

Y17/115 und 33A

VERSUCHSANSTALT FÜR HOLZ, STEIN UND EISEN

PRÜFRAUM GABER / TECHNISCHE HOCHSCHULE KARLSRUHE

HEFT 5

EIN GÜTEVERGLEICH ZWISCHEN DEUTSCHEN UND AUSLÄNDISCHEN WEICHHÖLZERN

von

E. GABER



Aufnahme Dr. Burger.

Ansicht der neuen Holzhalle der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen mit genagelten Fachwerkbindern aus Bohlen

Karlsruhe 1937

Alle Rechte vorbehalten / Nachdruck mit Quellenangabe gestattet / Printed in Germany

Ein Gütevergleich zwischen deutschen und ausländischen Weichhölzern.

Es liegt im Interesse unserer Forst-, Holz- und Staatswirtschaft, nach einem gerechten Maßstab die verschiedenen Eigenschaften der in- und ausländischen Weichhölzer zu vergleichen. Man muß wissen, ob die auf manchen Verwendungsgebieten gebräuchliche ausländische Ware unserer eigenen so überlegen ist, daß ihre Einfuhr trotz aller volkswirtschaftlichen Bedenken gerechtfertigt ist. In manchen Industriezweigen war es stehende Übung, für gewisse Zwecke ohne weitere Überlegung zum ausländi-

schen Holz zu greifen. Vergleichende Untersuchungen werden zeigen, daß die oft vermutete technische Überlegenheit des fremden Weichholzes kaum oder überhaupt nicht vorhanden ist, und daß man bei richtiger Wahl häufig zu dem gleichen Zweck unser inländisches Holz in ausreichender Güte verwenden kann. In heutiger Zeit der Abschnürung vom freien Weltmarkt ist es vielleicht gut, durch folgenden Versuchsbericht etwas zur Klärung beizutragen.

A.

Bretter für den Autobau usw. aus Oregon Pine oder Schwarzwaldtanne.

Der hier ins Auge gefaßte Verwendungszweck der Bretter verlangt vom Holz:

1. Statische Biegefestigkeit gegenüber der Nutzlast.
2. Schlagbiegefestigkeit beim stoßweißen Beladen.
3. Härte, also Widerstand gegen das Eindrücken von Ecken oder Kanten der Nutzlast.
4. Abnutzungswiderstand beim Ziehen, Schleifen und Rollen der Nutzlast.

Das Holz.

Amerikanische Oregon Pine und badische Tanne.

Es wurden diese Eigenschaften zahlenmäßig festgestellt:

bei Oregon:

an 5 Brettern 2,1—7,6 cm, 120 cm lang, bezeichnet mit O₁ bis O₅;

bei Tanne:

an 11 Brettern 2,5—9,5 cm, 120—250 cm lang, bezeichnet mit T₁ und T₃ bis T₁₂;

bei Fichte:

an 1 Brett 2,5—9,0 cm, 250 cm lang, bezeichnet mit F₂.

Bei den meisten Brettern standen die Jahresringe, bei einigen neigten sie sich um 45°. Mit Bedacht waren vom Sägewerk teils fehlerfreie Bretter, teils aber auch mit geringen Ästen, Ris-

sen und dgl. behaftete ausgewählt worden — aber immer solche Bretter, welche geeignet schienen, die Oregonbretter beim Lastwagenbau zu ersetzen.

Die Versuchsdurchführung.

1. Die Biegefestigkeit wurde am gleichen Brett an mehreren Biegekörpern flach nach Abbildung 1 auf einer 5-Tonnen-Prüfmaschine normenmäßig geprüft. Fehlerhafte Stellen kamen wenn möglich nach oben in die gedrückte Zone. Es wurden gemessen:

w = die Holzfeuchtigkeit in Gewichtsprozent des Darrgewichtes;

σ_w = die Biegefestigkeit bei dieser Holzfeuchtigkeit;

f = die größte Durchbiegung bei dieser Holzfeuchtigkeit kurz vor dem Bruch.

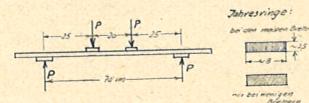


Abb. 1. Biegeversuch mit Brett aus Oregon-Pine.

Auf Grund von anderen Versuchen war folgende Beziehung zwischen der Biegefestigkeit σ_w bei w % Holzfeuchtigkeit und der Biegefestigkeit σ_{15} bei der Normalfeuchtigkeit von 15 % angenommen worden:

$$\sigma_{15} = \sigma_w + 22 (w - 15) \text{ kg/cm}^2 \text{ für } w \text{ in \%}.$$

- Nach diesem Gesetz wurden die gefundenen Versuchswerte umgerechnet, um beim Vergleich den großen Einfluß der schwankenden Holzfeuchtigkeit möglichst auszuschalten.
- Die Schlagbiegefestigkeit wurde mit einem 10-kgm-Pendelschlagwerk mit 28 cm Stützweite an Holzproben von 2,2—2,2—30 cm ermittelt. Der Schlag wirkte in der gleichen Richtung auf die Jahresringe des Holzes wie die Belastung des Biegeversuches. Alle Holzproben waren fehlerfrei.
 - Die Härte wurde mit dem Baumann-Schlaghärteprüfer durch Einschlagen eines Stempels mit einer ebenen, rechteckigen Schlagfläche $2,8 \times 11,9$ mm mit der großen Schlagstufe festgestellt. Geschlagen wurde entsprechend der Wirklichkeit immer quer zur Holzfaser auf der breiten Fläche der Bretter. Die Einschlagtiefe gab den Maßstab für die Härte.
 - Der Abnutzungswiderstand wurde im Sandstrahlgebläse durch Wiegen des Gewichtsverlustes nach 2 Minuten Blaszeit mit 2 at Luftdruck gemessen, wobei ein Normalglas als Eichmaßstab mitgeblasen wurde. Es wurde quer zur Holzfaser geblasen, entsprechend der wirklichen Abnutzung.

Das Versuchsergebnis.

1. Die statische Biegefestigkeit.

Die Bretter wurden mit Absicht nicht zu Biegebalken mit einheitlichem Widerstands- oder Trägheitsmoment verarbeitet, um möglichst naturgetreu zu bleiben. Man kann daher wohl die Bruchspannungen σ_{15} bei 15 % Wassergehalt, aber nicht die Durchbiegung kurz vor dem Bruch vergleichen, die nur einen allgemeinen Anhalt für die Bruchzähigkeit des Holzes gibt.

Oregon.

Holzart	Breit	Feuchtigkeit w in %	Biegefestigkeit in kg/cm ²	Durchbiegung beim Bruch in cm f	Bruch	Holz- güte	Jahres- ringe
			σ_w	σ_{15}			
Oregon- Pine	0,1 a	11,2	1050	966	3,8	lang	1 eng
	0,2 a	9,4	1018	895	4,0	lang	1 weit
	0,2 b	9,4	994	871	3,2	lang	1 weit
	0,3 a	10,5	727	628	2,8	kurz, durch 2 Äste	2 eng
	0,4 a	9,1	1362	1232	4,3	lang	1 weit
	0,4 b	9,1	1320	1190	4,0	lang	1 weit
	0,5 a	12,3	1090	1030	3,6	kurz	1 weit

Die mittlere Biegefestigkeit ist:

Oregonbretter	1. Güte	2. Güte
σ_{15} in kg/cm ²	1031	628
—	—	—
Streuung in %	+20	—

Bei der Rechnung über alles ohne Güteunterschied errechnet sich ein gemitteltes $\sigma_{15} = 973$ kg/cm² mit einer Streuung von + 27 % und — 36 %.

Es ist vielleicht zweckmäßig, die bei jedem Brett gefundene mittlere Festigkeit anzugeben und hiernach das Gesamtmittel aus diesen Werten zu bilden.

Brett	0 ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₄	0 ₅
σ_{15} kg/cm ²	966	883	628	1211	1030
Ursprüngliche Gütezahl	1	1	2	1	1

Die Güteeinteilung nach Gefühl entspricht dieser Reihenfolge der Festigkeit.

Die mittlere Brettbiegefestigkeit $\sigma_{15} = 944$ kg/cm² Streuung + 28 % und — 34 %.

Früher fand sich als Mittel aus allen Biegekörpern ein etwas höherer Wert von

$$\sigma_{15} = 973 \text{ kg/cm}^2.$$

Tanne.

Das Sägewerk hatte die **Tannenbretter** nach dem Auge in drei Güteklassen eingeteilt. Es wurde daher auch hier der Mittelwert für jede Gütekasse, dann aber auch aus allen Versuchen berechnet.

