

Bauakademie der DDR
Institut für Industriebau
Dipl.-Ing. Wolfgang Rug

NEUE ERKENNTNISSE ZUR TRAGFÄHIGKEIT VON STABDÜBELN¹⁾

1. Einleitung

Die Leistungsfähigkeit der Verbindungen beeinflusst wesentlich den Veredlungsgrad von Holzkonstruktionen. Deshalb widmet die Holzbauforschung der Weiter- und Neuentwicklung der Verbindungsmittel im Holzbau besondere Aufmerksamkeit (s. auch /1/ und /2/).

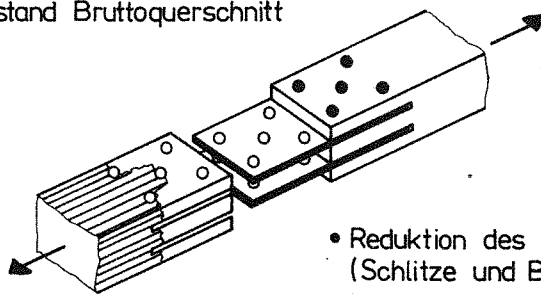
Die intensiven Forschungsarbeiten zielen dabei auf eine möglichst vollständige Nutzung des Baustoffes Holz.

Interessante Untersuchungen zur Erhöhung der Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen wurden in der Schweiz durchgeführt, über die schon in /1/ und /2/ kurz berichtet wurde. Bemerkenswert ist die rasche Überführung der Ergebnisse der von GEHRI an der ETH Zürich durchgeführten Forschungsarbeiten in die Baupraxis. Über die effektive Nutzung der Forschungsergebnisse berichtete BLUMER u.a. in /10/, /11/, /12/ und /13/. Die gute Praxiswirksamkeit war nur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Holzbaufirmen und der Holzbauforschung möglich.

Die nachfolgend vom Autor ausgewerteten Untersuchungen sind vor allem für die Entwicklung und Projektierung von Holzfachwerkträgern wichtig, da die Wirtschaftlichkeit von der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel abhängt.

Allgemein läßt sich der Wirkungsgrad bzw. die Leistungsfähigkeit einer Verbindung als Verhältnis zwischen der möglichen Anschlußkraft zur Tragkraft des Bruttoquerschnittes ausdrücken.

$$\eta = \frac{\text{Anschlußvermögen}}{\text{Tragwiderstand Bruttoquerschnitt}}$$



- Reduktion des Querschnitts (Schlitze und Bohrungen)
- Einfluß ungleichmäßiger Spannungsverteilung ("Kerbeinfluß")

Bild 1: Leistungsfähigkeit der Verbindung - Wirkungsgrad η
nach /7/

1) Erweiterte Fassung des auf dem Holzbauseminar gehaltenen Vertrages

Bei Zugbelastung wird die Größe der Anschlußkraft beeinflusst durch die Querschnittsschwächung und Kerbwirkung (s. Bild 1). Es ergeben sich folgende Wirkungsgrade bei Zugbelastung parallel zur Faser

Klebe- bzw. Leimverbindung	=	0,8 ... 1,0
Nagelverbindung	=	0,4 ... 0,75
Bolzenverbindung	=	0,5 ... 0,65
Ringdübelverbindungen	=	0,3 ... 0,4

Bei Knotenverbindungen werden die Verhältnisse noch ungünstiger, da die Stababmessungen durch die, für die Anordnung der Verbindungsmittel, notwendigen Anschlußflächen bestimmt werden.

Selbst bei Gelenkbolzenverbindungen mit hoher Tragkraft beträgt der Wirkungsgrad nur 0,3 /8/ (s. auch /15/ und /16/ und Bilder 2a bis e).

