1. St. O.	48,03	51,97	1,9	0,38	577	Herbstzone sehr locker; Uebergang von der Frühjahrszone nicht erkennbar.

†) Dieser geringe Cellulosegehalt erklärt sich dadurch, dass die Schulze'sche Flüssigkeit auf die Cellulose zu lange wirkte und eine theilweise Zersetzung derselben veranlasste. Im Filtrat konnten mit der Fehling'schen Lösung ziemlich beträchtliche Mengen von Zucker nachgewiesen werden.

Aus obiger Tabelle folgt, dass mit Ausnahme eines einzigen Falles, dessen Abweichung durch die beigelegte Note genügend erklärt wird, die Zugfestigkeit mit dem Gehalt an Cellulose zunimmt, dass also umgekehrt die Zugfestigkeit kleiner wird, wenn der Ligningehalt wächst. Dieses Resultat, welches mit der Erfahrung, dass gereinigte Hanf- und Leinenfasern, Lindenbast etc., welche aus reiner Cellulose bestehen, sehr hohe Zugfestigkeiten besitzen, völlig übereinstimmt, scheint mit den oben angeführten Beobachtungen in Widerspruch zu stehen. Aber es ist wohl zu erwägen, dass Ebermayer in den angeführten Stellen, wo er von Festigkeit spricht, stets nur die Beanspruchung auf Biegung im Auge hat und dass grosse Zugfestigkeit und grosse Biegungsfähigkeit (nicht-Festigkeit) sehr wohl zusammen bestehen können, zumal bei einem Körper, wie Holz, der eine so ausgesprochene Faserstruktur hat. Lignin scheint das Holz härter, spröder, widerstandsfähiger gegen Biegung zu machen, während die Zugfestigkeit durch Ligninbildung verringert wird.

Näher kann hier auf den Zusammenhang zwischen der Zugfestigkeit des Holzes, seinem anatomischen Bau und seiner chemischen Zusammensetzung nicht eingegangen werden, obwohl die Erforschung der bereits berührten Beziehungen noch weiter zu vertiefen und die Untersuchungen auch noch nach anderen Seiten hin zu erweitern wären, so namentlich durch Hereinziehen der Frage nach dem Einfluss der unorganischen Bestandtheile des Holzes auf seine Festigkeit u. s. w. Ich bemerke nur noch, dass mir zu derartigen Untersuchungen gerade die Prüfung der Festigkeit des Holzes gegen Zug sehr geeignet erscheint: denn erstens kann dabei mit Stäben von sehr kleinem Querschnitt gearbeitet werden, die keine grossartigen Vorrichtungen zur Ermittlung ihrer Festigkeit erfordern und mit denen gerade eine bestimmte Stelle des ganzen Baumes im Querschnitt oder in der Höhe getroffen werden kann; und zweitens erhält man dabei doch grosse Zahlen, die sehr bedeutend schwanken, je nach der Beschaffenheit der untersuchten Stelle; die Zugfestigkeit ist also, sozusagen, ein sehr empfindliches Reagenz. Aus denselben Gründen freilich ist sie zur Entscheidung solcher Fragen, welche die Qualität des ganzen Baumes treffen, nicht, oder doch nur wenig geeignet; dies gilt speciell auch für diejenigen Fragen, deren Untersuchung der Hauptzweck der vorliegenden Arbeit ist: den Fragen nach dem Einfluss des Bodens und der Fällzeit auf die Festigkeit. Wenn ich mir trotzdem gestatte, in Bezug hierauf einige Schlüsse aus der Tabelle III zu ziehen, so sind diese also vorläufig mit der Vorsicht aufzunehmen, welche durch obige Umstände geboten erscheint.

Da sich an den Zahlen für die Zugfestigkeit in Tab. III weder ein entschiedener Einfluss der Himmelsrichtung (wie schon Wertheim gefunden) noch der Höhe innerhalb der hier zur Verfügung gestandenen Stammlänge von 6 m er-

kennen lässt, so wurden für die vier Abschnitte der beiden im Sommer und bezw. im Winter gefällten Stämme die Mittel aus den Zugfestigkeiten der Umfangsstücke gezogen und am Fusse der Tabelle III eingeschrieben; ebenso die Mittel aus den Zugfestigkeiten der Mittelstücke und die Mittel für den ganzen Querschnitt. Bei Berechnung der letzteren wurden für die je 4 in der Tabelle übereinander stehenden Trumme die Summe für die Festigkeiten der 8 Umfangsstücke und die Summe der Festigkeiten der 4 Kernstücke addirt und das Resultat durch 12 dividirt.

Aus diesen Mittelwerthen scheint zu folgen:

1) Die auf den Standorten Frankenhofen und Regenhütte erwachsenen Stämme haben ungefähr gleiche mittlere Zugfestigkeit; etwas geringer ist diejenige der Föhren von Lichtenhof und entschieden die geringste Festigkeit haben die breitringigen Fichtenstämme von Schliersee.

2) Ein Einfluss der Fällzeit ist bei Hölzern, die kürzere Zeit, etwa einen Monat nach ihrer Fällung geprüft werden, nicht zu erkennen.

Der Elasticitäts-Modul des Holzes für Zug variirt sehr bedeutend mit der Festigkeit, viel mehr, als bei anderen Materialien, namentlich bei Eisen und Stahl; er nimmt mit der Festigkeit zu und ab, doch in der Regel bei Weitem nicht in demselben Verhältniss wie diese. Während z. B. im oberen Trumme des Stammes 2 von Frankenhofen die Festigkeit des Mittelstückes zu der der Seitenstücke sich verhält ungefähr wie 1:4, verhalten sich die Elasticitäts-Module wie 1:2<sup>1/3</sup>; beim unteren Trumme des 2. Stammes von Lichtenhof sind diese Verhältnisszahlen ungefähr 1:5,7 und 1:2,3, dagegen beim unteren Trumme des 2. Stammes von Schliersee 1:1,5 und bezw. 1:2,1. Für Eisen und Stahl von der weichsten bis zur härtesten Sorte liegen die Elasticitäts-Module zwischen den äussersten Grenzen 1'800000 und 2'400000<sup>m</sup>.

Die Elasticitätsgrenze für Zug fällt, wie schon früher bemerkt, nahezu mit der Bruchgrenze zusammen. Nur beim Stamme A (s. Tab. VII) ist es mir für einige Probestücke gelungen, eine Elasticitätsgrenze für Zug zu finden, die erheblich unter der Bruchgrenze lag.

#### b) Biegungsversuche (Tab. II).

Die Biegungsversuche, an Probestücken mit dem vollen nutzbaren Querschnitt der Stämme angestellt, wurden in dieser Weise hauptsächlich in Hinblick darauf durchgeführt, dass diese Art der Beanspruchung die weitaus am häufigsten vorkommende ist bei der technischen Verwendung des Holzes. Aber obwohl dabei mit grossen Stücken und Querschnitten gearbeitet wurde, so sind diejenigen Zahlen der Tabelle II, durch welche die mechanischen Eigenschaften ausgedrückt werden, doch weit davon entfernt, die durchschnittliche Qualität des untersuchten Stammes oder auch nur des geprüften Abschnittes darzustellen. Diess geht erstens schon daraus hervor, dass die erste Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze und der Bruch

immer in einem bestimmten Querschnitt, in der Mitte nahezu, erfolgt und zweitens aus der Art und Weise, wie schliesslich der Bruch vor sich geht. Nachdem nämlich, bald nach Ueberschreiten der Elasticitätsgrenze, die Fasern in und nächst der Mitte auf der concaven Seite sich zusammen geschoben und dadurch eine oder mehrere Wulste gebildet haben, ist der Balken doch noch vollständig tragfähig und erst bei fortgesetzt gesteigerter Belastung erfolgt der Bruch plötzlich durch Zerreißen der Fasern auf der convexen Seite. Die mit dem Namen Biegungsfestigkeit bezeichneten (aus Formel 1 S. 4 berechneten) Zahlen hängen also in erster Linie von der Zugfestigkeit des Materials in der Mitte des Probestückes auf der convexen Seite ab. Sie müssten gleich der Zugfestigkeit sein, wenn nicht die Druckfestigkeit auf der concaven Seite früher überwunden würde, und wenn die Formel 1 S. 4, aus welcher sie berechnet wird, nach Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze noch ebenso richtig bliebe, wie vor derselben. Daraus folgt, dass die Zahlen für die Biegungsfestigkeit ebenfalls von der zufälligen örtlichen Beschaffenheit des Holzes, die, wie wir gesehen haben, innerhalb desselben Stammes so sehr verschieden sein kann, beeinflusst werden, wie diejenigen für die Zugfestigkeit, wenn auch nicht in so hohem Grade wie diese. Diess zeigt die Tabelle II deutlich. Wir sehen hier z. B. wie bei den 4 Abschnitten der beiden, in derselben Jahreszeit am gleichen Standort gefällten Stämme die Biegungsfestigkeit fast regelmässig mit dem specifischen Gewicht bei Lufttrocknen steigt und fällt. Aehnliches ergibt sich bei Betrachtung der Werthe des Elasticitäts-Moduls und der Elasticitätsgrenze, wenn diese, in Folge der grösseren Unsicherheit ihrer Bestimmung halber, auch etwas mehr variiren. Doch wage ich nicht, diesen Zusammenhang zwischen den genannten mechanischen Eigenschaften und der Dichtigkeit in einer Formel auszudrücken. Die am Fusse der Tabelle eingeschriebenen Mittelzahlen zeigen doch zu viele und zu grosse Abweichungen.

Noch mehr als die bisher besprochenen variiren die in der Tabelle II enthaltenen Zahlen für die Biegungsarbeit bis zum Bruch, auf die Normaldimension  $20 \times 20 \text{ cm}$  reducirt. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Wenn auf der convexen Seite des gebogenen Balkens, in der Mitte derselben, Fasern von geringer Zugfestigkeit liegen, die bei der Prüfung auf letztere einen kurzen zackigen oder gar stumpfen Bruch geben würden, so beobachtet man auch beim Abbrechen desselben einen ähnlichen kurzen Bruch, der, da die Zugfestigkeit zwischen weiteren Grenzen variirt, als der Elasticitätsmodul, schon bei einer verhältnissmässig kleineren Dehnung, also bei einem kleineren Biegungs Pfeil eintritt, als bei starken, dehnbaren Fasern auf der convexen Seite. Desshalb ist die Biegungsarbeit noch weniger, als alle bisher besprochenen Eigenschaften, geeignet, als Massstab für die mittlere Qualität des Holzes

in einem Stamme verwendet zu werden; und es wurde deshalb auch unterlassen, Mittelwerthe für sie zu ziehen.

Aus den am Fusse der Tabelle II stehenden Mittelzahlen dürften sich, mit etwas mehr Zuverlässigkeit, als vorhin, bei der Zugfestigkeit, folgende Schlüsse betreffs der Hauptziele, welche diese Arbeit verfolgt, ziehen lassen:

1) Die auf den Standorten Frankenhofen und Regenhütte erwachsenen Stämme haben bei fast gleichem specifischen Gewichte ungefähr gleiche Qualität für die Beanspruchung auf Biegung und werden von den in Lichtenhof gewachsenen Stämmen trotz deren bedeutend grösserem specifischen Gewicht kaum übertroffen, dagegen stehen jenen die Schlierseeer Stämme bedeutend nach, sowohl was die mechanischen Eigenschaften anbelangt, als auch betreffs des specifischen Gewichtes.

2) Ein Einfluss der Fällzeit ist auch hier nicht zu erkennen.

Der Schluss des ersten Satzes darf aber ja nicht missverstanden werden, wenn es sich um die technisch wohl wichtigste Verwendung der Hölzer als Tragbalken handelt. Da können bei gleicher Spannweite Balken aus den dickeren Schlierseeer Stämmen, trotz ihrer geringeren Biegungsfestigkeit, weit grössere Lasten tragen, als solche von den anderen Standorten. Dies zeigen deutlich die mit dem Namen: „Kraft zum Abbrechen“ belegten Zahlen der Tabelle II. Es sind dies die Lasten, welche vierkantig behauene oder zugesägte Balken aus den betreffenden Stämmen von möglichst grossem quadratischen Querschnitt in ihrer Mitte zu tragen vermögen, bis sie brechen. Diese Last ist bei den Balken aus Schlierseeer Stämmen  $1\frac{1}{2}$  bis über 3 mal so gross, als bei den anderen.

