

VERSUCHSANSTALT FÜR HOLZ, STEIN UND EISEN

PRÜFRAUM GABER · TECHNISCHE HOCHSCHULE KARLSRUHE

HEFT 6



Hölzerne Straßenbrücke 1. Klasse von 32 m Länge mit zweispuriger unten liegender
Fahrbahn im Bauhof der Versuchsanstalt für Holz, Stein und Eisen

EINIGES ÜBER DEN HOCHWERTIGEN HOLZBAU

VON

E. GABER

Karlsruhe 1940

Einiges über den hochwertigen Holzbau

Mitteilungen aus der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen, Technische Hochschule Karlsruhe

von Professor Dr.-Ing. E. G a b e r.

Vorwort.

In dem Mitteilungsheft 3 der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen (Präfraum Gaber) wurde über die grundlegenden Versuche berichtet, die wir seit über einem Jahrzehnt über das Verhalten von Nägeln bei statischer und dynamischer Belastung ausgeführt haben. Über Untersuchung der anderen einfachen Verbindungsmittel — Leim und Einpreßdübel — wurde im Laufe des letzten Jahrzehntes einiges in den Fachzeitschriften veröffentlicht. All diese Arbeiten zusammen mit den Versuchen am Bauholz — Fichte und Tanne — mit seinen unvermeidlichen Fehlern — Äste, Schrägfasern u. dgl. — sollten Grundlagen liefern zur Entwicklung eines hochwertigen Holzbaues, der bei dem immer knapper werdenden Stahl diesem einen Teil seiner Aufgaben abnehmen kann. Wir gingen vorsichtig zu Werke, prüften alles durch Versuche nach und beobachteten nicht nur das Verhalten von Einzelteilen, sondern auch von ganzen Tragwerken und Brücken unter statischer und dynamischer Belastung bis zum Bruch. — Das letzte Urteil fällt immer die Natur.

Allmählich trat die Forderung gebieterisch in den Vordergrund, den Verbrauch an Holz und Stahl im Bauwesen auf das Menschenmögliche einzuschränken und dabei lieber mehr geistige und körperliche Arbeit aufzuwenden, als immer nach dem Kostenminimum zu streben. Diesem Ziel kann man im Holzbau nur dann näher kommen, wenn man viele altüberlieferte Handwerksregeln fallen läßt und auch im Holzbau sich den Konstruktionsgrundsätzen zuwendet, die der deutsche Stahlbau mit so großem Erfolg in diesem Jahrhundert entwickelt hat.

Aus den folgenden Ausführungen soll nun hervorgehen, wie wir auf der sicheren Grundlage der Naturbeobachtung einen hochwertigen Holzbau zu entwickeln versuchen, der auf das natürliche Holz all die Erfahrungen sinngemäß überträgt, die im Stahlbau — sei es durch die Konstruktion, sei es durch Versuche von uns und anderen — gesammelt wurden. Den schönsten Lohn für die mühevolle Arbeit langer Jahre erblicken wir darin, daß unserer Wehrmacht heute damit die Lösung mancher Aufgaben erleichtert und manche Tonne Stahl für die Herstellung von Schiffen, Waffen und Munition frei gemacht wird.

Der hochwertige Holzbau wird auch für das bürgerliche Bauwesen seine Bedeutung haben, denn man wird nach Beendigung dieses Krieges erst recht sparsam mit dem heimischen Nadelholz umgehen müssen. Im deutschen Wald wächst alljährlich nur eine begrenzte Menge Holz. Unter dem Zwang der Zeiten haben wir in den letzten Jahren erheblich mehr als den natürlichen Zuwachs geschlagen. Dieser Vorgriff auf die Zukunft muß durch gesteigerte Sparsamkeit im Verbrauch und vor allem in der Konstruktion wieder ausgeglichen werden. Viele Wege führen nach Rom. Wir haben davon einen beschritten und glauben, daß es sich lohnt, auf ihm weiterzugehen.

Einleitung.

Der hochwertige Holzbau, der aus unserer heutigen Lage erwachsen ist, schränkt den Verbrauch an Holz und Stahl auf das äußerste ein.

Die Ersparnis an Holz wird auf drei Wegen erreicht:

Zunächst erhalten die einzelnen Tragteile keine dickeren Hölzer, als es die genaue Festigkeitsberechnung unbedingt verlangt. Die Festigkeit unserer Nadelhölzer wird in den durch die Dinormen 1052 und 1074 festgelegten Grenzen voll ausgenützt.

Sodann wird für alle die Tragteile, deren besondere Aufgabe es zuläßt, weniger gutes Bauholz verwendet, das mehr fehlerfreie Holz hingegen für die hochbeanspruchten, vor allen Dingen für die gezogenen Bauglieder aufgehoben. Man wird auch die Einteilung des Bauholzes in drei Güteklassen nach der Dinorm 4074 ausnützen.

Schließlich wird man solche Konstruktionen bevorzugen, zu denen nicht dicke, lange Balken notwendig werden, sondern die aus Brettern und Bohlen, vielleicht sogar unter Mitverwendung von Schwarten, zusammengesetzt werden. Wenn auch durch das Aufsteilen der Stämme in Bretter und Bohlen im Sägewerk mehr Holz verloren geht als bei den Balken, und wenn auch die Festigkeit des Holzes selbst durch das Zerschneiden vieler Holzfasern bei den Brettern und Bohlen etwas leidet, so überwiegt doch der große Vorteil, daß man dann auch aus schwachen Stämmen seine Bauhölzer gewinnen kann, und daß man die Träger sowohl in ihrer Länge als auch in ihren Querschnitten (ähnlich wie beim Stahlbau) den wirklichen Beanspru-

chungen anpassen kann. Auf diese Weise ist viel Holz einzusparen, wie am Beispiel der Hohlbalken und I-Träger hier noch bewiesen wird.

Die Ersparnis an Stahl verlangt zunächst ein weitgehendes Abgehen von den Bolzen. Soweit irgend möglich, werden sie nur noch dort verwendet, wo sie als Klemmbolzen den Zusammenhalt auch beim Schwinden des Holzes sichern müssen. An Stelle der Tragbolzen treten andere Verbindungsmittel, bei denen leicht bis zu 50 % an Stahl gespart werden kann:

Nägel, Einpreßdübel oder Leim.

Durch das Auflösen der dicken Bolzenschäfte in dünne Nagelschäfte wird die Berührungsfläche zwischen Stahl und Holz, auf der die Kräfte übergehen müssen, rasch und billig vergrößert. Da der Druck in diesen Leibungsflächen, der sog. Leibungsdruck, hier wie dort in der gleichen Höhe zugelassen werden kann, wird in dem Maße Stahl erspart, als die Leibungsfläche wächst. Ein weiterer Gewinn liegt aber auch in der Erhöhung der Steifigkeit, da der Biege widerstand weit auseinander liegender dünner Nagelschäfte wesentlich größer ist als der eines zusammengefaßten Bolzens.

Dort, wo die Nägel für große Kräfte nicht mehr ausreichen, springt der Einpreßdübel ein. Das Krallenband mit seinen aus 1,5 mm dickem Blech herausgestanzten Boenzähnen erabt eine große Berührungsfläche zwischen Holz und Stahl und nützt dazu noch die ganzen Berührungsflächen der Hölzer, die miteinander verbunden werden sollen, restlos aus. Dieser Einpreßdübel spart also nicht nur Stahl, sondern durch Begrenzung der Anschlußfläche auch noch Holz.

Zulässige Belastung auf Grund von Versuchen.

Die zulässige Belastung von Verbindungsmitteln ist abhängig

1. von ihrer Tragkraft,
2. von ihrer Steifigkeit.

Die Tragkraft wird durch den bis zur Zerstörung durchgeführten statischen Versuch gefunden. Man wird sich für den Hochbau mit einer dreifachen Sicherheit begnügen können, für den Brückenbau aber mit einer 2- bis 1,5fachen Sicherheit begnügen müssen.

Die Steifigkeit ist nach wiederholter Belastung bei gleichzeitiger Verwendung zahlreicher Verbindungsmittel meist größer als bei der erstmaligen Last. Es reicht nach unseren Erfahrungen hin, die Verbindung etwa 12mal statisch in Höhe der geschätzten Gebrauchslast vorzubelasten, da sie bei der 13. Belastung ihr endgültiges Verhalten zeigt. Man kann nun die zulässige Belastung dadurch festlegen, daß bei dieser 13. Belastung die Gesamtverschiebung während dieses Versuches unter 1 mm bleiben muß.

Für den dynamisch beanspruchten Brückenbau gilt noch die zweite Forderung, daß die Gebrauchslast genügende Sicherheit gegen die „Fließ- oder Quetschgrenze“ bieten muß. Man wird sich hier mit einer $5/4$ fachen Sicherheit begnügen dürfen.

Will man ganz vorsichtig vorgehen, so prüft man die Verbindung an Nadelholz, das zusammengebaut wurde im Zustand der Fasersättigung und nachher drei Wochen lang im regengeschützten Raum lag.

1. Nägel.

Zu Nagelverbindungen verwendet man handelsübliche runde Drahtstifte mit geriffeltem Senfkopf, wie sie in der nachfolgenden Liste 1 enthalten sind. Die in der DIN 1151 enthaltenen Nägel sind nicht alle im Handel erhältlich.

Nagelliste DIN 1151/1154.

Liste 1

Nageldurchmesser	11	12	13	14	16	17	18	20	$1/10$ mm
Schaftlängen	20	15 17 20 25	20 25	25 30	25 30	30 35	30 35	40 45	mm mm mm mm
$N_1 =$	4,8	5,8	6,8	8	10	11,5	13	16	kg
$N_2 =$	9,6	11,5	13,6	16	20	23	26	32	kg

Nageldurchmesser	22	25	28	31	34	38	42	46	$1/10$ mm
Schaftlängen	45 50 55	50 55 60	60 65 70	65 70 80	80 90	90 100	100 110 120	100 120 130 140	mm mm mm mm
$N_1 =$	19	25	31	38	46	58	71	85	kg
$N_2 =$	38	50	62	76	92	116	142	170	kg

Nageldurchmesser	50	55	60	70	76	88			$1/10$ mm
Schaftlängen	150 160 180	150 160 180	160 180	180 210 230 260	210 230 260	260			mm mm mm mm
$N_1 =$	100	121	144	196	232	310			kg
$N_2 =$	200	242	288	392	464	620			kg

zulässige Belastung des einschn. Nagels $N_1 = 400 d^2$ kg für d in cm
 „ „ „ zweischn. „ $N_2 = 800 d^2$ „ „ „ „

Der kreisrunde geriffelte Nagelkopf hat einen Durchmesser gleich $2\frac{1}{2}$ mal der Schaftdicke d .

Ein zweischnittiger Nagel ersetzt mindestens zwei einschnittige. Zweischnittige Nägel schonen somit das Holz durch Halbierung der Nagelzahl.

Wenn möglich, läßt man den Nagelschaft um $3d$ überstehen und schlägt die Spitze scharf quer zur Holzfasern um. Dann hat der Nagel in beiden Richtungen fast gleich großen Auszieh Widerstand und eine größere Tragkraft.

Der Nageldurchmesser d richtet sich nach der mittleren Dicke δ der miteinander zu verbindenden Bretter und Bohlen.

$$d = \frac{\delta}{8} \text{ bis } \frac{\delta}{12}$$

Man bevorzuge im allgemeinen den dickeren Nagel und nehme ihn so groß, als es die Spaltgefahr des Holzes noch zuläßt. Feuchtes Holz oder Holz mit weiten Jahresringen verträgt dickere Nägel, während trockenes Holz oder enge Jahresringe dünnere Nägel verlangen.

Das Nagelbild wird festgelegt durch sich kreuzende Rißlinien. Die Nägel müssen sorgfältig abwechselnd rechts und links der einen Linienschar, sowie ober- und unterhalb der anderen Schar von Linien eingeschlagen werden, um das Holzspalten zu vermeiden (Abb. 1).

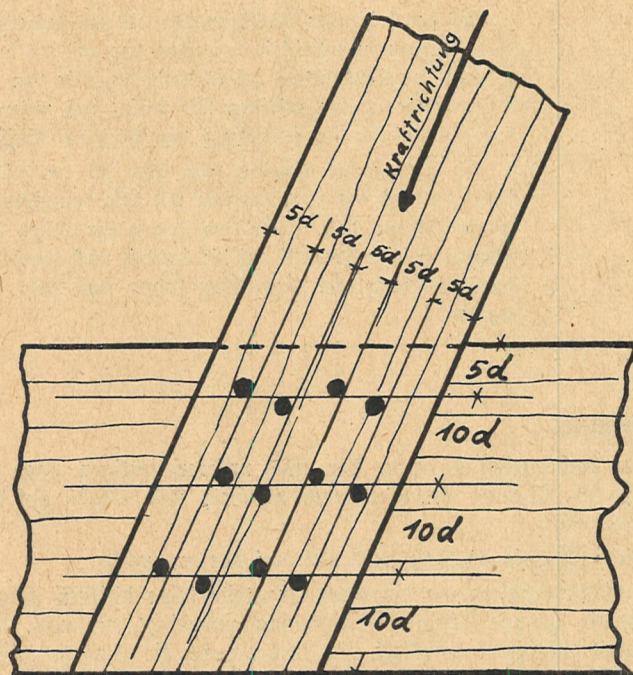


Abb. 1. Die Regel für das Nagelbild.

Die Spaltgefahr wird durch den Wassergehalt der Bretter und Bohlen verringert. Der kritische Leibungsdruck ist aber in nassen Brettern kleiner als in trockenen, so daß Tragwerke mit nassem Holz weicher und nachgiebiger sind. Die Steifigkeit nimmt mit dem Austrocknen des Tragwerkes stetig zu. Regen oder Luftfeuchtigkeit beeinflussen die Steifigkeit aber wenig.

Vor dem Einschlagen dieser Nägel heftet man die Bretter und Bohlen mit Vorteil durch dünne Nägel längs der Fugen preß zusammen, um die Spaltgefahr zu mindern.

Der kritische Leibungsdruck eines Nagels ist beim Nadelholz etwa 80 % der Holzdruckfestigkeit.

Der größte zulässige Leibungsdruck beim Nagel ist $\sigma_l = 80 \text{ kg/cm}^2$ beim Nadelholz. Die Verschiebung der vernagelten Hölzer gegen-

einander beträgt dann weniger als das zulässige Maß von 1,5 mm, die Sicherheit gegen „Bruch“ mehr als 3 bei statischer Belastung und etwa 2 bei dynamischer Belastung.

Ideale Schlankheit des Nagels ist $\frac{\delta}{d} = 10$ bei der Holzdicke δ des Mittelholzes.

Beim zweischnittigen Nagel ist die Fläche der Lochleibung im Mittelholz: $F = d \times \delta = 10 \text{ d}^2 \text{ cm}^2$.

Bei zul. Leibungsdruck $\sigma_l = 80 \text{ kg/cm}^2$ wird die zul. Belastung des zweischnittigen Nagels

$$N_2 = F \times 80 = 10 \text{ d}^2 \times 80 = 800 \text{ d}^2 \text{ kg für } d \text{ in cm.}$$

Der einschnittige Nagel hat die Hälfte:

$$N_1 = 400 \text{ d}^2.$$

Bei zunehmender Schlankheit der Nägel sinkt ihr kritischer Leibungsdruck — die Quetschgrenze σ_Q — langsam ab.

