

Der Einfluß von Fehlern auf die Holzfestigkeit nach Versuch und Rechnung.

Alle Rechte vorbehalten.
Printed in Germany.

Von Prof. Dr.-Ing. E. Gaber, Technische Hochschule Karlsruhe.

Die Fortentwicklung des Holzbaues setzt auch eine Verbesserung des Baustoffes Holz voraus. Das durch Verbesserung der Forstwirtschaft erreichbare Ziel steht noch in weiter Ferne. Es ist aber schon heute möglich, durch verbesserten Sägewerksbetrieb und sorgfältige Auslese der Balken und Bretter ein erstklassiges Bauholz zu gewinnen. Allerdings sind wir zur Zeit noch nicht in der Lage, bei der Auslese die gleichen strengen Grundsätze anzuwenden wie in Nordamerika. Für den Anfang wird voraussichtlich die Einteilung des Bauholzes in drei Klassen genügen:

1. Klasse: Hochwertiges Bauholz für den Ingenieurholzbau u. dgl.,
2. Klasse: Gewöhnliches Bauholz für den normalen Hochbau,
3. Klasse: Unsortiertes Bauholz.

Die Klasseneinteilung muß ausschließlich unter dem Gesichtspunkte des Verwendungszweckes geschehen und kann deswegen wenig Rücksicht auf die bisherigen Holzhandelsgebräuche nehmen. Den Ausschlag gibt die Forderung nach genügender Tragkraft und ausreichender Beständigkeit. Die Tragkraft ist abhängig nicht so sehr von der Festigkeit des fehlerfreien Holzes als von der Festigkeit der zu verwendenden Balken und Stäbe, die immer eine Reihe von mehr oder minder vermeidbaren Mängeln und Fehlern haben. Als Fehler sollte beim Holz aber nur das angesprochen werden, was seine Tragkraft herabsetzt, während alle anderen Mißstände, die nur das Aussehen beeinträchtigen, hier nur Mängel sind. Ein vermeidbarer Fehler ist die Waldkante und vielleicht der Riß. Meist unvermeidliche Fehler aber sind Äste und Schrägfaser. Im Hinblick auf den Verbraucher wäre es sicherlich begrüßenswert, wenn man die Klasseneinteilung nach dem Prozentsatz vornehmen würde, den das Bauholz durch seine vorhandenen Fehler an Tragkraft gegenüber dem fehlerfreien Holz einbüßt. Ein solches Vorgehen setzt aber die Kenntnis des zahlenmäßigen Einflusses der Waldkante, der Ästigkeit, des Schrägfaserverlaufs sowie der Risse auf die Tragkraft der verschiedenen Bauteile, also auf Biegeträger oder Balken, Druckstäbe mit Knickgefahr und Zugstäbe voraus. Es soll nun der Versuch gemacht werden, in Fortführung der Arbeiten von Baumann, Kollmann u. a. zunächst auf rechnerischem Wege und dann durch Versuche einen Einblick in diese Abhängigkeiten zu gewinnen.

Die nachfolgenden Untersuchungen erstrecken sich nur auf Weichholz, auf die Tanne und Fichte, da wir nur auf diesem Gebiete über ausreichende eigene Erfahrungen verfügen. Bald wird die Biegefestigkeit, bald die Zugfestigkeit, bald die Druckfestigkeit des fehlerfreien Fichten- und Tannenholzes gleich 1 gesetzt und nun untersucht, welchen Bruchteil hiervon die Tragkraft des mit den Einzel Fehlern: Schrägfaser, Waldkante, Äste behafteten Bauholzes noch hat.

Aus zahlreichen Versuchen ist die Festigkeit auf Schub, Zug und Druck quer zur Faser in Abhängigkeit von der Zug- und Druckfestigkeit längs der Faser bekannt. Damit kann man aber den Einfluß der Schrägfaser rechnerisch erfassen. Die Waldkante äußert sich nur in einer Verschwächung des rechteckigen Querschnittes und kann ebenfalls leicht in ihrem Einfluß berechnet werden. Ein parallel den Schmalseiten liegender Ast wirkt ungefähr wie ein kreisrundes Loch gleichen Durchmessers. Zwar werden beim Loche die Fasern zerstört, beim Ast aber nur verdrängt, dafür entstehen aber beim Ast auch Festigkeitsverluste durch die Schrägfaser, so daß der Einfluß einer Lochverschwächung dem eines gleich starken Astes nahekommen wird.

Auf dieser Grundlage wurde nun zunächst durch Rechnung der Einfluß dieser verschiedenen Fehler auf die Zug-, Druck- und Biegefestigkeit zahlenmäßig festgestellt und hernach das Rechenergebnis mit den Versuchswerten verglichen.

1. Der Einfluß der Waldkante auf die Biege- und Knickfestigkeit.

Die Biegung.

Der rechteckige Querschnitt hat an jeder Kante die in Abb. 1 rechts gezeichnete Verschwächung $\frac{e^2}{2}$. Das volle Trägheitsmoment auf die der Schmalseite parallele Neutralachse ist J , das geschwächte J' . Die Waldkante wird bestimmt durch das Maß $e = \frac{h}{n}$.