Holzart	Brett	Feuchtigkeit w in %	Biegefestigkeit in kg/cm ² σ_w	Biegefestigkeit in kg/cm ² σ_{15}	Durchbiegung beim Bruch in cm	Bruch	Holz- güte	Jahres- ringe
Tanne	T 1 a	10,2	523	417	2,5	kurz, Ast	1	eng
	T 1 b	10,2	491	385	1,3	kurz	1	eng
	T 1 c	9,56	452	332	1,4	lang, durch Äste	1	eng
	T 3 a	12,8	558	509	3,7		3	weit
	T 3 b	10,85	798	707	4,4		3	weit
	T 4 a	10,1	628	520	3,9		3	weit
	T 5 a	11,2	903	815	5,6	lang	1	eng
	T 5 b	11,2	935	847	5,8	lang	1	eng
	T 6 a	11,1	572	486	2,9	kurz	1	weit
	T 6 b	11,1	614	528	2,7	kurz	1	weit
	T 7 a	10,1	730	622	5,5		1	eng
	T 7 b	10,1	627	519	3,8		1	eng
	T 8 a	9,7	789	672	4,3		2	weit
	T 8 b	9,7	794	677	2,8		2	weit
	T 9 a	11,05	898	811	3,1		2	eng
	T 9 b	11,05	516	429	1,8	durch Ast	2	eng
	T 9 c	9,83	597	483	1,9	durch Ast	2	eng
	T 9 d	9,83	956	842	4,7		2	eng
	T 10 a	12,6	373	320	2,4		3	weit
	T 10 b	12,6	462	409	2,5		3	weit
	T 10 c	10,35	666	564	2,3		3	weit
	T 11 a	12,2	514	452	2,8	durch Ast	2	weit
	T 11 b	12,2	604	542	3,4		2	weit
	T 11 c	11,3	612	530	3,4	kurz	2	weit
	T 12 a	11,2	308	224	2,4	durch Ast	2	weit
	T 12 b	11,2	650	566	3,6	lang	2	weit
	T 12 c	10,6	680	583	3,5	kurz, durch Ast	2	weit
	T 12 d	10,6	781	634	3,9	lang	2	weit

Für die ursprünglich geschätzten Güteklassen ergeben sich folgende mittlere Biegefestigkeiten der badischen Tannenbretter:

Mittleres σ_{15} kg/cm² 1. Güte 2. Güte 3. Güte
550 572 505

Es entspricht also die ursprüngliche Güteschätzung dieser Reihenfolge der Festigkeit nur teilweise. In Anbetracht der großen Streuungen sind die gemittelten Unterschiede zu klein, um hier schon daraus Güteklassen abzuleiten. Über alle Versuche gemittelt $\sigma_{15} = 554$ kg/cm² mit der Streuung +53 % und -60 %.

Aus anderen Versuchen mit unausgesuchtem Tannenholz hohen Alters aus dem Schwarzwald fanden wir gemittelt nur

rund 460 kg/cm² Biegefestigkeit.

Wenn man ein anderes Bild gewinnen will, kann man die mittleren Festigkeiten der einzelnen Bretter miteinander vergleichen.

Brett	T ₁	T ₃	T ₄	T ₅
σ_{15} kg/cm ²	378	608	520	831
Ursprügl. Gütezahl	1	3	3	1

T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂
507	570	675	641	431	508	502
1	1	2	2	3	2	2

Hierbei ergeben sich folgende Mittelwerte für die ursprünglich bezeichneten Güteklassen:

Güte:	1	2	3
gemittelt σ_{15} kg/cm ²	572	581	520

Die geschätzte Güte entspricht nicht diesen Zahlenwerten, deren Unterschiede recht klein sind. Zum Schluß sei noch das Gesamtmittel dieser Brettermittelwerte mit den Streuungen angegeben:

Mittlere Brettbiegefestigkeit $\sigma_{15} = 558$ kg/cm²
Streuung +50 % -32 %.

Gleichgültig, ob man das Gesamtmittel aus allen einzelnen Biegekörpern oder aus den Brettern bildet, ergibt sich die gemittelte Biegefestigkeit der Tannenbretter etwa zu $\sigma_{15} = 550$ kg/cm².

Je nach der Rechnungsart beträgt die Streuung entweder +53 und -60 % oder +50 und -32 %. Sie ist recht groß.

Fichte.

Aus der Fichtenbohle kamen vier Biegekörper.

Holzart	Brett	Feuchtigkeit w in %	Biegefestigkeit σ_w in kg/cm ²	Biegefestigkeit σ_{15} in kg/cm ²	Durchbiegung beim Bruch in cm	Bruch	Holz- güte	Jahres- ringe
Fichte	F 2 a	10,6	452	355	2,1	kurz, Ast	1	eng
	F 2 b	9,3	768	643	3,6	normal	1	eng
	F 2 c	12,34	757	698	3,5	normal	1	eng
	F 2 d	12,34	798	739	3,4	normal	1	eng

Sie geben:

$$\text{Mittleres } \sigma_{15} = 609 \text{ kg/cm}^2$$

Streuung + 21 % und - 42 %.

Die lufttrockene Tanne hatte im Durchschnitt nur 74 % des Raumgewichtes der Oregon, an Biegefestigkeit aber nur 57—58 %. Die Biegefestigkeit fiel also stärker ab als das Gewicht.

Vergleich der Biegefestigkeiten.

Es verlohnt sich nur bei Tanne und Oregon die Mittel gegenüberzustellen, da bei Fichte zu wenig Werte vorliegen.

Mittel aus allen Versuchen

	σ_{15} kg/cm ²	Streuung
Oregon	973	+ 27 % — 36 %
Tanne	554	+ 53 % — 60 %
Fichte	609	+ 21 % — 42 %

Mittel aus den Brettern

	σ_{15} kg/cm ²	Streuung
Oregon	944	+ 28 % — 34 %
Tanne	558	+ 50 % — 32 %

Die mittlere Festigkeit der 11 Tannenbretter beträgt somit 57 oder 59 % der Biegefestigkeit der 5 Oregonbretter.

Dabei ist zu beachten, daß absichtlich auch minder gute Tannenbretter geprüft wurden und daher nicht nur das Mittel gedrückt, sondern auch die Streuung gesteigert wird.

Bei den Oregonbrettern erklärt sich die höhere Biegefestigkeit schon aus dem höheren Raumgewicht.

Das lufttrockene Raumgewicht in g/cm³.

Brett	Oregon	Tanne	Fichte
1	0,554	0,448	
2	0,545	0,451	0,424
3	0,628		
4	0,634		
5	0,589	0,457	
6		0,377	
7		0,483	
8		0,468	
9		0,490	
10		0,456	
11		0,413	
12		0,373	
Mittel	0,59	0,44	0,42 g/cm ³

2. Die Schlagbiegefestigkeit.

Hier wird die für den einheitlichen Holzquerschnitt von 4,84 cm² aufgewendete Bruchschlagarbeit in kgcm angegeben.

Brett	Oregon	Tanne	Fichte
1	179	77	117
2	247	—	
3	—	213	
4	281		
5	154		
6		161	
7		140	
8		211	
9		234	
10		171	
11		109	
12		125	
Mittel	215	160	117 kgcm
Mittel	44	33	24 kg/cm

Streuung +31 — 28 %, +46 — 52 %, —

Die ursprüngliche Schätzung der Güte hat hier ganz versagt.

Die Tanne hat eine Schlagbiegefestigkeit von 75 % der der Oregon Pine. Das entspricht dem Gewichtsverhältnis beider Hölzer.

3. Die Oberflächenhärte.

Sie ist umgekehrt proportional der gemessenen Einschlagtiefe t in mm und zeigt bei den verschiedenen Brettern auch in den Mittelwerten große Unterschiede, die natürlich von dem prozentualen Anteil an Spätholz abhängen. Hierbei ist die Ästigkeit diesmal nicht nachteilig.

Brett	t Oregon	t Tanne	t Fichte
1	1,01 mm	1,16 mm	1,42 mm
2	0,81		
3	0,61	0,67	
4	0,91		
5		1,08	
6		1,63	
7		1,18	
8		1,15	
9		1,17	
10		0,89	
11		1,36	
12		1,43	

Mittl. Einschlag-tiefe $t = 0,84$ 1,17 1,42 mm
 Streuung +20 —27 %, +40 —43 %, —
 Härte $\frac{1}{t} = 1,19$ 0,86 0,70

Die Härten verhalten sich umgekehrt wie die gemessenen Tiefen. So betrachtet, hat die Tanne 73 % der Oregon-Härte. Auch dieser Wert entspricht dem Gewichtsverhältnis beider Hölzer.

4. Der Abnützungswiderstand.

Ein Holz für Ladepritschen, Fußböden usw. muß einen guten Widerstand gegen Oberflächenabnützung zeigen. Er ist etwa umgekehrt proportional dem Gewichtsverlust b im Sandstrahlgebläse.

Brett	b Oregon	b Tanne	b Fichte
1	6,32 g	6,10 g	7,58 g
2	6,20		
3		3,13	
4	7,02		
5		6,18	
6		7,28	
7		4,41	
8		4,30	
9		6,92	
10		5,18	
11		5,95	
12		10,59	

Mittl.
 Gewichts-Verlust 6,5 6,0 7,6 g
 Streuung +8 —5 %, +77 —48 %, —

Es ist wichtig, den Blasverlust ausgedrückt in cm^3 zu kennen. Er wird mit den vorigen Raumgewichten der lufttrockenen Hölzer für diese Mittelwerte gerechnet.

	Gewichtsverlust b in g	Raumverlust v in cm^3	Zähigkeit $= \frac{100}{v}$
Oregon			
$\gamma = 0,59$	6,5	11,0	9,1
Tanne			
$\gamma = 0,44$	6,0	13,6	7,3

Der Abnützungswiderstand der Tanne ist 80 % der Zähigkeit der Oregon Pine und entspricht ungefähr dem Gewichtsverhältnis.

Zusammenfassung und Schlußergebnis.

Bei jeder Holzuntersuchung, auch bei kleinen, ziemlich fehlerfreien Prüfkörpern, sind die Streuungen groß. Die Schlußfolgerungen können daher nur allgemein sein und nicht genau zahlenmäßig richtig angegeben werden. Man sieht nur die Richtung, nach der das Ganze zielt.

Vielleicht darf man für solche Verwendungszwecke — Automobilbau, Fußböden usf. — eine Gütezahl auf der Meinung aufbauen, daß der statischen Biegefestigkeit eine kleinere Bedeutung als der dynamischen Schlagbiegefestigkeit, der Oberflächenhärte und der Zähigkeit zu kommt. Man kann dann die jeweilige Eigenschaft des Oregonholzes als Einheit nehmen und etwa nach folgendem Schema eine Gütezahl berechnen:

Statische Biegefestigkeit	Gewicht 1
Dynam. Schlagbiegefestigkeit	„ 3
Oberflächenhärte	„ 3
Abnützungswiderstand	„ 3
zusammen: Gewicht 10, zugleich Gütezahl des Oregon-Pine-Brettes.	

