

Der Holzbau

Mitteilungen des „Deutschen Holzbau-Vereins“

HERAUSGEGEBEN VON DER

JAHRGANG 1921. „DEUTSCHEN BAUZEITUNG“

NUMMER 23.

Eiserne Bolzen im Holzbau.

Von Bauingenieur Professor Martin Preuß in Breslau.



an hat zu unterscheiden zwischen den Bolzen, die nur zum Zusammenhalten von Hölzern dienen, damit die unmittelbare Kraft-Uebertragung von Holz zu Holz dauernd sicher gestellt ist, und den Bolzen, die durch ihre Schub- und Biegefestigkeit selbst die Kraft-Uebertragung vermitteln. Bei diesen spielt auch der Leibungsdruck auf das Holz eine beachtenswerte Rolle. Der Querschnitt der ersteren Bolzen, der Haft-, Halte- oder Sicherheitsbolzen, kann im Allgemeinen nach rein praktischen Gesichtspunkten gewählt werden; der der zweiten Art, der Kraftbolzen, ist nach den Regeln der Festigkeitslehre zu bemessen.

Ich entnehme das folgende Beispiel (Abbildung 1) einer mir gelegentlich zur Prüfung vorgelegten statischen Berechnung, um an diesem einfachsten Fall die Wirkung und Berechnung der Bolzen zu zeigen. Es ist der Stoß der Zugstange eines Dachbinders, die bei voller Belastung einen Zug von 26 000 kg, bei ständiger Belastung (ohne Wind und Schnee) einen solchen von 14 000 kg aufzunehmen hat.

Der Stoß ist gedeckt durch zwei Flacheisenbänder von je 12,130 qmm Querschnitt; der Zug wird jederseits

Bolzen auf Leibungsdruck $\frac{26\,000}{5 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 2,3} = 942 \text{ kg/qcm}$

Auf die Biegeungsrechnung für die Bolzen geht der Festigkeits-Nachweis nicht ein; mit gutem Grund: Der Leibungsdruck auf das Holz ist gleichmäßig verteilt angenommen; er gibt für den Bolzen ein Biegemoment

$$M = \frac{26\,000 \cdot 18}{5 \cdot 8} = 11\,700 \text{ cmkg, für das ein Widerstandsmoment}$$

$$W = \frac{11\,700}{1200} = \text{rd. } 10 \text{ cm}^3 \text{ nötig wäre, d. h. ein Bolzendurchmesser } d = \sqrt[3]{10 \cdot 10} = 4,7 \text{ cm (} W = \text{rd. } 0,1 \cdot d^3 \text{). Oder an}$$

23er Bolzen mit $W = 1,22 \text{ cm}^3$ müßten vorhanden sein $m = \frac{26\,000 \cdot 18}{8 \cdot 1200 \cdot 1,22} = 40$ Stück. Das ist ein für die Ausführung unmöglicher Wert.

Die Biegeungs-Spannung der wirklich vorhandenen Bolzen erhält man für volle Belastung zu

$$\sigma_1 = \frac{11\,700}{1,22} = 9600 \text{ kg/qcm,}$$

für die ständige Belastung zu

$$\sigma_2 = \frac{14\,000 \cdot 18}{5 \cdot 8 \cdot 1,22} = 5080 \text{ kg/qcm.}$$

Beide Werte überschreiten die Bruchgrenze; nach dieser Berechnung ist also nicht nur keine Sicherheit vorhanden, sondern schon unter der ständigen Last der Bruch unvermeidlich. Die Praxis zeigt aber, daß die



Abb. 1.

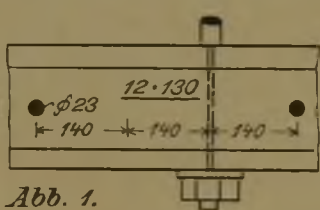


Abb. 2. Abb. 3.

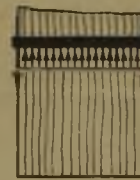


Abb. 4.



Abb. 5.

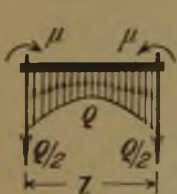


Abb. 6

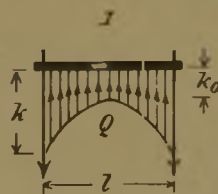


Abb. 7.

