

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 89 (1971)  
**Heft:** 1: 1. Sonderheft zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. F. Stüssi

**Artikel:** Wirklichkeitsnahe Berechnung schwerbelasteter Holzbauteile  
**Autor:** Möhler, Karl  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-84728>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Erhebliche Energieverluste treten in den Übertragungsleitungen auf. Sie lassen sich durch Kühlen auf tiefe Temperaturen verringern. Man erreicht schon vor Eintritt der Supraleitung wirtschaftlich interessante Erspartnisse. Vorerst sind noch schwierige technologische Probleme zu lösen. Die Verwirklichung solcher Kabel ist nur sinnvoll, wenn grosse Energien über mässige Entfernen zu übertragen sind. Laufende Projekte betreffen die Energieversorgung in Ballungsräumen, wo sich Freileitungen nicht anwenden lassen. Man prüft auch die Möglichkeit, ein solches Kabel mit einer Leitung für flüssiges Erdgas zu vereinen, das mit

— 150 °C den Kabelmantel kühlen würde, wodurch die Helium-Kältemaschine, die das Kabel kühlte, entlastet und die gesamten Baukosten für eine Energieversorgung mit Strom und Gas vermindert würden.

Ein weiteres Anwendungsgebiet bildet die Kryoelektronik, bei der man die Phänomene der Supraleitung ausnutzt. Hierfür eignen sich kleine, transportable Helium-Kältemaschinen. Die hier angeführten Beispiele lassen erkennen, dass auf dem Gebiet der tiefen Temperaturen ein neuer, zusätzlicher Markt entsteht, dessen Umfang sich heute noch nicht abschätzen lässt.

## Wirklichkeitsnahe Berechnung schwerbelasteter Holzbauteile

DK 694.2.001.2

Von Prof. Dr.-Ing. Karl Möhler

### 1. Problemstellung

Die begrenzten Längen- und Querschnittsabmessungen der verfügbaren Bohlen- und Kantholzquerschnitte, die sich aus den Abmessungen des Rundholzes ergeben, beschränken die Anwendung von einteiligen Querschnitten im Holzbau auf gering belastbare Biege- und Druckglieder und einfache Zugstäbe. Bei schwerbelasteten Trägern und Stützen muss man zum zusammengesetzten Querschnitt übergehen, den man aus mehreren Einzelquerschnitten zusammenfügt, die in der Regel durch Dübel oder Nägel kontinuierlich miteinander verbunden werden. Heute spielen auch die schweren, aus verleimten Brettern bestehenden Trägerformen eine bedeutende Rolle, die als rechteckige Brettschichtträger oder I-förmige Stegträger mit einem aus mehreren Brettlagen aufgebauten Steg vorkommen. Auch Furnierplatten können als Stege schwer belasteter Träger verwendet werden.

Während die Berechnung verleimter Träger und Stützen, die durch eine flächenhafte, starre Verleimung der Einzelteile einen praktisch einheitlich wirkenden Querschnitt darstellen, keine Schwierigkeiten bereitet, ergeben sich bei den durch Dübel oder Nägel nachgiebig verbundenen Holzbauteilen besondere Verhältnisse bezüglich Spannungsverteilung, Biegesteifigkeit und Knickverhalten. Den abmindernden Einfluss der Nachgiebigkeit der Verbindungen, den man bei Versuchen mit zusammengesetzten Trägern feststellte, hat man bisher in den meisten Holzbauvorschriften durch die Einführung von konstanten Wirkungsgraden für das Trägheits- und Widerstandsmoment zu erfassen versucht, ohne sich über die tatsächlichen Gesetzmäßigkeiten des nachgiebigen Verbundes ausreichende Klarheit zu verschaffen. In ähnlicher Weise ging man bei den zusammengesetzten Holzdruckstäben vor. Hier hat man zum Beispiel in Deutschland nur für gegliederte, durch verschraubte Zwischenhölzer verbundene Stäbe eine aus wenigen Versuchen abgeleitete Formel zur Berechnung des wirksamen Trägheitsmomentes benutzt, welche weder die massgebenden Einflussgrößen enthielt noch die tatsächlichen Verhältnisse bei den unterschiedlichen Bauarten erfassste. Dabei wurde auch eine Bemessung der Querverbindungen für die beim Ausknicken auftretende Querkraft nicht vorgesehen.

Nachdem durch versuchstechnische und theoretische Untersuchungen an Verbundträgern die Wirksamkeit der Dübelnachgiebigkeit von Stüssi (1943) [1] gezeigt wurde und weitere Arbeiten von Granholm (1949) [2], Lombardi (1951) [3], Hoischen (1952) [4] vorlagen, konnten systematische Versuche mit zusammengesetzten Trägern und Druckstäben aus Holz angesetzt werden mit dem Ziel, allgemein gültige Berechnungsverfahren zu begründen. Die komplexen Einflüsse, die bei der Anisotropie des Holzes das Verhalten eines Verbindungsmediums bei einer bestimmten konstruktiven Anordnung bestimmen, machten es erforderlich, die Versuche jeweils am betreffenden

