

KRITISCHE BETRACHTUNG DER HOLZBAUVORSCHRIFTEN.

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

Übersicht: Es werden auf Grund eigener Versuche mit ästigem und schrägfaserigem Nadelholz zahlenmäßige Unterlagen für die Einteilung des Bauholzes in 3 Güteklassen gegeben und zulässige Beanspruchungen vorgeschlagen. Sodann wird für die zulässige Belastung von Bolzen und Nägeln ein einfaches Gesetz entwickelt. Es wird darauf hingewiesen, daß die Steifigkeit einer Holzverbindung erst nach einer etwa zwölfmaligen Probelastung richtig beurteilt werden kann. Die Arbeit bildet einen Vorschlag für die geplanten neuen Holzbaubestimmungen.

Staatliche Bauvorschriften sind nötig, damit bei kunstgerechter, sorgfältiger Ausführung Bauten entstehen, bei denen die Baustoffe so weit ausgenützt sind, als es eine vernünftige Forderung nach Sicherheit zuläßt. Es ist Aufgabe der Wissenschaft, auf Grund von Versuchen und im Bauleben gesammelter Erfahrungen die Höhe der zulässigen Beanspruchungen zu bestimmen und dafür die Verantwortung zu übernehmen. Die Aufgabe der staatlichen Aufsichtsbehörden ist zu überwachen,

1. daß diese zulässigen Beanspruchungen nicht überschritten werden,
2. daß die Bauten nach den anerkannten Regeln entworfen werden,
3. daß bei der Ausführung die Pläne eingehalten werden und mit der nötigen Sorgfalt gebaut wird.

Es wäre in der heutigen Zeit besonders untragbar, wenn man die zulässigen Spannungen deswegen niederhalten wollte, weil erfahrungsgemäß gelegentlich die nötige Sorgfalt bei der Bauausführung fehlt. Es ist wirtschaftlicher, dafür zu sorgen, daß eine minderwertige Arbeit unmöglich gemacht wird, sei es durch eine bessere Selbstkontrolle durch die Unternehmervverbände wie bei der Rohstofflieferung oder durch eine bessere Aufsicht durch die Bauherren und die Staatsaufsichtsbehörden.

Unsere Vorschriften für die Bauten aus den Naturstoffen Stein und Holz sind in manchen Teilen noch stark rückständig. Es ist erfreulich, daß man an die Neufassung und Vereinheitlichung der Holzbauvorschriften herangehen will. Es muß aber dabei verlangt werden, daß die wichtigsten Entscheidungen nicht durch eine gewisse Scheu vor Verantwortung oder durch allgemeine Bedenken bestimmt werden, sondern daß ihnen die Ergebnisse wissenschaftlicher Arbeit und die Erfahrungen zahlreicher Bauausführungen zugrunde gelegt werden.

In der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen der Technischen Hochschule Karlsruhe werden seit einem Jahrzehnt Versuche mit Nadelholz und den Verbindungsmitteln für Holztragwerke durchgeführt, auf Grund deren Ergebnisse die heute noch gültigen Holzbauvorschriften kritisch betrachtet und Verbesserungsvorschläge gemacht werden sollen.

A. Holzgüte.

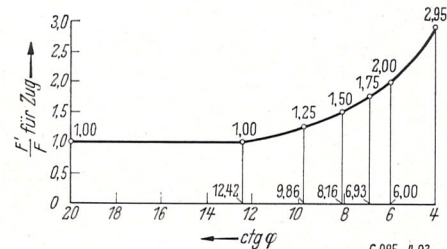
1. Nach unseren Versuchen leidet die Zugfestigkeit des Nadelholzes stark durch den schrägen Faserverlauf, während die Druckfestigkeit dadurch weniger berührt wird. Zug quer zur Faser ist eben viel gefährlicher als Druck. Nach Versuch und Rechnung bedingt die Neigung der Schrägfaser, hier ausgedrückt

durch $\text{ctg } \varphi = x \times 1$, ein vielfaches β des Holzbedarfes, wenn man immer die gleiche Bruchsicherheit wie beim geradfaserigen Holz haben will. (Abb. 1.)