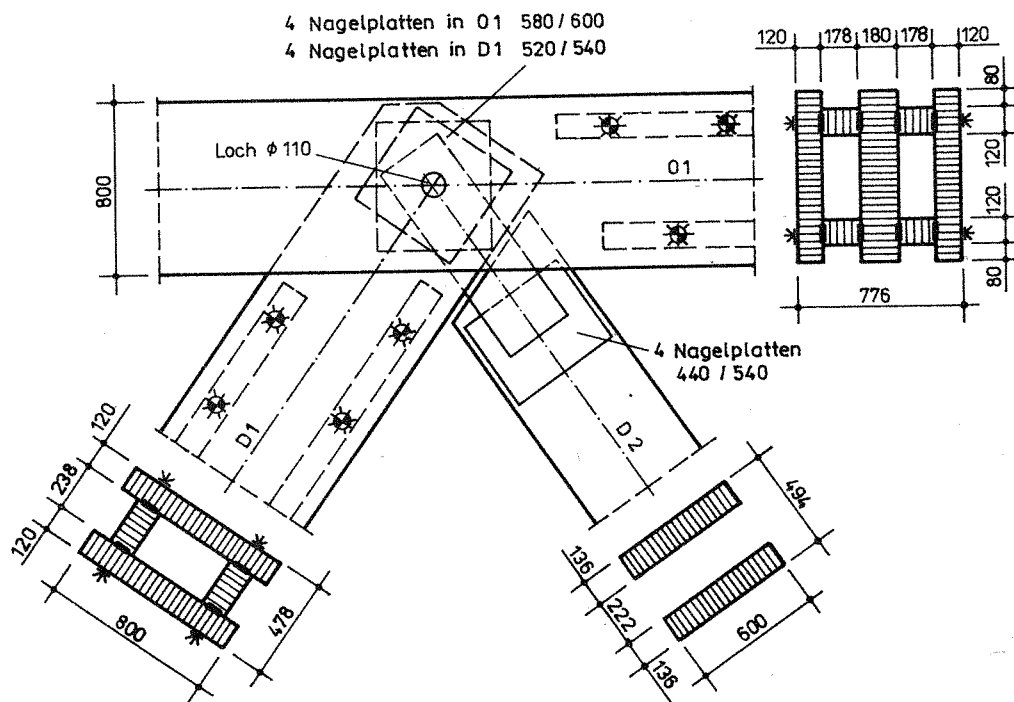
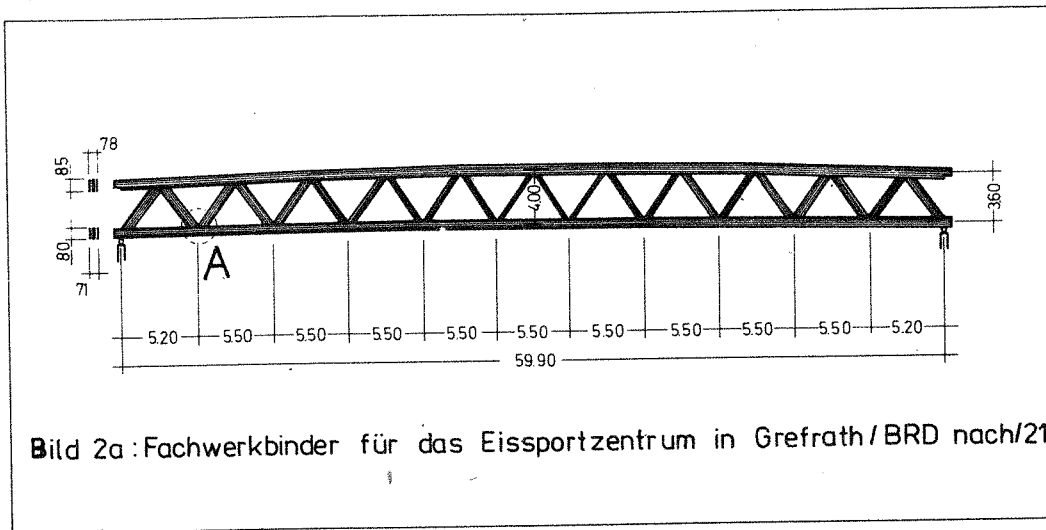


Bild 2b: Ausgeführter Fachwerk-Knotenpunkt für das Eislaufstadion in Grefrath; alle Stabteile aus Brettschichtholz /16/

