Versuchen von Lang ergab sich die Tragfähigkeit = 85- 95 % gleich grosser Vollbalken ( Rasch herstellbar ; geeignet für Brücken von kurzer Dauer, bei guter Ueberwachung; dann aber auch bei Verwendung von grünem Holz ).

Verzahnung ( meist nur bei 2 Balken ; schwierig exact herzustellen ; evtl. Hartholzkeile oder dünne Eisenkeile zwischen den Zahnstirnen ( zum Regulieren ). Selten mehr angewendet.

Im Mittelteil m, wo die Schubkraft positiv und negativ sein kann, müsste dieselbe in der einen Richtung durch die Reibung übertragen werden, da hier die Zahnstirnen verkehrt gegen die Kraftrichtung steht. ( oder Flachzähne (b)

Auf einen Zahn trifft $S_1 = \tau e$ ( $= \frac{\beta Q}{h} \cdot e$ )

1.) $S_1 \leqq b \sigma K''$ ;

2.) $S_1 \leqq b e t$

$\sigma$: e = t : K'' für den Fall gleicher Sicherheit gegen Druck und Zug, was nicht gerade nötig ist. Bei schiefer Faserrichtung kommt nur die Länge e, bezügl. des Abscherens in Betracht. Zur Sicherheit nehme man t schätzungsweise geringer an. ( Ueberstand am Lager gegen Anfäulen, Schwindnisse etc. )

$\delta \geq S_1 : b\,K''$ ; $e \geq S_1 : bt$

$\delta \geq \frac{\beta Q}{bh\,K''}$ ; Aus $S_1 \leq b\,e\,t$ bew, $\frac{\beta Q\,e}{h} \leq b\,e\,t$ folgt ,

da e aus der Gleichung herausfällt, dass durch Aenderung der Zahnlänge die Widerstandsfähigkeit gegen Abscheren nicht geändert werden kann . Man erhält die Gleichung :

$b\,h \geq \frac{\beta Q}{t}$ wie beim Vollbalken, $b \geq \frac{\beta Q}{ht}$ ,

dabei zwei Einzelbalken $b_1 \geq \frac{\beta 0{,}5\,Q}{h_1 t}$, bezw. $\geq \frac{\beta Q}{2\,h_1 t}$

und $2\,h_1 t_1$ grösser ist als $h\,t$ beim verzahnten Balken ( es ist sowohl $2\,h_1 > h$ und $t_1 > t$ ) so muss letzterer breiter gemacht werden ; bezw. die Tragkraft desselben ist geringer als die von zwei Einzelbalken in allen den Fällen, wo die Schubbeanspruchung hierfür massgebend ist. Je grösser e, desto grösser wird die Zahnhöhe $\delta$ , desto kleiner wird h ($= 2\,h_1 - \delta$) und auch dementsprechend die Tragfähigkeit gegen Biegen .

Die Schrauben sind grundsätzlich nicht ( bei exacter Ausführung ) erforderlich, da die $S_1$ direkt in den gleichen Horizontalen wirken . Sie dienen gegen Zufälligkeiten ; durch ihre Pressung erzeugen sie Reibung und entlasten die Zähne.

( Nach den Versuchen von Bock wurde die künstliche Reibung bei der Belastung aufgehoben, die Bolzen wurden spannungslos . Der Verbundbalken trug nicht mehr als wie drei Einzelbalken.

Minderung der Gesamthöhe des verzahnten Balkens durch das Einschneiden der Zähne : $h = 2\,h_1 - \delta$ ( Nachteil gegenüber den verdübelten Balken, wo $h = 2\,h_1 + \Delta$ .)

Die Zähne werden durch die Druckspannungen K" zusammen - gedrückt ( unddurch die Schubspannung verschoben ) sodass die beiden Balken sich gegenseitig merkbar verschieben. Die Widerstandsfähigkeit des verzahnten Balkens ist infol - gedessen geringer als die des Vollbalkensgleicher Höhe . Auf Grund ( der Erfahrung ) von Versuchen gestattet die österreichische Brückenverordnung 1904 nur 80 % ( bei 2 Balken ) und 60 % ( 3 Balken ) der Traglast eines Voll - balkens ( K nur = 0,6 - 0,8 K ). Verzahnte Balken sind statisch unbestimmt, man kann sie daher künstlich spannen und ihnen eine Anfangsspannung geben ; ist dieselbe $= -\frac{1}{2}\sigma_m$ bei Vollbelastung ( und demselben entgegen - gesetzt ), so wird bei Vollbelastung $\sigma = \sigma_m - \frac{1}{2}\sigma_m = \frac{1}{2}\sigma_m$ Hiernach würde die Tragfähigkeit auf das Doppelte erhöht , wenn nicht der Effekt durch das nachträgliche Zusammen - pressen der Zähne verringert würde ( die anfängliche Ueber- höhung geht z.T. zurück,) doch könnte dies dadurch aus - geglichen werden, dass man anfänglich stärker überhöhte und grössere Anfangsspannungen als $-\frac{\sigma_m}{2}$ erzeugte . Gleichzeitig mit der Minderung der $\sigma$ tritt aber eine Er - höhung der Schubspannung $\tau$ auf. Dieselbe hat bei der künstlichen Anfangsspannung die gleiche Richtung wie bei der Belastung. Man hat daher bei Vollbelastung eine Schub- spannung von $\frac{\tau}{2} + \tau = 1{,}5\,\tau$ ; d.h. durch die Ueberhöhung wird zwar $\sigma$ auf $\frac{\sigma}{2}$ gemindert, die Schubspannung jedoch auf $1{,}5\,\tau$ erhöht. Da nun bei den verzahnten Balken meist die Schubspannung das Gefährlichere ist ( geringe Schlank- heit $\frac{l}{h}$ ), so wird durch das künstliche Sprengen die Tragkraft des verzahnten Balkens gemindert. Auch die Ver - suche sprechen gegen das " Sprengen " .