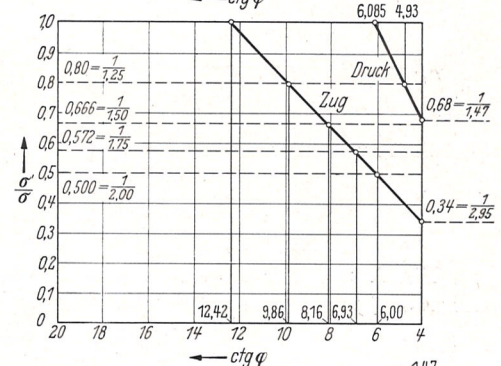
Schrägfaserneigung . .	$\text{tg } \varphi = 1 :$	9,86	8,16	6,93	6,10
Vielfaches bei Zug . .	$\beta =$	1,25	1,50	1,75	2,00
Vielfaches bei Druck . .	$\beta =$	1,25	—	—	—
Schrägfaserneigung . .	$\text{tg } \varphi = 1 :$	4,93	—	—	—

Abb. 1.

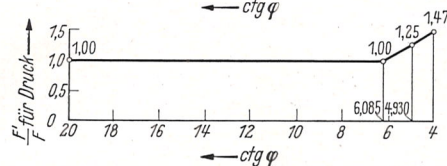
Das Verhältnis $\beta = F'/F$ für den Holzverbrauch abhängig von der Faserneigung φ beim Zugstab.



Das Verhältnis σ'/σ der Festigkeiten des schrägfaserigen und parallelfaserigen Holzes abhängig von der Faserneigung φ für Zug und Druck.



Das Verhältnis $\beta = F'/F$ für den Holzverbrauch abhängig von der Faserneigung φ beim Druckstab.



Daraus folgt die klare Forderung: Die zulässige Zugspannung muß herabgesetzt werden auf

80%	bei der Neigung	1 : 10
66%	„ „ „	1 : 8
57%	„ „ „	1 : 7
50%	„ „ „	1 : 6.

Ein Zugstab gilt noch als Holz 1. Klasse, wenn seine Schrägfaser mit der Stabachse den Winkel 1 : 8 bildet, denn dann sinkt seine Zugfestigkeit nur auf 66% der des fehlerfreien Zugstabes herab. Die zulässige Druckspannung hingegen muß nur ermäßigt werden auf 80% bei der Neigung 1 : 5.

2. Die Biegefestigkeit wird durch Äste in der Zugzone von Balken beeinträchtigt. Nach unseren Versuchen ergibt sich folgende Abhängigkeit zwischen Astlage, Astgröße und Biegefestigkeit, ausgedrückt durch das Widerstandsmoment eines rechteckigen Querschnittes $b \cdot h$.

Die zulässige Biegespannung des astreinen Balkens sei σ , sein Widerstandsmoment W . Durch den Ast mit dem Kleinstdurchmesser d im Abstand t vom unteren Rand hat der Balken von der Höhe h nur noch das wirksame Widerstandsmoment W' . Dann muß die zulässige Biegespannung wegen des Astes sinken auf σ' , damit die Bruchsicherheit die gleiche bleibt wie beim astreinen Holz

$$\sigma' = \sigma \cdot W'/W.$$

Aus unseren Versuchen ergeben sich nun die Grenzlinien, für welche W'/W zu $3/4, 2/3, 1/2$ und $1/3$ wird, für welche also die zulässige Biegespannung auf 75, 66, 50 und 33% des sonst gültigen Wertes herabsinkt, da die Biegefestigkeit eben auch soweit fällt.

Die Abb. 2 z. B. sagt: Ein Ast vom Durchmesser $d = h/4$ bedingt ein Absinken der zulässigen Biegespannung

- auf 75% für die Astlage $t = 0,32 h$
- „ 66% „ „ „ $t = 0,27 h$
- „ 50% „ „ „ $t = 0,20 h$
- „ 33% „ „ „ $t = 0,127 h$.