Eine noch höhere Bedeutung gewinnen die grossen Dimensionen der Schlierseeer Stämme durch den Umstand, dass es nicht bloss in Folge ihrer grösseren Höhe, sondern auch wegen ihrer grösseren Querschnittsdimension, möglich ist, Lichtweiten mit den daraus bearbeiteten Balken zu überspannen, die mit gleichalterigen Stämmen der anderen Standorte nicht erreicht werden können. Eine einfache Rechnung zeigt diess: Aus den bekannten Biegungsformeln folgt, dass bei gleicher (concentrirter oder gleichmässig vertheilter) Belastung die grösstmöglichst zu überspannende Lichtweite proportional der zulässigen Biegungs Spannung, also der Biegungsfestigkeit, und proportional der 3. Potenz der Seite des quadratischen Querschnitts ist. Nehmen wir als mittlere Biegungsfestigkeit der Balken aus den Stämmen der drei ersten Standorte  $440^{\text{at}}$  und als durchschnittliche Grösse der Seite ihres quadratischen Querschnittes  $18 \text{ cm}$ , dann als entsprechende Zahlen für die Schlierseeer Stämme  $275^{\text{at}}$  und  $28 \text{ cm}$ , so verhalten sich die Biegungsfestigkeiten wie  $1 : 0,625$  und die 3. Potenzen der Querschnittsseiten wie  $1 : 3,764$ , folglich die zu überspannenden Lichtweiten wie  $1 : 2,35$ ; d. h. mit Balken aus den Schlierseeer Stämmen können bei gleicher Belastung 2,35 mal so

grosse Lichtweiten überspannt werden, als mit Balken aus gleichalterigen Stämmen von Lichtenhof, Frankenhofen oder Regenhütte.

c) Druckversuche (Tabelle IV).

Bei den Druckversuchen lässt sich, wie schon oben (S. 8) bemerkt, die Ueberschreitung der Festigkeit sehr scharf beobachten, obwohl ein eigentlicher Bruch nicht stattfindet. Da zudem Probestücke mit ziemlich grossen Querschnitten, bis zu  $10 \times 10 \text{ cm}$ , genommen werden konnten, über die sich der Druck nahezu gleichmässig verbreitet, so liess sich erwarten, dass die Zahlen für die Druckfestigkeit eine bessere Uebereinstimmung zeigen würden, als die für Zug- und Biegefestigkeit. Diess wird durch Tabelle IV genügend bestätigt. Die Elasticitätsgrenze dagegen ist bei Druckversuchen in der Regel sehr verschwommen und der Elasticitätsmodul wegen der grossen Schwierigkeit einer völlig gleichmässigen Vertheilung des Druckes etwas unsicher. Desshalb sollen den folgenden Betrachtungen nur die Zahlen für die Druckfestigkeit zu Grunde gelegt werden. Diese zeigen nun wieder in der Regel ein Steigen und Fallen, je nachdem das spezifische Gewicht (bei Lufttrockene) grösser oder kleiner wird. Ausnahmen hievon machen nur einige Stücke der nordwestlichen und nordöstlichen Seite der Stämme 3 und 4 von Lichtenhof und fast sämmtliche Kernstücke der Schlierseeer Stämme, welche trotz ihres grösseren spezifischen Gewichts eine kleinere Festigkeit besitzen, als die dem Umfange näher gelegenen Seitenstücke. Mit Ausnahme der erstgenannten Fälle trifft diess letztere, nämlich, dass die Kernstücke eine geringere Festigkeit haben, als die Seitenstücke, durchweg zu, in Uebereinstimmung mit den Resultaten der Zugversuche, nur dass der Unterschied hier, des grösseren Querschnitts der Probestücke halber, nicht so auffallend ist, als dort. Der Grund dieser Uebereinstimmung ist leicht zu erkennen. Wenn, wie wir oben bei Besprechung der Zugversuche sahen, der seitliche Zusammenhalt der Fasern, der sich in der Schubfestigkeit längs derselben ausspricht, eine grosse Rolle bei der Uebertragung der Zugkraft und dem endlichen Zerreißen des Probestückes spielt, so ist es bei den Druckversuchen eigentlich geradewegs dieser seitliche Zusammenhang, der bei dem Zusammenschieben der Fasern überwunden wird in dem Augenblick, wo die Grenze der Druckfestigkeit erreicht ist.

Vergleicht man die Druckfestigkeiten der Probestücke aus den oberen Trummen der verschiedenen Stämme mit denen aus den unteren, so zeigen sich entschiedene Unterschiede bei den Stämmen von Lichtenhof, Regenhütte und Schliersee, während es bei den Stämmen von Frankenhofen ganz unentschieden bleibt, ob die unteren oder die oberen Trumme grössere Festigkeit besitzen. Bei den Lichtenhofer Stämmen ist die Druckfestigkeit der oberen Trumme geringer, bei denjenigen von Regenhütte und Schliersee die der unteren.

Ein Einfluss der Himmelsrichtung lässt sich bei den Standorten Frankenhofen, Regenhütte und Schliersee nicht erkennen; bei den Lichtenhofer Stämmen ist die Südseite (SO und SW) stärker als die Nordseite (NW und NO) bezüglich der Druckfestigkeit.

Immerhin sind jedoch die Unterschiede, welche der Einfluss der Höhe und der Himmelsrichtungen hervorbringt, nicht bedeutend, so dass am Fusse der Tabelle IV wieder die Mittel der in Vertikalreihen übereinander stehenden Zahlen gezogen werden konnten. Diese Mittelwerthe bestätigen dann zunächst das schon oben über den Unterschied der Kern- und Seitenstücke und über den Einfluss der Himmelsrichtungen (S und N) Gesagte. Um aus ihnen einen Durchschnittswerth für die Druckfestigkeit des ganzen quadratischen Querschnitts zu erhalten, habe ich die beiden Zahlen für die Seitenstücke addirt, die Summe mit 4 multiplicirt, zum Produkt die Druckfestigkeit des Kernstückes addirt und alsdann durch 9 dividirt. Ich dachte mir dabei den quadratischen Querschnitt der Balken durch Parallellinien zu den Seiten in 9 gleiche Quadrate getheilt, deren mittelstes den Kern enthält, während die 8 umliegenden gleiche mittlere Festigkeit haben. Die so erhaltenen Durchschnittszahlen sind in die vorletzte Horizontalzeile der Tabelle eingetragen. Auf gleiche Weise wurde der mittlere Feuchtigkeitsgehalt im Querschnitt berechnet und neben jene Festigkeitszahlen in Klammern gesetzt. Aus beiden Zahlen wurde dann mittelst der Formel 6) auf S. 15 die Druckfestigkeit für den lufttrocknen Zustand ( $\varphi = 10\%$ ) ermittelt und in die letzte Horizontalreihe der Tabelle eingeschrieben. Durch Vergleichung dieser letztern ergibt sich:

1) Die auf den Standorten Frankenhofen und Regenhütte erwachsenen Stämme haben bei fast gleichem spezifischem Gewichte ungefähr gleiche mittlere Druckfestigkeiten und werden von den in Lichtenhof gewachsenen Stämmen trotz deren grösserer Dichtigkeit kaum übertroffen, dagegen stehen jenen die Schlierseeer Stämme bedeutend nach.

2) Bei allen 4 Standorten ist die Festigkeit der im Winter gefällten Stämme grösser, als der im Sommer gefällten, und zwar verhalten sich beide Festigkeiten im lufttrockenen Zustande in

Lichtenhof	wie	1 : 1,35
Frankenhofen	„	1 : 1,20
Regenhütte	„	1 : 1,01
Schliersee	„	1 : 1,34
im Mittel	wie	1 : 1,22.

Da die Probestücke aus den im Winter gefällten Stämmen rein parallelepipedische Gestalt hatten, während diejenigen aus den im Sommer gefällten an zwei gegenüberliegenden Seitenflächen etwas eingeschweift (Fig. 8 auf Blatt I) und an den Stirnflächen mit eisernen Platten armirt waren, so könnte man wohl auch glauben,

dass der Unterschied in der Festigkeit beider von der Verschiedenheit ihrer Gestalt und von der Armirung herühren möchte. So unwahrscheinlich das schon von vornherein ist, da einerseits die Unterschiede der Gestalten nur gering und andererseits die Pappendeckelbeilagen hart genug waren und nicht in die weicheren Theile der Jahrringe eindringen konnten (vgl. S. 8, die Anmerkung), so wollte ich doch nicht unterlassen, Controlversuche anzustellen und liess zu dem Ende aus Resten des Materials, das zu den bisher beschriebenen Versuchen gedient hatte, je zwei unmittelbar hintereinander liegende Parallelepiped von ca. 15 cm Länge und 6—9 cm Querschnittsseite heraus schneiden, so dass die Fasern des einen die unmittelbare Fortsetzung der Fasern des andern bildeten. Das eine (a) derselben behielt die parallelepipedische Form, das andere (b) wurde an zwei gegenüberliegenden Seitenflächen eingeschweift, wie Fig. 8, Blatt I, und an den Stirnflächen armirt. Folgende Tabelle enthält die Resultate der mit diesen Probestücken angestellten Druckversuche; sämtliche Stücke waren Seitenstücke und in vollständig luft-trockenem Zustande.

Standort	Stamm-Nr.	Trumm	Druckfestigkeit des Stückes		Verhältniss b : a
			a at	b at	
Lichtenhof . .	1	unten	471	429	1 : 1,10
„	2	oben	394	370	1 : 1,07
Regenhütte . .	1	unten	320	342	1 : 0,94
„	2	unten	383	387	1 : 0,99
Schliersee . .	4	unten	242	222	1 : 1,09
„	4	unten	253	209	1 : 1,21
				Mittel	1 : 1,07

Wenn hieraus überhaupt auf einen Einfluss der Gestalt und der Armirungsplatten geschlossen werden will, so ist der Unterschied in der Druckfestigkeit beider Arten von Probestücken doch zu gering, um den oben zwischen den im Sommer und im Winter gefällten Stämmen nachgewiesenen erklären zu können.

Schliesslich möge auch hier wieder bemerkt werden, dass die Schlierseeer Stämme, trotz ihrer geringeren Druckfestigkeit, wegen ihrer grösseren Dimensionen doch einen höheren technischen Werth besitzen, als die Stämme der anderen Standorte. Denken wir uns vierkantige Stücke der Stämme in ihrer Verwendung als Pfosten oder Säulen, und so gestaltet, dass das Verhältniss der Querschnittsseite zur Länge jedesmal das gleiche ist, so sind die Lasten, welche sie tragen können, proportional der Druckfestigkeit und proportional den Quadraten der Querschnittsseiten.

Nehmen wir als mittlere Druckfestigkeit der Stämme der drei ersten Standorte (Sommer- und Winterfällung) 280<sup>at</sup> und als die der Schlierseeer Stämme 193<sup>at</sup>, so verhalten sich beide wie 1 : 0,69. Die mittleren Querschnittsseiten zu 18 und 28 cm angenommen, wie vorhin bei der Bieg-

ungsfestigkeit, gibt als Verhältniss der Quadrate derselben 1 : 2,42. Die Lasten also, welche vierkantige Säulen aus jenen Stämmen tragen können, verhalten sich wie 1 : 1,67 und dabei können die Säulen aus Schlierseeer Stämmen noch im Verhältniss von 18 : 28 oder 1 : 1,55 höher sein, als die aus Stämmen der anderen Standorte.

#### d) Abscheerungsversuche (Tabelle V).

Die einzelnen Zahlen für die Schubfestigkeit zeigen hier wieder ziemlich viele und manchmal recht bedeutende Abweichungen, wie es bei dem Umstande, dass es sich dabei wieder um verhältnissmässig kleinere, willkürlich bestimmte Flächen im Innern handelt, nicht anders zu erwarten war. Doch geht, in Uebereinstimmung mit den bei den Zug- und Druckversuchen erhaltenen Resultaten, auch aus ihnen hervor, dass die Schubfestigkeit unabhängig von der Breite der Jahrringe, und dass sie im Kern am kleinsten ist und von da aus wächst bis zur Peripherie hin. Sehr häufig ist sie aber nächst dem Splint wieder kleiner, als zwischen Kern und diesem.

