

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294702

XX  
292



# Mittheilungen

der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien

am eidg. Polytechnikum in Zürich.

2. Heft:

Methoden und Resultate der Prüfung  
der schweiz. Bauhölzer.

Bearbeitet von

**L. Tetmajer**

*Ingenieur, Professor der Bauschule, Vorstand der Anstalt zur Prüfung  
von Baumaterialien am eidg. Polytechnikum etc.*



ZÜRICH.

Commissionsverlag von MEYER & ZELLER.

1884.



11-352834

~~~~~  
Druck von ZÜRCHER & FURRER in Zürich.

ЗРП-З-125/2918

## Vorwort.

---

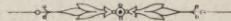
Dem Mühewalten des Herrn Nationalrath Oberst Meister, Chef der Fachexperten der Gruppe 18 (Baumaterialien), insbesondere der Opferwilligkeit des schw. Handels- und Landwirth. Departements ist es zu verdanken, dass bei Anlass unserer Landesausstellung der eidg. Festigkeitsanstalt möglich wurde neben den künstlichen und natürlichen Bausteinen, hydraul. Bindemitteln und anderen Baustoffen auch die schweiz. Bauhölzer einer einlässlichen Prüfung zu unterziehen. Die Eigenartigkeit der gewonnenen Resultate, welche in erster Linie im Special-Catalog der Gruppe 18 niedergelegt sind, veranlasste diese Separat-Ausgabe, in welcher eingehender als dies im Special-Catalog möglich war, die Programm-Entwicklung, die Versuchsausführung, sowie die Begründung der Methode der Qualitätsbestimmung beschrieben sind. Um Jedermann Einsicht in den Gang der Untersuchungen und in den absoluten Werth der Resultate zu geben, nahmen wir überdies Veranlassung ein complettes Protocoll, wie solche den beteiligten Forstbehörden und Verwaltungen in Form von Ausfertigungen zugestellt wurden, zum Abdrucke zu bringen.

---

## Inhalts-Verzeichniss.



|                                                           | Seite |
|-----------------------------------------------------------|-------|
| Einleitung . . . . .                                      | 1     |
| Methoden und Hilfsmittel der Untersuchungen.              |       |
| Scheinbare Dichte, spec. Gewichte, Wassergehalt . . . . . | 7     |
| Elasticitäts- und Festigkeitsverhältnisse . . . . .       | 9     |
| Methode der Qualitätsbestimmung der Bauhölzer . . . . .   | 16    |
| Protocoll der Prüfung einer Holzsorte . . . . .           | 20    |
| Zusammenstellung der Resultate.                           |       |
| Uebersichtstabelle . . . . .                              | 34    |
| Zugfestigkeit . . . . .                                   | 38    |
| Druckfestigkeit . . . . .                                 | 39    |
| Knickungsfestigkeit . . . . .                             | 41    |
| Scherfestigkeit . . . . .                                 | 45    |
| Biegungsfestigkeit . . . . .                              | 46    |
| General-Zusammenstellung . . . . .                        | 48    |



## Prüfung der schweizerischen Bauhölzer.

---

### Einleitung.

Die Prüfung der Elasticitäts- und Festigkeitsverhältnisse der schweizerischen Bauhölzer bildet einen wesentlichen Bestandtheil der im Interesse der schweizerischen Landesausstellung ausgeführten Gesamtarbeiten des eidgenössischen Festigkeitsinstitut's. Einerseits sind es die difficilen Vorbereitungen, die schwierigen meist sehr zeitraubenden Messungen, dann aber die langwierigen Berechnungen der Resultate, die ganz abgesehen von ihrem innern Werthe, die fraglichen Arbeiten zu den nennenswerthesten Leistungen der Anstalt stempeln.

Das Reglement der Prüfung der schweizerischen Bauhölzer ist mit Rücksicht auf die Bedeutung der ganzen Arbeit als Compromiss der bautechnischen und forstwirtschaftlichen Interessen hervorgegangen. Bei Abfassung des Reglements waren wir von der Tendenz geleitet, einerseits dem Techniker zur Dimensionirung seiner Holzconstructions nützliche Festigkeitscoefficienten zu liefern, gleichzeitig aber in möglichst eingehender und umfassender Weise die Festigkeitsverhältnisse der verschiedenen Theile des Stammes und soweit möglich auch ihre Abhängigkeitsverhältnisse von klimatischen und geognostischen Verhältnissen klar zu legen und wenn schon aus vorliegender Arbeit einige, vielleicht bemerkenswerthe Resultate hervorgehen, so kann sie doch keineswegs als abgeschlossen bezeichnet werden — ja sie ist ungeachtet ihres Umfangs zu wenig umfassend um selbst gewisse forstwirtschaftliche Tagesfragen in endgültiger Weise zu erledigen. Mit positiver Gewissheit springt aus den ausgeführten Untersuchungen zunächst bloß die Thatsache hervor, dass auf dem betretenen Boden jene Fragen objectiv studirt und beantwortet werden können

und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass in wohlverstandenen Interesse einer rationellen Beforstung unserer Gauen und Gebirge sowohl das eidgenössische Forstinspectorat wie auch die cantonalen und communalen Forstverwaltungen des Landes Hand dazu bieten werden, um gemeinsam mit dem eidgenössischen Festigkeitsinstitute Fragen, die in ihren Consequenzen vitale volkwirtschaftliche Landesinteressen tangiren, näher zu erörtern.

Bei Entwurf des Reglements für die Prüfung der schweizerischen Bauhölzer waren in erster Linie bautechnische Rücksichten massgebend; um jedoch jede Einseitigkeit zu vermeiden und speciellen Bedürfnissen der Forstleute gebührend Rechnung zu tragen, ist der erste Reglemententwurf dem Vorstande der Forstschule des eidgenössischen Polytechnikums, Herrn Professor Landolt zur Durchsicht und Correctur unterbreitet worden; Herr Professor Landolt hat denn auch mit verdankenswerther Bereitwilligkeit die Durchsicht und Berichtigung vorgenommen und konnte der so bereinigte Entwurf dem Gruppenchef der Fachexperten der Gruppe „Baumaterialien der schweizerischen Landesausstellung“ zur Verfügung gestellt werden. Zur Orientirung lassen wir hier fragliches Reglement folgen:

### § 1.

Zur Ermittlung der Elasticitäts-, Zähigkeits- und Festigkeitsverhältnisse der wichtigsten Bauhölzer werden:

Zug-, Druck-, Knickungs-, Scher- und Biegeproben ausgeführt.

### § 2.

Zur Prüfung gelangen:

Die Fichte, Weisstanne, Föhre, Lärche und Eiche.

### § 3.

Zur Erforschung des Einflusses klimatischer und geognostischer Verhältnisse des Standorts sind die Versuche auszudehnen:

Auf Nord- und Südgehänge, auf Höhenlagen von unter und über 1300 m und auf Molasse-, Kalk-, Thonschiefer- und Granit- resp. Gneissböden.

Von Fichte und Weisstanne sind jeweiligen Versuchsstücke, sowol von südlichen, wie nördlichen Lagen einzusenden.

Die zu prüfenden Holzsorten sind im Monate December des laufenden Jahres aus geschlossenen 80—100 jährigen Be-

ständen zu entnehmen, und ist das zu prüfende Material, sofort nach der Fällung und Zurichtung, in Kisten verpackt, bis spätestens den 15. Januar 1882 an die Forstverwaltung der Stadt Zürich, Adresse: Sihlamt Zürich, abzuliefern.

### § 5.

Sämmtliche Versuchsstücke sind aus der Stamm-Mitte, d. h. der halben Höhe bis zur Krone gerechnet, zu entnehmen; sie sollen von normaler Qualität und möglichst vollkommen appetirt und genau bezeichnet zum Versandt gebracht werden. Die Bezeichnung hat durch, auf die gestellten Versuchsstücke sorgfältig befestigte Zettel zu geschehen, auf welchen enthalten sein muss:

1. Holzart;
2. Angabe des Alters, Schlagzeit;
3. Standort (Süd- oder Nordhang, Höhe über dem Meer);
4. Bezeichnung des Bodens, auf dem das Versuchsstück gestanden hat;
5. Firma des Ausstellers.

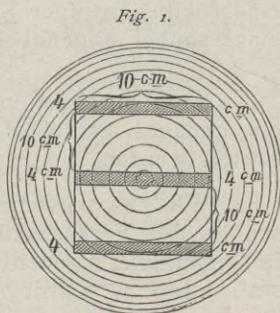
### § 6.

Die Kosten der Prüfung werden, laut Beschluss der, der eidgenössischen Festigkeitsanstalt vorgesetzten Behörden, um 50 % der reglementarischen Taxen ermässigt und fallen dem Aussteller zur Last. Die Zahlungsmodalitäten werden durch Vereinbarung mit den Fachexperten der Gruppe XVIII festgestellt.

### § 7.

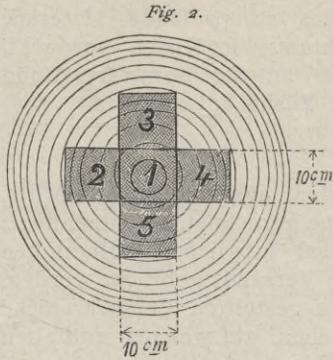
Die Zugfestigkeit soll an prismatischen Stücken von 4 cm Dicke, 10 cm Breite und 50 cm Länge erhoben werden. Aus jedem zu prüfenden Stamme ist nach Anleitung nebenstehender Skizze:

- 1 Stück aus dem Centrum,
- je 1 Stück im Abstand von 10 cm vom Mittelstück herauszuschneiden.



### § 8.

Zur Ermittlung der Druckfestigkeit, und behufs Feststellung der Abnahme derselben mit wachsender Länge der Versuchsstücke, sind von sämtlichen Holzsorten



1. 2 Stück Würfel von 10 *cm* Kantenlänge vom reifen Holz zu beiden Seiten des Markes, nämlich No. 2 und 4 und 1 Stück Würfel aus der Stammmitte No. 1,
2. 4 Stück prismatische Stäbe No. 2, 3, 4, 5 von  $\frac{10}{10}$  *cm* Querschnitt und je einer Länge von 50, 100, 150 und 200 *cm* zu liefern. Die letztern Stücke sind wie die Würfel bei 1 vom reifen Holz zu beiden Seiten

des Markes herauszuarbeiten.

Alle diese Stücke sind aus dem gleichen Stamme auszuscheiden, und zwar zum Theil unmittelbar unterhalb, zum Theil unmittelbar oberhalb der in § 7 bezeichneten Versuchstücke.

#### § 9.

Für die Ermittlung der Biegezugfestigkeit sind von jeder Holzart drei prismatische Versuchstücke quadratischen Querschnitts von 10 *cm* Seitenlänge und 160 *cm* Prismenlänge einzusenden. Fragliche Versuchsobjecte sind aus den gleichen Partien des Stammes wie die Stücke § 8, No. 1 zu entnehmen.

#### § 10.

Für Ausstellungszwecke ist schliesslich von jedem Stamm ein scheibenförmiger Schnitt von 4 *cm* Dicke mit Rinde und einer sauber abgehobelten Seite zu liefern.

#### § 11.

Nach durchgeführter Untersuchung wird den Ausstellern ein genaues Protocoll über die Ergebnisse derselben übermittelt werden.

Wie aus vorstehendem Reglement erhellt, sind mit Ausschluss der Versuchskörper für die Zugfestigkeit, für welche in Ermanglung eigener Erfahrungen der Bauschinger'sche Normalstab adoptirt wurde, durchwegs prismatische Balken von quadratischem Querschnitt mit 10 *cm* Seitenlänge normirt worden. Dadurch ist eine Einheit in die gesammte Lieferung des Versuchsmaterials gelangt, die trotz der unausweichlichen Variationen der Querschnittsdimensionen, directe Vergleichen und Schlussfolgerungen gestattet. Die Art der Entnahme der

Versuchskörper aus dem Stamme, vergl. Fig. 1 und 2, bezweckt die Erhebung der Elasticitäts- und Festigkeitsverhältnisse des Holzes in verschiedenen Theilen desselben. Im Grossen und Ganzen war unser Bemühen dahin gerichtet, noch bautüchtiges Holz, also Holz in möglichst grossen, im Baufache noch üblichen Dimensionen den Versuchen zu unterwerfen, ohne dass dadurch die vergleichende Untersuchung, die Prüfung der Festigkeitsverhältnisse an verschiedenen Stellen der Querschnitte vereitelt worden wäre. Bei Wahl der Normaldimensionen von  $10 \times 10$  cm war ferner die Erwägung ausschlaggebend, es sei wünschenswerth mit Rücksicht auf Entscheidungen in Streitfällen, die Einheit derart festzustellen, dass sich aus dem Streitobjecte aller Wahrscheinlichkeit gemäss mindestens ein entsprechendes Prüfungsobject gewinnen lässt.

Correcte Ausdrücke für die Zähigkeitsverhältnisse unserer Baumaterialien fehlen fast gänzlich, und da die Festigkeits- und Elasticitätsverhältnisse allein die Qualität des Holzes ebensowenig wie diejenige des Eisens kennzeichnen, schien es wichtig, beim Entwurf des Reglements unter gebührender Wahrung der Einheit der Dimensionen auf eine gleichartige Lieferung des Versuchsmaterials zur Feststellung seiner Leistungsfähigkeit, seines Arbeitsvermögens hinzuwirken, welches die unterschiedlichen Bauholzsorten muthmasslich in natürlicher, ungezwungener Weise zu classificiren gestatten würde. Wir wählen hiezu die Biegungsarbeit, wie solche mit einigem Erfolg auch bei der Feststellung der Qualität von Gusseisen in Anwendung gebracht wurde. Dass wir abweichend von der absoluten Festigkeit (vergl. Eisen und Stahl, S. 15 u. f.) hier die Biegungsfestigkeit zum Ausgangspunkte unserer Untersuchungen erwählten, findet ihre Begründung einerseits in der Bedeutung, die die Widerstandsfähigkeit des Holzes gegen Biegung in unseren Bauwerken einnimmt, dann aber in dem Umstande, dass die Deformation relativ erheblich, die Bestimmung der Elemente des Arbeitsdiagramms eine sichere, exactere zu werden versprach, als dies unter Zugrundelegung der Deformationsarbeit irgend einer andern Festigkeitsart möglich schien.

Wir verkannten hierbei keinen Augenblick die Schwierigkeiten der angestrebten Qualitätsbestimmung, zumalen die Festigkeits- und Zähigkeitsverhältnisse des Materials von zufälligem Feuchtigkeitsgrade desselben in hohem Maasse abhängen, welcher an und für sich rasch und mit einiger Sicherheit nur ziemlich umständlich erhältlich ist. Immerhin blieb uns nach reiflicher Ueberlegung der obwaltenden Verhältnisse keine

andere Wahl, und da das Versuchsmaterial mit Ausschluss der für den Termin der Eröffnung der Landesausstellung fertig geprüften Versuchs-Serien in lufttrockenem Zustande den Proben unterworfen wurde, so werden die gewonnenen Zahlenwerthe Anhaltspunkte für die Beurtheilung in zweifelhaften Fällen geben, jedenfalls aber eine Vergleichung des Arbeitswerthes der unterschiedlichen Bauholzsorten ermöglichen. Mit besonderer Rücksicht auf diese Verhältnisse sind denn auch parallel den Biegungsproben Versuche zur Feststellung des Wassergehalts der der Biegung unterworfenen Objecte ausgeführt worden. Von der Bestimmung des Feuchtigkeitsgrades der Versuchsobjecte der Zug-, Druck-, Knickungs- und Scherfestigkeit musste schon aus Gründen der grossen Anzahl der Versuchsstücke Abstand genommen werden.

Dank der Bemühungen des Chefs der Fachexperten der Gruppe XVIII, des Herrn Nationalrath Oberst Meister, sind im ganzen 31 — wovon 30 programmgemäss complete Serien von Prüfungsobjecten fast gleichzeitig in der eidgen. Festigkeitsanstalt eingelaufen. Jede Serie, aus der Mitte des zu Bauzwecken tauglichen Theiles eines und desselben Stammes entnommen, besteht aus:

- |            |   |                                                    |
|------------|---|----------------------------------------------------|
| a)         | 3 | Versuchsstücken für die Zugfestigkeit              |
| b)         | 3 | „ „ „ Druckfestigkeit                              |
| c)         | 4 | „ „ „ Knickungsfestigkeit                          |
| d)         | 3 | „ „ „ Scherfestigkeit                              |
| e)         | 3 | „ „ „ Biegefestigkeit; aus letz-                   |
| tern sind: |   |                                                    |
| f)         | 3 | „ zur Bestimmung der scheinbaren Dichte entnommen. |

Summa 19 Versuchsstücke. Rechnet man zu dieser Summe entsprechend den Biegungsprismen 3 Versuche zur Feststellung des Feuchtigkeitsgrades, so ergibt vorstehende Zusammenstellung 22 Einzelversuche pro Serie, somit Total 660 Versuche.

Von den eingelieferten Versuchs-Serien fallen:

- |    |                                                         |
|----|---------------------------------------------------------|
| 9  | Serien auf die Weisstanne, und zwar:                    |
|    | 3 Serien von über —, 6 Serien von unter 1300 Mtr. ü. M. |
| 11 | „ „ Rothtanne, und zwar:                                |
|    | 5 Serien von über —, 6 Serien von unter 1300 Mtr. ü. M. |
| 2  | „ „ Föhre, und zwar:                                    |
|    | — Serien von über —, 2 Serien von unter 1300 Mtr. ü. M. |
| 5  | „ „ Lärche, und zwar:                                   |
|    | 3 Serien von über —, 2 Serien von unter 1300 Mtr. ü. M. |
| 2  | „ „ Eiche, gewachsen unter 1300 Mtr. ü. M.              |
| 1  | „ „ Buche, gewachsen unter 1300 Mtr. ü. M.              |

Aus vorstehender Zusammenstellung geht zunächst hervor, dass mit Ausschluss der Weiss- und Rothtanne das Versuchsmaterial zur Beurtheilung des Einflusses der Höhenlage des Standortes auf die Holzqualität, nicht genügen konnte. In weit grösserem Masstabe macht sich die Unzulänglichkeit des Materials geltend, soferne man an Hand der gewonnenen Resultate den Versuch macht, den Einfluss der geognostischen Verhältnisse, des Wachsthums etc. zu prüfen. Man erkennt im voraus, es genüge das gelieferte Material trotz des namhaften Umfangs der gesammten Arbeit zur Erörterung forstwirtschaftlicher Fragen nicht. Dringend wünschenswerth scheint es daher durch fortgesetzte Untersuchungen das betretene Gebiet weiter aufzuschliessen und fühlen wir uns veranlasst hier schon hervorzuheben, es möchte den derzeit gewonnenen Resultaten blos relativer Werth beigemessen werden; wir behalten uns vor, die nachfolgenden Zahlenwerthe an Hand späterer Versuche zu berichtigen und zu ergänzen.

### Methoden und Hilfsmittel der Untersuchungen.

#### a) Scheinbare Dichte, spezifisches oder Volumengewicht, Wassergehalt.

Die scheinbare Dichte ( $\gamma$ ), das Verhältniss des Holzgewichts zum Gewichte des durch die Holzfaser scheinbar verdrängten Wassers ist mittelst hydrostatischer Waage, durch Ermittlung des Gewichtsverlustes eines entsprechend beschwerten grösseren Prisma's ( $10 \times 10 \times 15$  bis  $20 \text{ cm}$ ) ermittelt worden. Die Versuchsstücke, in lufttrockenem Zustande vorangehend gewogen, wurden in ein entsprechendes Gefäss placirt, aus welchem Wasser capillar aufgesogen wurde. Nach Massgabe der Wasseraufnahme wurde das Gefäss nachgefüllt, bis schliesslich (nach circa 8 Tagen) die Versuchskörper gänzlich unter Wasser erschienen; sie blieben hier so lange, als noch eine Wasseraufnahme constatirt wurde. In völlig wassergesättigtem Zustande ist der Gewichtsverlust des Prüfungsobjectes erhoben und daraus seine scheinbare Dichte berechnet worden. Die so gewonnenen Zahlen nehmen für sich blos den Werth roher Annäherungen in Anspruch, denn einmal ist aus physiologischen Gründen nicht anzunehmen, dass die Holzzellen sich mit Wasser vollständig füllen, dann

aber ändert sich das Volumen der Holzfasern durch die Wasseraufnahme, während gleichzeitig aus dem Zellgewebe vegetabilische und mineralische Substanzen ausgelaugt werden.

Technisch wichtiger als die Dichte ist das spezifische oder Volumengewicht d. h. das Gewicht der Cubikeinheit einer bestimmten Holzsorte. Das fragliche Volumengewicht wurde aus den Gewichten möglichst sorgfältig appretirter Prismen von  $10 \times 10 \times 50$  cm Stärke, deren Volumen aus den Abmessungen berechnet wurden, abgeleitet; der Quotient der Prismengewichte durch die respectiven Volumina gab die gesuchten Volumengewichte; sie wurden in der Folge mit  $\delta$  bezeichnet.