Tragwerkselement selbst durchzuführen. Dabei zeigte sich, dass das Verhalten der mannigfachen, nachgiebig verbundenen Träger- und Stabformen rechnerisch noch mit einem tragbaren Aufwand erfasst werden konnte, wenn man einen «Verschiebungsmodul C» des zur Anwendung gelangenden Verbindungsmittels einführt. Dieser Wert C in kp/cm entspricht bei einer geradlinig verlaufenden Last-Verschiebungslinie eines Holzverbindungsmediums derjenigen Belastung, unter welcher die Verschiebung 1 cm auftreten würde. Unabhängig von dem zu mindest bei höheren Belastungen von der angenommenen geradlinigen Form abweichenden Verlauf der Lastverschiebungslinie wurde aus jedem Versuch ein tatsächlich wirksamer Verschiebungsmodul C erhalten. Damit konnte das Tragverhalten der einzelnen Bauformen weit zuverlässiger beurteilt und rechnerisch erfasst werden, als es nach den bisherigen Berechnungsvorschriften für zusammengesetzte Biegeträger und Druckstäbe im Ingenieurholzbau der Fall war. Für die praktische Anwendung wurden in den deutschen Berechnungsvorschriften der DIN 1052, Ausgabe Oktober 1969, für Biege- und Druckglieder mit kontinuierlicher nachgiebiger Verbindung Bemessungsgleichungen vorgeschlagen, die von dem wirksamen Trägheitsmoment  $J_w$  ausgehen, das sich beim gleichmässig belasteten Biegeträger und beim beiderseits gelenkig gelagerten Druckstab mit genügender Genauigkeit in gleicher Weise berechnen lässt.

### 2. Grundgleichungen für den zwei- und dreiteiligen, nachgiebig verbundenen Querschnitt bei Biegebeanspruchung

Zwischen der Verschiebung  $\delta(x)$  und der Durchbiegung  $y(x)$  an der Stelle  $x$  ergeben sich unter Berücksichtigung von

$$M = M_1 + M_2 + N a$$

beim zweiteiligen (Bild 1) und

$$M = 2 M_G + M_S + N 2 a_1$$

beim symmetrischen dreiteiligen Querschnitt (Bild 2) die Gleichungssysteme

zweiteiliger Querschnitt

$$(1a) \quad \delta'' - \omega^2 \delta = a y'''$$

$$(2a) \quad y'' - \frac{\omega^2}{a} \cdot \delta' = - \frac{1}{E J_v} M$$

dreiteiliger Querschnitt

$$(1b) \quad \delta'' - \omega^2 \delta = a_1 y'''$$

$$(2b) \quad y'' - \frac{\omega^2}{a_1} \cdot \delta' = - \frac{1}{E_G J_v} M$$

Darin bedeuten:

$$(3a) \quad \omega^2 = \frac{C}{e'} \cdot \frac{\left(1 + \frac{F_1}{n F_2}\right)}{E_1 F_1} \quad (3b) \quad \omega^2 = \frac{C}{e'} \cdot \frac{1}{E_G F_G}$$

$e'$  = mittlerer Abstand eines Verbindungsmitteis von der Anschlussfläche

$$(4a) \quad \alpha^2 = \frac{F_1 a^2}{J_v \left(1 + \frac{F_1}{n F_2}\right)}$$

$$(4b) \quad \alpha^2 = \frac{2 F_G a_1^2}{J_v}$$

$$(5a) \quad n = E_2/E_1$$

$$(5b) \quad n = E_G/E_S$$

$$(6a) \quad J_v = J_1 + n J_2 + \frac{F_1 a^2}{\left(1 + \frac{F_1}{n F_2}\right)}$$

$$(6b) \quad J_v = 2 J_G + n J_S + 2 F_G a_1^2$$

Jedes System der beiden gewöhnlichen Differentialgleichungen ermöglicht für jeden Belastungsfall unter Beachtung der Randbedingungen eine geschlossene Lösung für die Durchbiegung  $y(x)$  und die Verschiebung  $\delta(x)$ . Aus der Verschiebung  $\delta(x)$  kann unmittelbar die Schubkraft

$$(7) \quad T(x) = \frac{C}{e'} \cdot \delta(x)$$

sowie die Normalkraft

$$(8) \quad N = \int T(x) dx$$

erhalten werden. Damit sind die für den Spannungsnachweis erforderlichen Größen bekannt. Aus  $y(x)$  kann das wirksame Trägheitsmoment bestimmt werden.

Die beiden Gleichungssysteme, die sich übrigens nur durch ihre Konstanten unterscheiden, lassen sich auch für die Berechnung von Knickstäben verwenden, wenn  $M$  durch  $P y$  ersetzt wird. Bei Annahme einer sinusförmigen Knickbiegelinie ergibt sich:

$$(9) \quad P_k = \frac{\pi^2 E}{l^2} \cdot J_v \frac{\beta^2 + \left(\frac{\omega l}{\pi}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega l}{\pi}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{l^2} \cdot J_w$$