Um über die Masse der in Tabelle V enthaltenen Zahlen eine etwas bessere Uebersicht zu erhalten, wurden für jedes Trumm folgende Mittelzahlen gezogen:

1) Das arithmetische Mittel aus den Zahlen für die je drei, in Fig. 9 Blatt I mit 1, 2, 3 bezeichneten Schnitte, die vom Kern aus nach den vier Himmelsgegenden N, O, S, W gemacht wurden. Ich nenne dieses Mittel die „mittlere Schubfestigkeit im Radius“.

2) Für die beiden Schnitte 1 und 2, welche innerhalb des quadratischen Querschnittes des Balkens treffen, der aus dem Trumm geschnitten werden konnte, wurden dann die Mittel in Berücksichtigung der Querschnittsflächen der dreieckigen, bzw. trapezförmigen Stücke berechnet, an denen sie gemacht wurden, indem man die Schubfestigkeit für Schnitt 2 mit 3 multiplicirte, zum Produkte die Schubfestigkeit in Schnitt 1 addirte und die Summe durch 4 dividirte. Ich nenne diese Mittelzahl die „mittlere Schubfestigkeit in den, vom Kern aus nach den 4 Himmelsgegenden gelegenen Dreiecksflächen“.

Weder an jenen, noch an diesen Mittelzahlen lässt sich ein Einfluss der Himmelsrichtung auf die Schubfestigkeit erkennen.

Deshalb konnten aus diesen Mittelzahlen je wieder die arithmetischen Mittel gezogen werden, welche als „mittlere Schubfestigkeit im Durchmesser“ und als „mittlere Schubfestigkeit im ganzen quadratischen Querschnitt des Balkens“ bezeichnet wurden.

An diesen Mittelzahlen lässt sich nirgends ein entschiedener Einfluss der Höhenlage im Stamme erkennen.

Deshalb wurden am Fusse der ganzen Tabelle die arithmetischen Mittel dieser Mittelzahlen für die 4 Trumme der je zwei Stämme eingeschrieben, welche im Sommer und

bezw. Winter auf jedem der 4 Standorte gefällt worden waren. Wir berücksichtigen von diesen Mitteln nur die letzten, in der untersten Horizontalreihe stehenden, des Zusammenhanges wegen, in dem sie, den obigen Erläuterungen zufolge, mit der Druckfestigkeit stehen und reduciren sie mittelst der auf S. 15 angeführten Formel 7) auf die Lufttrockene, wobei wir für die im Winter gefällten Stämme, bei welchen keine Trockenproben von den zur Abscheerung benützten Stücke genommen worden sind, Feuchtigkeitsgehalte annehmen, die wir nach Analogie der im Sommer gefällten Bäume aus den am Fusse der Tabelle II stehenden Zahlen erschliessen, was zulässig erscheint, weil beidesmal, für die im Winter, sowie für die im Sommer gefällten Stämme, die Abscheerungsversuche unmittelbar nach den Biegungsversuchen angestellt worden sind. Jene interpolirten Feuchtigkeitsgehalte sind für

Lichtenhof:	36 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Frankenhofen:	35 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Regenhütte:	34 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Schliersee:	29 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

und mit ihnen, sowie mit den für die Sommerfällungen in Tabelle V bereits angegebenen Mittelzahlen des Feuchtigkeitsgehaltes berechnen sich die mittleren Schubfestigkeiten für den lufttrockenen Zustand wie folgt:

Standort	Fällzeit:	
	Sommer	Winter
Lichtenhof:	74 at	108 at
Frankenhofen:	90 „	107 „
Regenhütte:	84 „	99 „
Schliersee:	54 „	68 „

Aus der Vergleichung dieser Zahlen ergibt sich, in ziemlicher Uebereinstimmung mit den bei der Druckfestigkeit gefundenen Sätzen:

1) Die Schubfestigkeit des Holzes längs der Faser von den drei Standorten Lichtenhof, Frankenhofen und Regenhütte ist nahezu die gleiche, die des Schlierseer Holzes aber wesentlich geringer.

2) Die Schubfestigkeit des im Winter gefällten Holzes ist grösser, als diejenige der Stämme, welche im Sommer geschlagen wurden; und zwar verhalten sich beide Festigkeiten in

Lichtenhof	wie 1 : 1,46,
Frankenhofen	„ 1 : 1,18,
Regenhütte	„ 1 : 1,18,
Schliersee	„ 1 : 1,26,
im Mittel wie 1 : 1,27.	

### Schlussbemerkung.

Aus den Ergebnissen im vorstehenden Abschnitt glaube ich den Schluss ziehen zu dürfen, dass bei solchen Untersuchungen, bei denen es sich um die Durchschnitts-Qualität eines Stammes handelt, wie bei den Fragen über den Einfluss des Standortes, der Fällzeit etc. etc., Druckversuche, angestellt in der Weise, wie es in vorstehender Arbeit geschehen ist, also an prismatischen Stücken von ca. 15 cm Länge und 8—10 cm Querschnittsseite, am sichersten zum Ziele führen. Ich würde vorschlagen, diese Stücke Platten von 15 cm Dicke zu entnehmen, welche an drei Stellen des Stammes: in Brusthöhe, in der Mitte und am Zopfende derselben abgeschnitten und, zur Verhütung des Reissens, sofort durch zwei senkrecht auf einanderstehende, durch die Mitte gehende Schnitte in 4 Sektoren zerlegt werden. Solche Probestücke sind leicht und mit geringen Kosten zu beschaffen und es dürfte sich die hier vorgeschlagene Methode auch aus diesem Grunde für fernere Untersuchungen über die Qualität der Nutzhölzer empfehlen.

Für die beiden Hauptfragen, deren Beantwortung der eigentliche Zweck der vorliegenden Arbeit war, scheint folgendes Resultat aus den angestellten Untersuchungen wenigstens als erste Annäherung geschlossen werden zu dürfen:

1) Fichten- oder Kiefern-Stämme, welche bei gleichem Alter ungefähr gleichen Durchmesser haben, die also ungefähr gleichschnell gewachsen sind, haben, unabhängig vom Standorte, die gleichen mechanischen Eigenschaften bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt. Stämme, welche bei gleichem Alter grösseren Durchmesser, also breitere Jahrringe haben, schneller gewachsen sind, haben eine geringere Festigkeit, als langsamer gewachsene.

2) Fichten- oder Kiefernstämme, welche im Winter gefällt wurden, haben, zwei bis drei Monate nach ihrer Fällung geprüft, unter sonst gleichen Umständen eine um ca. 25 Procent grössere Festigkeit, als solche, die im Sommer geschlagen werden.

Welchen Einfluss Standort und Fällzeit auf die Dauer des Holzes haben, soll später an denjenigen Hälften der hier untersuchten 32 Balken, welche nach dem Abbrechen bei den Biegungsversuchen in's Freie gelegt wurden (s. S. 3), ermittelt werden. Hiefür müssen aber die Stücke erst noch längere Zeit, im Ganzen doch wenigstens zwei Jahre, den Einwirkungen der Zeit und des Wetters ausgesetzt werden.

München, im Juni 1883.

J. B.

**Tabelle I.**  
**Standorts- und Bestands-Beschreibung der Versuchs-Stämme.**

I) Standorts-Beschreibung. A. Lage: 1) Allgemeine Lage:	Lichtenhof, k. b. Forstrevier, Forstamt Laurensi, Distrikt XXXV, Langwasser, Abth. 4 Zollhausbrunnen, lit. d.	Frankenhofen, k. b. Forstrevier, Forstamt Zwiesel, Abth. 86, Dachshütte.	Regenhütte, k. b. Forstrevier, Forstamt Zwiesel, Distrikt XIII, Gespet, Abth. 86, Dachshütte.	Schliersee, k. b. Forstrevier, Forstamt Tegernsee, Distrikt XVII, Schliehenth., Abth. 1 b, Geschwendbach m. 28, 280 ha.
a) Geogr. Länge u. Breite: b) Höhe über der Meeresfläche: 2) Besondere Lage: a) Nachbarl. Umgebung: b) Boden-Ausformung: B. Boden:	28° 49' östl. Länge, 49° 24' nördl. Breite. 385 m. Der Standort d. gefällten Stämme ist ziemlich geschützt, obwohl die ganze Abthlg. gegen Ost. u. West. sich an junge Schläge anreicht. Der Standort gehört noch der Ebene an, von ihm aus aber fällt der Bestand nördöstlich lehn ab. Gehört im Allg. der Keuperformation an, eine reine Humusschichte war nicht anzusprechen, dagegen ist die obere Nährschicht bis 0,15 m noch sichtlich durch Humus gefärbt. Der weitere Wurzelraum bis 0,36 m besteht aus gelbem, nahezu frischen, thonhaltigen milden Sand, der nach und nach in gröberem Quarzsand übergeht und auf einer Schichte von 0,50 m gelbem und grünlich grauem Thonmergel mit Eisen-oxyd lagert. Quarzsandstein als Unterlage.	650 m. Molassenformation, Nagelfluh mit einer 0,2—0,5 m hohen Lehmlage überdeckt.	30° 56' östl. Länge, 49° 3' nördl. Breite. 680 m. Ringsum geschlossene Bestände, von Tannen, Fichten und Buchen umgeben und dadurch geschützt. Die Himmelslage des Standortes süd-süd-westlich; die Boden-neigung da, wo die Stämme stehen, sanft abhängig, der übrige, besonders der nördl. Theil der Unterabth. lehn abhängig. Bis 0,07 m unter der Oberfläche reine Humusschichte, dann eine 0,26 m tiefe humusgefärbte obere Nährschicht; von da bis 0,80 m unter der Oberfläche noch Wurzelraum mit einzelnen, durch Wurzelersetzungen dunkel gefärbten Adern; dann weiter, bis 2,00 m unter der Oberfläche, lehmiger Sand. Das Grundgestein ist Gneiss, durchlagert mit Waldlagergranit, letzterer mit vorwiegendem Gehalt an Feldspath. Der Boden ist durchgehend lehmiger Sandboden. Gneisschichten und Granitblöcke treten theils zu Tage, theils durchziehen dieselben den Boden, jedoch nur in geringerer Menge. Der Wurzelraum ist im Allgemeinen steinfrei. Der Boden ist sehr tiefgründig, über 1,50 m, mild (mürb-) frisch, gelblich braun.	29° 29' östl. Länge, 47° 44' nördl. Breite. 1030 m; Mittelgebirge, alpines Vorgebirge. Ringsum von geschloss. Fichten- u. Tannenbeständen umgeben und dadurch geschützt. Der Standort der Bäume, ein östl. Gehänge, ist steil; d. übrige Theil des Bestandes lehn abhängig. Grundgestein des Bodens ist Flyschsandstein, mässige Humusdecke.
II) Bestandsbeschreibung:	100 jährige Föhren; der Bestand war, bevor er der Vorhege zufiel, was vom Jahre 1871 an der Fall ist, der Streunutzung erschlossen.	Den Boden bedeckt eine 6—10 cm hohe Moosdecke. Fichten.	0,5 Tannen, 0,3 Fichten, 0,2 Buchen. Hochwald im 144 jährigen Umtrieb. Der Bestand ist augenscheinlich durch natürliche Besamung entstanden. Da die Abth. günstig zur Abfuhr gelegen ist, wurde dieselbe sicher häufig zur Deckung der Reichtholz-Bezüge durchplentert und erklärt sich dadurch die Ungleichaltrigkeit derselben. Die meisten Stockabschnitte zeigen, dass die Stämme in der Jugend lange Zeit, oft 80—100 Jahre, im Druck gestanden sind. Einzelne Tannen- und Fichten-Unterständler haben bei 5—6 cm Stockdurchmesser dieses Alter. Je nach erfolgter Freistellung begann die Entwicklung der Stämme. Durchforstungen wurden im Bestande nie geführt. Alter: 90—190 Jahre; Bestandsstellung: räumlich; Bestandsbeschaffenheit: wüchsig und geradschaftig. ca. 430 Stämme durchschnittl. per Hektare oder ca. 780 Festmeter.	7/10 Fichten, 2/10 Tannen, 1/10 Buchen. Hochwald im 144 jährigen Umtrieb. Ohne Zweifel durch natürliche Besamung entstanden, nach vorausgegangenem Kahlliebe. Im Jahre 1870 fand eine Durchforstung statt. Alter: 98 jährig; Schuss und Wuchs im Allgemeinen gut. Die durchschnittliche Baumlänge mag 24 m betragen.
Fäll- und Versandtzeit, Witterung: Für die Stämme 1 u. 2. Für die Stämme 3 u. 4.	Am 26. Aug. 1881 gefällt und entrindet, am 3. Sept. versandt. Witterung fast durchweg regnerisch u. trübe. Am 8. Jan. 1882 gefällt u. entrindet, am 12. versandt; Witterung trocken b. ganz geringe Kälte u. fast ganz unbewölkt. Himmel.	Am 26. Aug. 1881 gefällt und entrindet, am 3. Sept. versandt. Witterung fast durchweg regnerisch u. trübe. Am 8. Jan. 1882 gefällt u. entrindet, am 12. versandt; Witterung trocken b. ganz geringe Kälte u. fast ganz unbewölkt. Himmel.	Am 3. Aug. 1881 gefällt und entrindet, am 5. versandt. Fortwährend warmes und heiteres Wetter. Am 27. Dec. 1881 nach einigen kalten Tagen gefällt und entrindet, am 28. versandt. Trockenes und heiteres Winterwetter.	Am 3. Aug. 1881 gefällt und entrindet, am 5. versandt; Witterung heiter und warm. Am 30. Dec. 1881 versandt.