Proportionalität zwischen Belastung eines Nagelbildes und der Verschiebung der vernagelten Hölzer besteht bis $\sigma_l = 100 \text{ kg/cm}^2$ beim Nadelholz.

Die Tragkraft von Nägeln wird bei statischer Belastung dadurch erschöpft, daß

entweder der Nagelschaft im Mittelholz den kritischen Leibungsdruck σ_Q überschreitet und sich ins Holz frisst,

oder Nagelkopf und Nagelspitze in ihre Hölzer hineingezogen werden.

Beide Male hat das Tragwerk eine „Fließgrenze“ und wird meist nicht durch einen Bruch der Nägel zerstört. Es gibt selten eine Bruchlast.

Die Tragkraft von Nägeln wird bei dynamischer Belastung gelegentlich durch Dauerbruch des Nagelschaftes begrenzt.

Aber bei dynamischen Versuchen mit genagelten Tragwerken aus Nadelholz, die mit $\sigma_l = 80 \text{ kg/cm}^2$ entworfen sind, brechen nicht die Nägel, sondern irgendein gezogener Holzteil dort, wo er einen Fehler (z. B. Ast oder Schrägfaser) hatte. Die Tragkraft wird praktisch also durch die Zerreißfestigkeit des Holzes festgelegt.

Die Tragkraft einer Nagelverbindung wächst praktisch proportional der Nagelzahl.

Verwendung von Leim zusammen mit Nägeln erhöht nicht die Tragkraft. Erst wenn die Leimfugen zerstört sind, treten die Nägel in Tätigkeit. Die Nägel haben dann zunächst nur eine Klemmwirkung. Ihre Tragkraft addiert sich nicht zu der des Leimes.

Bei einer langen, auseinandergezogenen Nagelreihe verteilt sich die Last aber nicht mehr gleichmäßig. Die Nägel am Anfang und Ende der Reihe werden mehr beansprucht als die Zwischennägel.

Bei mehr als

10 Nägeln in einer Reihe verringert sich die zul. Belastung nach DIN 1052 um 10 % —,

20 Nägeln in einer Reihe verringert sich die zul. Belastung nach DIN 1052 um 20 % —.

Der Mindestabstand der Nägel in Kraft- und Faserrichtung berechnet sich aus der zulässigen Scherspannung hier $\tau = 9 \text{ kg/cm}^2$.

$$t' \times 10 \text{ d} \times 9 = 800 \text{ d}^2 \text{ zweischn. Nagel,}$$

$$t' = 9 \text{ d oder } t = 10 \text{ d zweischn. Nagel}$$

Der Nagelabstand muß nach DIN 1052 mindestens sein (Abb. 1):

parallel der Kraft:	10 × d vom belasteten Rand
	10 × d untereinander
	5 × d vom unbelasteten Rand
senkrecht zur Kraft:	5 × d vom Rand
	5 × d untereinander.

Einschnittige Nägel können unter Umständen enger sitzen. Eine Vergrößerung des Randabstandes in Kraftrichtung ist zwecklos, da der Bruch durch die Spaltwirkung des Nagelschaftes erfolgt.

Jede Nagelverbindung ist bei der 1. Belastung in zugelassener Höhe weicher als bei wiederholter Belastung. Eine 10malige Lastwiederholung bringt aber die endgültige Steifigkeit.

Auf 1 cm² Holzfläche kann man erfahrungsgemäß eine zulässige Kraft überleiten

$$\text{durch einschnittige Nägel } n_1 = 3 - 6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{durch zweischnittige Nägel } n_2 = 6 - 12 \text{ kg/cm}^2$$

Die eingeschlagenen Nägel drängen die Holzfasern nur zur Seite und verschwächen daher praktisch den tragenden Holzquerschnitt nicht.

Bretter und Bohlen können untereinander oder mit Ranthölzern und Balken vernagelt werden. Ranthölzer allein eignen sich dafür nicht.

Auch bei genagelten Holztragwerken ordnet man an einigen Stellen Klemmbolzen oder Holzschrauben an, die gelegentlich nachgezogen werden. Sie werden in die zulässige Belastung eingerechnet. Sie nützen auch beim Transport und Zusammenbau der Holztragwerke.

Dynamisch beanspruchte Nagelverbindungen vergrößern weder ihre federnden noch ihre gesamten Formänderungen in unzulässiger Weise. Die kurz auf 3 d umgeschlagenen Nagelenden strecken sich dabei nicht gerade.

Man kann wohl nasses Holz unbedenklich verarbeiten und zum Tragwerk zusammenfügen. Es empfiehlt sich aber, dem Tragwerk seine größten Belastungen erst nach einigem Austrocknen zuzumuten, da sonst seine Formänderungen groß sind.

Durch das Austrocknen und Schwinden des Nadelholzes geht die durch die Klemmwirkung der Nägel erzeugte Reibung verloren. Es beeinträchtigt insofern etwas die Steifigkeit, aber nicht die Tragkraft.

Die Länge des einschnittigen Nagels soll bei mehreren Lagen etwa das 2½fache der größten Holzdicke δ sein.

Haben die miteinander verbundenen Holzteile keine parallelen Achsen, so schadet der „schräge Kraftangriff“ der Nagelverbindung nicht. Ihre Steifigkeit ist sogar bei $\alpha = 45^\circ$ größer als bei $\alpha = 0^\circ$.

Die zul. Belastung von 1 cm²-Fläche bei einschnittiger Nagelung (Abb. 2).

Zul. Belastung: $N_1 = 400 \text{ d}^2$ des einschnittigen Nagels

Nagelabstand: quer 5 d — 10 d längs.

1 Reihe: 3—3,7 kg/cm².

Gesamtzahl:	3	6	9	12	15	Nägel
Zul. Belastung:	3	3,4	3,6	3,7	3,7	kg/cm ²

2 Reihen: 4—5 kg/cm²

Gesamtzahl:	6	12	18	24	30	Nägel
Zul. Belastung:	4	4,6	4,8	5,0	5,0	kg/cm ²

3 Reihen: 4,5—5,6 kg/cm²

Gesamtzahl:	9	18	27	36	45	Nägel
Zul. Belastung:	4,5	5,1	5,4	5,5	5,6	kg/cm ²

4. Reihen: 4,8—6,4 kg/cm²

Gesamtzahl:	12	24	36	48	60	Nägel
Zul. Belastung:	4,8	5,5	5,7	5,9	6,0	kg/cm ²

5 Reihen: 5—6,2 kg/cm²

Gesamtzahl:	15	30	45	60	75	Nägel
Zul. Belastung:	5	5,7	6,0	6,1	6,2	kg/cm ²

6 Reihen: 5,1—6,4 kg/cm²

Gesamtzahl:	18	36	54	72	90	Nägel
Zul. Belastung:	5,1	5,8	6,1	6,3	6,4	kg/cm ²

Grenzwert für die zulässige Belastung von 1 cm² Fläche:

$$\frac{400 \text{ d}^2}{10 \text{ d} \times 5 \text{ d}} = 8 \text{ kg/cm}^2 \text{ bei einschnittiger Nagelung.}$$

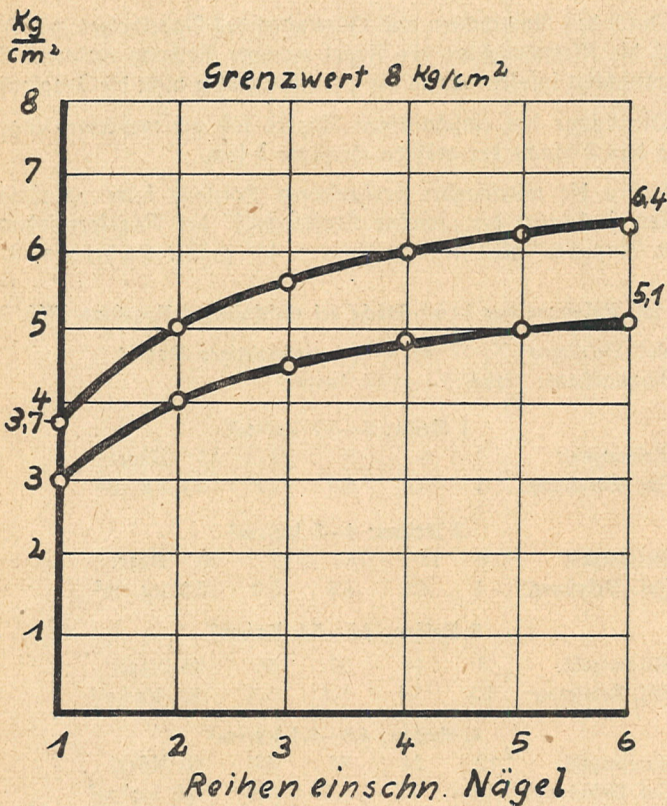
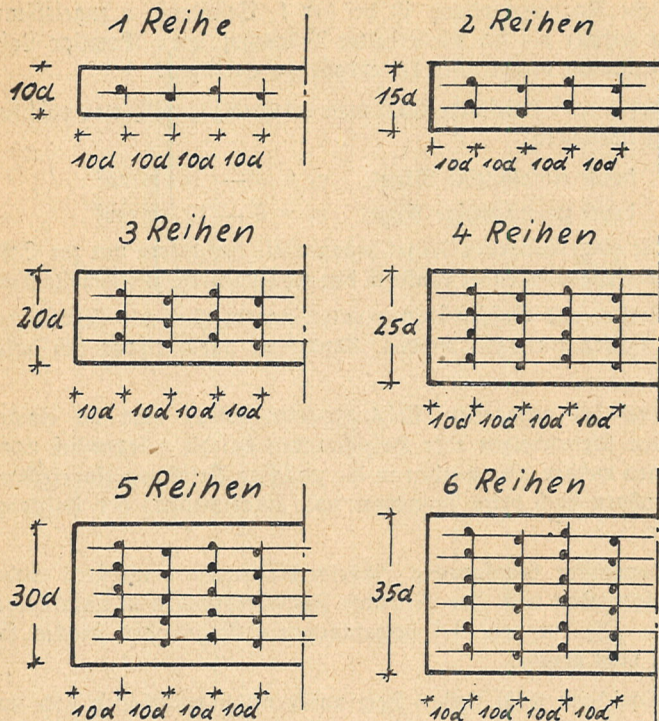


Abb. 2. Die auf 1 cm² übertragbare Kraft bei Nagelung.

2. Holzschrauben.

Es gibt nach DIN 95 — 96 — 97 — 570 — 571 Schrauben mit normalem, halb- und ganzversenktem Kopf. Am besten zu handhaben sind Holzschrauben mit normalem Kopf, „Vierkant-Holzschrauben“. Schrauben mit normalem Kopf, „Vierkantschrauben“, können leicht nachgezogen werden.

Die Tragkraft einer Holzschraube ist unabhängig von ihrem Ausziehungswiderstand, der wegen des Gewindes groß ist.

Die zulässige Belastung hängt ab von der maßgebenden Holzdicke δ . Beim zulässigen Leibungsdruck $\sigma_l = 80 \text{ kg/cm}^2$ ist.

$$N = d \times \delta \times 80 \text{ kg.}$$

Der kleinste Abstand errechnet sich aus der zulässigen Scherspannung im Nadelholz $\tau = 9 \text{ kg/cm}^2$.

$$t' \times \delta \times 9 = d \times \delta \times 80.$$

$$t' = 9 d \text{ oder } t = 10 d \text{ (Abb. 3).}$$

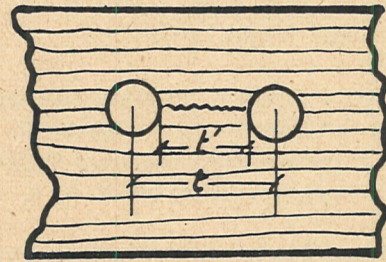


Abb. 3. Der Abstand der Schraubenlöcher.

Vierkant-Holzschrauben-Liste. DIN 570.

Liste 2

Nenn Durchmesser	5	6	7	8	9	mm
Schaftlängen	15—50	15—60	20—80	25—100	30—120	mm
N =	40	48	56	64	72	$\times \delta \text{ kg}$

Nenn Durchmesser	10	12	14	16	19	mm
Schaftlängen	30—140	35—180	50—200	50—200	60—200	mm
N =	80	96	112	128	152	$\times \delta \text{ kg}$

δ = geringste Holzdicke in cm

$$N = 80 \times d \times \delta \text{ in kg}$$

Die Schaftlängen springen um 5 mm bei den Längen unter 80 mm

„ „ „ „ 10 „ „ „ „ über 80 „

3. Bolzen.

Die gebräuchlichen „Bolzen mit Gewindezapfen“ sind in DIN 1438 aufgezählt.

1. Als Bolzendurchmesser d nimmt man $1/5$ — $1/10$ der gemittelten Holzdicke δ .

Bei $d = \frac{\delta}{5}$ ist der zul. Leibungsdruck im Nadelholz

$$\sigma_l = 80 \text{ kg/cm}^2.$$

Bei zunehmender Schlankheit des Bolzens wird σ_l kleiner.

2. Die zulässige Belastung des Bolzens beträgt hiernach:

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

$$\text{zweischchnittig } N_2 = 400 \times d^2 \text{ kg für } d \text{ in cm.}$$

3. Bolzen allein haben zwar genügende Tragkraft, aber ungenügende Steifigkeit. Man verwendet sie daher am besten zusammen mit Nägeln und Einpreßdübeln.

4. Nur wenn die Schraubenmutter nachgezogen werden, sichern sie den Klemmdruck der miteinander zu verbindenden Hölzer.

5. Ihr Klemmdruck und ihre Steifigkeit wird erhöht durch ausreichend große Fläche und Dicke der Unterlagscheiben.

6. Wird die Mutter so angezogen, daß im Bolzenschaft eine Zugspannung von 1200 kg/cm^2 entsteht, so hat der Klemmdruck auf die Hölzer die Größe

$$K = \frac{\pi d^2}{4} \times 1200 = 1000 d^2 \text{ kg für } d \text{ in cm.}$$

7. Sägeraue Nadelholzflächen haben nach unseren Versuchen mindestens die Reibungszahl $\mu = 1/3$.

Somit überträgt der gut angezogene Bolzen von der Last allein schon durch die Holzreibung

$$N = \frac{1000 d^2}{3} = \text{rund } 300 d^2 \text{ kg für } d \text{ in cm.}$$

8. Die zulässige Belastung des einschnittigen Bolzens kann also ganz durch Reibung, die des zweischnittigen Bolzens zum großen Teil durch Reibung — ohne Biegebeanspruchung des Bolzenschaftes — übertragen werden, wenn die Muttern immer fest nachgezogen werden. Solange die Bolzen genügend Reibung erzeugen, ist ihre Verbindung fast so steif wie die Leimverbindung.

9. Die zulässige Belastung eines Tragbolzens hängt von seiner Klemmkraft und dann von seiner Seilwirkung ab. Beide werden durch die Unterlagsplatte stark beeinflusst.

10. Die normale Unterlagscheibe hat nach DIN 436 für den Bolzendurchmesser d die Kantenlänge $a \geq \frac{10}{3} d$ cm.

Die theoretische Klemmkraft $K = 1000 d^2$ kg erzeugt unter der Scheibe auf das Holz die Schwellendruckspannung quer zur Faser

$$\sigma = \frac{K}{a^2} = 90 \text{ kg/cm}^2.$$

11. Da bei Nadelholz — Fichte z. B. — die Quetschgrenze σ_Q etwa bei 70 kg/cm^2 liegt, erzeugt dieser Bolzenklemmdruck schon einen sichtbaren Eindruck der Scheibe ins Holz. So lange also die Unterlagscheiben nicht größer geliefert werden, rechnet man besser mit dem Klemmdruck des Bolzens: $K_1 = \frac{7}{9} \times K = 800 d^2$ kg für d in cm.