Da beim verzahnten Balken t geringer anzunehmen ist als beim Vollbalken, so verschiebt sich die früher angegebene Grenze von $\frac{l}{h}$ = 10 weiter nachn oben, etwa auf 12 bis 15.

Infolge der gegenseitigen Verschiebung der Balken wird nicht nur die Tragfähigkeit gemindert, sondern auch im gleichen Verhältnis der Zahndruck, $S_1$ . Es wird dies jedoch bei der Berechnung der Zahndimensionen nicht berücksichtigt. Melan empfiehlt für K" nur 0,5 - 0,75 seines normalen Wertes (Würfelfestigkeit) zu nehmen, was jedoch unnötig nieder erscheint. Die Gefahr liegt nicht im "Zerdrücken", sondern im Abscheren der Zähne.

Bei "Flachzähnen" wird (gegenüber "Spitzzähnen") nur die halbe Länge bezüglich des Scherwiderstands ausgenützt. Dieselben sind daher nur bei sehr schlanken Balken brauchbar (und im mittleren Balkenteil, wo Q klein ist und abwechselnd positiv und negativ ist.)

Verdübelte Balken.

Dübelarten, wie S. ... angegeben; in der Regel Querdübel (selten Scheiben- oder Ringdübel). Hartholz, am besten mit Längsfaser ∥ Balkenachse(wegen geringerer Zusammendrückung), parallele oder geneigte Dübel; bei letzteren wird der Scherwiderstand der Balken nicht gemindert (ähnlich wie bei Verzahnung). Die Paralleldübel evtl. als einfache oder doppelte Keile angeordnet, zum Regulieren. Gefahr der Ueberanstrengung der Scherflächen durch allzu starkes Eintreiben der Keile. Damit die Keile von der Schraubenquerpressung entlastet

sind und demgemäss leichter einzutreiben sind, werden Futterhölzer an den Schraubenstellen eingelegt, die die Querpressung aufnehmen. Durch die hier entstehende Reibung $R = \mu Z = \frac{\mu \pi d^2 \sigma'}{4}$ werden die Dübel entlastet, sofern sie nicht infolge von Querschwinden verschwindet. Legen der Balken mit Zwischenräumen $\delta$, wodurch das Trägheitsmoment (Widerstandsmoment) bezw. der Biegungswiderstand vergrössert wird. (Evtl. Ausfüllen mit imprägnierten Brettchen gegen Fäulnisgefahr.)

Bei den Klötzelholz-Brücken (Oesterreich) werden hohe Dübel (= Klötzel) verwendet $h_2 = 0{,}9 - 1{,}2\ h$, und evtl. mit je zwei Schrauben gegen Umkippen gesichert.

Eiserne Dübel schwächen wegen ihrer geringen Breite im Holz den Scherwiderstand weniger als hölzerne. Paralleldübel. Selten mehr als drei Balken, da sonst zu grosser Holzverbrauch. Nachgiebigkeit der Dübelverbindung wegen lokaler Deformation und daher merkbar geringere Widerstandsfähigkeit wie Vollbalken von gleich grossem $W = J : \frac{h}{2}$. Die oesterreichische Brückenverordnung gestattet nur 70 % (2 Balken) bezw. 50 % (3 Balken) der Traglast des entsprechenden Vollträgers.(weniger als bei Verzahnung mit 80 und 60 %).

Bei der Berechnung der Dübelverbindung sieht man von der Minderung der zu übertragenden Scherkräfte (infolge der Nachgiebigkeit der Verbindung) ab und rechnet dementsprechend für einen Dübel die Kraft $S_1 = b\,\tau\,e = \frac{\beta Q\,e}{h}$.

1.) $S_1 = b\,\sigma\,.\,J\;;\; J = S_1 : b\,\sigma \leqq K''$ (Dübeldruckspannung)

$$= \frac{\beta Q\,e}{h} : b\,\sigma$$

(Die Querfaserdübel der Versuche von Book waren stark überansprucht (K" = 80) angenommen; hieraus erklärt sich die geringe Tragfähigkeit der betr. Verbundbalken.)
Je nachdem ist für K" zu setzen die Druckfestigkeit ∥ Faser Balkenholz (Nadel) (8o kg) oder die Druckfestigkeit ⊥ Faser Hartholzdübel mit Querfaserrichtung (35 kg).