**Tabelle II.**  
**Biegungs-Versuche.**

angestellt mit 3 m langen Stücken von grösstmöglichstem, aus dem Stamm zu erhaltenden quadratischen Querschnitt, auf 2,5 m Spannweite frei anliegend, durch eine in der Mitte concentrirte Kraft durchgebogen und durchgebrochen.

Fällzeit	Sommer				Winter			
	Lichtenhof	Frankenhofen	Regenhütte	Schliersee	Lichtenhof	Frankenhofen	Regenhütte	Schliersee
Standort	Stamm 1, oberes Trumm, von Süd-Nord gebogen				Stamm 3, oberes Trumm, von Süd-Nord gebogen			
Alter, Zahl der Jahrringe . . .	100	75	96	84	102	75	98	82
Mittlerer Radius des Trummes <i>cm</i>	13,4	13,2	14,5	19,0	13,3	12,7	12,9	23,9
Querschnitt des Balkens: <i>b × h cm</i>	17,01 × 17,30	17,08 × 17,18	19,19 × 19,41	25,84 × 26,00	16,71 × 17,04	17,96 × 17,62	16,20 × 16,24	27,88 × 32,16
Elasticitäts-Modul . . . . . <i>at</i>	100000	120000	111000	71500	100000	104000	104000	72000
Elasticitäts-Grenze . . . . . <i>at</i>	140	261	206	142	263	230	210	142
Kraft zum Abbrechen . . . . . <i>kg</i>	5700	6000	8200	13500	6200	6200	5000	19800
Biegungsfestigkeit . . . . . <i>at</i>	422	448	423	283	479	419	438	256
Biegungsarbeit bis zum Bruch <i>kgm</i>	340	98	522	309	607	295	227	330
Dies. für die Normaldimensionen 20 × 20 <i>cm</i> . . . . . <i>kgm</i>	462	134	560	184	853	373	345	147
Spez. Gewicht bei der Prüfung .	0,506	0,556	0,585	0,391	0,694	0,509	0,478	0,433
Feuchtigkeits-Gehalt in Proc. des Holzgewichts bei der Prüfung	24	29	39	25	33	31	27	26
Spezifisches Gewicht bei Luft- trockene $\varphi = 10\%$ , $\psi = 12\%$ .	0,45	0,47	0,45	0,35	0,57	0,43	0,42	0,38
	Stamm 1, unteres Trumm, von Süd-Nord gebogen				Stamm 3, unteres Trumm, von Süd-Nord gebogen			
Alter, Zahl der Jahrringe . . .	100	75	96	84	102	75	98	82
Mittlerer Radius des Trummes <i>cm</i>	14,5	15,5	15,7	20,4	14,4	13,7	14,0	25,2
Querschnitt des Balkens: <i>b × h cm</i>	18,26 × 18,21	18,58 × 18,41	20,35 × 20,50	26,04 × 26,26	15,83 × 16,01	18,25 × 18,51	17,84 × 17,99	27,50 × 33,49
Elasticitäts-Modul . . . . . <i>at</i>	108000	116000	112000	67500	117000	01000	108000	69000
Elasticitäts-Grenze . . . . . <i>at</i>	204	235	212	130	230	249	232	132
Kraft zum Abbrechen . . . . . <i>kg</i>	7600	7600	8700	13000	5800	7000	6900	22000
Biegungsfestigkeit . . . . . <i>at</i>	470	446	385	270	535	415	445	264
Biegungsarbeit bis zum Bruch <i>kgm</i>	376	377	454	461	505	322	344	598
Dies. für die Normaldimensionen 20 × 20 <i>cm</i> . . . . . <i>kgm</i>	452	441	435	270	797	381	429	260
Spez. Gewicht bei der Prüfung .	0,575	0,573	0,557	0,387	0,709	0,485	0,502	0,434
Feuchtigkeits-Gehalt in Proc. des Holzgewichts bei der Prüfung	23	35	34	24	33	28	29	25
Spezifisches Gewicht bei Luft- trockene . . . . .	0,52	0,46	0,45	0,35	0,58	0,42	0,43	0,39
	Stamm 2, oberes Trumm, von Nord-Süd gebogen				Stamm 4, oberes Trumm, von Nord-Süd gebogen			
Alter, Zahl der Jahrringe . . .	90	84	112	85	102	100	107	80
Mittlerer Radius des Trummes <i>cm</i>	13,1	14,4	15,1	19,4	13,5	12,3	12,5	20,5
Querschnitt des Balkens: <i>b × h cm</i>	16,93 × 17,06	19,73 × 19,82	20,01 × 19,88	26,42 × 26,42	18,26 × 18,64	16,89 × 17,00	16,92 × 17,24	28,42 × 28,53
Elasticitäts-Modul . . . . . <i>at</i>	108000	103000	115000	78000	92000	131000	115000	68000
Elasticitäts-Grenze . . . . . <i>at</i>	214	215	224	161	191	276	252	124
Kraft zum Abbrechen . . . . . <i>kg</i>	6200	6000	9300	15000	6300	6400	6100	16200
Biegungsfestigkeit . . . . . <i>at</i>	474	401	434	301	376	490	453	258
Biegungsarbeit bis zum Bruch <i>kgm</i>	444	231	548	552	326	189	253	437
Dies. für die Normaldimensionen 20 × 20 <i>cm</i> . . . . . <i>kgm</i>	617	273	551	316	383	263	347	216
Spez. Gewicht bei der Prüfung .	0,533	0,491	0,572	0,393	0,598	0,528	0,514	0,417
Feuchtigkeits-Gehalt in Proc. des Holzgewichts bei der Prüfung	19	25	30	21	31	24	30	28
Spezifisches Gewicht bei Luft- trockene . . . . .	0,50	0,44	0,48	0,36	0,55	0,47	0,43	0,36
	Stamm 2, unteres Trumm, von Nord-Süd gebogen				Stamm 4, unteres Trumm, von Nord-Süd gebogen			
Alter, Zahl der Jahrringe . . .	90	84	112	85	102	100	107	80
Mittlerer Radius des Trummes <i>cm</i>	14,0	16,5	16,4	20,8	14,7	13,7	13,5	21,9
Querschnitt des Balkens: <i>b × h cm</i>	17,93 × 18,22	20,56 × 20,56	21,24 × 20,97	27,21 × 27,10	20,82 × 20,74	16,86 × 16,94	19,43 × 19,45	28,22 × 28,19
Elasticitäts-Modul . . . . . <i>at</i>	117000	101000	121000	76000	104000	128000	115000	69000
Elasticitäts-Grenze . . . . . <i>at</i>	246	203	223	153	197	294	213	132
Kraft zum Abbrechen . . . . . <i>kg</i>	8300	9000	10800	16500	10100	6200	8800	15250
Biegungsfestigkeit . . . . . <i>at</i>	524	380	423	301	415	479	447	251
Biegungsarbeit bis zum Bruch <i>kgm</i>	507	239	587	629	704	132	397	365
Dies. für die Normaldimensionen 20 × 20 <i>cm</i> . . . . . <i>kgm</i>	617	226	526	341	652	185	420	184
Spez. Gewicht bei der Prüfung .	0,595	0,505	0,575	0,401	0,678	0,523	0,588	0,397
Feuchtigkeits-Gehalt in Proc. des Holzgewichts bei der Prüfung	25	26	32	24	34	24	38	20
Spezifisches Gewicht bei Luft- trockene . . . . .	0,53	0,44	0,475	0,36	0,55	0,47	0,45	0,37
Mittelwerthe	108000	110000	115000	73000	103000	116000	110000	69000
Elasticitäts-Modul . . . . . <i>at</i>	201	228	216	146	220	262	227	132
Elasticitäts-Grenze . . . . . <i>at</i>	472	419	416	295	451	451	446	257
Biegungsfestigkeit . . . . . <i>at</i>	0,50	0,45	0,46	0,355	0,55	0,45	0,43	0,375
Spez. Gewicht bei Lufttrockene	23	29	34	23,5	33	27	31	25
Feuchtigkeitsgeh. in Proc. des Holzgewichts . . . . .								