Damit wird das Verhältnis der beiden Trägheits- oder Widerstandsmomente, bezogen auf die waagerechte Schwerachse s

$$(1) \quad \frac{W'}{W} = \frac{J'}{J} = 1 - 2 \cdot \frac{h}{b} \cdot \frac{2 - 4n + 3n^2}{n^4}, \quad n = \frac{h}{e}$$

Die aufgestellte Beziehung Gl. (1) verliert ihre Gültigkeit dann, wenn die Waldkanten sich gerade berühren, also $2e = b$ wird.

Man sieht, daß die Verschwächung vom Querschnittsverhältnis abhängt. Ein schmales Rechteck leidet am meisten unter den Waldkanten.

In Abb. 1 sind für die vier häufig vorkommenden Querschnittsformen $\frac{h}{b} = 1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}$ und 2 diese Verhältnisse $\frac{J'}{J}$ im räumlichen Achsenkreuz aufgetragen.

Tafel 1.

$\frac{h}{b} =$	$\frac{J'}{J} =$			
	1	$\frac{5}{4}$	$\frac{3}{2}$	2
$e = h \times$	0,24	0,21	0,19	0,16
$e = h \times$	0,29	0,25	0,22	0,19
$e = h \times$	0,38	0,32	0,28	0,24

Da nun das Verhältnis der Widerstandsmomente das gleiche ist wie das der Trägheitsmomente, kann man aus Abb. 1 leicht feststellen, durch welche Waldkante die Tragkraft des rechteckigen Biegeträgers z. B. um $\frac{1}{4}, \frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ geschwächt wird.

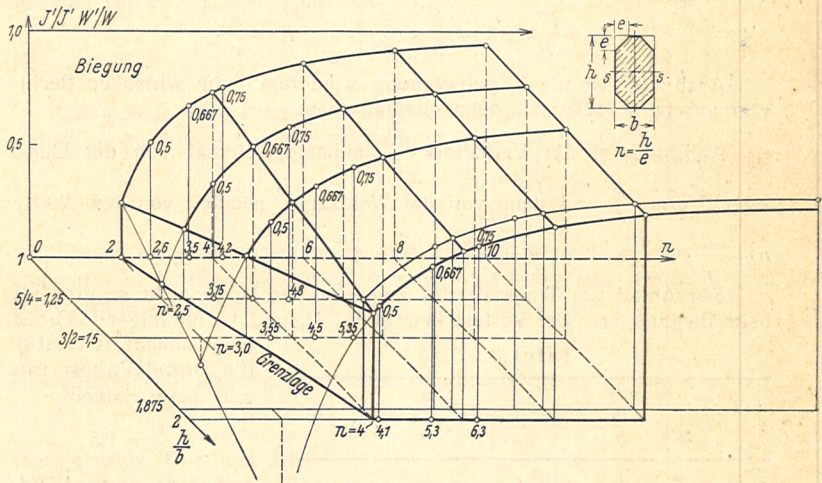


Abb. 1. Die Abnahme des Widerstands- oder Trägheitsmomentes durch vier gleiche Waldkanten an verschieden geformten rechteckigen Balken.

Druck mit Knickgefahr.

Die Tragkraft des Druckstabes mit Knickgefahr ist vom kleinsten Trägheitsmoment um die Schwerachse t abhängig (Abb. 2).

Man kann Gl. (1) benutzen, nur muß man $n = \frac{b}{e}$ setzen. Es ergibt sich dann

$$(2) \quad \frac{J'}{J} = 1 - 2 \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{2 - 4n + 3n^2}{n^4}, \quad n = \frac{b}{e}$$

Die räumliche Darstellung der Abhängigkeit des Wertes $\frac{J'}{J}$ einmal vom Querschnittsverhältnis $\frac{b}{h}$ und dann von der Größe e der Waldkante zeigt Abb. 2 für den Fall der Druckstäbe.

Tafel 2.

$\frac{h}{b} =$	$\frac{J'}{J} =$			
	1	$\frac{5}{4}$	$\frac{3}{2}$	2
$e = b \times$	0,24	0,27	0,31	0,38
$e = b \times$	0,29	0,34	0,38	0,47
$e = b \times$	0,39	0,44	$> \frac{1}{2}$	$> \frac{1}{2}$

Der Einfluß der Waldkanten wird im allgemeinen unterschätzt. Auch wenn vier Waldkanten nur bei dicken Balken vorkommen, sieht man doch aus Tafel 1, daß schon eine Waldkante $e = \frac{h}{4,5} = 0,22 h$ z. B. beim Rechteck $\frac{h}{b} = 1,5$ die Tragkraft um ein Drittel schwächt.

Etwas weniger schädlich zeigt sich die Waldkante beim Druckstab, denn hier tritt z. B. der Verlust von einem Drittel der Tragkraft beim Balken mit $\frac{h}{b} = 1,5$ erst bei den Waldkanten $e = 0,377 b = 0,25 h$ ein.

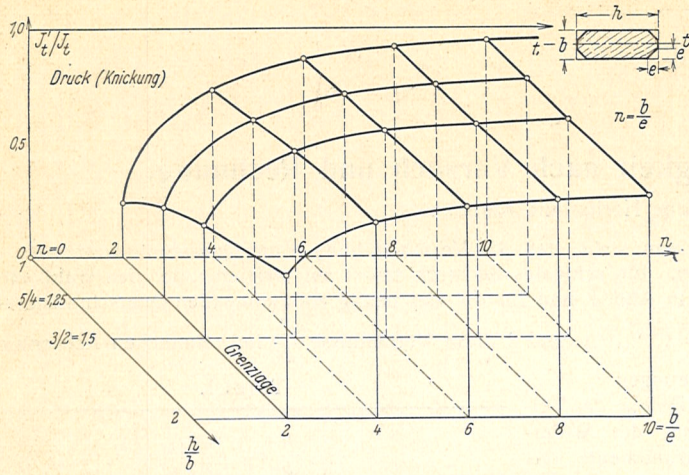


Abb. 2. Die Abnahme des kleinsten Trägheitsmomentes durch vier gleiche Waldkanten bei verschieden geformten rechteckigen Druckstäben.