12. Die zulässige Belastung hängt nicht von der genügenden Sicherheit gegen Bruch, sondern gegen Fließen ab. Beim Fließen frisst sich der Bolzenschaft ins Holz und verbiegt sich wegen seiner

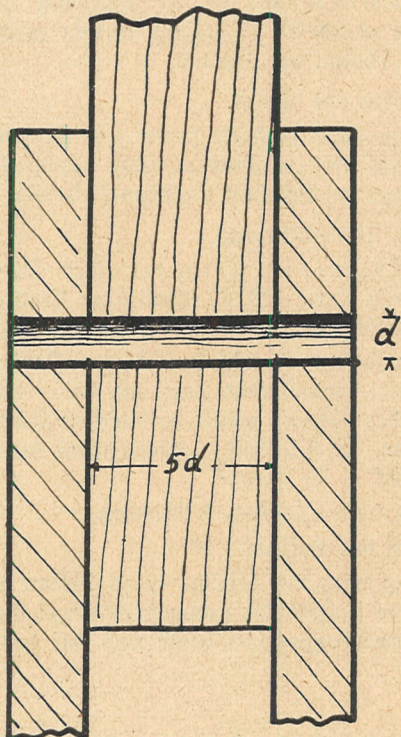


Abb. 4. Ein zweischnittiger Bolzen.

Schlantheit zu einer Seilkurve. Maßgebend ist somit für den Hochbau die durch DIN 1052 noch zugelassene größte Verschiebung einer jeden Holzverbindung von $\delta = 1,5 \text{ mm}$.

13. Der kritische Leibungsdruck, bei dem die Quetschgrenze des Holzes liegt, ist nach unserem Versuche $\sigma_Q = 0,9 \sigma_B$, d. h. 90% der Holzdruckfestigkeit, und sinkt bei nassem Holz bis auf rd. 200 kg/cm^2 herunter.

14. Wenn bei der maßgebenden Holzdicke δ der Bolzen den Durchmesser $d = \frac{\delta}{5}$ hat, entsteht die Leibungsfläche in diesem Holz $F = d \times \delta = 5d^2$, gleichmäßig verteilt über die Holzdicke (Abb. 4).

15. Bei dieser günstigen Schlantheit des Bolzenschaftes darf die Leibungsdruckspannung anwachsen auf $\sigma_1 = 80 \text{ kg/cm}^2$.

16. Darum ist die
zuläss. Belastung des zweischnittigen Bolzens $N_2 = 5 d^2 \times 80 = 400 d^2$,
" " " einschnittigen " $N_1 = 200 d^2 \text{ kg für } d \text{ in cm.}$

Bolzenliste.

Einschnittiger Bolzen $N_1 = 200 d^2 \text{ kg für } d \text{ in cm}$
Zweischnittiger Bolzen $N_2 = 400 d^2 \text{ kg für } d \text{ in cm}$

Nenndurchmesser	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2	Zoll
	12,7	15,9	19,1	22,2	25,4	28,6	31,8	34,9	38,1	mm
Dicke der Unterlagscheibe	5	6	7	8	9	10	11	12	14	mm
Seitenlänge der Unterlagscheibe	4,5	6	7	8	9	10	11	12	14	cm
zul. Belastung des einschn. Bolzens N_1	322	505	730	985	1290	1640	2025	2440	2910	kg
zweischn. Bolzens N_2	645	1010	1460	1970	2580	3280	4050	4880	5820	kg
Theor. Klemmkraft K	1700	2500	3600	4800	6200	8400	10000	12200	14500	kg
Größte Reibungskraft R	550	850	1200	1600	2000	2800	3300	3900	4600	kg

Die quadratischen oder runden Unterlagscheiben sind an beiden Enden des Bolzens auf dem Holz nötig.

Der kleinste Bolzenabstand in Faserrichtung und Kraftrichtung muß so gewählt werden, daß das Holz hinter dem Bolzen weder abgeseuert noch auseinandergepalten wird. $t = 7d$.

4. Einpreßdübel.

1. Muß auf kleiner Fläche eine große Kraft übertragen werden, so verwendet man Nägel zusammen mit Einpreßdübeln, wie z. B. dem „Krallenband“ aus $1,5 \text{ mm}$ dickem, rostgeschütztem Blech. Das Band ist 9 cm breit und unterteilt in 9 cm lange Einzeldübel, die getrennt oder als Band verwendet werden können (Abb. 5).

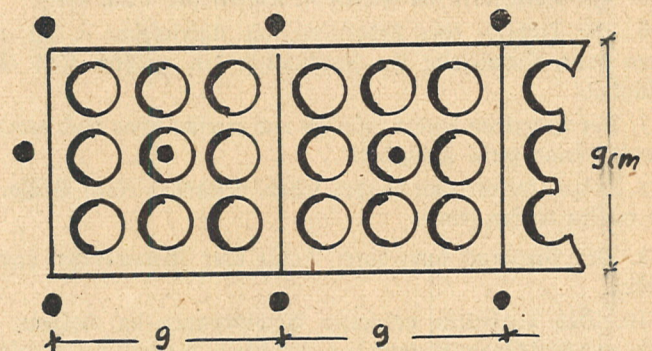


Abb. 5. Der Einpreßdübel „Krallenband“.

2. Der Einzeldübel hat 36 Zähne. 18 Zähne stehen auf der einen Seite des Bleches und ebenso viele auf der anderen Seite und vermitteln durch diese Gegenüberstellung den Kraftübergang von dem einen zum anderen Holz.

3. Die Einpreßdübel werden auf die Mittelhölzer gelegt und durch kleine Heftstifte festgehalten. Sodann werden die Seitenhölzer unter gleichzeitiger Verwendung von mehreren kräftigen Zwingen, Stockwinden oder hydraulischen Pressen, die in starken Rahmen aus Holz oder Stahl ruhen, auf die Mittelhölzer gepreßt.

4. Die geringste Holzdicke für solche Einpreßdübel ist 3 cm.

5. Bei 1 Dübelreihe muß das Holz mindestens 12 cm, bei 2 Dübelreihen muß es mindestens 22 cm breit sein. Besser sind die Mindestbreiten von 14 und 24 cm.

6. Um die Hölzer zusammenzuhalten, werden in und neben die Einzeldübel oder die Bänder Nägel nach Abbildung 5 eingeschlagen. Bei n Einzeldübeln braucht man zur Erhaltung der Klemmwirkung $3n + 4$ Nägel. Der Nageldurchmesser ist etwa $\frac{1}{10}$ der gemittelten Holzdicke δ .

7. Um auch beim Schwinden des Holzes die Dübelwirkung zu sichern, zieht man gelegentlich durch das mittlere Loch des Einzeldübeln Klemmbolzen bis zu 19 mm Durchmesser. Der Bolzenabstand richtet sich nach der Holzdicke und der dadurch erreichbaren Klemmwirkung.

8. Die zulässige Belastung eines Einzeldübeln 9/9 cm beträgt $N = 750$ kg.

Unter dieser Belastung beträgt die gegenseitige Verschiebung der Nadelhölzer weniger als 1 mm.

9. Bei wiederholter Belastung wird die Verbindung steifer.

10. Bei dynamischer Krafteinwirkung bleibt die zulässige Belastung des 9 cm langen Einpreßdübeln $N = 750$ kg.

11. Die zulässige Belastung steigt proportional der Anzahl der Dübel, ist also bei 2 Dübeln 1500 kg, bei 3 Dübeln 2250 kg usw.

12. Bei dynamischer Belastung bleiben die Verschiebungen in den vorgeschriebenen Grenzen. Die Verbindung versteift sich.

13. Die Nägel dürfen hälftig, die Bolzen ganz in die zulässige Belastung mit eingerechnet werden.

14. Man kann auf 1 cm² Holzfläche durch Nägel und Krallenband bis zum dreifachen, wie bei der Nagelung, also bis 12 kg/cm² übertragen.

5. Die Leimung.

1. Bei Verwendung von gutem Leim reißt nicht der Leim, sondern das Holz, besonders das sägeraue Holz.

2. Die zulässige Belastung ist abhängig von der zulässigen Scherspannung des Holzes.

3. Sie beträgt nach DIN 1052 vom Jahr 1940

$$\tau_{zul} = 9 \text{ kg/cm}^2 \text{ bei Nadelholz.}$$

4. Somit überträgt die Leimverbindung auf 1 cm² Fläche 9 kg/cm² beim Nadelholz.

5. Für Holzbauten im Freien ist wasserfester Leim nötig.

6. Die Tischler- oder Lederleime, die Kaseinleime u. dgl. verlieren durch Einwirkung der Feuchtigkeit den größten Teil ihrer Festigkeit.

7. Der Lederleim bindet rasch ab und erreicht schon nach wenigen Stunden seine große Festigkeit.

8. Hölzer, die verleimt werden sollen, verlangen einen Preßdruck und müssen trocken sein.

9. Der Preßdruck kann durch Nägel oder Klemmbolzen erzeugt werden.

10. Das Verhalten geleimter Verbindungen im Holzbau des Hoch- und Brückenbaues unter der Einwirkung dynamischer Belastung ist noch nicht geklärt.

11. Nach unseren Versuchen erhält frisch aufgetragener Leim bei Luftlagerung eine praktisch brauchbare Festigkeit nach folgender Zeit:

Tischlerleim nach 1½ Stunden.

Kaseinleim nach 4—5 Stunden.

12. Der warme Tischlerleim erreicht schon nach 1 Stunde die Schubfestigkeit des Holzes.

13. Alle Kaltleime erreichen die Schubfestigkeit des Holzes frühestens nach 4 bis 5 Stunden.

14. Im großen Durchschnitt erreichen geleimte Holzverbindungen, gleichgültig ob Kalt- oder Warmleim verwendet wurde, nach halbtägiger Lagerung eine ausreichende Tragkraft.

Vom Leim wird verlangt:

Bindefestigkeit,

Wasserbeständigkeit,

Fäulnisfestigkeit, Widerstand gegen Schimmelbildung,

leichte und billige Verarbeitbarkeit,

Anpassung an die Veränderlichkeit der Holzeigenschaften beim Wechsel des Holzwassergehaltes.

Die letzte Forderung wird erfüllt:

entweder durch einen Leim, der durch Wasser z. T. weich und beim Trocknen wieder fest wird, wie z. B. Kaseinleim, oder durch einen absolut wasserfesten Leim, der aber sehr dehnbar ist — leider dann aber auch wenig fest.

Wasserfester Leim mit großem Elastizitätsmodul E erzeugt beim Quellen oder Schwinden des Holzes solche Schubspannungen im Holz, daß hier die Holzfasern und Zellen notleiden, also die „Leimfestigkeit“ auch sinkt. Der Leim ist leider spröde, das Holz aber weich.

Flüssiger Leim. Kasein und Blutalbumin.

Kasein: Eiweißprodukt aus Milch, dem Kalziumhydrat und andere Mittel zur Konservierung zugesetzt werden und das als Pulver verkauft wird. Das Pulver wird unter Zusatz von Wasser zum Leimbrei angerührt, der aber binnen 2 Stunden verarbeitet werden muß. Zusatz von Wasserglas bringt eine gewisse Beständigkeit gegen Wasser. Kasein bindet bei 80° C unter Pressen rasch ab. Wassergehalt des Holzes am besten $\leq 6\%$, höchstens 20%.

Blutalbuminleim: Er ist aufgebaut auf Rinderblutserum. Indem es bei 90° C gerinnt, erzeugt es die Bindung der Hölzer. Zusätze schützen vor Fäulnis.

Harzleime: Bakelit und Kaurit.

Dieser teure Leim ist leicht spröde und wird deshalb mit gemahlenem Bakelit oder Holzmehl u. dergl. gemagert. Er ist wasserfest, verlangt aber ein Holz mit höchstens 20% Wassergehalt.

Trockener Leim. Filmverleimung.

Azethyl-Zellulose-Film hat einen Filmleim von 0,05 bis 0,1 mm Dicke. Unter 120° C schmilzt der Leim und bindet beim Abkühlen ab. Sehr teuer.

Kunstharz-Film: Ein saugfähiger Papierfilm wird getränkt mit Kresol-Formaldehyd-Harz und dabei 0,05 bis 0,1 mm dick. Zwischen den Hölzern erhält der trockene Film unter Pressen eine Wärme von 130 bis 140° C, schmilzt und bindet ab beim Erkalten. Preßdruck ≤ 30 kg/cm².

Preßzeit bei 1 mm Holzdicke 5 Minuten.

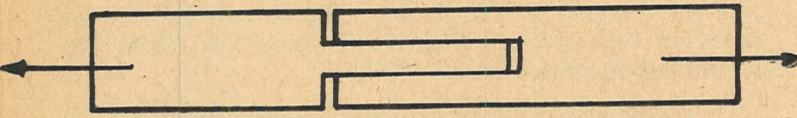
Wassergehalt des Holzes $\leq 10\%$.

Guter Erfolg wird nur erreicht, wenn Wärme und Preßdauer, Wassergehalt des Holzes usw. genauestens eingehalten werden. Daher ist das Anwendungsgebiet heute noch auf das Sperrholz beschränkt.

Versuche:

Man soll die Leimflächen stets so anordnen, daß hier nur Schub und keine Biegung oder Zug auftreten kann.

Probekörper als "Doppelkörper"



Probekörper als "Einfachkörper."

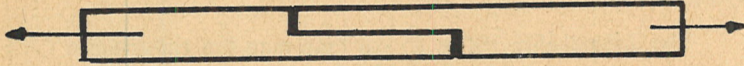


Abb. 5a. Oben guter, unten schlechter Versuchskörper für Leimfestigkeit.

Festigkeiten einiger Leime.

		Einfachkörper	Doppelkörper	
1. Leim	$\tau =$	26	37	kg/cm ²
2. Leim	$\tau =$	17	25	"
3. Leim	$\tau =$	14	26	"

Der gewöhnliche Tischlerleim erreicht schon nach einer halben Stunde eine Festigkeit $\tau = 30 \text{ kg/cm}^2$ und nach einer Stunde die des Buchenholzes.

Alle Kaltleime binden erheblich langsamer ab und erreichen die Holzschubfestigkeit erst nach 4 bis 5 Stunden. Nach halbtägiger Lagerung sind alle verleimten Träger genügend fest.

Abbindegeschwindigkeit:

Tischlerleim	50 kg/cm ² je Stunde
Rasleinleim	12—20 kg/cm ² " "
Endfestigkeit	65 kg/cm ²

Grundsätzliches über die zusammengesetzten Holzbiegeträger.