Zunächst sind die gefundenen Mittelwerte zusammengestellt.

	Stat. Biegefestigkeit σ_{15} in kg/cm^2	Schlagbiegefestigkeit in kg/cm	Einschlag-tiefe t in mm	Abnützung in cm^3
Oregon	944	44	0,84	11
Streuung	+28 —34	+31 —28	+20 —27	+8 % —5 %
Tanne	558	33	1,17	13,6
Streuung	+50 —32	+46 —52	+40 —43	+77 % —48 %
Verhältnis in %	59	75	139	124 %

Die Streuungen sind bei der Tanne durchweg größer als bei der Oregon-Pine, ihre Bretter waren also ungleichmäßiger in ihren mechanischen Eigenschaften.

Die Tanne hat nur 59 % der statischen, aber 75 % der dynamischen Biegefestigkeit im Vergleich zum amerikanischen Holz. Ihre Oberfläche ist 1,4 mal so weich gegen Eindruck und

nützt sich 1,24 mal so stark ab als die Oregon-Pine.

	Oregon	Gewicht	Tanne	Gewicht
Stat. Biegefestigkeit	1	1	0,58	0,58
Schlagbiegefestigkeit	1	3	0,75	2,25
Oberflächenhärte	1	3	0,73	2,19
Abnütz.-Widerstand	1	3	0,80	2,40
Gütezahl		10		7,42

Gibt man den Oregon-Pine-Brettern also die Gütezahl 10, so haben unsere guten deutschen Tannenbretter der Gütezahl 7,4.

Bei anderem Verwendungszweck kommt den einzelnen mechanischen Eigenschaften natürlich ein anderes Gewicht zu und ändert sich damit auch das Güteverhältnis.

Es ist Sache der Wirtschaft und unserer Staatsföhrung, nachzuprüfen, ob die hier nachgewiesenen Eigenschaften guter ausgesuchter Tannenbretter aus dem Schwarzwald nicht für manche Zwecke vollkommen genügen, wo heute noch

aus Gewohnheit oder Unkenntnis der wirklichen Verhältnisse ausländisches Holz, hier Oregon-Pine, verwendet wird. Mir scheinen die Unterschiede nicht so groß, daß nicht auch gerade z. B. im Lastwagenbau in der heutigen ungewöhnlichen Zeit, wo die Länder sich wirtschaftlich absperren, sorgfältig ausgesuchte Tannenbretter benutzt werden dürften. Wie im Bauwesen so drängt es aber auch hier zu einer zweckmäßigen Einteilung unserer Hölzer in

Holz 1. Klasse — erlesene Ware

Holz 2. Klasse — normale Ware

Holz 3. Klasse — unsortierte Ware.

Die Güteklaasse muß sich für Holz im Lastwagenbau aber auf anderen Unterlagen und Festigkeitseigenschaften aufbauen als z. B. für Bauholz. Aber immer wird es zahlenmäßiger Unterlagen bedürfen, die nur durch Versuch gewonnen werden können. Sie wurden hier wenigstens teilweise geliefert.

B.

Vergleich zwischen süddeutscher und schwedischer Fichte als Bauholz.

Beim nordischen Weichholz findet man häufig engere Jahresringe als bei unserm einheimischen. Manche Kreise neigen daher zur Meinung, daß die nordische Fichte als Bauholz z. B. bessere mechanische Eigenschaften als unser Weichholz habe, obwohl bekannt ist, daß die Festigkeitswerte eines Holzes nicht von der Enge oder Weite der Jahresringe, sondern vor allem vom prozentualen Anteil des festen Spätholzes abhängen, das wiederum sein Darrgewicht bestimmt. Auf Veranlassung des Fachausschusses für Holzfragen wurden hier systematische Untersuchungen angestellt, um zahlenmäßig einen Vergleich zwischen den Festigkeiten der süddeutschen Fichte und der schwedischen Fichte zu gewinnen. Es wurden ermittelt die statischen Druck-, Biege-, Zug- und Schub-Festigkeiten, da sie für unser Bauholz von besonderer Bedeutung sind. Es sei vorweg bemerkt, daß das Ergebnis vorteilhaft für unser gutes einheimisches Bauholz ausfällt.

I. Voruntersuchungen.

Um einigermaßen sicher zu gehen, mußten einige Vorfragen beantwortet werden.

Die Vorversuche sollten klären:

Die Abhängigkeit des Wassergehaltes im Holz von dem der umgebenden Luft;

die Abhängigkeit der Druck-, Zug- und Schubfestigkeit von dem Wassergehalt des Holzes;

die Streuung der Feuchtigkeit und Druckfestigkeit des Holzes längs der Stammachse.

Zwei 5 cm dicke und 24 cm breite Fichtenbretter, 290 und 400 cm lang, wurden lange Zeit im Prüfraum gelagert. Dann wurden sinnvoll und nach einer festen Regel über die Breite und Länge verteilt quadratische Druckprismen 4,5 \times 4,5 \times 7 cm herausgeschnitten, mit denen die folgenden Vorversuche durchgeführt werden konnten.

1. Wassergehalt im Holz, abhängig von dem der Luft.

Von den vorigen Holzproben wurden einige bis zur Gewichtskonstanz in einem Glasbehälter jeweils zwei Wochen lang gelagert, dessen Luftinhalt durch Verwendung von Schwefelsäure bestimmter Konzentration während dieser zwei Wochen jeweils hatte

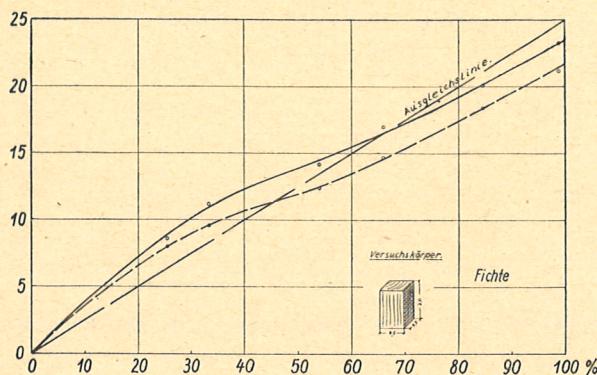


Abb. 2. Gleichgewicht zwischen Holzfeuchtigkeit und relat. Luftfeuchtigkeit. Die Abszisse ist die relative Luftfeuchtigkeit, die Ordinate die Holzfeuchtigkeit w in %.

25—35—55—65—85—100 % Luftfeuchtigkeit. Immer nach zwei Wochen wurde der Wassergehalt in den Holzproben durch Wiegen festgestellt und später auf das Holzdarrgewicht bezogen. Man erhielt für jedes Fichtenbrett eine Kurve und zog eine ausgleichende Gerade, aus der sich ergibt:

Lange in der Luft gelagerte, lufttrockene, kleine Fichtenholzkörper haben einen Wassergehalt in Prozent ihres Darrgewichtes, der etwa gleich einem Viertel des Wassergehaltes der Luft ist.

2. Die Holzfestigkeit, abhängig vom Wassergehalt.

Auf dem gleichen Wege wie vorhin wurde in den kleinen Fichtenholzprismen ein verschieden hoher Wassergehalt erzeugt, die zugehörige statische Festigkeit durch Druck parallel zur Faser ermittelt und dann das Darrgewicht festgestellt. So konnte man die zu jedem Wassergehalt gehörige Druckfestigkeit zeichnerisch festlegen. Bei diesem Fichtenholz fällt die Druckfestigkeit von 750 auf 220 kg/cm², also

stark, wenn der Wassergehalt von 0 auf 25 Gewichtsprozent steigt. Eine stärkere Holzfeuchtigkeit lässt seine Druckfestigkeit nur noch schwach sinken.

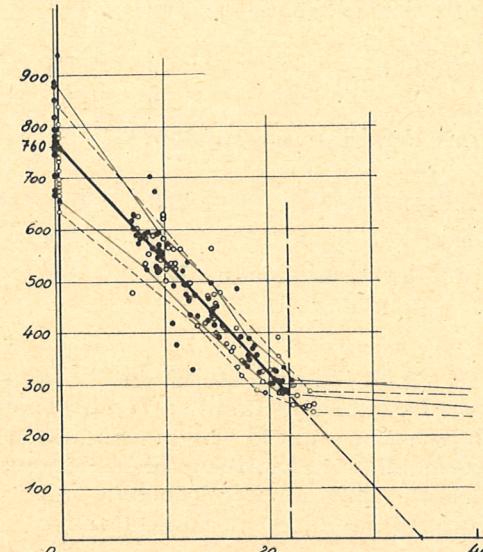


Abb. 3. Die Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Holzfeuchtigkeit w . Die Abszisse ist die Holzfeuchtigkeit w in %, die Ordinate ist die Druckfestigkeit.

Im praktischen Bereich unterhalb der Fasersättigung kann man nun genau genug aus der durch Versuch bekannten Druckfestigkeit σ_w des Fichtenholzes mit w Gewichtsprozent Wassergehalt die Normendruckfestigkeit σ_{15} berechnen, die dem Normenwassergehalt von 15 Gewichtsprozent entspricht.

$$\sigma_{15} = \sigma_w + 22 (w - 15) \text{ kg/cm}^2 \text{ für } w \text{ in \% und kleiner als } 25 \text{ \%}.$$

In abgekürzter Weise wurde so auch die Abhängigkeit der Zug- und Schubfestigkeit des Fichtenholzes vom Wassergehalt ermittelt, um zu sehen, wie groß hier der Einfluß ist. Die Zahl der Versuche ist zwar klein, gibt aber doch einen guten Einblick.