Der Einfluß der Waldkante auf die Tragkraft des Zugstabes. Die vier gleich großen Waldkanten e vermindern den rechteckigen Querschnitt F auf F' . Die verminderte Tragkraft ist proportional dem Verhältnis

$$(3) \quad \frac{F'}{F} = 1 - \frac{h}{b} \cdot \frac{2}{n^2}, \quad n = \frac{h}{e}$$

Auch hier ist die Verschwächung wiederum beim schlanken Rechteckquerschnitt größer als beim quadratischen.

Abb. 3 zeigt das Verhältnis $\frac{F'}{F}$ abhängig einmal von der Querschnittsform $\frac{h}{b}$ und dann von der Waldkante, nämlich von dem Werte $n = \frac{h}{e}$.

Der Abfall der Tragkraft des Zugstabes ist lange nicht so groß als beim Biegeträger. Der Verlust beträgt $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$ für folgende Größe der Waldkante (s. Tafel 3). Ein Drittel Verlust tritt z. B. beim Balken

Tafel 3.

$\frac{h}{b} =$	1	$\frac{5}{4}$	$\frac{3}{2}$	2
$\frac{F'}{F} = \frac{3}{4}$	$e = h \times 0,34$	0,31	0,29	0,25
$= \frac{2}{3}$	$e = h \times 0,40$	0,36	0,33	$> \frac{1}{2}$
$= \frac{1}{2}$	$e = h \times 0,50$	$> \frac{1}{2}$	$> \frac{1}{2}$	$> \frac{1}{2}$

$\frac{h}{b} = 1,5$
erst bei der großen Waldkante $e = 0,33h$ auf.
Ein Zugstab leidet somit unter den Waldkanten weniger als ein gedrückter Stab oder ein Biegebalken.

Versuche mit waldkantigen Biegebalken.

An kleinen Balken aus Tanne oder Fichte wurden durch Hobeln an den vier Kanten vier gleich große Waldkanten künstlich hergestellt. Durch Versuche auf der 5-t-Maschine wurde die jeweilige statische Tragkraft, also das Bruchbiegemoment ermittelt. Jeder Biegeträger war viermal vorhanden. Es wurden untersucht 16 Balken mit quadratischem Querschnitt 4×4 cm und 16 Balken mit dem rechteckigen Querschnitt $4 \times 7,5$ cm. Die Balken wurden in solcher Reihenfolge immer aus einem Stamme entnommen, daß die Streuung der Holzbiegefestigkeit möglichst klein ausfiel und die Feuchtigkeit gleich war. Die nebenstehende Tafel enthält das Mittel aus je vier Versuchswerten. Die astfreien Holzbalken hatten eine gemittelte Biegefestigkeit von 917 kg/cm² bei einer Streuung von $-4,5\%$ und $+4,3\%$ und bei $12,5\%$ Holzfeuchtigkeit. Die Holzbalken waren fehlerfrei und hatten eine durchschnittliche Biegefestigkeit von 828 kg/cm² bei $12,5\%$ Feuchtigkeit. Die Festigkeit streute um $-7,5\%$ und $+10\%$.

Quadratischer Balken 4×4 cm,
 $\frac{h}{b} = 1$.

Verhältnis der Waldkante $n = \frac{h}{e}$	Tragkraft des Biegebalkens nach	
	Versuch	Rechnung
∞	1,00	1,00
8	0,97	0,92
4	0,77	0,73
2,66	0,57	0,50

Rechteckiger Balken $4 \times 7,5$ cm,
 $\frac{h}{b} = 1,88$.

Verhältnis der Waldkante $n = \frac{h}{e}$	Tragkraft des Biegebalkens nach	
	Versuch	Rechnung
∞	1,00	1,00
15	0,86	0,92
7,5	0,73	0,83
5	0,56	0,70

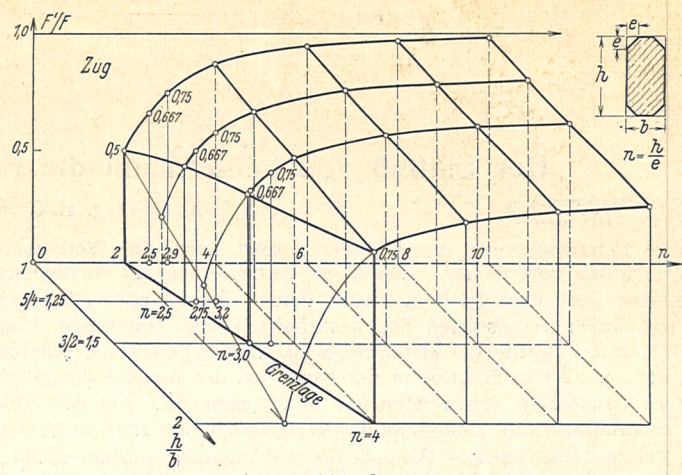


Abb. 3. Die Abnahme des Querschnittes durch vier gleiche Waldkanten bei verschieden geformten rechteckigen Zugstäben.