2.) $S_1 = b\,a\,\bar{\tau}\;;\; \bar{\tau} = S_1 : b\,a = \frac{\beta Q\,e}{h\,b\,a} \leqq t_1$ (Dübelscherspannung

je nachdem ist zu setzen für $t_1$ Hartholz ∥ (ausnahmsweise ⊥) oder Eisen (12,5).
S verteilt sich ungleich über die Scherfläche. Nach den Betrachtungen Seite .... ist max $\tau = 1{,}5$ mittleres $\bar{\tau}$. Die-

ser Umstand dürfte jedoch schon in den Zahlen der Festigkeitsversuche zum Ausdruck gekommen sein und daher nicht weiter in Betracht zu ziehen sein.

Die Strecke e – a liegt jeweils <u>hinter</u> dem Dübel.

Am <u>Ende</u> muss der <u>Ueberstand</u> des unteren Balkens sein :

$$c_o = \beta \frac{Q_o \, e_o}{h \, b \, t}$$

Evtl. besonderer Schutzb durch Vernageln(Verbolzen) des Ueberstandesöweniger tiefes Einschneiden des Enddübels als $\delta_o < \delta$, unten, dagegen $\delta_o > \delta$, oben.

3.) $S_1 = b(e - a)\,\bar{\tau}$ ; $\bar{\tau} = \frac{S_1}{b(e-a)} = \beta \frac{Q\,e}{h\,b\,e-a} \leqq t_1$ (Scherbeanspruchung)

des Balkens ∥ Faser. Vorsicht bei Bemessung von t wegen etwaiger Schwindspannungen, etwaiger schiefer Faserung und unvorsichtigen Keilnachtreibens.(Normal t = 10 kg/qcm bei Nadelholz; mit Rücksicht auf die schiefe Faserung, Schwindspannungen Reduktion evtl. bis t = 5 ).

4.) Das Kippmoment der 2 auf die Dübel wirkenden Druckkräfte $S_1$ ist $M_k = S_1 (\vartheta - \delta)$; dem entgegen wird das Reibungskippmoment $M_r = R_1 \, a \leqq \mu S_1 \, a$

Für $M_k > M_r$ muss der Ueberschuss $M = M_k - M_r$ durch Querdruckspannungen aufgenommen werden.

$$M = \frac{a}{2} \sigma_o \cdot b \cdot \frac{a}{3} = \frac{b\,a^2}{6} \sigma_o \; ; \; \sigma_o = \frac{6\,M}{b\,a^2}$$ ( muss kleiner als $K''_{\perp}$ sein, d.h. $\leqq$ 12 kg)

Zur Aufnahme dieser Spannungen $\xi$ dienen die Schraubenbolzen. Bei eisernen Dübeln ist $\mu$ und daher auf $M_r$ geringer als bei Holzdübeln; ihr Kippbestreben daher grösser (insbesondere wenn bei Holz Hirnholz auf Hirnholz drückt). Im allgemeinen wird sich $a$ aus Gleichung (4) $= \sqrt{\frac{6\,M}{b\,K''}}$ kleiner ergeben als aus Gleichung (2) $a = S_1 : b\,t$, sodass dann Gleichung (4) für die Dimensionierung ohne Belang ist.

Für die Dübeldimensionen folgt aus Gleichung (1) bei gegebener Dübelentfernung e

5.) $\sigma \leq \frac{\beta\,Q\,e}{h\,b\,K''}$ bezw. $e = \frac{\sigma\,b\,h\,K''}{\beta\,Q}$

aus Division von Gleichung (1) und (2) folgt :

6.) $a : \sigma = J : \tau$; bei gleicher Sicherheit $a : \sigma = K'' : t_1$

für K" = 80 (Nadel) und $t_1$ = 12,5 (Eichen) folgt $a : \sigma = \frac{80}{12,5} =$

$= 6,4$

für K" = 80 (Nadel) und $t_1$ = 10 (Tanne) folgt $a : \sigma = 8$

Aus (2) und (3) folgt $b\,a\,t_1 = b(e - a)\,t_1$ bei gleicher Sicherheit, woraus :

7.) $a : e = t : (t + t_1)$

Dies in Gleichung (2) eingesetzt gibt :

8.) $hb \leq \beta Q \left(\frac{1}{t} + \frac{1}{t_1}\right)$

also unabhängig von den Dübeldimensionen und der Dübelentfernung. Für den vollen Balken war Seite ..... erhalten worden :

$8_a$) $bh \leq \beta Q : t$ .

Ist vorstehende Gleichung erfüllt, so kann man die angemessen wählen ( etwa zwischen $\frac{1}{5}$ $h_1$ und $\frac{1}{15}$ $h_1$) und dann mit Hilfe von Gleichung (5) die Teilung e bestimmen oder umgekehrt.

(Nachfolgend graphisches Verfahren zur Bestimmung von e bei konstantem $\sigma$ ).

Schwächt den Balken in der Mitte bezüglich seiner Biegungsfestigkeit. Es ist besser, e konstant halten und die Einschnittstiefe zu verringern.