Der Wassergehalt sämtlicher, der Biegung unterworfenen Prüfungsobjecte, ist aus feinen, splitterförmigen Hobelspänen in einem zu diesem Zwecke eigens hergestellten Apparat ermittelt worden. Eine Trockenkammer aus Weissblech mit Thermometer und Bunsen'schem Gasregulator versehen, wurde zur Aufnahme von 10 Stück in 2 übereinander liegenden Reihen placirten, dünnwandigen, circa 2,5—2,8 cm weiten Glasröhren von 20 cm Länge eingerichtet. Die Glasröhren der unteren Reihe sind fix und mit einander derart verbunden, dass sie eine Art Schlangenrohre bilden; die Glasröhren der obern Reihe dienen zur Aufnahme der zu prüfenden Holzspäne und stehen einerseits mit dem Schlangenrohr, anderseits mit einem Körting'schen Wasserstrahlapparat derart in Verbindung, dass beim Anlassen desselben die im Schlangenrohr vorgewärmte Luft durch die Holzspäne gesogen und abgeführt wurde. Um wasserfreie Luft in den Vorwärmer zu bringen, ist das freie Ende des Schlangenrohr's mit einer, mit concentrirter Schwefelsäure gefüllten Waschflasche verbunden worden. Die Temperatur der Trockenkammer schwankte zwischen 118—125° C. Dieser Temperatur sind die Holzspäne circa 10 Stunden lang exponirt worden. Wiederholte Controlwägungen zeigten, dass ohne Spuren von Trockendestillation die Späne nach 10-stündiger Exposition keine Gewichtsverluste mehr erlitten. Aus dem Gewichtsverlust der Späne berechnet sich der procentuale Wassergehalt des Holzes wie er in den beobachteten Grenzwerten den Protokoll-Ausfertigungen einverleibt wurde. Die beschriebene Methode der Feuchtigkeitsbestimmung leidet an einem Uebelstande, der mit der Spänerzeugung zusammenhängt; erfahrungsgemäss verdunstet während der Spänerzeugung mit Hobel oder Raspel bereits etwas Wasser und zwar mit der Feinheit der Zerkleinerung in steigendem Verhältnisse.

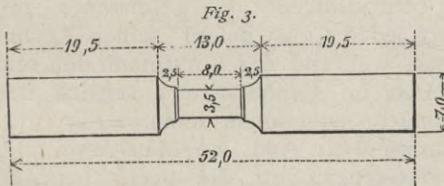
Es ist daher den Resultaten relativer Werth beizumessen und dürfte der absolute Feuchtigkeitsgrad um 1—2 0/0 höher anzunehmen sein.

### b) Elasticitäts- und Festigkeitsverhältnisse.

Die Elasticitäts- und Festigkeitsverhältnisse sämtlicher Versuchsstücke sind auf der uns zu Gebote stehenden Werderschen, mit den Bauschinger'schen Messwerkzeugen ausgerüsteten Universalfestigkeitsmaschine geprüft worden. Sowohl Maschine als Messwerkzeuge sind allgemein bekannt; kleinere Abänderungen an diesen Apparaten sind zu unerheblich, um eine weitläufige Beschreibung und Abbildung derselben zu rechtfertigen. Zur Orientirung im Allgemeinen beschränken wir uns hier lediglich auf eine kurze Darlegung der Art der Versuchsausführung und beginnen:

#### Mit der Zugprobe.

Die Zugfestigkeit sämtlicher, der Prüfung unterworfenen Bauholzsorten wurde an Bauschinger'schen Normalstäben, vergleiche Fig. 3 erhoben. Das mittlere, prismatische Schaftstück von 0,5—0,7 cm Dicke, 3,0—4,0 cm Breite erhielt 6,0—6,5 cm Länge und diente auf einer Länge von meist 5,0 cm zur Feststellung der Dehnungen bei allmählig, gesteigerten Belastungen. Die Zurichtung der Normalstäbe bot mannig-



fache Schwierigkeit. Die Bedingungen, dass Faser- und Zugrichtung zusammenfallen und die Flächen der Jahresringe auf dem mittleren Schaftstück oder dessen Nähe nicht ausschiefern, waren kaum zu erreichen und doch üben bei den kleinen Querschnittsabmessungen der Versuchstäbe die geringfügigsten Mängel oft beträchtlichen Einfluss auf das Endresultat. Alle unsere Erfahrungen stimmen darin überein, dass namentlich bei lockerwüchsigem Holz, also bei Holz mit relativ weiten Jahresringen und geringem Herbstholz, die Querschnittsabmes-

sungen zu klein gewählt wurden, um zuverlässige Resultate zu erzielen.

Die Dehnungen sind äusserst gering und lassen sich blos mit feinen Messwerkzeugen bestimmen; sie sind bald überhaupt variable, bald fast constant gefunden worden, so dass in vielen Fällen eine Elasticitäts- resp. Proportionalitätsgrenze nicht zu finden war. Die Erhebung der Dehnungsverhältnisse mit dem Bauschinger'schen Spiegelapparat war überdies mit den grössten Schwierigkeiten verbunden. Der Parallelschraubstock des Spiegelapparats sitzt nicht genügend sicher und fest auf dem schmalen Versuchstab, um wirklich tadellose Beobachtungen zu ermöglichen. Ueberdies lassen sich die Dehnungen mit dem genannten Apparate blos bis zum Eintritt der meist frühzeitig erfolgten Splitterablösungen verfolgen. Ein mehr oder weniger heftiges Knistern deutet die fraglichen Ablösungen an; sie treten in der Regel genügend heftig auf, um die Spiegelchen zu verstellen und die Aufnahme der Dehnungen bis zum Bruche zu vereiteln. Einerseits sind es die Unsicherheiten in der Bestimmung der absoluten Festigkeit selbst, — dann die Schwierigkeiten der Erhebung der Dehnungen bis zum Bruch, die die Feststellung der Deformationsarbeit der Zugfestigkeit hinderten und voraussichtlich auch künftighin einer Qualitätsbestimmung vom Boden der Zugfestigkeit hinderlich in den Weg treten werden.

Die Zahl der ausgeführten Zugproben pro Serie dürfte die oben angedeuteten Unsicherheiten der Festigkeitszahlen einigermassen compendiren; die gefundenen mittleren Zugfestigkeiten darf jeder Constructeur seinen Rechnungen ruhig zu Grunde legen, während der Forstmann den relativen Werth dieser Festigkeiten im Centrum und seitlich demselben den Zusammenstellungen entnehmen kann. Für das reife Holz seitlich der Stamm-Mitte sind, wo überhaupt möglich war, die Elasticitäts- und Grenzmoduli, die specifischen Arbeiten an den resp. Elasticitätsgrenzen bestimmt und der Protocoll-Ausfertigung einverleibt worden.

Die Brucherscheinung selbst variirt mit jedem Einzelversuch. Im Allgemeinen darf man sagen, dass das gesunde, astfreie, nicht gar zu weitringige Holz seitlich der Stamm-Mitte einen meist langgestreckten, splittrig-zackigen Bruch ergibt; bei weichen, lockerwüchsigen Holzsorten wird der Bruch meist mässig zackig, wenig, fast gar nicht splittrig ausfallen. Die Versuchsstücke aus der Stamm-Mitte zerreißen meist kurz-

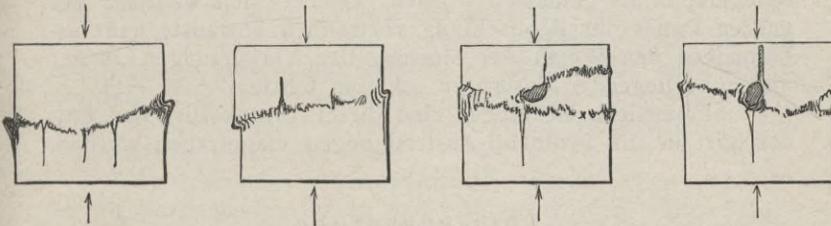
zackig bis stumpf oder, in Folge der zufälligen Lage des Markes, völlig unregelmässig.

Ungeachtet des geringen Schaftquerschnitts der Normalstäbe und des durch die Art der Einspannung auf die Köpfe derselben (vide Fig. 3) bedingten Druckes ist wiederholt vorgekommen, dass die Cohäsion durch Ueberwindung der Scherfestigkeit der Holzfasern im Einspannkopfe gelöst wurde.

### Die Druckprobe.

Die Druckfestigkeit der Bauhölzer in der Faserrichtung wurde an Würfeln von ca. 10 cm Kantenlänge ermittelt; von der Druckfestigkeit senkrecht zur Faserrichtung ist aus Gründen ihrer sehr untergeordneten bautechnischen Bedeutung Abstand genommen worden. Die Zurichtung der Würfel ging leicht und sicher vor sich; die Seitenflächen sind eben abgehobelt, die Druckflächen eben und parallel gehobelt oder zugefeilt worden. Mittelst eines genauen Anschlagwinkels und einer Schublehre wurde die Appretur der Würfel kontrollirt. Die Einspannung der Versuchskörper erfolgte centrisch zwischen ebenen, mit Kugellagern versehenen Druckplatten auf der Werder'schen Maschine. Die Belastungen wurden allmähig bis zur Grenze gesteigert, bei welcher die Zerstörung der Cohäsion des Materials begann; sie war durch Abfallen der Waage der Festigkeits-Maschine stets scharf gekennzeichnet. Die Zerstörung selbst ist völlig localer Natur und besteht in einem Ineinanderschieben der Fasern, welches gehörig gesteigert, keilartig wirkt und schliesslich das Versuchsobject spalten kann. Ein eigentliches Zermalmen konnte nicht erzielt werden.

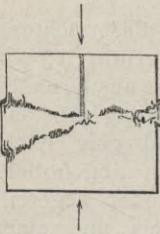
Fig. 4.



Bei astfreiem, gut appretirtem Holz tritt die Zerstörung fast gleichzeitig auf den freien Bewegungsflächen der Würfel sichtbar auf; sonst erscheint sie in der Regel zunächst an Stellen, die durch Astknoten geschwächt sind. Jeder Astknoten, er

mag gut oder weniger befriedigend verwachsen sein, übt grossen Einfluss auf das Resultat. Astfreies Holz bleibt ein frommer Wunsch des Baugewerbes — es erschien daher auch im vorliegenden Falle eine besondere Auswahl des Materials in dieser Hinsicht nicht gerechtfertigt und erklärt dieser Umstand theilweise jene Widersprüche der Festigkeitsverhältnisse, auf welche wir gelegentlich der Beschreibung der Knickungsversuche zurückkehren müssen.

Fig. 5.



In Fig. 4 geben wir einige typische Arten der Zerstörung durch Druckwirkungen. Bei Hartholz werden mitunter keilförmige Körper seitlich herausgedrückt und nehmen die deformierten Prüfungsobjecte Formen an, die an die Doppelpyramiden unserer künstlichen und natürlichen Bausteine etc. erinnern, vergleiche Fig 5.

Zur Erhebung der Bestimmungselemente der Elasticitätsverhältnisse des Holzes für Druck wurde in jeder Versuchsserie das 50 cm lange Prisma aus reifem Holz seitlich der Stamm-Mitte mit besonderer Sorgfalt appetirt, in den Druckapparat der Werder'schen Maschine gespannt. Auf die sphäroidal gelagerten Druckplatten des Apparats sind gusseiserne Aufsätze angeschraubt worden, die auf ca. 1,2 cm Tiefe zur Aufnahme gehobelter 1,8 cm starker Scheiben eingedreht wurden. Vor jedem Versuch sind die fraglichen Scheiben auf die Prismenenden centrisch aufgeschraubt worden und es konnte nun das so armirte Prüfungsobject bequem und exact in die Axe des Druckapparats eingehängt werden.

Die Verkürzungen sind mittelst des Bauschinger'schen Spiegelapparats gemessen worden, welcher sich während der ganzen Dauer der Beobachtung vortrefflich bewährte und insbesondere den Werth der Messung der Verkürzungen zweier gegenüberliegender Fasern zu schätzen lehrte.

Sämmtliche Messungen sind direct protokollirt und uncorrectirt in die Protokoll-Ausfertigungen eingetragen worden.

### Knickungsprobe.

Der Rahmen dieser Arbeit gestattet nicht derjenigen Versuche zu gedenken, welche mit ebenso viel Mühe als Zeitaufwand probeweise ausgeführt wurden, um den Knickungsvor-

gang näher zu studiren. Wir dürfen diese Bemühungen hier um so mehr umgehen als irgend wie nennenswerthe Resultate überhaupt nicht erzielt wurden. Die Ursachen dieser negativen Ergebnisse scheinen in der Unhomogenität des Materials, vor allem im Einflusse der Astknoten zu liegen; sie nöthigten uns schliesslich, die Druckproben wie sie am 50 *cm* Prisma ausgeführt wurden, mit der Modification zu wiederholen, dass hier von der Messung der elastischen Verkürzung Abstand genommen wurde. Der Druckapparat, die Art der Armirung der Prismenenden etc. blieb nach wie vor die gleiche. Jedes Prüfungsobject in die Maschine gehängt ist zunächst auf 5 *tn* belastet, die Stellschrauben der Druckplatten satt, d. h. derart angezogen worden, dass eine Bewegung der Lagerflächen ausgeschlossen war und nun ist allmählig steigernd so lange Druck geübt worden, bis entweder eine Durchbiegung oder Materialzerstörung durch locale Ineinanderpressung der Fasern ohne vorangehende Durchbiegung eingetreten ist. Protokollirt wurde stets die Grösse und Richtung der Durchbiegung beziehungsweise die Lage jener Querschnitte, in welchen ein Ineinanderpressen der Fasern constatirt wurde. Sämmtliche Erhebungen sind den Protokoll-Ausfertigungen einverleibt worden und bedürfen keiner weitern Erläuterung.

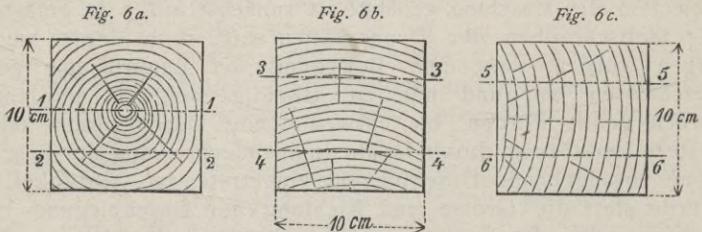
### Die Scherfestigkeit.

Die häufige, oft erhebliche Ausnützung der Scherfestigkeit des Materials unserer Holzconstructions dürfte die Bestimmung der Scherfestigkeit jener Bauholzsorten, die so eingehenden Untersuchungen unterzogen wurden, als nützliche Ergänzung der gesammten Arbeit erscheinen lassen.

Den Scherproben sind sauber bearbeitete Scheiben von 10  $\times$  10 *cm* Querschnitt und 4,5 — 5,5 *cm* Dicke unterworfen worden. Die eine der Scheiben gehört der Stamm-Mitte an, während die beiden andern aus reifem Holz seitlich der Stamm-Mitte entnommen sind.

Der bekannte Scherapparat der Werder'schen Maschine ist für vorliegenden Zweck umgestaltet worden. Die Scherfläche, sowie die Schneide des angreifenden Werkzeugs sind eben; letztere hat auf eine Länge von 20 *cm* eine vertikale, rechtwinklig begrenzte Angriffsfläche von 2 *cm* Höhe. Das Prüfungsobject wird durch eine vorgelegte Lasche gegen Verdrehung während des Angriffs gesichert.

Für jede der 30 zur Prüfung gelieferten Serien sind 6 Scherversuche ausgeführt worden; von diesen fallen 2 Versuche auf die Scheibe der Stamm-Mitte, die übrigen auf das reife Holz seitlich derselben. Fig. 6 stellt die besagten Scheiben und die Lage der Schnittflächen dar; man sieht, dass der Schnitt der Scheiben aus seitlichem Holz einmal in der Richtung der Jahresringe, — dann nahezu normal zu diesen geführt wurde. Die Scherrichtung war in allen Fällen die gleiche, nämlich parallel der Stamm-Axe, also in der Faserichtung.



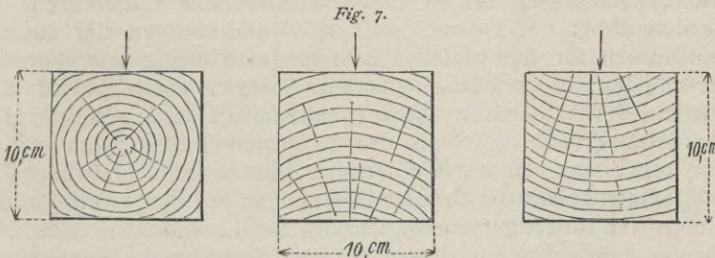
In der Regel ging die Zerstörung des Materials plötzlich vor sich; das angreifende Werkzeug presste sich mehr oder weniger in die Holzscheibe ein und begleitet von einem hörbaren Ruck trat Trennung der Theile auf.

Die Form und Beschaffenheit der Scherflächen variiert mit der Lage der Schnittrichtungen. Fand das Scheren in der Richtung der Jahresringe statt, so trat die Trennung längs mehr oder weniger glatten, den Jahresringen entsprechenden, cylindrischen Flächen auf. Wurde dagegen der Schnitt im Sinne der Fig. 6c senkrecht zu den Jahresringen geführt, so erschien die Schnittfläche sägeartig gezahnt und meist rauh; die Prüfungsobjecte aus der Stamm-Mitte zeigten bald die eine, bald die andere der erwähnten Scherflächenbeschaffenheit. Oft sind dieselben völlig unregelmässig, tief greifend zackig ausgefallen.

### Die Biegefestigkeit.

Zu Biegeversuchen sind die in § 9 des Reglements systemisirten Prismen und zwar pro Serie je ein Balken aus der Stamm-Mitte, zwei solche aus reifem Holz seitlich der Stamm-Mitte verwendet worden. Die Kraftäusserung ist bei Prüfung der letztgenannten Balken derart erfolgt, dass die der

Stamm-Mitte benachbarten Fasern, vergl. Fig. 7 einmal der gespannten, das andere Mal der gepressten Balkenseite angehörten. Die Lagerung der Balken geschah auf keilförmigen, gusseisernen Lagerklötzen, welche auf die alten Werder'schen Pendellager aufgesteckt und durch kräftige Stellschrauben unwandelbar fixirt wurden. Die Stützweite betrug durchwegs 1,50 m. Der Angriff erfolgte auf die Balkenmitte. Um schädliche Eindrücke der cylindrisch abgerundeten Schneiden zu vermeiden, sind an der Angriffstelle der Kraft wie an den Auflagerklötzen nussbaumene Unterlagsscheiben von ca. 8 cm Breite und 1 cm Dicke eingelegt worden.



Zur Messung der elastischen Durchbiegungen dienten Bauschinger's Gradbogenapparate. Von diesen ist der eine in der Krafrichtung in der Balkenmitte, die beiden andern an den Auflagerstellen in entgegengesetzter Richtung montirt worden. Diese Anordnung gestattete die absoluten Durchbiegungen des belasteten Balkens recht genau zu erheben, also die Elasticitäts- und Grenzmoduli, sowie die spezifische Arbeit an der Elasticitätsgrenze zu berechnen.

Zur Aufnahme der Biegungspfeile der bis zum Bruch gesteigerten Belastungen, also zur Messung des einen der Elemente der Arbeitsdiagramme der Biegungsfestigkeit ist ein einfacher, cylindrischer Masstab mit Millimetertheilung und Nonius verwendet worden. Nach Erledigung der Elasticitätsmessung wurden die Gradbogenapparate demontirt und mit besagtem Masstabe weiter gearbeitet. Die Beobachtung mit diesem einfachen Messwerkzeug ging ganz befriedigend vor sich; es konnte bei einiger Achtsamkeit sogar die Durchbiegung im Augenblicke des Bruchs festgestellt und in die Protokoll-Ausfertigungen eingetragen werden. Die Ablesung auf den Gradbögen resp. am Nonius des Masstabes geschah stets im Momente, als die Libellenluftblase des Wagebalkens der Werder'schen Maschine einspielte. Auf eine bestimmte Dauer

der Einwirkung konnte wegen der kurzen Frist, innerhalb welcher die gesammte Arbeit fertig gestellt werden musste, keine Rücksicht genommen werden.

Die Zerstörung der Cohäsion erfolgte ausnahmslos durch Reißen der gespannten Fasern. Locale Ineinanderschiebungen der Fasern der comprimierten Balkenseite sind nur in einzelnen Fällen beobachtet. Es möchte diese Erscheinung um so auffallender sein, als die Druckfestigkeit des Holzes kaum die Hälfte der Zugfestigkeit erreicht, demnach zu erwarten wäre, dass die gepressten Fasern sich ineinanderschieben, bevor die gespannten reißen. Die Elasticitätsmoduli für Zug und Druck unserer Bauhölzer zeigen meist unerhebliche Differenzen; es werden daher die Dehnungen resp. Verkürzungen der äussersten Fasern für den gleichen Belastungsfall wenig von einander verschieden, d. h. die neutralen Fasern, entsprechend der Theorie der Elasticität, Schwerpunktsfasern sein. Jenseits der Elasticitätsgrenze scheinen die neutralen Fasern sich gegen die gepressten, äussersten Fasern hin zu verschieben. Unzweifelhaft weisen die Brucherscheinungen auf den zweifelhaften Werth der Biegungsformeln jenseits der Elasticitätsgrenze, und können daher die mit diesen Formeln berechneten Spannungsgrößen beim Bruch nur den Werth roher Annäherungen für sich in Anspruch nehmen.

Je nach dem Grade der Feuchtigkeit, Güte der Appretur und nach der zufälligen Lage der Astknoten war die Brucherscheinung verschieden. Feuchtes Lärchen-, Buchen- und Eichenholz konnte überhaupt zu keinem Bruche gebracht werden; es schieferten oder splitterten die gespannten Fasern lagenweise ab; allein ein durchgreifender Bruch war nicht zu erzielen. In der Regel war der Bruch durch Ausschieferung der Jahresringe auf der gespannten Balkenseite, oder durch Astknoten geschwächte Stellen geleitet und fiel in solchen Fällen unregelmässig aus.