Ein Ast mit dem kleinsten Durchmesser $d = h/5 = 0,2 h$ verlangt eine Ermäßigung der Biegespannung auf 66% des Normalwertes, wenn sein Mittelpunkt vom unteren Rand den Abstand $t = 0,22 h$ hat. Liegt er aber tiefer, ist z. B. $t = 0,14 h$, so ist nur 50% von σ_{zul} erlaubt.

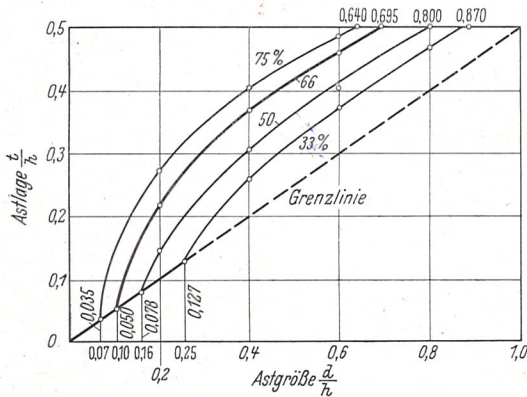


Abb. 2. Die zulässigen Grenzen für die Astlage im gefährlichen Balkenquerschnitt und für die Astgröße bei einem Absinken der Tragkraft auf 75 – 66 – 50 – 33% des astreinen Holzbalkens.

Ein Ast vom Durchmesser $d = 0,15 h$ verlangt einen Abfall auf

- 75% bei der Astlage $t = 0,22 h$
- 66% „ „ „ $t = 0,15 h$
- 50% „ „ „ $t = 0,075 h$.

Ein Ast vom Durchmesser $d = 0,10 h$ verlangt einen Abfall der zulässigen Biegespannung auf

- 75% bei der Astlage $t = 0,15 h$
- 66% „ „ „ $t = 0,05 h$.

3. Im ungünstigen Falle hat ein Balken im gefährlichen Bereiche Schrägfaser und Ast zugleich. Auch für diesen Fall haben wir den Verlust an Biegefestigkeit durch Versuche und Rechnung nachgewiesen und gefunden, daß man die vorigen Prozentzahlen für die zulässigen Spannungen bei Schrägfaser oder Ast miteinander multiplizieren muß, um die zulässige Biegespannung bei Schrägfaser und Ast zu finden, bei der noch die gleiche Bruchsicherheit wie beim fehlerfreien Holz besteht. In Frage kommen die Prozentsätze für Schrägfaser bei Zugspannung. Ist dort, wo der Ast mit $d = h/4$ sitzt, ein Schrägfaserverlauf 1:10, so sinkt die zulässige Biegespannung

- auf $0,8 \times 0,75 = 60\%$ für die Astlage $t = 0,32 h$
- „ $0,8 \times 0,66 = 53\%$ „ „ „ $t = 0,27 h$
- „ $0,8 \times 0,50 = 40\%$ „ „ „ $t = 0,20 h$
- „ $0,8 \times 0,33 = 26\%$ „ „ „ $t = 0,127 h$.

Ist der Faserverlauf 1:8, so tritt an Stelle des Faktors 0,8 der Wert 0,66 und die zulässige Biegespannung sinkt herab auf 50 – 43 – 33 – 22%.

4. Von Bauholz Klasse — dem hochwertigen Nadelholz — darf man wohl verlangen, daß es durch die unvermeidlichen Fehler keinen größeren Abfall der Biegefestigkeit als auf 66% hat. Dadurch sind die Bedingungen festgelegt für

1. schrägen Faserverlauf allein,
2. Ast allein,
3. Schrägfaser und Ast zusammen.

Beim Biegebalken 1. Klasse darf höchstens vorhanden sein

1. ein schräger Faserverlauf von der Neigung 1:8 oder
2. ein Ast von der Lage und Größe nach Abb. 2, Linie für 66% oder
3. ein schräger Faserverlauf und ein Ast zugleich, wofür Astlage und Astgröße im Bereich links der Linie für 66% in Abb. 2 sich treffen und der schräge Faserverlauf die Neigung hat, für die der Gesamtabfall höchstens 34% beträgt.