Eine größere Menge Bauholz kann man bei den im Hoch- und Brückenbau üblichen vollwandigen Trägern nur dadurch ersparen, daß man bei sonst verwendeten Vollhölzern — Ranthölzern und Balken — möglichst viel Holz in der Nähe der neutralen Faser fortläßt und es an den beiden Randfasern anordnet. Die Biegespannungen sind in der Nähe der neutralen Faser klein, aber in der Nähe der Randfasern groß, so daß durch die Umlagerung des Holzes nach den beiden Randfasern hin der Baustoff auch wirklich in seiner Festigkeit ausgenutzt werden kann. Aus dieser Überlegung heraus ist auch beim Stahlbau der vollwandige Biegeträger entstanden, der möglichst weit ab von der neutralen Faser, also von der Trägermitte, möglichst viel Baustoff anordnet und in der Nähe der neutralen Faser ihn zu einem dünnen Steg zusammenschumpfen läßt. Aus diesem Grunde ist daher auch der sonst im Holzbau übliche verdübelte Balken abzulehnen, da er im Querschnitt eine konstante Breite aufweist. Ein Biegeträger aus Holz ist nur dann hochwertig und nützt nur dann seinen Baustoff richtig aus, wenn er zwei ausgeprägte Gurten mit möglichst viel Holz und einen ausgeprägten Steg mit möglichst wenig Holz aufweist. Man kommt so zwangsläufig zu zwei Querschnittsformen, die rein theoretisch einander gleichwertig sind, sich in der Ausführung aber und in ihrem wirklichen Verhalten doch voneinander unterscheiden.

1. Der Hohlbalken.

Man bildet die Gurt aus einem Rantholz, das meistens quadratisch ist oder bei einem beliebig rechteckigen Querschnitt mit Vorteil flach gelegt wird. Wir haben hier die Form mit dem quadratischen Rantholz besonders entwickelt und theoretisch untersucht und wollen die dabei gefundenen Regeln kurz angeben (Abb. 6).

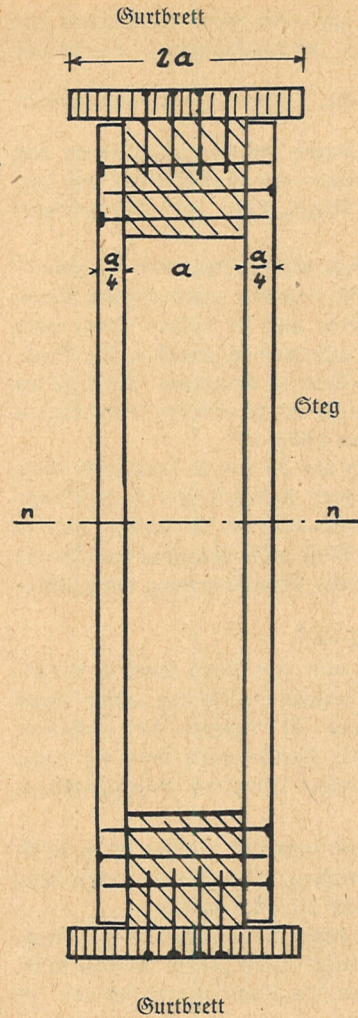


Abb. 6. Normaler Querschnitt eines Hohlbalkens.

die Steifen noch mindestens an den Drittelpunkten der Stützweite anbringen.

Das Widerstandsmoment und das Trägheitsmoment und damit die Holzersparnis kann dadurch wesentlich gesteigert werden, daß

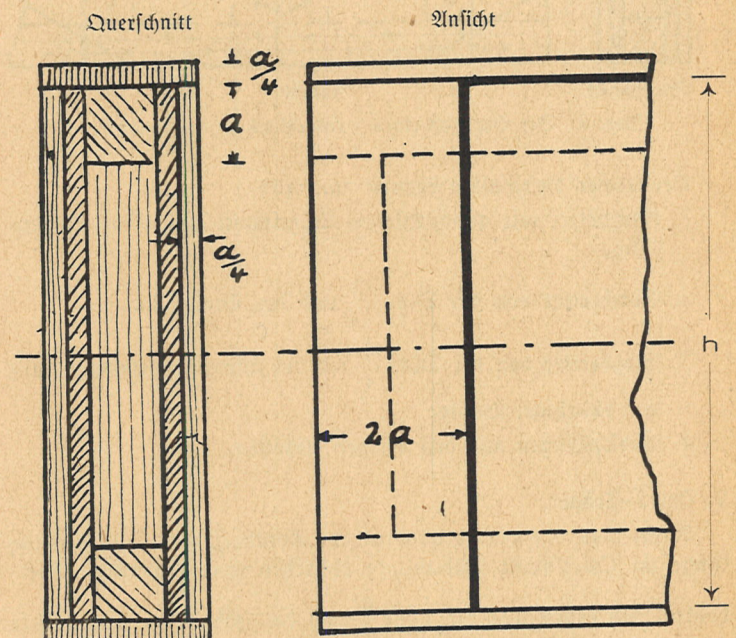


Abb. 7. Die Aussteifung des Stegs vom Hohlbalken.

a ist die Seitenlänge des quadratischen Querschnittes des Rantholzes.

Die beiden Ranthölzer der Ober- und Untergurt werden durch zwei dünne Stege miteinander verbunden, von denen jeder zweckmäßigerweise etwa die Dicke $\frac{a}{4}$ erhält.

Die Schubkräfte zwischen Steg und Gurtholz werden durch die üblichen Verbindungsmittel (Leim, Nägel, Einpreßdübel) übertragen. Der dünne Steg muß gelegentlich ausgesteift werden. Dazu verwendet man Abschnitte der Gurthölzer, die im Innern des Steges winkelförmig zu den Gurten eingebaut werden. Wenn nötig, kann auch der Steg von außen noch versteift werden, so daß man auf ihn ein Brett wiederum von der Dicke $\frac{a}{4}$ so auf-

bringt, daß die Holzfasern des Aussteifungsbrettes rechtwinklig zur Gurt stehen (Abb. 7). Diese Aussteifungen sind überall dort nötig, wo große Einzelkräfte auf den Träger wirken, also zuerst an den Auflagern und dann eben dort, wo schwere Lasten konzentriert angreifen. Außer an den beiden Auflagern wird man

man über jedem Gurtkrantholz ein, zwei oder mehr Gurtbretter anordnet. Diesem Gurtbrett gibt man zweckmäßigerweise die gleiche

Dicke $\frac{a}{4}$ wie den Stegbrettern und die Breite $2a$. Dadurch werden die durch die Steifen entstehenden Fugen zwischen Aussteifung und Steg abgedeckt. Die Schubkraft zwischen den Gurtbrettern und dem quadratischen Krantholz muß durch Nägel, Leim oder Einpreßdübel übertragen werden.

Je mehr Gurtbretter man anordnet, desto größer wird die Schubkraft, die von der gesamten Gurt, also von dem quadratischen Krantholz und den Gurtbrettern zusammen, auf die beiden Stegbretter übertragen werden muß. Es ist im allgemeinen zwecklos, die Gurtbretter unmittelbar mit den Stegbrettern zu verbinden. Man tut im Gegenteil gut daran, zwischen den Stegbrettern und den Gurtbrettern eine Fuge von 1 oder 2 mm zu lassen (Abb. 6).

Ist die Trägerhöhe h nicht größer als 25 cm, so kann jeder Steg aus einem einzigen durchgehenden Brett bestehen. Es ist aber dann darauf zu achten, daß die Schubspannungen in Brettmitte, also in der neutralen Faser, das zulässige Maß nicht überschreiten. In der neuen DIN ist als zulässige Scher- oder Schubspannung vorgeschrieben für Nadelholz

$$\tau = 9 \text{ kg/cm}^2.$$

Wächst die Trägerhöhe an, dann teilt man jeden Steg in Einzelbretter von beliebiger Breite auf, welche die Gurten unter einem Winkel von 45° oder noch besser von 30° kreuzen. Bei einfachen, kleinen Verhältnissen behält man die Brettneigung über die ganze Trägerlänge bei, gibt aber dem zweiten Steg die entgegengesetzte Neigung.

Bei stärker belasteten Trägern und größeren Verhältnissen wechselt man in Trägermitte die Brettneigung. Alle Bretter fallen dann gegen die Mitte zu. Beide Stege sind einander gleich.

Bei solcher Ausbildung entsteht dann in Trägermitte ein Stegstoß; in Abb. 8 ist dargestellt, wie dieser Stoß gedeckt werden kann. Dazu werden wieder die Abfälle von den Kranthölzern und von den Stegbrettern verwendet.

Kantholz nicht gestossen

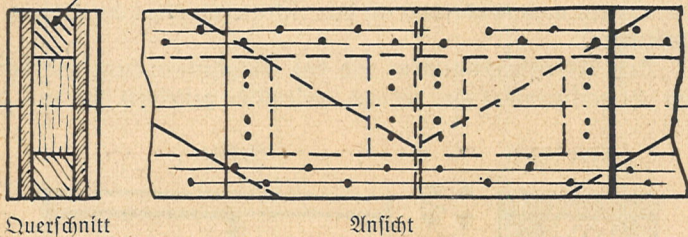


Abb. 8. Der Stegstoß eines Hohlbalkens in Trägermitte.

Bei solchen Hohlbalken braucht man also

1. Kranthölzer mit quadratischem Querschnitt von a cm Seitenlänge,
2. Gurtbretter von der Dicke $\frac{a}{4}$ und der Breite $2a$,
3. Stegbretter von der Dicke $\frac{a}{4}$ und bei zusammengesetztem Steg von beliebiger Breite,
4. Aussteifungen aus den vorigen Abfällen.

2. Der I-Träger.

Wenn man das vorige quadratische Krantholz mit a cm Seitenlänge im Querschnitt halbiert, so entstehen zwei rechteckige Gurtbohlen, von denen jede die Dicke $\frac{a}{2}$ und die Höhe a aufweist. Diese beiden Gurtbohlen werden nun auseinander geschoben um das

Maß $\frac{a}{2}$. Der Zwischenraum von $\frac{a}{2}$ wird ausgefüllt durch den nun

im Gegensatz zum Hohlbalken einheitlichen Trägersteg, dessen Höhe genau wie vorher h ist. Die großen Schubkräfte zwischen der nun zerteiligen Gurt und dem Steg können durch Leim, Nägel oder Einpreßdübel übertragen werden. (Abb. 9).

Genau wie vorher wird das Widerstandsmoment, das Trägheitsmoment und die Ersparnis des Holzes ganz wesentlich gesteigert, wenn man an jeder Gurt noch 1, 2 oder mehr Gurtbretter anordnet.

Jedes Gurtbrett erhält zweckmäßigerweise die Dicke $\frac{a}{4}$ und die Breite $2a$.

Bei Trägerhöhen bis zu 25 cm kann man den einheitlichen Steg aus einem über die ganze Trägerlänge durchgehenden Brett von der Dicke $\frac{a}{2}$ bilden. Wird der Träger aber höher als 25 cm, so verwendet man für den Steg zwei Lagen Bretter, die sich gegenseitig kreuzen. Jedes Brett hat dann die Dicke $\frac{a}{4}$ genau wie vorher beim

Hohlbalken. Ein grundlegender Unterschied besteht freilich darin, daß vorher beim Hohlbalken die Bretterlagen um a cm voneinander entfernt waren, während sie sich hier berühren und daher leicht miteinander durch Leim oder Nägel verbunden werden können. Es ist daher auch nicht nötig, bei großen Stützweiten und entsprechend hohen Trägern die Brettneigung in der Mitte des Trägers zu wechseln. Wenn bei der Belastung die Stegbretter der einen Brettlage gedrückt werden, so werden die mit ihnen vernagelten

Bretter der anderen Lage eben gezogen. Die dabei auftretenden Formänderungen heben sich daher z. T. gegenseitig auf.

Die Gurtbretter von der Breite $2a$ müssen mit den beiden Gurtbohlen durch Nägel, Leim oder Einpreßdübel verbunden werden und so ihre Schubkraft an diese abgeben. Es hat keinen Zweck, sie mit dem Steg unmittelbar zu verbinden. Man wird im Gegenteil genau wie vorher beim Hohlbalken zwischen dem Steg und den Gurtbrettern eine kleine Lücke von 1 oder 2 mm lassen (Abb. 9).

Man muß bei der Berechnung der Verbindungsmittel sich immer vergegenwärtigen, daß die Schubkraft der ganzen Gurt, wenn sie aus den beiden Gurtbohlen und einigen Gurtbrettern besteht, nur durch die Gurtbohlen auf den Steg übergeleitet werden kann. Diese Verbindungsmittel zwischen Gurtbohle und Trägersteg müssen daher um so kräftiger werden, je mehr Gurtbretter man anordnet.

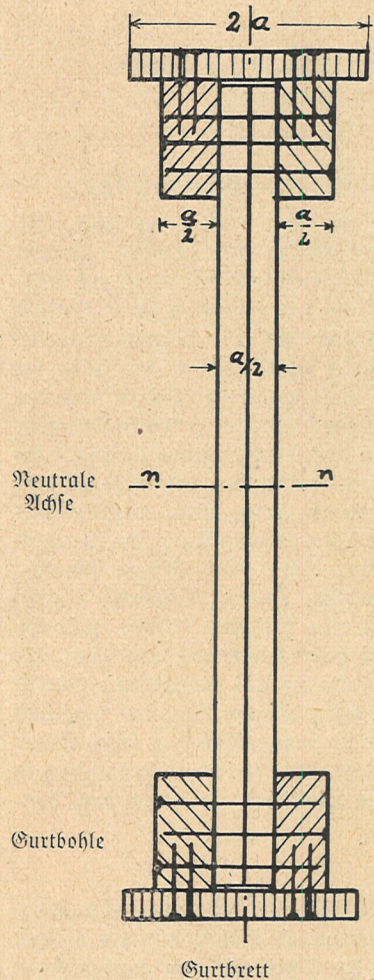


Abb. 9. Der normale Querschnitt eines vollwandigen I-Trägers

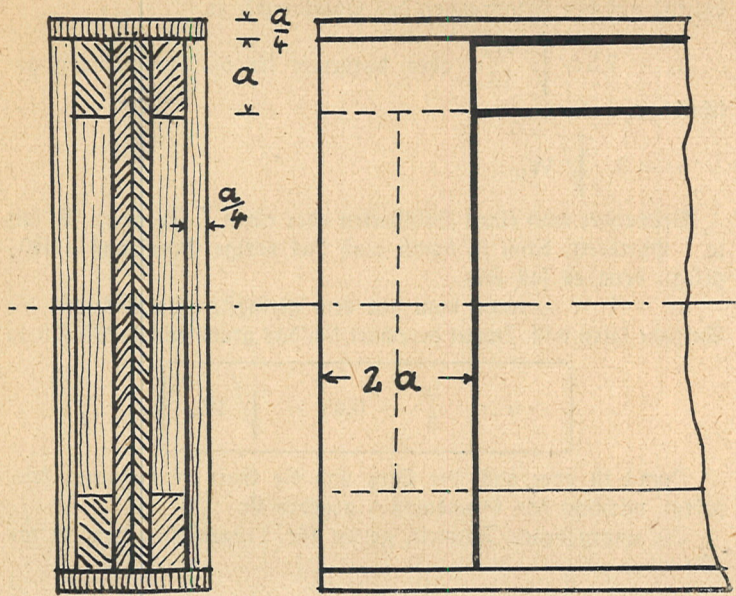


Abb. 10. Aussteifung des Trägersteges am I-Träger.

Der dünne Trägersteg von der Gesamtdicke $\frac{a}{2}$ wird wieder mit den Abfällen von den Gurtbohlen, Steg- und Gurtbrettern aussteift. Jede Steife zerfällt in ein Stück Bohle und in ein darüber genageltes Brett, so wie es in Abb. 10 dargestellt ist.