Aus der Biegungsgleichung $\sigma = M : \frac{b\,h^2}{6} \leqq K_r$ (=reduzierte zulässige Spannung wegen Nachgiebigkeit der Dübelverbindung) folgt :

9.) $bh \geqq 6\,M : h\,K_r$

Die Grenzlänge, bei welcher Gleichung (8) (Scherbedingung) und Gleichung (9) (Biegbedingung) gleichen Querschnitt bh ergeben, folgt aus

$$\beta Q \left(\frac{1}{t} + \frac{1}{t_1}\right) = \frac{6\,M}{h\,K_r} \quad \text{oder} \quad \frac{6\,M}{\beta Q h} = \frac{K_r}{t} + \frac{K_r}{t_1}$$

bei 2 Balken, wo

$$\beta = 1{,}5 : \frac{4\,M}{Q\,h} = \frac{K_r}{t} + \frac{K_r}{t_1} = \varphi\left(\frac{K}{t} + \frac{K}{t_1}\right)$$

wo $\varphi$ der Reduktionskoeffizient, z.B. = 0,7 nach der Oesterr-Verordnung.

Für gleichmässige Belastung ist :

$$M = \frac{p\,\ell^2}{8}\,,\quad Q = \frac{p\,\ell}{2}\,,\quad \frac{M}{Q} = \frac{\ell}{4}$$

somit :

$$\frac{4\cdot\ell}{4\,h} = 0{,}7\left(\frac{K}{t} + \frac{K}{t_1}\right) = 0{,}7\,\frac{100}{10} + \frac{100}{12{,}5} =$$

$$= \frac{\ell}{h} = 0{,}7\,.\,18 = 12{,}6\ \text{m}\,.$$

Die Grenzlänge $\bar{\ell}$ (= 12,6 h) ist hiernach grösser als beim Vollbalken (nach Seite .... $\ell$ = 10 h). Unterhalb $\bar{\ell}$ ist Gleichung (8) (Scherbedingung) für die Dimensionierung (Querschnittsgrösse F = bh) massgebend. Sind Schraubenbolzen in je r m Entfernung vorhanden, die eine Reibungskraft $R = \mu Z = \frac{\mu\pi d^2}{4}\sigma'$ (bis zu $0{,}5\,.\,\frac{\pi d^2}{4}\,.\,1000 = 500\,.\,\frac{\pi d^2}{4}$) entwickeln können, auf diese Reibung darf bei Dauerbauten nicht gerechnet werden, so werden die (ausserhalb der Schrauben liegenden) Dübel entsprechend entlastet. Auf einen Dübel ist nicht mehr $S_1 = \frac{\beta Q\,e}{h}$, sondern nur $S_1 = \left(\frac{\beta Q}{h} - \frac{R}{r}\right) e$ wirksam. In den früheren Formeln ist jetzt $Q - \frac{Rh}{\beta r}$ statt Q einzuführen. Für $R \geq \frac{\beta Q\,r}{h}$ hätten die Dübel keine Kraft zu übertragen, sie wären unnötig. Die Scherkräfte würden vollständig durch die Reibung übertragen.

Rundholz ist für verdübelte Balken im allgemeinen weniger geeignet (die Grenzlänge $\bar{\ell}$ liegt höher), da die Breite der Schubfläche und die Grösse der Dübel-Druckfläche geringer sind als bei Kantholz; ausserdem kommt gerade bei den am stärksten in Anspruch genommenen Stellen das schwächere Splintholz zur Wirkung.

(Melan setzt entsprechend der Reduktion des Widerstandsmomentes infolge des Verschiebens (siehe Seite ...) die reduzierte zulässige Spannung

$$K_r = K - \frac{n-1}{2n} \cdot \Delta\sigma = K - \frac{n-1}{2n} \cdot \beta J ,$$

$$(= K - \frac{\beta J}{4} \quad \text{für } n = 2 \; ; \; K_r = K - \frac{\beta J}{3} \quad \text{für } n = 3 )$$

d.h. er nimmt den Spannungsabfall $\Delta\sigma$ an den Fugen proportional der Dübeldruckspannung J an. Er setzt dabei, unter Benutzung der Versuchsergebnisse von Bock

$\beta$ = 2 für verzahnte Träger und Längsdübelträger in guter Ausführung
$\beta$ = 3 für Klötzelholzbrücken " " " " "
$\beta$ = 3 – 5 für Träger mit Querdübeln " " " "

J soll = 0,4 – 0,6 K
J " = 0,6 K
J " = 0,3 K

Die Konstanten von Melan beruhen jeweils immer nut auf einem Versuch, haben daher keine allgemeine Bedeutung.

Die Melan'sche Formel ergibt $K_r = 0$ für $J = K \frac{2n}{(n-1)\beta}$, was unmöglich ist, da ja der Mindestwert von $K_r$ (abgesehen von der Schwächung durch die Dübeleinschnitte) = $\frac{K}{n}$ ist, entsprechend der Minderung des Gesamtwiderstandsmomentes auf die Summe der n Einzelwiderstandsmomente. Ferner ist der Dübeldruck J nicht allein massgebend (verantwortlich) für die Grösse der gegenseitigen Verschiebung, sondern auch der Schubspannungen, der Druckspannungen quer zur Balkenfaser, bezw. das Kippen und Biegspannungen. Insbesondere sind einige der Bock'schen Träger durch Abscheren der Balken // Faser zu Grunde gegangen. Es kommt daher bezüglich der Tragfähigkeit der verdübelten Balken nicht sowohl die Höhe