Dabei bedeutet:

$$(10) \quad \beta^2 = 1 - \alpha^2 = \frac{\sum J_1}{J_v}$$

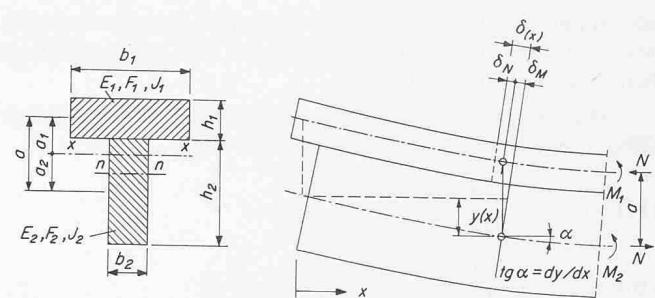
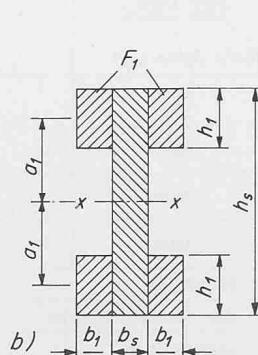
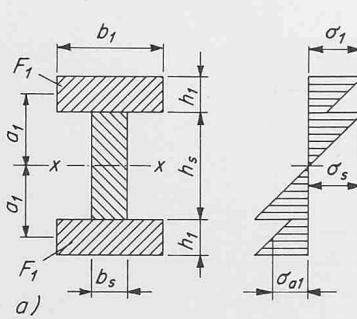


Bild 1. Verschiebung und Durchbiegung beim nachgiebig verbundenen zweiteiligen Querschnitt

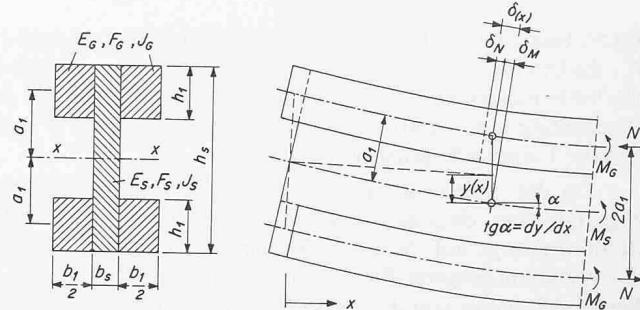


Bild 2. Verschiebung und Durchbiegung beim symmetrischen, nachgiebig verbundenen dreiteiligen Querschnitt

Aus

$$(11) \quad J_w = J_v \frac{\beta^2 + \left(\frac{\omega l}{\pi}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega l}{\pi}\right)^2} = \sum J_1 + \gamma \sum F_1 a_1^2$$

ergibt sich mit

$$(12) \quad \gamma = 1/(1 + k)$$

der Wert  $k$  beim zweiteiligen Querschnitt:

$$(13) \quad k = \frac{\pi^2 E}{l^2} \frac{F_1 F_2 e'}{(F_1 + F_2) C}$$

beim dreiteiligen Querschnitt:

$$(14) \quad k = \frac{\pi^2 E}{l^2} \frac{F_1 e'}{C}$$

Wie Versuche und rechnerische Untersuchungen gezeigt haben, kann auch bei Biegeträgern unter Streckenlast oder mehreren gleichmäig auf die Stützweite verteilte Einzellasten

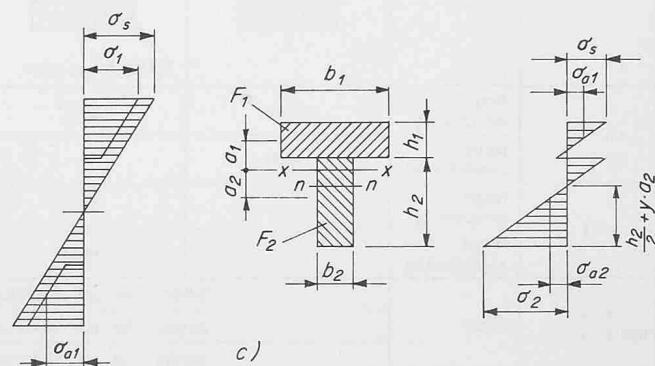


Bild 3. Spannungsverteilung bei drei verschiedenen Querschnittstypen nachgiebig verbundener Biegeträger

näherungsweise mit  $J_w$  nach Gleichung (11) gerechnet werden. Mit  $J_w$  lassen sich die Durchbiegungen und die Spannungen berechnen (Möhler 1956 [5]).

Die Spannungen verdübelter Balken und genagelter Träger (Bild 3) ergeben sich nach folgenden Formeln:

$$(15) \quad \sigma_s = \pm \frac{M}{J_w} \frac{h_s}{2} \frac{J_s}{J_{sn}}$$

$$(16) \quad \sigma_1 = \pm \frac{M}{J_w} \left( \gamma a_1 \frac{F_1}{F_{1n}} \pm \frac{h_1}{2} \frac{J_1}{J_{1n}} \right)$$

$$(17) \quad \sigma_{a1} = \pm \frac{M}{J_w} \left( \gamma a_1 \frac{F_1}{F_{1n}} \right)$$

Darin bedeuten  $J_s$ ,  $J_{sn}$ ,  $J_1$ ,  $J_{1n}$  die Trägheitsmomente und  $F_1$ ,  $F_{1n}$  die Querschnittsflächen der ungeschwächten bzw. der durch die Verbindungsmitte geschwächten Querschnittsteile. Bei der Berechnung von  $\gamma$  müssen die Verschiebungsmoduln  $C$  nach Tabelle 1 zugrunde gelegt werden.