Die Versuchsergebnisse weichen von der Rechnung nicht stärker ab, als bei dem Werkstoff Holz zu erwarten war. Man darf daher mit einiger Berechtigung die Rechnung benutzen.

Als Ergebnis sei festgehalten:

Die Waldkanten wirken am ungünstigsten beim Druckstab mit Knickgefahr und beim Biegebalken, am schwächsten beim Zugstab. Die durch sie erzeugte Schwächung ist aber immer so bedeutend, daß man beim Ingenieurholzbau unbedingt scharfkantiges Holz verwenden muß.

2. Der Einfluß des schrägen Faserverlaufes auf die Holzfestigkeit.

Sobald die Kraftangriffslinie von der Holzfaser abweicht, hängt die dann dem Holzstabe noch verbleibende Festigkeit von seiner Festigkeit quer zur Faser oder von der Schubfestigkeit längs der Faser ab. Das Verhältnis zwischen der Festigkeit längs und quer zur Faser ist bei Zugbeanspruchung viel ungünstiger als bei Druck. Deshalb wird der schräge Faserverlauf sich bei gezogenem Stab stärker auswirken als beim gedrückten. Da der Biegeträger aus Holz in der Regel auf der Zugseite reißt, darf man annehmen, daß auch die Biegefestigkeit ungefähr in der gleichen Weise durch den schrägen Faserverlauf beeinträchtigt wird wie der gezogene Stab. Nach unseren zahlreichen Versuchen mit Tanne und Fichte kann man nebenstehende Verhältniszahlen für die Festigkeitsarten bei Tanne und Fichte annehmen:

	Zug	Druck
längs der Faser σ_{\parallel}	1	1
quer zur Faser σ_{\perp}	0,02	0,25
Schub längs der Faser τ_{\parallel}	0,08	0,16

Nach den Regeln der Festigkeitslehre kann man nun die Festigkeit σ für den Fall finden, daß die wirksame Spannung mit der Holzfaser den Winkel φ bildet.

Für kleine Winkel φ hängt die Festigkeit von der Schubfestigkeit τ' des Holzes, für größere Winkel φ dagegen von der Festigkeit σ' quer zur Faser ab. σ' und τ' sind natürlich nicht gleichzeitig vorhanden, sondern bilden nur zu verschiedenen Zeiten auftretende Grenzwerte.

$$(6) \quad \sigma = \frac{2 \tau'}{\sin 2 \varphi}$$

oder

$$(7) \quad \sigma = \frac{\sigma'}{\sin^2 \varphi}$$

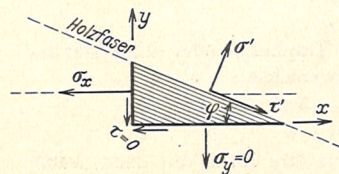


Abb. 4.

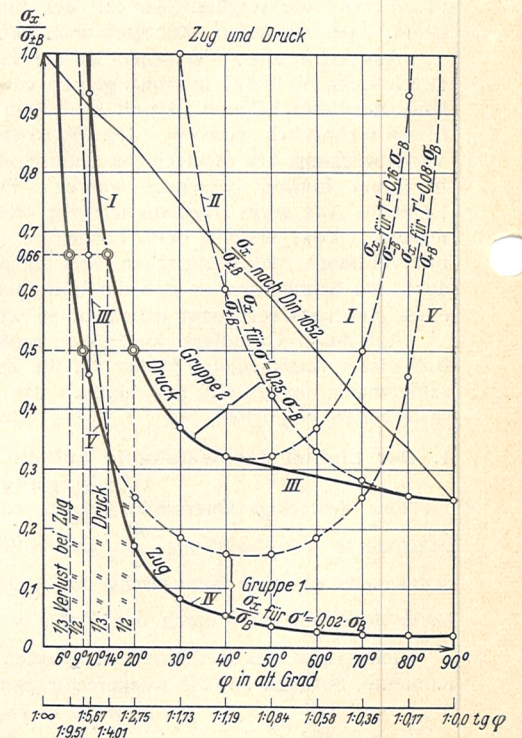


Abb. 5. Die Abnahme der Zug- oder Druckfestigkeit durch schrägen Faserverlauf.

Der kleinere von beiden Werten gibt die dem schrägen Faserverlauf φ zugehörige Festigkeit σ .

Jede der beiden Gleichungen gibt für veränderliches φ eine Kurve. Für die Zugbeanspruchung und für die Druckbeanspruchung wurden die beiden Kurvenpaare errechnet und in Abb. 5 dargestellt.

Das Linienpaar für Druck gibt für die Winkel zwischen 40 und 80° keinen einfachen Verlauf, doch kann man in diesem Bereich beide Kurven durch ihre gemeinsame Tangente ersetzen.