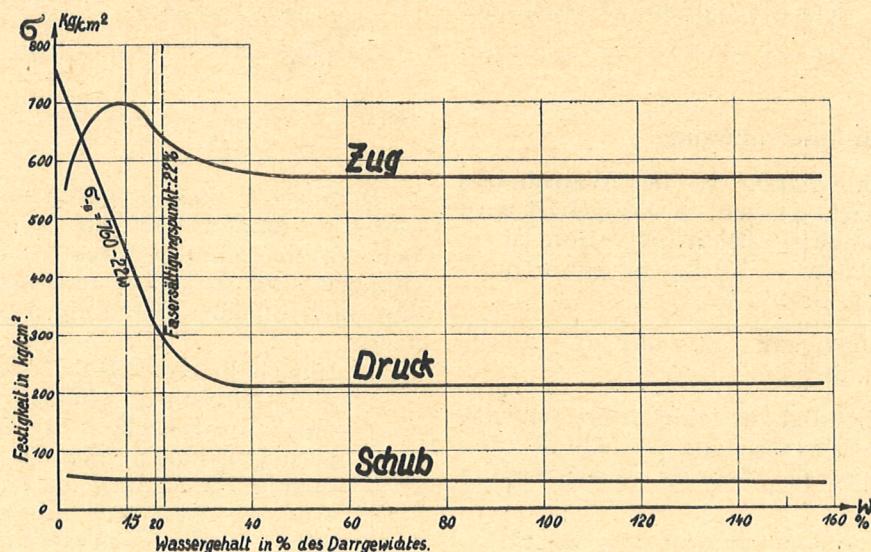


Abb. 4. Abhängigkeit der verschiedenen Festigkeitsarten der Fichte von der Holzfeuchtigkeit w .

Holzfeuchtigkeit	4	14	125	Gewichtsprozent	Zahl der Versuche 6
Zugfestigkeit	550	700	568	kg/cm ²	
Streuung	±25	±20	±18	%	
Verhältnis der Festigkeiten	100	128	103	%	
Schubfestigkeit	59	56	43	kg/cm ²	Zahl der Versuche 11
Streuung	±9	±7	±12	%	
Verhältnis der Festigkeiten	100	95	73	%	
Druckfestigkeit	700	450	210	kg/cm ²	Zahl der Versuche 18
Streuung	±5	±5	±5	%	
Verhältnis der Festigkeiten	100	64	30	%	

Die Zugfestigkeit hängt bekanntlich stark vom Faserverlauf und der Versuchskörperform ab, weist also große Streuungen auf. Diese oft unvermeidbaren Einflüsse überschatten den des Wassers. Mit allem Vorbehalt darf man doch wohl die Meinung aussprechen:

Die Zugfestigkeit der Fichte hängt nur schwach von der Holzfeuchtigkeit ab.

Die Schubfestigkeit fällt verschieden hoch aus, je nachdem man verschiedene Körperformen oder Schubquerschnitte wählt. Innerhalb gleicher Körperformen sind die Streuungen jedoch viel geringer als beim Zug. Der Wassergehalt läßt die Schubfestigkeit nur schwach fallen. Sein Einfluß ist im praktischen Feuchtigkeitsbereich kleiner als die dem Holz zugehörige Streuung.

Die Biegefestigkeit hängt von der Druck- und Zugfestigkeit ab. Sie wird daher sich ähnlich wie die Druckfestigkeit stark nach der Holzfeuchtigkeit richten.

Man darf wohl annehmen, daß unsere heimischen Weichhölzer Tanne und Fichte sich gleich verhalten gegen den Einfluß des Wassers auf ihre Festigkeiten.

Zusammenfassung.

- Die Druckfestigkeit σ_w des Weichholzes mit w Gewichtsprozent Wassergehalt wird von ihm ungünstig beeinflußt. Roh ist $\sigma_{15} = \sigma_w + 22 (w - 15) \text{ kg/cm}^2$ für w in % und kleiner als 25 %.
- Die Biegefestigkeit hat wohl die gleiche Abhängigkeit.
- Die Schubfestigkeit leidet nur schwach durch den Wassergehalt. Der Abfall kann im praktischen Bereich vernachlässigt werden.
- Die Zugfestigkeit ist praktisch unabhängig vom Wassergehalt.

3. Die Holzfestigkeit, abhängig von der Höhenlage im Stamm.

Man wollte sehen, welche Festigkeitsschwankungen innerhalb eines Brettes der Länge nach auftreten. Man benützte dazu kleine Prismen aus den vorigen beiden Fichtenbrettern und ermittelte die Druckfestigkeit und den Wassergehalt.

	1. Brett	2. Brett
Gemittelte		
Druckfestigkeit σ_w =	478	394 kg/cm ²
Streuung	+4,6 — 6,7,	+5,3 — 6,6 %
Gemittelter		
Wassergehalt	11,9	15,8 %
Streuung	+0,7 — 0,34,	+0,45 — 0,51 %

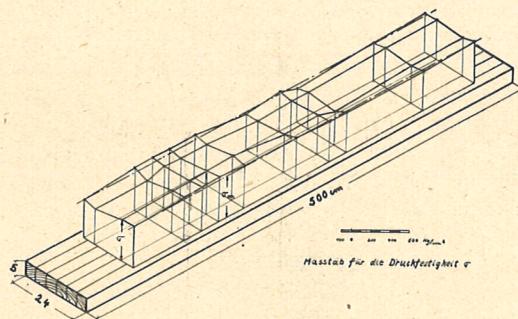


Abb. 5. Die Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Lage im Fichtenholzbrett.

In Abb. 5 sind die gefundenen Druckfestigkeiten — umgerechnet auf σ_{15} — über der Höhenlage im Stamm aufgetragen. Die Abweichungen sind so gering und liegen im Bereich der sonst üblichen Streuungen, daß man sagen darf:

Innerhalb einer Holzlänge von 4 m hat die Höhenlage keinen Einfluß auf die Druckfestigkeit. Trotz längerer Lagerung ist aber auch im Brett noch ein kleiner Unterschied im Wassergehalt. Ein größerer Festigkeitsunterschied ist nur durch die Lage im Stammquerschnitt — Splint oder Kern — bedingt.

II. Die badische Fichte.

In 7 Forstbezirken Badens wurden je 3 Stämme im Alter zwischen 80 und 190 Jahren für diese Zwecke nach freiem Ermessen des Forstamtes im Frühjahr gefällt. Der Durchmesser der 4,50 m langen Stammabschnitte schwankte in der Mitte zwischen 23 und 36 cm. Die badischen Hölzer gelangten auf dem Landwege vom Walde zum Sägewerk und von dort zur Versuchsanstalt. Aus jedem Stamm wurden eine Kernbohle von 10 cm Dicke und zwei Seitenbohlen von 5 cm Stärke herausgeschnitten. Die zersägten Blöcke wurden vor Regen geschützt längere Zeit im Freien gelagert. Nach einiger Zeit wurden aus den 5 cm starken Seitenbohlen die Versuchskörper herausgearbeitet. Es wurden normenmäßig die statischen Festigkeiten auf Druck, Biegung, Zug, Schub ermittelt. Die Holzproben waren alle aus möglichst fehlerfreiem Holz. Die Form der Versuchskörper war:

Druckkörper quadratische Prismen von 4,5 cm Kantenlänge und 9 cm Höhe,

Quadratische Biegebalken von 4,5 cm Kantenlänge und 60 cm Stützweite,

Zugkörper mit einem schwächsten rechteckigen Querschnitt von 1/1,5 cm,

Schubkörper für zweischnittigen Schub mit zwei rechteckigen Schubflächen von 1,2/1,5 cm.

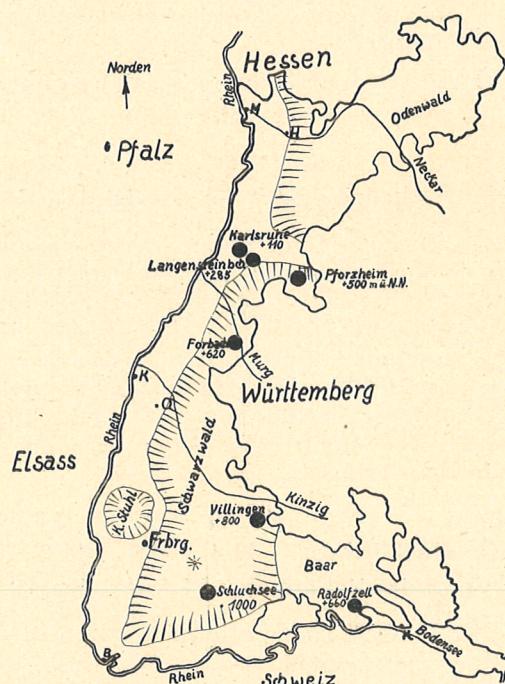


Abb. 6. Der Standort der untersuchten badischen Fichtenhölzer.

Bis auf die Biegekörper war nur fehlerfreies Holz verwendet worden. Bei den Biegekörpern wurde auf geraden Faserverlauf geachtet und die unvermeidlichen Äste in ungefähr-

lichen Zonen verwiesen. Trat beim Versuch ein Bruch durch einen kleinen Ast auf, so blieb der Wert unberücksichtigt.

Die beim Wassergehalt von $w\%$ gefundene Druck- und Biegefesteitigkeit wurde umgerechnet für den Wassergehalt von 15 % nach der Gleichung

$$\sigma_{15} = \sigma_w + 22 (w - 15) \text{ kg/cm}^2 \text{ für } w \text{ in } \% \text{ und kleiner als } 25 \text{ }.$$

Eine solche Umrechnung unterblieb aber bei der Zug- und Schubfestigkeit, da hier der Wassergehalt nur geringen Einfluß hat und bei den Versuchen nur wenig — zwischen 14 und 16 % — schwankte.

Die Festigkeitswerte.