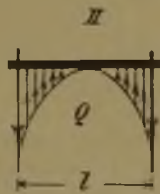


Abb. 8.

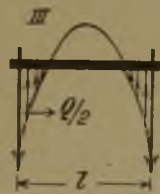


Abb. 9.

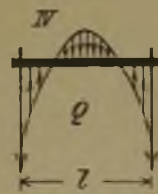


Abb. 10.

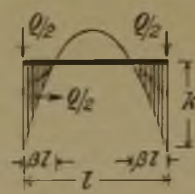


Abb. 11.

des Stoßes durch 5 Bolzen von 23 mm Durchm. angenommen. Die Berechnung weist folgende Beanspruchungen nach:

Holz auf Zug	$\frac{26\,000}{18 \cdot 17,7}$	=	82 kg/qcm
Holz auf Abscheren	$\frac{26\,000}{5 \cdot 2 \cdot 14 \cdot 18}$	=	10 "
Holz auf Leibungsdruck	$\frac{26\,000}{5 \cdot 18 \cdot 2,3}$	=	125 "
Eisenlasche auf Zug	$\frac{26\,000}{2 \cdot 1,2 \cdot 10,7}$	=	1010 "
Bolzen auf Abscheren	$\frac{26\,000}{5 \cdot 2 \cdot 4,16}$	=	625 "

Verbindung hält; sie zieht daraus den richtigen Schluß: die Berechnung ist falsch, und verzichtet darauf „auf Grund ihrer Erfahrungen“.

Mit den „Erfahrungen“ ist es nun eine eigene Sache: man kann nur „erfahren“ auf Grund tatsächlicher Ausführungen, d. h. auf Grund fest bestimmter Maße, eben der Maße der Ausführung. Diese Erfahrungen auf andere Maßverhältnisse auszudehnen, ist unsachlich und recht zweifelhaft. Das vorliegende Beispiel zeigt das recht einleuchtend: bei geringerer Holzbreite wird das Biegemoment kleiner und damit die Tragfähigkeit des Bolzens größer, bei größerer Holzbreite würden die Verhältnisse noch ungünstiger werden als die obige Rechnung zeigt. Wo liegt die Grenze, bis zu der man

die Erfahrung in diesem Fall noch als berechtigt anerkennen darf? Für den gewissenhaften Konstrukteur ist es jedenfalls ein recht ungemütlicher Zustand, wenn er sich nicht einmal annähernd zahlenmäßig Rechenschaft über den Sicherheitswert einer Verbindung geben kann.

Im vorliegenden Fall hat die Erfahrung zum guten Teil Recht:

1. Ist die Biegerechnung falsch, weil sie von der Annahme gleichmäßig verteilten Leibungsdruckes ausgeht.

2. Ist die Spannungs-Berechnung falsch für Spannungswerte über die Proportionalitäts-Grenze. Bach sagt hierüber in seinem Werk „Elastizität und Festigkeit“: „Der der Biegeprobe unterworfenen Körper sei so belastet, daß die Spannung in der äußersten Faser gerade der Proportionalitäts-Grenze entspricht. Dann erfolgt die Spannungsverteilung nach Maßgabe der Abbild. 2. Steigern wir die Belastung derart, daß in den äußersten Fasern die Streck- oder Quetschgrenze überschritten

werden darf, da beim Schwinden des Holzes der feste Sitz der Mutter nicht dauernd erhalten bleibt. Da außerdem eine Proberechnung gezeigt hat, daß durch das Einspannungsmoment für die Tragfähigkeit des Bolzens nur wenig gewonnen wird, soll es in den folgenden Rechnungen nicht erst berücksichtigt werden.

Die Berücksichtigung aller dieser Umstände muß es ermöglichen, die Ergebnisse der Festigkeitsrechnung mit den Erfahrungen der Praxis in Einklang zu bringen. Gelingt das, dann ist man imstande, den Sicherheitswert auch solcher Verbindungen richtig zu beurteilen, die ihren Maßen nach außerhalb der bereits gewonnenen Erfahrungen liegen. Der Versuch soll im Folgenden gemacht werden.

Die erste Frage ist: Wie verteilt sich der Leibungsdruck auf die Länge des Bolzens?