### c) Methode der Qualitätsbestimmung der Bauhölzer.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die Eignung einer bestimmten Holzart zu baulichen Zwecken durch die Fähigkeit, gegebene Belastungen mit Sicherheit dauernd aufzunehmen und zu übertragen, bedingt ist.

Abstrahirt man von der Dauer des Holzes, welche Fall für Fall durch zweckdienliche Auslese, richtige Behandlung, durch Schutzmassregeln oder Imprägnirung hinreichend ge-

sichert werden kann, so bleibt als entscheidendes Moment bei Beurtheilung der Verwendbarkeit einer Holzart für bautechnische Zwecke neben der Festigkeit nur noch das Maass der durch ihre Zähigkeit bedingte Leistungsfähigkeit übrig.

Aus Vorangehendem erhellt zur Genüge, dass mit Ausschluss der Zugfestigkeit, der Feststellung der Festigkeitsverhältnisse einer Holzart keine nennenswerthen Schwierigkeiten im Wege stehen; allein diese enthalten keinerlei Kriterium für den Zähigkeitsgrad und damit für die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Materials und wenn zugegeben werden muss, dass die durch die Zähigkeitsverhältnisse eines Materials gebotene Sicherheit namentlich bei dynamisch belasteten und damit manchen unberechenbaren Zufälligkeiten unterworfenen Constructionen von ausschlaggebender Wichtigkeit ist, so wird man anderseits die Bedeutung einer Methode der Qualitätsbestimmung nicht verkennen, welche für den jeweiligen Grad vorhandener Zähigkeit die Leistungsfähigkeit des Materials durch einen leicht bestimmbaren Zahlenwerth auszudrücken gestattet. Die ausgeführten 90 Versuche sprechen zweifellos dafür, dass in der Arbeitscapacität der Biegungsfestigkeit, vergleiche S. 5, ein vortreffliches Mittel zur Feststellung der Leistungsfähigkeit gefunden ist, welches nicht allein den vorhandenen Zähigkeitsgrad, sondern auch jegliche, die Zähigkeitsverhältnisse des Holzes beeinflussenden Umstände in unverkennbarer Weise zum Ansdrucke bringt. Dabei ist die fragile Arbeitscapacität durch Ausmaass eines Diagramms erhältlich, welches aus den bis zum Bruch gesteigerten Belastungen und zugehörigen Durchbiegungen eines normalen Prüfungsobjects in der Art gebildet wird, dass man zum jeweiligen Biegungspeil als Abscisse rechtwinklig die correspondirende Belastung als Ordinate aufträgt und die so gefundenen Punkte durch einen continuirlichen Linienzug verbindet. Der Inhalt des so construirten Diagramms stellt den Werth der Biegungsarbeit des Balkens d. h.

$$A = \int P \cdot ds$$

dar, worin  $P$  die Kraft,  $ds$  das Wegelement des Angriffspunktes bedeutet; das Maass dieser Arbeit muss durch Schlag oder allmählig gesteigerte Belastung verrichtet, d. h. das Arbeitsvermögen überwunden werden, soll eine Trennung der Theile, ein Bruch des Balkens erzielt werden.

Der durch den Inhalt des Diagramms ausgewiesene Arbeitswerth wird zur Erzeugung einer theils mehr oder weniger elastischen, theils vom Zähigkeitsgrade des Materials abhängigen Deformation verwendet. Der erste Theil ist stets der kleinere und tritt massgebend blos in solchen Fällen auf, wo das Holz, sei es durch einen exceptionellen Grad der Trockenheit, durch den Einfluss schädlicher Astknoten oder durch eine, der Holzart eigenthümliche Sprödigkeit sich auszeichnet. Der natürliche, oder durch künstliche Hilfsmittel erhöhte Zähigkeitsgrad einer Holzsorte macht sich lediglich in der Vergrösserung des zweiten Theiles der Deformationsarbeit geltend, das Diagramm erscheint langgestreckt.

Die Form des Diagramms berechtigt schon zu Schlussfolgerungen; sie gestattet, zerlegt in einzelne Theile, ein zutreffendes Urtheil hinsichtlich der Leistungsfähigkeit in den verschiedenen Phasen des Versuches; indessen ist eine Gliederung der Deformationsarbeit nicht rathsam und für die schliessliche Beurtheilung der Qualität völlig gleichgültig, welchen Antheil die elastische, — welchen die durch die Zähigkeit des Materials bedingte Deformation an der gesammten Biegungsarbeit nimmt.

Bezeichnet man mit  $f_0$  den Biegungspeil des Balkens beim Bruch, mit  $B$  die Bruchkraft desselben, so stellt das Product  $f_0 \cdot B$  den Inhalt des, dem Biegungsdiagramm umschriebenen Rechtecks dar. Ein Bruchtheil dieses Inhalts gibt den Inhalt  $A$  der Arbeitsfläche, welche man somit durch

$$A = \eta \cdot f_0 \cdot B$$

ausdrücken kann, worin  $\eta$  den Coefficienten der Biegungsarbeit bezeichnet. Vom Boden der Arbeitscapacität der relativen Festigkeit des Holzes gelangen wir zu dem nämlichen Ausdrucke, wie bei der Behandlung der Qualitätsfrage zäher Eisen- und Stahlsorten. Während sich jedoch dort für die absolute Festigkeit der Coefficient  $\eta$  als nahezu const. erwies, kann hier von einer Constanz des Coefficienten selbst bei ein und der gleichen Holzart keine Rede sein. Derselbe ändert sich mit dem Zähigkeitsgrade des Materials; er ist desto kleiner (sinkt bis auf 0,5), je geringer der Arbeitswerth, je grösser der Grad der Sprödigkeit und Brüchigkeit ist; umgekehrt wächst der absolute Werth des Coefficienten mit zunehmender Zähigkeit des Materials und erreicht eine Grösse von 0,8—0,85; vergleiche Resultate der Biegungsfestigkeit S. 46—47. Da nun  $\eta$  auch für Holz des gleichen Stammes selbst näherungsweise nicht als constant angesehen werden kann, so ist auch weder die absolute Grösse des

Biegungspfeils, noch das Product aus Biegungspfeil und Bruchkraft zur Qualitätsbestimmung massgebend und bleibt somit nichts anderes übrig, als Fall für Fall den thatsächlichen Werth der Biegungsarbeit  $A$  in  $tn\ cm$  ausgedrückt der Beurtheilung zu Grunde zu legen.

Fassen wir das vorstehend Entwickelte zusammen, so kann man sagen, dass zur Beurtheilung des Werthverhältnisses der Bauhölzer unter sich sowie zur Vergleichung des Holzes aus verschiedenen Theilen des Stammes das Maass der Arbeitscapacität der Biegungsfestigkeit (stets unter Zugrundelegung einheitlicher Prüfungsobjecte) massgebend sei; sie stellt eine durch Festigkeit und gleichzeitige Zähigkeit bedingte Zahl dar, die unter sonst gleichen Umständen sich sowohl mit der Zähigkeit als andererseits mit der Festigkeit ändern kann. Ist das Holz spröde, brüchig d. h. elastisch, fest aber nicht zähebiegsam, so wird sein Arbeitswerth gering ausfallen; umgekehrt kann das Arbeitsvermögen erheblich werden, wenn das Material neben geringer Bruchfestigkeit grosse Zähigkeit und Biegsamkeit besitzt. Ein Maximum der Biegungsarbeit wird durch Vereinigung möglichst grosser Festigkeit und Zähigkeit resultiren; es erscheint daher die Grösse der Biegungsarbeit als wohlberechtigter Qualitätsmesser des Holzes.

Da nun für das Baugewerbe einerseits die Festigkeit, in gleichem Maasse andererseits die Leistungsfähigkeit des Holzes in Betracht fallen, so empfehlen wir die Qualitätsbestimmungen principiell auf Festsetzung

- 1) einer minimalen Biegungsfestigkeit, gleichzeitig
- 2) einer minimalen Arbeitscapacität der Biegungsfestigkeit zu basiren.

Zur Orientirung, namentlich um das Messungsverfahren bei Prüfung der verschiedenen Festigkeitsarten darzulegen, lassen wir ein vollständiges Protokoll folgen, wie solches in Form einer Ausfertigung den beteiligten Behörden und Verwaltungen übermittelt wird, und bemerken hiezu, dass sämtliche Zahlenwerthe den directen Beobachtungen entsprechen also uncorrectirt sind.

## Protokoll Nr. 3501.

**Lärche sign. A**

der Forstverwaltung des Cantons St. Gallen, Bezirksforstamt  
Sargans.

Nr. 1.

Geolog. Bezeichnung des Standortes: Tiefgründiger  
Lehm der Flyschformation.

Oertliche Lage des Standortes: Westabhang, Staatswald  
Valur.

Höhenlage des Standortes: 700 m über Meer.

Alter des Holzes: 70 Jahre.

Beschaffenheit: In der Jugend sehr weitingig mit wenig  
Herbstholz; später engringig mit relativ viel Herbstholz.

Scheinbare Dichte . . . . .  $\gamma = 0,65$

Volumengewicht . . . . .  $\delta = 0,64 \text{ tn pro cm}^3$ .

Zugfestigkeit.

Prüfungsobject: Prisma seitlich der Stamm-Mitte entnommen; vollkommen astfrei.

Querschnittsfläche  $F = b \cdot c = 2,31 \text{ cm}^2$ . Beobachtete Stablänge  $l = 4,8 \text{ cm}$ .

| №              | Belastung<br>in $tn$<br>$P$ | Spiegel links |                                        | Spiegel rechts |                                        | Summe der<br>Spiegel-<br>bewegungen<br>$\frac{1}{1000} \text{ cm}$ | Differenz | Bemerkungen                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|-----------------------------|---------------|----------------------------------------|----------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                             | Ableseung     | Bewegung<br>$\frac{1}{500} \text{ cm}$ | Ableseung      | Bewegung<br>$\frac{1}{500} \text{ cm}$ |                                                                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2              | $\frac{1}{16}$              | 17,00         |                                        | 25,00          |                                        |                                                                    |           | Faser links bildet das compacte dichte Holz eines Jahresringes. Faser rechts ist lockeres Frühjahrsholz.<br><br>pro $\frac{1}{16} \text{ tn} : 0,995$ .<br><br>Mittel : 0,97.<br><br>Muthm. Grenze.<br><br>Nicht scharf ausgespr.<br><br>Mittel : 1,01. |
|                | $\frac{3}{16}$              | 18,10         | 1,10                                   | 24,21          | 0,79                                   | 1,89                                                               | 1,89      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{1}{16}$              | 17,39         | +0,39                                  | 25,11          | -0,11                                  | +0,28                                                              | 1,90      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{3}{16}$              | 18,58         | 1,58                                   | 24,40          | 0,60                                   | 2,18                                                               | 1,99      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{1}{16}$              | 17,75         | +0,75                                  | 25,30          | -0,30                                  | +0,45                                                              | 1,99      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{3}{16}$              | 18,72         | 1,72                                   | 24,28          | 0,72                                   | 2,44                                                               | 1,99      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{4}{16}$              | 19,30         | 2,30                                   | 23,77          | 1,23                                   | 3,53                                                               | 1,03      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{5}{16}$              | 19,81         | 2,81                                   | 23,25          | 1,75                                   | 4,56                                                               | 0,85      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{6}{16}$              | 20,30         | 3,30                                   | 22,89          | 2,11                                   | 5,41                                                               | 1,09      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{7}{16}$              | 20,80         | 3,80                                   | 22,30          | 2,70                                   | 6,50                                                               | 0,93      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{8}{16}$              | 21,26         | 4,26                                   | 21,83          | 3,17                                   | 7,43                                                               | 0,93      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{9}{16}$              | 21,73         | 4,73                                   | 21,37          | 3,63                                   | 8,36                                                               | —         |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{10}{16}$             | 22,25         | 5,25                                   | 20,79          | 4,21                                   | 9,46                                                               | 1,10      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{11}{16}$             | 22,77         | 5,77                                   | 20,24          | 4,76                                   | 10,53                                                              | 1,07      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{12}{16}$             | 23,23         | 6,23                                   | 19,69          | 5,31                                   | 11,54                                                              | 1,01      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{13}{16}$             | 23,69         | 6,69                                   | 19,18          | 5,82                                   | 12,51                                                              | 0,97      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{14}{16}$             | 24,17         | 7,17                                   | 18,61          | 6,39                                   | 13,56                                                              | 1,05      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | $\frac{15}{16}$             | 24,61         | 7,61                                   | 18,01          | 6,99                                   | 14,60                                                              | 1,04      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                | 1,00                        | 25,25         | 8,25                                   | 17,41          | 7,59                                   | 15,84                                                              | 1,24      |                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $\frac{1}{16}$ |                             |               |                                        |                |                                        |                                                                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                         |

Elastische Dehnung pro  $\frac{1}{8} \text{ tn}$  . . . . .  $\Delta l = 0,001977 \text{ cm}$ .  
 Elasticitätsmodul . . . . .  $\epsilon = 131,5 \text{ tn pro cm}^2$ .  
 Grenzmodul . . . . .  $\gamma = 0,243 \text{ tn pro cm}^2$ .  
 Spec. Arbeit an der Elast.-Grenze . . . . .  $\alpha = 0,000217$ .  
 Zugfestigkeit . . . . .  $\beta = 0,758 \text{ tn pro cm}^2$ .

Zugfestigkeit.  
Zugrichtung parallel zur Faser.

| № | Belastung<br>in $tn$<br>P | Dimensionen<br>$cm$                                        |      | Querschnitt<br>$cm^2$<br>$F = b \cdot c$ | $\beta$<br>Zugfestigkeit<br>$tn$ pro $cm^2$ | Bemerkungen.                              |
|---|---------------------------|------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
|   |                           | $b$                                                        | $c$  |                                          |                                             |                                           |
| 3 |                           | Prüfungsobject: Prisma seitlich der Stamm-Mitte entnommen. |      |                                          |                                             |                                           |
|   | —                         | 3,31                                                       | 0,7  | 2,31                                     | —                                           | Langgestreckter, wenig splittriger Bruch. |
|   | 1,75                      | Zerrissen                                                  | —    | 0,750                                    | —                                           |                                           |
| 4 |                           | Prüfungsobject: Prisma seitlich der Stamm-Mitte entnommen. |      |                                          |                                             |                                           |
|   | —                         | 2,69                                                       | 0,65 | 1,75                                     | —                                           | Langgestreckter, wenig splittriger Bruch. |
|   | 1,87                      | Zerrissen                                                  | —    | 1,070                                    | —                                           |                                           |
| 5 |                           | Prüfungsobject: Prisma aus der Stamm-Mitte entnommen.      |      |                                          |                                             |                                           |
|   | —                         | 3,30                                                       | 0,67 | 2,21                                     | —                                           | Kurzzackiger Bruch.                       |
|   | 0,44                      | Zerrissen                                                  | —    | 0,199                                    | —                                           |                                           |

Resultate:

Zugfestigkeit für die Stamm-Mitte  $\beta_c = 0,199 \text{ tn pro } cm^2$ .  
 Zugfestigkeit f. d. reife Holz seidl. d. Mitte  $\beta_s = 0,914 \text{ " " "}$   
 Mittlere Zugfestigkeit  $\beta_m = 0,676 \text{ " " "}$

Druckfestigkeit.  
Druckrichtung parallel zur Faser.

| №                                                                                     | Belastung<br>in $tn$<br>P                                           | Dimensionen in $cm$   |     |      | Querschnitt<br>in $cm^2$<br>$F = b \cdot c$ | $\beta$ Druck-<br>festigkeit<br>$tn$ pro $cm^2$ | Bemerkungen. |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----|------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------|
|                                                                                       |                                                                     | $b$                   | $c$ | $h$  |                                             |                                                 |              |
| 6                                                                                     | Prüfungsobject: Würfel aus der Stamm-Mitte.                         |                       |     |      |                                             |                                                 |              |
|                                                                                       | —                                                                   | 9,9                   | 9,9 | 10,0 | 98,0                                        | —                                               |              |
|                                                                                       | 27,5                                                                | Beginn der Zerstörung |     |      |                                             | 0,281                                           |              |
| 7                                                                                     | Prüfungsobject: Würfel aus reifem Holz seitlich<br>der Stamm-Mitte. |                       |     |      |                                             |                                                 |              |
|                                                                                       | —                                                                   | 9,7                   | 9,9 | 10,0 | 96,0                                        | —                                               |              |
|                                                                                       | 37,75                                                               | Beginn der Zerstörung |     |      |                                             | 0,393                                           |              |
| 8                                                                                     | Prüfungsobject: Würfel aus reifem Holz seitlich<br>der Stamm-Mitte. |                       |     |      |                                             |                                                 |              |
|                                                                                       | —                                                                   | 9,8                   | 9,9 | 10,0 | 97,0                                        | —                                               |              |
|                                                                                       | 42,5                                                                | Beginn der Zerstörung |     |      |                                             | 0,438                                           |              |
| Die Zerstörung der Probekörper besteht in localem Ineinander-<br>schieben der Fasern. |                                                                     |                       |     |      |                                             |                                                 |              |

Druckfestigkeit für die Stamm-Mitte  $\beta_c = 0,281 \text{ tn pro } cm^2.$   
 Druckfestigkeit f. d. reife Holz seidl. d. Mitte  $\beta_s = 0,416 \text{ „ „ „}$   
 Mittlere Druckfestigkeit  $\beta_m = 0,371 \text{ „ „ „}$

## Druckfestigkeit.

Prüfungsobject: Aus reifem Holz seitlich der Stamm-Mitte entnommen.

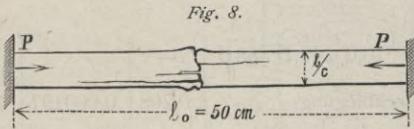
Querschnittsfläche:  $F = b \cdot c = 9,88 \times 9,88 = 97,6$ .

Totale Prismenlänge:  $l_0 = 50,0$ ; beobachtete Prismenlänge  $l = 20,0$  cm.

| № | Belastung<br>in $tn$<br>P | Spiegel links |                                | Spiegel rechts |                                | Summe der<br>Spiegel-<br>bewegungen<br>$\frac{1}{1000}$ cm | Differenz                          | Bemerkungen.                                        |
|---|---------------------------|---------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|   |                           | Ableseung     | Bewegung<br>$\frac{1}{500}$ cm | Ableseung      | Bewegung<br>$\frac{1}{500}$ cm |                                                            |                                    |                                                     |
| 9 | 0,5                       | 30,00         |                                | 13,00          |                                |                                                            |                                    |                                                     |
|   | 5,5                       | 25,23         | 4,77                           | 16,76          | 3,76                           | 8,53                                                       | } Mittel: 8,50.<br>pro 1 tn: 1,70. |                                                     |
|   | —                         |               |                                |                |                                | —                                                          |                                    |                                                     |
|   | 0,5                       | 30,00         | 0,00                           | 13,00          | 0,00                           | 0,00                                                       | 8,47                               |                                                     |
|   | 5,5                       | 25,24         | 4,76                           | 16,71          | 3,71                           | 8,47                                                       | 1,55                               | } Mittel: 1,585.                                    |
|   | 6,5                       | 24,49         | 5,51                           | 17,51          | 4,51                           | 10,02                                                      | 1,62                               |                                                     |
|   | 7,5                       | 23,71         | 6,29                           | 18,35          | 5,35                           | 11,64                                                      | 1,58                               | } Mittel: 1,590.                                    |
|   | 8,5                       | 22,97         | 7,03                           | 19,19          | 6,19                           | 14,22                                                      | 1,60                               |                                                     |
|   | 9,5                       | 22,20         | 7,80                           | 20,02          | 7,02                           | 14,82                                                      | 1,57                               |                                                     |
|   | 10,5                      | 21,50         | 8,50                           | 20,89          | 7,89                           | 16,39                                                      | 1,56                               |                                                     |
|   | 11,5                      | 20,78         | 9,22                           | 21,73          | 8,73                           | 17,95                                                      | 1,63                               |                                                     |
|   | 12,5                      | 20,02         | 9,98                           | 22,60          | 9,60                           | 19,58                                                      | 1,59                               | } Mittel: 1,60.                                     |
|   | 13,5                      | 19,30         | 10,70                          | 23,47          | 10,47                          | 21,17                                                      | 1,61                               |                                                     |
|   | 14,5                      | 18,56         | 11,44                          | 24,34          | 11,34                          | 22,78                                                      | —                                  | } Proportionalitäts- resp.<br>Electricitäts-Grenze. |
|   | 15,5                      | 17,80         | 12,20                          | 25,21          | 12,21                          | 24,41                                                      | 1,63                               |                                                     |
|   | 16,5                      | 17,07         | 12,93                          | 26,12          | 13,12                          | 26,05                                                      | 1,64                               |                                                     |
|   | 17,5                      | 16,30         | 13,70                          | 27,03          | 14,03                          | 27,73                                                      | 1,68                               |                                                     |
|   | 18,5                      | 15,55         | 14,45                          | 27,95          | 14,95                          | 29,40                                                      | 1,67                               |                                                     |
|   | 19,5                      | 14,80         | 15,20                          | 28,89          | 15,89                          | 31,09                                                      | 1,69                               |                                                     |

| № | Belastung<br>in <i>tn</i><br><i>P</i> | Spiegel links |                                       | Spiegel rechts |                                       | Summe der<br>Spiegel-<br>bewegungen<br>$\frac{1}{1000}$ <i>cm</i> | Differenz | Bemerkungen |
|---|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|
|   |                                       | Ableseung     | Bewegung<br>$\frac{1}{500}$ <i>cm</i> | Ableseung      | Bewegung<br>$\frac{1}{500}$ <i>cm</i> |                                                                   |           |             |
| 9 | 19,5                                  | 14,80         | 15,20                                 | 28,89          | 15,89                                 | 31,09                                                             | 1,66      |             |
|   | 20,5                                  | 14,05         | 15,95                                 | 29,80          | 16,80                                 | 32,75                                                             |           |             |
|   | 0,5                                   | 29,80         | +0,20                                 | 13,20          | +0,20                                 | +0,40                                                             |           |             |

Bei 37,50 *tn* Belastung beginnt die Zerstörung durch Ineinanderschieben der Fasern in der Nähe der Stab-Mitte; das Holz spaltet in der Längsrichtung und nimmt schliesslich folgende Form an:



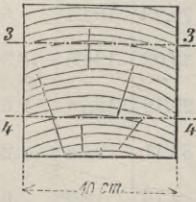
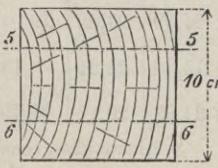
- Elastische Verkürzung des Prisma's  
pro 1 *tn* Belastung . . . . .  $\Delta l = 0,001625$  *cm*.