**Tabelle IV.**  
**Druck-Versuche,**  
angestellt mit Probestücken von ca. 9 X 9 cm Querschnitt und 15 cm Länge.

Fällzeit	Sommer												Winter														
	Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee			Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee					
	Stamm 1, oberes Trumm												Stamm 3, oberes Trumm														
Probestücke entnommen aus der oberen Hälfte von:	100 Kern 13,4			75 Kern 13,2			96 Kern 14,5			84 Kern 19,0			102 Kern 13,3			75 Kern 12,7			98 Kern 12,9			82 Kern 23,9					
Alter, Zahl der Jahrringe	100			75			96			84			102			75			98			82					
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	13,4			13,2			14,5			19,0			13,3			12,7			12,9			23,9					
Ort der Entnahme d. Probestückes:	N.W. Ecke			S.O. Ecke			N.W. Ecke			S.O. Ecke			N.W. Ecke			S.O. Ecke			N.W. Ecke			S.O. Ecke					
Elastizitäts-Modul . . . . . at	101000			94000			123000			104000			131000			103000			86000			53000			62000		
Elastizitäts-Grenze . . . . . at	146			106			168			148			182			126			114			102			53		
Druckfestigkeit . . . . . at	252			215			261			289			253			281			220			156			138		
Feuchtigkeitsgehalt, b. d. Prüfung %	17			17			20			18			30			20			37			22			25		
Spez. Gewicht bei der Prüfung	0,475			0,47			0,50			0,51			0,55			0,51			0,56			0,41			0,36		
Spez. Gewicht bei Luftrockene .	0,455			0,45			0,465			0,49			0,44			0,49			0,44			0,33			0,33		
Probestücke entnommen aus der unteren Hälfte von:	Stamm 1, unteres Trumm												Stamm 3, unteres Trumm														
Alter, Zahl der Jahrringe	100 Kern 14,5			75 Kern 15,5			96 Kern 15,7			84 Kern 20,4			102 Kern 14,4			75 Kern 13,7			98 Kern 14,0			82 Kern 25,2					
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	14,5			15,5			15,7			20,4			14,4			13,7			14,0			25,2					
Ort der Entnahme d. Probestückes:	N.W. Ecke			S.O. Ecke			N.W. Ecke			S.O. Ecke			N.W. Ecke			S.O. Ecke			N.W. Ecke			S.O. Ecke					
Elastizitäts-Modul . . . . . at	113000			87000			116000			120000			112000			71000			95000			50000			48000		
Elastizitäts-Grenze . . . . . at	205			153			180			204			142			101			97			124			105		
Druckfestigkeit . . . . . at	299			213			303			275			208			195			217			149			136		
Feuchtigkeitsgehalt, b. d. Prüfung %	20			19			31			22			21			21			21			18			25		
Spez. Gewicht bei der Prüfung	0,56			0,51			—			0,52			0,45			0,53			0,44			0,34			0,34		
Spez. Gewicht bei Luftrockene .	0,53			0,49			—			0,475			0,415			0,485			0,41			0,40			0,38		
Probestücke entnommen aus der oberen Hälfte von:	Stamm 2, oberes Trumm												Stamm 4, oberes Trumm														
Alter, Zahl der Jahrringe	90 Kern 13,1			84 Kern 14,4			112 Kern 15,1			85 Kern 19,4			102 Kern 13,5			100 Kern 12,3			107 Kern 12,5			80 Kern 20,5					
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	13,1			14,4			15,1			19,4			13,5			12,3			12,5			20,5					
Ort der Entnahme d. Probestückes:	N.O. Ecke			S.W. Ecke			N.O. Ecke			S.W. Ecke			N.O. Ecke			S.W. Ecke			N.O. Ecke			S.W. Ecke					
Elastizitäts-Modul . . . . . at	82000			72000			111000			105000			147000			139000			105000			86000			71000		
Elastizitäts-Grenze . . . . . at	145			143			160			155			126			173			124			130			54		
Druckfestigkeit . . . . . at	244			235			291			249			198			234			253			194			161		
Feuchtigkeitsgehalt, b. d. Prüfung %	17			16			17			19			18			21			20			15			24		
Spez. Gewicht bei der Prüfung	0,49			0,46			0,505			0,47			0,42			0,43			0,57			0,37			0,38		
Spez. Gewicht bei Luftrockene .	0,47			0,44			0,485			0,445			0,40			0,41			0,48			0,50			0,34		
Probestücke entnommen aus der unteren Hälfte von:	Stamm 2, unteres Trumm												Stamm 4, unteres Trumm														
Alter, Zahl der Jahrringe	90 Kern 14,0			84 Kern 16,5			112 Kern 16,4			85 Kern 20,8			102 Kern 14,7			100 Kern 13,7			107 Kern 13,5			80 Kern 21,9					
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	14,0			16,5			16,4			20,8			14,7			13,7			13,5			21,9					
Ort der Entnahme d. Probestückes:	N.O. Ecke			S.W. Ecke			N.O. Ecke			S.W. Ecke			N.O. Ecke			S.W. Ecke			N.O. Ecke			S.W. Ecke					
Elastizitäts-Modul . . . . . at	110000			80000			136000			68000			71000			107000			92500			111000			107000		
Elastizitäts-Grenze . . . . . at	205			148			176			125			114			148			114			134			169		
Druckfestigkeit . . . . . at	314			252			333			218			177			214			240			221			259		
Feuchtigkeitsgehalt, b. d. Prüfung %	21			13			19			16			20			20			21			22			33		
Spez. Gewicht bei der Prüfung	0,60			0,46			0,64			0,44			0,39			0,45			0,51			0,47			0,60		
Spez. Gewicht bei Luftrockene .	0,56			0,45			0,60			0,42			0,37			0,42			0,47			0,43			0,49		
Mittlere Druckfestigkeiten . . . at	277			229			279			258			209			248			236			214			237		
Druckfest.- u. Feuchtigkeitsgeh. im Mittel für d. ganzen Querschnitt	281 (19%)			246 (20%)			234 (27%)			162 (20%)			319 (26%)			313 (17%)			281 (20%)			225 (19%)					
Mittlere Druckfestigkeit für 10% Feucht. (Luftrockene) . . . at	373			335			379			222			504			393			383			298					

Anmerkung. Bei den mit Sternchen (\*) bezeichneten Zahlen für die Druckfestigkeit wurde letztere durch kleine Aeste etwas beeinflusst.



Tabelle V. Fortsetzung.

Fällzeit	Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee		
	N.	O.	W.									
Standort	Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee		
Probestücke entnommen aus der oberen Hälfte von:	Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee		
Alter, Zahl der Jahrringe	102	75	98	102	75	98	102	75	98	102	75	98
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	13,3	12,7	12,9	13,3	12,7	12,9	13,3	12,7	12,9	13,3	12,7	12,9
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der Scheibe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schnitt, geführt:	vom Kern aus nach											
Nummer desselben	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Anzahl d. durchschnitt. Jahrringe	24	52	18	13	31	50	14	29	55	19	44	25
Mittlere Breite derselben <i>mm</i>	2,0	0,8	0,8	3,2	1,4	1,1	2,2	0,9	0,9	3,2	2,2	1,1
Schubfestigkeit <i>at</i>	45	51	43	39	60	55	45	59	51	39	53	46
Mittl. Schubfestigkeit im Radius <i>at</i>	46	51	52	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Mittl. Schubfestigkeit in der Dreiecksfläche <i>at</i>	49	55	55	49	45	45	49	45	45	49	45	49
Mittl. Schubfestigkeit im Durchmessermesser <i>at</i>	49	47	48	49	47	48	49	47	48	49	47	48
Mittl. Schubfestigkeit im ganzen Quadrat <i>at</i>	52	46	46	52	46	46	52	46	46	52	46	46

Probestücke entnommen aus der unteren Hälfte von:	Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee		
	N.	O.	W.									
Alter, Zahl der Jahrringe	102	75	98	102	75	98	102	75	98	102	75	98
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	14,4	13,7	14,0	14,4	13,7	14,0	14,4	13,7	14,0	14,4	13,7	14,0
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der Scheibe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schnitt, geführt:	vom Kern aus nach											
Nummer desselben	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Anzahl d. durchschnitt. Jahrringe	10	37	48	7	17	20	20	29	18	16	34	11
Mittlere Breite derselben <i>mm</i>	3,4	0,9	0,9	3,8	1,4	1,1	2,3	1,8	1,3	1,6	0,9	0,8
Schubfestigkeit <i>at</i>	40	55	39	68	56	38	65	60	47	49	90	36
Mittl. Schubfestigkeit im Radius <i>at</i>	45	53	54	48	47	47	46	46	45	45	45	45
Mittl. Schubfestigkeit in der Dreiecksfläche <i>at</i>	40	50	58	48	48	48	49	49	49	49	49	49
Mittl. Schubfestigkeit im Durchmessermesser <i>at</i>	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Mittl. Schubfestigkeit im ganzen Quadrat <i>at</i>	50	47	49	50	47	49	50	47	49	50	47	49

Probestücke entnommen aus der oberen Hälfte von:	Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee		
	N.	O.	W.									
Alter, Zahl der Jahrringe	102	100	107	102	100	107	102	100	107	102	100	107
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	13,5	12,3	12,5	13,5	12,3	12,5	13,5	12,3	12,5	13,5	12,3	12,5
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der Scheibe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schnitt, geführt:	vom Kern aus nach											
Nummer desselben	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Anzahl d. durchschnitt. Jahrringe	10	23	44	13	23	61	13	25	56	12	32	56
Mittlere Breite derselben <i>mm</i>	4,5	1,6	0,6	3,3	1,6	1,3	3,7	1,6	0,7	4,0	1,3	0,6
Schubfestigkeit <i>at</i>	44	52	55	37	54	46	42	62	44	43	53	44
Mittl. Schubfestigkeit im Radius <i>at</i>	50	46	49	49	47	47	49	47	47	49	47	47
Mittl. Schubfestigkeit in der Dreiecksfläche <i>at</i>	50	50	57	50	50	62	54	54	54	54	54	54
Mittl. Schubfestigkeit im Durchmessermesser <i>at</i>	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Mittl. Schubfestigkeit im ganzen Quadrat <i>at</i>	52	58	58	52	58	58	52	58	58	52	58	58

Probestücke entnommen aus der unteren Hälfte von:	Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee		
	N.	O.	W.									
Alter, Zahl der Jahrringe	102	100	107	102	100	107	102	100	107	102	100	107
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	14,7	13,7	13,5	14,7	13,7	13,5	14,7	13,7	13,5	14,7	13,7	13,5
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der Scheibe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schnitt, geführt:	vom Kern aus nach											
Nummer desselben	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Anzahl d. durchschnitt. Jahrringe	10	25	62	12	32	55	15	38	44	13	26	57
Mittlere Breite derselben <i>mm</i>	4,9	1,7	0,7	4,2	1,5	0,8	3,9	1,4	0,8	4,2	1,7	0,9
Schubfestigkeit <i>at</i>	42	53	51	45	47	49	43	55	49	42	57	47
Mittl. Schubfestigkeit im Radius <i>at</i>	49	47	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Mittl. Schubfestigkeit in der Dreiecksfläche <i>at</i>	50	46	46	52	52	53	52	52	53	52	53	53
Mittl. Schubfestigkeit im Durchmessermesser <i>at</i>	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Mittl. Schubfestigkeit im ganzen Quadrat <i>at</i>	49	50	53	49	50	53	49	50	53	49	50	53

Probestücke entnommen aus der unteren Hälfte von:	Lichtenhof			Frankenhofen			Regenhütte			Schliersee		
	N.	O.	W.									
Alter, Zahl der Jahrringe	102	100	107	102	100	107	102	100	107	102	100	107
Mittlerer Radius des Trummens <i>cm</i>	14,7	13,7	13,5	14,7	13,7	13,5	14,7	13,7	13,5	14,7	13,7	13,5
Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der Scheibe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schnitt, geführt:	vom Kern aus nach											
Nummer desselben	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Anzahl d. durchschnitt. Jahrringe	10	25	62	12	32	55	15	38	44	13	26	57
Mittlere Breite derselben <i>mm</i>	4,9	1,7	0,7	4,2	1,5	0,8	3,9	1,4	0,8	4,2	1,7	0,9
Schubfestigkeit <i>at</i>	42	53	51	45	47	49	43	55	49	42	57	47
Mittl. Schubfestigkeit im Radius <i>at</i>	49	47	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Mittl. Schubfestigkeit in der Dreiecksfläche <i>at</i>	50	46	46	52	52	53	52	52	53	52	53	53
Mittl. Schubfestigkeit im Durchmessermesser <i>at</i>	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Mittl. Schubfestigkeit im ganzen Quadrat <i>at</i>	49	50	53	49	50	53	49	50	53	49	50	53

1) Sprünge; 2) Ast in der Nähe; 3) sehr nass; 4) sehr nass; 5) astig; 6) sehr nass.