der Zahndruckspannung als die der Scherspannung in Frage. Auch ist dem Umstand keine Rechnung getragen, dass das Kräftespiel ähnlich wie bei Rahmenträgern vor sich geht wobei die Dübel die Funktion der Pfosten übernehmen . Die Einzelbalken müssen die Querkraft Q von Dübel zu Dübel ( von Pfosten zu Pfosten ) übertragenn und erhalten hierdurch zusätzliche Beanspruchungen . Infolgedessen ist ein verdübelter Balken auch bei absoluter Unverschieblichkeit der Einzelbalken schwächer als ein Vollbalken. Es kommt dies weniger bei ( gleichmässig ) verteilter Belastung als bei Belastung durch eine Einzellast in Trägermitte zum Ausdruck . Dies war die Belastung bei den Bock'schen Versuchen, bei deren richtiger Beurteilung daher die besondere Beanspruchung durch die Rahmenwirkung berücksichtigt werden muss. Zur Berechnung der Biegungsbeanspruchungen bezeichne $\alpha^M$ den Teil des Momentes M ( im Mittel eines beliebigen Feldes ) der durch den "Vollbalken " aufgenommen wird ; es bleibt für die Einzelbalken der Teil ( 1 - $\alpha$) M. W und $W_1$ = Widerstandsmoment von Vollbalken und Einzelbalken.

Es ist sodann in der Entfernung $x_1$ ( dicht am rechtsgelegenen Dübel des Feldes x ) die Spannung der äussersten Balkenfaser

$$\sigma = \frac{\alpha\ M}{W} + \frac{\alpha \Delta\ M}{n\ W_1} + \frac{(1-\alpha)\ M_m}{n\ W_1} =$$

$$= \frac{\alpha(M_m - \Delta M)}{W} + \frac{\alpha \Delta\ M}{n\ W_1} + \frac{(1-\alpha) M_m}{n\ W_1} =$$

$$= \frac{M_m}{W}\left[\alpha\left(1 - \frac{\Delta\ M}{M_m}\right) + \frac{\alpha \Delta M . W}{n\ W_1 M_m} + \frac{(1-\alpha)\ W}{n\ W_1}\right]$$

und mit $\frac{\Delta M}{M_m} = \mu$; $\frac{W}{n\,W_1} = w$

$$\sigma = \frac{M_m}{W}\left[\alpha - \alpha\mu + \alpha\mu w + w - \alpha w\right] = \sigma_r\left[w - \alpha(w-1)(1-\mu)\right]$$

wo $\sigma_r = \frac{M_m}{W}$ = Spannung, die im Querschnitt x, des Voll - trägers auftreten würde. ( Für $\alpha = 0$ wird $\sigma = \sigma_r \cdot \frac{W}{W} =$

$= \frac{M_m}{n\,W_1}$ ( stimmt ).

$\alpha$ wurde schätzungsweise gesetzt $= \frac{1}{1+\gamma e}$ ( ohne Rücksicht auf die günstige Wirkung der Bolzenreibung ), wo $\gamma$ eine Konstante, die für Längsdübel und bei zwei Balken = 0,1 - (0,2) ; bei drei Balken = 0,15 (-0,3) gesetzt werden kann. $\frac{1}{1+\gamma}$ gibt sodann die Minderung, die bei Einhaltung der normalen Dübelbeanspruchungen ( nach den auf Seite ..., ... angegebenen Berechnung , wo S, wie beim Vollbal - ken angenommen wird, ohne Rücksicht auf die Nachgiebig - keit ) eintritt . $\varphi$ ist das Verhältnis der bei geänderten Dübeldimensionen eintretenden Dübelbeanspruchungen zu den Normalen ; wobei der Einfluss der einzelnen Bean - spruchungen auf die " Gesamtbeanspruchung " abgeschätzt werden muss . Die Beanspruchungen beziehen sich auf einen ideellen mittleren Dübel. Bei konstantem $\delta$ und e sind dieselben kleiner als wenn $\delta$ und e variiert werden zur Erzielung gleicher Sicherheit. Die Beanspruchung des Enddübels ist allein für sich nicht massgebend .

( Man kommt zu dem Ausdruck $\alpha = \frac{1}{1+\gamma\varrho}$ wenn man zunächst setzt $\alpha = 1 - \gamma\varrho'$, wo $\varrho'$ = <u>wirkliche</u> Dübelbeanspruchung wie sie nach erfolgter Verschiebung der Balken eingetreten ist. Nun ist $\varrho' = \alpha \cdot \varrho$, also $\alpha = 1 - \gamma\alpha\varrho$, woraus $\alpha = \frac{1}{1+\gamma\varrho}$. ) Nach Einsetzen des Wertes $\alpha = \frac{1}{1+\gamma\varrho}$ erhält man :

$$\sigma = \sigma_r\left[w - \frac{(w-1)(1-\zeta\mu)}{1+\gamma\varrho}\right] = \sigma_r\left[\frac{1+w(\gamma\varrho+\zeta\mu)-\zeta\mu)}{1+\gamma\varrho}\right]$$

und

$$\sigma_r = \sigma\,\frac{1+\gamma\varrho}{1+w(\gamma\varrho+\zeta\mu)-\zeta\mu} \text{ angenähert } = \sigma\,\frac{1+\gamma\varrho}{1+w\,(\gamma\varrho+\zeta\mu)} \quad \text{bezw.}$$

$$K_r = K\,\frac{1+\gamma\varrho}{1+w\,(\gamma\varrho+\zeta\mu)-\zeta\mu} \text{ angenähert } = K\,\frac{1+\gamma\varrho}{1+w\,(\gamma\varrho+\zeta\mu)}$$