Ein Balken, der durch einen Ast, dessen Größe und Lage durch die Linie für 75% in Abb. 2 festgelegt ist, schon einen Abfall auf 75% hat, darf dann höchstens noch einen schrägen Faserverlauf haben von 1:11, denn dann hat er einen Gesamtabfall auf $0,75 \times 0,88 = 66\%$. Ein Balken aber mit Ästen, welche die Festigkeit allein schon auf 66% herabsetzen, muß unbedingt parallele Fasern haben, wenn er als hochwertiges Bauholz gelten soll.

B. Zulässige Holzspannungen.

1. Laubhölzer.

Die üblichen Laubhölzer Eiche und Buche haben höhere Festigkeiten als die Nadelhölzer Tanne, Fichte und Kiefer.

An Buchenbalken fanden wir eine gemittelte Biegefestigkeit von 1000 kg/cm^2 , die selbst bei dem rotkernigen Buchenholz nur absank auf 875 kg/cm^2 .

Auch in der Zugfestigkeit war die Buche mit gemittelt 1200 kg/cm^2 unserm Nadelholz erheblich überlegen. Es ist daher zweckmäßig, für Eiche und Buche die beim Nadelholz zugelassenen Zug-, Druck- und Biegespannungen um die Hälfte zu erhöhen.

Der Druck quer zur Faser darf aber gegenüber dem Nadelholz mindestens verdreifacht werden. Der zulässige Leibungsdruck kann gleich der zulässigen Druckspannung parallel der Faser gesetzt werden.

2. Nadelhölzer.

Hochwertiges Bauholz hat vor allem bei Zug und Biegung größere Festigkeiten als gewöhnliches Holz mit schrägem Faserverlauf und Ästen. Wenn man hochwertig jenes Holz bezeichnet, bei welchem die unter „Holzgüte“ angeführten Bedingungen für schrägen Faserverlauf und Ästigkeit im kritischen Bereich erfüllt sind, so darf man bei ihm für Zug und Biegung die zulässigen Spannungen um ein Drittel erhöhen gegenüber dem gewöhnlichen Bauholz.

Der zulässige Leibungsdruck sollte beim Nadelholz gleich der zulässigen Druckspannung parallel der Faser gesetzt werden.

C. Elastizitätsmodul.

Nadelholz gibt bei Biegung stärker nach als bei Zug oder Druck. Es empfiehlt sich daher, bei den E-Werten folgende Unterscheidung zu machen:

	Nadelholz	Laubholz
Beanspruchung längs der Faser		
E für Zug oder Druck .	125000	150000 kg/cm^2
E für Biegung und Knickung	100000	150000 kg/cm^2 .
Beanspruchung quer zur Faser		
E für Druck	1000	7000 kg/cm^2 .

D. Verbindungsmittel.

Für stark beanspruchte Holztragwerke eignen sich Bolzen als Verbindungsmittel nicht, weil sie schon bei verhältnismäßig geringer Beanspruchung große Verschiebungen zwischen den verbundenen Hölzern zulassen und dadurch dem Holztragwerk die erforderliche Steifigkeit nicht verleihen. Man greift daher heute

ziemlich allgemein bei größeren Holztragwerken zu den Einpreßdübeln oder Fräsdübelarten, obwohl in den zur Zeit geltenden vier baupolizeilichen Bestimmungen für Holztragwerke der Bolzen als allein tragendes Verbindungsmittel immer noch zugelassen ist. Im folgenden seien diese vier Bestimmungen einer kurzen kritischen Betrachtung unterzogen, um damit einen Beitrag für eine Neufassung dieser Bestimmungen, die im Gange ist, zu geben.

