

Der Holzbau

Mitteilungen des „Deutschen Holzbau-Vereins“

HERAUSGEGEBEN VON DER

JAHRGANG 1921.

„DEUTSCHEN BAUZEITUNG“

NUMMER 15.

Versuche über Bauholz-Verbindungen.

Von Reg.- und Baurat Dr. Schaechterle in Stuttgart. (Fortsetzung statt Schluß aus No. 13.)

II. Zugverbindung mit eisernen Runddübeln und Schrauben.



Bei diesem Versuchskörper wurden Erfahrungen von Vorversuchen benützt. Der Querschnitt des Mittelstückes 8/20 ist der gleiche, wie bei den Parallel-Versuchen aus Hartholzdübeln und Bandseisen. Bei den Laschen wurde der Querschnitt 6/20 anstelle 4/20 ausgeführt, weil sonst der Bruch infolge von Biegung in dem durch die

mittleren Dübel verschwächten Laschenquerschnitt zu befürchten war. Als Verbindungsmittel wurden verwendet: 4 Schrauben Durchm. 13 mm und 12 Runddübel Durchm. 4,5 cm und 5 cm hoch. Die Anordnung der Verbindung ist aus Abbildung 11 zu ersehen. Das Holz des Versuchskörpers zeigte folgende Festigkeiten:

Prismendruckfestigkeit parallel zur Faser 250 kg/cm²
 Würfelfestigkeit parallel zur Faser . . . 260 „
 „ senkrecht „ „ . . . 25 „

Prüfungs-Ergebnisse.

Körper II.

Belastungen in kg	Verschiebungen an den Meßpunkten a, b, c, d			
	a	b	c	d
200	0	0	0	0 mm
2 000	0	0	0,1	0 „
4 000	0	0	0,1	0 „
6 000	0,1	0	0,2	0 „
8 000	0,4	0,2	0,5	0,2 „
10 000	1,1	1,0	1,3	0,7 „
12 000	2,0	1,7	1,8	1,5 „
500	1,7	1,7	1,2	1,2 „
12 000	2,1	1,7	1,9	1,4 „
14 000	2,7	2,2	2,5	1,9 „
16 000	3,7	3,2	3,5	2,8 „
18 000	5,5	5,1	5,0	4,5 „
20 000	8,4	7,9	8,2	7,3 „
22 000	11,5	10,9	11,4	10,4 „
24 000	14,1	13,5	14,0	13,0 „
26 000	16,8	16,1	16,6	15,6 „

Der Bruch trat unter $P = 28\ 000$ kg ein.

Unter der Annahme, daß die Bruchlast sich gleichmäßig auf die 12 Dübel verteilt, entfallen auf einen Dübel $\frac{28\ 000}{12} = \text{rd. } 2330$ kg.

Unter der Annahme starrer Einspannung der Dübel würden sich die Kantenpressungen errechnen zu

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} = \frac{2330}{4,25 \cdot 2,5} \pm \frac{2330 \cdot 1,25}{4,25 \cdot 2,5^2}$$

$$\sigma_1 = + 878, \quad \sigma_2 = - 438 \text{ kg/cm}^2.$$

Dem Belastungszustand, wo die Druckfestigkeit des Forchenholzes mit 260 kg/qcm überschritten wird, entspricht ein $P_d = \frac{2330}{878} \cdot 260 = \text{rd. } 700$ kg für einen Dübel

oder eine Gesamtlast $P = 12 \cdot 700 = 8400$ kg.

Daß zwischen den Belastungen 8000 und 10000 der elastische Bereich tatsächlich verlassen wurde, geht aus

der Kurve der Verschiebungen (Abbildung 22) deutlich hervor.

In Wirklichkeit sind die Dübel elastisch nachgiebig im Holz eingebettet. Sobald die Druckfestigkeit des Holzes in den Dübelkanten überschritten wird, tritt ein Einfressen der Dübel im Holz und damit ein Kippen ein. Die auf den einzelnen Dübel angreifenden äußeren Kräfte sind aus Abbildung 12 zu ersehen. Dem Kippmoment $T_1 \cdot t_1$ wirken die Momente aus den Kräften T_2 , S_1 und S_2 entgegen. Sind noch Schrauben vorhanden, so suchen die Dübel beim Kippen die Schrauben zu verbiegen und der Widerstand S_1 wird vergrößert.