Für diesen Zweck des Vergleiches mit der schwedischen Fichte wurde zunächst das Mittel aus den zahlreichen Einzelversuchen gebildet.

Liste 1.

	Mittelwerte	Druck	Biegung	Zug	Schub
Bruchspannung bei $w = 15\%$		420	754	937	69 kg/cm^2
Verhältnis		100	178	223	16 %
Streuung		±4	5	13	23 %
Anzahl der Versuche	116	115	101	141	

In 80 Fällen wurde die Druckfestigkeit σ_{15} als Abhängige vom Darrgewicht $\gamma \text{ g/cm}^3$ berechnet. Der Mittelwert ist: $\sigma_{15} = 920 \cdot \gamma \text{ kg/cm}^2$ für γ in g/cm^3 .

Die Unregelmäßigkeit des Weichholzes zeigt sich stark bei Zug und Schub und schwach bei Druck und Biegung.

Die Häufigkeit.

Die gefundenen Festigkeitswerte werden in Gruppen eingeteilt:

Liste 2.

bei Druck in Abständen von	50 kg/cm^2
bei Zug in Abständen von	100 „
bei Biegung in Abständen von	100 „
bei Schub in Abständen von	10 „

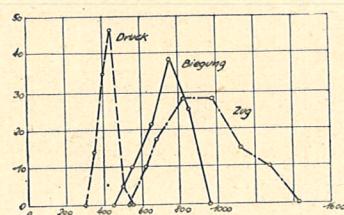


Abb. 7. Badische Fichte. Häufigkeitslinien der Zug-, Druck- und Biegefesteitigkeit.

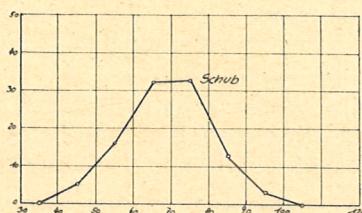


Abb. 8. Badische Fichte. Häufigkeitslinie der Schubfestigkeit

Es wurde der Prozentsatz der Werte ausgerechnet, die in einer Gruppe liegen. Dieser Prozentsatz wurde als Ordinate über dem Gruppenmittelwert als Abscisse aufgetragen. Die größte Ordinate dieser Häufigkeitslinie gibt den am häufigsten vorkommenden Wert. Eine schmale, hohe Kurve zeigt gleichmäßige Eigenarten, eine breite, flache Kurve sehr unterschiedliches Verhalten des Holzes an.

Liste 3.

	Druck	Biegung	Zug	Schub
Mittelwert	420	754	937	69 kg/cm ²
Verhältnis	100	178	223	16 %
häufigster Wert	450	750	900	75 kg/cm ²
Verhältnis	100	168	200	17 %

Die Jahresringe und der Spätholzanteil der Fichtenhölzer.

Die Jahresringbreite schwankte bei den Mittelwerten der Stämme zwischen 1,0 und 1,8 mm. An allen Probekörpern einer Versuchsort wurde die mittlere Breite der Jahresringe im Holz ermittelt und daraus ein Gesamtmittel für diese Versuchsort berechnet. Ebenso wurde der prozentuale Anteil an Spätholz — durch Schätzung und Mittelbildung — gefunden.

Liste 4.

	Druck-	Biege-	Zug-	Schubkörper
Breite der Jahresringe	1,50	—	1,54	2,5 mm
Spätholzanteil	35	—	36	— %

Festigkeit und Darrgewicht γ .

Es wurde auch die Häufigkeitskurve für das Darrgewicht der badischen Fichte gezeichnet; es streut stark und hat als häufigsten Wert

$$\gamma = 0,45 \text{ g/cm}^3 \text{ und als Mittel } 0,41.$$

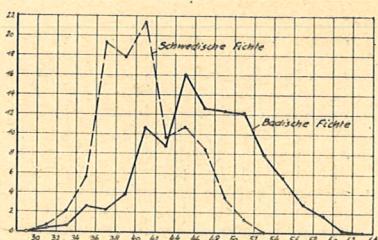


Abb. 9. Badische und schwedische Fichte. Häufigkeitslinie für das Darrgewicht.

Zwischen diesem häufigsten Darrgewicht γ und der häufigsten Druckfestigkeit $\sigma_{15} = 450 \text{ kg/cm}^2$ besteht die Beziehung:

$$\sigma_{15} = 1000 \cdot \gamma \text{ kg/cm}^2 \text{ für } \gamma \text{ in g/cm}^3,$$

während sie für die arithmetischen Mittelwerte lautete:

$$\sigma_{15} = 920 \cdot \gamma \text{ kg/cm}^2.$$

Festigkeit und Jahresringbreite.

Für 18 Druckprismen wurde die mittlere Jahresringbreite ermittelt und auf ihr als Abscisse die zugehörige Druckfestigkeit σ_{15} als Ordinate aufgetragen.

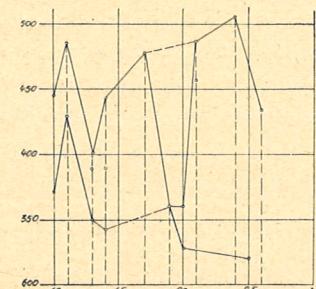


Abb. 10. Badische Fichte. Die Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der mittleren Jahresringbreite. Die Abscisse ist die Jahresringbreite in mm, die Ordinate ist die Druckfestigkeit in kg/cm².

Man erkennt auf den ersten Blick:

Zwischen der Breite des Jahresringe und der Holzfestigkeit besteht keine Beziehung.

Zu gleichen Jahresringen gehören die verschiedensten Festigkeiten.

Die Oberflächenzähigkeit im Sandstrahlgebläse.

Die üblichen fehlerfreien Versuchskörper wurden in unserem Sandstrahlgebläse gegen die stehenden Jahresringe senkrecht zur Stammachse angeblasen. Um einen einheitlichen Maßstab zu gewinnen, wurde der Gewichtsverlust auf das gleichzeitig mitgeblasene Glas umgerechnet. Es wurden 4 Stämme und von jedem Stamm 6 Körper untersucht. Als Mittel ergaben sich folgende Blasverluste:

Stamm	Nr. 10	21	44	47
Blasverlust b in g	11,4	8,8	11,0	7,9

Gesamtmittel aus den 24 Versuchen: 9,8 g.

Die Probekörper hatten einen gemittelten Wassergehalt von 12,6 %.

Die Zähigkeit ist umgekehrt proportional diesem Blasverlust b und sei hier ausgedrückt durch den Wert: 10 : b = z.

Sie berechnet sich hiernach für die badische Fichte zu

$$z = 1,02.$$

Die Schlagbiegefestigkeit.

Auf unserem 10-kgm-Pendelschlagwerk wurden der fehlerfreie Probekörper mit quadratischem Querschnitt von 2 cm Kantenlänge und 30 cm freier Stützweite einmal tangential und das andere Mal radial zu den Jahresringen geschlagen. Es wurden 4 badische Stämme geprüft; aus jedem Stamm kamen 3 Körper, welche tangential, und 3 Körper, welche radial geschlagen wurden. Die Mittelwerte für die 4 Stämme stehen in folgender Liste:

Stamm	Nr.	10	21	44	47
spez. Schlagarbeit					
tangentialer Schlag	53	37	50	34	kg/cm
radialer Schlag	74	55	70	48	„

Das Gesamtmittel aus den 12 Einzelversuchen gibt eine spez. Schlagfestigkeit

bei tangentialem Schlag:	44	kg/cm
bei radialem Schlag:	62	„

Die Unterschiede beim gleichen Schlag sind zwischen den Einzelstämmen beträchtlich und selbst innerhalb eines gleichen Stammes groß. Das Holz setzte dem radialen Schlag einen 1,4 mal größeren Widerstand entgegen als dem tangentialen.

Die Probekörper hatten einen gemittelten Wassergehalt von 12,6 %.

III. Die schwedische Fichte.

Zur Verfügung standen 12 im November gefällte Fichtenstämmen mit einem mittleren Durchmesser von 31—35 cm im Alter von 90 bis 120 Jahren von der mittleren schwedischen Ostküste, in 15—50 Meter Meereshöhe auf Molasseerde gewachsen. Mittlere Jahrestemperatur $+3,4^{\circ}\text{C}$., mittlere Niederschlagshöhe 495 mm. An ihnen wurde festgestellt:

1. normenmäßig die verschiedenen statischen Festigkeiten aus 7 Stämmen,
2. die statische Biegefestigkeit von Kantholz aus 5 Stämmen,
3. die statische Biegefestigkeit von Rundholz aus 3 Stämmen.

Die beim Wassergehalt w gefundenen Werte der Druck- oder Biegefestigkeit wurden wie vorhin nach folgender Gleichung umgerechnet in die Festigkeit bei 15 % Wassergehalt:

$$\sigma_{15} = \sigma_w + 22 (w - 15) \text{ kg/cm}^2 \text{ für } w \text{ in \% und kleiner als } 25 \text{ \%}$$

Die Umrechnung unterblieb bei der Zug- oder Schubfestigkeit wegen des geringen Einflusses der Feuchtigkeit.

Die Festigkeitswerte der Normenkörper.

Das Mittel aus sämtlichen Versuchen zeigt folgende Liste:

	Druck	Biegung	Zug	Schub
Bruchspannung bei $w = 15 \%$	389	689	781	70 kg/cm^2
Verhältnis	100	177	200	18 %
Anzahl der Versuche	147	74	126	55

Die Häufigkeit.

In gleicher Weise wie bei der badischen Fichte wurden die Häufigkeitskurven gezeichnet.

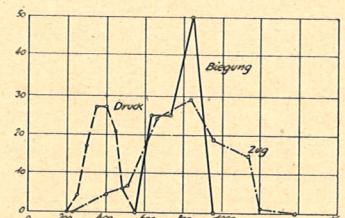


Abb. 11. Schwedische Fichte. Häufigkeitslinien der Zug-, Druck- und Biegefestigkeit.