Da die Kurven nur im Bereich der kleinen Winkel φ praktische Bedeutung haben, wurden die Werte σ hierfür nochmals gerechnet. In diesem kleinen Bereich ist Gl. (6) allein maßgebend. Sie liefert folgende Werte:

ctg $\varphi =$	4	6	8	9	10	12	14	∞
σ_{Zug}	0,340	0,493	0,650	0,729	0,808	0,967	1	1
σ_{Druck}	0,680	0,986	1	1	1	1	1	1

Die Grenzwerte finden sich (Abb. 6) aus

$$1 = \frac{2 \tau'}{\sin 2 \varphi} \quad \text{oder} \quad \sin 2 \varphi = 2 \tau' \quad \text{tg } \varphi = 1:12,4 \quad \text{Zug} \quad \text{Druck} \quad \text{Grenzwert}$$

$$1 = \frac{\sigma'}{\sin^2 \varphi} \quad \text{oder} \quad \sin \varphi = \sqrt{\sigma'} \quad \text{tg } \varphi = 1:7 \quad 1:1,7$$

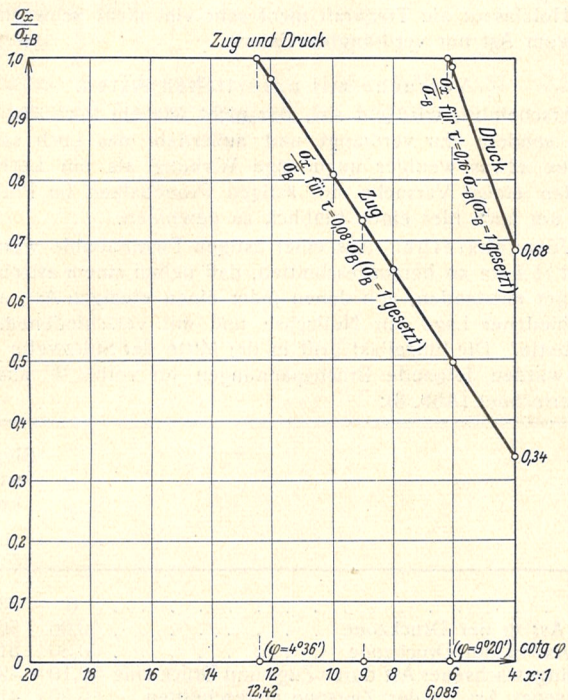


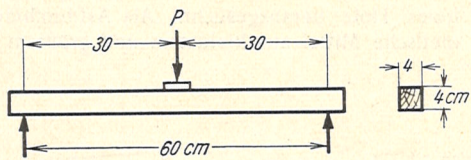
Abb. 6. Die Abnahme der Zug- oder Druckfestigkeit bei schwacher Abweichung der Stabachse von dem Holzfaserverlauf.

Die geringe Festigkeit quer zur Faser, aber auch die verhältnismäßig kleine Schubfestigkeit lassen beim axialen Zug die Festigkeit rasch herunter sinken. Der schräge Faserverlauf 1:10 z. B. bringt beim Druck noch keinen, beim Zug aber schon 20% Verlust an Festigkeit.

Versuche mit schrägfaserigem Holz.

Um den Einfluß der schrägen Faser festzustellen, wurden quadratische Biegebalken 4 x 4 cm von 75 cm Länge aus Fichtenholz angefertigt.

Die Belastung wurde hergestellt durch Einzellast in der Mitte der Stützweite von 60 cm. Die beiden Seitenflächen mit den schrägen Fasern lagen dabei waagrecht. Die Balken wurden in solcher Reihenfolge aus einem Fichtenstamm entnommen, daß die Streuung der Festigkeit möglichst klein ausfallen mußte. Es wurden 7 Reihen mit zusammen 42 Versuchskörpern statisch untersucht. Die einzelne Reihe umfaßte 4 bis 6 Körper, die Reihe mit paralleler Faser 11 Balken.



Die mittlere Feuchtigkeit betrug zwischen 19 und 20%. Der Verlust an Tragkraft erreichte also bei der Faserneigung 1:6,4 19%. Es erhebt sich die Frage, ob der Abfall nicht größer gewesen wäre, wenn die beiden Seitenflächen mit den schrägen Fasern bei dem Versuch lotrecht gelegen hätten. Amerikanische Versuche haben bei einer Schrägfaserneigung von 1:20 schon einen Verlust von 10%, bei einer Neigung von 1:15 einen Verlust von 20% festgestellt. Die Versuche werden bei uns fortgesetzt werden.

tg φ	Biegefestigkeit in kg/cm ²			Verhältnis	
	Mittelwert	Grenzwerte	Streuung in %	Versuch	Rechnung
0	607	540 bis 690	-11 + 14	1	1
1:12,5	537	528 „ 550	-2 + 3	0,88	0,97
1:10	539	482 „ 602	-11 + 9	0,89	0,81
1:9,4	573	540 „ 623	-11 + 12	0,95	0,78
1:9,1	548	502 „ 655	-8 + 20	0,90	0,73
1:6,4	483	492 „ 513	-5 + 4	0,81	0,55
1:5,8	536	529 „ 550	-1 + 3	0,88	0,46

3. Der Einfluß von Ästen auf die Tragkraft von Biegebalken.

Ein Astloch mit dem Durchmesser d liege im rechteckigen Querschnitt parallel zur Nullfaser s des ungeschwächten Querschnittes im Abstände t von der gezogenen Randfaser. Die Breite b des Rechteckquerschnittes sei = 1, seine Höhe h . Der durch das Astloch geschwächte Querschnitt hat den Schwerpunkt A und die Schwerachse a im Abstände x von der gezogenen Randfaser. Es werden folgende Verhältnisse in die Rechnung eingeführt:

verhältnismäßige Größe des Astes $m = \frac{d}{h}$

verhältnismäßige Lage des Astes $n = \frac{t}{h}$

Die Nullachse im geschwächten Querschnitt ist bestimmt durch den Abstand von der unteren Randfaser

$$x = h \cdot \frac{\frac{1}{2} - m n}{1 - m}$$

Das geschwächte Trägheitsmoment auf diese Nullfaser a ist J' . Sein Verhältnis zu dem J des ungeschwächten Querschnittes ist

$$(4) \quad \frac{J'}{J} = 1 - m^3 - \frac{12 m \left(\frac{1}{2} - n\right)^2}{1 - m}$$