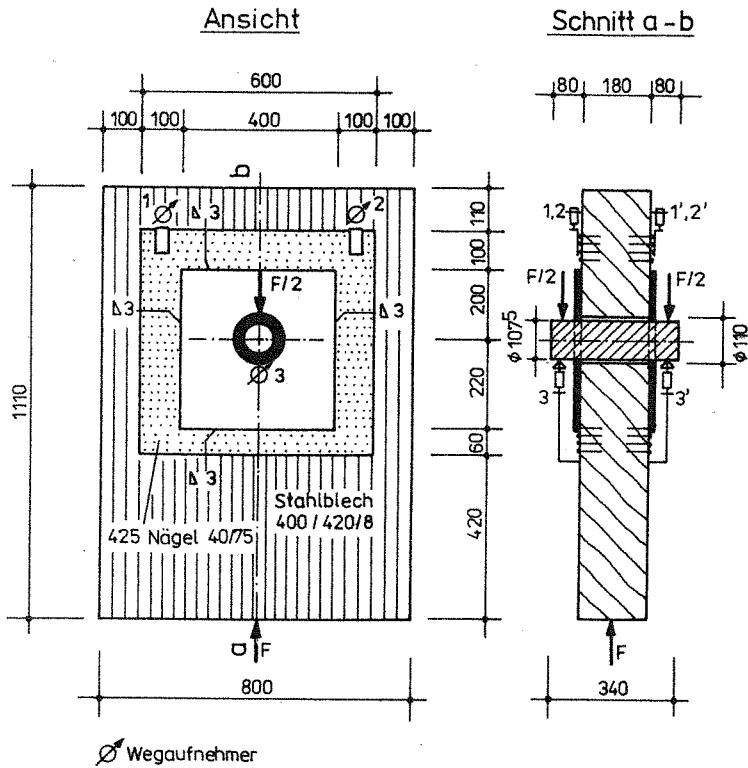


Bild 2c : Versuchskörper zur Prüfung der Kraftübertragung von Gelenkbolzen-
verbindungen (Verbindung der Gelenkbolzenverbindung mit dem Holz über
850 Nägeln) nach /16/ und /15/

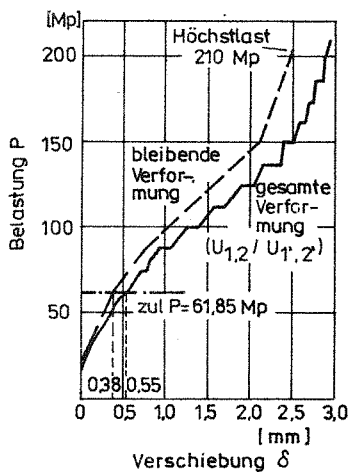


Bild 2d: Last - Verschiebungs-Dia-
gramm für die Nagelplatte
nach /16/

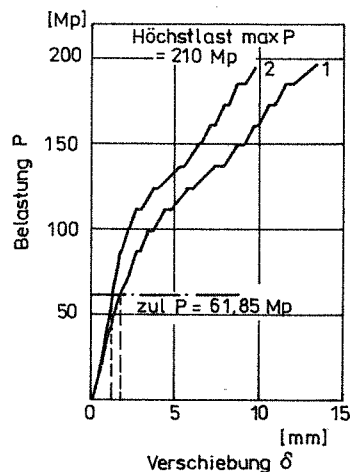


Bild 2e: Last - Verschiebungs-Dia-
gramm für den Bolzen ein-
schließlich Lochaufweitung nach /16/
1 - Bolzenverschiebung
(U₃ / U₃')

2 - Lochaufweitung

Bei Druckbelastung wird der Wirkungsgrad vor allem durch die konstruktive Art der Kraftüberleitung beeinflusst. Zum Beispiel führt die Schlitzung von Druckstäben zu einer Verminderung der Tragfähigkeit der Druckstäbe (s. Bild 3 aus /7/).