$K_r$ = reduzierte zulässige Beanspruchung, wenn man den verdübelten Balken nach der Formel des Vollbalkens berechnet.

$$K_r = \frac{M}{W}\,, \qquad W = \frac{M}{K_r}$$

<u>Beispiel :</u> 3 Balken je 25 cm hoch, mit je 5 cm Zwischenraum und $\zeta = 5$ cm , $h = 3.25 + 2.5 = 85$ cm ;

$h_1 - \zeta = 25 - 5 = 20$ cm

$w = \frac{85^2}{3.20^2} \cdot 0{,}9 = 5{,}4$ ; $\mu = 0{,}08$ ( etwa den Bock'schen Versuchen entsprechend ); der Faktor 0,9 entspricht der Bolzenlochschwächung ( Winkler nimmt in einem Rechenbeispiel schätzungsweise $K_r = 0{,}9\ K$ ) .

$\gamma = 0{,}15$ ; $\varrho = 1$ .

$$K_r = K\,\frac{1+0{,}15}{1+5{,}4(0{,}15+0{,}08)-0{,}08} = \frac{1{,}15}{0{,}98+1{,}24} = 0{,}52\,K$$

mit $\mu$ = 0 ( gleichförmige Belastung, in Trägermitte )

$$K_r = K \frac{1{,}15}{1 + 5{,}4.0{,}15} = 0{,}64\ K$$

2 Balken $h_1 = 25$, $\delta = 5$, $h = 2.25 + 5 = 55$ ; $h_1 - \delta = 25-5=20$

$$w = \frac{0{,}9 \cdot 55^2}{2 \cdot 20^2} = \frac{2720}{80} = 3{,}4;\ \mu = 0{,}08 \cdot \gamma = 0{,}1\ ;\ \varphi = 1$$

$$K_r = \frac{1{,}1}{1+3{,}4(0{,}1+0{,}08)-0{,}08} = \frac{1{,}1}{0{,}92+0{,}61} = \frac{1{,}1}{1{,}53} = 0{,}72\ K$$

mit $\mu = 0$; $K_r = K \frac{1{,}1}{1+3{,}4.0{,}1} = \frac{K.\ 1{,}1}{1{,}34} = 0{,}82\ K$ .

Um den Wert von $K_r$ möglichst zu erhöhen, bezw. die Bruchsicherheit möglichst wenig zu beeinträchtigen, sind die Dübeleinschnitte in Trägermitte tunlichst wenig tief zu machen, insbesondere bei konzentrischer Einlassung in die Mitte, sodass w möglichst klein wird ; und die Dübelentfernung e klein, sodass $\mu$ klein wird. Die Minderung der Dübeleinschnitte erhöht hauptsächlich W, ;der Einfluss auf W istwesentlich geringer bei 2 Balken fast gleich 0 . Verdübelte = bezw. Verbundbalken kommen im allgemeinen nur bei grossen Verhältnissen in Frage, wo man nicht mit einem Balken, evtl. von Schmalform auskommt, dort wo schmale Balken von der Höhe h erhältlich sind, wird man keine Verbundbalken ausführen. Nach den Versuchen von Bock leiden Verbundbalken ( verzahnte Balken ) stark durch Witterungseinflüsse ; ihre Widerstandsfähigkeit nimmt ( falls ungeschützt ) rasch mit dem Alter ( Anfaulen ) ab. Die Zerstörung wurde meist durch unzureichenden Scherwiderstand bedingt (Klüfte,

schiefe Fasern ; t höchstens = $\frac{1}{20}$ K" setzen ( ! ) z.T. auch durch Astknoten und Fäulnis. Mehr als 3 Balken sind nicht zu empfehlen .

Aehnlich wie beim verzahnten Balken ist auch beim ver - dübelten Balken eine künstliche Anspannung möglich, durch welche der Biegungswiderstand erhöht, der Scherwiderstand jedoch gemindert wird.

Verklammerte Balken ( Klammerbalken ) hielten bei den Versuchen von Lang ungefähr die gleiche Bruchlast aus wie Dübelbalken ( schon früher von Forchheimer empfohlen). Lassen sich raschn zusammenfügen, wirken aber nur solange gut, als das Holz nicht schwindet ( da sie nicht regu - liert werden können ), also nur bei lufttrockenen Balken im Hausinnern; für Notbrücken aus grünem Holz dagegen nur, wenn das Holz feucht erhalten wird ( wobei jedoch evtl. die Festigkeit leidet ) . Bei stark wechselnder Belastung müssen in Trägermitte noch sich kreuzende Klammern zur Aufnahme der im Sinn wechselnden Querkräfte eingeschlagen werden.

Um die Schwächung der Hölzer infolge des " Einschlagens" der Klammern zu vermindern ( wobei, wie auch die Versuche von Lang zeigen, Scherrisse begünstigt werden ) sollten die Klammern in verschiedenen Höhe eingeschlagen werden, bezw. verschieden lange Klammern verwendet werden.