**Tabelle VI.**  
**Feuchtigkeits-Gehalt und Dichtigkeit von Probestücken aus dem Stamme A.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
Bezeichnung der Probe-Stücke	Trocken-Stufe	Dimensionen			Volumen	Absolutes Gew.	Spec. Gew. $\delta$	Feucht. in Procenten des Holzg. $\varphi$	Feucht. in Procenten des Trockengew. $\psi$	$\gamma$ aus Wertheim's Formel $\gamma = \frac{\delta_1 - \delta}{\delta_1(\varphi_1 - \varphi)}$	Mittelwerthe für $\gamma$	$\delta_0$ für $\psi_0 = 12\%$	$\gamma'$ aus der Formel $\gamma' = \frac{\delta - \delta_0}{\delta_0(\psi - \psi_0)}$	Mittelwerthe für $\gamma'$	$\delta_0$ für $\psi_0 = 12\%$ und $\gamma' = 0,006$ aus Trock.-Stufe II					
		tang. cm	radial cm	längs cm																
8a	I	7,90	1,97	9,81	152,6	144,2	0,945	50,0	99,9	—	0,0108	0,55	0,0082	0,0080	0,56					
	II	7,77	1,95	9,80	148,4	87,05	0,587	17,1	20,6	0,0115										
	III	7,71	1,95	9,76	146,7	81,25	0,554	11,2	12,5	0,0107										
	IV	7,68	1,93	9,76	144,6	80,2	0,555	10,0	11,1	0,0103										
8a'	I	15,73	3,00	9,84	464	411,1	0,886	54,2	118,2	—	0,0115	0,49	0,0074	0,0072	0,50					
	II	15,63	2,98	9,80	456	277,6	0,609	32,1	47,3	0,0141										
	III	15,07	2,91	9,83	431	211,4	0,490	10,9	12,2	0,0103										
	IV	14,94	2,90	9,83	427	207,5	0,486	9,2	10,1	0,0100										
8b)	I	19,28	3,42	9,80	646	422,2	0,654	39,8	66,0	—	0,0098	0,48	0,0067	0,0052	0,47					
	II	18,95	3,40	9,80	631	317,1	0,502	19,8	24,7	0,0116										
	III	18,24	3,32	9,80	593	284,3	0,480	10,5	11,8	0,0091										
	IV	18,20	3,28	9,79	584	280,4	0,480	9,3	10,3	0,0087										
8c)	I	15,09	2,14	9,68	312	196,4	0,629	36,2	56,7	—	0,0091	0,49	0,0064	0,0047	0,48					
	II	14,66	2,12	9,66	300	150,5	0,502	16,8	20,2	0,0104										
	III	14,14	2,07	9,68	284	138,3	0,487	9,5	10,5	0,0085										
	IV	14,15	2,07	9,67	283	137,5	0,486	8,9	9,6	0,0084										
8d)	I	8,43	1,07	10,00	90,2	86,2	0,956	63,6	175,1	—	0,0106	0,43	0,0075	0,0058	0,42					
	II	8,20	1,04	9,99	85,2	38,5	0,450	18,6	23,1	0,0118										
	III	7,85	1,03	10,00	80,8	34,4	0,426	8,9	9,7	0,0101										
	IV	7,80	1,02	9,98	79,4	34,5	0,435	9,1	10,0	0,0100										
8e)	I	6,63	6,64	9,91	436,2	202,8	0,465	23,5	30,8	—	0,0054	0,43	0,0043	0,0045	0,425					
	II	6,50	6,61	9,89	424,9	193,6	0,456	19,9	24,8	0,0054										
	III	6,37	6,50	9,85	407,8	178,8	0,439	13,2	15,3	0,0054										
	IV	6,29	6,48	9,87	402,3	174,1	0,433	10,9	12,2	0,0054										
8f)	I	20,05	4,76	9,78	933	458,2	0,491	24,9	33,2	—	0,0060	0,45	0,0043	0,0045	0,445					
	II	19,86	4,65	9,73	899	429,0	0,477	19,9	24,8	0,0058										
	III	19,42	4,60	9,74	871	391,0	0,449	12,1	13,7	0,0067										
	IV	19,18	4,54	9,74	848	382,1	0,451	10,0	11,1	0,0054										
8g)	I	6,70	5,17	9,90	342,9	164,3	0,479	21,7	27,7	—	0,0040	0,455	0,0034	0,0036	0,445					
	II	6,59	5,15	9,90	335,9	159,7	0,476	19,4	24,1	0,0028										
	III	6,40	5,07	9,90	321,2	148,0	0,461	13,1	15,0	0,0044										
	IV	6,34	5,01	9,90	314,4	143,1	0,455	10,1	11,2	0,0043										
8h)	I	19,34	6,97	9,80	1321	846,7	0,641	40,6	68,4	—	0,0104	0,47	0,0065	0,0058	0,46					
	II	19,21	6,91	9,80	1301	682,8	0,525	26,4	35,8	0,0128										
	III	18,47	6,76	9,80	1224	576,6	0,471	12,8	14,7	0,0096										
	IV	18,27	6,71	9,79	1200	559,9	0,467	10,2	11,3	0,0089										
8i)	I	6,70	6,69	10,02	449,1	200,4	0,446	23,2	30,2	—	0,0074	0,405	0,0056	0,0056	0,40					
	II	6,70	6,60	10,02	443,1	191,8	0,433	19,5	24,6	0,0078										
	III	6,62	6,45	10,03	428,3	178,3	0,416	13,7	15,8	0,0071										
	IV	6,54	6,50	10,02	425,9	172,4	0,405	10,7	12,0	0,0074										
Mittelwerthe:											0,0085	0,465	0,0055	0,46						
1	A-B*)		1 AB		3497	1644,0	0,470	21,6	27,5	—	0,0084	0,43	0,0060	0,0057	0,43					
	I	20,38	20,93	8,20									3451			1545,2	0,448	16,6	19,9	0,0094
	II	20,30	20,78	8,18									—			—	—	—	—	—
	III	—	—	—									—			—	—	—	—	—
IV	19,94	20,38	8,17	3320	1416,9	0,427	9,3	9,9	0,0074											
14	I	20,25	19,89	9,38	3778	2047,1	0,542	23,2	30,2	—	0,0096	0,48	0,0071	0,0066	0,48					
	II	20,15	19,78	9,38	3738	1869,1	0,500	15,9	18,9	0,0106										
	III	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
	IV	19,82	19,50	9,37	3621	1728,0	0,477	9,2	9,9	0,0086										
Mittelwerthe:											0,0090	0,455	0,0061	0,455						
Haupt-Mittel:													0,006	0,455						

\*) s. Fig. 6, Blatt II.

**Tabelle VII.**  
**Versuche mit Probestücken aus dem Stamme A.**

Geprüft auf:	I. Trockenstufe						II. Trockenstufe						III. Trockenstufe						IV. Trockenstufe																				
	Probe-Stück	Elastizitäts-Modul <i>at</i>	Elastizitäts-Grenze <i>at</i>	Festigkeit <i>at</i>	Biegs.-Arbeit für 10 X 10 cm Querschnitt <i>kgm</i>	Spezifisches Gewicht bei der Prüfung	Feuchtigkeit in Prozent. des Holzg.	Spec. Gewicht bei Lufttr. $\psi = 10\%$ $\psi = 12\%$	Probe-Stück	Elastizitäts-Modul <i>at</i>	Elastizitäts-Grenze <i>at</i>	Festigkeit <i>at</i>	Biegs.-Arbeit für 10 X 10 cm Querschnitt <i>kgm</i>	Spezifisches Gewicht bei der Prüfung	Feuchtigkeit in Prozent. des Holzg.	Spec. Gewicht bei Lufttr. $\psi = 10\%$ $\psi = 12\%$	Probe-Stück	Elastizitäts-Modul <i>at</i>	Elastizitäts-Grenze <i>at</i>	Festigkeit <i>at</i>	Biegs.-Arbeit für 10 X 10 cm Querschnitt <i>kgm</i>	Spezifisches Gewicht bei der Prüfung	Feuchtigkeit in Prozent. des Holzg.	Spec. Gewicht bei Lufttr. $\psi = 10\%$ $\psi = 12\%$															
Biegung	5a	76500	85	385	38,2	0,48	19	12a	72000	99	367	31,0	0,475	11	0,47	10a	80000	108	405	36,6	0,455	10	0,455	6a	98000	85	451	19,6	0,445	6a	98000	85	451	19,6	0,445				
	6b	82000	86	386	33,1	0,47	19	3b	91000	167	401	16,8	0,47	9	0,47	12b	91000	115	485	32,6	0,49	10	0,49	10b	101000	93	478	24,7	0,45	10b	101000	93	478	24,7	0,45				
	10c	86000	82	338	13,8	0,58	40	6c	93000	122	457	31,1	0,48	12	0,47	3c	94000	144	439	25,6	0,47	9	0,47	12c	101000	85	539	25,3	0,46	12c	101000	85	539	25,3	0,46				
	12d	72000	82	362	54,0	0,58	37	10d	73000	80	373	30,0	0,525	29	0,45	6d	86000	122	419	59,5	0,47	11	0,47	3d	95000	81	354	25,2	0,47	3d	95000	81	354	25,2	0,47				
Mittelwerthe:				368			29			400				15				437					10					455					5						
Zug	4a	151000	—	800	0,51	0,47	20	15a	167000	—	430	0,51	0,475	13	0,50	9a	142000	284	780	0,50	0,50	10	0,50	7a	162000	—	650	0,50	0,50	7a	162000	—	650	0,50	0,50				
	7b	111000	230	644	0,455	0,44	15	4b	134000	—	880	0,46	0,46	11	0,46	15b	169000	—	700	0,53	0,53	10	0,53	9b	156000	—	1010	0,49	0,49	9b	156000	—	1010	0,49	0,49				
	9c	167000	—	1150	0,515	0,48	18	7c	133000	—	1100	0,49	0,49	11	0,49	4c	156000	263	938	0,46	0,46	10	0,46	15c	—	—	—	—	—	15c	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15d	136000	210	1030	0,54	0,48	25	9d	145000	—	690	0,48	0,48	17	0,46	7d	120000	—	776	0,46	0,46	11	0,46	4d	161000	—	1390	0,50	0,50	4d	161000	—	1390	0,50	0,50				
	4e	58000	—	248	0,43	0,40	20	7e	87000	—	200	0,42	0,42	12	0,41	9e	87000	—	235	0,43	0,43	12	0,42	15e	84000	—	310	0,44	0,44	15e	84000	—	310	0,44	0,44				
Mittelwerthe:				267			27			291			17				362					12,5					360					12,5							
Druck	4f	123000	163	278	0,47	0,45	17	15f	131000	205	316	0,47	0,47	14	0,46	9f	142000	182	372	0,45	0,44	12	0,44	7f	116000	291	431	0,47	0,47	7f	116000	291	431	0,47	0,47				
	7g	93000	170	267	0,47	0,44	18	4g	94000	176	285	0,46	0,46	14	0,45	15g	114000	112	362	0,46	0,45	12	0,45	9g	117000	180	419	—	—	9g	117000	180	419	—	—				
	9h	165000	88	262	0,54	0,415	41	7h	136000	156	304	0,485	0,485	16	0,47	4h	123000	226	380	0,47	0,46	13	0,46	15h	118000	164	337	0,455	0,44	15h	118000	164	337	0,455	0,44				
Mittelwerthe:				267			27			260			23				335					13					354					13							
Abschöerung	2a1			42			19	13a1			55			14	0,47	11a1			55			13	0,455	5a1			58					9							
	2a2			53			22	13a2			51			17	0,47	11a2			77			15	0,49	5a2			81					10							
	2a3			47			31	13a3			51			35	0,47	11a3			44			18	0,47	5a3			65					9							
	5b1			40			19	2b1			66			14	0,47	13b1			67			13	0,47	11b1			62					9							
	5b2			53			22	2b2			61			17	0,47	13b2			78			15	0,47	11b2			83					10							
Mittelwerthe:				48			31			42			35					49			18					80					9								
Mittelwerthe:	11c1			50			19	5c1			58			14	0,47	2c1			45			13	0,47	13c1			74					9							
	11c2			64			22	5c2			75			17	0,47	2c2			81			15	0,47	13c2			86					10							
	11c3			48			31	5c3			40			35	0,47	2c3			63			18	0,47	13c3			68					9							
	13d1			47			19	11d1			55			14	0,47	5d1			60			13	0,47	11d1			70					9							
13d2			53			22	11d2			53			17	0,47	5d2			57			15	0,47	11d2			89					10								
13d3			43			31	11d3			54			35	0,47	5d3			48			18	0,47	11d3			88					9								
Mittelwerthe:				48			24			55			16,5					60,5			15					75,5					9								

\* Bruch durch einen Ast beeinflusst.



X. Untersuchungen über die Elasticität u. Festigkeit von Fichten- u. Kiefern-Bauhölzern.

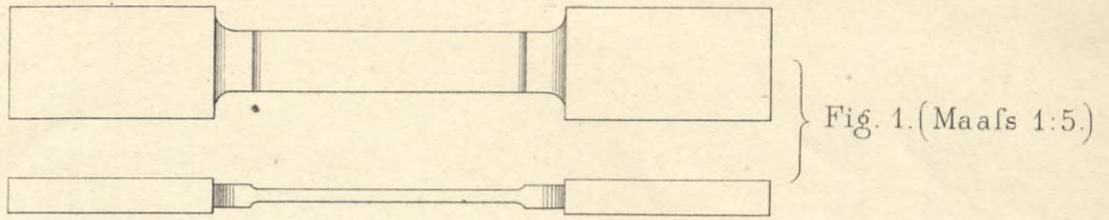


Fig. 1. (Maafs 1:5.)