Für diese I-Träger braucht man somit

1. Gurtbohlen von der Dicke $\frac{a}{2}$ und der Breite a ,
2. Gurtbretter von der Dicke $\frac{a}{4}$ und der Breite $2a$,
3. bei kleinen Trägerhöhen Stegbretter von der Breite gleich der Trägerhöhe h und der Dicke $\frac{a}{2}$
- 3a. oder, bei Höhen über 25 cm, Stegbretter von beliebiger Breite und der Dicke wie die Gurtbretter, nämlich $\frac{a}{4}$
4. Aussteifungen aus den Abfällen der obigen Bohlen und Bretter.

Theoretischer Vergleich der Hohlbalken mit den I-Trägern.

Hohlbalken, die sich nach unseren Angaben auf diesem Grundmaß a aufbauen, und I-Träger, die nach unserem Vorschlag gebaut werden, haben genau das gleiche Widerstandsmoment und Trägheitsmoment und die gleiche Querschnittsfläche, wenn sie die gleiche Trägerhöhe h aufweisen.

Der Hohlbalken freilich hat eine größere Verwindungsfestigkeit als der I-Träger. Dafür aber wird sein auseinandergerissener Steg weniger fest als der einheitliche Steg des I-Trägers.

Alle Regeln, die wir durch theoretische Überlegungen gefunden haben, gelten aber gleichermaßen für beide Trägerarten, sofern sie sich gleichermaßen auf dem Grundmaß a aufbauen.

Als Grundmaß a kann man je nach Bedarf, also je nach Belastung und Stützweite, wählen

$$a = 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \quad 9 \quad 10 \text{ und mehr cm.}$$

Die mit $\frac{a}{4}$ vorgeschriebenen Brettdicken dürfen dann den durch obige Zahlen festgelegten Wert nicht unterschreiten. Man wird daher z. B. bei $a = 3$ cm eine Brettdicke wählen $\frac{a}{4} = 1$ cm. Es ist

praktisch natürlich bedeutungslos, wenn man z. B. bei Verwendung eines 10 cm dicken Kanholzes mit $a = 10$ cm die Brettdicke $\frac{a}{4}$ mit 2,4 cm festlegt.

Die Trägerhöhen mit der größten Holzersparnis.

Durch einige theoretische Betrachtungen konnte nachgewiesen werden, daß man die größte Menge Holz gegenüber dem Vollholz bei diesen Trägern ersparen kann, wenn man die Trägerhöhen in folgender Weise auf das Grundmaß a abstimmt.

1. Hohlbalken oder I-Träger ohne Gurtbrett.

$$\text{Die Steghöhe } h \text{ muß dann sein } \dots \dots h = \frac{20}{3} a.$$

2. Hohlbalken oder I-Träger mit 1 Gurtbrett.

$$\text{Die Steghöhe } h \text{ muß dann sein } \dots \dots h = 7 a.$$

Die Einzelheiten können in „Zusammengesetzte Holzbiegeträger...“ in der Mitteilung Nr. 21 des Sachausschusses für Holzfragen, VDI-Verlag, Berlin, nachgelesen werden.

Gegenüber den Biegeträgern aus Kanhölzern und Balken kann man auf diese Weise bis zu 50% an Holz sparen. Die so entwickelten Trägerformen haben in der Regel bei gleicher Tragkraft wie die Kanhölzer eine größere Steifigkeit, also eine geringere Durchbiegung bei gleicher Belastung und Stützweite.

Durch die Aufteilung des Steges der Hohlbalken und I-Träger ist man unbeschränkt in der Wahl der Trägerhöhe und kann aus ihnen Tragwerke für größte Stützweiten und größte Lasten bauen, bei denen der Verbrauch von Holz und Stahl auf ein Mindestmaß eingeschränkt wird. Eine genaue rechnerische Untersuchung ist aber immer nötig, ebenso wie eine sorgsame plangerechte Ausführung und sorgfältige Auswahl möglichst fehlerfreien Holzes für die meistbeanspruchten gezogenen Trägereile.

Holzträger im Vergleich zu Stahlträgern.

In diesem Zusammenhang verlohnt es sich, einmal festzustellen, welche Trägerhöhe der Baustoff Holz verlangt, wenn man von diesem Biegeträger das gleiche verlangt wie vom Stahlträger:

Der Holzträger soll die gleiche Tragkraft und die gleiche Steifigkeit aufweisen. Er soll also eine Biegespannung in der beim Nadelholz zulässigen Höhe haben und bei der gleichen Stützweite und Belastung wie der Stahlträger sich um das gleiche Maß δ durchbiegen.

Beim Nadelholz ist die zuläss. Biegespannung $\sigma_h = 100 \text{ kg/cm}^2$

Als Elastizitätsmodul ist vorgeschrieben $E_h = 100\,000 \text{ kg/cm}^2$

Beim gewöhnl. Baustahl ist die zuläss. Biegespannung

$$\sigma_s = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

Als Elastizitätsmodul ist vorgeschrieben $E_s = 2\,100\,000 \text{ kg/cm}^2$

Dem Vergleich muß natürlich das gleiche Belastungsmoment M zugrunde gelegt werden. Dann ergibt sich als erforderliches Widerstandsmoment

$$\text{beim Nadelholz } W_h = \frac{M}{100} \text{ cm}^3$$

$$\text{beim Stahl } W_s = \frac{M}{1400} \text{ cm}^3$$

Es verhalten sich also beide Widerstandsmomente

$$\frac{W_h}{W_s} = 14.$$

Die Durchbiegung ist bei jedem Träger umgekehrt proportional dem Produkt aus Elastizitätsmodul E und Trägheitsmoment J oder proportional dem Werte $\frac{1}{E \cdot J}$.

Somit verhalten sich auch die Durchbiegungen der Träger aus Holz oder aus Stahl bei gleicher Belastung und gleicher Stützweite

$$\frac{\delta_h}{\delta_s} = \frac{E_s \times J_s}{E_h \times J_h}$$

Die gesuchte Höhe des Nadelholzträgers ist h_1 .

Die bekannte Höhe des gleichwertigen Stahlträgers sei h .

Dann ist

$$J_h = W_h \times \frac{h_1}{2} \quad J_s = W_s \times \frac{h}{2}$$

$$E_h \times J_h = \frac{W_h \times h_1 \times E_h}{2}$$

$$E_s \times J_s = \frac{W_s \times h \times E_s}{2}$$

Setzt man nun hierfür die Werte für den Elastizitätsmodul ein, so ergibt sich

$$E_h \times J_h = \frac{100\,000 \times W_h}{2} \times h_1 = E_s \times J_s = 2\,100\,000 \frac{W_s}{2} \cdot h$$

Es ist also die gesuchte Höhe des Nadelholzträgers

$$h_1 = 21 \times \frac{W_s}{W_h} \times h$$

Nun war aber vorhin $\frac{W_s}{W_h} = \frac{1}{14}$, weil der Nadelholzträger die gleiche Tragkraft haben sollte wie der Stahlträger.

Damit findet sich endlich die gesuchte Höhe h_1 des Nadelholzträgers, der dem Stahlträger von der bekannten Höhe h in Bezug auf Tragkraft und auf Steifigkeit vollkommen gleichwertig ist,

$$h_1 = \frac{21}{14} \times h \quad \boxed{h_1 = 1,5 \cdot h.}$$

War also ursprünglich ein Träger in Stahl gedacht und hatte er bei voller Ausnutzung der baupolizeilich zugelassenen Biegespannung von 1400 kg/cm^2 und der baupolizeilich vorgeschriebenen größten Durchbiegung die Trägerhöhe h , dann muß jeder vollwandige Träger aus Nadelholz, der bei gleicher Belastung und Stützweite sich um ebensoviel durchbiegen soll wie der Stahlträger, und bei dem unter dieser Belastung das Holz gerade mit 100 kg/cm^2 beansprucht wird, eine Trägerhöhe h_1 haben, die um 50% größer sein muß als die Stahlträgerhöhe h . Es ist vollkommen gleichgültig, welche Querschnittsform der Stahlträger und welche Querschnittsform der Holzträger hat. Will man freilich diese Aufgabe in Holz, aber mit dem geringsten Holzaufwand lösen, dann muß man den Holzträger nach der vorigen Anweisung entweder als Hohlballen oder als I-Träger ausbilden.

Die überschlägige Ermittlung der Trägerhöhe.

Aus dem gegebenen größten Biegemoment M und der baupolizeilich zugelassenen größten Biegespannung σ errechnet sich das erforderliche Widerstandsmoment des vollwandigen Biegeträgers zu

$$W_1 = \frac{M}{\sigma}$$

In der Regel ist $\sigma = 100 \text{ kg/cm}^2$, so daß man hat

$$W_1 = \frac{M}{100} \text{ cm}^3 \text{ für } M \text{ in } \text{kg} \times \text{cm}.$$

Beim Stahlbau haben zahlreiche Untersuchungen als wirtschaftliche Trägerhöhe bei vollwandigen I-Trägern ergeben etwa

$$h_s = 5 \sqrt[3]{W_s}$$

Im vorigen Abschnitt wurde nun nachgewiesen, daß der dem Stahl gleichwertige Holzträger um 50% höher sein muß. Es ist also

$$h_1 = 1,5 \times h_s.$$

Nun war vorhin bei gleicher Tragkraft

$$\frac{W_s}{W_h} = \frac{1}{14} \text{ oder } W_s = \frac{W_h}{14}$$

Damit wird die wirtschaftliche Trägerhöhe beim Nadelholz, auf-

bauend auf den Erfahrungen des Stahlbaues, zu

$h_1 = 7,5 \sqrt[3]{\frac{W_h}{14}}$ oder, bequemer für die Ausrechnung geschrieben,

$$h_1 = 3 \sqrt[3]{W_h}$$

Verwendet man einen Hohlballen oder einen I-Träger z. B. mit je 1 Gurtbrett, dann ist damit auch das vorige Grundmaß a festgelegt, denn es soll sein

$h_1 = 7 \times a$, wenn man mit dem geringsten Holzaufwand die Aufgabe lösen will. Damit berechnet sich das grundlegende Maß a zu

$$\boxed{a = \frac{h_1}{7} = 0,45 \times \sqrt[3]{W_h}}$$

Damit ist aber auch der Steg und die Gurt im einzelnen festgelegt, nachdem das Grundmaß a gegeben ist.

Die angegebenen Formeln gelten für Trägerhöhen von 50 bis 150 cm.

Rechenbeispiel

Genagelter Hohlballen mit Stützweite 600 cm (Abb. 12) als Ersatz für den Balken 10/22 (Abb. 11)

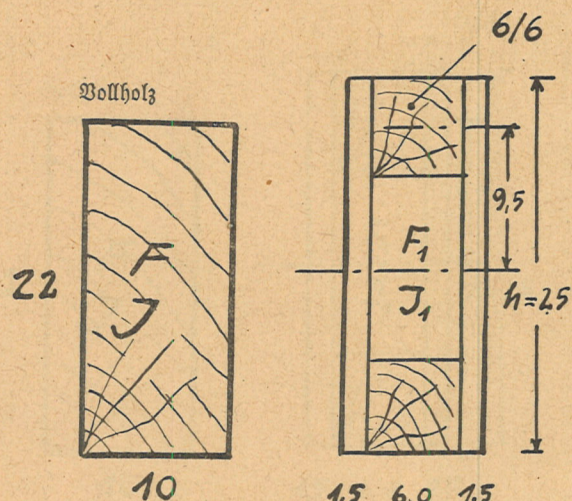


Abb. 11.

Abb. 12.

Hohlballen ohne Gurtbretter.

Vollholz:

$$W = 10 \cdot \frac{22^2}{6} = 807 \text{ cm}^3, F = 220 \text{ cm}^2$$

Hohlballen:

$$F_1 = 0,67 \cdot F = 0,67 \cdot 220 = 147 \text{ cm}^2$$

Beide Träger:

$$M_{zul} = 807 \cdot 100 = 80\,700 \text{ kgcm}, P = 1076 \text{ kg}$$

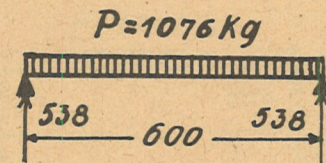


Abb. 13.

$$Q = \frac{4 \cdot M}{l} = \frac{4 \cdot 80\,700}{600} = 538 \text{ kg}$$

Hohlballen:

$$J_1 = W \cdot \frac{h}{2} = \frac{807 \cdot 25}{2} = 10\,088 \text{ cm}^4$$

Statisches Moment eines halben Querschnittes auf die Neutralachse:

$$S_0 = 36 \cdot 9,5 + 12,5 \cdot 3 \cdot \frac{12,5}{2} = 342 + 234 = 576 \text{ cm}^3$$

Somit herrscht im Steg eine Schubspannung

$$\tau = \frac{Q \cdot S_0}{3 \cdot J_1} = \frac{538 \cdot 576}{3 \cdot 10088} = 10 \text{ kg/cm}^2$$

Dagegen entsteht in der Gurt die Schubkraft

$$T = \frac{Q \cdot S}{J_1}$$

Statisches Moment einer Gurt auf die Neutralachse

$$S = 36 \cdot 9,5 = 342 \text{ cm}^3$$

$$T = \frac{538 \cdot 342}{10088} = 18 \text{ kg/cm}$$

Sie soll durch Nägel aufgenommen werden.

Nägel $d = \frac{a}{30} = 2 \text{ mm}$, gewählt wird der Nagel 20/45

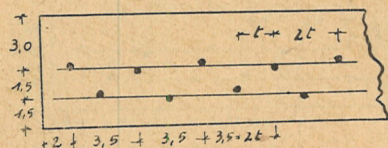
nach DIN 1151/54. Die zul. Belastung eines zweischnittigen Nagels ist

$$N_2 = 800 \cdot 0,2^2 = 800 \cdot 0,04 = 32 \text{ kg}$$

Auf ihn entfällt die Schubkraft $T \cdot t = N_2$. Daraus ergibt sich der Nagelabstand

$$t = \frac{N_2}{T} = \frac{32}{18} = 1,77 \text{ cm in Lagernähe.}$$

Die Nagelteilung 2 t wächst gegen die Mitte auf



$$1,25 \cdot 3,5 = 4,4 \text{ cm}$$

$$1,50 \cdot 3,5 = 5,3 \text{ cm}$$

$$2,00 \cdot 3,5 = 7,0 \text{ cm}$$

$$3,00 \cdot 3,5 = 10,5 \text{ cm}$$

Abb. 14. Gurtanagelung.

Zulässige Gesamtlast $P = 2 \cdot Q = 2 \cdot 538 = 1076 \text{ kg}$

davon ab Eigenlast

60 kg

Nußlast

1016 kg

$$\text{oder } \frac{1016}{6} = 169 \text{ kg/m oder } 1,69 \text{ kg/cm}$$

Nimmt man statt der Nägel aber Leim, so entsteht in den Leimfugen eine Schubspannung:

$$\tau_g = \frac{T}{12} = \frac{18}{12} = 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

Hohlballen mit Gurtplatte 1,5/12.

$$l = 600 \text{ cm}$$

$$\Delta J = 12 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 13,25^2 = 36 \cdot 13,25^2 = 6330 \text{ cm}^4$$

$$J = J_1 + \Delta J = 10088 + 6330$$

$$16418 \text{ cm}^4, W = \frac{16418}{14} = 1175 \text{ cm}^3$$

Anschluß des Gurtbrettes.

$$S = 12 \cdot 1,5 \cdot 13,25 = 238 \text{ cm}^3$$

$$T = Q \cdot \frac{S}{J} = Q \cdot \frac{238}{16418}$$

$$M = p \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} = W \cdot \sigma = W \cdot 100 = 117500 \text{ kgcm}$$

$$Q = p \cdot \frac{l}{2} = \frac{4 \cdot 117500}{l} = \frac{470000}{600} = 783 \text{ kg}$$

$$T = 783 \cdot \frac{238}{16418} = 12 \text{ kg/cm}$$

Nagel $d = 2 \text{ mm}$

Zulässige Belastung von einschnittigen Nägeln.

$$N_1 = 400 \times d^2 = 400 \times 0,2^2 = 16 \text{ kg.}$$

$$t = \frac{N_1}{T} = \frac{16}{12} = 1,33 \text{ cm}$$

3 t = 4 cm Nagelteilung in Lagernähe.