Denken wir uns die Belastung des Bolzens von Null an wachsend, so wird zunächst ein gleichmäßig verteilter Zustand nach Abbildung 4 eintreten. Unter diesem



Westfälisches Fachwerkhaus aus der Sieg-Gegend.

wird, so geben die außen gelegenen Fasern verhältnismäßig rasch nach. Die nach innen gelegenen Fasern werden dagegen verhältnismäßig stark zur Uebertragung des biegenden Momentes herangezogen: Die Spannungsverteilung gestaltet sich etwa wie in Abbildung 3 dargestellt . . . Ein Bruch tritt meist überhaupt nicht ein, nur eine große Durchbiegung.

3. Eben diese große Durchbiegung kann dann nicht eintreten, wenn der Bolzen allseitig fest im Loch steckt, da sie durch den Gegendruck (Leibungsdruck) des Holzes verhindert wird. Dieser Widerstand des Holzes gegen die Durchbiegung ist natürlich um so wirksamer, je satter der Bolzen ins Loch paßt.

4. So lange die Mutter fest angezogen sitzt, wird das Biegemoment noch verringert durch eine Einspannung der Enden (Einspannungsmoment μ). Die Durchbiegung bringt eine Drehung der Enden mit sich, welche die Mutter einseitig anpreßt. Zur Biegung kommt damit eine einseitige Zugbelastung, deren Moment das Biegemoment teilweise aufhebt. Es ist aber zweifelhaft, wie weit mit diesem Umstand gerechnet

beginnt der Bolzen sich durchzubiegen. Dabei werden die äußeren Holzfasern mehr zusammen gedrückt als die mittleren: die mittleren Fasern werden entlastet auf Kosten der äußeren. Es wird sich ein Belastungs-Zustand nach Abbildung 5 einstellen. Die Abbildung zeigt gleichzeitig die Einspannungs - Wirkung des Kopfes oder der Mutter. Es ergibt sich also schließlich das Belastungs-bild der Abbildung 6 mit den Einspannungs-Momenten.

Es ist nicht möglich, die Verteilungslinie des Leibungsdruckes eindeutig zu bestimmen, etwa nach der Verkürzung der Faserlänge h infolge der Durchbiegung an den einzelnen Stellen des Bolzens. Wir sind auf die Annahme einer annähernd richtig scheinenden Verteilung des Leibungsdruckes angewiesen. Es soll angenommen werden, daß sich die Drucke nach der Form einer Parabel verteilen. Sicher wird diese Annahme nicht viel von der Wirklichkeit abweichen. Dabei sind je nach der Steifheit oder Beanspruchung des Bolzens folgende Belastungsfälle möglich:

- I. Abb. 7: Verteilung des Druckes auf die ganze Länge.
- II. „ 8: Druck im Scheitel = 0.