- Elasticitätsmodul . . . . .  $\epsilon = 126,0$  *tn pro cm<sup>2</sup>*.
- Grenzmodul . . . . .  $\gamma = 0,148$  *tn pro cm<sup>2</sup>*.
- Druckfestigkeit . . . . .  $\beta = 0,384$  *tn pro cm<sup>2</sup>*.
- Spec. Arbeit an der Elast.-Grenze . . . . .  $\alpha = 0,0000875$ .

## Knickungsfestigkeit.

Prüfungsobjecte: Prismatische Stäbe aus dem reifen Holz seitlich der Stamm-Mitte herausgeschnitten.

| №  | Belastung<br>in $tn$<br>$P$ | Dimensionen<br>in $cm$                                                                                                                                                                                                                                 |      |       | Querschnitts-<br>fläche<br>$F = bc$ | $\rho = \frac{P}{F}$ | Excentrici-<br>tätts-<br>Constante<br>$\eta$ | Knickungs-<br>Coefficient<br>$n$ | Bemerkungen        |
|----|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|
|    |                             | $b$                                                                                                                                                                                                                                                    | $c$  | $l$   |                                     |                      |                                              |                                  |                    |
| 10 | —<br>37,50                  | 9,98                                                                                                                                                                                                                                                   | 9,88 | 50,0  | 97,6                                | —<br>0,384           | —                                            | —                                |                    |
|    |                             | Keine Durchbiegung                                                                                                                                                                                                                                     |      |       |                                     |                      |                                              |                                  |                    |
|    |                             | Bei 37,5 $tn$ Belastung beginnt die Zerstörung des Materials durch Ineinanderschieben der Fasern in Nähe der Stabmitte.                                                                                                                                |      |       |                                     |                      |                                              |                                  |                    |
| 11 | —<br>31,25                  | 9,9                                                                                                                                                                                                                                                    | 9,9  | 99,9  | 98,0                                | —<br>0,319           |                                              |                                  | Astiges Holz.      |
|    |                             | Durchbiegung                                                                                                                                                                                                                                           |      |       |                                     |                      | 0,000249                                     | 1,304                            |                    |
|    |                             | Bei 31,25 $tn$ findet eine geringe Durchbiegung statt. Die Zerstörung des Materials erfolgt durch Ineinanderschieben der Fasern der comprimierten, durch Astknoten geschwächten Seite. Der zerstörte Querschnitt liegt ca. im Drittel der Balkenlänge. |      |       |                                     |                      |                                              |                                  |                    |
| 12 | —<br>26,25                  | 9,8                                                                                                                                                                                                                                                    | 10,0 | 149,7 | 98,0                                | —<br>0,268           |                                              |                                  | Astiges Holz.      |
|    |                             | Durchbiegung                                                                                                                                                                                                                                           |      |       |                                     |                      | 0,000197                                     | 1,552                            |                    |
|    |                             | Bei 26 $\frac{1}{4}$ $tn$ Belastung beginnt die Durchbiegung des Balkens; derselbe nimmt angenähert die Form der Sinuslinie an. Die Zerstörung des Materials erfolgt durch Ineinanderpressen der Fasern in der Balkenmitte und ca. im Drittel.         |      |       |                                     |                      |                                              |                                  |                    |
| 13 | —<br>24,75                  | 9,8                                                                                                                                                                                                                                                    | 10,0 | 200,0 | 98,0                                | —<br>0,252           |                                              |                                  | Kleiner Astknoten. |
|    |                             | Durchbiegung                                                                                                                                                                                                                                           |      |       |                                     |                      | 0,000130                                     | 1,651                            |                    |
|    |                             | Bei 24 $\frac{3}{4}$ $tn$ Belastung beginnt die Durchbiegung und unmittelbar darauf die Zerstörung nahe der Balkenmitte. Deformation ähnlich wie bei No. 10.                                                                                           |      |       |                                     |                      |                                              |                                  |                    |

Scherfestigkeit.  
Krafrichtung parallel zur Faser.

| №            | Belastung<br>in <i>tn</i><br><b>P</b>                    | Dimensionen<br>in <i>cm</i> <sup>2</sup> |           | Scherfläche<br>in <i>cm</i> <sup>2</sup><br><b>F = b c</b> | Scher-<br>festigkeit<br><b>σ</b> in <i>tn</i> pro <i>cm</i> <sup>2</sup> | Bemerkungen                                                                                                                    |
|--------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              |                                                          | <i>b</i>                                 | <i>c</i>  |                                                            |                                                                          |                                                                                                                                |
| 14           | Prüfungsobject: Aus der Stamm-Mitte.                     |                                          |           |                                                            |                                                                          |                                                                                                                                |
|              | 0,00<br>4,12                                             | 9,80<br>Abscheren                        | 5,15      | 50,4<br>—                                                  | 0,082                                                                    |  <p style="text-align: right;">Fig. 9.</p>    |
|              | 0,00<br>3,75                                             | 9,84<br>Abscheren                        | 5,12      | 50,4<br>—                                                  | 0,074                                                                    |                                                                                                                                |
| 15           | Prüfungsobject: Seitlich der Stamm-Mitte. (Seitenstück.) |                                          |           |                                                            |                                                                          |                                                                                                                                |
|              | 0,00<br>4,25                                             | 9,84<br>Abscheren                        | 5,08      | 50,00<br>—                                                 | 0,085                                                                    |  <p style="text-align: right;">Fig. 10.</p>  |
|              | 0,00                                                     | 9,83                                     | 5,05      | 49,6                                                       | —                                                                        |                                                                                                                                |
| 16           | Prüfungsobject: Seitlich der Stamm-Mitte. (Seitenstück.) |                                          |           |                                                            |                                                                          |                                                                                                                                |
|              | 4,25                                                     | Abscheren                                | —         | —                                                          | 0,086                                                                    |  <p style="text-align: right;">Fig. 11.</p> |
| 0,00<br>3,38 | 10,0<br>Abscheren                                        | 5,17                                     | 51,7<br>— | 0,065                                                      |                                                                          |                                                                                                                                |
| 4,80         | 9,96<br>Abscheren                                        | 5,17                                     | 51,5      | 0,087                                                      |                                                                          |                                                                                                                                |

Scherfestigkeit für die Stamm-Mitte . . . . .  $\sigma_c = 0,078$  *tn* pro *cm*<sup>2</sup>.  
 Scherfestigkeit für das reife Holz, seitlich der Mitte  $\sigma_s = 0,081$  *tn* pro *cm*<sup>2</sup>.  
 Mittlere Scherfestigkeit . . . . .  $\sigma_m = 0,079$  *tn* pro *cm*<sup>2</sup>.

## Biegungsfestigkeit.

Kraftwirkung durch eine concentrirte Einzellast auf die Balkenmitte.

Prüfungsobject: Aus der Stamm-Mitte. Reich an kleinen Astknoten. Trockenrissig.

Inhalt des gefährlichen Querschnitts  $F = b \cdot c = 96,22 \text{ cm}^2$ .Trägheitsmoment  $J = 792,2 \text{ cm}^4$ .Totale Prismenlänge  $l_0 = 160,0 \text{ cm}$ ; Stützweite  $l = 150,0 \text{ cm}$ .

Wassergehalt = 10,6 %.

| N <sup>o</sup> | Belastung<br>in $tn$ | Mittlerer<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Rechter<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Linker<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Summe der<br>Seitenzeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | $\frac{1}{2}$ Summe der<br>Seitenzeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Durch-<br>biegung $f$<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Differenz<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Bemerkungen.                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------|----------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 17             | $\frac{2}{8} tn$     | 34,00                                            | 18,00                                          | 18,00                                         |                                                        |                                                                      |                                                    |                                        | Versuchsstück<br>hat sich wind-<br>schief gezogen.<br><br>Kracht!<br>Die grossen<br>Veränderungen<br>der S.-Zeiger<br>rühren vom<br>Schliessen der<br>Trockenrisse<br>her.<br><br>Wahrscheinliche<br>Elasticitäts-<br>Grenze. |
|                | $\frac{3}{8}$        | 32,40                                            | ,53                                            | ,31                                           | 0,84                                                   | 0,42                                                                 | 1,18                                               | 1,12                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{4}{8}$        | 30,86                                            | 19,20                                          | ,48                                           | 1,68                                                   | 0,84                                                                 | 2,30                                               | 1,34                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{5}{8}$        | 29,23                                            | 19,64                                          | ,62                                           | 2,26                                                   | 1,13                                                                 | 3,64                                               |                                        |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{2}{8}$        | 33,02                                            | 19,25                                          | 18,30                                         | 1,55                                                   | 0,77                                                                 | +0,21                                              |                                        |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{5}{8}$        | 29,19                                            | 19,74                                          | ,62                                           | 2,36                                                   | 1,18                                                                 | 3,63                                               |                                        |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{2}{8}$        | 33,11                                            | 19,32                                          | ,28                                           | 1,60                                                   | 0,80                                                                 | +0,09                                              |                                        |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{5}{8}$        | 29,16                                            | ,80                                            | ,61                                           | 2,41                                                   | 1,20                                                                 | 3,64                                               | 1,10                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{6}{8}$        | 27,76                                            | 20,30                                          | ,70                                           | 3,00                                                   | 1,50                                                                 | 4,74                                               | 1,33                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{7}{8}$        | 26,34                                            | 20,40                                          | ,78                                           | 3,18                                                   | 1,59                                                                 | 6,07                                               | 1,36                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | 1,00                 | 24,85                                            | 20,58                                          | ,87                                           | 3,45                                                   | 1,72                                                                 | 7,43                                               | 1,53                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{1}{8}$        | 23,15                                            | 20,83                                          | ,96                                           | 3,79                                                   | 1,89                                                                 | 8,96                                               | 1,42                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{1^2}{8}$      | 21,59                                            | 21,02                                          | 19,04                                         | 4,06                                                   | 2,03                                                                 | 10,38                                              | 1,56                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{1^3}{8}$      | 19,88                                            | 21,21                                          | ,13                                           | 4,34                                                   | 2,17                                                                 | 11,94                                              |                                        |                                                                                                                                                                                                                               |
|                | $\frac{2}{8}$        | 31,63                                            | 20,17                                          | 18,49                                         | 2,66                                                   | 1,33                                                                 | +1,04                                              |                                        |                                                                                                                                                                                                                               |

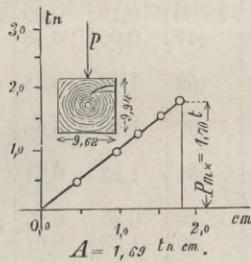
Elasticitätsgrenze überschritten.

Elemente des Biegungsdiagramms.

| Belastung<br>$P \text{ tn}$ | Durchbiegung<br>$f \text{ cm}$                         | Differenz<br>$\Delta f$ |        |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| 0,00                        | —                                                      | —                       |        |
| 0,50                        | 0,46                                                   | 0,52                    |        |
| 1,00                        | 0,98                                                   | 0,28                    | (0,56) |
| ,25                         | 1,26                                                   | 0,29                    | (0,58) |
| ,50                         | 1,55                                                   |                         |        |
| ,75                         | 1,80 nicht mehr getragen.                              |                         |        |
| 1,70 tn.                    | Bruch. Der Balken ist auf halbe Stärke durchgebrochen. |                         |        |

Diagramm der Biegsarbeit.

Fig. 12.



- Elast. Durchbiegung pro 0,125 tn . . .  $f_0 = 0,1160 \text{ cm.}$
- Elastizitätsmodul . . . . .  $\epsilon = 95,63 \text{ tn pro cm}^2.$
- Durchbiegung an der Elastizitätsgrenze  $f_1 = 0,696 \text{ cm.}$
- Grenzmodul . . . . .  $\gamma = 0,176 \text{ tn pro cm}^2.$
- Durchbiegung beim Bruch . . . . .  $f_2 = 1,80 \text{ cm.}$
- Biegsfestigkeit (Bruchmodul) . . .  $\beta = 0,400 \text{ tn pro cm}^2.$
- Arbeitscapazität bei Biegung bis z. Bruch  $A = 1,687 \text{ tn cm.}$
- Coefficient des Biegsdiagramms  $\eta = 0,55.$

## Biegungsfestigkeit.

Kraftwirkung durch eine concentrirte Einzellast auf die Balkenmitte.

Prüfungsobject: Seitenstück mit zahlreichen kleinen Astknoten auf der gedrückten Seite.

Inhalt des gefährlichen Querschnitts  $F = b \cdot c = 97,71 \text{ cm}^2$ .

Trägheitsmoment  $J = 801,3 \text{ cm}^4$ .

Totale Prismenlänge  $l_0 = 159,9 \text{ cm}$ ; Stützweite  $l = 150,0 \text{ cm}$ .

Wassergehalt = 12,4 %.

| Nö. | Belastung<br>in $tn$ | Mittlerer<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Rechter<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Linker<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Summe der<br>Seitenzeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | $\frac{1}{2}$ Summe der<br>Seitenzeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Durch-<br>biegung $f$<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Differenz<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Bemerkungen.                  |
|-----|----------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|
| 18  | $\frac{2}{8}$        | 34,00                                            | 18,00                                          | 18,00                                         |                                                        |                                                                      |                                                    | 0,89                                   | Mittel: 0,92.                 |
|     | $\frac{3}{8}$        | 32,93                                            | ,15                                            | ,21                                           | 0,36                                                   | 0,18                                                                 | 0,89                                               | 0,96                                   |                               |
|     | $\frac{4}{8}$        | 31,81                                            | ,31                                            | ,37                                           | 0,68                                                   | 0,34                                                                 | 1,85                                               | 0,92                                   |                               |
|     | $\frac{5}{8}$        | 30,79                                            | ,42                                            | ,46                                           | 0,88                                                   | 0,44                                                                 | 2,77                                               |                                        |                               |
|     | $\frac{2}{8}$        | 33,87                                            | 18,14                                          | 18,05                                         | 0,19                                                   | 0,09                                                                 | +0,04                                              |                                        |                               |
|     | $\frac{5}{8}$        | 30,73                                            | ,43                                            | ,47                                           | 0,90                                                   | 0,45                                                                 | 2,82                                               | 0,88                                   |                               |
|     | $\frac{6}{8}$        | 29,79                                            | ,50                                            | ,52                                           | 1,02                                                   | 0,51                                                                 | 3,70                                               | 0,94                                   |                               |
|     | $\frac{7}{8}$        | 28,80                                            | ,56                                            | ,57                                           | 1,13                                                   | 0,56                                                                 | 4,64                                               | 0,94                                   |                               |
|     | 1,0                  | 27,81                                            | ,62                                            | ,61                                           | 1,23                                                   | 0,61                                                                 | 5,58                                               |                                        |                               |
|     | $\frac{2}{8}$        | 33,68                                            | 18,23                                          | 18,12                                         | 0,35                                                   | 0,17                                                                 | +0,15                                              |                                        |                               |
|     | 1,00                 | 27,82                                            | ,63                                            | ,60                                           | 1,23                                                   | 0,61                                                                 | 5,57                                               | 0,90                                   |                               |
|     | $\frac{11}{8}$       | 26,88                                            | ,68                                            | ,63                                           | 1,31                                                   | 0,65                                                                 | 6,47                                               | —                                      | Elast. Grenze.                |
|     | $\frac{12}{8}$       | 25,85                                            | ,73                                            | ,66                                           | 1,39                                                   | 0,69                                                                 | 7,46                                               | 0,99                                   |                               |
|     | $\frac{13}{8}$       | 24,88                                            | ,79                                            | ,68                                           | 1,47                                                   | 0,73                                                                 | 8,49                                               | 1,03                                   | Mittel: $\frac{0,98}{0,99}$ . |
|     | $\frac{14}{8}$       | 23,80                                            | ,83                                            | ,72                                           | 1,55                                                   | 0,77                                                                 | 9,43                                               | 0,94                                   |                               |
|     | $\frac{15}{8}$       | 22,66                                            | ,90                                            | ,75                                           | 1,65                                                   | 0,82                                                                 | 10,52                                              | 1,09                                   |                               |
|     | $\frac{16}{8}$       | 21,60                                            | ,93                                            | ,78                                           | 1,71                                                   | 0,85                                                                 | 11,65                                              | 1,13                                   |                               |
|     | $\frac{17}{8}$       | 20,36                                            | 18,97                                          | 18,82                                         | 1,79                                                   | 0,89                                                                 | 12,75                                              | 1,10                                   |                               |
|     | $\frac{2}{8}$        | 32,94                                            | 18,41                                          | 18,23                                         | 0,64                                                   | 0,32                                                                 | +0,74                                              |                                        |                               |

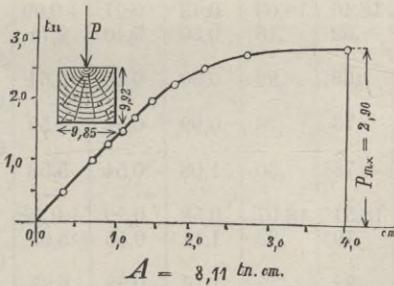
Elasticitäts- & Proportionalitätsgrenze ist überschritten.

Elemente des Biegediagramms.

| Belastung<br>$P$ <i>tn</i> | Durchbiegung<br>$f$ <i>cm</i> | Differenz<br>$\Delta f$ |                                          |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| 0,00                       | —                             | —                       |                                          |
|                            |                               | 0,36                    |                                          |
| 0,50                       | 0,36                          | 0,39                    |                                          |
| 1,00                       | 0,75                          | 0,19                    | (0,36)                                   |
| ,25                        | 0,94                          | 0,19                    | (0,36)                                   |
| ,50                        | 1,13                          | 0,19                    | (0,36)                                   |
| ,75                        | 1,32                          | 0,20                    | (0,40)                                   |
| 2,00                       | 1,52                          | 0,26                    | (0,52)                                   |
| ,25                        | 1,78                          | 0,37                    | (0,74)                                   |
| ,50                        | 2,15                          | 0,60                    | (1,20)                                   |
| ,75                        | 2,75                          |                         |                                          |
| 2,90                       | 4,00                          |                         | Plötzlicher Bruch der gespannten Fasern. |

Diagramm der Biegsarbeit.

Fig. 13.



- Elast. Durchbiegung pro 0,125 *tn* .  $f_0 = 0,0903 \text{ cm.}$
- Elastizitätsmodul . . . . .  $\epsilon = 121,42 \text{ tn pro cm}^2.$
- Durchbiegung an der Elastizitätsgrenze  $f_1 = 0,813 \text{ cm.}$
- Grenzmodul . . . . .  $\gamma = 0,261 \text{ tn pro cm}^2.$
- Durchbiegung beim Bruch . . . . .  $f_2 = 4,00 \text{ cm.}$
- Biegsfestigkeit (Bruchmodul) . .  $\beta = 0,673 \text{ tn pro cm}^2.$
- Arbeitscapazität bei Biegung bis z. Bruch  $A = 8,109 \text{ tn cm.}$
- Coefficient des Biegediagramms  $\eta = 0,70.$

## Biegungsfestigkeit.

Kraftwirkung durch eine concentrirte Einzellast auf die Balkenmitte.

Prüfungsobject: Seitenstücke, mit zahlreichen kleinen Astknoten auf der gedrückten Seite.

Inhalt des gefährlichen Querschnitts  $F = b \cdot c = 97,71 \text{ cm}^2$ .

Trägheitsmoment  $J = 798,1 \text{ cm}^4$ .

Totale Prismenlänge  $l_0 = 159,9 \text{ cm}$ ; Stützweite  $l = 150,0 \text{ cm}$ .

Wassergehalt = 11,0 %.