Da der Ableitung der Grundgleichungen die Annahme zugrunde liegt, dass der Verschiebungswiderstand  $C/e'$  in der Berührungsfläche auf die ganze Trägerlänge konstant sei, sind die Verbindungsmitte für die grösste Querkraft  $Q_{max}$  unter Berücksichtigung von  $J_w$  zu berechnen und unabhängig vom Verlauf der Querkraftlinie in gleichmässigem Abstand über die ganze Trägerlänge anzuordnen. Der grösste Schubfluss  $t_{wmax}$  in einer Fuge ergibt sich zu

$$(18) \quad t_{wmax} = \frac{Q_{max} \gamma S_1}{J_w} \text{ in kp/cm.}$$

Er ist kleiner als der Schubfluss des starren Trägers, der sich aus

$$(19) \quad t_{starr, max} = \frac{Q_{max} S_1}{J_w}$$

berechnet (Möhler 1966 [6], Pischl 1969 [7]).

Mit  $t_{wmax}$  ergibt sich der erforderliche Abstand  $e$  der Verbindungsmitte zu

$$(20) \quad e'_{erf} = \frac{N_{zul}}{t_{wmax}}$$

Da  $t_{wmax}$  mit  $\gamma$  und  $J_w$  ermittelt werden muss, wird man unter Umständen einen zweiten Rechnungsgang mit einem geänderten Verbindungsmitteabstand durchführen müssen. Pischl [7] hat ein Verfahren angegeben, nach welchem die Ver-

bindungsmitte unmittelbar für die unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit wirksame Schubkraft bemessen werden können, so dass zusätzliche Rechnungsgänge nicht erforderlich werden.

Der Schubspannungsnachweis in der neutralen Faser wird beim dreiteiligen Querschnitt mit

$$(21) \quad \tau_{max} = \frac{Q_{max}}{b_s J_w} (\gamma S_1 + S_2)$$

beim zweiteiligen Querschnitt mit

$$(22) \quad \tau_{max} = \frac{Q_{max}}{b_2 J_w} S_2$$

geführt.

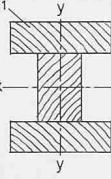
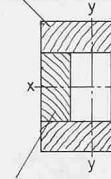
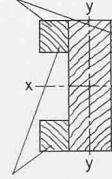
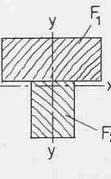
Auch bei genagelten Vollwandträgern mit Bretterstegen ist das wirksame Trägheitsmoment infolge der Nachgiebigkeit der Vernagelung geringer als es dem geometrischen Wert ohne Steg entspricht, und die Gurtrandspannungen können vor allem bei verhältnismässig hohen Gurten die Schwerpunktspannungen wesentlich überschreiten (Stüssi 1943 [8]). Der Durchbiegungs- und Spannungsnachweis ist daher auch bei derartigen Trägern mit  $J_w$  zu führen.

### 3. Bemessung von nachgiebig verbundenen Trägern unter wandernden Verkehrslasten

Wie Schelling (1968) [9] gezeigt hat, nimmt beim Träger unter einer wandernden Einzellast das wirksame Trägheitsmoment  $J_w$ , also die Verbundwirkung, beim Wandern der Last gegen das Auflager immer mehr ab. Gleichzeitig verringern sich die durch die Verbindungsmitte aufzunehmenden Schubkräfte gegenüber den Werten bei starrem Verbund. Schelling hat gezeigt, dass die Biegespannungen bei Laststellung in Trägermitte absolut betrachtet stets ihren Maximalwert haben, so dass auch bei nachgiebig verbundenen Trägern unter wandernden Einzellasten bezüglich der maximalen Biegerandspannungen die Laststellung in Trägermitte massgebend wird.

Bezüglich der Beanspruchungen der Verbindungsmitte an der Stelle der maximalen Querkraft, also am Auflager, zeigten die Untersuchungen, dass diese um so mehr von denjenigen eines starr verbundenen Trägers abweichen, je näher die Last zum Auflager hinrückt. Lässt man die Last von der Trägermitte zum Auflager wandern, so ergibt sich, dass die in den Fugen zu übertragenden Schubkräfte über dem Auflager zunächst langsam anwachsen, bei Laststellungen nahe dem Auflager jedoch wieder geringer werden. Bild 4 zeigt die Einfluss-

Tabelle 1. Querschnittstypen und Verschiebungsmoduln  $C$  in kp/cm

Für Biegung bzw. Knickung massgebende Schwerachse	Verbindungs- mittel	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
					
x-x	Nagel einschnittig	600	600	900	600
	Nagel zweischnittig	1400	—	1800	—
y-y	Nagel einschnittig	—	900	600	—
	Nagel zweischnittig	—	1800	1400	—
x-x und y-y	Dübel	15000	für zul. Belastung <sup>1)</sup>	bis 1600 kp	
		22500	für zul. Belastung <sup>1)</sup>	über 1600 bis 3000 kp	
		30000	für zul. Belastung <sup>1)</sup>	über 3000 kp	