III. Abb. 9: Druck auf einer Scheitelstrecke = 0.
 IV. „ 10: Gegendruck im Scheitel.

Die Belastungsfälle I und II (Abbildung 7 und 8) ergeben für den Bolzen ein

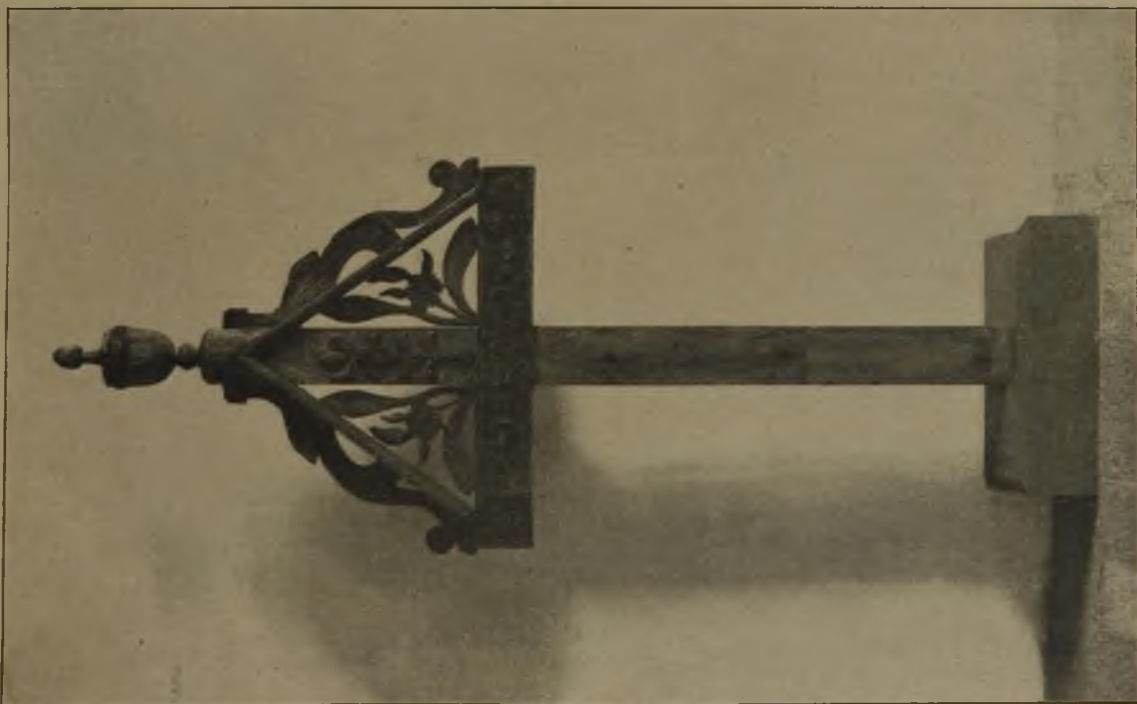
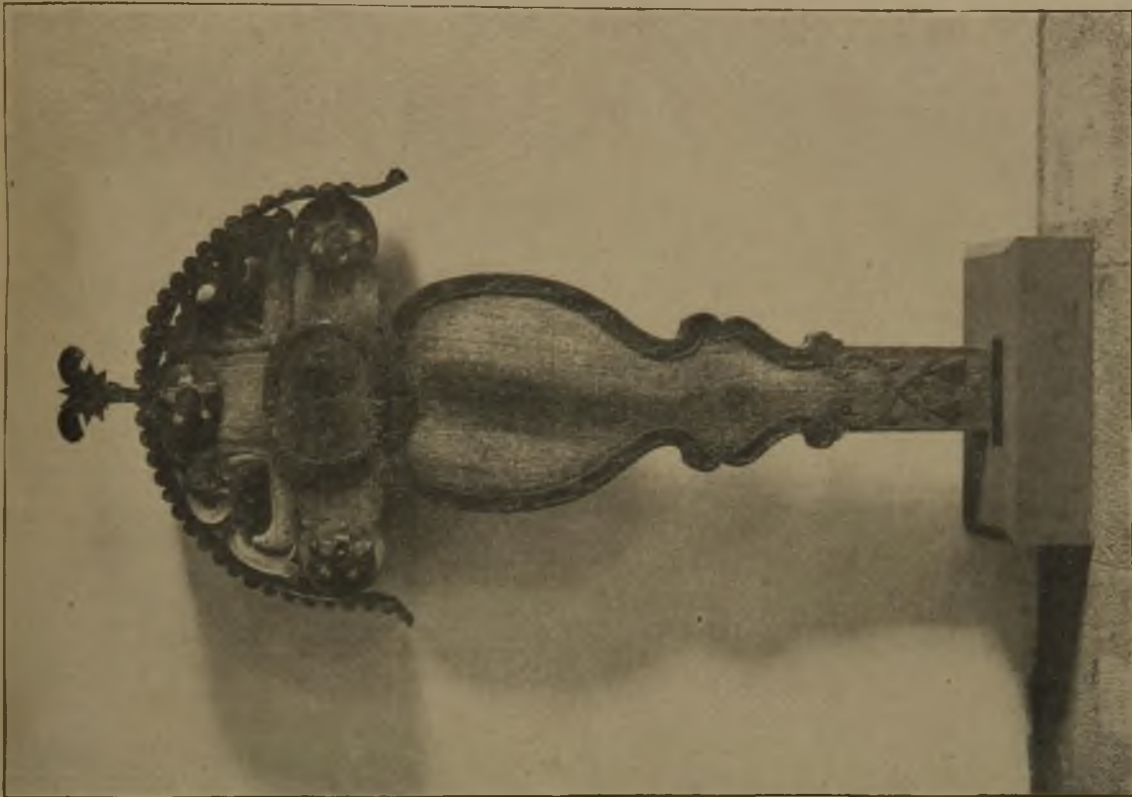
größtes Biegemoment $M = \frac{Q \cdot l}{16} \cdot \frac{1+5\alpha}{1+2\alpha}$ und eine