Es gilt die Gleichgewichts-Bedingung:

$$T_1 \cdot t_1 = T_2 \cdot t_2 + S_1 \cdot s_1 = S_2 \cdot s_2.$$

Die Schrauben nehmen in achsialer Richtung die Kräfte T_2 auf und werden durch die Kräfte S auf Biegung und Scherung beansprucht. Die unter den hohen Belastungen eintretenden Formänderungen sind in Abbildung 23 veranschaulicht. (Versuchskörper aus Sperrholz, der an der Einspannstelle gebrochen ist.)

Bei gleichmäßiger Lastverteilung kann ein Dübel aufnehmen:

$$T = 2,5 \cdot \frac{4,5 + 4,0}{2} \cdot 250 = 2656 \text{ kg.}$$

Da die Bruchbelastung auf einen Dübel im Mittel 2330 kg ergab, so folgt, daß beim Versuchskörper der Bruch durch Spaltung und durch ungleichmäßige Lastverteilung eingetreten ist. Der Bruch wurde tatsächlich auch eingeleitet durch einen klaffenden Stirnriß (Spaltung) im Mittelstück; durch die äußeren Dübel durchgesteckte Schrauben scherten dann mitsamt den Dübeln aus. Die Scherbeanspruchung im Bruchstadium ergibt sich für einen Dübel:

$$\tau (2 \cdot 2,5 \cdot 13 + 4,0 \cdot 11) = 2330$$

$$\tau = \text{rd. } 21 \text{ kg/cm}^2$$

und wenn die Schrauben mitgerechnet werden:

$$\tau (2 \cdot 2,5 \cdot 13 + (4,0 - 1,3) 11 + 2 \cdot 1,5 \cdot 13) = 2330 \text{ kg}$$

$$\tau = \text{rd. } 17 \text{ kg/cm}^2.$$

Da die Scherfestigkeit höher angenommen werden darf, so ist das Ausscheren wieder nur dadurch zu erklären, daß die äußeren Dübel mit den Schrauben einen größeren Lastenteil auf sich genommen und Längs- und Spaltrisse im Holz das Ausscheren begünstigt haben. Das Aufspalten ist bei Schrauben- und Runddübeln besonders gefährlich und tritt leicht ein bei längsrissigem Holz. Die Spaltvorgänge sind rechnermäßig nicht erfaßbar.

Um die Grenzbeanspruchungen durch Normalkräfte und Biegung in den Seitenlaschen zu ermitteln, berechnen wir die von einem Dübel ausgeübte Querkraft näherungsweise aus:

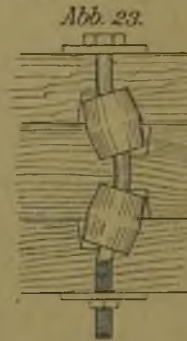
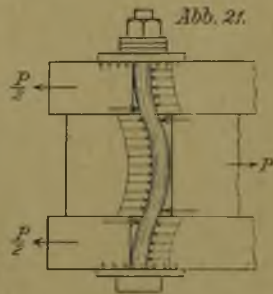
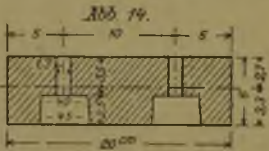
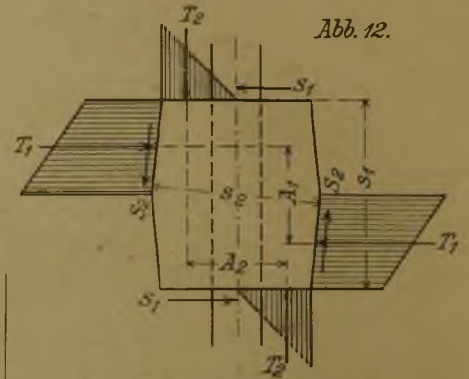
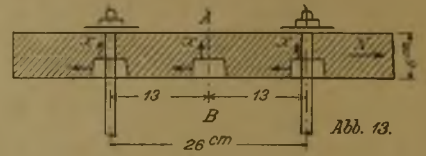
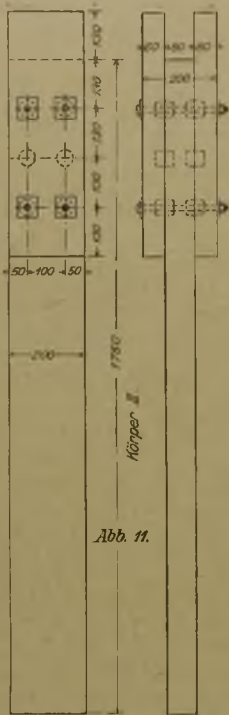
$$X \cdot \frac{2}{3} \cdot 4,5 = 2330 \cdot 2,5$$