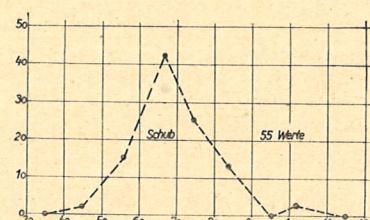


Abb. 12. Schwedische Fichte. Häufigkeitslinie der Schubfestigkeit.

	Druck	Biegung	Zug	Schub
Mittelwert	389	689	781	70 kg/cm^2
Verhältnis	100	177	200	18 %
Häufigster Wert	400	630	850	67 kg/cm^2
Verhältnis	100	158	212	17 %

Die Streuung war bei allen Festigkeiten groß, bei Druck am kleinsten, bei Schub am größten.

Die Jahresringbreite.

Die Jahresringbreite schwankte im Stammittel zwischen 1,7 und 2,3 mm. Sie gibt aber keinen Anhalt für die Holzfestigkeit, die in Wahrheit vom prozentualen Spätholzanteil und anderen Umständen abhängt.

Die Oberflächenzähigkeit im Sandstrahlgebläse.

Es wurden Proben aus 3 Stämmen entnommen. Geblasen wurde wieder wie bei der badischen Fichte senkrecht zur Stammachse auf die stehenden Jahresringe. Auch hier wurde der Gewichtsverlust auf das gleichzeitig mitgeblasene Glas umgerechnet. Die Mittelwerte sind:

Stamm	Nr.	10	2	3
Blasverlust in g		9,2	5,8	8,6
Gesamtmittel aus den 12 Versuchen:		7,9	—	—

Die angeblasenen Holzkörper hatten einen mittleren Wassergehalt von 12,4 %.

Je geringer der Blasverlust b ist, desto grösser ist die Oberflächenzähigkeit. Man kann sie daher ausdrücken durch den Wert: $z = \frac{10}{b}$. Damit berechnet sich für die schwedische Fichte eine Oberflächenzähigkeit

$$z = 10 : 7,9 = 1,26.$$

Die Schlagbiegefestigkeit.

Die fehlerfreien Probekörper quadratischen Querschnitts von 2 cm Kantenlänge und 30 cm freier Stützweite wurden aus 3 Stämmen entnommen und wie vorhin tangential und radial zu den Jahresringen geschlagen. Aus einem Stamm kamen 6 Probekörper. Für jeden Stamm wurde der Mittelwert gebildet.

Stamm	Nr. 2	3	10
spez. Schlagarbeit			
tangentialer Schlag	76	41	46
radialer Schlag	50	60	46

kg/cm

Als Gesamtmittel aus den 9 Einzelversuchen ergibt sich eine spez. Schlagfestigkeit

$$\begin{aligned} \text{bei tangentialem Schlag: } & 54 \text{ kg/cm} \\ \text{bei radialem Schlag: } & 52 \text{ "} \end{aligned}$$

Die schwedische Fichte zeigt bei radialem Schlag fast die gleiche Schlagfestigkeit wie beim Schlag tangential zu den Jahresringen. Die geschlagenen Probekörper hatten einen mittleren Wassergehalt von 12,5 %.

Festigkeit und Darrgewicht γ .

Das Darrgewicht schwankte bei 145 Messungen zwischen 0,31 und 0,51 g/cm³. Die Streuung ist außerordentlich stark. Der häufigste Wert ist $\gamma = 0,41 \text{ g/cm}^3$.

Zwischen den häufigsten Werten der Druckfestigkeit σ_{15} und des Darrgewichts besteht die Beziehung:

$$\sigma_{15} = 975 \cdot \gamma \text{ kg/cm}^2 \text{ für } \gamma \text{ in } \text{g/cm}^3.$$

Die Biegefestigkeit der Kanthölzer.

Aus 3 Stämmen wurden geschnitten:

$$12 \text{ Kanthölzer } 10 \times 12 \text{ cm}$$

Aus 1 Stamm wurden geschnitten:

$$2 \text{ Kanthölzer } 14 \times 20 \text{ cm}$$

Aus 1 Stamm wurden geschnitten:

$$2 \text{ Kanthölzer } 16 \times 20 \text{ cm.}$$

Die Biegekörper waren natürlich nicht ganz astrein und genau parallelfaserig.

Abmessung:

$$10 \times 12 \text{ cm } W=240 \text{ cm}^3 \text{ Stamm Nr. 6--11--12}$$

$$14 \times 20 \text{ cm } W=933 \text{ cm}^3 \text{ Stamm Nr. 4}$$

$$16 \times 20 \text{ cm } W=1070 \text{ cm}^3 \text{ Stamm Nr. 9}$$

An restlichen Abschnitten der Kanthölzer wurde die Festigkeit der Normenkörper bei $w = 15 \%$ bestimmt.

Die Biegefestigkeit der Kanthölzer 10 × 12 cm.

An jedem Kantholz wurden 2 Biegeversuche gemacht. Die Kanthölzer entstanden durch Kreuzschnitt.

	Stamm Nr. 6	11	12
Biegefestigkeit gemittelt:			
σ_w	555	667	484 kg/cm ²
w	16	19	25 %
σ_{15} der Kanthölzer	577	755	704 kg/cm ²
Normendruckfestigkeit			
σ_{15}	360	410	396 kg/cm ²
Normenzugfestigkeit			
σ_w	725	828	711 kg/cm ²

Kanthölzer 10x12 cm. W=240 cm³.

Entnahme aus Stamm Nr. 6, 11, 12.

Geprüft wurden:

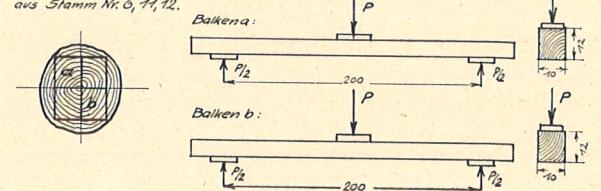


Abb. 13. Schwedische Fichte. Biegeversuch mit Kantholz 10/12.

Das Verhältnis Biegung : Druck ist nach vorhin 163 % bei den häufigsten Werten. Damit berechnet sich aus der Normendruckfestigkeit eine

Normenbiegefestigkeit von $589 \text{ } 670 \text{ } 645 \text{ kg/cm}^2$

Ein bedeutender Unterschied in der Festigkeit von Kantholz und fehlerfreiem Normalstab besteht nicht.

Die Biegefestigkeit der Kanthölzer 14×20 und 16 × 20 cm.

Jedesmal fanden 2 Biegeversuche statt.

Bei beiden Hölzern 14 × 20 cm brach ein Balken durch Biegeschub und einer durch Biegezug.

Kanthölzer 14x20 cm. W=933 cm³.

Entnahme aus Stamm Nr. 4

Prüfung:

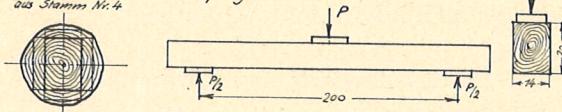


Abb. 14. Schwedische Fichte. Biegeversuch mit Kantholz 14/20.

Der Schubbruch trat auf:

bei einer Biegespannung von $\sigma_w = 416 \text{ kg/cm}^2$
bei einer Schubspannung von $\tau_w = 18,4 \text{ kg/cm}^2$

Der Biegebruch trat beim anderen Kantholz 14×20 auf:

bei einer Biegespannung von $\sigma_w = 562 \text{ kg/cm}^2$
bei einer Schubspannung von $\tau_w = 25 \text{ kg/cm}^2$

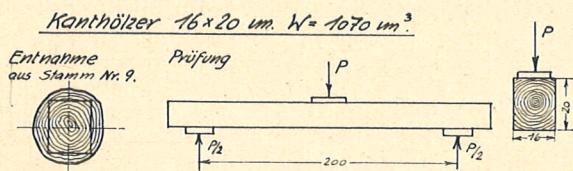


Abb. 15. Schwedische Fichte. Biegeversuch mit Kantholz 16/20.

Die beiden Hölzer $16 \times 20 \text{ cm}$ hatten 17 % Feuchtigkeit und mußten jedes eine Schwelllast von 0 bis 8500 kg ertragen. Ihr Widerstandsmoment war:

$$W = 980 \text{ cm}^3 = 15,5 \cdot \frac{19,5^2}{6}$$

das größte Biegemoment $M = 425 \text{ 000 kg/cm}$
die größte Biegespannung $\sigma = 435 \text{ kg/cm}^2$.

Der eine Balken hielt diese Schwelllast 250 mal aus ohne Bruch, der erst nach einem Anwachsen der Einzellast von 8500 auf 11 000 kg eintrat. Der andere Balken wurde nach 53 Lastwechseln durch Schub zerstört.

Es waren:

beim Biegebruch

$$\sigma_w = 562 \text{ und } \sigma_{15} = 606 \text{ kg/cm}^2; \tau = 28 \text{ kg/cm}^2$$

beim Schubbruch

$$\sigma_w = 433 \text{ und } \sigma_{15} = 477 \text{ kg/cm}^2; \tau = 21 \text{ kg/cm}^2$$

Die Festigkeit der Kanthölzer sei nun mit der Normenbiegefestsigkeit verglichen.

Kanthalz	14×20	$16 \times 20 \text{ cm}^2$
Biegefestsigkeit σ_w	416—562	433—562 kg/cm^2
„ σ_{15}	606	606 kg/cm^2

Normenbiegefestsigkeit $\sigma_w = 715—800 \text{ kg/cm}^2$

Normenbiegefestsigkeit $\sigma_{15} = 675 \text{ kg/cm}^2$

Die Biegefestsigkeit der geschnittenen Kanthölzer ist kleiner als die der Normenbalken.