Vernagelte Balken . Aussen werden Bohlen ( lotrecht oder geneigt ) mittels Nägeln oder Holzschrauben befestigt, welche die Scherkräfte aufnehmen. Solche Träger sind ebenfalls nicht regulierbar .

Stiftbalken. " Stifte " nach Art von Meltzer oder auch Krallenplatten nach Art von Greim, aber doppelseitig .

Bildung von Vollwandträgern , beliebige Gestalt aus Brettern, Bohlen, Kanthölzern, die durch eiserne oder hölzerne Nägel, Kopfschrauben, Bänder oder Klebemittel zu einem einheitlichen Ganzen verbunden sind. Dörren und Tränken leichtmöglich.

Wiesebrücke bei Basel, $\ell$ = 33 m,
1910 erbaut, bis jetzt wetterbeständig, 2,4 m breit.

" Hetzer " bildet Träger aus schwachen Hölzern, die durch wasserbeständigen Klebstoff unter hohem Druck miteinander verbunden werden. Die einzelnen Hölzer werden

sorgfältig ausgesucht, von den Protinstoffen durch Aus - laugen befreit und dann getränkt ( wodurch die Festigkeit erhöht, Quellen und Schwinden gemindert wird ). Wandstärke = ca 6 cm bei einer Dicke der einzelnen Verbundstäbe von 2,5 - 4 cm ; die Gurtplatten sind 8 - 12 cm stark, 16 - 20 cm breit . Der Steg besteht evtl. aus einem durchgehenden Längsholz oder aus stehenden bezw. schräg liegenden Hölzern ( nach Gesteschi ) .

Diese Konstruktionsweise ist wohl in erster Linie für Bogenträger bestimmt, für Balkenträger erscheint die Widerstandsfähigkeit gegen Abscheren des Stegs in den neutralen Fasern sehr gering. Ein $\underline{I}$ Träger in Holz ist nur bei grosser Schlankheit ( grosses $\ell$ : h ), wo der " Biegungswiderstand " in Frage kommt, brauchbar ; evtl. für Dachbinder, aber nicht für Brückenträger. Die Sicherheit einer Verklebung von Hirnholz mit Langholz scheint geringwertig gegenüber einer solchen von Langholz mit Langholz.

Für " Flugzeuge ", wo hauptsächlich nur Biegungswiderstand in Frage kommt ( schlanke Träger ) und grosse Leichtigkeit erstrebt wird, erscheinen $\underline{I}$ und Kastenformen besonders geeignet. ( Es wurden sogar $\underline{I}$ Balken aus Vollbalken ausgearbeitet, nur um das Verhältnis W : G möglichst gross zu erhalten ; = spezifisch leichte Träger. Die Schubspannungen sind hier im allgemeinen von geringer Bedeutung .

Bei Hetzer Stossdeckung der Gurtbohlen durch aufgelegte Eisenplatten (nur bei Zugbeanspruchung bezw. Biegungdbeanspruchung erforderlich; Stossdeckung des Stegs durch seitlich aufgeleimte Hölzer (zusammengelegte Stegstösse?).
Bei Bogenträgern Biegung der Lamellen und Zusammenleimen in gebogenem Zustand; entsprechende Nebenspannung, daher niedere Lamellen.
Möglichkeit fehlerlose (astfreie) Holzlamellen bester Qualität bei der Bildung der grossen Querschnitte zu verwenden.

Bauweise "Deutscher Neubau". (Architekt Kaper).

Schlitzen des mittleren Balkenteils mittels einer Kreissäge, sodann künstliches Spreizen unter Sicherung der Balkenenden durch Schraubenbolzen gegen Aufspalten. Einsetzen des linsenförmig gestalteten Stegs, der mit den "Gurtungen" mittels Holzschrauben, z.T. auch mittels durchgehender Schraubenbolzen befestigt wird. Nebenspannung durch die künstliche Verbiegung. (Bei grösseren Weiten Zusammensetzung aus zwei

Hälften, die (in der Mitte) in der Zuggurtung durch eine eiserne Lasche, im Steg durch zwei Holzlaschen, miteinander

verbunden sind). Diese Konstruktion ist nur im Hochbau (Dachbinder mit Vorteil) verwendbar, wo die Träger im allgemeinen schlank sind, wo es darauf ankommt, den Biegungswiderstand möglichst hoch zu erhalten, bis an die Grenze, wo dann der Scherwiderstand massgebend wird, der selbstverständlich durch die Spreizung nicht vergrössert, vielmehr durch Herstellungsweise sogar geschädigt werden kann. Ausserdem muss der Scherwiderstand hauptsächlich nur auf den kurzen geraden Endstrecken entwickelt werden. Es muss die Horizontalkomponente der Gurtkräfte übertragen werden, $H = \frac{M_m}{h_m}$. Erwünscht ist die Verringerung des Gewichts gegenüber einfachen Balken gleichen Biegungswiderstands.

Bei gleichförmiger ruhender Belastung und gekrümmter Form sind die Schubkräfte zwischen Steg und Gurtung sehr gering und erfordern nur geringe Verbindungen. Dagegen am Trägerende Schubkraft $H = M_m : h_m$.