1. Der Bolzen in Holztragwerken des Hochbaues.

Hier sind maßgebend die DIN 1052 aus dem Jahre 1930 und 1933 und die Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Holz im Hochbau, herausgegeben vom Preußischen Finanzministerium, vom 1. September 1933. Beide Bestimmungen enthalten grundsätzlich die gleichen Vorschriften für die Bolzen und lassen einheitlich als Biegespannung für Stahl 1200 kg/cm² zu, ohne freilich anzugeben, nach welchem Gesetz, d. h. nach welcher Lastverteilung diese Biegespannung berechnet werden muß. Es besteht aber auch in der Vorschrift die Möglichkeit, die Tragkraft des Bolzens unter Außerachtlassung der Biegespannung im Stahl aus dem zulässigen Leibungsdruck im Holz unter Annahme einer gleichmäßigen Druckverteilung zu berechnen; dabei wird ein Leibungsdruck σ_1 zugelassen, der mit zunehmender Schlankeheit des Bolzens laut Zahlentafel 4 abnimmt:

- im Mittelholz von 80 auf 24 kg/cm² bei zweischnittiger Verbindung;
- im Seitenholz von 50 auf 13 kg/cm² bei zweischnittiger Verbindung;
- bei einschnittiger Verbindung von 40 auf 13 kg/cm².

Es wurde wiederholt schon darauf hingewiesen, daß aus der Tatsache der Abnahme von σ_1 bei zunehmender Bolzenlänge in Wirklichkeit eine von der Schlankeheit λ des Bolzens unabhängige feste zulässige Belastung N des Bolzens sich ergibt. Ein Blick auf die beiden Abb. 3 u. 4 beweist die Richtigkeit dieser Behauptung.

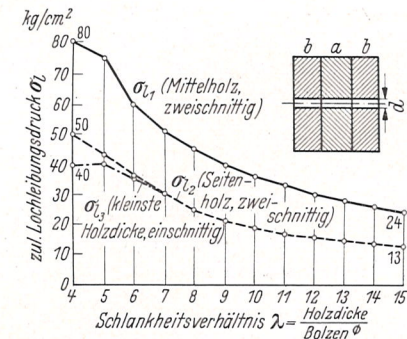


Abb. 3. Der zulässige Leibungsdruck bei Bolzenverbindungen abhängig von der Schlankeheit λ , des Bolzens nach DIN 1052

- Beim Mittelholz schwanken die Werte $\sigma_1 \times \lambda_1$ um 360,
- „ Seitenholz „ „ „ $\sigma_2 \times \lambda_2$ „ 200.
- Beim einschnittigen Bolzen schwanken die Werte $\sigma_3 \times \lambda_3$ um 200 herum.

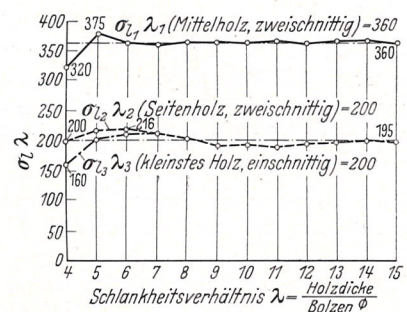


Abb. 4. Das Produkt $\sigma_1 \cdot \lambda$, abhängig von der Schlankeheit des Bolzens als Maßstab für die zulässige Belastung nach DIN 1042.

betragen. Maßgebend müßte die kleinere Zahl sein. Es wäre also $N_2 = 360 \times d^2$ in kg für d in cm.

Ebenso ergibt sich die zulässige Belastung des einschnittigen Bolzens zu

$$N_1 = 200 \times d^2 \text{ in kg für } d \text{ in cm.}$$

Nimmt man beim einschnittigen Bolzen einmal die Schubspannung des Stahles als maßgebend an und setzt man $\tau_{zul} = 960 \text{ kg/cm}^2$, so ist die zulässige Belastung erheblich höher:

$$N_1 = \frac{\pi \times d^2}{4} \times 960 = 754 d^2 \text{ in kg für } d \text{ in cm.}$$

Die Weichheit der Bolzenverbindung kommt von der Durchbiegung δ des Bolzenschaftes. Sie beträgt im Mittelholz bei gleichmäßiger Lastverteilung und der ungünstigen Annahme des Bolzens als freiaufliegender Träger

$$\delta = \frac{5 Na^3}{384 EJ} = \frac{5 a^3 N}{384 E \pi / 64 d^4} = \frac{320 a^3 N}{384 \pi E d^4}$$

Für den kreisrunden Bolzenquerschnitt ist

$$J = 0,049 d^4 \text{ cm}^4 \text{ für } d \text{ in cm,}$$

und sein Stahl hat $E = 210000 \text{ kg/cm}^2$.