Daraus findet sich auch leicht das Verhältnis der beiden Widerstandsmomente, die für die Balken Tragkraft maßgebend sind. Das ungeschwächte Widerstandsmoment ist

$$W = 2 \cdot \frac{J}{h}$$

Das geschwächte kleinste Widerstandsmoment ist

$$W' = \frac{J'}{x}$$

Das gesuchte Verhältnis ist

$$(5) \quad \frac{W'}{W} = \frac{J'}{J} \cdot \frac{h}{2x} = \frac{J'}{J} \cdot \frac{1 - m}{1 - 2 m n}$$

Die Gleichungen verlieren in dem Augenblick ihre Gültigkeit, wo das Astloch die untere Randfaser berührt, also für $t = \frac{d}{2}$ oder für

$$\frac{t}{h} = \frac{d}{2h}$$

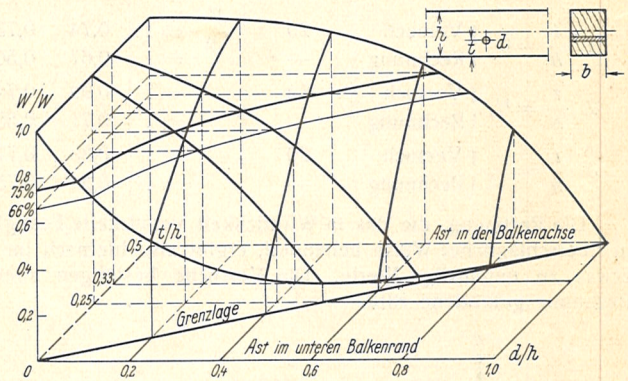


Abb. 7.

In Abb. 7 ist das Verhältnis $\frac{W'}{W}$ der Widerstandsmomente abhängig einmal von der Astlage und dann von der Astgröße räumlich aufgetragen. Man sieht den beschleunigten Abfall der Tragkraft bei einer tiefen Lage des Astes, also für kleine Werte $\frac{t}{h}$. Man sieht aber auch, wie rasch die Tragkraft abnimmt, wenn der nahe der unteren Randfaser liegende Ast — also der Wert $\frac{d}{h}$ — an Größe zunimmt. Die Gefahrenzone des Biegebalkens ist ungefähr das untere Drittel, wird also gegeben durch

$$\frac{t}{h} \leq \frac{1}{3}$$

Beim Astdurchmesser $d = \frac{h}{3}$ oder $d = \frac{h}{2}$ sinkt die Tragkraft des astfreien Balkens je nach der Astlage rasch herab:

$t =$	Grenzlage	0,25	0,33	$0,50 \cdot h$
$\frac{d}{h} = \frac{1}{4}$	$W' =$	0,34	0,63	0,80
	$W =$	0,22	0,12	0,71
$\frac{1}{3}$	$W' =$	0,08	0,08	0,42
$\frac{1}{2}$	$W =$			

Bei dem großen Ast $d = \frac{h}{2}$ schwankt der Verlust in der unteren Gefahrenzone $-\frac{t}{h} \leq \frac{1}{3}$ zwischen 92 und 58%, bei dem mittelgroßen Ast $d \leq \frac{h}{3}$ zwischen 78 und 29%.

Man sieht also deutlich, wie leicht ein Biegeträger durch einen Ast in der unteren Gefahrenzone die Hälfte und noch mehr von seiner Tragkraft einbüßt. Selbst der mäßig große Ast mit $d = \frac{h}{4}$ bringt in seiner ungünstigsten Lage an der gezogenen Randfaser noch 66% Verlust an Tragkraft.

Versuche mit gebohrten Astlöchern.

An rechteckigen Balken, ungefähr $4,5 \times 7,5$ cm dick, wurde parallel zur Schmalseite durch sorgfältiges Bohren je ein Astloch hergestellt, einmal in der unteren Randfaser, also für $\frac{t}{h} = 0$, dann für $\frac{t}{h} = \frac{1}{4}$ und $= \frac{1}{3}$. Das Astloch hatte einen Durchmesser von 1,5, 2,2 und 3,0 cm. Das Verhältnis $\frac{d}{h}$ schwankte also, da auch der ungeschwächte Balken geprüft wurde, zwischen 0, 0,2 und 0,4.

Die Holzentnahme aus dem Fichten- oder Tannenstamm war wiederum so sorgfältig, daß die Streuung der Holzfestigkeit möglichst eingeschränkt wurde. Die Biegebalken hatten 1 m Stützweite und zwei Einzellasten im Abstande von 0,20 m. Jeder Versuch wurde drei- bis fünfmal ausgeführt.