Die Biegefestsigkeit und Steifigkeit der Rundhölzer bei statischer und dynamischer Last.

Zwei ganze Stämme wurden in unserer 500-t-Maschine als Biegeträger mit 400 cm theoretischer Stützweite durch Einzellast in $\frac{1}{2}$ bis zum Bruch belastet.

1. Rundholz:

Mittlerer Durchmesser $d = 33 \text{ cm}$
Widerstandsmoment $W = 3530 \text{ cm}^3$

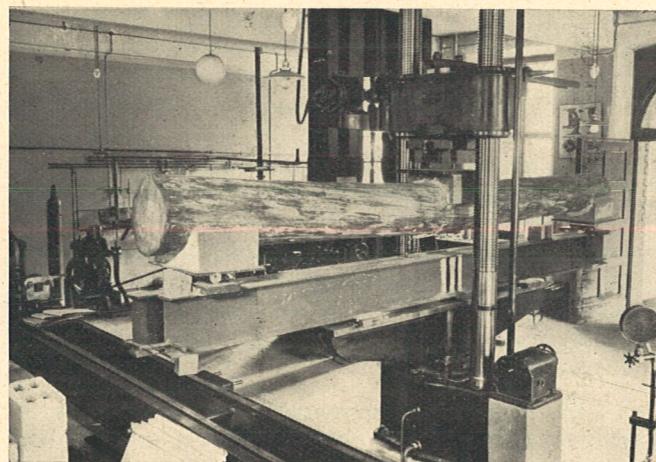


Abb. 16. Rundholz als Biegebalken auf der 500 t-Maschine.

Es wurde zunächst einer Schwelllast unterworfen, welche 1500 mal zwischen 5000 und 12 000 kg wechselte. Alsdann wurde die statische Belastung bis zum Bruch gesteigert, der eintrat bei $P = 18700 \text{ kg}$.

Es war also:

die schwelende Biegespannung $\sigma_w = 340 \text{ kg/cm}^2$
die Bruchspannung $\sigma_w = 530 \text{ kg/cm}^2$

	10.	415.	742.	1500.	Belastung
Durchbiegung bei $P = 5 \text{ t}$	0	3,5	4,5	7	mm
Wirksamer Elastizitätsmodul $E =$	00	328 000	255 000	164 000	kg/cm^2
Durchbiegung bei $P = 12 \text{ t}$	59,5	63,5	67,0	69,5	mm
Wirksamer Elastizitätsmodul $E =$	46 300	43 400	41 200	39 600	kg/cm^2

Der Wassergehalt im Stamminnern schwankte zwischen 39 und 47 % und war gemittelt $w = 43\%$.

Die Durchbiegung unter dem häufigen Anwachsen der Last von 5 auf 12 t verändert sich trotz der großen Beanspruchung des Holzes mit 340 kg/cm^2 nicht stark. Sie stieg nur von 59,5 auf 69,5 mm.

Am quadratischen fehlerfreien Biegestab $4 \times 4 \text{ cm}$ fand sich bei $w = 31\%$ eine Biegefestigkeit $\sigma_w = 498 \text{ kg/cm}^2$.

Das fehlerhafte Rundholz war also mit 530 kg/cm^2 fester als der kleine fehlerfreie Biegestab, der allerdings 4 Schnitte hatte ertragen müssen.

Das Rundholz hat sich also auch bei dem großen und häufigen Lastwechsel federnd verhalten und eine größere Biegefestigkeit als der Normenstab gehabt. Seine Steifigkeit lässt aber mit zunehmender Last und häufigen Lastwechseln nach.

2. Rundholz:

Sein mittlerer Durchmesser war $d = 31,5 \text{ cm}$ sein Widerstandsmoment war $W = 3070 \text{ cm}^3$.

Bei gleicher Auflagerung ließ man hier die Einzellast von 1000 auf 13 000 kg schwellen entsprechend einer größten Biegespannung von rund $\sigma = 425 \text{ kg/cm}^2$, die schon an die statische Biegefestigkeit heranreichte. Der Stamm brach dann auch schon beim 40. Lastwechsel. Sein Holz hatte geringe Zähigkeit und zeigte kurzfaserigen Bruch.

Im Stamminnern wurden 4 Feuchtigkeitsproben gemacht, die einen Wassergehalt ergaben von

$w = 40 - 61 - 69 - 70\%$, gemittelt $w = 60\%$.

Vergleich der Biegefestigkeiten.

Das 2. Rundholz hatte also nur 80 % der Biegefestigkeit vom 1. Stamm und war spröde, wogegen jenes zähe war.

Ein Vergleich mit den Kanthölzern und den Normenbalken gibt folgendes Bild:

Die Festigkeit der Kanthölzer lag unter, die Festigkeit des Rundholzes lag über der Normenbiegefestigkeit des gleichen Stammes.

Beim großen Bauholz liegt hier der Wassergehalt über 15 %. Sein Einfluß kann im Holzbau nicht ausgeschaltet werden und bleibe daher für diesen Vergleich jetzt außer Betracht. Dann zeigt sich als Durchschnittswert der

Biegefestigkeit am Normenstab	$\sigma_{15} = 689 \text{ kg/cm}^2$
Biegefestigkeit am Kantholz 14×20	(416) 562 ,
Biegefestigkeit am Kantholz 16×20	(433) 530 ,
Biegefestigkeit am Rundholz	423 u. 530 ,
Die durch Biegung zerstörten Kanthölzer hatten 82 % von σ_{15} ,	
die durch Biegung zerstörten Rundhölzer hatten 61 und 77 % von σ_{15} des fehlerfreien Normenbiegestabes mit $w = 15\%$.	

Die Mängel in den großen Körpern und die große Feuchtigkeit brachten einen Verlust an Biegefestigkeit. Hölzer mit großem Holzquerschnitt trocknen langsam und haben deswegen kleinere Biegefestigkeiten als dünne Holzstäbe, die leicht und rasch auch im Innern trocknen werden. Unter sonst gleichen Verhältnissen wird jedes Rundholz fester sein als das Kantholz, da bei diesem durch die 4 Sägeschnitte die Holzfasern angeschnitten und in ihrer Tragkraft herabgesetzt werden.

Zusammenfassung und Schlußergebnis der Versuche über badische und schwedische Fichte.

Für die Verwendung als Bauholz sind die Biege- und Schubfestigkeit besonders wichtig, da die Biegeträger am meisten angewandt werden. Die Druckfestigkeit bestimmt die Tragkraft von Stützen oder zusammen mit der Zugfestigkeit die zulässige Belastung von Fachwerken. Die Oberflächenzähigkeit und Schlagbiegefestigkeit hingegen ist beim Bauholz von untergeordneter Bedeutung. Zunächst seien die bei der badischen und schwedischen Fichte gefundenen Mittelwerte der Festigkeiten gegenübergestellt:

Mittelwerte:	badische Fichte	schwedische Fichte
1. Druck längs der Faser	420	389 kg/cm^2
2. Zug längs der Faser	937	781 ,
3. Biegung längs der Faser	754	689 ,
4. Schub längs der Faser	69	70 ,
5. Schlagbiegefestigkeit:		
radialer Schlag	62	52 kg/cm^2
tangentialer Schlag	44	54 ,
6. Oberflächenzähigkeit	1,02	1,26

Die aus den Häufigkeitslinien gefundenen häufigsten Werte der Festigkeiten waren:

häufigste Werte	1.	2.	3.	4.
Druck Zug Biegung Schub				
badische Fichte	450	900	750	75 kg/cm^2
schwedische Fichte	400	850	630	67 ,

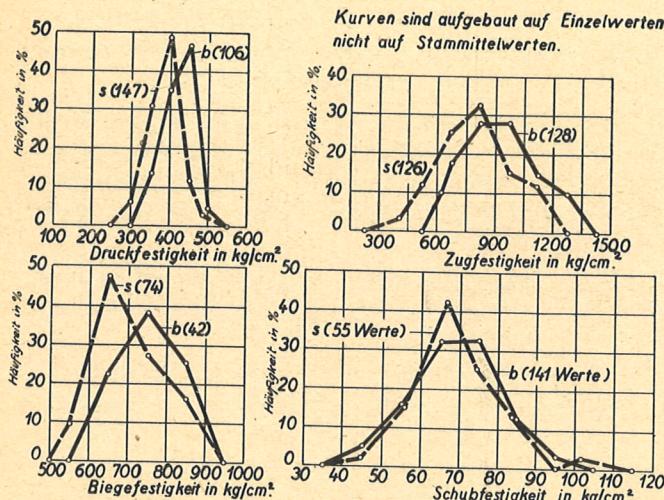


Abb. 17. Vergleich zwischen den Häufigkeitslinien für Druck-, Zug-, Biege- und Schubfestigkeit bei badischer Fichte b und schwedischer Fichte s.

Die ausgezogenen Linien gelten für badische Fichte, die gestrichelten Linien für schwedische Fichte.

In den Mittelwerten der drei wichtigen Festigkeiten: Druck — Zug — Biegung ist die badische Fichte der schwedischen überlegen gewesen. In der Schubfestigkeit sind sich beide etwa gleich.

Gegen radialen Schlag verhielt sich die badische, gegen tangentiale Schlag aber die schwedische Fichte besser.

Im Sandstrahlgebläse zeigte die badische Fichte etwas größeren Blasverlust, also kleinere Zähigkeit.

Durch Gegenüberstellen nicht der Mittelwerte sondern der häufigsten Werte verschiebt sich das Bild nur wenig:

Die badische Fichte ist in Zug, Druck und Schub der schwedischen um Einiges überlegen.