<sup>1)</sup> als zul. Belastung sind die Werte für den Lastfall H massgebend

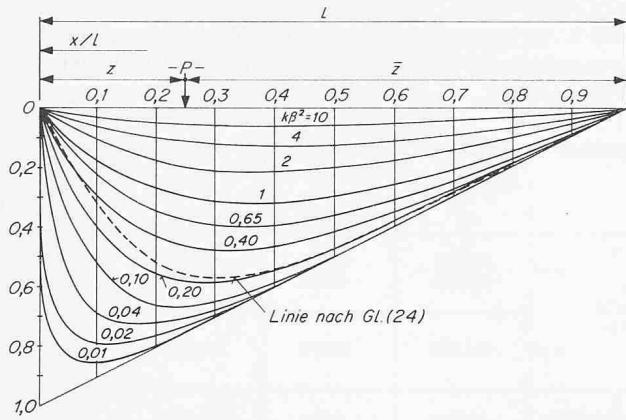


Bild 4. Einflusslinien zur Bestimmung der Fugenschubkräfte an der Stelle  $x = 0$  (Auflager) beim zusammengesetzten Biegeträger verschiedener Verbundsteifigkeit nach [9] und  $\eta_0$ -Linie nach Gl. (24) für  $h = 0,1 l$

linien für die Fugenschubkräfte an der Stelle  $x = 0$  für verschiedene Verbundsteifigkeiten, ausgedrückt durch den mit  $\beta^2 = \sum J_i/J_v$  multiplizierten  $k$ -Wert nach den Gleichungen (13) und (14). Während beim starren Träger die maximalen rechnerischen Schubkräfte stets bei Lastangriff unmittelbar neben dem Auflager auftreten, sind die Verbindungsmitte nachgiebig verbundener Träger je nach der Verbundsteifigkeit dann am höchsten beansprucht, wenn die Last  $P$  in einem gewissen Abstande vom Auflager steht.

Diese Tatsache spielt bei der Bemessung von Brückenträgern eine bedeutende Rolle, da hier die grössten Radlasten nicht mehr unmittelbar neben das Auflager, sondern in das Maximum der jeweiligen Einflusslinie gestellt werden können, so dass sich wesentlich verringerte massgebende Querkräfte als beim völlig starren Träger ergeben.

Unter Berücksichtigung der verhältnismässig geringen Schubsteifigkeit des Holzes kann auch jeder Vollholzbalken als ein aus nachgiebig verbundenen Schichten zusammengesetzter Querschnitt betrachtet werden. Es ist daher nicht ver-

Bild 6. Bauarten schwer belastbarer hölzerner Brückenträger. 1) Stabverdübelte Balken, 2) Nagelplattenträger (oben) und Gang-Nail-Träger (unten), 3) Bohlenträger ohne Bleche, 4) Bohlenträger mit Blechen

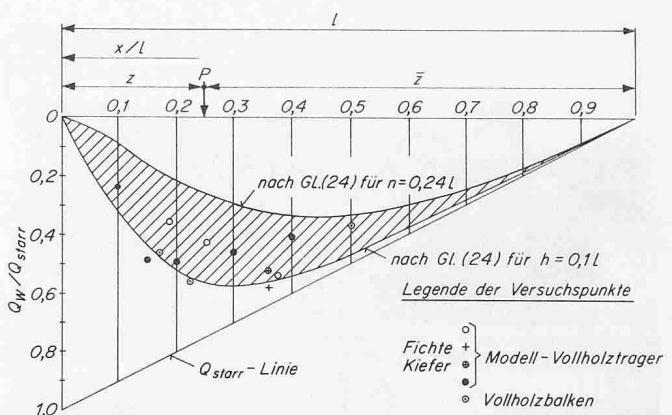


Bild 5. Wirksame Querkraftwerte aus Versuchen mit Modell-Vollholzträgern und Vollholzbalken und Vergleich mit den rechnerischen Werten nach Gl. (24)

wunderlich, dass bereits 1934 *Newlin, Heck und March* [10] darauf hingewiesen haben, dass bei Vollholz die wirksame Querkraft  $Q_w$  bei Lasten im Auflagerbereich nicht die Höhe der rechnerischen Querkraft  $Q_{w\text{starr}}$  erreicht. Die in [10] angegebene Formel, die auch in die amerikanischen Holzbaubestimmungen aufgenommen wurde, lautet:

$$(23) \quad Q_w = \eta_Q \cdot Q_{\text{starr}}$$

mit

$$(24) \quad \eta_Q = \frac{(l-a)(a/h)^2}{l[2+(a/h)^2]}$$

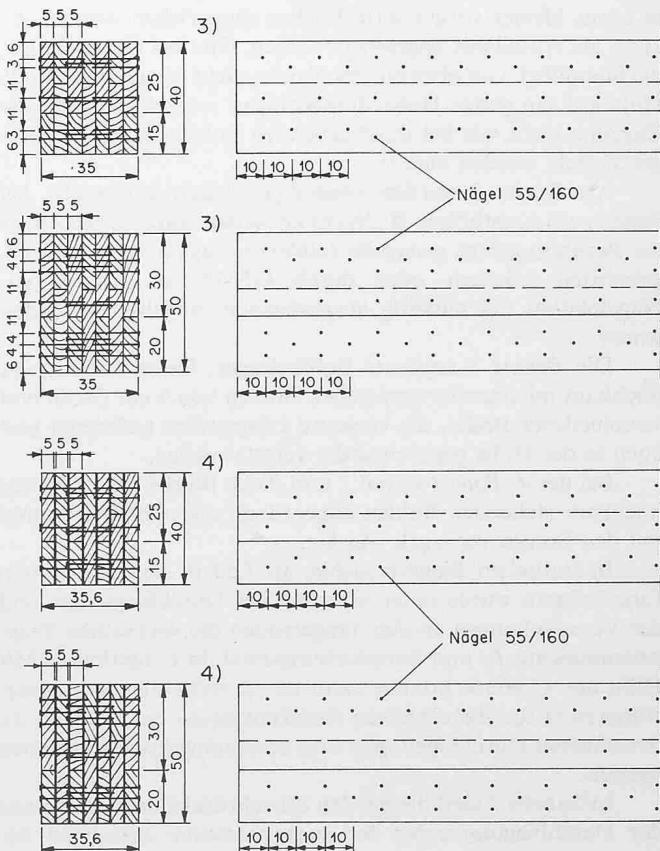
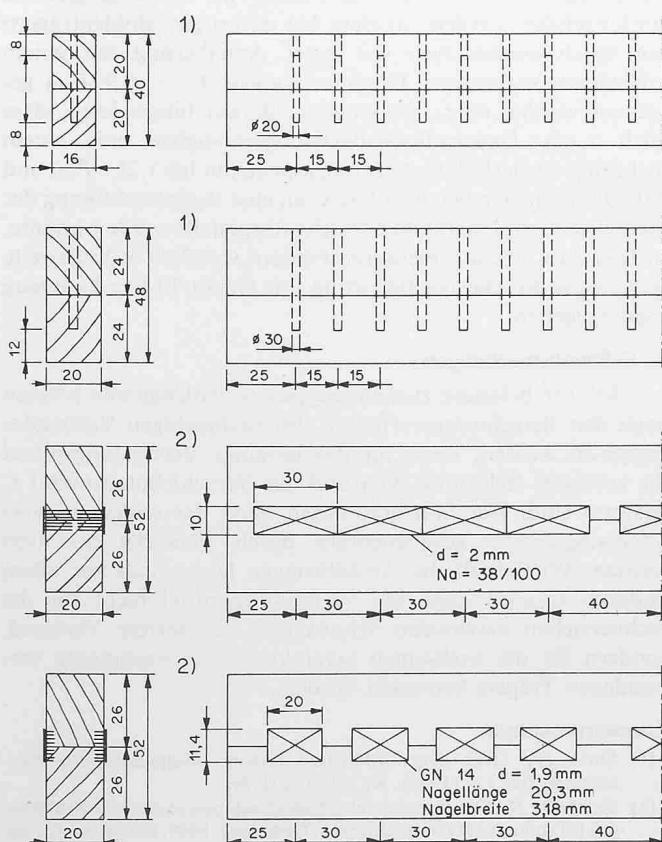
Hierin bedeuten:

### l Stützweite

$a$  Abstand der Last  $P$  vom Auflager

*h* Balkenhöhe

$O_{\text{starr}}$  rechnerische Querkraft des starren Trägers =  $P(l-a)/l$



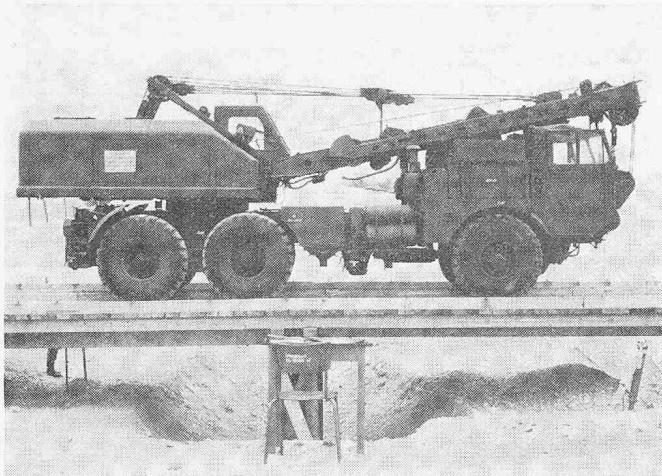


Bild 7. Versuchsbrücke mit 7,50 m Feldweite aus Bohlenträgern mit und ohne Bleche unter 30-Mp-Fahrzeug

Für  $h = 0,1 l$  ist die sich aus Gleichung (24) ergebende Querkrafteinflusslinie in Bild 4 eingetragen. Hieraus ergibt sich, dass bei Vollholz etwa ein Steifigkeitsverhältnis  $\kappa \beta^2 = 0,2$  vorliegt. Bei Versuchen mit Modell-Vollholzträgern und Vollholzbalken wurden in Karlsruhe wirksame Querkraftwerte nach Bild 5 erhalten, die die amerikanischen Werte weitgehend bestätigen (Möhler 1969 [11]).

#### 4. Versuche mit schwer belastbaren Brückenträgern

Bei der Aufgabe, schwer belastbare Brückenträger aus Holz mit möglichst geringer Trägerhöhe zu entwickeln, wurden verschiedene Bauarten erprobt, bei denen teils Kanthölzer, vorwiegend aber Bohlen und Stahlbleche zur Anwendung kamen. Die verschiedenen Bauarten sind in Bild 6 zusammengestellt.