Sie vergrößert sich im 2. Zehntel der Länge auf 3 t = 5 cm

3. " " " " 3 t = 6 "

4. " " " " 3 t = 8 "

5. " " " " 3 t = 12 "

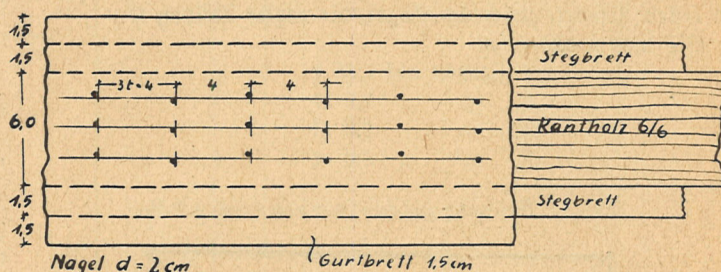


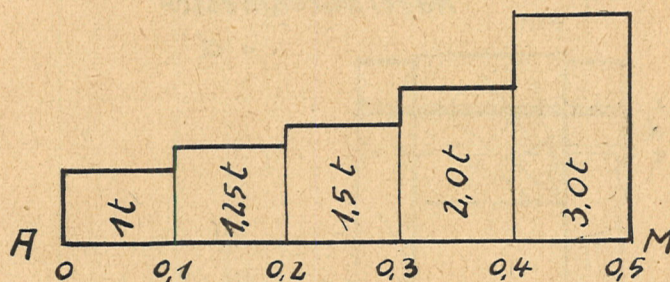
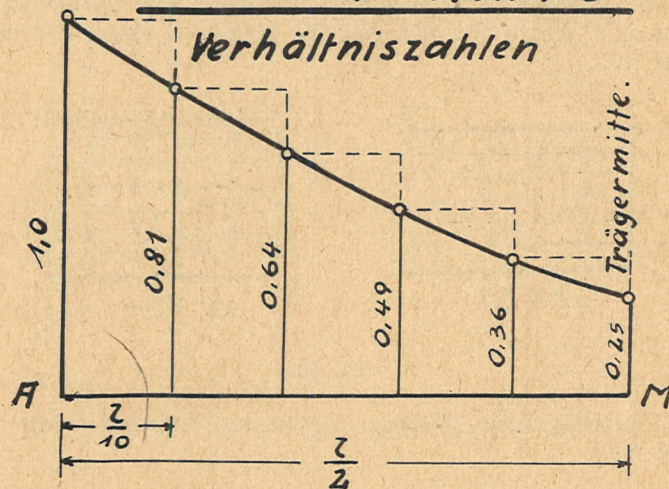
Abb. 15. Draufsicht auf den Hohlballen. Nagelteilung im Gurtbrett.

Das Nagelbild des Hohlballens.

Man braucht einschnittige Nägel zum Anschluß der Gurtbretter. Zum Anschluß der Stegbretter an die Gurt kann man bei kleinen Trägern durchgehende, also zweischnittige Nägel nehmen; sonst muß man zu einschnittigen greifen. Alle Nägel werden von beiden Seiten eingeschlagen.

Alle Nägel sitzen abwechselnd ober- oder unterhalb des Nagelrisses zur Verminderung der Spaltgefahr.

Die Querkraftslinie.



Die Nagelteilung t der Gurt.

Abb. 16.

Der eine zweischnittige oder die beiden einschnittigen Nägel im Gurtholz haben die zulässige Belastung $N = 800 d^2 \text{ kg}$ für d in cm. Sie haben aufzunehmen die Schubkraft T auf die Gurtlänge von t cm. Also ist

$$T \times t = N$$

$$\text{und die Nagelteilung } t = \frac{N}{T} \cdot \text{cm.}$$

Die Nagelteilung t richtet sich nach der Linie der größten Querkkräfte. Sie ist für den Normalfall in Abb. 16 gezeichnet. Teilt man die Stützweite des Balkens in 10 gleiche Teile ein, so braucht man im ersten Zehntel, gleich am Lager, die engste Teilung t .

Sie kann wachsen im

- | | |
|----------------|----------|
| 2. Zehntel auf | 1,25 t |
| 3. " " | 1,5 t |
| 4. " " | 2,0 t |
| 5. " " | 3,0 t |

Abb. 17. Nagelung zwischen Gurt und Steg: 2 Risse.

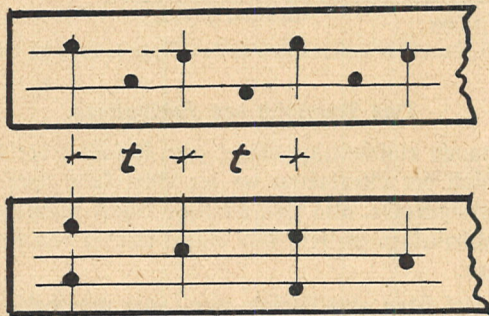


Abb. 18. Nagelung zwischen Gurt und Steg: 3 Risse.

Hat man den Nageldurchmesser d gewählt, so darf t nicht kleiner als $10 \times d$ werden. Ergibt sich rechnerisch ein kleinerer Wert, so greift man zu 2 Nagelrissen nach Abb. 17, oder zu 3 Nagelrissen nach Abb. 18.

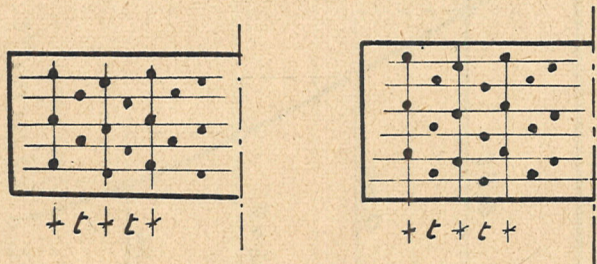


Abb. 19.

Eine Möglichkeit einfacherer und dichter Nagelbilder zeigt die Abb. 19.

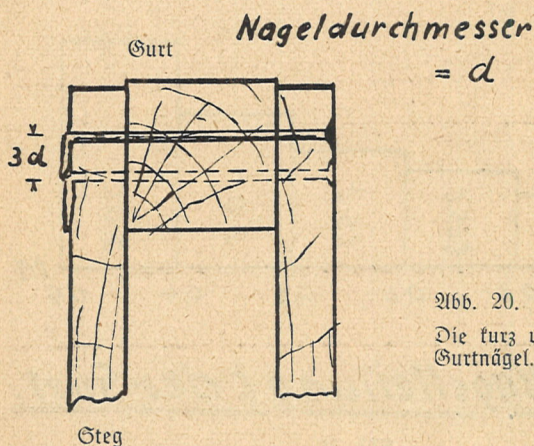


Abb. 20.

Die kurz umgeschlagenen Gurtnägel.

Kann man die durch die Gurt hindurchgehenden zweischnittigen Nägel um 3 d länger als die Summe aller Holzdicken machen, so bringt das scharfe Umschlagen des Nagelendes quer zur Holzfasernach Abb. 20 einen Gewinn an Tragkraft. Der Auszieh Widerstand der Nägel wird dadurch stark vergrößert.

Hohlbalcken und I-Träger im Hausbau.

Wenn man die hier entwickelten Trägerformen mit dem geringsten Holzaufwand z. B. als Deckenbalken verwenden will, so muß beachtet werden, daß ein Auflager für die Holzschwarten und ein Auflager für den Fußboden notwendig wird. Bei Vollhölzern besteht dieses Auflager aus Dachlatten 2,4/4,8 cm, die seitlich ange-nagelt werden. Der Fußboden ruht meist unmittelbar auf dem Balken auf und hat in der Regel eine Dicke von 2,4 cm. Die Konstruktions-höhe von Unterkante Fußboden oder Oberkante Deckenbalken und Oberkante Schwarte beträgt bei der einen Gruppe 17, bei der andern Gruppe 12 cm. Unter Beibehaltung dieser Verhältnisse wurden nun eine Reihe von Deckenbalken entworfen und berechnet, welche die Aufgabe haben, auch in diesem wichtigen Zweige des Bauwesens künftig erheblich Holz einzusparen. Der Achsabstand der Decken-träger wurde zu 65 cm gewählt. Es wurden nun für die schwere, die 17 cm dicke Decke 4 I-Träger und 4 Hohlbalcken entworfen und untersucht, bei denen die Deckenträgerhöhe selbst zwischen 20 und 27 cm schwankt.

Für die 12 cm dicke Decke wurden 2 kleine I-Träger und 2 kleine Hohlbalcken entworfen und geprüft (Abb. 21 und 22).

Bei den I-Trägern mit dem einheitlichen Steg bildet die Unter-gurt die natürliche Auflage für die Schwarten. Es ist daher nicht notwendig, nochmals die Dachlatten von 2,4/4,8 cm wie beim Vollholz anzuwenden. Beim Hohlbalcken hingegen liegt die Unter-gurt innerhalb des Steges und muß die Auflage für die Schwarten durch diese auch beim Vollholz üblichen Dachlatten besonders geschaffen werden. Es ist bei diesem hochwertigen Holzbau selbstverständlich, daß auch die Dachlatten durch richtige Verleimung oder durch rich-tige Vernagelung in die tragende Unter-gurt mit einbezogen werden. Die dadurch entstehende Asymmetrie und ungünstige Verlagerung der Neutralachse des Hohlbalckens wurde z. T. dadurch wieder aus-geglichen, daß die Obergurt des Hohlbalckens wenigstens bei den schweren Decken noch ein Gurtbrett erhielt. Bei allen I-Trägern aber wurde auf Gurtbretter verzichtet, weil schon der Steg und die vier Gurthöhlen ein ausreichend großes Widerstands- und Träg-heitsmoment ergeben.

Da die Nutzlast bei leichten Decken nur mit 200 kg/cm² an-genommen werden muß, nützen alle die gezeichneten kleinen Träger-querschnitte die zugelassene Biegespannung des Nadelholzes von 100 kg/cm² beim gewöhnlichen Bauholz 2. Klasse kaum aus. Es ist daher möglich, für die Gurten auch weniger sorgfältig ausgewähl-tes Holz zu verwenden und in ziemlichem Umfange Waldkante zuzu-lassen. Natürlich muß die Waldkante vom Steg abgewendet sein. Die Festigkeit insbesondere der I-Träger hängt von zweierlei ab:

1. Von der Zerreißeigenschaft der gezogenen Unter-gurt.

Die dafür verwendeten Hölzer dürfen daher in der Trägermitte keine großen Äste oder Astbündel haben. Solche ästigen Latten und Bretter können aber unbedenklich in der Obergurt verwendet werden.

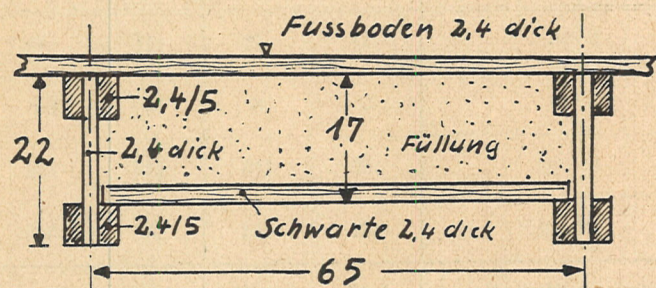
2. Von der Schubfestigkeit der Stegbretter.

Da die Schubspannungen über den Auflagern der Träger am größ-ten sind, dürfen die Bretter an ihren Enden also keine Risse haben und auch sonst keine groben Mängel oder Fehler wie Äste, Schräg-faser, Drehwuchs u. dergl. aufweisen,

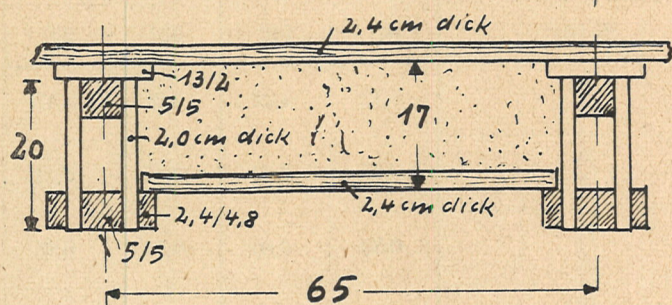
In welcher Weise diese zusammengefügten Deckenträger min-destens über den Auflagern, bei größeren Stützweiten oder Be-lastungen aber auch in den Drittelpunkten ausgesteift werden müssen, geht aus Abb. 23 hervor. Zu den Aussteifungen kann man wieder die Abfälle von den Gurten und von den Stegbrettern ver-wenden.

2 Beispiele : Decke 17cm

I-Träger:

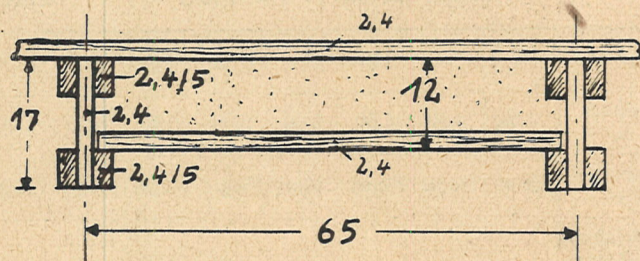


Hohlbalken:

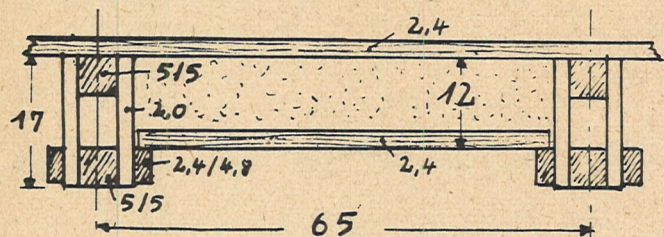


2 Beispiele : Decke 12cm

I-Träger:



Hohlbalken:



$M = 1:10$

Maße in cm

Abb. 21. Zusammengesetzte Deckenträger.

Als Verbindungsmittel nimmt man bei diesen kleinen Holzträgern am besten Kaltleim. Die Hölzer können sägerauh miteinander verleimt werden. Zur Sicherheit wird man in Abständen von 20 bis 30 cm in 2 oder 3 Nagelrissen Klemmnägel schlagen, die bei den I-Trägern zweischnittig, bei den Gurten der Hohlbalken aber einschnittig sein können. Die zweischnittigen Nägel werden hälftig von der einen, hälftig von der anderen Seite eingeschlagen.