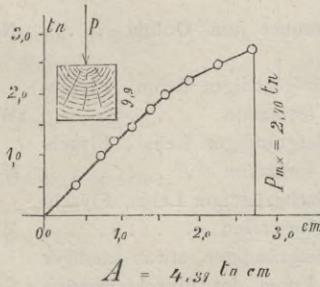
| N <sup>o</sup> . | Belastung<br>in $\frac{kg}{cm^2}$ | Mittlerer<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Rechter<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Linker<br>Zeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Summe der<br>Seitenzeiger<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | $\frac{1}{2}$ Summe der<br>Seitenzeiger<br>$\frac{1}{40} \text{ cm}$ | Durch-<br>biegung $f$<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Differenz<br>$\frac{1}{10} \text{ cm}$ | Bemerkungen.                     |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| 19               | $\frac{2}{8}$                     | 34,00                                            | 18,00                                          | 18,00                                         |                                                        |                                                                      |                                                    | 0,92                                   |                                  |
|                  | $\frac{3}{8}$                     | 32,91                                            | 18,27                                          | ,07                                           | 0,34                                                   | 0,17                                                                 | 0,92                                               | 0,94                                   |                                  |
|                  | $\frac{4}{8}$                     | 31,83                                            | 18,50                                          | ,13                                           | 0,63                                                   | 0,31                                                                 | 1,86                                               | 0,93                                   |                                  |
|                  | $\frac{5}{8}$                     | 30,85                                            | ,61                                            | ,16                                           | 0,77                                                   | 0,38                                                                 | 2,77                                               |                                        |                                  |
|                  | $\frac{2}{8}$                     | 33,70                                            | 18,40                                          | 18,03                                         | 0,43                                                   | 0,21                                                                 | +0,09                                              |                                        |                                  |
|                  | $\frac{5}{8}$                     | 30,89                                            | ,62                                            | ,18                                           | 0,80                                                   | 0,40                                                                 | 2,71                                               | 0,93                                   |                                  |
|                  | $\frac{6}{8}$                     | 29,91                                            | ,68                                            | ,22                                           | 0,90                                                   | 0,45                                                                 | 3,64                                               | 0,95                                   |                                  |
|                  | $\frac{7}{8}$                     | 28,92                                            | ,73                                            | ,26                                           | 0,99                                                   | 0,49                                                                 | 4,59                                               | 0,99                                   | Muthmassliche<br>Electr.-Grenze. |
|                  | 1,00                              | 27,88                                            | ,78                                            | ,30                                           | 1,08                                                   | 0,54                                                                 | 5,58                                               |                                        |                                  |
|                  | $\frac{2}{8}$                     | 33,39                                            | 18,51                                          | 18,07                                         | 0,58                                                   | 0,29                                                                 | +0,32                                              |                                        |                                  |
|                  | 1,00                              | 27,76                                            | ,79                                            | ,32                                           | 1,11                                                   | 0,55                                                                 | 5,69                                               | 0,98                                   |                                  |
|                  | $1\frac{1}{8}$                    | 26,75                                            | ,82                                            | ,35                                           | 1,17                                                   | 0,58                                                                 | 6,67                                               | 1,03                                   |                                  |
|                  | $1\frac{2}{8}$                    | 25,67                                            | ,87                                            | ,39                                           | 1,26                                                   | 0,63                                                                 | 7,70                                               | 1,08                                   |                                  |
|                  | $1\frac{3}{8}$                    | 24,55                                            | ,91                                            | ,44                                           | 1,35                                                   | 0,67                                                                 | 8,78                                               | 1,08                                   |                                  |
|                  | $1\frac{4}{8}$                    | 23,44                                            | ,94                                            | ,47                                           | 1,41                                                   | 0,70                                                                 | 9,86                                               | 1,18                                   |                                  |
|                  | $1\frac{5}{8}$                    | 22,21                                            | ,98                                            | ,52                                           | 1,50                                                   | 0,75                                                                 | 11,04                                              | 1,19                                   |                                  |
|                  | $1\frac{6}{8}$                    | 20,99                                            | 19,02                                          | ,55                                           | 1,57                                                   | 0,78                                                                 | 12,23                                              |                                        |                                  |
|                  | $\frac{2}{8}$                     | 32,51                                            | 18,60                                          | 18,17                                         | 0,77                                                   | 0,38                                                                 | +1,11                                              |                                        | Ueberschritten.                  |

Elemente des Biegungsdiagramms.

| Belastung<br>$P \text{ tn}$ | Durchbiegung<br>$f \text{ cm}$           | Differenz<br>$\Delta f$ |               |
|-----------------------------|------------------------------------------|-------------------------|---------------|
| 0,00                        | —                                        | —                       |               |
|                             |                                          | 0,37                    |               |
| 0,50                        | 0,37                                     | 0,38                    |               |
| 1,00                        | 0,75                                     | 0,19                    | (0,38)        |
| ,25                         | 0,94                                     | 0,20                    | (0,40)        |
| ,50                         | 1,14                                     | 0,20                    | (0,40)        |
| ,75                         | 1,34                                     | 0,22                    | (0,44)        |
| 2,00                        | 1,56                                     | 0,30                    | (0,60)        |
| ,25                         | 1,86                                     | 0,42                    | (0,84) kraft. |
| ,50                         | 2,28                                     |                         | "             |
| ,75                         | (2,75) nicht mehr getragen.              |                         |               |
| 2,70                        | plötzlicher Bruch der gespannten Fasern. |                         |               |

Diagramm der Biegsarbeit.

Fig. 14.



- Elast. Durchbiegung pro 0,125 tn . . .  $f_0 = 0,090 \text{ cm.}$
- Elastizitätsmodul . . . . .  $\epsilon = 122,36 \text{ tn pro cm}^2.$
- Durchbiegung an der Elastizitätsgrenze  $f_1 = 0,630 \text{ cm.}$
- Grenzmodul . . . . .  $\gamma = 0,203 \text{ tn pro cm}^2.$
- Durchbiegung beim Bruch . . . . .  $f_2 = 2,75 \text{ cm.}$
- Biegsfestigkeit (Bruchmodul) . . .  $\beta = 0,628 \text{ tn pro cm}^2.$
- Arbeitscapazität bei Biegung bis z. Bruch  $A = 4,375 \text{ tn cm.}$
- Coefficient des Biegsdiagramms  $\eta = 0,59.$

## Zusammenstellung

Mit Ausnahme der Hölzer von Graubünden, welche wegen Unzulänglichkeit der Prüfung unterzogenen Stämme pro-

| No.                       | Einsender:      | Bezeichnung des Standortes:                            | Oertl. Lage: | Höhenlage: | Alter:    |
|---------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------|--------------|------------|-----------|
| <b>Föhre</b> (Kiefer,     |                 |                                                        |              |            |           |
|                           | Forstverwaltung |                                                        |              |            |           |
| 1.                        | Ct. Aargau      | Brauner Jura, Oolith . . .                             | N-O-Hang     | 530 m      | 85 Jahre  |
| 2.                        | Stadt Zürich    | Süsswasser-Molasse . . . .                             | S-Hang       | 560 "      | 82 "      |
| <b>Rothtanne</b> (Fichte, |                 |                                                        |              |            |           |
| 1.                        | Ct. Bern        | Oberer Jura, lehmiger Kalkboden . . . . .              | N-Hang       | 900 m      | 125 Jahre |
| 2.                        | " "             | Oberer Jura, steiniger Kalkboden . . . . .             | S-Hang       | 830 "      | 116 "     |
| 13.                       | Stadt Zürich    | Süsswasser-Molasse . . . .                             | N-Hang       | 540 "      | 95 "      |
| 4.                        | Ct. Aargau      | Brauner Jura, Oolith . . .                             | N-O-Hang     | 520 "      | 95 "      |
| 5.                        | Ct. St. Gallen  | Tiefgründiger Lehm, Flyschformation . . . . .          | W-Hang       | 950 "      | 80 "      |
| 6.                        | " "             | Tiefgründiger Lehm, Flyschformation . . . . .          | N-Hang       | 1200 "     | 75 "      |
| 7.                        | " "             | Flachgründiger Lehm, Flyschformation . . . . .         | W-Hang       | 1400 "     | 80 "      |
| 8.                        | " "             | Tiefgründiger, etwas sandiger Lehm der Flyschformation | S-O-Hang     | 1500 "     | 95 "      |
| 9.                        | Ct. Graubünden  | Thonschiefer . . . . .                                 | N-Hang       | 1400 "     | 120 "     |
| 10.                       | " "             | Gneissboden . . . . .                                  | S-Hang       | 1300 "     | 95 "      |
| 1.*)                      | " "             | Humusarmer Granitboden .                               | N-W-Hang     | 1440 "     | 195 "     |

\*) Ausnahmsweise im Januar geschlagen.

## der Resultate.

gänglichkeit des Gebirges im März 1883 geschlagen wurden, sind grammgemäss in der zweiten Hälfte des December 1882 gefällt.

| Beschaffenheit des Holzes (nach Prof. Bühler):                                                | Scheinb. Dichte: | Volumengewicht: | Feuchtigkeitsgrad: *) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| pinus sylvestris).                                                                            |                  |                 |                       |
| In der Jugend weitringig, wenig H-holz**), später engringiger mit viel H-holz . . . . .       | 0,70             | 0,600           | 14,1—20,1 %           |
| In der Jugend weitringig; gleichmässig; später engringiger mit ziemlich viel H-holz . . . . . | 0,57             | —               | circa 25 %            |
| Summa:                                                                                        | 1,27             | —               |                       |
| Mittel:                                                                                       | 0,63             | —               |                       |
| abies excelsa).                                                                               |                  |                 |                       |
| In der Jugend sehr weitringig mit wenig H-holz                                                | 0,46             | 0,416           | 11,8—13,6 %           |
| Gleichmässig engringiger mit viel H-holz . .                                                  | 0,47             | 0,433           | 11,1—11,6 %           |
| In der Jugend weitringig mit mässig H-holz, später engringiger . . . . .                      | 0,51             | —               | circa 25 %            |
| In der Jugend weitringig mit wenig H-holz, später engringiger mit mehr H-holz . . .           | 0,58             | 0,485           | 12,5—13,0 %           |
| Weitringig, wenig H-holz, ziemlich gleichmässig . . . . .                                     | 0,49             | 0,411           | 13,4—13,8 %           |
| Weitringig, sehr wenig H-holz, ziemlich gleichmässig . . . . .                                | 0,51             | 0,370           | 13,7—16,3 %           |
| Gleichmässig, weitringig, wenig H-holz . .                                                    | 0,43             | 0,410           | 13,8—14,8 %           |
| Weitringig, in der Jugend engringiger, ziemlich gleichmässig . . . . .                        | 0,60             | 0,400           | 13,8—14,6 %           |
| Sehr engringiger und gleichmässig mit relativ viel H-holz . . . . .                           | 0,50             | 0,430           | 13,6—15,1 %           |
| In der Jugend ziemlich weitringig, später enger mit relativ wenig H-holz . . . . .            | 0,50             | 0,400           | 14,6—15,7 %           |
| Sehr engringiger, einseitig breitringiger, mit relativ viel H-holz . . . . .                  | 0,56             | 0,444           | 18,8—21,1 %           |
| Summa:                                                                                        | 5,61             | 4,199           |                       |
| Mittel:                                                                                       | 0,51             | 0,420           |                       |

\*) Erhoben an den Biegestücken. \*\*) H-Holz = Herbstholz.

| No.                           | Einsender:      | Bezeichnung des Standortes:                                 | Oertl. Lage: | Höhenlage: | Alter:    |
|-------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------|--------------|------------|-----------|
|                               | Forstverwaltung |                                                             |              |            |           |
| <b>Weisstanne</b> (Edeltanne, |                 |                                                             |              |            |           |
| 1.                            | Ct. Bern        | Nagelfluh . . . . .                                         | N-Hang       | 590 m      | 110 Jahre |
| 2.                            | " "             | Oberer Jura . . . . .                                       | S-Hang       | 570 "      | 110 "     |
| 3.                            | Stadt Zürich    | Süsswasser-Molasse . . . . .                                | N-Hang       | 530 "      | 90 "      |
| 4.                            | Ct. Aargau      | Flachgründig, mager, geröllig<br>brauner Jura (Nagelfluh)   | N-Hang       | 523 "      | 90 "      |
| 5.                            | " "             | Flachgründig, mager, geröllig<br>brauner Jura (Nagelfluh)   | S-Hang       | 638 "      | 83 "      |
| 6.                            | Ct. St. Gallen  | Tiefgründiger Lehm d. Flysch-<br>formation . . . . .        | W-Hang       | 900 "      | 85 "      |
| 7.                            | " "             | Tiefgründiger Lehm d. Flysch-<br>formation . . . . .        | W-Hang       | 1500 "     | 170*) "   |
| 8.                            | " "             | Tiefgründiger Lehm d. Flysch-<br>formation . . . . .        | N-Hang       | 1500 "     | 85 "      |
| 9.                            | " "             | Ziemlich tiefgründiger, etwas<br>sandiger Lehm der Flyschf. | S-O-Hang     | 1500 "     | 100 "     |
| <b>Lärche</b>                 |                 |                                                             |              |            |           |
| 1.                            | Stadt Zürich    | Süsswasser-Molasse . . . . .                                | S-Hang       | 380 m      | 85 Jahre  |
| 2.                            | Ct. St. Gallen  | Tiefgründiger Lehm d. Flysch-<br>formation . . . . .        | W-Hang       | 700 "      | 70 "      |
| 3.                            | " "             | Tiefgründiger Lehm d. Flysch-<br>formation . . . . .        | N-Hang       | 1400 "     | 90 "      |
| 4.                            | Ct. Graubünden  | Kalkboden . . . . .                                         | N-Hang       | 1400 "     | 115 "     |
| 5.                            | " "             | Gneissboden . . . . .                                       | S-Hang       | 1500 "     | 105 "     |
| <b>Eiche</b>                  |                 |                                                             |              |            |           |
| 1.                            | Ct. Bern        | Thonboden, Tertiär . . . . .                                | N-Hang       | 410 m      | 105 Jahre |
| 2.                            | Ct. Aargau      | Brauner Jura, Oolith. . . . .                               | N-O-Hang     | 440 "      | 107 "     |
| <b>Buche</b>                  |                 |                                                             |              |            |           |
|                               | Stadt Zürich    | Süsswasser-Molasse . . . . .                                | N-Hang       | 620 m      | 100 Jahre |

\*) 90 Jahre unterdrückt.

| Beschaffenheit des Holzes:                                                                                  | Scheinb. Dichte: | Volumen-gewicht: | Feuchtigkeits-grad: *) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------------|
| abies pectinata).                                                                                           |                  |                  |                        |
| Gleichmässig, engringig, ziemlich viel H-holz                                                               | 0,57             | 0,447            | 11,4—13,4 %            |
| I. d. Jug. sehr weitringig m. relativ wenig H-holz,<br>später engringiger mit relativ viel H-holz . . . . . | 0,51             | 0,438            | 13,7—16,0 %            |
| Gleichmässig, später engringiger mit ziemlich<br>viel H-holz . . . . .                                      | 0,62             | —                | circa 25 %             |
| Gleichmässig weitringig, in der Jugend etwas<br>engringiger, viel H-holz . . . . .                          | 0,50             | 0,411            | 11,5—12,2 %            |
| In der Jugend engringig, plötzlich weitringig<br>mit wenig H-holz . . . . .                                 | 0,61             | 0,437            | 12,5—12,8 %            |
| Gleichmässig weitringig mit ziemi. viel H-holz                                                              | 0,57             | 0,426            | 13,0—13,3 %            |
| In der Jug. engringig, später weitringiger mit<br>viel H-holz . . . . .                                     | 0,61             | 0,456            | 10,4—14,6 %            |
| Weitringig, gleichmässig mit viel H-holz . . . . .                                                          | 0,58             | 0,480            | 12,8—14,7 %            |
| Sehr weitringig mit wenig H-holz . . . . .                                                                  | 0,52             | 0,365            | 12,3—14,0 %            |
|                                                                                                             | Summa: 5,65      | 3,460            |                        |
|                                                                                                             | Mittel: 0,565    | 0,432            |                        |
| (larix europæa).                                                                                            |                  |                  |                        |
| In d. Jug. sehr weitringig mit wenig H-holz,<br>später engringiger mit relativ viel H-holz                  | 0,62             | —                | circa 25 %             |
| In d. Jug. sehr weitringig mit wenig H-holz,<br>später engringiger mit relativ viel H-holz                  | 0,65             | 0,640            | 10,6—12,4 %            |
| In d. Jugend etwas weitringig, später gleich-<br>mässig engringig mit viel H-holz . . . . .                 | 0,71             | 0,643            | 16,9—20,8 %            |
| I. d. Jug. weitringig, später immer engringiger,<br>viel H-holz. 2—3 cm Splint . . . . .                    | 0,66             | 0,624            | 15,1—16,2 %            |
| I. d. Jug. weitringig, später gleichmässig eng-<br>ringig mit viel H-holz. 3 cm Splint . . . . .            | 0,60             | 0,500            | 15,3—16,6 %            |
|                                                                                                             | Summa: 3,24      | 2,407            |                        |
|                                                                                                             | Mittel: 0,65     | 0,602            |                        |
| (Quercus robur).                                                                                            |                  |                  |                        |
| Sehr gleichmässig, splintfreies Holz . . . . .                                                              | 0,90             | 0,740            | 19,9—25,0 %            |
| Sehr gleichmässig, splintfreies Holz . . . . .                                                              | 0,90             | 0,827            | 23,1—26,3 %            |
|                                                                                                             | Summa: 1,80      | 1,567            |                        |
|                                                                                                             | Mittel: 0,90     | 0,783            |                        |
| (Fagus sylvatica).                                                                                          |                  |                  |                        |
| Sehr gleichmässig, in der Jug. weitringig mit<br>relativ ziemlich viel H-holz . . . . .                     | 0,90             | 0,750            | circa 35 %             |

\*) Erhoben an den Biegestücken. \*\*) H-Holz = Herbstholz.

## Zugfestigkeit.

Parallel zur Faserrichtung.

In folgender Zusammenstellung bezeichnet:

|                                                     |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon$ in $tn$ pro $cm^2$ den Elasticitätsmodul | } erhoben an einem<br>Versuchsstück aus<br>reifem Holz seitlich<br>der Stammmitte; |
| $\gamma$ " " " " den Grenzmodul                     |                                                                                    |
| $\beta$ " " " " den Zugmodul                        |                                                                                    |
| $\alpha$ die spec. Arbeit an der Elast.-<br>Grenze  |                                                                                    |

ferner bedeutet:

$\beta_c$  den Zugmodul für das Stamm-Centrum, aus 1 Versuch,  
 $\beta_s$  den Zugmodul für reifes seitliches Holz, im Mittel aus  
 2 Versuchen,

$$\beta_m \text{ den mittleren Zugmodul} = \frac{\beta_c + 2 \beta_s}{3}$$

**Föhre** (Kiefer).

| Nr. | $\epsilon$ | $\gamma$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\beta_c$ | $\beta_s$ | $\beta_m$ |
|-----|------------|----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1   | 102,7      | 0,461    | 0,001036 | 0,990   | 0,419     | 0,990     | 0,798     |
| 2   | 137,5      | —        | —        | 0,843   | 0,210     | 0,858     | 0,642     |

General-Mittel:

|       |          |             |       |       |       |       |
|-------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 120,1 | 0,461(?) | 0,001036(?) | 0,916 | 0,314 | 0,924 | 0,720 |
|-------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|

**Rothtanne** (Fichte).

|    |       |       |          |       |       |       |       |
|----|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 116,0 | —     | —        | 0,807 | 0,290 | 0,799 | 0,629 |
| 2  | 185,6 | —     | —        | 0,918 | 0,394 | 0,790 | 0,658 |
| 3  | 161,2 | —     | —        | 1,200 | 0,394 | 1,340 | 1,030 |
| 4  | 182,8 | 0,524 | 0,000754 | 1,248 | 0,425 | 0,966 | 0,786 |
| 5  | 125,5 | —     | —        | 0,625 | 0,300 | 0,659 | 0,540 |
| 6  | 82,1  | —     | —        | 0,290 | 0,293 | 0,331 | 0,318 |
| 7  | 114,2 | —     | —        | 0,401 | 0,322 | 0,414 | 0,383 |
| 8  | 121,4 | 0,239 | 0,000235 | 0,617 | 0,436 | 0,601 | 0,546 |
| 9  | 82,5  | —     | —        | 0,604 | 0,329 | 0,616 | 0,520 |
| 10 | 129,5 | —     | —        | 0,631 | 0,494 | 0,648 | 0,597 |
| 11 | 119,4 | 0,159 | 0,000105 | 0,785 | 0,455 | 0,701 | 0,619 |

General-Mittel:

|        |          |             |       |       |       |       |
|--------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 129,11 | 0,307(?) | 0,000365(?) | 0,738 | 0,376 | 0,624 | 0,602 |
|--------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|

**Weisstanne.**

| Nr.             | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\beta_c$ | $\beta_s$ | $\beta_m$ |
|-----------------|---------------|----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1               | 130,6         | 0,308    | 0,000363 | 0,723   | 0,333     | 0,817     | 0,656     |
| 2               | 113,5         | 0,296    | 0,000386 | 0,800   | 0,295     | 0,715     | 0,575     |
| 3               | 112,3         | 0,266    | 0,000315 | 0,462   | 0,341     | 0,413     | 0,389     |
| 4               | 88,5          | 0,190    | 0,000205 | 0,476   | 0,377     | 0,798     | 0,658     |
| 5               | 166,5         | 0,394    | 0,000465 | 1,180   | 0,658     | 0,870     | 0,799     |
| 6               | 95,8          | —        | —        | 0,496   | 0,376     | 0,383     | 0,380     |
| 7               | 107,2         | —        | —        | 0,836   | —         | 0,758     | —         |
| 8               | 92,0          | 0,293    | 0,000467 | 0,785   | 0,366     | 0,644     | 0,552     |
| 9               | —             | —        | —        | 0,195   | 0,178     | 0,299     | 0,259     |
| General-Mittel: |               |          |          |         |           |           |           |
|                 | 113,3         | 0,291    | 0,000367 | 0,661   | 0,365     | 0,644     | 0,533     |

**Lärche.**

|                 |       |       |          |       |       |        |       |
|-----------------|-------|-------|----------|-------|-------|--------|-------|
| 1               | 165,8 | 0,655 | 0,001215 | 1,370 | 0,361 | 1,370  | 1,034 |
| 2               | 131,3 | 0,243 | 0,000217 | 0,758 | 0,199 | 0,914  | 0,676 |
| 3               | 98,6  | 0,451 | 0,000670 | 0,810 | 0,322 | 0,775, | 0,625 |
| 4               | 122,6 | 0,316 | 0,000407 | 0,921 | 0,425 | 0,722  | 0,623 |
| 5               | 131,2 | 0,320 | 0,000391 | 0,961 | 0,377 | 0,700  | 0,592 |
| General-Mittel: |       |       |          |       |       |        |       |
|                 | 129,9 | 0,397 | 0,000580 | 0,964 | 0,337 | 0,896  | 0,710 |

**Eiche.**

|                 |       |       |          |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| 1               | 126,2 | 0,560 | 0,001240 | 1,120 | 0,672 | 1,090 | 0,944 |
| 2               | 90,4  | 0,393 | 0,000862 | 0,658 | 0,915 | 0,869 | 0,884 |
| General-Mittel: |       |       |          |       |       |       |       |
|                 | 108,3 | 0,476 | 0,001051 | 0,889 | 0,793 | 0,979 | 0,964 |

**Buche.**

|   |       |       |          |       |       |       |       |
|---|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 180,0 | 0,581 | 0,000940 | 1,730 | 0,570 | 1,720 | 1,340 |
|---|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|

Druckfestigkeit.