Unter der *Bauart 1* sind mittels Stabdübel verbundene Einzelquerschnitte untersucht worden, bei denen zwei Kanthölzer 16/20 cm oder zwei Kanthölzer 20/24 cm zu einem gemeinsamen Biegeträger zusammengefasst wurden. Als Stabdübel wurden Rundstähle  $\varnothing 20$  und  $\varnothing 30$  mm verwendet, die in etwas kleiner vorgebohrte Löcher eingetrieben wurden. Es kann als vorteilhaft angesehen werden, dass bei dieser Bauart die Stabdübel, von oben eingeschlagen, nicht das unterliegende Holz auf die ganze Höhe durchdringen müssen, so dass die Zugzone nicht wie bei durchgehenden Bolzen in voller Höhe geschwächt werden musste.

Als *Bauart 2* wurden zweiteilige Balken untersucht, bei denen zwei Kanthölzer 20/26 cm entweder durch seitlich über die Berührungsstufe genagelte stählerne Nagelplatten mit vorgebohrten Löchern oder durch GN-Platten (Gang-Nail-Nagelplatten mit einseitig ausgestanzten Nägeln) verbunden waren.

Die *Bauart 3* umfasste Bohlenträger. Sie bestanden aus hochkant miteinander vernagelten Bohlen von 5 cm Dicke und verschiedener Breite, die versetzte Längsstöße aufwiesen und auch in der Höhe gegeneinander versetzt waren.

Bei der *4. Bauart* waren 1 mm dicke Bleche zwischen den hochkant stehenden Bohlen angeordnet, die ohne Vorbohren mit den Bohlen vernagelt wurden.

In statischen Biegeversuchen an 7,50 m weit gespannten Einzelträgern wurde unter Messung der Durchbiegungen und der Verschiebungen an den Trägerenden die wirksamen Trägheitsmomente  $J_w$  und Verschiebungsmoduln  $C$  bestimmt. Mit Hilfe der  $C$ -Werte konnte dann die Berechnung der Grenzstützweiten für die einzelnen Brückenklassen aus den mit  $J_w$  berechneten Durchbiegungen und Spannungen vorgenommen werden.

In Tabelle 2 sind die bei den Einzelträgern nach Bild 6 aus der Durchbiegung unter der angenommenen zulässigen Be-

Tabelle 2. Wirksame Trägheitsmomente, Verschiebungsmoduln, Bruchmomente und maximale Bruchspannungen für die untersuchten Bauarten

Trägerbauart	wirksames Trägheitsmoment $J_w$ cm <sup>4</sup>	Verschiebungsmodul $C$ kp/cm	Bruchmoment $M_B$ Mp m	Spannung beim Bruch $\sigma_{Bmax}$ kp/cm <sup>2</sup>
1 stab- dübelte Balken $\varnothing 20$	59800 50600	6900 4330	9,709 8,498	294,0 263,0
	134 000	10300	18,840	371,8
2 Nagelplatten- träger Gang-Nail- Träger	181000 181500	1850 1870	23,434 21,195	343,4 298,5
	164 000	832	24,806	497,6
3 Bohlen- träger ohne Bleche $h = 40\text{ cm}$ $50\text{ cm}$	93100 106200	1190 1990	17,483 17,937	373,0 352,2
	202500	2880	> 18,929	> 210,1
4 Bohlen- träger mit Blechen $40\text{ cm}$ $50\text{ cm}$	224000	—	20,644	$\sigma_{Holz} = 470,5$ $\sigma_{Stahl} = 2660$
	405 000	—	34,917	$\sigma_{Holz} = 404,7$ $\sigma_{Stahl} = 2940$

lastung berechneten wirksamen Trägheitsmomente  $J_w$  und die zugehörigen Verschiebungsmoduln  $C$  zusammengestellt. Außerdem sind die jeweils aufgenommenen Bruchmomente und die sich hieraus unter Berücksichtigung des Verlaufs der Lastdurchbiegungslinie berechneten grössten Biegerandspannungen angegeben. Bei der Bauart 4 konnten bis zum Versagen der Träger keine Verschiebungen zwischen Blech und Holz festgestellt werden. Das wirksame Trägheitsmoment lag zwar um rund 10% unter dem rechnerischen Wert. Dieser Unterschied muss aber auf den Einfluss der Bohlenlängsstöße zurückgeführt werden, so dass bei derartigen Bohlenträgern mit Blechzwischenlagen mit guter Annäherung mit einem konstanten wirksamen Trägheitsmoment  $J_w = 0,9 J_{voll}$  gerechnet werden kann. Es sei noch darauf hingewiesen, dass auch nach Dauerschwell-Belastungsversuchen mit einem mehrfach wiederholten Belastungsspektrum bis  $1,25 \cdot P_{zul}$  und 25000 Lastspielen bei allen Bauarten eine Beeinträchtigung der Steifigkeit und Tragfähigkeit nicht festgestellt werden konnte. In Bild 7 ist eine aus mehreren Feldern von 7,50 m Stützweite bestehende Brücke bei Belastung mit einem 30-Mp-Fahrzeug wiedergegeben.