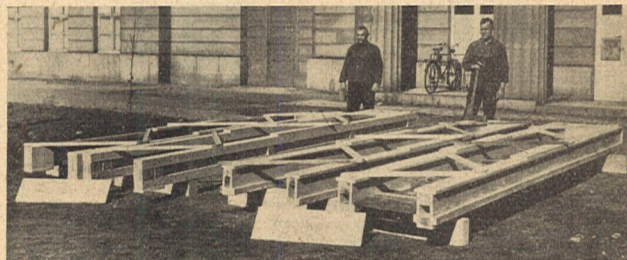


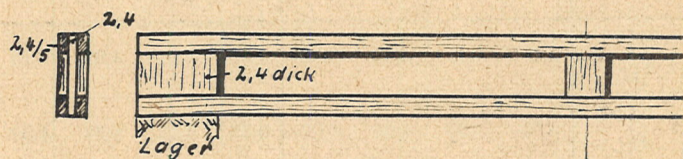
Abb. 22. Versuchs-Deckenbalken aus Hohlbalken oder I-Trägern, paarweise zusammengebaut.

Wenn aus irgendwelchen Gründen Nägel als Verbindungsmittel verwendet werden sollen, dann ist es nötig, diese Nagelung entsprechend der vorgeschriebenen Belastung genau zu berechnen und in Schablonen festzulegen. Für die größte Biegebeanspruchung muß der Träger auf seine ganze Länge die Nutzlast haben. Für die größten Schubkräfte aber ist eine Streckenlast von wechselnder Länge anzunehmen. Es ergibt sich dann als Linie der ungünstigsten Querkräfte die in Abb. 16 gezeichnete Kurve. Teilt man nun den Träger wieder in 10 gleiche Teile ein, so kann die Nagelteilung gegen die Trägermitte in derselben Art weiter werden, wie es im Abschnitt „Nagelbild des Hohlbalkens“ (Abb. 16) entwickelt ist.

Nach unseren Beobachtungen scheint aber die Leimung den Vorzug vor der Nagelung zu verdienen, solange man Leim nimmt, bei dem die Bretter sägerauh bleiben können.

Diese Trägerformen wurden entwickelt in dem Wunsche, auch bei den Deckenbalken des kleinen Hausbaues möglichst viel Holz zu sparen. Die Holzersparnis ergibt sich, wenn man die Querschnittsfläche des Vollholzes F mit der des zusammengesetzten Trägers F_1 vergleicht. In der untenstehenden Liste sind diese Zahlen enthalten. Dort ist aber auch das Verhältnis der beiden Widerstandsmomente $\frac{W_1}{W}$ angegeben. Diejenige Trägerform ist die wirtschaftlichste, verbraucht am wenigsten Holz, welche mit 1 cm² Querschnittsfläche den größten Beitrag zum Widerstandsmoment erbringt, welche also

I Träger:



Hohlbalken:

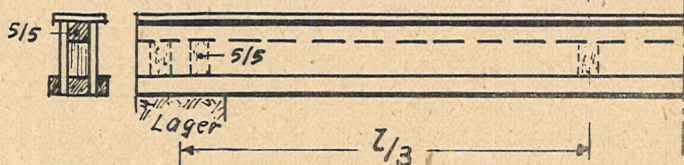


Abb. 23. Die Aussteifungen.

den größten Quotienten ergibt

$$r = \frac{W}{F}$$

Deswegen wurden auch diese Zahlen in die Liste aufgenommen.

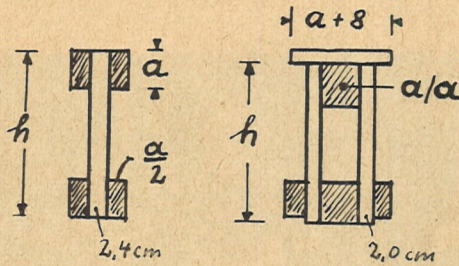


Abb. 24. Die Querschnitte der I-Träger und Hohlballen.

Zusammenstellung der bisherigen Ergebnisse der Prüfung von Hohlballen und I-Trägern für den Hausbau.

Von den in den Listen 4 und 5 aufgeführten Trägern wurden einige geleimte und genagelte leichte und schwere Deckenträger hergestellt und auf unserer dynamischen 50-t-Pressen paarweise geprüft. Die Obergurte wurden durch einen leichten Verband vor dem Ausknicken gesichert (Abb. 22). In den Listen 6 und 7 sind die Bruchlasten und Bruchsicherheiten dieser Trägerpaare zusammengestellt.

Träger für die 17 cm Decke.

Liste 4

Träger	I-Träger (Steg 2,4 cm dick)				Hohlballen (Steg 2,0 cm dick)			
	I	II	III	IV	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
h cm	22	23	25	27	20	21	23	25
a cm	5	6	8	10	5	6	8	10
F ₁ cm	100	127	188	265	179	207	275	359
W ₁ cm ³	518	680	1040	1480	887	1038	1365	1850
Erfas für Vollballen	8/20	14/18	12/24	16/24	14/20	16/20	12/26	20/24
F cm ²	160	252	288	384	280	320	312	480
W cm ³	533	756	1152	1536	933	1067	1352	1920
$\frac{W_1}{F_1}$	5,18	5,35	5,53	5,60	4,96	5,02	4,96	5,15
$\frac{W}{F}$	3,33	3,00	4,00	4,00	3,33	3,33	4,34	4,00
$\frac{F_1}{F}$	0,63	0,51	0,66	0,69	0,64	0,65	0,88	0,75
$\frac{W_1}{W}$	0,97	0,90	0,90	0,97	0,95	0,97	1,01	0,96

Die zusammengesetzten Träger brauchen nur 51 bis 88 % des Holzes wie die gleichwertigen Balken. Am besten schneidet der I-Träger ab.

Träger für die 12 cm Decke.

Liste 5

Träger	I-Träger (Steg 2,4 cm dick)		Hohlballen (Steg 2,0 cm dick)	
	V	VI	H ₅	H ₆
h cm	17	18	17	18
a cm	5	6	5	6/8
F ₁ cm	89	115	141	191
W ₁ cm ³	331	484	452	656
Erfas für Vollballen	8/16	12/16	12/16	10/20
F cm ²	112	192	192	200
W cm ³	341	512	512	667
$\frac{W_1}{F_1}$	3,72	4,22	3,21	3,43
$\frac{W}{F}$	3,05	2,67	2,67	3,34
$\frac{F_1}{F}$	0,80	0,60	0,74	0,95
$\frac{W_1}{W}$	0,97	0,95	0,88	0,98

Die zusammengesetzten Träger brauchen nur 60 bis 95 % des Holzes von den gleichwertigen Balken. Am billigsten ist der I-Träger.

Versuchswerte.

Träger für die 17 cm Decke.

Liste 6

Trägerpaar	IL	IN	IIN	IIN	IIIN	H _{1N}	H _{2N}	H _{3N}
Trägerlänge in m	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00	5,00	5,00	4,50
Verbindungsmittel	Leim	Nägel	Nägel	Nägel	Nägel	Nägel	Nägel	Nägel
zul. Belastung des Trägerpaares P _{zul} in t	1,28	1,28	1,66	1,46	2,22	1,89	2,22	3,36
Statische Bruchlast P _R in t	3,0	2,8	5,33	4,0	6,0	5,7	7,2	7,6
Bruchspannung σ _B in kg/cm ²	236	219	317	276	271	301	325	226
Statische Sicherheit $\frac{P_R}{P_{zul}}$	2,4	2,2	3,2	2,7	2,7	3,0	3,3	2,2
Gewicht eines Trägers in kg	40	43	49	57	64	45	62	85

Träger für die 12 cm Decke.
(Die Hohlbalken haben keine Gurtplatten.)

Liste 7

Trägerpaar	V _L	V _{IL}	H _{5L}	H _{6L}
Trägerlänge in m	5,00	5,00	5,00	5,00
Verbindungsmittel	Leim	Leim	Leim	Leim
zul. Belastung des Trägerpaars P_{zul} in t	0,71	1,09	0,96	1,41
Statische Bruchlast P_B in t	3,4	3,8	4,0	5,2
Bruchspannung σ_B in kg/cm ²	481	348	414	372
Statische Sicherheit $\frac{P_B}{P_{zul}}$	4,8	3,5	4,2	3,7
Gewicht eines Trägers in kg	35	43	44	56

Ein Träger trägt 2,90 m² Deckenfläche bei 4,50 m Trägerlänge.
3,25 m² Deckenfläche bei 5,00 m Trägerlänge.

Die Träger wurden sämtliche aus ziemlich frischem Holz hergestellt (Feuchtigkeit 25—30%), das auch bei den verleimten Trägern sägerauh verarbeitet wurde, ohne ein Austrocknen abzuwarten.

Die Bruchsicherheit lag in keinem Fall unter 2,0. Die verleimten Träger erwiesen sich als besonders gut. Die Bruchsicherheiten schwanken hier zwischen 3,0 und 4,0.

Das Pressen der verleimten Träger mit Zwingen gewährleistet selbstverständlich eine einwandfreie Leimfuge; jedoch haben die Versuche gezeigt, daß auch das Heften mit wenigen Nägeln schon eine ausreichende Tragkraft ergibt. Außerdem waren die verleimten Träger erwartungsgemäß steifer als die genagelten.

Die Versuche bedeuten einen Anfang und werden in der nächsten Zeit systematisch fortgesetzt.

Aber schon jetzt kann man sagen, daß diese zusammengesetzten Deckenbalken einen vollwertigen Ersatz für die heute üblichen Vollhölzer und Balken geben.

Bei diesen Versuchsträgern beträgt die Ersparnis an Bauholz für die Deckenbalken

bei den Hohlbalken bis zu 35 %,
bei den I-Trägern bis zu 40 %.

Wenn man bei den Vollhölzern die notwendigen Dachlatten 2,4/4,8 cm für die Auflage des Streifbodens mit 23 cm² Fläche in den Gesamtquerschnitt einrechnet, wie es bei den Ersatzträgern der Fall ist, so erhöht sich die Holzersparnis noch um weitere 5—10%.

So wie heute die Lage ist, scheint für diese Zwecke des kleinen Hausbaues auch nach diesen Versuchen der verleimte I-Träger der beste Ersatz für das Rantholz zu sein. Der Verzicht auf die Nägel als Verbindungsmittel enthebt den Zimmermann der Notwendigkeit einer eingehenden Berechnung, legt ihm aber die Verpflichtung und Verantwortung einer sorgfältigen Leimarbeit auf.

Damit ist ein Weg gezeigt, wie man nach Kriegsende im Hausbau, vor allem bei den vielen Siedlungen, ganz erheblich Bauholz sparen kann, ohne die Konstruktion zu verschlechtern.

Allgemeines über große Biegeträger.

Mit Hilfe von sägerauen Brettern von mindestens 2 cm Dicke, von Bohlen mit und ohne Waldkante, von Viertel- und Halbbrundhölzern ist es möglich, nicht nur kleinere, sondern auch große weitgespannte Biegeträger für schwerste Lasten herzustellen und dadurch einen Ersatz für jeden gewalzten Stahlträger, ja selbst für die Breitflanschträger, genietete oder geschweißte, aus Stahl, zu schaffen. Man verzichtet aber bei solchen Verhältnissen auf die Hohl-

balkenform und greift besser zum I-Träger mit einheitlichem, schub- und kniefestem Steg (Abb. 26).

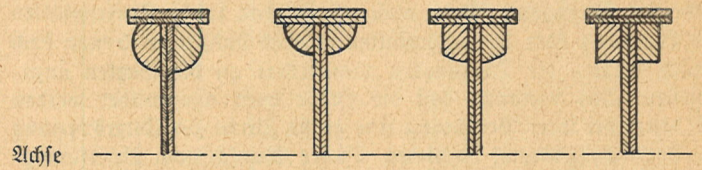


Abb. 26. Einige mögliche Formen von I-Trägern.
Die gezogene Gurt erhält 1 Querbrett mehr als die gedrückte Gurt.

Bei solchen großen I-Trägern paßt man durch mehrere Lagen von Gurtbrettern sich leicht der Momentenfläche an. Das Holz muß nur durch Sägen bearbeitet werden, man erspart also das Hobeln, Fräsen und Bohren, schwächt die tragenden Teile nicht und steigert dadurch wieder die Holzersparnis. Der Steg besteht in der Regel aus zwei oder mehr sich unter einem rechten Winkel kreuzenden Brettlagen, die mit den Gurten einen Winkel von 45° bilden. Es ist aber auch eine flachere Neigung von 30° möglich.

Als Verbindungsmittel kommen wieder wasserfester Leim, Nägel oder Einpreßdübel in Frage. Kommt man bei großen Verhältnissen nicht mehr mit dem Nageln aus, so nimmt man Einpreßdübel oder wasserfesten Leim.

Große Steghöhen erfordern sorgfältige und zahlreiche Aussteifungen. Empfindlich gegen Holzfehler ist nur die gezogene Gurt auf ihrer meist beanspruchten Strecke. Im Steg könnte man sogar Schwarten nehmen; auch die Aussteifungen und gedrückten Gurtbohlen können Waldkante haben. Gegenüber den früher üblichen verdübelten Balken wird auf diese Weise erheblich an Holz gespart und darüber hinaus eine weitere Möglichkeit geschaffen, weitgespannte, schwerbelastete Tragwerke aus Holz zu bauen. Gegenüber dem Stahlbau gelingt es, die Tragkraft im wesentlichen für die Nutzlast freizumachen und nur einen kleinen Teil durch das Eigengewicht des Tragwerkes zu verzehren. Wir haben auf diese Weise aus Brettern und Bohlen I-Träger bis zu 15 m Länge für die schwersten im Straßenverkehr vorkommenden Lasten der DIN 1072 entwickelt. Man braucht dazu nur sägeraue Bretter und Bohlen, eine einwandfreie Konstruktionszeichnung, Kreissägen zum Ablängen der Hölzer — und einen intelligenten Arbeiter, der das vorgeschriebene Nagelbild vielleicht mit Schablone auf das Holz überträgt. Für den Zusammenbau, insbesondere für das Nageln, kann man ungelernete und einige angelernte Arbeiter verwenden. Jede handwerksmäßige Bearbeitung des Holzes entfällt. Die Ersparnis an Holz, an Arbeit, Zeit und Kosten sind erwiesenermaßen bedeutend. Als Biegespannung hatten wir anfänglich 65 kg/cm², später 75, im Nadelholz zugelassen, ohne die Bruchsicherheit zu gefährden. Auf der Zugseite sollte man 75 kg/cm² auf keinen Fall überschreiten, während man auf der Druckseite 100 kg/cm² unbedenklich zulassen kann.

Die Verwendung von Einpreßdübeln verlangt in solchen Fällen starke Rahmen aus Holz oder Stahl, in welchen mehrere billige hydraulische Pressen lagern. Macht man sie fahrbar, dann kann man bequem rasch längere Strecken zusammenpressen. Ein wesentlicher Unterschied der Festigkeit zeigte sich bei den Versuchen mit I-Trägern nicht, wenn man die Stegbretter statt unter 45° unter 30° gegen die Gurt laufen ließ.

Bei richtiger Unterhaltung haben solche Tragwerke eine lange Lebensdauer.

Allgemeines über die Karlsruher Holzfachwerkträger aus Brettern und Bohlen.