$$X = 1940 \text{ kg.}$$

Für den gefährlichen Querschnitt bei den mittleren Dübeln ergibt sich unter Berücksichtigung teilweiser Einspannung:

Biegemoment durch die Querkraft X

$$M = 1940 \cdot 13 \cdot \frac{2}{3} = 16\ 800 \text{ cmkg.}$$



$F = 6 \cdot 20 = 120 \text{ qcm}$
 $\Delta F = 2 \cdot 4,25 \cdot 2,5 + 2 \cdot 1,3 \cdot 3,5 = 30,4$
 $F_n = 89,6 \text{ qcm}$
 $e = 3,3 \text{ cm}$
 $J = 280 \text{ cm}^4$

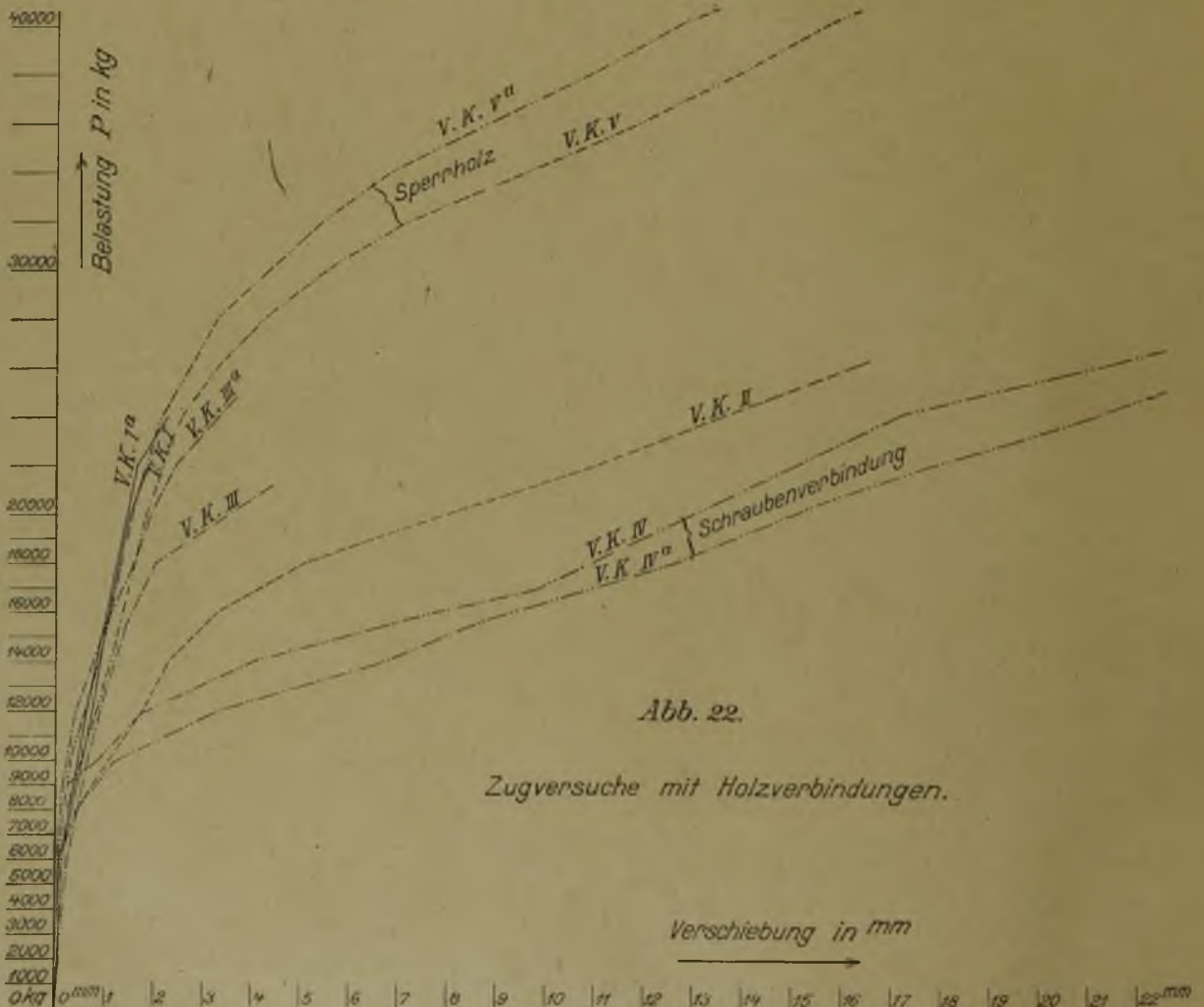
$W_{n1} = \frac{280}{3,3} = 85 \text{ cm}^3$