#### 5. Schlussbemerkungen

Schwer belastete zusammengesetzte Holzbauteile können nach den Berechnungsverfahren des nachgiebigen Verbundes bemessen werden, wenn für das jeweilige Verbindungsmittel die zulässige Belastung  $N_{zul}$  und der Verschiebungsmodul  $C$  bekannt sind. Für Sonderbauarten muss der wirksame Verschiebungsmodul gegebenenfalls durch Versuche bestimmt werden. Wirtschaftliche Ausführungen lassen sich vor allem dadurch erzielen, dass die Verbindungsmittel nicht für die rechnerischen maximalen Schubkräfte bei starrem Verbund, sondern für die wirksamen Schubkräfte des nachgiebig verbundenen Trägers bemessen werden.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Stüssi Fr.: Über den verdübelten Balken. «Schweizerische Bauzeitung» Bd. 122 (1943), Nr. 21, S. 271/74.
- [2] Granholm H.: Om sammansatta balkar och pelare med särskild hänsyn till spikade träkonstruktioner. Göteborg, 1949, Gumperts förlag.

- [3] *Lombardi G.*: Der zusammengesetzte Druckstab aus Holz. «Schweizerische Bauzeitung», 69 (1951), H. 21, S. 301.
- [4] *Hoischen A.*: Beitrag zur Berechnung zusammengesetzter Vollwandträger mit elastischen Verbindungsmiteln. Dissertation TH Karlsruhe, 1952.
- [5] *Möhler K.*: Über das Tragverhalten von Biegeträgern und Druckstäben mit zusammengesetztem Querschnitt und nachgiebigen Verbindungsmiteln. Habilitation TH Karlsruhe, 1956.
- [6] *Möhler K.*: Die Bemessung der Verbindungsmitte bei zusammengesetzten Biege- und Druckgliedern im Holzbau. «Bauen mit Holz» 68 (1966) Nr. 4, S. 162/64.
- [7] *Pischl R.*: Die Auslegung der Verbindungsmitte bei zusammengesetzten hölzernen Biegeträgern. «Bauingenieur» 44 (1969), S. 419/23.
- [8] *Stüssi Fr.*: Beiträge zur Berechnung und Ausbildung zusammengesetzter Vollwandträger. «Schweizerische Bauzeitung» Bd. 121 (1943), Nr. 7, S. 87/91.
- [9] *Schelling W.*: Die Berechnung nachgiebig verbundener, zusammengesetzter Biegeträger im Ingenieurholzbau. Dissertation Universität Karlsruhe 1968.
- [10] *Newlin J. A., Heck G. E., March H. W.*: New method for calculating horizontal shear in wooden beams. "Eng. News-Record" 1968, Vol. 110.
- [11] *Möhler K.*: Untersuchungen über den Einfluss der Laststellung bei Biegeträgern auf die Höhe der Schubbeanspruchung aus Querkraft. Unveröffentlichter Bericht des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, 1969.

## Die grosse Versuchshalle des Hochspannungsinstitutes der Technischen Hochschule in Graz

Von Prof. Dr.-Ing. Hermann Beer, Graz

DK 624.014.2:061.6

### Übersicht

Die funktionellen Erfordernisse sowie die statischen und konstruktiven Merkmale der grossen Halle des Hochspannungsinstitutes, in der Versuche mit Höchstspannungen durchgeführt werden sollen, werden kurz beschrieben. Die stahlbau-technische Lösung führte zu einer aussenliegenden, räumlichen Rahmenkonstruktion, deren Riegel und Stiele aus dreigurtigen Rohrfachwerken bestehen. Es zeigte sich, dass durch die vollständig geschweißte Rohrkonstruktion eine funktionell und wirtschaftlich günstige sowie ästhetisch befriedigende Lösung erzielt werden konnte.

### 1. Einleitung

Dem neuen Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule in Graz ist eine grosse Versuchshalle für Lehr- und Forschungszwecke angegliedert [1], in der auch Versuche mit Höchstspannungen bis zu 3,5 Mio Volt durchgeführt werden sollen. Die funktionellen Forderungen an diese Halle (Bild 1), die in der Art der Anlage und der konstruktiven Ausbildung als neuartig anzusehen ist, seien nachstehend kurz zusammengestellt:

1. Vollständige elektrische Abschirmung des Innenraumes unter Vermeidung aller vorstehenden Bauteile.
2. Sehr schwere, auf Schienen verfahrbare Lasten wie Stossgenerator und Zentralelektrode, die durch ein Tor von  $14 \times 14$  m lichter Öffnungsweite auf einen Freiplatz vor der Halle gezogen werden können (Bild 2).
3. Aufhängung der Versuchsapparaturen an beliebigen Punkten einer Unterdecke, die auch die Klimaanlage trägt, und Anordnung eines rundlaufenden Kranes mit Hängekatze (Bild 3).
4. Zugänglichkeit des Halleninnern über eine besondere sogenannte Besucherbrücke, die auch die Beobachtung der im Freien durchgeführten Versuche gestattet und in den Kommandoraum mit den Schaltanlagen mündet.

Rechts:

Bilder 2 u. 3. Anordnung der Versuchsapparatur, Grundriss und Aufriss 1:500

1 Kommandoraum	4 Spannungsteiler	7 Wechselspannung
2 Stossgenerator	5 Kugelfunkenstrecke	8 Gleichspannung
3 Zentralelektrode	6 Ölgefäß	9 Kranbahn 12 MP

Bild 1. Gesamtanlage des Hochspannungsinstitutes, Ansicht, Massstab 1:1000