Die astfreien Balken $-\frac{d}{h} = 0$ hatten gemittelt bei den einzelnen Versuchsreihen folgende Biegefestigkeiten:

Reihe	1	2	3
Biegefestigkeit in kg/cm^2	593	587	662
Streuung in %	-12 + 10	-10 + 8	-13 + 13
Feuchtigkeit in %	15	19	15

In nachfolgender Zusammenstellung werden die durch Versuch gefundenen Mittelwerte verglichen mit den aus Rechnung gefundenen Werten der Abb. 7.

	Anzahl der Versuche	$\frac{d}{h} = 0$	0,20	0,29	0,40
1. $\frac{t}{h} = 0$	Versuch	$W' = 1$	0,74	0,73	0,60
	Rechnung	$W = 1$	0,67	0,56	0,42
2. $\frac{t}{h} = \frac{1}{4}$	Versuch	$= 1$	0,99	0,74	0,36
	Rechnung	$= 1$	0,71	0,55	0,32
3. $\frac{t}{h} = \frac{1}{3}$	Versuch	$= 1$	0,88	0,77	0,57
	Rechnung	$= 1$	0,84	0,75	0,60

Die Rechnung, die das in Wirklichkeit verwickelte Festigkeitsproblem in übersichtlicher Weise behandelt, ergibt also hiernach im allgemeinen etwas zu ungünstige Werte. Die Versuche bestätigen aber das durch Rechnung gefundene Bild.

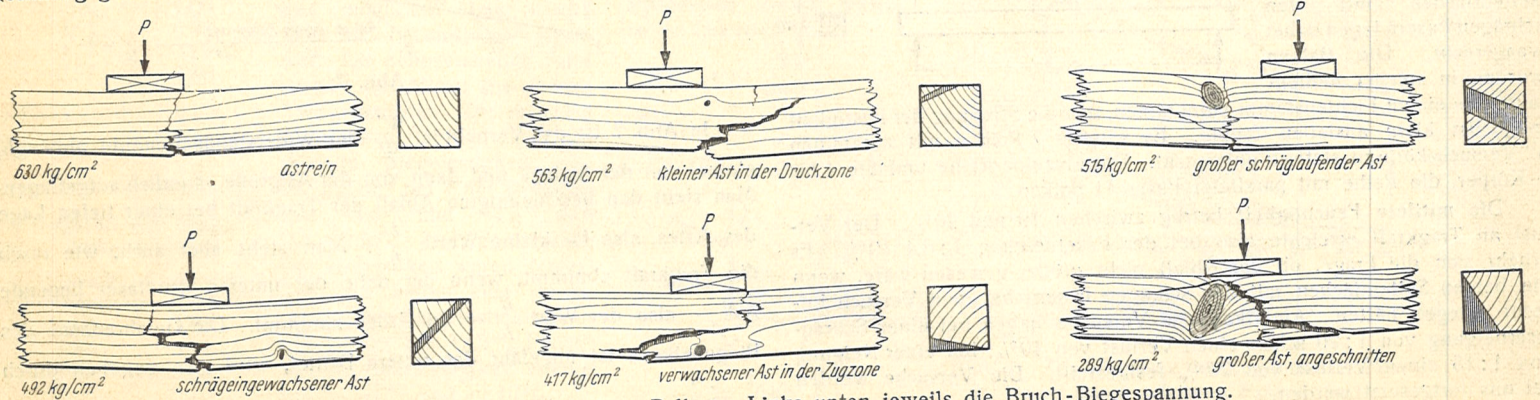


Abb. 8. Versuche mit ästigen Balken. Links unten jeweils die Bruch-Biegespannung.

Versuche mit gepreßten Astlöchern.

Man wollte durch Versuche feststellen, ob der Umstand, daß durch das Lochbohren die Holzfasern zerstört werden, während sie beim natürlichen Ast nur verdrängt werden, die bisherigen Ergebnisse stark beeinflusst habe. Darum wurde an einer Reihe von kleinen Fichtenholzbalken in der unteren Zugfaser ein halbkreisförmiges Astloch durch sorgsames Einpressen eines Rundeisens hergestellt. Die übliche Streuung in den Festigkeitswerten wurde durch Verwendung von benachbarten Balkenabschnitten einzuschränken versucht.

	$\frac{d}{h} = 0$	0,2	0,3	0,4 für $\frac{t}{h} = 0$
Gepreßtes Loch	$\frac{W'}{W} = 1$	0,85	0,55	0,64
Gebohrtes Loch	$= 1$	0,74	0,73	0,60
Rechnung	$= 1$	0,67	0,56	0,42

Da das Rundeisen nur bis zum Kreismittelpunkt ins Holz gedrückt wurde, ist die Verschwächung nur $\frac{d}{2}$ und die frühere Verhältniszahl $\frac{t}{h} = 0$.

Man gewinnt aus der Tafel den Eindruck, daß die beim Bohren zerstörten Holzfasern die Tragkraft nicht sehr viel mehr schwächen können als die vom Ast nur verdrängten Fasern.

Versuche mit natürlichen Ästen.

Wahrscheinlich wird ein Ast, der nicht wie ein Loch die Holzfasern zerstört, sondern nur verdrängt und außerdem das Loch satt ausfüllt, doch eine etwas weniger ungünstige Wirkung als ein Loch ausüben. Es wurden einige Versuche mit ästigen Probekörpern im Prüfraum ausgeführt, um auch hier einen Einblick zu gewinnen.