Parallel zur Faserrichtung.

In folgender Zusammenstellung bezeichnet:

|                                                |                       |                                                                                           |
|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\varepsilon$ in $ln$ pro $cm^2$               | den Elasticitätsmodul | } erhoben an einem<br>50cm langen Prisma<br>aus reifem Holz seit-<br>lich d. Stamm-Mitte; |
| $\gamma$ " " " "                               | den Grenzmodul        |                                                                                           |
| $\beta$ " " " "                                | den Druckmodul        |                                                                                           |
| $\alpha$ die spec. Arbeit an der Elast. Grenze |                       |                                                                                           |

ferner bedeutet:

$\beta_c$  den Druckmodul für das Stamm-Centrum aus  
 einem Versuch  
 $\beta_s$  den Druckmodul für seitliches Holz im  
 Mittel aus zwei Versuchen

erhoben an  
Würfeln.

$$\beta_m \text{ den mittleren Druckmodul} = \frac{\beta_c + 2\beta_s}{3}$$

#### Föhre (Kiefer).

| Nr.             | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\alpha$     | $\beta$ | $\beta_c$ | $\beta_s$ | $\beta_m$ |
|-----------------|---------------|----------|--------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1               | —             | —        | —            | 0,251   | 0,268     | 0,265     | 0,266     |
| 2               | 118,8         | 0,146    | 0,0000893    | 0,206   | 0,219     | 0,229     | 0,226     |
| General-Mittel: |               |          |              |         |           |           |           |
|                 | 118,8(?)      | 0,146(?) | 0,0000893(?) | 0,228   | 0,293     | 0,247     | 0,246     |

#### Rothtanne (Fichte).

|                 |        |       |           |       |       |       |       |
|-----------------|--------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1               | 103,0  | 0,152 | 0,0001130 | 0,289 | 0,250 | 0,264 | 0,259 |
| 2               | 153,5  | 0,133 | 0,0000575 | 0,319 | 0,290 | 0,357 | 0,335 |
| 3               | 122,0  | 0,112 | 0,0000514 | 0,265 | 0,214 | 0,286 | 0,262 |
| 4               | 152,1  | 0,141 | 0,0000650 | 0,388 | 0,339 | 0,378 | 0,365 |
| 5               | 109,0  | 0,132 | 0,0000798 | 0,324 | 0,256 | 0,293 | 0,281 |
| 6               | 83,6   | 0,132 | 0,0001040 | 0,237 | 0,227 | 0,206 | 0,213 |
| 7               | 82,7   | 0,109 | 0,0000723 | 0,274 | 0,266 | 0,285 | 0,279 |
| 8               | 76,8   | 0,120 | 0,0000934 | 0,198 | 0,255 | 0,268 | 0,261 |
| 9               | 111,5  | 0,131 | 0,0000766 | 0,262 | 0,250 | 0,240 | 0,244 |
| 10              | 106,5  | 0,129 | 0,0000780 | 0,273 | 0,234 | 0,239 | 0,237 |
| 11              | 119,4  | 0,150 | 0,0000939 | 0,287 | 0,325 | 0,298 | 0,307 |
| General-Mittel: |        |       |           |       |       |       |       |
|                 | 110,90 | 0,131 | 0,0000804 | 0,283 | 0,264 | 0,283 | 0,276 |

#### Weisstanne.

|                 |       |       |           |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1               | 132,5 | 0,120 | 0,0000541 | 0,359 | 0,394 | 0,374 | 0,381 |
| 2               | 119,7 | 0,125 | 0,0000652 | 0,312 | 0,266 | 0,340 | 0,315 |
| 3               | 118,0 | —     | —         | 0,182 | 0,185 | 0,198 | 0,194 |
| 4               | 77,3  | 0,124 | 0,0000990 | 0,302 | 0,318 | 0,312 | 0,315 |
| 5               | 89,7  | 0,122 | 0,0000840 | 0,304 | 0,327 | 0,315 | 0,319 |
| 6               | 94,5  | 0,118 | 0,0000736 | 0,260 | 0,240 | 0,240 | 0,240 |
| 7               | 87,4  | 0,103 | 0,0000670 | 0,291 | 0,275 | 0,264 | 0,268 |
| 8               | 92,5  | 0,120 | 0,0000774 | 0,258 | 0,281 | 0,286 | 0,284 |
| 9               | 90,0  | 0,087 | 0,0000424 | 0,269 | 0,227 | 0,234 | 0,232 |
| General-Mittel: |       |       |           |       |       |       |       |
|                 | 100,2 | 0,115 | 0,0000703 | 0,282 | 0,279 | 0,285 | 0,283 |

**Lärche.**

| Nr.             | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\alpha$  | $\beta$ | $\beta_c$ | $\beta_s$ | $\beta_m$ |
|-----------------|---------------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1               | 93,2          | 0,112    | 0,0000677 | 0,263   | 0,195     | 0,296     | 0,262     |
| 2               | 126,0         | 0,148    | 0,0000876 | 0,384   | 0,281     | 0,416     | 0,371     |
| 3               | 129,0         | 0,117    | 0,0000534 | 0,352   | 0,369     | 0,390     | 0,383     |
| 4               | 104,6         | 0,115    | 0,0000632 | 0,270   | 0,269     | 0,316     | 0,301     |
| 5               | 119,4         | 0,120    | 0,0000601 | 0,292   | 0,274     | 0,293     | 0,287     |
| General-Mittel: |               |          |           |         |           |           |           |
|                 | 114,4         | 0,122    | 0,0000664 | 0,312   | 0,278     | 0,342     | 0,321     |

**Eiche.**

|                 |       |       |           |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1               | 101,9 | 0,140 | 0,0000962 | 0,337 | 0,304 | 0,349 | 0,334 |
| 2               | 103,6 | 0,157 | 0,0001195 | 0,319 | 0,343 | 0,358 | 0,353 |
| General-Mittel: |       |       |           |       |       |       |       |
|                 | 102,7 | 0,148 | 0,0001078 | 0,328 | 0,323 | 0,353 | 0,343 |

**Buche.**

|   |       |       |           |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 168,5 | 0,102 | 0,0000306 | 0,304 | 0,294 | 0,333 | 0,320 |
|---|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|

**Knickungsfestigkeit.**

Zu den interessantesten, bautechnisch wohl auch zu den wichtigsten Holzversuchen zählen die Streb- oder Knickungsproben. Wie bereits aus dem Reglement, vergl. Seite 4, erhellt, wurden in jeder Versuchsserie Druckproben an Würfeln mit 10 cm Kantenlänge sowie an Prismen mit circa. 100 cm<sup>2</sup> Querschnittsfläche und 50, 100, 150 und 200 cm Länge in der Absicht ausgeführt, das Gesetz der Abnahme der Druckfestigkeit mit wachsender Prismenlänge festzustellen. Bekanntlich hat Prof. Bauschinger einlässliche Knickungsversuche in München, sowie bei Anlass der Nürnberger Ausstellung ausgeführt und gut übereinstimmende Resultate erzielt. Bauschinger spannte die Balken mit senkrecht zur Axe begrenzten Stirnflächen auf bewegliche, mit Kugellager versehene Druckplatten und steigerte die Belastungen allmähig bis zum Bruch.

So weit möglich Wiederholungen zu vermeiden, dann aber veranlasst, die Knickungserscheinungen, Arten der Formveränderungen etc. kennen zu lernen, beabsichtigten wir, eine Zahl der disponiblen Versuchsreihen mit beiderseitig

fixirten, mit einseitig fixirten, schliesslich mit beiderseitig beweglichen Druckplatten, wie sie die Werder'sche Maschine besitzt, den Knickungsproben zu unterwerfen. Vorläufige Versuche lehrten indessen, dass die Unterschiede im Tragvermögen bei den unterschiedlichen Befestigungsarten der Prüfungsobjecte durch den Einfluss der Unhomogenität, namentlich durch den Einfluss der Astknoten völlig verdeckt werden und die Kugellager nach der ersten Einstellung (5 *tn*) bis nahe zum Momente, wo die Zerstörung des Materials beginnt, fast unbeweglich bleiben.

Aus der Reihe der vorläufigen Knickungsversuche seien hier folgende angeführt:

*Fichte*, 195 Jahre alt, 1 440 *m* ü. M. von Graubünden. Querschnitt  $10 \times 10 = 100 \text{ cm}^2$ ; Prismenlänge = 199,4 *cm*. Astfreies Holz. *Bewegliche Druckplatten*; *Knickungskraft*:  $P = 29,0 \text{ tn}$ . Durchbiegung nach Süden und oben; grösste Durchbiegung 66 *cm* von einem Prismenende.

*Fichte*, 195 Jahre alt, etc. etc. (aus dem gleichen Stamm wie vorher). Querschnitt  $10,1 \times 9,7 \text{ cm} = 98,0 \text{ cm}^2$ ; Prismenlänge 199,8 *cm*. Astknotig. *Feste Druckplatten*; *Knickungskraft*:  $P = 29,0 \text{ tn}$ . Geringe Durchbiegung; Ineinanderpressen der Fasern in der Nähe eines grössern Astknotens.

*Fichte von Bergün.*

Querschnitt  $9,9 \times 9,5 \text{ cm} = 94,0 \text{ cm}^2$ ; Prismenlänge = 199,0 *cm*. Schwach astknotig. *Bewegliche Druckplatten*; *Knickungskraft*  $P = 32,0 \text{ tn}$ . Schwache Durchbiegung; 20 *cm* von einem Prismenende findet Ineinanderpressen der Fasern bei einem Astknoten statt.

*Fichte von Bergün.*

Querschnitt  $10 \times 9,5 \text{ cm} = 95,0 \text{ cm}^2$ ; Prismenlänge = 198,5 *cm*. Schwach astknotig. *Feste Druckplatten*; *Knickungskraft*  $P = 33,5 \text{ tn}$ . Schwache Durchbiegung; 1,20 von einem Prismenende findet Ineinanderschieben der Fasern bei einem Astknoten statt.

*Fichte von Klosters.*

Querschnitt  $10 \times 10 \text{ cm} = 100 \text{ cm}^2$ ; Prismenlänge = 130 *cm*. Mit kleinen Astknoten versehen. *Bewegliche Druckplatten*; *Knickungskraft*  $P = 33,5 \text{ tn}$ . Keine Durchbiegung; 26 *cm* von einem Prismenende tritt Ineinanderschieben der Fasern auf.

*Fichte von Klosters.*

Querschnitt  $10 \times 10 \text{ cm} = 100 \text{ cm}^2$ ; Prismenlänge =  $130 \text{ cm}$ ; wie vorhin. *Feste Druckplatten*; *Knickungskraft*  $P = 35,5 \text{ tn}$ . Schwache Durchbiegung; Ineinanderpressen der Fasern an mehreren Stellen u. s. w.

In der Regel entsprach die Deformation der erwarteten Sinusoide nicht, und selbst wo Durchbiegungen auftraten, fiel der meist beanspruchte Querschnitt nur ausnahmsweise (bei astfreiem Laubholz u. z. bei der Eiche und Buche) in die Stabmitte. In mehreren Fällen war die Durchbiegung dem Beginne der Zerstörung gefolgt, und konnte nicht als eigentliche Knickungserscheinung angesehen werden. Die Zerstörung selbst ging stets in der Nähe der Astknoten vor sich, im Falle der Durchbiegung auf der comprimierten Balkenseite, und bestand wie bereits auf Seite 13 angeführt, im Ineinanderschieben der Fasern. Sonderbarer Weise ist selbst bei Balken mit erheblicher Durchbiegung ein Zerreißen der gespannten Fasern nicht vorgekommen.

In Würdigung der Sachlage haben wir sämtliche Versuche mit arretirten Druckplatten nach der auf Seite 13 beschriebenen Methode der Einspannung durchgeführt. Die gewonnenen Resultate lassen sich jedoch nicht direct auf den Knickungsfall mit unwandelbarer Tangente an der Befestigungsstelle (eingemauerte Pfostenende) übertragen; sie entsprechen vielmehr den thatsächlichen Verhältnissen, unter welchen die meisten richtig gelagerten Streben in unsern Holzconstructions arbeiten.

Ein weiterer Beleg für die oben ausgesprochene Ansicht möchte ungeachtet der abweichenden Behandlung der Druckplatten, in der sehr befriedigenden Uebereinstimmung liegen, welche die Knickungsconstanten  $\eta$  der Formeln:

$$\beta_k = \beta_d \cdot \frac{1}{1 + \eta \frac{l^2}{k^2}} = \beta_d \frac{1}{1 + \eta \frac{Fl^2}{J}} = \frac{\beta_d}{n}$$

für relativ gleich langes Holz nach Bauschingers und unsern Versuchen zeigen.

Folgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der Bauschinger'schen Versuchsergebnisse:

| Nr.      | Dimensionen der Balken. |                  |              | Knickgs.-Coeff.<br>$\eta$ |
|----------|-------------------------|------------------|--------------|---------------------------|
|          | Breite,                 | Dicke,           | Länge.       |                           |
| 12       | 11,5 <i>cm</i> ,        | 11,5 <i>cm</i> , | 2,4 <i>m</i> | 0,000045                  |
| 14       | 11,7 "                  | 11,9 "           | 2,5 "        | 0,000022                  |
| 15       | 12,0 "                  | 12,2 "           | 2,5 "        | 0,000076                  |
| 18       | 11,85 "                 | 11,9 "           | 2,2 "        | 0,000048                  |
| 19       | 11,6 "                  | 11,9 "           | 2,0 "        | 0,000052                  |
| 21       | 12,0 "                  | 12,0 "           | 2,2 "        | 0,000119                  |
| 23       | 15,0 "                  | 15,0 "           | 2,0 "        | 0,000060                  |
| Sa. =    |                         |                  |              | 0,000422                  |
| Mittel = |                         |                  |              | 0,000060                  |

Im Mittel aus 29 Versuchen finden wir  $\eta = 0,000068$

Gewöhnlich wird der Knickungscoefficient  $\eta$  für variable Verhältnisse der Balkenlängen und Querschnittabmessungen als constant angenommen und gründen hierauf manche recht hübsche Rechnungsverfahren. Unsere Versuchsergebnisse weisen des bestimmtesten auf die Unzulässigkeit dieser Annahme und wenn schon die Ergebnisse der einzelnen Serien mitunter überraschende Unregelmäßigkeiten zeigen, so springt doch bei der summarischen Behandlung des Knickungsproblems die Thatsache hervor, dass:

1. die Druckfestigkeit mit wachsender Länge der Balken sich mehr oder weniger sprungweise ändert;
2. die Knickungsgefahr bei Balkenlängen von fünf- bis zehnfacher, schätzungsweise von achtfacher Querschnittsbreite beginnt;
3. die Abnahme der Druckfestigkeit bei Balkenlängen von 10 bis 20 facher Querschnittsbreite unerheblich jedoch fast stetig wächst, d. h. dass der Verlauf des Coefficienten  $n$  in vorstehender Knickungsformel durch eine Gerade dargestellt werden kann.

Zur Darlegung dieser Verhältnisse wurde nachstehende Tafel angefertigt; sie enthält die spec. Druckkräfte  $\beta$  der Weiss- und Rothtanne, der Föhre, Lärche, Eiche und Buche für Balken von gut übereinstimmenden Querschnittsabmessungen und 10, 50, 150 und 200 *cm* Länge. (Die fraglichen Querschnitte sind nahezu quadratisch mit 9,6 bis 10,0 Kantenlänge.) Sämmtliche Versuchsprismen einer Serie wurden aus reifem Holz des zu Bauzwecken tauglichen Theiles des Stammes seitlich dem Centrum entnommen.

Die Abscissen der Fig. der gen. Tafel stellen im Maassstabe 1 : 20 die Balkenlängen, die Ordinaten im Maassstab 1 *mm* = 0,004 *tn* pro *cm*<sup>2</sup>, die spec. Durckfestigkeiten  $\beta_d$  resp.

$\beta_k$  dar, bei welchen, sei es unter Biegungserscheinungen, oder ohne diese die Zerstörung der Cohäsion des Materials eintrat. Die der gleichen Versuchsserie angehörigen Werthe tragen die gleichen Nummern und erscheinen durch continuirliche Linienzüge verbunden. Die Mittelwerthe der  $\beta$  für die gleichen Balkenlängen sind durch schwarze Punkte dargestellt; sie waren die leitenden Elemente beim Eintragen der strichpunktirten, resp. gestrichten, kräftig ausgezogenen Linienzüge, welche den Verlauf der wahrscheinlichen Mittelwerthe der spec. Druckfestigkeiten  $\beta$  vorstellen und jene Werthe  $\beta_d$  und  $\beta_k$  herausschneiden, mittelst deren die unterschiedlichen mittleren Knickungs- und Abminderungscoefficienten  $\eta$  und  $n$  berechnet wurden.

Der Rechnung lag Fall für Fall der mittlere Werth der Querschnittsflächen  $F$  und der Trägheitsmomente  $J$  der Balken gleicher Länge zu Grunde. Die Ergebnisse der Rechnung enthält nun folgende Zusammenstellung:

| Holz-<br>gattung | Mittel<br>aus: | Balkenlänge<br>10fache           |                                | 15 fache                         |                                | 20fache Quer-<br>schnittsbreite  |                                |
|------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|                  |                | Knick.-<br>Coefficient<br>$\eta$ | Abmind.-<br>Coefficient<br>$n$ | Knick.-<br>Coefficient<br>$\eta$ | Abmind.-<br>Coefficient<br>$n$ | Knick.-<br>Coefficient<br>$\eta$ | Abmind.-<br>Coefficient<br>$n$ |
| Weisstanne       | 9              | 0,000239                         | 1,29                           | 0,000109                         | 1,29                           | 0,000063                         | 1,30                           |
| Rothtanne        | 11             | 0,000224                         | 1,27                           | 0,000117                         | 1,32                           | 0,000077                         | 1,38                           |
| Föhre            | 2              | 0,000194                         | 1,23                           | 0,000089                         | 1,23                           | 0,000051                         | 1,24                           |
| Lärche           | 5              | 0,000246                         | 1,29                           | 0,000124                         | 1,33                           | 0,000079                         | 1,38                           |
| Eiche            | 2              | 0,000257                         | 1,30                           | 0,000113                         | 1,32                           | 0,000072                         | 1,33                           |
| Summa:           |                | 0,001160                         | 6,38                           | 0,000552                         | 6,49                           | 0,000342                         | 6,63                           |
| Mittel:          |                | <b>0,000232</b>                  | <b>1,27</b>                    | <b>0,000110</b>                  | <b>1,30</b>                    | <b>0,000068</b>                  | <b>1,32</b>                    |

Vorstehende Zusammenstellung spricht nun klar das Abhängigkeitsverhältniss des Knickungscoefficienten mit wachsender Balkenlänge aus und weist den Weg, welcher bei Dimensionirung rückwirkend beanspruchter Theile unserer Holzconstruktionen zu betreten ist. Es wird sich empfehlen in allen Fällen, wo quadratisches oder rectanguläres Holz Verwendung findet, direct die Abminderungscoefficienten  $n$  zu benützen; bei Rundholz wird die Feststellung einer angenäherten Querschnittsfläche unter Zugrundelegung des Abminderungs-

coefficienten  $n$  erfolgen und eine Controlle der Zulässigkeit des erwähnten Festigkeitscoefficienten nach der Gleichung

$$q_k = \frac{q_d}{1 + \eta \frac{l^2}{k^2}} = \frac{q_d}{1 + \eta \frac{Fl^2}{J}}$$

auszuführen sein, worin

$q_d$  die, einer bestimmten Holzsorte entsprechende, zulässige Inanspruchnahme auf Druck,

$k$  den minimalen Trägheitshalbmesser, — also

$J$  das minimale Trägheitsmoment des Querschnitts bezüglich seiner Schwerpunktsaxe bedeutet.

### Scherfestigkeit in der Faserrichtung.

In folgender Zusammenstellung bedeutet:

$\sigma_c$  in  $tn$  pro  $cm^2$  die Scherfestigkeit für das Stamm-Centrum. } Mittel aus 2 resp.  
 $\sigma_s$  in  $tn$  pro  $cm^2$  die Scherfestigkeit für reifes Holz seitlich der Stamm-Mitte. } 4 Versuchen.

$\sigma_m = \frac{2 \sigma_c + 4 \sigma_s}{6}$  die mittlere Scherfestigkeit des Holzes.