$W_{n2} = \frac{280}{2,7} = 104 \text{ cm}^3$

$\sigma_1 = \frac{M}{W_{n1}} = \frac{16800}{85} = \text{rd. } 200 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_2 = \frac{M}{W_{n2}} = \frac{16800}{104} = \text{rd. } 160 \text{ kg/cm}^2$

Die Achsialkraft



$P = 14000 - 4 \cdot 2330 = 4680 \text{ kg}$
 erzeugt: $\sigma = \frac{4680}{89,6} = 50 \text{ kg/cm}^2$,
 durch die Exzentrizität



Abbildung 16. Körper III am Schluß des Versuches.



Abbildung 16a. Körper III nach Abnahme eines Laschenholzes.

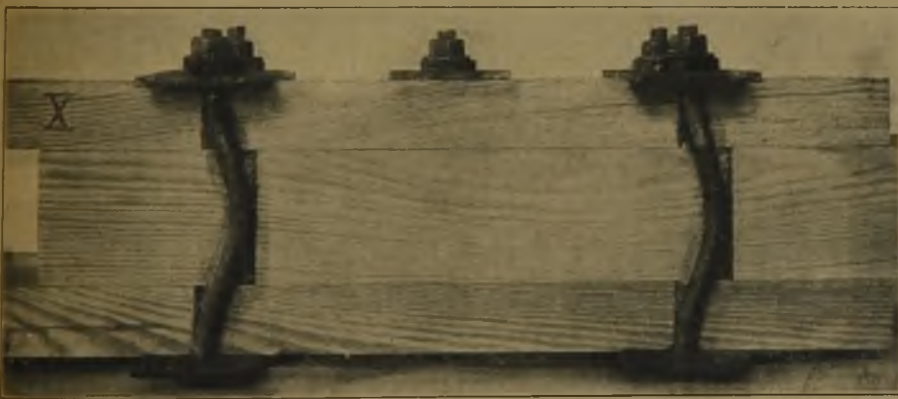


Abbildung 19. Körper IV nach dem Freilegen von 2 Schrauben.



Abbildung 20. Körper IV am Schluß des Versuches.

$$\sigma_1 = \frac{4680 \cdot 0,3}{85} = 17 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{4680 \cdot 0,3}{104} = 14 \text{ kg/cm}^2$$

und es ergeben sich die Grenzwerte

außen $\sigma_{\max} = -12,4 \text{ kg/cm}^2$ Zug
 innen $\sigma_{\max} = +267 \text{ kg/cm}^2$ Druck.

Durch die Querkräfte X werden die Schrauben achsial beansprucht.

Auf eine Schraube kommen

$$S = 1,5 \cdot 1940 = 2910 \text{ kg},$$

was einer Zugspannung von

$$\sigma = \frac{2910}{0,784} = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

entspricht.