Verbindung des Stegs mit den Gurtungen durch Schraubenbolzen. Bildung des Stegs durch einen breiten Bohlen (bei kleineren Trägerhöhen) oder durch zwei Reihen unter $45^o$ geneigter Bohlen. Vernagelung der Bohlen, die evtl. noch durch Nut und Feder miteinander verbunden werden.

Verbindung der Gurtungen mit zwei aussen aufgelegten Stegen durch Vernagelung.

Verbindung der Lamellen durch Schraubennägel, Stifte, Nägel (evtl. mit Unterstützung durch Verkleben).
Die I Formen sind vornehmlich für Bogenträger verwendbar; für Balkenträger erscheint der Steg in allgemeinen zu schwach zur Aufnahme der Schubspannungen, insbesondere am Auflager. Je schlanker der Träger, desto mehr treten die Schubspannungen zurück. Anpassung der Stegstärke an die Querkräfte.

-.-.-

Hier folgen die Ausführungen in "Holzbrücken" über die im Brückenbau üblichen hölzernen Träger (insbesondere armierte Balken, Hängewerke, Sprengwerke, Howe'sche Träger, Gitterträger, Fachwerkträger, Bogenträger), sodann die verschiedenen Fachwerksystem im Hochbau, Hallenbauten, über allgemeine Anordnung, Fahrbahn, Quer- und Längsverbände, Auflager, Pfeiler, Unterhaltung, zeitweilige Brücken.

Hölzerne Fachwerkträger.

Nachahmung der Eisenkonstruktion, Balken und Bogenträger. Schwierigkeit der Knotenverbindung und Zugstossverbindung der Gurten gegenüber Eisen, insbesondere wegen der geringen Schub- und Querdruckfestigkeit des Holzes. Gute Lösung nur bei Verwendung von Eisen möglich(Laschen, Bolzen, Dübel, Knotenbleche); z.T. sind die Zugstreben aus Eisen, meist Rundeisen gebildet (Howe). Einfluss des Schwindens auf die Güte der Knotenverbindung. Regulierungsvorrichtung insbesondere im Brückenbau nötig ( Howe: Anziehen von Schrauben, Nachtreiben von Keilen). Bei Bogenträgern sind die Strebenkräfte klein, die Knotenverbindung einfacher. Gurte fast nur

Druck. Möglichst Vermeidung der teuren und schwer exakt herzustellenden Stemmarbeit (Handarbeit). Sägeschnitte oder (am besten) Bohrungen, die exakt, rasch und billig (maschinell) hergestellt werden können. Runddübel statt prismatischer Dübel. Verbreiterung der Hölzer an den Verbindungsstellen und dann direkte Kraftübertragung durch Druck. Verbreiterung durch Leimen, Dübel mit Zugbolzen oder auch Biegungsbolzen zur Aufnahme der exzentrischen Kraftwirkung, Querbolzen (insbesondere Rohrbolzen) oder direkter Anschluss Versatzung, Dübel, Biegungsbolzen, Stiften oder auch Vermittlung durch Knotenbleche.
Ein Rohrbolzen oder ein Runddübel (Gelenkwirkung) oder mehrere Bolzen und Dübel. Ringdübel (geschlitzt und ungeschlitzt) Tellerdübel, konische Dübel (Holz oder Eisen). Die (nur an der Seite wirkenden) Dübel soll das Holz weniger leicht spalten als die durchgehenden Bolzen.

Hallenbauten.

Die Hochbaukonstruktionen haben gegen die Brückenkonstruktionen den Vorteil, dass sie im allgemeinen geschützt vor den Witterungseinflüssen liegen und keine Stässe der Verkehrslasten auszuhalten haben, welcheinsbesondere für die Verbindung schädlich sind. Geringer Wechsel der Belastung (es gibt nur 2 Windbelastungen und eine Schneebelastung / bei ungleichem Abschmelzen zwei /).
Bei den neuzeitlichen Hallenbauten (und Dachbauten) ~~dasxkeix~~ Nachahmung der Eisenkonstruktionen unter Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften des Holzes, Anwendung der Grundsätze des Ingenieurbauwesens. Zusammensetzung der Träger aus kleinen (schwachen) Lamellen, die eine leichtere

Knotenpunktsanordnung gestatten. Auswahl guter Lamellen, aber evtl. Faserzerschnitt. Holzfehler lassen sich in schwachen Lamellen leichter erkennen und "ausschiessen". Sorgfältige Konstruktion der Verbindungen, tunlichste Vermeidung von Holzverschnitt und Holzschwächung. Möglichst geringer Aufwand von Holz (Material) und Arbeit. Möglichst Vermeidung von Eisen, sofern durch dasselbe keine namhaften Vorteile erzielt werden. Z.T. Verwendung von Klebemitteln. Maschinelle, exkate Bearbeitung. Bogenkonstruktionen, die sich meist dem Raumbedürfnis gut anpassen lassen, haben den Vorteil kleiner Querkräfte. Vollwandbogen haben es daher mit kleineren Schubkräften zu tun, Fachwerkbogen mit kleineren Wandstrebkräften, wodurch die Konstruktion der Knotenpunkte wesentlich erleichtert werden kann. Die Missstände, die mit der geringen Schubfestigkeit des Holzes verknüpft sind, fallen weniger ins Gewicht.

111078097

07 181017

301183222

N11< 19083046 090

UB Karlsruhe