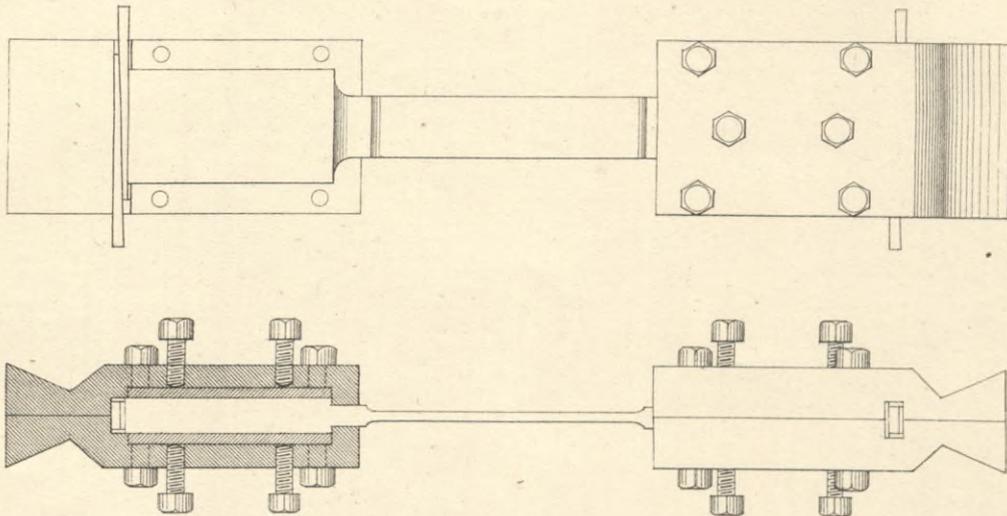


Fig. 2. (Maafs 1:5.)

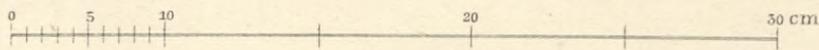


Fig. 3.  
F. 3. St.M.

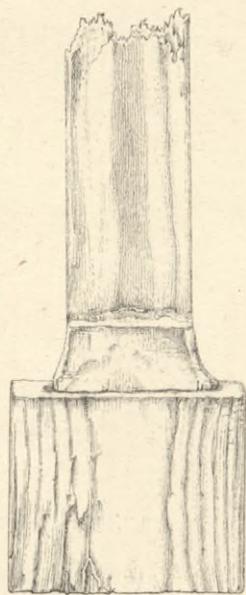


Fig. 4.  
4a v. St.A.

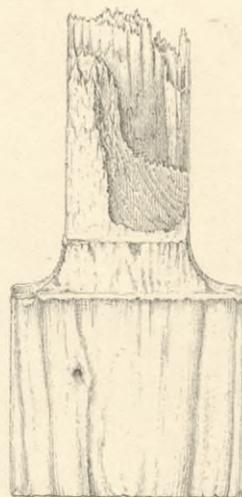


Fig. 5.  
Sch. 4. St.S.

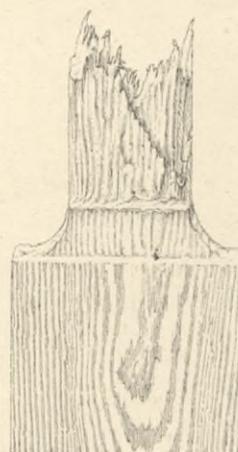


Fig. 6.  
L. 4. Z.N.

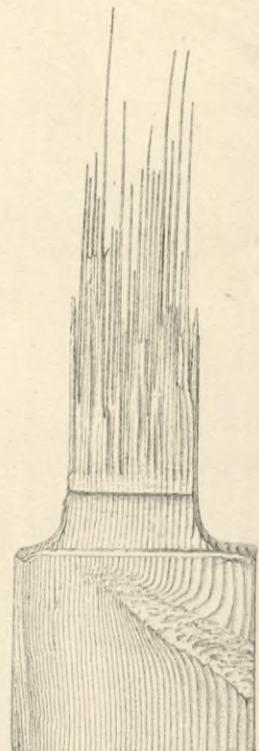
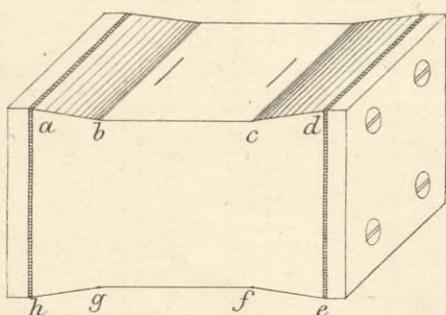


Fig. 7.

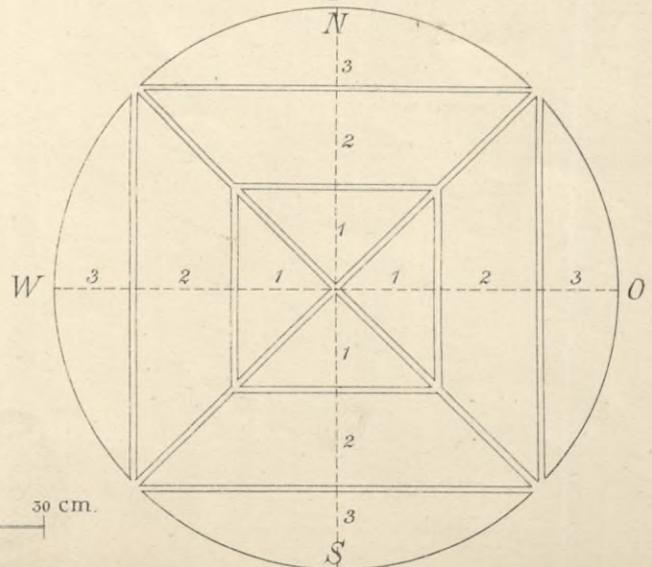
Fig. 8.



Maafs 1:4.



Fig. 9.



Maafs 1:4.



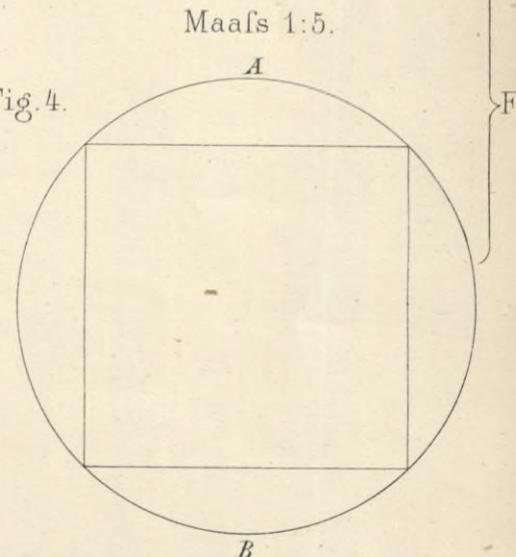
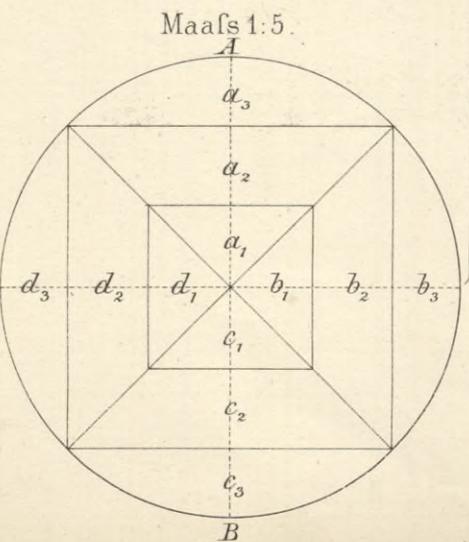
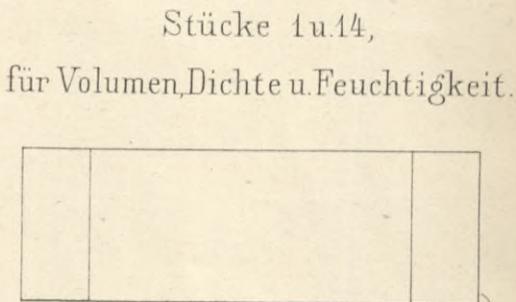
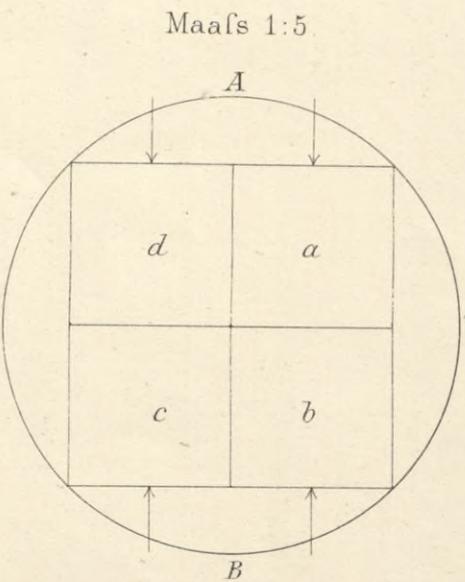
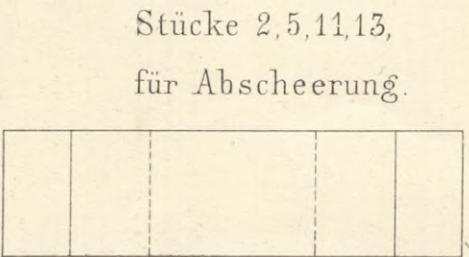
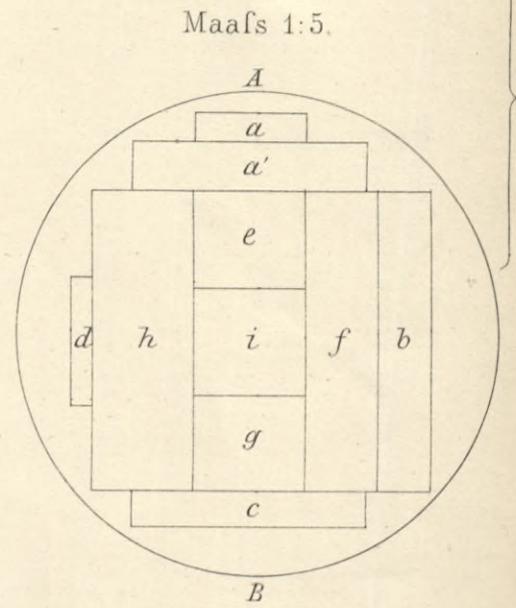
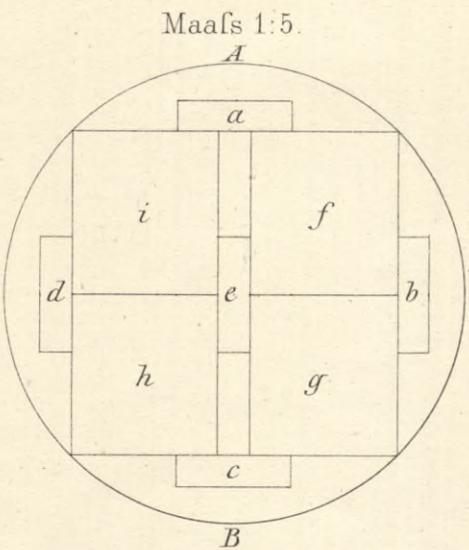
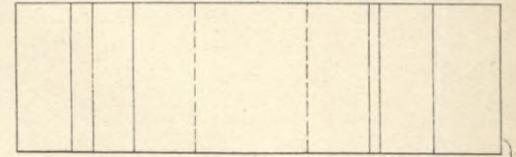
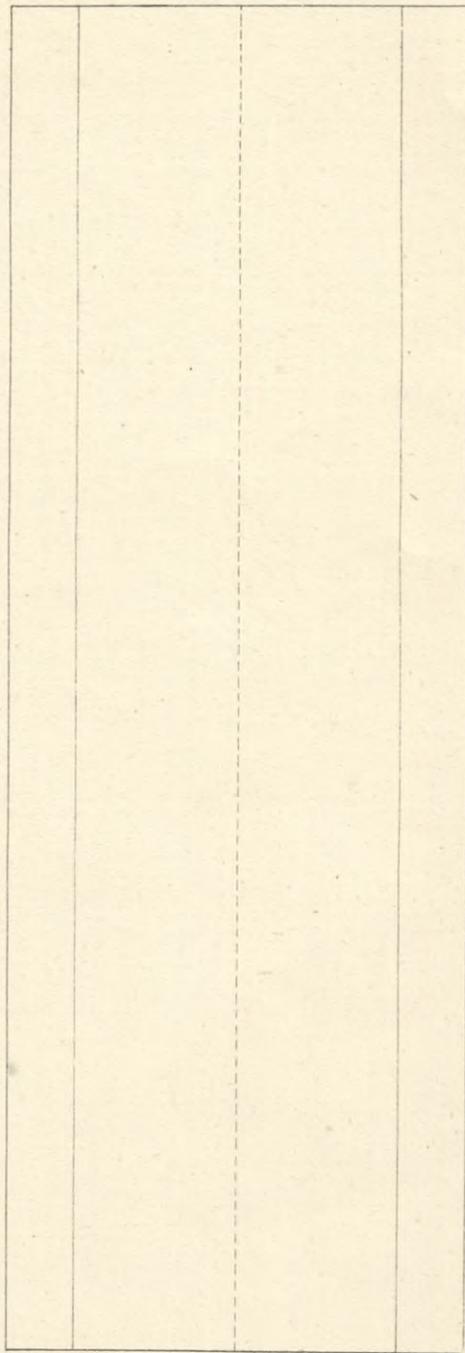
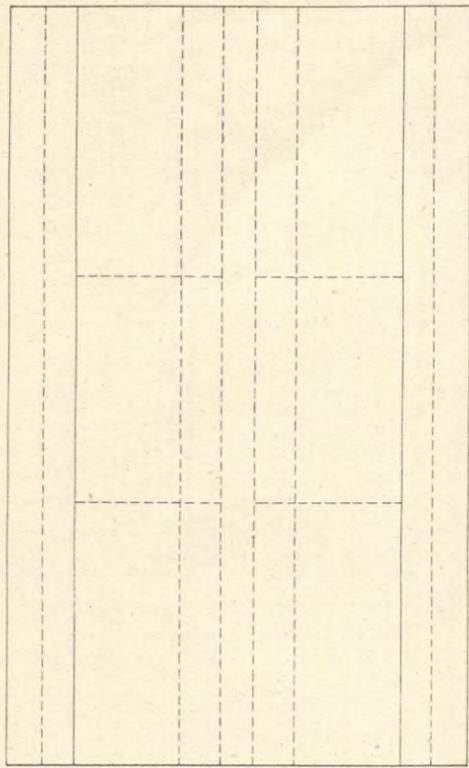
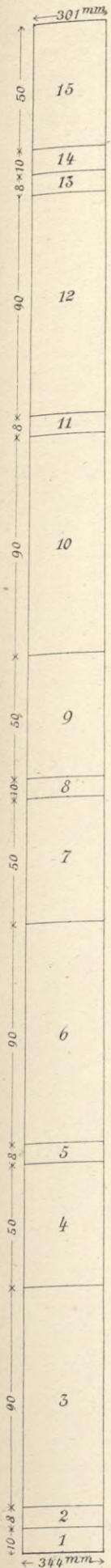
X. Untersuchungen über die Elasticität u. Festigkeit von Fichten-u. Kiefern-Bauhölzern.