Die Flächenpressung durch die Unterlagsplatte beträgt

$$\sigma_q = \frac{2910}{7,7} = \text{rd. } 60 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Querfestigkeit des Holzes ist überschritten. (Durch die Reibung zwischen Schraube und Holz wird die Spannung vermindert.) Am Versuchskörper ist auch ein Eindringen der Unterlagsscheibe zu beobachten. Bei der Schraube kommt zu den Achsialkräften noch die Biegung hinzu, womit die Spannungen über die Streckgrenze hinausgehen. Daß dies tatsächlich der Fall war, wird durch die erheblichen bleibenden Formänderungen bewiesen.

III. Zugverbindung mit \wedge gebogenen Flacheisen, Dübeln und Schrauben (Abbildung 15).

Hauptabmessungen der Versuchskörper wie bei I. Mittelstück 8/20, Seitenstück 4/20, 5 Schrauben Durchm. 13mm, Unterlagsscheiben 7/7/0,6. Durch die Anordnung des \wedge gebogenen Flacheisens statt der breiten Eichenholzdübel wird die Verbindung kürzer. Die Winkelform soll das Kippen der Flacheisen erschweren, sie ersetzt die fehlende Breite. Vor dem Kippen muß der Widerstand in der steifen Ecke überwunden werden.

Die Messungsergebnisse sind aus folgender Tabelle zu entnehmen:

Körper III.				
Prüfungstag: 17. Dezember 1920.				
Belastungen in kg	a	b	c	d
3 000	0	0	0	0 mm
6 000	0	0	0	0 "
9 000	0,1	0,1	0,2	0,1 "
12 000	0,4	0,4	0,6	0,3 "
15 500	1,3	0,9	1,1	0,8 "
500	0,8	0,8	0,8	0,6 "
15 500	1,3	1,1	1,2	0,8 "
18 000	1,9	1,4	1,6	1,1 "
20 000	2,5	1,8	2,1	1,4 "
22 000	3,3	2,2	2,6	1,9 "
24 000	4,4	2,8	3,6	2,5 "

Die Höchstlast ist zu $P = 25900 \text{ kg}$ ermittelt worden.

Prismendruckfestigkeit parallel zur Faser 290 kg/cm^2

Würfelfestigkeit " " " " 300 "

Druckfestigkeit senkrecht " " " " 29 "

Der Bruch trat bei 25900 kg durch Spaltung und Scherung am Mittelstück ein (Abbildung 16 und 16a). Beim Parallelversuch erfolgte ein vorzeitiger Bruch wegen eines starken Astes im Mittelstück.

Rechnet man die ganze Bruchlast auf die 4 Dübel gleichmäßig verteilt, so ergibt sich eine Scherbeanspruchung von

$$\tau_t = \frac{25900}{4 \cdot 20 \cdot 1,5 \cdot 13} = 16,6 \text{ kg/cm}^2$$

und ein Lochwanddruck von

$$\sigma_{t_2} = \frac{25900}{4 \cdot 20 \cdot 1,5} = 216 \text{ kg/cm}^2.$$

Der Wert τ_t liegt erheblich unter der Scherfestigkeit und σ_{t_2} unter der Würfelfestigkeit des Forchenholzes. Der Bruch mußte durch ungleichmäßige Kräfteverteilung erfolgen. Der vordere Dübel hatte zweifellos einen größe-

ren Lastanteil zu tragen. Bemerkenswert ist das Verhalten der gebogenen Flacheisendübel. Die Abbiegung hat, wie der Versuch lehrt, das Kippen teilweise verhindert. Beim Auseinandernehmen des Versuchskörpers zeigte sich, daß die Eiseneinlagen sich parallel verschoben haben. Die Formänderung der Flacheisen ist in Abbildung 17 dargestellt; die steife Ecke hat hiernach ungenügenden Widerstand gegen Verdrehen geleistet. Die Verdrehung der Flacheisendübel an den Enden hat eine ungleichmäßige Lastverteilung in der Breitenrichtung hervorgerufen; die scharfen Kanten haben das Holz aufgerissen (r und r' in Bild 16) und damit die Zerstörung eingeleitet. Die Flacheisen waren nicht stark genug (besser 20 mm statt 10). Man erkennt weiterhin in Abbildung 16 Spalt- risse, die von den Schrauben ausgehen, namentlich am Mittelstück; sie zeigen, daß die Schrauben an der Lastübertragung unmittelbar beteiligt waren.