Mit 15—20 m wird nach unserer heutigen Meinung etwa die Grenze erreicht, bei welcher sich frei aufliegende Träger mit schweren Lasten als vollwandige I-Träger aus Brettern und Bohlen zweckmäßigerweise bilden lassen. Bei größeren Stützweiten läßt man die Trägerhöhe anwachsen und löst den vollwandigen Steg in einzelne Wandstäbe auf. So entsteht im einfachsten Fall der normale Parallel-Fachwerkträger, bei dem die weit auseinander liegenden Gurten ein

großes Widerstandsmoment und Trägheitsmoment, also damit auch eine große Biegekräft und Steifigkeit bringen. Im Stahlbau stehen für den Anschluß der Diagonalen an die Gurte breitflächige Knotenbleche zur Verfügung. Wenn auch im Holzbau solche Knotenplatten aus Sperrholz oder Holzfasernplatten möglich sind, so wird man doch danach streben, die Diagonalen unmittelbar an die Gurten anzuschließen. Das verlangt, daß die Stäbe breit ausgebildet werden und daher bei ihrer Berührung eine große Fläche zur Unterbringung der Verbindungsmittel darbieten. Dieser Wunsch nach Breitflächigkeit wird begreiflicherweise erfüllt durch Verwendung von Bohlen und Brettern für die Gurt- und die Wandstäbe.

Wir haben hier systematisch eine Reihe von typischen Querschnitten für die Diagonalen und für die Gurten entwickelt, rechnerisch untersucht und auf ihre Tragkraft geprüft (Abb. 27).

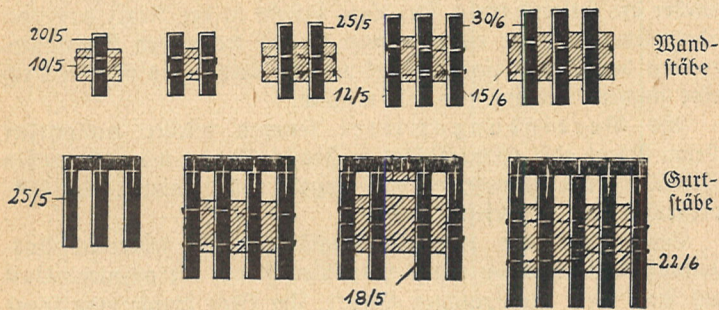


Abb. 27. Querschnittsformen für Fachwerkstäbe aus Brettern und Bohlen.

Vorwiegend gezogene Diagonalen werden ein- oder zweiteilig ausgebildet, vorwiegend gedrückte Diagonalen zwei- oder dreiteilig. Die Gurtstäbe haben 2, 3, 4 und 5 Stege, die auf einer Seite mit einer durchlaufenden Gurtplatte zusammengefaßt werden.

Ein Wandstab ist natürlich um so leichter an eine Gurt anzuschließen, je kleiner seine Stabkraft ist. Die Stabkraft wird aber um so kleiner, je mehr Wandstäbe ein Trägerquerschnitt trifft; denn die Querkraft wird dann von allen geschnittenen Diagonalen aufgenommen. Deswegen wird man zweckmäßigerweise immer Gegenstreben anordnen und bei größeren Fachwerken zu mehrteiligen Tragssystemen greifen. Die dabei entstehende Kreuzung der Streben macht keine Schwierigkeiten, wenn man die Zugstreben ein- oder zweiteilig und die Druckstreben zwei- oder dreiteilig ausbildet (Abb. 28). Die Anordnung von Seiten- und Mittelhölzern gibt den Stäben auf ihrer freien Länge die erforderliche Steifigkeit und erleichtert den Anschluß an die Gurt, da die Hilfsbölzer hier meistens ohne Anschluß enden dürfen.

Die Kreuzung der Wandstäbe.

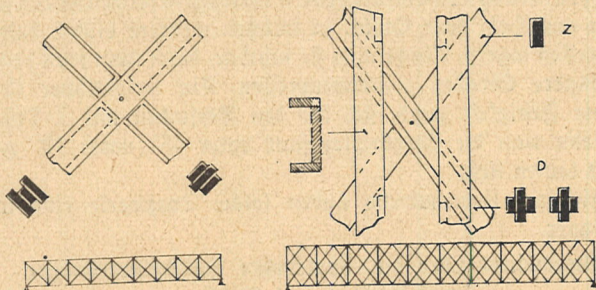


Abb. 28. Zweckmäßige Systeme für Holzfachwerkbauten.

Gerade unter dem Gesichtswinkel der Holzersparris ist es wichtig, darauf hinzuweisen, daß man die erforderliche Steifigkeit, insbesondere bei Druckstäben nicht durch Bindehölzer, sondern durch durchgehende Seiten- und Zwischenhölzer anstreben soll. Denn diese Hilfsbölzer vergrößern den tragenden Querschnitt, erhöhen also die Trag-

kräft und vermindern den Holzaufwand gegenüber Stäben mit Bindehölzern ganz erheblich.

Bei zweiteiligen Druckstäben ist es üblich, den Abstand der Bindehölzer so zu wählen, daß der Schlankheitsgrad λ_1 des Einzelstabes zwischen den Bindungen nicht größer wird als die Schlankheit λ des ganzen Stabes. Macht man den Abstand größer, so fällt die Tragkraft bei schlanken Stäben rasch, bei gedrunenen Druckstäben langsamer ab. Rückt man die beiden Einzelstäbe auseinander, setzt aber dabei die Bindehölzer immer enger, so daß $\lambda_1 = \lambda$ bleibt, so wächst dadurch beim schlanken Druckstab die Tragkraft rasch an, während bei gedrunenen Stäben der Gewinn bescheiden bleibt. Je enger dabei die Bindehölzer liegen müssen, desto wirtschaftlicher wird es, den Stab mit 1 oder 2 durchgehenden Stegen zu versehen, in denen das Holz immer doppelten Vorteil bringt: Erhöhung des Querschnittes und Verkleinerung der Schlankheit oder Knickgefahr.

Da die Gurten aus Brettern und Bohlen in lotrechten Ebenen eine große Biegefestigkeit haben, ist es nicht unbedingt nötig, alle Fachwerkstabachsen im Knotenpunkt zentrisch zusammenzuführen. Daß dies aber auch bei größeren Verhältnissen möglich ist, zeigen einige hier ausgeführte Konstruktionen.

Wir haben hier in der letzten Zeit Straßenbrücken für den schwersten Verkehr bearbeitet, bei denen Längs- und Querträger und die beiden Hauptträger nur aus Brettern, Bohlen und Nägeln bestehen. Ein Großteil der Nägel kann in vielen Fällen durch richtige Einpreßdübel ersetzt werden, durch welche das Holz geschont und die Arbeit bei richtiger Vorrichtung beschleunigt wird. Beim Fachwerkknoten empfiehlt sich schon für die Anfuhr die zusätzliche Verwendung einiger weniger Klemmbolzen, welche nachgezogen werden können.

Durch solche zweckmäßige Anordnung von Brettern und Bohlen zu Fachwerken kann man wieder zu den einfachsten Verbindungsmitteln, wie Nägel, Leim, Einpreßdübel greifen und dadurch jede Holzverarbeitung außer dem Ablängen ersparen.

Für die Seiten- und Mittelhölzer der Fachwerkstäbe kann man große Baumfanten zulassen. Die anschließenden Teile der Zugstäbe müssen jedoch scharfkantig und ohne große Fehler sein.

Die laufenden Versuche mit statischer und dynamischer Belastung aus Brettern und Bohlen zusammengesetzter Fachwerkbrücken in natürlicher Größe unter den eigenartigen Anlagen unserer Versuchsanstalt haben die Richtigkeit unserer Annahmen für die Berechnung und für die konstruktive Durchbildung solcher Tragwerke bestätigt, und uns ermutigt, immer größere Aufgaben in Angriff zu nehmen.

*

Wichtiger als jede Überlegung, theoretische Betrachtung oder Rechnung ist die Naturbeobachtung. Wir haben uns dazu die Möglichkeit durch die Entwicklung eigenartiger Prüfanlagen geschaffen, unter denen beliebig große Tragwerke bis zum Bruch statisch und dynamisch belastet werden können. Nach Ausnützung dieser Möglichkeiten wurden der Fachwelt keine theoretischen Vorschläge, sondern das Ergebnis erprobter Arbeit an der Entwicklung eines hochwertigen Holzbaues unterbreitet.

Damit diese Erkenntnisse über weite Kreise des Bauwesens sich verbreiten, wurden hier trotz der Frontnähe und Ungunst der Zeit durch Vermittlung des Reichsunterrichtsministers und Unterstützung des Reichsforstmeisters Lehrgänge über hochwertigen Holzbau für einen großen Kreis all der Lehrer Großdeutschlands abgehalten, welche den technischen Nachwuchs auszubilden haben. Erst wenn die hier entwickelten Grundsätze und Methoden auch in die breite Schicht des deutschen Zimmerhandwerks eingedrungen sein werden und sich überall fortschrittlich eingestellte Meister diesem Holzbau zuwenden, wird unsere Arbeit den Nutzen für unser Bauwesen und damit für die deutsche Wirtschaft bringen, den wir alle wünschen und nötig haben.

Bisherige Veröffentlichungen von Arbeiten der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen der Techn. Hochschule Karlsruhe

- Gaber und Christians, Vergleichende Untersuchungen an Vollholz und Sperrholz aus Okumé, Zeitschrift „Maschinenbau“, Techn. Teil: Der Betrieb, 1929, Heft 12 und 13.
- Gaber, Versuche über die Schubfestigkeit von Holz, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1929, Nr. 26.
- Gaber, Festigkeitseigenschaften von Schwarzwaldhölzern, „Bauingenieur“ 1930, Heft 35.
- Andersen, Untersuchungen über Bolzenverbindungen in Holzkonstruktionen. Dissertation Karlsruhe, erschienen in „Die Bautechnik“ 1931.
- Gaber und Hoeffgen, Versuche über die Festigkeit von rot- und weißkernigem Rotbuchenholz, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1931, Nr. 14.
- Gaber und Hoeffgen, Prüfung der Festigkeit von Sperrholzleimen, „Die Holzindustrie“ 1932, Heft 24 und 25.
- Gaber, Abbindezeit und Festigkeit verschiedener Leime, „Die Holzindustrie“ 1933, Heft 33.
- Gaber, Untersuchung badischer Nadelhölzer, Bericht über die Holztagung 1933 des Fachausschusses für Holzfragen.
- Gaber, Untersuchungen über Nägel und genagelte Bohlenträger, Bericht über die Holztagung 1933 des Fachausschusses für Holzfragen.
- Kraemer, Untersuchungen über den Aufbau und die Verleimung von Sperrholz im Hinblick auf die Verbesserung seiner Eigenschaften als Flugzeugbaustoff. Dissertation Karlsruhe 1934.
- Gaber, Hochwertiges Holz für neuzeitlichen Holzbau, „Deutscher Holz-Anzeiger“ 1934, Nr. 229.
- Gaber, Versuche an hölzernen Leitungsmasten, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1934, Nr. 48.
- Heft 3 der Mitteilungen der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen: Gaber, Statische und dynamische Versuche mit Nagelverbindungen. Karlsruhe 1935.
- Gaber, Die Prüfung von Bauholz, „Internationaler Holzmarkt“, Wien.
- Roth, Philipp, Dauerbeanspruchung von Eichenholz- und von Tannenholz-Prismen in Faserrichtung durch konstante und durch wechselnde Druckkräfte und Dauerbiegebeanspruchung von Tannenholzbalken. Dissertation Karlsruhe. Karlsruhe 1935.
- Gaber, Prüfung und Beurteilung von Bauholz, Zentralblatt der Bauverwaltung 1935, Heft 5.
- Gaber, Genagelte Holzkonstruktionen für Hoch- und Brückenbau, „Der Deutsche Zimmermeister“ 1935, Heft 51/52.
- Gaber, Genagelte Holzkonstruktionen für den Hoch- und Brückenbau, „Der Holzmarkt“ 1935, Nr. 299.
- Gaber, Die Einrichtung der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen an der Technischen Hochschule Karlsruhe und ihre Versuchsarbeiten auf dem Gebiet des Holzbaues, „Der Deutsche Zimmermeister“ 1936, Heft 2.
20. Gaber, Der Einfluß von Fehlern auf die Holzfestigkeit nach Versuch und Rechnung, „Die Bautechnik“ 1936, Heft 5.
21. Gaber, Alte und neue Einpreßdübel, „Die Bautechnik“ 1936, Heft 50.
22. Gaber, Nägel, Leim und Einpreßdübel, „Der Deutsche Zimmermeister“ 1936, Heft 30/31.
23. Heft 5 der Mitteilungen der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen: Gaber, Ein Gütevergleich zwischen deutschen und ausländischen Weichhölzern. Karlsruhe 1937.
24. Gaber, Erhöhung der Tragkraft eines rechteckigen Balkens durch Querschnittsverminderung nach Rechnung und Versuch, Zentralblatt der Bauverwaltung 1937, Heft 12.
25. Gaber, Der Verlust an Tragkraft hölzerner Balken bei gleichzeitigem Vorhandensein mehrerer Holzfehler, „Die Bautechnik“ 1937, Heft 35.
26. Gaber, Neuere Versuche über konstruktive Vereinfachung im Holzbau, „Die Bautechnik“ 1937, Heft 39.
27. Gaber, Kritische Betrachtung der Holzbauvorschriften, „Der Bauingenieur“ 1937, Heft 45/46.
28. Gaber, Eigenschaften und Bewertung von in- und ausländischem Nadelholz, „Holz als Roh- und Werkstoff“ 1937, Heft 3.
29. Gaber, Folgerungen aus den neuen Gütevorschriften für Bauholz, „Der Deutsche Zimmermeister“ 1938, Heft 3.
30. Gaber, Zusammengesetzte Holzbiegeträger als Ersatz für Stahlträger im Hoch- und Brückenbau, „Bauwelt“ 1938, Heft 9.
31. Gaber, Zusammengesetzte Holzbiegeträger als Ersatz für Stahlträger im Hoch- und Brückenbau, Mitteilungen Nr. 21 des Fachausschusses für Holzfragen. 1938.
32. Gaber, Ersparnis von Holz und Stahl durch den neuzeitlichen Holzbau, „Die Bautechnik“ 1938, Heft 33.
33. Gaber, Arbeiter auf dem Gebiet Holz der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen an der Technischen Hochschule in Karlsruhe, „Internationaler Holzmarkt“ 1938, Nr. 38/39.
34. Gaber, Neuere Arbeiten über Holz und Holzbau in der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen (Prüfraum Gaber) der Technischen Hochschule Karlsruhe, „Der Deutsche Zimmermeister“ 1938, Heft 47.
35. Gaber, Einige Möglichkeiten für die Beschränkung des Verbrauches von Holz im Bauwesen, „Forstliche Hochschulwoche 1938, Freiburg“.
36. Gaber, Ein Beitrag zur Holzersparnis durch Verwendung von Holzbalken, „Der Deutsche Zimmermeister“ 1939, Heft 41—42.
37. Gaber, Vorschläge zur sparsamen Verwendung des Bauholzes, „Internationaler Holzmarkt“ 1939, Nr. 34.
38. Heiden, Holzprüfung durch Stempelschlag. Ein Beitrag zur zerstörungsfreien Holzprüfung. Dissertation Karlsruhe 1939.
39. Sparsame Holzträger, Mitteilungsheft 27 des d. Fachausschusses für Holzfragen. VDI Verlag 1940.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten

Druck: Südwestdeutsche Druck- und Verlagsgesellschaft, Karlsruhe a. Rh.