Nimmt man $\sigma_1 = 80 \text{ kg/cm}^2$, so wird die zulässige Bolzenlast $N = 80 \cdot a \cdot d$. Daraus berechnet sich genähert

$$100000 (\delta/a) = \lambda^3 \text{ für } \lambda = a/d.$$

Für die verschiedenen Schlankheitsgrade findet sich die zugehörige Durchbiegung δ des Bolzens zu

$\lambda =$	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{\delta}{a} =$	0,64	1,25	2,16	3,43	5,12	7,29	10
$\frac{\delta}{a} =$	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Nimmt man für den Leibungsdruck $\sigma_1 = 100 \text{ kg/cm}^2$, so nimmt δ/a den 1,25fachen Wert an. Man sieht, daß für solche Schlankheit bei den Leibungsdrücken von 80 oder 100 kg/cm² die Durchbiegung des Bolzens noch klein bleibt.

Hinsichtlich der Verformung kann $\lambda = 5$ als eine brauchbare mittlere Schlankheit des Bolzens gelten.

Mir scheint es richtig, die zulässige Belastung eines Bolzens auf folgender einfacher Überlegung aufzubauen: Bei zweischnittiger Verbindung und einer durch das Mittelholz bedingten brauchbaren Schlankheit des Bolzens von $\lambda = a/d = 5$ kann man unbedenklich einen gleichmäßig verteilt gedachten Leibungsdruck zulassen von $\sigma_1 = 80 \text{ kg/cm}^2$.

Dann errechnet sich die Tragkraft des zweischnittigen Bolzens sehr einfach aus dem Mittelholz zu

$$N_2 = a \times d \times 80; \quad a = 5 \times d$$

$$N_2 = 5 \times 80 \times d^2 = 400 d^2.$$

Die Tragkraft N_1 des einschnittigen Bolzens ist dann genau die Hälfte von N_2 .

Der Mindestabstand der Bolzen sollte nach unseren Versuchen in der Krafttrichtung beim Nadelholz sein

$$t = 6 \times d.$$

Der Bolzen in Brückentragwerken aus Holz.

Für Brückentragwerke aus Holz sind entweder maßgebend die DIN 1074 aus dem Jahre 1930, die zur Zeit neu beraten wird, oder die vorläufigen Bestimmungen für Holztragwerke der deutschen Reichsbahn aus dem Jahre 1931.

Man ist sich wohl allgemein darüber klar, daß der Bolzen als einziges Verbindungsmittel sich für den modernen Holzbrückenbau noch viel weniger eignet als für den Hallenbau und andere Hochbauzwecke. Man wird ihn aber häufig in Verbindung mit Einpreßdübeln und anderen Mitteln als Klemmbolzen verwenden und aus wirtschaftlichen Gründen seine Beteiligung bei der Kraftübertragung mit in Rechnung stellen wollen. Aus diesem Grunde sei hier auch auf diese beiden Bestimmungen etwas eingegangen. Beide Vorschriften berechnen die zulässige Belastung des Bolzens einmal aus der zulässigen Biegespannung des Stahles, die zu 1200 kg/cm² angenommen wird. Unter vereinfachten Annahmen für die Verteilung des Leibungsdruckes über die Bolzenlänge, die nur im Mittelholz des zweischnittigen Bolzens gleichmäßig angenommen wird, errechnen sich zwei Größtwerte für das Biegemoment:

$$\text{Im Mittelholz } M_1 = N \times a/8.$$

$$\text{Im Seitenholz } M_2 = N \times b/13,5.$$