1. Versuchsreihe. Aus einer ästigen Fichtenbohle wurden Biegebalken 4×4 cm so herausgeschnitten, daß neben einem astreinen Balken Biegeträger entstanden, von denen jeder einen einzigen Ast, aber immer in verschiedener Lage zur Nullachse und mit verschiedenem Astdurchmesser hatte. Die Einzellast griff in der Mitte der Stützweite von 60 cm an. Es wurden folgende Bruchspannungen für volles W aus den Versuchen errechnet (Abb. 8):

	$\frac{d}{h}$	Biegefestigkeit in kg/cm^2	Verhältnis der Tragkraft
Astrein	0	630	1
Kleiner Ast in der Druckzone	0,06	563	0,89
Großer Ast in der Druckzone	0,30	515	0,82
Schräg eingewachsener Ast durch Zug- und Druckzone	0,10	492	0,79
Verwachsener Ast, in der Zugzone angeschnitten	0,20	417	0,66
Großer angeschnittener Ast in Zug- und Druckzone	0,38	289	0,46

Als Astdurchmesser d wurde sein kleinster angenommen.

Die Tragkraft des Biegebalkens verringert ein Ast also je nach Lage und Größe um über die Hälfte.

Aus vier Tannenstämmen wurden weiter erst Bohlen und dann Biegebalken hergestellt. Der rechteckige Querschnitt war im Mittel $4,8 \times 6$ cm; einige Biegekörper hatten 8 cm Höhe. Die Stützweite schwankte zwischen 65 und 100 cm. Die Belastung bestand aus zwei Einzellasten mit 20 cm Abstand. Die Biegekörper waren so ausgeführt worden, daß die größeren oder kleineren Äste bald in der Zug-, bald in der Null-, bald in der Druckzone lagen. Zum Vergleich wurde fehlerfreies Holz herausgesucht. Als Astdurchmesser wurde hier das arithmetische Mittel aus kleinstem und größtem Durchmesser eingesetzt.

Zusammenstellung.

Astgröße $\frac{d}{h}$	Verhältnis der Trag- kraft	Astgröße $\frac{d}{h}$	Verhältnis der Trag- kraft	Astgröße $\frac{d}{h}$	Verhältnis der Trag- kraft
0	1	0,20	0,89	0,33	0,77
0,01	0,71	0,26	0,73	0,33	0,50
0,08	0,93	0,27	0,89	0,34	0,60
0,13	0,86	0,27	0,81	0,39	0,96
(0,13)	0,95	0,31	0,66	0,40	0,73
0,14	0,96	0,32	0,65	(0,40)	0,52
0,15	1,00	(0,32)	0,75	0,59	0,52
0,16	0,87	0,32	0,52	0,85	0,85
0,19	0,97	0,33	0,88	0,85	0,50

Man erkennt zunächst eine starke Abnahme der Tragkraft der Biegebalken, wenn der Ast größer wird. Man sieht aber auch, daß gleich große Äste je nach ihrer Lage zur Nullfaser verschieden wirken. Ein Ast mit dem mittleren Durchmesser gleich $\frac{h}{3}$ bringt einmal nur 23%, ein andermal aber 50% Verlust.

Weitere Versuche an Fichtenholzbalken $4,5 \times 6$ und $4,5 \times 8$ cm brachten folgendes Bild:

Astgröße $\frac{d}{h}$	0	0,13	0,32	0,40	0,85
Verhältnis der Tragkraft	1	0,95	0,75	0,52	0,50

Hier nimmt der Verlust stetig mit der Astgröße zu.

Die zahlreichen Versuche reichen zu einem schlüssigen Beweis doch noch nicht aus, denn Holz ist bei jeder Prüfung ein launisches Material. Man darf aber doch vorläufig die Meinung haben, daß das durch die Rechnung gewonnene Bild und gefundene Gesetz über Einfluß von Lage und Größe eines Astes auf die Tragkraft von Holzbalken durch die Versuche nicht widerlegt wird und einen brauchbaren Maßstab liefert.

Zusammenfassung und Schlußfolgerung.

Die auf einfachem rechnerischen Wege gefundene Abhängigkeit der Tragkraft eines Balkens, Druck- oder Zugstabes von der Waldkante, Schrägfaser oder der Ästigkeit gibt einen brauchbaren Maßstab für die Beurteilung des Bauholzes, da ihre Ergebnisse einigermaßen mit den Versuchen übereinstimmen und ungünstiger sind als die Wirklichkeit.

1. Die Waldkante beeinträchtigt die Tragkraft des Biegeträgers oder des gedrückten Stabes stärker als die eines Zugstabes. Der durch sie hervorgerufene Verlust ist immer so bedeutend, daß für die 1. Klasse, hochwertiges Bauholz, unbedingt scharfe Kanten verlangt werden sollten.

2. Der schräge Faserverlauf ist besonders gefährlich beim Zugstab und in der Zugzone von Biegeträgern, weniger beim gedrückten Stab. Ein schräger Faserverlauf von 1 : 10 bringt beim Druckstab noch keinen, beim Zugstab und Biegeträger aber schon 20% Verlust an Tragkraft.

3. Biegeträger sind durch Äste besonders gefährdet, wenn sie im Bereich der großen Biegemomente und hier wieder in der unteren Gefahrenezone, also in dem der gezogenen Randfaser benachbarten unteren Drittel liegen. Bei solcher Lage kann ein Ast von normaler Größe die Tragkraft leicht auf die Hälfte herabsetzen.

n
B
5
D.
m
n.