Fig. 1.

Stücke 4, 7, 9, 15,  
für Zug u. Druck.

Stücke 3, 6, 10, 12,  
für Biegung.

Stück 8,  
für Volumen, Dichte u. Feuchtigkeit.



Maafs 1:25.

Fig. 2.

Fig. 4.

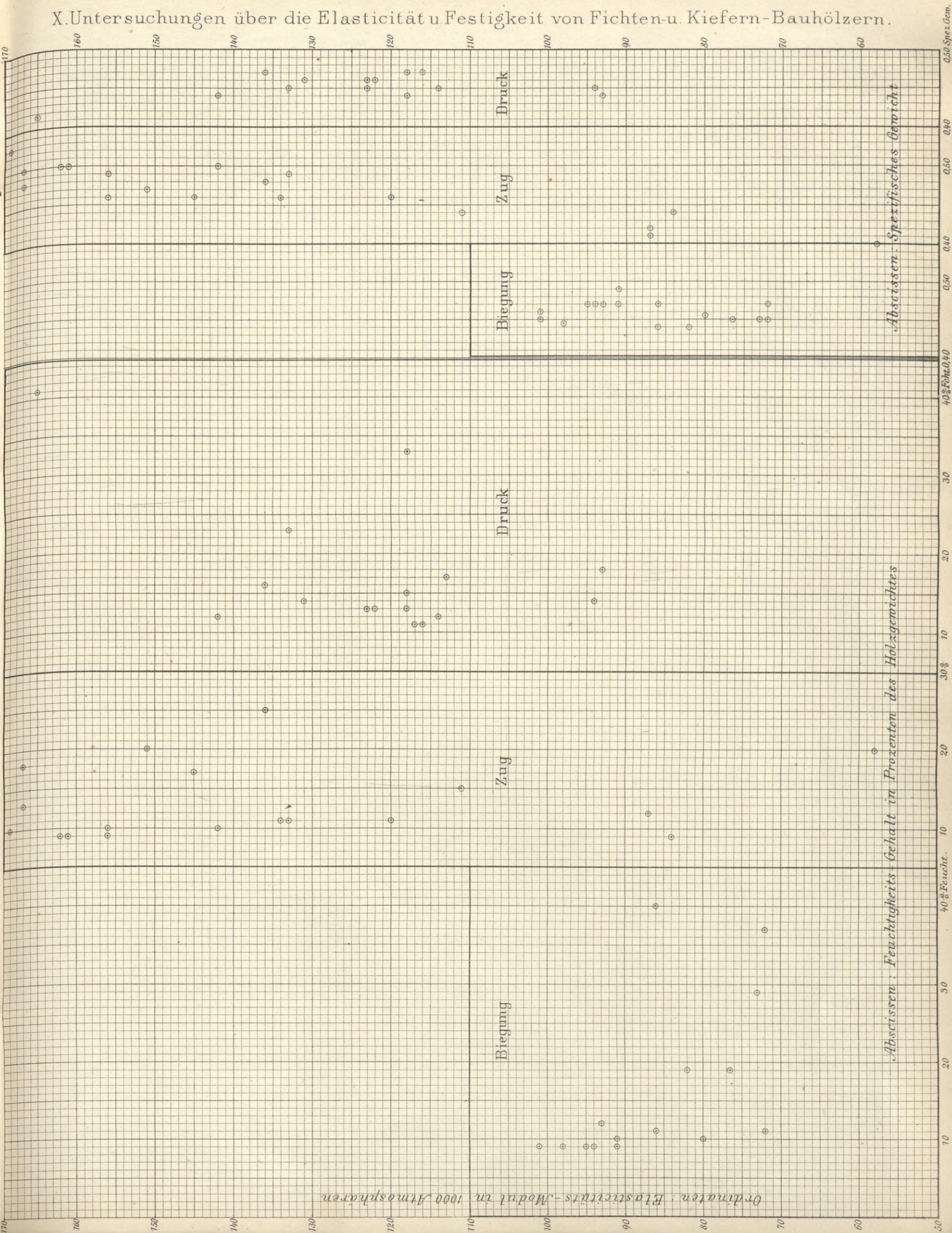
Fig. 3.

Fig. 5.

Fig. 6.

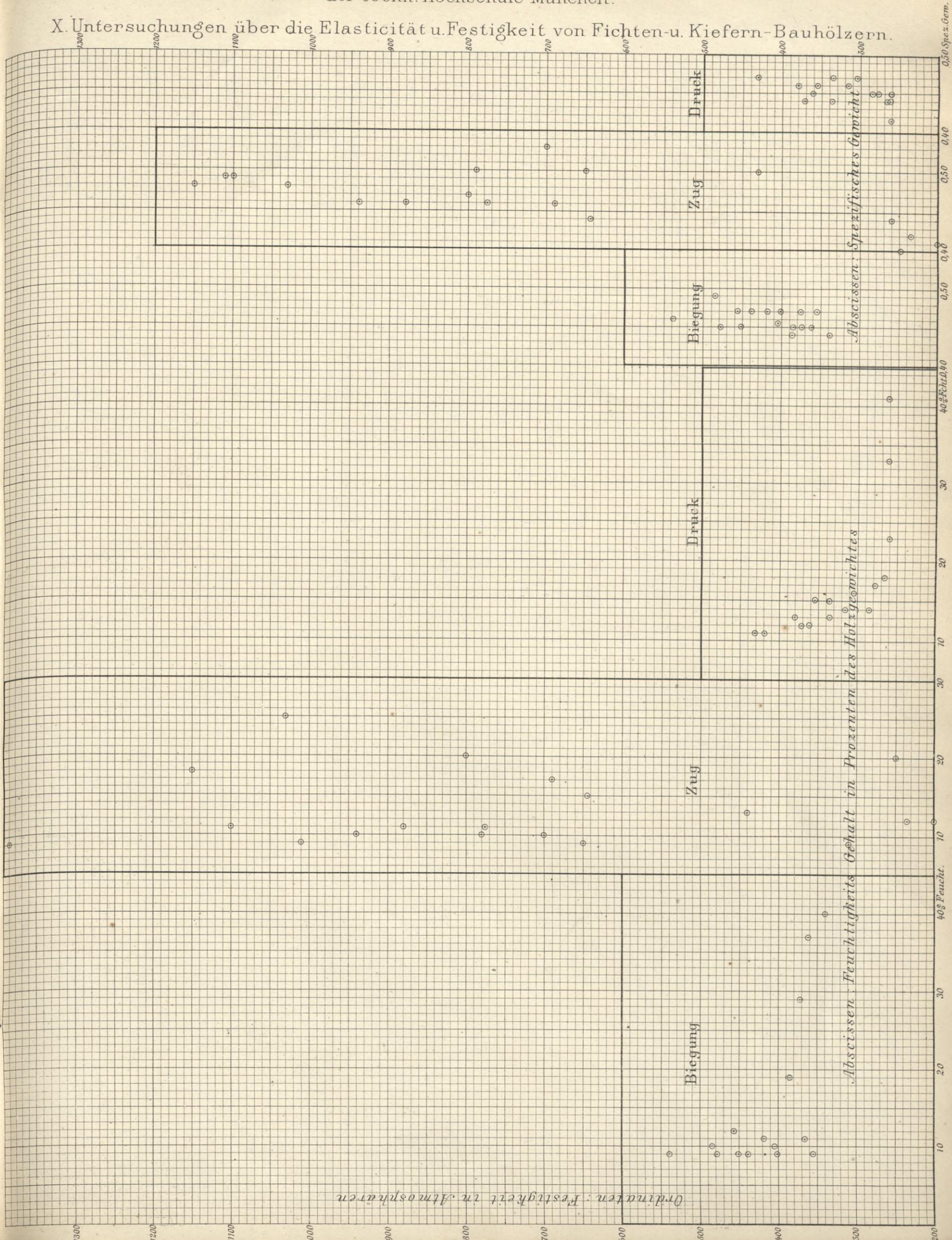


X. Untersuchungen über die Elasticität u. Festigkeit von Fichten- u. Kiefern-Bauhölzern.





X. Untersuchungen über die Elasticität u. Festigkeit von Fichten- u. Kiefern-Bauhölzern.











Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315040

1884

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315041

1885

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315042

1886

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315043

1887

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315044

1888

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315045

1889

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315046

1891

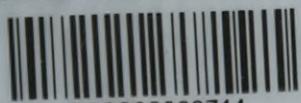
Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315047

1892

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300714

1883

Biblioteka PK

J.X.47

/ 1883/1892