#### Föhre (Kiefer)

| Nr.             | $\sigma_c$       | $\sigma_s$   | $\sigma_m$   |
|-----------------|------------------|--------------|--------------|
| 1               | 0,064            | 0,064        | 0,064        |
| 2               | —                | 0,057        | 0,057        |
| General-Mittel: |                  |              |              |
|                 | <b>0,064 (?)</b> | <b>0,060</b> | <b>0,061</b> |

#### Weisstanne.

|                 |              |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1               | 0,071        | 0,065        | 0,067        |
| 2               | 0,061        | 0,069        | 0,067        |
| 3               | 0,056        | 0,046        | 0,050        |
| 4               | 0,074        | 0,068        | 0,071        |
| 5               | 0,056        | 0,075        | 0,069        |
| 6               | 0,058        | 0,057        | 0,058        |
| 7               | 0,061        | 0,062        | 0,062        |
| 8               | 0,062        | 0,066        | 0,065        |
| 9               | 0,053        | 0,062        | 0,058        |
| General-Mittel: |              |              |              |
|                 | <b>0,061</b> | <b>0,063</b> | <b>0,063</b> |





**Rothtanne** (Fichte).

|    |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|
| 1  | 0,066 | 0,067 | 0,066 |
| 2  | —     | —     | —     |
| 3  | —     | —     | —     |
| 4  | 0,067 | 0,073 | 0,071 |
| 5  | 0,066 | 0,067 | 0,066 |
| 6  | 0,053 | 0,067 | 0,062 |
| 7  | 0,086 | 0,068 | 0,074 |
| 8  | 0,071 | 0,072 | 0,071 |
| 9  | 0,077 | 0,069 | 0,072 |
| 10 | 0,062 | 0,060 | 0,061 |
| 11 | 0,060 | 0,057 | 0,058 |

General-Mittel:

|              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| <b>0,067</b> | <b>0,066</b> | <b>0,067</b> |
|--------------|--------------|--------------|

**Lärche.**

|   |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|
| 1 | 0,064 | 0,073 | 0,070 |
| 2 | 0,078 | 0,081 | 0,079 |
| 3 | 0,076 | 0,069 | 0,071 |
| 4 | 0,073 | 0,079 | 0,077 |
| 5 | 0,057 | 0,068 | 0,064 |

General-Mittel:

|              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| <b>0,070</b> | <b>0,074</b> | <b>0,072</b> |
|--------------|--------------|--------------|

**Eiche.**

|   |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|
| 1 | 0,075 | 0,071 | 0,073 |
| 2 | 0,076 | 0,080 | 0,078 |

General-Mittel:

|              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| <b>0,075</b> | <b>0,075</b> | <b>0,075</b> |
|--------------|--------------|--------------|

**Buche.**

|   |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|
| 1 | 0,079 | 0,088 | 0,085 |
|---|-------|-------|-------|

In nebenstehender General-Zusammenstellung der Resultate, vergl. Tabelle No. 1 geben wir speciell in den fett gedruckten Ziffern Festigkeitscoefficienten für bautechnische Zwecke, während die übrigen Zahlenwerthe vorwiegend in forstwirtschaftlicher Richtung Interesse bieten. Nach wie vor bezeichnet darin:

$\varepsilon$  in  $tn$  pro  $cm^2$  den Elasticitätsmodul.

$\gamma$  " " " " den Grenzmodul (spec. Tragkraft an der Elast. Grenze.)

$\beta$  in  $tn$  pro  $cm^2$  den Festigkeitsmodul für Zug, Druck und Biegung; speciell:

$\beta_c$  in  $tn$  pro  $cm^2$  den Festigkeitsmodul für das Stamm-Centrum (Mittelstück).

$\beta_s$  in  $tn$  pro  $cm^2$  den Festigkeitsmodul für seitliches Holz (Seitenstück).

$\beta_m = \frac{\beta_c + 2\beta_s}{3}$  in  $tn$  pro  $cm^2$  den mittleren Festigkeitsmodul. Ferner bezeichnet:

$\sigma_c$  in  $tn$  pro  $cm^2$  den Schermodul für das Stamm-Centrum (Mittelstück).

$\sigma_s$  in  $tn$  pro  $cm^2$  den Schermodul für seitliches Holz (Seitenstück).

$\sigma_m = \frac{2\sigma_c + 4\sigma_s}{6}$  in  $tn$  pro  $cm^2$  den mittleren Schermodul.

$\alpha$  die specifische Arbeit an der Elasticitätsgrenze.

$A$  in  $tn\ cm$  die Deformationsarbeit beim Bruch, schliesslich

$n$  in  $\%$  den Feuchtigkeitsgrad des Holzes.

An die beiliegende Zusammenstellung der Resultate knüpfen sich eine Reihe ebenso interessanter als namentlich forstwirtschaftlich belangreicher Schlussfolgerungen. Bevor wir jedoch an die Deutung der Zahlenwerthe schreiten, sei gestattet, nochmals hervorzuheben, dass die gewonnenen Resultate keine endgültige Erledigung forstwirtschaftlicher Fragen beanspruchen und die Qualitätszahlen der unterschiedlichen Bauholzsorten als Näherungswerthe anzusehen sind, welche wir in Verbindung mit der zu errichtenden forstlichen Versuchstation gelegentlich zu berichtigen und zu ergänzen hoffen.

Tabelle I.

## General-Zusammenstellung.

Tabelle I.

| der Holz-Sorte | Bezeichnung des Gegenstandes | Anzahl der Versuchsserien | Zugfestigkeit       |          |             |                    |           |           | Druckfestigkeit                        |               |          |                    |         |           | Scherfestigkeit     |           |            | Biegungsfestigkeit Stamm-Mitte |            |               |          |         | Biegungsfestigkeit gebogen gegen die Stamm-Mitte |         |               |          |         | Biegungsfestigkeit gebogen von der Stamm-Mitte |         |               |          |         | Mittlere Biegungsfestigkeit |         |               |          |         |        |         |
|----------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|----------|-------------|--------------------|-----------|-----------|----------------------------------------|---------------|----------|--------------------|---------|-----------|---------------------|-----------|------------|--------------------------------|------------|---------------|----------|---------|--------------------------------------------------|---------|---------------|----------|---------|------------------------------------------------|---------|---------------|----------|---------|-----------------------------|---------|---------------|----------|---------|--------|---------|
|                |                              |                           | für seitliches Holz |          |             | erhoben an Prismen |           |           | erhoben an einem 50 cm langen Prisma** |               |          | erhoben an Würfeln |         |           | erhoben an Scheiben |           |            |                                |            |               |          |         |                                                  |         |               |          |         |                                                |         |               |          |         |                             |         |               |          |         |        |         |
|                |                              |                           | $\varepsilon$       | $\gamma$ | $\alpha$    | $\beta$            | $\beta_c$ | $\beta_s$ | $\beta_m$                              | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\alpha$           | $\beta$ | $\beta_c$ | $\beta_s$           | $\beta_m$ | $\sigma_c$ | $\sigma_s$                     | $\sigma_m$ | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\beta$ | $A$                                              | $n$     | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\beta$ | $A$                                            | $n$     | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\beta$ | $A$                         | $n$     | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\beta$ | $A$    | $n$     |
| Föhre          | General-Mittel:              | 2                         | 120.10              | 0.461(?) | 0.001036(?) | 0.916              | 0.314     | 0.924     | 0.720                                  | 118.80        | 0.146    | 0.0000893          | 0.228   | 0.293     | 0.247               | 0.246     | 0.064      | 0.060                          | 0.061      | 77.22         | 0.192    | 0.385   | 2.83                                             | 18.7(?) | 87.14         | 0.162    | 0.384   | 3.72                                           | 21.6(?) | 92.52         | 0.209    | 0.458   | 3.56                        | 22.6(?) | 85.62         | 0.188    | 0.409   | 3.37   | 20.9(?) |
| Weisstanne     | General-Mittel:              | 9                         | 113.31              | —        | —           | 0.661              | 0.365     | 0.644     | 0.533                                  | 100.19        | 0.115    | 0.0000703          | 0.282   | 0.279     | 0.285               | 0.283     | 0.061      | 0.063                          | 0.063      | 79.78         | 0.198    | 0.414   | 3.47                                             | 14.0    | 88.03         | 0.220    | 0.442   | 3.59                                           | 14.5    | 88.81         | 0.255    | 0.462   | 4.95                        | 15.0    | 85.54         | 0.224    | 0.439   | 4.00   | 14.5    |
|                | gewachsen über 1300 m.       | 3                         | 99.60               | —        | —           | 0.605              | 0.272     | 0.600     | 0.406                                  | 90.00         | 0.103    | 0.0000623          | 0.273   | 0.261     | 0.261               | 0.261     | 0.059      | 0.063                          | 0.062      | 71.81         | 0.169    | 0.390   | 3.01                                             | 12.8    | 74.44         | 0.194    | 0.374   | 3.13                                           | 14.0    | 77.17         | 0.291    | 0.430   | 3.90                        | 14.4    | 74.47         | 0.218    | 0.398   | 3.35   | 13.7    |
|                | " unter 1300 m.              | 6                         | 117.88              | 0.291    | 0.000347    | 0.689              | 0.397     | 0.666     | 0.576                                  | 105.30        | 0.122    | 0.0000752          | 0.286   | 0.288     | 0.296               | 0.292     | 0.063      | 0.063                          | 0.063      | 83.77         | 0.212    | 0.426   | 3.70                                             | 14.7    | 94.76         | 0.234    | 0.476   | 4.30                                           | 14.8    | 94.63         | 0.236    | 0.478   | 5.48                        | 15.3    | 91.05         | 0.227    | 0.460   | 4.49   | 14.9    |
|                | " aufnörd. Gehg.             | 4                         | 105.80              | 0.264    | 0.000337    | 0.611              | 0.454     | 0.668     | 0.564                                  | 105.10        | 0.121    | 0.0000768          | 0.275   | 0.294     | 0.292               | 0.293     | 0.066      | 0.061                          | 0.063      | 91.83         | 0.204    | 0.469   | 4.23                                             | 15.3    | 95.38         | 0.240    | 0.468   | 4.27                                           | 16.2    | 94.75         | 0.218    | 0.484   | 5.66                        | 16.1    | 93.99         | 0.221    | 0.474   | 4.72   | 15.9    |
|                | " auf süd. Gehg.             | 3                         | 140.00              | 0.345    | 0.000425    | 0.725              | 0.377     | 0.628     | 0.544                                  | 99.80         | 0.111    | 0.0000639          | 0.295   | 0.273     | 0.296               | 0.289     | 0.057      | 0.068                          | 0.065      | 63.23         | 0.174    | 0.345   | 2.09                                             | 12.9    | 82.79         | 0.197    | 0.433   | 3.57                                           | 13.0    | 85.77         | 0.238    | 0.430   | 3.77                        | 14.2    | 77.26         | 0.203    | 0.403   | 3.14   | 13.4    |
| Rothtanne      | General-Mittel:              | 11                        | 129.11              | —        | —           | 0.738              | 0.376     | 0.624     | 0.602                                  | 110.9         | 0.131    | 0.0000804          | 0.283   | 0.264     | 0.283               | 0.276     | 0.067      | 0.066                          | 0.067      | 88.77         | 0.211    | 0.432   | 3.57                                             | 15.6    | 79.45         | 0.212    | 0.426   | 4.24                                           | 15.9    | 90.81         | 0.206    | 0.447   | 4.86                        | 16.1    | 86.34         | 0.210    | 0.435   | 4.23   | 15.9    |
|                | gewachsen über 1300 m.       | 5                         | 113.40              | —        | —           | 0.607              | 0.407     | 0.596     | 0.533                                  | 99.4          | 0.128    | 0.0000828          | 0.259   | 0.266     | 0.266               | 0.266     | 0.071      | 0.065                          | 0.067      | 96.29         | 0.235    | 0.461   | 4.39                                             | 14.9    | 68.96         | 0.215    | 0.409   | 5.10                                           | 15.9    | 90.17         | 0.223    | 0.433   | 4.42                        | 16.3    | 85.14         | 0.224    | 0.434   | 4.64   | 15.7    |
|                | " unter 1300 m.              | 6                         | 142.20              | —        | —           | 0.848              | 0.349     | 0.648     | 0.660                                  | 120.5         | 0.134    | 0.0000768          | 0.304   | 0.263     | 0.297               | 0.286     | 0.063      | 0.068                          | 0.066      | 81.25         | 0.187    | 0.404   | 2.76                                             | 16.3    | 89.93         | 0.210    | 0.443   | 3.37                                           | 16.0    | 91.44         | 0.186    | 0.471   | 5.29                        | 16.0    | 87.54         | 0.194    | 0.439   | 3.81   | 16.1    |
|                | " aufnörd. Gehg.             | 6                         | 125.67              | —        | —           | 0.822              | 0.364     | 0.792     | 0.650                                  | 115.1         | 0.136    | 0.0000839          | 0.288   | 0.268     | 0.279               | 0.275     | 0.065      | 0.058                          | 0.066      | 87.64         | 0.218    | 0.427   | 3.42                                             | 16.7    | 90.11         | 0.214    | 0.445   | 4.23                                           | 16.9    | 93.54         | 0.199    | 0.438   | 4.58                        | 17.0    | 90.43         | 0.210    | 0.437   | 4.08   | 16.9    |
|                | " auf süd. Gehg.             | 3                         | 145.50              | 0.239(?) | 0.000235(?) | 0.722              | 0.441     | 0.680     | 0.600                                  | 112.3         | 0.127    | 0.0000763          | 0.263   | 0.260     | 0.288               | 0.278     | 0.066      | 0.066                          | 0.066      | 89.07         | 0.209    | 0.407   | 3.21                                             | 14.2    | 83.17         | 0.199    | 0.381   | 3.54                                           | 14.7    | 90.93         | 0.199    | 0.430   | 3.71                        | 15.1    | 87.72         | 0.202    | 0.406   | 3.49   | 14.7    |
| Lärche         | General-Mittel:              | 5                         | 131.14              | 0.397    | 0.000580    | 0.964              | 0.337     | 0.896     | 0.710                                  | 114.45        | 0.122    | 0.0000664          | 0.312   | 0.278     | 0.342               | 0.321     | 0.070      | 0.074                          | 0.072      | 90.58         | 0.189    | 0.460   | 4.45                                             | 16.8    | 111.89        | 0.203    | 0.543   | 5.54                                           | 19.4    | 112.26        | 0.225    | 0.600   | 6.81                        | 17.1    | 104.91        | 0.206    | 0.534   | 5.60   | 17.8    |
|                | gewachsen über 1300 m.       | 3                         | 117.5               | 0.362    | 0.000489    | 0.897              | 0.375     | 0.732     | 0.613                                  | 117.70        | 0.117    | 0.0000589          | 0.305   | 0.304     | 0.333               | 0.324     | 0.075      | 0.072                          | 0.071      | 101.22        | 0.211    | 0.513   | 4.38                                             | 16.3    | 110.34        | 0.214    | 0.547   | 4.89                                           | 17.5    | 109.12        | 0.229    | 0.577   | 6.07                        | 16.2    | 106.89        | 0.218    | 0.546   | 5.11   | 16.7    |
|                | " unter 1300 m.              | 2                         | 148.5               | 0.449    | 0.000716    | 1.064              | 0.280     | 1.142     | 0.855                                  | 109.60        | 0.130    | 0.0000776          | 0.323   | 0.238     | 0.356               | 0.316     | 0.071      | 0.077                          | 0.074      | 74.61         | 0.107    | 0.381   | 4.58                                             | 17.8    | —             | —        | —       | —                                              | 116.97  | 0.219         | 0.636    | 7.93    | 18.3                        | 95.79   | 0.163         | 0.508    | 6.25    | 18.0   |         |
|                | " aufnörd. Gehg.             | 2                         | 110.6               | 0.383    | 0.000538    | 0.865              | 0.373     | 0.748     | 0.624                                  | 116.80        | 0.116    | 0.0000583          | 0.311   | 0.319     | 0.353               | 0.342     | 0.074      | 0.074                          | 0.074      | 101.70        | 0.229    | 0.515   | 4.35                                             | 16.2    | 117.24        | 0.224    | 0.594   | 5.43                                           | 17.9    | 119.06        | 0.248    | 0.658   | 7.69                        | 16.7    | 112.67        | 0.234    | 0.589   | 5.82   | 16.9    |
|                | " auf süd. Gehg.             | 2                         | 148.5               | 0.487    | 0.000303    | 1.165              | 0.369     | 1.035     | 0.813                                  | 106.30        | 0.116    | 0.0000639          | 0.277   | 0.234     | 0.294               | 0.274     | 0.060      | 0.070                          | 0.067      | 76.92         | 0.156    | 0.436   | 5.94                                             | 20.4    | 106.54        | 0.181    | 0.492   | 5.66                                           | 20.8    | 100.64        | 0.198    | 0.517   | 6.22                        | 20.1    | 94.70         | 0.178    | 0.482   | 5.94   | 20.4    |
| Eiche          | General-Mittel:              | 2                         | 108.30              | 0.476    | 0.001510    | 0.889              | 0.793     | 0.979     | 0.964                                  | 102.70        | 0.148    | 0.0001078          | 0.328   | 0.323     | 0.353               | 0.343     | 0.075      | 0.075                          | 0.075      | 92.98         | 0.205    | 0.580   | 6.40                                             | 21.5    | 95.10         | 0.231    | 0.605   | 7.34                                           | 25.5    | 110.14        | 0.214    | 0.616   | 6.21                        | 25.4    | 99.41         | 0.217    | 0.600   | 6.65   | 24.1    |
| Buche          | General-Mittel:              | 1                         | 180.00              | 0.581    | 0.000940    | 1.730              | 0.570     | 1.720     | 1.340                                  | 168.60        | 0.102    | 0.0000306          | 0.304   | 0.294     | 0.333               | 0.320     | 0.079      | 0.088                          | 0.085      | 121.33        | 0.212    | 0.637*  | 16.47*                                           | (?)     | 132.90*       | 0.253*   | 0.720*  | 18.0*                                          | (?)     | 129.65*       | 0.245*   | 0.652*  | 16.00*                      | (?)     | 127.96*       | 0.240*   | 0.669*  | 16.82* | (?)     |

\* Abnormal, muthmasslich in Folge des höheren Feuchtigkeitsgrades.

\*\* Für seitliches Holz.



Unter den Festigkeitszahlen sind es diejenigen der Zugfestigkeiten, namentlich die zugehörigen Elasticitäts- und Grenzmoduli, die vermöge der Formgebung der Probekörper, Art ihrer Einspannung und Messung der Dehnungsverhältnisse, die relativ grössten Unsicherheiten enthalten, daher auch bei Discussion der Fragen der Qualitätsbestimmung, der Bestimmung der relativen Werthverhältnisse der Bauholzsorten nur in 2. Linie zulässig sind. Ueberhaupt sind die Elasticitäts- und Grenzmoduli der Hölzer ähnlich denjenigen des Eisens und des Stahl's für die Qualität nicht kennzeichnend, und dürfen hier füglich ausser Betracht fallen.

Für bautechnische Zwecke sind sämmtliche Resultate brauchbar; sie sind jedenfalls zuverlässiger und richtiger, als die meisten in unsern Lehrbüchern enthaltenen Angaben.

Was zunächst die Festigkeitsverhältnisse des Holzes in verschiedenen Stellen des Querschnitts betrifft, so lehrt schon ein oberflächlicher Vergleich der Zahlenwerthe der Tabelle I, dass das Holz der Stamm-Mitte selbst bei Stämmen im Alter des vorliegenden Versuchsmaterials, gleichviel ob aus Höhen über oder unter 1300 *m*, durchweg schwächer ist als das reife Holz seitlich der Stamm-Mitte. Folgende tabellarische Zusammenstellung gibt in übersichtlicher Weise die relativen Aenderungen der fraglichen Festigkeitsverhältnisse. Sämmtliche Festigkeitszahlen und Arbeitswerthe der Bauhölzer für die Stamm-Mitte sind = 1 gesetzt und darnach die Werthverhältnisse für das reife, seitliche Holz berechnet. Dabei stellt

|   |                |             |   |                               |
|---|----------------|-------------|---|-------------------------------|
| + | Vorzeichen den | Wachsthum   | } | der Festigkeit des seitlichen |
| — | „              | die Abnahme |   |                               |

Holzes gegenüber jenem der Stamm-Mitte dar.

| Bezeichnung<br>der<br>Holzsorte | Zug<br>$\beta_s$ | Druck<br>$\beta_s$ | Scheren<br>$\sigma_s$ | Biegung   |        |
|---------------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------|--------|
|                                 |                  |                    |                       | $\beta_s$ | $A$    |
| Föhre . . . .                   | + 2.94           | - 1.13             | (?)                   | + 1.19    | + 1.26 |
| Weisstanne . .                  | + 1.76           | + 1.02             | + 1.03                | + 1.11    | + 1.42 |
| über 1300 m . .                 | + 2.20           | + 1.00             | + 1.07                | + 1.10    | + 1.29 |
| unter 1300 m . .                | + 1.67           | + 1.03             | + 1.00                | + 1.12    | + 1.48 |
| Rothtanne . .                   | + 1.66           | + 1.08             | - 1.01                | + 1.03    | + 1.33 |
| über 1300 m . .                 | + 1.46           | + 1.00             | - 1.09                | - 1.06    | + 1.01 |
| unter 1300 m . .                | + 1.85           | + 1.13             | + 1.08                | + 1.16    | + 1.92 |
| Lärche . . . .                  | + 2.65           | + 1.23             | + 1.06                | + 1.30    | + 1.53 |
| über 1300 m . .                 | + 1.95           | + 1.09             | - 1.04                | + 1.12    | + 1.38 |
| unter 1300 m . .                | + 4.07           | + 1.49             | + 1.09                | + 1.67    | + 1.73 |
| Eiche . . . .                   | + 1.23           | + 1.09             | + 1.00                | + 1.06    | - 1.03 |
| Buche . . . .                   | + 3.02*          | + 1.13             | + 1.11                | + 1.02    | - 1.03 |
| Mittel für:                     |                  |                    |                       |           |        |
| Nadelholz . . .                 | + 2.27           | + 1.11             | + 1.04                | + 1.16    | + 1.39 |
| Laubholz . . . .                | + 2.12           | + 1.11             | + 1.05                | + 1.04    | - 1.03 |

Vorliegende Zusammenstellung lässt erkennen, dass en général die Nadelhölzer in der Stamm-Mitte sowohl an Festigkeit als Zähigkeit wesentliche Einbusse erleiden; so ist die Biegefestigkeit des seitlichen Holzes der Nadelhölzer um 16 0/0, die Leistungsfähigkeit um 39 0/0 grösser als für die Stamm-Mitte.