IV. Zugverbindung mit Schrauben ohne Dübel (Abbildung 18).

Zum Vergleich wurde ein Versuchskörper mit gleichen Holzabmessungen geprüft, bei dem die Verbindung aus 5 Schrauben Durchm. 13 mm in gleicher Anordnung wie bei den Versuchskörpern I und III bestand. Die Schrauben mit breiten Unterlagsplatten 7/7 cm und Federringen unter den Muttern wurden vor der Belastung fest angezogen. Die Messungen bei den verschiedenen Belastungsstufen sind in folgenden Tabellen zusammengestellt:

Körper IV.
Prüfungstag: 17. Dezember 1920.

Belastungen in kg	Änderungen bei			
	a	b	c	d
3 000	0	0	0	0 mm
6 000	0	0	0	0 "
Unter $P=7900$ kg trat eine plötzliche Verschiebung ein.				
8 000	0,7	0,6	0,5	0,2 mm
10 000	1,4	1,4	1,3	0,9 "
12 000	3,7	3,6	3,4	2,9 "
14 000	7,0	7,0	6,8	6,1 "
15 500	9,2	9,0	8,7	8,0 "
500	8,8	9,0	8,2	8,0 "
15 500	9,5	9,4	9,1	8,4 "
18 000	13,2	13,0	12,8	11,8 "
20 000	15,7	15,6	15,0	14,3 "
22 000	18,4	18,2	17,9	17,4 "
Die Unterlagscheiben der Schrauben pressen sich erheblich ein.				
24 000	21,9	21,8	21,4	20,4 mm
26 000	24,7	24,4	24,1	22,8 "
28 000	28,8	28,5	28,1	26,8 "

Unter $P=29900$ kg erfolgte die Zerstörung.

Prismendruckfestigkeit parallel zur Faser 290 kg/cm²
 Würfelfestigkeit " " " 300 "
 Druckfestigkeit senkrecht zur Faser " " " 29 "

Bei Versuchskörper IV a trat der Bruch nicht in der Verbindung, sondern an der Einspannstelle ein, nachdem die Last von 27000 kg 3 Minuten gewirkt hatte. Der Zustand der Verbindungsschrauben nach diesem Belastungszustand ist aus der Abbildung 19 zu ersehen.

Bemerkenswert bei dem Versuch sind zunächst die großen Verschiebungen. In Abbildung 22 sind die zu den verschiedenen Belastungsstufen gehörigen Verschiebungen für die Schraubenverbindung, die Hartholz-Dübel- und die gebogene Flacheisen-Dübelverbindung aufgetragen. Die Verschiebungen für die Gebrauchsbelastung der Holzkonstruktion $P=10000$ kg sind bei der reinen Schraubenverbindung fast doppelt so groß wie bei der Dübelschraubenverbindung. Man erkennt weiterhin, daß mit der Zunahme der Verschiebung die Schrauben den Versuchskörper zusammenpressen. Die Reibung zwischen den Hölzern nimmt damit zu und gleichzeitig auch die Tragfähigkeit. Die hohe Bruchlast ist wesentlich darauf zurück zu führen, daß die Schrauben auf axialen Zug voll zur Wirkung gelangten. Sind die Schrauben nicht angezogen, so fällt die Reibung zwischen den Hölzern fort. In den Berührungsflächen der Hölzer kommt dann nur der Scherquerschnitt der Schrauben zur Wirkung. Die Schrauben fressen sich in das Holz ein und es tritt der Bruch viel früher ein.

Bei der Nachrechnung der Schraubenverbindung können wir davon ausgehen, daß in den Berührungsflächen der Hölzer die Kraft durch Reibung übertragen wird. Sobald der Reibungswiderstand erschöpft ist, treten ruckartige Verschiebungen auf. Die Schrauben haben sich beim Versuch soweit verbogen und eingefressen, bis mit der Anspannung die Reibung wieder erreichte, um die Last in den Berührungsflächen zu übertragen.