Bieungsbeanspruchung $\sigma = \frac{5 \cdot Q \cdot l \cdot (1+5\alpha)}{8 \cdot d^3 \cdot (1+2\alpha)}$

$M = \frac{Q \cdot l}{8}$, für den Fall der Abbildung 8 mit $k_0=0, \alpha=0$

$M = \frac{Q \cdot l}{16}$. Die Leibungs-Beanspruchung des Holzes ist

$\sigma_t = \frac{k}{d} = \frac{3 \cdot Q}{d \cdot l \cdot (1+2\alpha)}$, für $\alpha=1$ $\sigma_t = \frac{Q}{d \cdot l}$,
 „ $\alpha=0$ $\sigma_t = 3 \cdot \frac{Q}{d \cdot l}$.



Hölzerne Grabkreuze.
 Aus der Sammlung des Landes-Museums für sächsische Volkskunst in Dresden.

worin ist Q die Belastung des Bolzens,
 $\alpha = \frac{k_0}{k}$ das Verhältnis $\frac{\text{Druck im Scheitel}}{\text{Druck an der Kante}}$,
 d der Durchm. des Bolzens, dessen Widerstandsmoment
 $W = rd \frac{d^3}{10}$.

Für gleichmäßig verteilte Belastung mit $k_0=k, \alpha=1$ ist

Die Tragfähigkeit eines Bolzens ist demnach

für Biegung $Q_b = \frac{8 \cdot d^3 \cdot (1+2\alpha)}{5 \cdot l \cdot (1+5\alpha)} \cdot \sigma_b$

für Leibungsdruck $Q_l = \frac{d \cdot l \cdot (1+2\alpha)}{3} \cdot \sigma_l$.

Der weitere Vergleich der beiden Werte zeigt, daß selbst für den ungünstigen Fall $\alpha=0$ (größter Leibungs-

druck, kleinstes Biegemoment) die Tragfähigkeit für Leibungsdruck größer ist, als die für Biegung. Es darf demnach dem Holz zugunsten der Bieigungs-Beanspruchung des Bolzens eine noch ungünstigere Verteilung des Leibungsdruckes zugemutet werden. D. h. die Rechnung kann der Erfahrung noch einen Schritt entgegen kommen und die Tragfähigkeit des Bolzens nach der Verteilung des Falles III (Abbildung 9 oder 11) bestimmen, der annimmt, daß sich der ganze Druck nur auf kurze Strecken $\beta \cdot l$ von den Kanten aus verteilt. Genau genug kann man die Belastungsflächen als Dreiecke annehmen. Dann ist

$$M = \frac{Q}{2} \cdot \left(\beta \cdot l - \frac{2}{3} \cdot \beta \cdot l \right) = \frac{Q \cdot \beta \cdot l}{6}, \quad \sigma_b = \frac{M}{W} = \frac{Q \cdot \beta \cdot l}{0,6 \cdot d^3}$$

und die Tragfähigkeit für Biegung $Q_b = \frac{0,6 \cdot d^3}{\beta \cdot l} \cdot \sigma_b$, ferner

mit $\frac{k \cdot \beta \cdot l}{2} = \frac{Q}{2}$, also $k = \frac{Q}{\beta \cdot l}$, $\sigma_l = \frac{k}{d} = \frac{Q}{d \cdot \beta \cdot l}$ und die Tragfähigkeit für Leibungsdruck $Q_l = d \cdot \beta \cdot l \cdot \sigma_l$.

Setzt man diese beiden Werte einander gleich, dann erhält man $\beta = 0,775 \cdot \frac{d}{l} \sqrt{\frac{\sigma_b}{\sigma_l}}$ und damit die Tragfähigkeit eines Bolzens zu $Q = 0,775 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\sigma_b \cdot \sigma_l}$; d. h. für Flußeisen mit $\sigma_b = 1200 \text{ kg/qcm}$

	Fichte	Kiefer	Eiche
$\sigma_l = 120$	150	180	210
$Q = d^2 \cdot 294$	328	360	389
Schweißeisen $\sigma_b = 1000 \text{ kg/qcm}$			
$Q = d^2 \cdot 268$	300	329	355

Für nur selten auftretende volle Belastung einer Verbindung darf man unbeschadet der Sicherheit mit höheren Beanspruchungen des Eisens rechnen; man erhält für Flußeisen mit $\sigma_b = 1600 \text{ kg/qcm}$