Wichtig scheint die Beobachtung, dass Rothtanne gewachsen über 1300 m im Kern eine nur unerhebliche Einbusse ihres Nutzwertes erleidet, während dies bei der Weisstanne in wesentlich höherem Masse der Fall ist. Die Laubhölzer verlieren an Festigkeit relativ weniger als Nadelhölzer; die Leistungsfähigkeit ist für Holz der Stamm-Mitte und seitlich derselben im Mittel nicht wesentlich verschieden. Die Zahlenwerthe der nebenstehenden Zusammenstellung, sowie die Coefficienten der Biegefestigkeiten für die Stamm-Mitte, oder

\* Unsicher.



| Bezeichnung<br>der<br>Holzsorte | Zugfestigkeit |          |           | Druckfestigkeit |          |               | Scherft.      | Mittlere Biegefestigkeit |          |                    |                    |       |
|---------------------------------|---------------|----------|-----------|-----------------|----------|---------------|---------------|--------------------------|----------|--------------------|--------------------|-------|
|                                 | $\varepsilon$ | $\gamma$ | $\beta_m$ | $\varepsilon$   | $\gamma$ | $\beta_m$     | $\sigma_m$    | $\varepsilon$            | $\gamma$ | $\beta$            | $A$                | $n\%$ |
| Föhre . . . . .                 | (unsicher)    |          | 1.00      | 1.00            | 1.00     | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00                     | 1.00     | <b>1.00</b>        | <b>1.00</b>        | 1.00  |
| Weisstanne . . .                | 1.0           | 1.0      | -1.35     | -1.18           | -1.27    | + <b>1.15</b> | + <b>1.03</b> | -1.00                    | +1.19    | + <b>1.07</b>      | + <b>1.19</b>      | -1.44 |
| Rothtanne . . .                 | +1.14         | -        | -1.19     | -1.07           | -1.11    | + <b>1.12</b> | + <b>1.10</b> | +1.01                    | +1.12    | + <b>1.06</b>      | + <b>1.26</b>      | -1.31 |
| Lärche . . . . .                | +1.16         | -        | -1.01     | -1.04           | -1.20    | + <b>1.30</b> | + <b>1.18</b> | +1.22                    | +1.09    | + <b>1.31</b>      | + <b>1.66</b>      | -1.17 |
| Eiche . . . . .                 | -1.04         | -        | +1.34     | -1.15           | +1.01    | + <b>1.40</b> | + <b>1.23</b> | +1.16                    | +1.15    | + <b>1.47</b>      | + <b>1.97</b>      | +1.15 |
| Buche . . . . .                 | +1.58         | -        | +1.86     | +1.42           | -1.43    | + <b>1.30</b> | + <b>1.39</b> | +1.49(?)                 | +1.27(?) | + <b>1.64</b> *(?) | + <b>5.00</b> *(?) | (?)   |

## Vergleichende Zusammenstellung der Mittel-Werthe für Holz gewachsen über und unter 1300 m ü. M.

|                  |            |      |       |      |      |               |               |       |       |               |               |       |
|------------------|------------|------|-------|------|------|---------------|---------------|-------|-------|---------------|---------------|-------|
| Weisstanne       |            |      |       |      |      |               |               |       |       |               |               |       |
| über 1300 m . .  | 1.00       | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00 | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  | 1.00  | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  |
| unter 1300 m . . | (unsicher) |      | +1.41 |      |      | + <b>1.12</b> | + <b>1.02</b> | +1.22 | +1.08 | + <b>1.15</b> | + <b>1.34</b> | +1.09 |
| Rothtanne        |            |      |       |      |      |               |               |       |       |               |               |       |
| über 1300 m . .  | 1.00       | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00 | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  | 1.00  | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  |
| unter 1300 m . . |            |      | +1.24 |      |      | + <b>1.08</b> | - <b>1.02</b> | +1.03 | -1.15 | + <b>1.01</b> | - <b>1.22</b> | +1.03 |
| Lärche           |            |      |       |      |      |               |               |       |       |               |               |       |
| über 1300 m . .  | 1.00       | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00 | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  | 1.00  | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  |
| unter 1300 m . . |            |      | +1.39 |      |      | - <b>1.03</b> | + <b>1.04</b> | -1.11 | -1.34 | - <b>1.07</b> | + <b>1.22</b> | +1.08 |

## Vergleichende Zusammenstellung der Mittel-Werthe für Holz gewachsen auf nördlichen und südlichen Gehängen.

|                    |      |      |       |      |      |               |               |       |       |               |               |       |
|--------------------|------|------|-------|------|------|---------------|---------------|-------|-------|---------------|---------------|-------|
| Weisstanne         |      |      |       |      |      |               |               |       |       |               |               |       |
| nördl. Gehänge . . | 1.00 | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00 | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  | 1.00  | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  |
| südl. Gehänge . .  |      |      | -1.04 |      |      | - <b>1.02</b> | + <b>1.03</b> | -1.22 | -1.09 | - <b>1.18</b> | - <b>1.50</b> | -1.19 |
| Rothtanne          |      |      |       |      |      |               |               |       |       |               |               |       |
| nördl. Gehänge . . | 1.00 | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00 | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  | 1.00  | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  |
| südl. Gehänge . .  |      |      | -1.08 |      |      | + <b>1.01</b> | <b>0.00</b>   | -1.03 | -1.04 | - <b>1.08</b> | - <b>1.17</b> | -1.15 |
| Lärche             |      |      |       |      |      |               |               |       |       |               |               |       |
| nördl. Gehänge . . | 1.00 | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00 | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  | 1.00  | <b>1.00</b>   | <b>1.00</b>   | 1.00  |
| südl. Gehänge . .  |      |      | +1.30 |      |      | - <b>1.25</b> | - <b>1.10</b> | -1.19 | -1.31 | - <b>1.22</b> | + <b>1.02</b> | +1.21 |

für Holz gebogen gegen die Mitte, sprechen im Vergleiche mit den Coefficienten für Biegung von der Stamm-Mitte, vergl. Tab. I, deutlich dafür, dass unter gleichen Verhältnissen in jedem Bauwerke dem seitlichen Holz der Vorzug gebührt, und dass bei relativ beanspruchten Balken darauf zu achten sei, dass die Fasern der gespannten Balkenseite nicht der mittleren Partie des Stammes angehören.

Nach ihren Festigkeitsverhältnissen rangiren die geprüften Bauhölzer in folgender Weise:

| Nr.  | Zugfestigkeit | Druckfestigkeit | Scherfestigkeit | Biegungs-<br>festigkeit |
|------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| I.   | Weisstanne    | Föhre           | Föhre           | Föhre                   |
| II.  | Rothtanne     | Rothtanne       | Weisstanne      | Rothtanne               |
| III. | Lärche        | Weisstanne      | Rothtanne       | Weisstanne              |
| IV.  | Föhre         | Lärche          | Lärche          | Lärche                  |
| V.   | Eiche         | Buche           | Eiche           | Eiche                   |
| VI.  | Buche         | Eiche           | Buche           | Buche                   |

Die vergleichende Zusammenstellung der Generalmittel der Resultate, vergl. Tab. II, enthält unter *A* der Columne „mittlere Biegungsfestigkeit“ die relativen Arbeitswerthe der schweiz. Bauhölzer. Den kleinsten Arbeitswerth zeigt die Föhre; setzt man denselben = 1,0, so erscheint bei einem Wassergehalt von 11—20% (lufttrockenes Holz)

der Arbeitswerth der Weisstanne um 19% grösser;

„ „ der Rothtanne „ 26% „

„ „ der Lärche „ 66% „

„ „ der Eiche „ 97% „

Der Arbeitswerth der Buche ist wegen höherem Wassergehalt unsicher; immerhin weist ihr ihre Werthziffer in der Reihe der schweiz. Bauhölzer einen Platz neben der Eiche an. Die Resultate der Prüfung der fraglichen Buche (Rothbuche) sprechen ferner für eine viel grössere, technische Verwendbarkeit derselben als z. Z. angenommen wird, so ferne nur ihre Dauer durch entsprechende Imprägnirung gesichert ist.

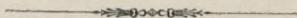
Aus dem Vergleiche der Mittelwerthe der Festigkeitszahlen, schweiz. Bauhölzer gewachsen über und unter 1300 m ü. M., geht ferner das bedeutungsvolle Resultat hervor, dass mit Rücksicht der durch alle Festigkeitsarten übereinstimmenden Abnahme der Werthzahlen

der Weisstanne gewachsen über 1300 *m*, die Weisstanne dem Hügellande resp. Gebirgen unter 1300 *m* angehört und vorwiegend dort zu pflegen ist. Die gleiche Zusammenstellung weist ebenso übereinstimmend auf die Nothwendigkeit hin, für Qualitätsbaumholz nördliche Gehänge mit Weisstanne zu bewalden und umgekehrt für wichtige bauliche Zwecke die Weisstanne von nördlichen Gehängen zu beziehen.

In theilweise anderem Lichte erscheint die Qualität der Rothtanne; ein Blick auf die vergleichende Zusammenstellung der Mittelwerthe der erhobenen Festigkeitszahlen, lässt sowohl in der absoluten Grösse der Zahlenwerthe als im Wechsel des Vorzeichens erkennen, dass innerhalb der Grenzen von 500—1500 *m* ü. M. die Höhenlage des Standortes auf die Qualität der Rothtanne keinen sehr wesentlichen Einfluss ausübt. Da jedoch die Arbeitscapacität der Rothtanne gewachsen unter 1300 *m* ü. M. um 22 % geringer ist als das Mittel der Rothtanne gewachsen über 1300 *m*, so erscheint dieselbe als Baum des Gebirges und ist vorwiegend dort zu pflanzen, wo die Weisstanne kein Qualitätsholz mehr gibt. Nördliche Gehänge liefern ein zuverlässigeres, besseres Holz der Rothtanne als südliche Gehänge, indessen ist der Unterschied der örtlichen Lage bei der Rothtanne nicht so bedeutend als bei der Weisstanne.

Was schliesslich die Lärche betrifft, so scheint dieselbe, wie die Weisstanne unter 1300 *m*, besseres Holz zu liefern; die Unterschiede in den Werthzahlen der nördlichen und südlichen Gehänge sprechen auch bei der Lärche zu Gunsten der nördlichen Gehänge; die ausgewiesene Leistungsfähigkeit des Holzes ist wahrscheinlich in Folge des grösseren Feuchtigkeitsgrades fast die gleiche.

Die Föhre, Eiche und Buche sind in zu geringer Anzahl von Exemplaren der Prüfung unterworfen worden um in forstwirtschaftlicher Hinsicht Schlussfolgerungen zu gestatten. Hier bleibt weiteren Forschungen ein weites Feld offen; möge dasselbe zum Vortheile der schweiz. Forstwirtschaft gehörig ausgebeutet werden.

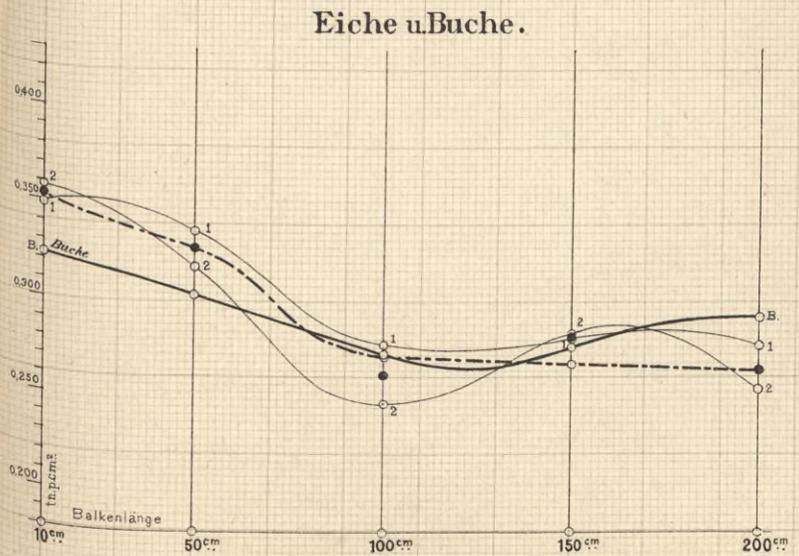
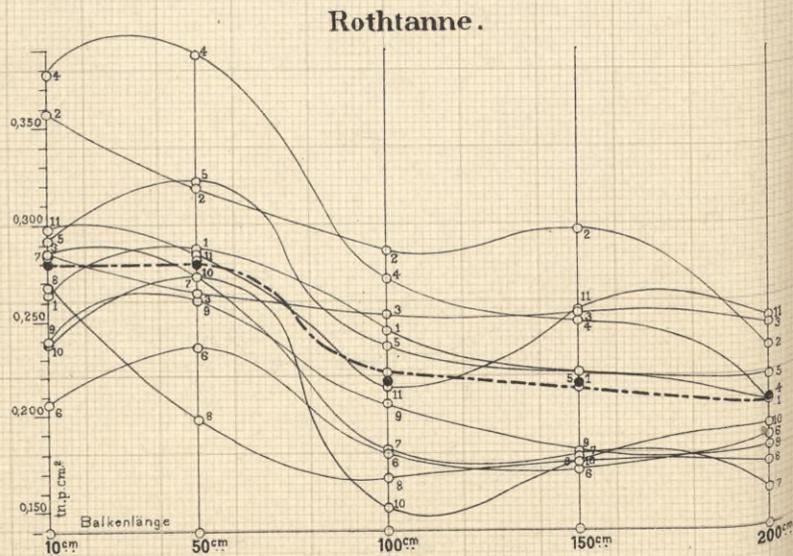
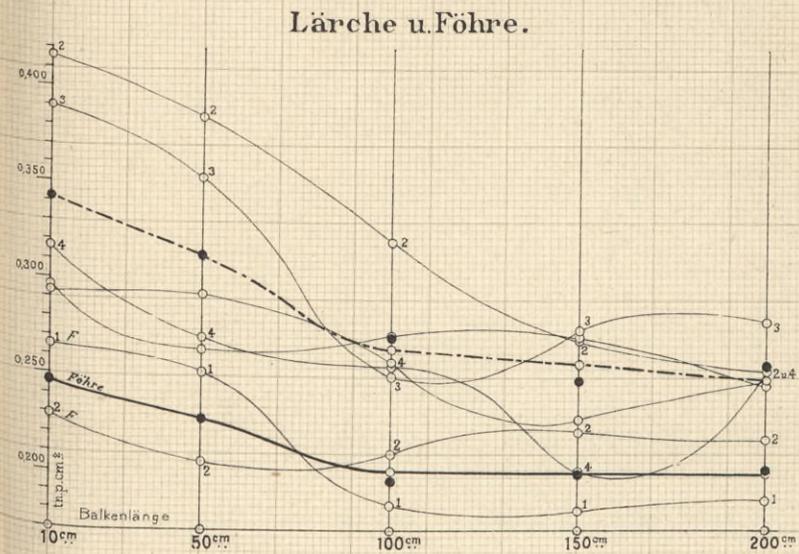
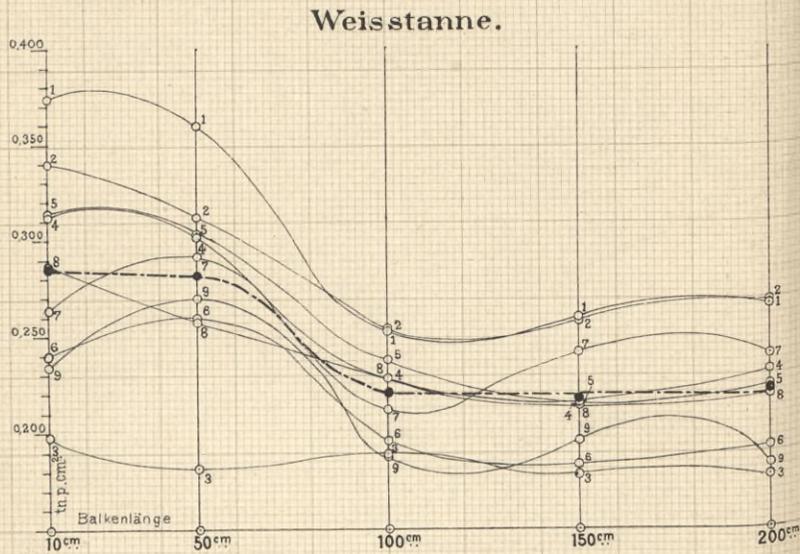




Zur Frage der Knickungsfestigkeit der Bauhölzer

v. Prof. L. Tetmajer in Zürich.

ZUSAMMENSTELLUNG DER RESULTATE  
DER KNICKUNGSPROBEN.



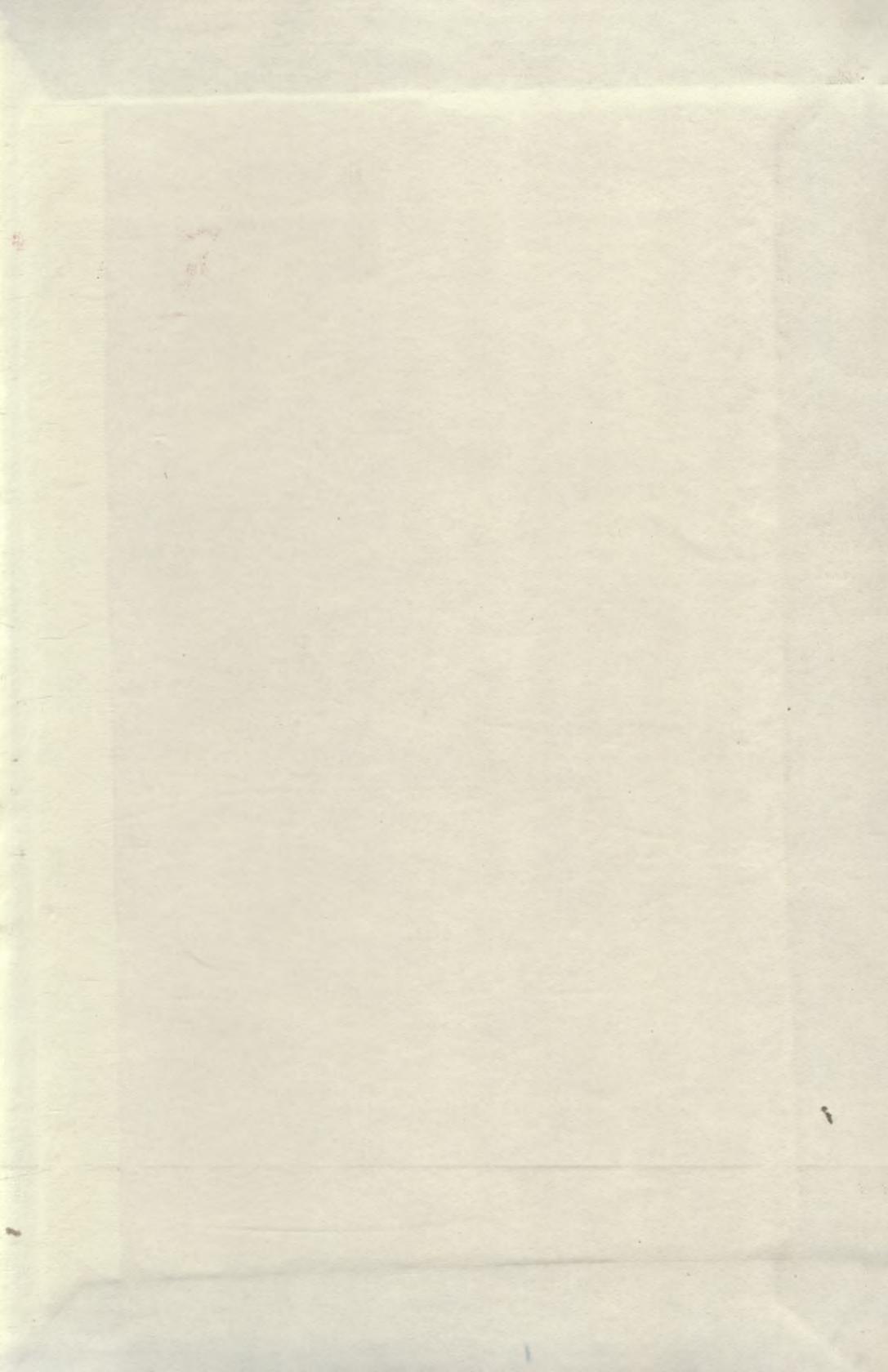
Abscissen = Balken in cm.

Massstab 1m.m = 2cm.

Ordinaten = Druckmodul tn.pro cm.<sup>2</sup>

Massstab 1m.m = 0,004 tn.pro cm.<sup>2</sup>





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



**II-351664**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294702

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



**II-351934**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000315785

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



**II-351935**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000315786

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



**II-351936**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000315787