Für die niedrigen Belastungsstufen tritt in den Schrauben eine ungleichmäßige Lastverteilung ein, die rechnermäßig ziemlich einwandfrei verfolgt werden kann. Bei 8000 kg ergeben die größten Lochwanddrücke unter der Annahme, daß die 5 Schrauben gleichmäßig an der Lastaufnahme beteiligt sind:

$$\begin{aligned} \text{Im Seitenstück } \sigma &= \frac{P}{a \cdot d} (1 \pm 3) \\ &= \frac{4000}{5 \cdot 4 \cdot 1,3} (1 \pm 3) \\ &= +615 \text{ kg/cm}^2 \quad -307 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

im Mittelstück, wo der Bolzen noch das Moment aufnehmen kann:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{4000}{5 \cdot 4 \cdot 1,3} \pm \frac{4000 \cdot 4}{5 \cdot 2} - \pi \frac{1,3^3}{32} 3500 \\ &= +154 \pm 246 = +400 \text{ kg/cm}^2 \quad -92 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

Die Druckfestigkeit parallel zur Faser ist also am Seitenstück überschritten und damit das Einfressen und die ruckartige Verschiebung erklärt. Schon unterhalb des Gebrauchsstadiums treten hiernach für die Baupraxis unzulässige Verschiebungen auf. Bei den hohen Belastungsstufen ist das Einfressen der Schrauben schon weit fortgeschritten, wie das Bild 19 deutlich zeigt. Hier tritt nun eine ziemlich gleichmäßige Lastverteilung auf die ganze Bolzenlänge ein (Abbildung 21).

Unter der Bruchbelastung von 29000 kg würde sich unter der Annahme gleichmäßiger Lastverteilung ein Lochwanddruck von

$$\sigma = \frac{29000}{5 \cdot 1,3 \cdot 8} = 558 \text{ kg/cm}^2$$

ergeben, wenn die Schrauben allein die ganzen Lasten übertragen müßten. Da die Druckfestigkeit des Holzes zu 300 kg/cm² ermittelt wurde, so kann eine Schraube nur

$$P_s = 1,3 \cdot 8 \cdot 300 = 3120 \text{ kg}$$

aufnehmen. Auf die 5 Schrauben kommen sonach

$$5 \cdot 3120 = 15600 \text{ kg.}$$

Wenn auch der Lochwanddruck etwas höher als 300 kg/cm² angenommen werden darf, so sind doch erhebliche Kräfte anderweitig als Scherkräfte zu übertragen. Durch die starke Zusammenpressung der Hölzer wirken die Berührungsflächen wie Leimfugen. Die Tragfähigkeit wird vermindert, sobald durch Querschwinden des Holzes ein Nachlassen der Reibung in den Berührungsflächen eintritt. Die Formänderungen der Schrauben zeigen, daß die Streckgrenze des Materiales erreicht ist. Wenn der Bruch der Schrauben nicht eingetreten ist, so rührt das daher, daß das Holz eher nachgegeben hat und in sich einen entsprechenden Anteil der Kräfte überträgt.

Die Verbindung erscheint, trotz nahezu 3facher Sicherheit gegenüber einer Gebrauchsbelastung von 10 t, für die Baupraxis schon deshalb nicht geeignet, weil schon unter der Gebrauchslast starke Verschiebungen eintreten können. Die hohe Bruchlast bei den Versuchen ist erreicht worden, weil die Schrauben stark angezogen waren. Bei ungenügend angezogenen Schrauben findet ein starkes Einfressen der Schrauben in das Holz statt. Durch Schwinden der Hölzer erleidet die Verbindung erhebliche Einbuße an Tragfähigkeit. Mit der Uebertragung der Lasten durch Reibung in den Berührungsflächen der Hölzer kann in der Praxis nicht mit Sicherheit gerechnet werden. — (Schluß folgt.)

Inhalt: Versuche über Bauholz-Verbindungen. (Fortsetzung.)—

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