	Fichte	Kiefer	Eiche
$\sigma_l = 120$	150	180	240
$Q = d^2 \cdot 340$	380	416	450
Schweißeisen $\sigma_b = 1250 \text{ kg/qcm}$			
$Q = d^2 \cdot 300$	336	368	397

Zur Beurteilung des zulässigen Leibungsdruckes σ_l müssen einmal die Werte der Druckfestigkeit des Holzes dienen; diese sind

	Eiche	Kiefer	Fichte
etwa $K = 345$		280	245

Ferner die Verteilung des Leibungsdruckes auf die einzelnen Stellen des Umfanges. σ_l darf höchstens so gewählt werden, daß an keiner Stelle die Druckfestigkeit K überschritten wird. Das trifft bei sattem Anliegen der Bolzenleibung im Bohrloch zu, wenn

$$\sigma_l = K \cdot \pi/4 = 0,785 \cdot K$$

gewählt wird; d. h.

	Eiche	Kiefer	Fichte
etwa bei $\sigma_l = 270$		220	192

Besser wird man etwas geringere Werte wählen, etwa die, denen die Ueberschriften in den Tabellen der Tragfähigkeit entsprechen. Liegt der Bolzen nicht allseitig fest in der Lochwandung — zu große Löcher — dann müssen erheblich geringere Werte für σ_l angenommen werden.

Beurteilt man nach dieser Rechnung die Verbindung der Abbildung 1, so zeigt sich, daß ein Bolzen vom Durchm. $d = 23 \text{ mm}$ eine Tragfähigkeit von höchstens $Q = 2,3^2 \cdot 450 = 2380 \text{ kg}$

Vermischtes.

Gründung der Gottfried Hagen Aktien-Gesellschaft in Hamburg. Unter Mitwirkung der Nationalbank für Deutschland, K. a. A., wurde am 31. Oktober 1921 die Gründung der Gottfried Hagen Aktiengesellschaft in Hamburg vollzogen. Das Grundkapital beträgt 12 Millionen Mark. Das neue Unternehmen beabsichtigt den Erwerb des bisherigen, Herrn Gottfried Hagen, Hamburg, gehörigen Baugeschäftes, verbunden mit einem Sägewerk, einer Holzbearbeitungs-Fabrik und Fabrik für zerlegbare Holzhäuser und Baracken. Der Aufsichtsrat besteht aus den Hrn.: Rud. Zennig, Peter Kruse, Walter Inden, Rechtsanwalt Dr. Ernst Ruhle in Hamburg, Max Burchard in Kiel und Bankdirektor Rolf in Neumünster. Zum Vorstand wurden gewählt die Herren: Generaldirektor Gottfried Hagen in Hamburg und Direktor Heinz Pirngruber in Wandsbek.

Wir bemerken bei diesem Anlaß, daß das von uns in Nummer 22 des „Holzbau“ veröffentlichte Haus des Herrn Heinz Pirngruber in Hamburg-Wandsbek aus den im Holzhausbau bewährten Stamm-Werkstätten der neuen Aktiengesellschaft hervorgegangen ist. —

hat; die 5 Bolzen demnach $5 \cdot 2380 = 11900 \text{ kg}$. Es müßten daher schon unter der ständigen Belastung von 14000 kg Zerquetschungen der Holzfaser stattfinden. Derartige Zerstörungen entziehen sich völlig der Beobachtung. Ebenso muß die Beanspruchung des Eisens und damit die Durchbiegung der Bolzen ganz erheblich werden. Zerquetschung und Durchbiegung führen schließlich doch zu deutlich erkennbaren Formänderungen.

Da der Widerstand des Holzes nicht größer sein kann, als seine Festigkeit zuläßt ($\sigma_l = 220 \text{ kg/qcm}$ für Kiefer), so kann man ein angenähertes Urteil über die Beanspruchung σ_b des Bolzens gewinnen. Für die ständige Belastung mit $Q = \frac{14000}{5} = 2800 \text{ kg}$ wird aus $Q = d \cdot \beta \cdot l \cdot \sigma_l$ $\beta = \frac{Q}{d \cdot l \cdot \sigma_l} = \frac{2800}{2,3 \cdot 18 \cdot 220} = 0,308$ und damit $\sigma_b = \frac{Q}{0,6 \cdot 2,3^3} = \frac{2800}{26000} = 0,108 \text{ kg/qcm}$; für die volle Belastung von $Q = \frac{5200}{5} = 1040 \text{ kg}$ wird $\beta = 0,308 \cdot \frac{5200}{2800} = 0,572 > 0,5$, d. h. die Verteilung des Leibungsdruckes nach Abbildung 11 ist nicht mehr möglich, sondern muß nach Abb. 7 erfolgen. Aus $Q = \frac{d \cdot l \cdot (1 + 2\alpha)}{3} \cdot \sigma_l$ ist zu berechnen:

$$\alpha = \left(\frac{3 \cdot Q}{d \cdot l \cdot \sigma_l} - 1 \right) \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{3 \cdot 5200}{2,3 \cdot 18 \cdot 220} - 1 \right) \cdot \frac{1}{2} = 0,305,$$

woraus man erhält

$$\sigma_b = \frac{5 \cdot Q \cdot l \cdot (1 + 5\alpha)}{8 \cdot d^3 \cdot (1 + 2\alpha)} = \frac{5 \cdot 5200 \cdot 18 \cdot 2,515}{8 \cdot 2,3^3 \cdot 1,71} = 7060 \text{ kg/qcm}.$$

Unter der ständigen Belastung genügt die Verbindung also zur Not noch, unter der allerdings recht unwahrscheinlichen vollen Belastung (Schnee mit 75 kg/qm , Wind mit 125 kg/qm) wird aber sicher der Bruch eintreten.

Die Berechnung für den Belastungsfall IV nach Abbildung 10 wird durch das Auftreten von Gleichungen höheren Grades außerordentlich schwierig. Aus einer Ermittlung der Tragfähigkeit auf Grund berechtigter vereinfachender Annahmen geht aber hervor, daß der Belastungsfall IV (Annahme von Gegendruck im Scheitel) keinesfalls eine nennenswerte Erhöhung der Tragfähigkeit des Bolzens ergeben kann. Deshalb ist es vorläufig entschieden zu empfehlen, die Tragfähigkeit höchstens nach den vorstehenden Tabellen zu bemessen.

Treten an Stelle der dünnen Eisenlaschen kräftigere Hölzer, dann wird in diesen stets eine geringe Einspannung wirksam, d. h. die Tragfähigkeit der Bolzen etwas vergrößert werden.

Zum Schluß möchte ich noch bemerken, daß hier alle Berechnungen auf Grund rein wissenschaftlicher Ueberlegungen immer nur ein Notbehelf, eben gerade besser als nichts, bleiben müssen, da wir die Verteilung des Druckes aufs Holz aus Ueberlegungen heraus nie einwandfrei klarstellen können. Bei dem heutigen Aufschwung des Holzbaues erscheint es dringend nötig, die Bolzenfrage durch planmäßige Versuche zu lösen. Immerhin dürfte die hier gegebene Berechnung eine Grundlage sein, die man mit gutem Gewissen beim Entwerfen benutzen kann. —

Deutsche Holzbau-Werke Carl Tuchscherer A.-G. in Ohlau und Breslau. Ergänzend zu unseren Mitteilungen über die Gründung dieser Gesellschaft auf S. 76 des „Holzbau“ tragen wir nach, daß den ersten Aufsichtsrat des in eine Aktiengesellschaft umgewandelten Unternehmens bilden: Kommerzienrat Dr. Georg Heilmann und Dr. Hugo Sontag (E. Heilmann); Dr. Gustav Ration (Delbrück, Schickler & Co.), Assessor a. D. Kurt Landsberg (J. Dreyfus & Co.), Bürgermeister Hermann Hahm, Ohlau, Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Friedrich Seesselberg in Berlin-Lichterfelde und Kaufmann Gustav Vogt in Hundsfield. Alleiniger Vorstand ist Baumeister Carl Tuchscherer in Breslau. —

Inhalt: Eiserne Bolzen im Holzbau. — Vermischtes. — Abbildungen: Westfälisches Fachwerkhaus aus der Sieg-Gegend und Hölzerne Grabkreuze aus der Sammlung des Landes-Museums für sächsische Volkskunst in Dresden. —

Verlag der Deutschen Bauzeitung, G. m. b. H., in Berlin. Für die Redaktion verantwortlich: Albert Hofmann in Berlin. Buchdruckerei Gustav Schenck Nachflg. P. M. Weber in Berlin.