Die Berechnung einer Gütezahl ist immer auf verschiedene Arten möglich. Beim Stahlbau

ist es üblich, die Gütezahl durch Zusammenzählung der Bruchspannung und Bruchdehnung zu bilden. In unserem Falle scheint es mir zweckmäßig, wegen der überwiegenden Verwendung des Bauholzes als Biegeträger folgende Gewichte anzunehmen:

Biegung und Schub	Gewicht je 3
Druck und Zug	Gewicht je 2

Wenn man nun die gefundenen Mittelwerte der beiden Hölzer ins Verhältnis setzt, so ergibt sich folgende Liste:

	Druck	Biegung	Zug	Schub
badische Fichte	1	1	1	1
schwedische Fichte	0,92	0,91	0,83	1,01
Gewicht	2	3	2	3

Damit ergeben sich folgende beide Gütezahlen:

badische Fichte:

$$2 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 1 = 10$$

schwedische Fichte:

$$2 \cdot 0,92 + 3 \cdot 0,91 + 2 \cdot 0,83 + 3 \cdot 1,01 = 9,26.$$

Gibt man der badischen Fichte als Bauholz die Güte 10, so hat die schwedische Fichte die Gütezahl 9,3.

Es wiederholt sich immer wieder:

Beide Hölzer sind sich als Bauholz praktisch gleichwertig. Die badische Fichte ist zwar etwas überlegen, doch ist der Unterschied so klein, daß er bei der Ungleichmäßigkeit der Hölzer nicht ins Gewicht fällt.

Das Ergebnis ist in mancher Hinsicht bedeutungsvoll. Es gilt aber zunächst nur für fehlerfreies Holz, obwohl nicht einzusehen ist, warum die üblichen Holzfehler und Mängel, wie schräger Faserverlauf, Ästigkeit und dergleichen, das Urteil ändern sollen.

C.

Gesamtergebnis.

Die allgemeinen und besonderen Ergebnisse der beiden umfangreichen Versuchsreihen seien knapp angegeben:

- Bei Luftlagerung haben kleine Fichtenholzkörper einen Wassergehalt, der — in % ihres Darrgewichts ausgedrückt — etwa gleich $\frac{1}{4}$ der Luftfeuchtigkeit ist.
- Die Holzfeuchtigkeit beeinflußt die einzelnen Festigkeitsarten verschieden stark:

Die Druckfestigkeit leidet stark unter dem Wassergehalt w. Man berechnet für Fichte die Normendruckfestigkeit bei 15 Ge-

wichtsprozent Wassergehalt nach der Gleichung:

$$\sigma_{15} = \sigma_w + 22 (w - 15) \text{ kg/cm}^2 \text{ für } w \text{ in \% und kleiner als } 25 \text{ \%}.$$

Die Biegefesterkeit hängt wie die Druckfestigkeit stark von der Holzfeuchtigkeit ab. Für sie gilt wahrscheinlich auch vorige Gleichung.

Die Zugfestigkeit ist nur schwach von der Holzfeuchtigkeit abhängig.

Die Schubfestigkeit leidet ebenfalls nur schwach durch die Holzfeuchtigkeit.

3. Bald nachdem der Fasersättigungspunkt überschritten ist, bleiben die Festigkeiten fast unabhängig von der Zunahme der Feuchtigkeit.
4. Trotz langer Luftlagerung bleiben auch im dünnen Brett Feuchtigkeitsunterschiede.
5. Alle Festigkeiten werden durch das Raumgewicht γ des vollkommen getrockneten Holzes günstig beeinflußt. Für Fichte gilt als Gleichung für die Druckfestigkeit parallel der Faser für fehlerfreies Holz:

$$\sigma_{15} = 920 \cdot \gamma \text{ kg/cm}^2 \text{ für } \gamma \text{ in g/cm}^3.$$
 Aus dieser Druckfestigkeit leiten sich die anderen Festigkeitsarten genau genug durch folgende Verhältniszahlen ab:

Biegefesteitk	$= 1,7 \times$	Druckfestigkeit
Zugfestigkeit	$= 2,0 \times$	Druckfestigkeit
Schubfestigkeit	$= 0,17 \times$	Druckfestigkeit.
6. Die Enge oder Weite der Jahresringe hat keinen Einfluß auf die Holzfestigkeit.
7. Dagegen beeinflußt der Spätholzanteil das Darrgewicht und damit die Holzfestigkeit.
8. Rundholz hat auch nach langer Lagerung noch einen Wassergehalt, der weit über dem Fasersättigungspunkt liegt.
9. Bei häufigem Lastwechsel läßt die Steifigkeit des auf Biegung beanspruchten Rundholzes nach. Unter sonst gleichen Verhältnissen hat Rundholz eine größere Biegefesteitk als Kantholz.
10. Die Oberflächenhärte der verschiedenen Hölzer verhält sich ungefähr wie ihr Darrgewicht.
11. Der Abnutzungswiderstand der Oberflächen verschiedener Hölzer entspricht ungefähr ihrem Darrgewicht.
12. Die Schlagbiegefesteitk verschiedener Hölzer entspricht ungefähr ihrem Darrgewicht.
13. Die Zug- und Schubfestigkeit sind im Holz ungleichmäßig ausgeprägt. Die Werte für die Biegefesteitk streuen weniger. Die Streuung ist am kleinsten bei der Druckfestigkeit.
14. Aus dieser grundsätzlich verschiedenen Streuung darf man vielleicht folgern, daß die Schubfestigkeit am meisten unter den Holzfehlern leidet, die Druckfestigkeit am wenigsten, während die Zug- und Biegefesteitk wieder mehr durch Fehler herabgesetzt wird.
15. Innerhalb einer Holzlänge von 4 m hat die Höhenlage im Stamm keinen sichtbaren Einfluß auf die Festigkeit.

Abschließender Vergleich zwischen der badischen und schwedischen Fichte, der badischen Tanne und der Oregon-Pine.

Im besonderen lassen sich nun aus den Versuchen mit süddeutscher Tanne und amerikanischer Oregon-Pine sowie mit süddeutscher Fichte und schwedischer Fichte folgende Folgerungen ziehen:

1. Die Tanne hat nur 58 % der statischen und 75 % der dynamischen Schlagbiegefesteitk des amerikanischen Holzes.
2. Seine Oberfläche ist 1,4 mal so weich beim Eindruck und nützt sich 1,24 mal so stark ab wie das amerikanische Holz.
3. Gibt man den Oregon-Pinebrettern die Gütezahl 10, so haben unsere guten süddeutschen Tannenbretter die Gütezahl 7,4 im Hinblick auf ihre Verwendung als Fußböden oder im Lastwagenbau.
4. Bei der schwedischen Fichte liegen im Stammdurchschnitt die Jahresringe nicht enger als bei der süddeutschen Fichte.
5. Die Streuung der Festigkeitswerte ist bei der badischen Fichte etwas kleiner als bei der schwedischen. Bei beiden Hölzern ist die Druck- und Biegefesteitk verhältnismäßig gleichmäßig ausgeprägt, die Zugfestigkeit schwankt stärker, und am ungleichmäßigsten ist die Schubfestigkeit.
6. Berechnet man eine Gütezahl im Hinblick auf die für das Bauholz wichtigen Festigkeits-eigenschaften, so hat die schwedische Fichte die Güte 9,3 und die badische Fichte die Güte 10, ist ihr also nicht unter-, sondern etwas überlegen.

Der Vergleich zwischen der süddeutschen und der schwedischen Fichte als Bauholz brachte für das deutsche Holz ein günstiges Ergebnis. Die deutsche Fichte aus dem Schwarzwald hat gleich gute Festigkeitseigenschaften wie die schwedische. Die Meinung, daß ihr die schwedische überlegen sei, ist irrig.

Durch richtige Auswahl lassen sich bei beiden Hölzern die unvermeidlichen Mängel und Fehler gleichermaßen einschränken oder stellenweise sogar ausschalten. Die Einfuhr von schwedischer Fichte, nur um ein höherwertiges Bauholz zu haben, ist nicht berechtigt.

Unsere Bretter aus süddeutscher Tanne kommen mit den für den Lastwagenbau usw. wichtigen Eigenschaften nicht ganz an die amerikanische Oregon-Pine heran. Der Abfall der Gütezahl von 10 auf 7,4 ist aber nicht so groß, daß man daraus die Forderung nach ausschließlicher Verwendung des ausländischen Holzes für den Autobau ableiten darf. Bei unserer Lage muß man häufig zur Inlandserzeugung greifen, selbst wenn sie teurer als der Kauf im Ausland ist. Das Gleiche gilt für unseren heimischen

Rohstoff Holz, selbst wenn er in der Güte ein wenig dem Auslandsholz nachsteht. Die Untersuchung hat bewiesen, daß unsere ausgesuchte Tanne allen Anforderungen des Lastwagenbaues usw. genügt.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, folgenden Stellen, welche durch Geld- und Holzzuwendung diese Versuche ermöglicht haben, bestens zu danken:

1. Karlsruher Hochschulvereinigung,
2. Reichsnährstand, Landesbauernschaft Baden,
3. Wirtschaftsgruppe Sägeindustrie, Bezirksgruppe Baden,

4. Fachausschuß für Holzfragen,
5. Forstabteilung beim Badischen Finanzministerium,
6. Johann Kern & Söhne, Sägewerk und Holzhandlung in Bühlertal (Baden).

Bei der Durchführung und Auswertung der Versuche machte sich Herr Dr.-Ing. habil. H o e f f g e n verdient. Die Versuche wurden in den Jahren 1933/35 in der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen (Prüfraum Gaber) der Technischen Hochschule in Karlsruhe ausgeführt. Sie erfüllen ihren Zweck, wenn sie dem Konstrukteur und Baufachmann den Sinn für die wertvollen Eigenschaften unserer deutschen Weichhölzer schärfen.

K a r l s r u h e, im S.S. 1937.

Prof. Dr.-Ing. G a b e r.