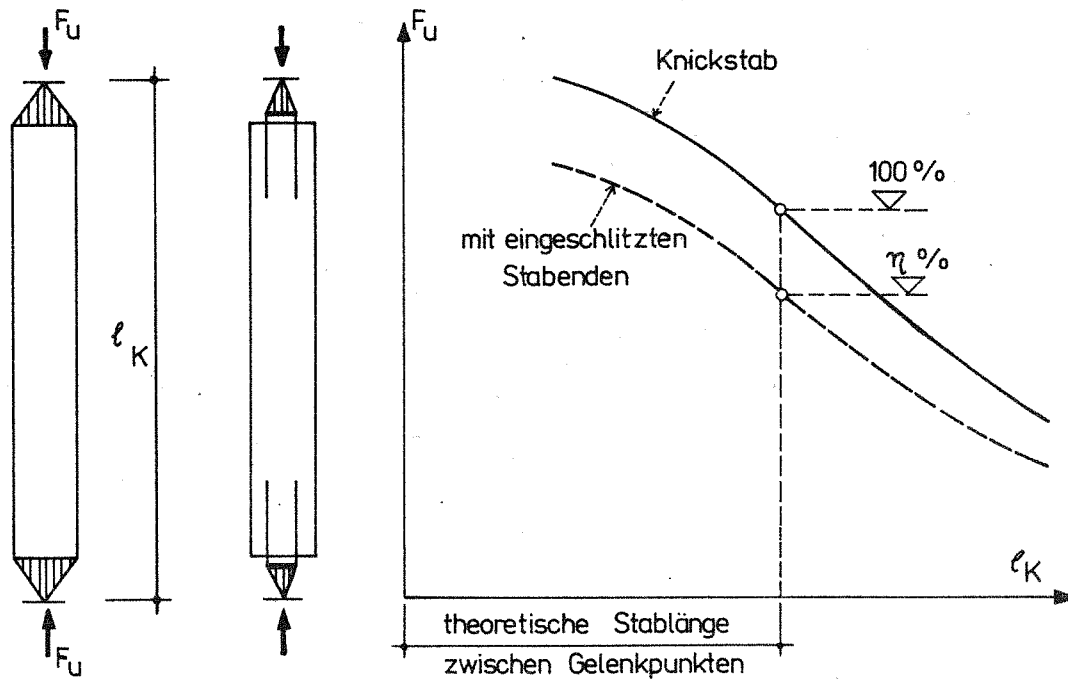


Bild 3: Einfluß der Stabendausbildung auf die Tragkraft F_U eines Knickstabes nach /7/

Die spezifische Tragfähigkeit der Verbindungsmittel läßt sich durch den Anschlußwert τ_A darstellen. Er ergibt sich aus der zulässigen Tragfähigkeit (Tragkraft) durch die minimale Anschlußfläche. Sie kann Bild 4 und Tabelle 1 entnommen werden. Die günstigsten Werte liefern die Verbindungsmittel Klebstoff bzw. Leim und Nägel vor Stabdübeln und Dübeln.

Verbindungsmittel	τ_A (N / mm ²)	
Dübel	0,2 ... 0,5	
Nägel	0,4 ... 0,8	(dn ≤ 4,2mm) weisen höhere Werte auf
Nagelplatten	0,5 ... 1,2	je nach Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung
Nagelplatte Typ Menig	1,0 ... 0,75	1,0 Faser parallel zum Kraftangriff 0,75 90° Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung
Stabdübel	0,5 ... 0,6	
Klebstoff	0,8 ... 0,9	

Tabelle 1: Anschlußwerte für verschiedene Verbindungsmittel

Anschlußwerte τ_A für Nägel und Dübel

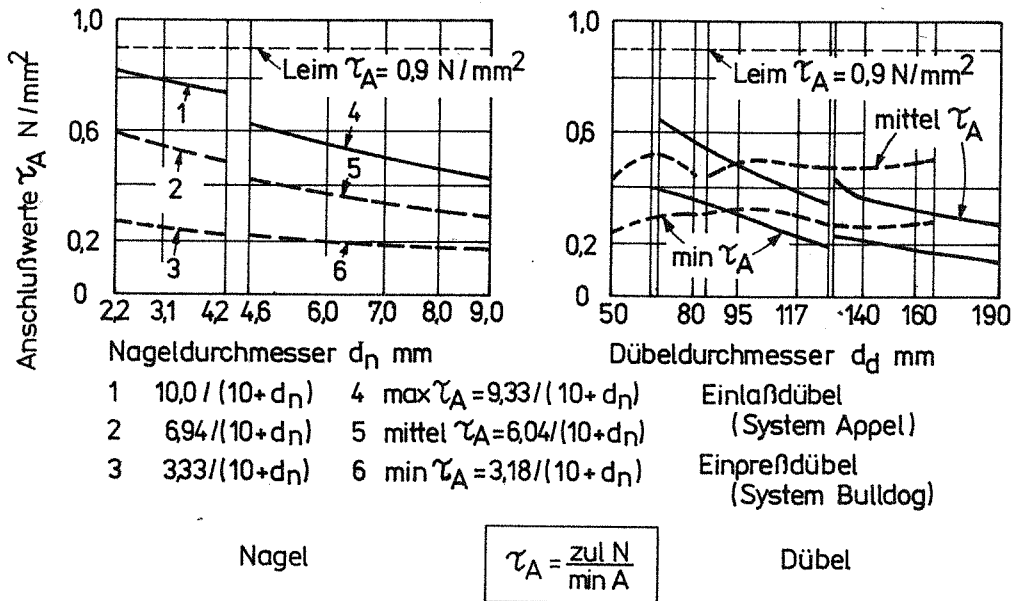


Bild 4: Anschlußwerte für verschiedene Verbindungsmittel nach /14/

Die Tragfähigkeit einer Stabdübelverbindung wird durch die Festigkeit der Verbindungsmittel und des Holzes bestimmt.

Aufgrund des für Druck- oder Zugbelastung unterschiedlichen Spannungszustandes im Holzteil (s. Bild 6), ist die Festigkeit einer Zugverbindung u.a. kleiner als die Festigkeit einer Druckverbindung. Werden die Normwerte unabhängig von der Beanspruchung festgelegt, so sind diese stets aus den Ergebnissen von Zugprüfungen abzuleiten.

Welche weiteren Einflußfaktoren die Tragfähigkeit einer Stabdübelverbindung beeinflussen, zeigt Bild 5.

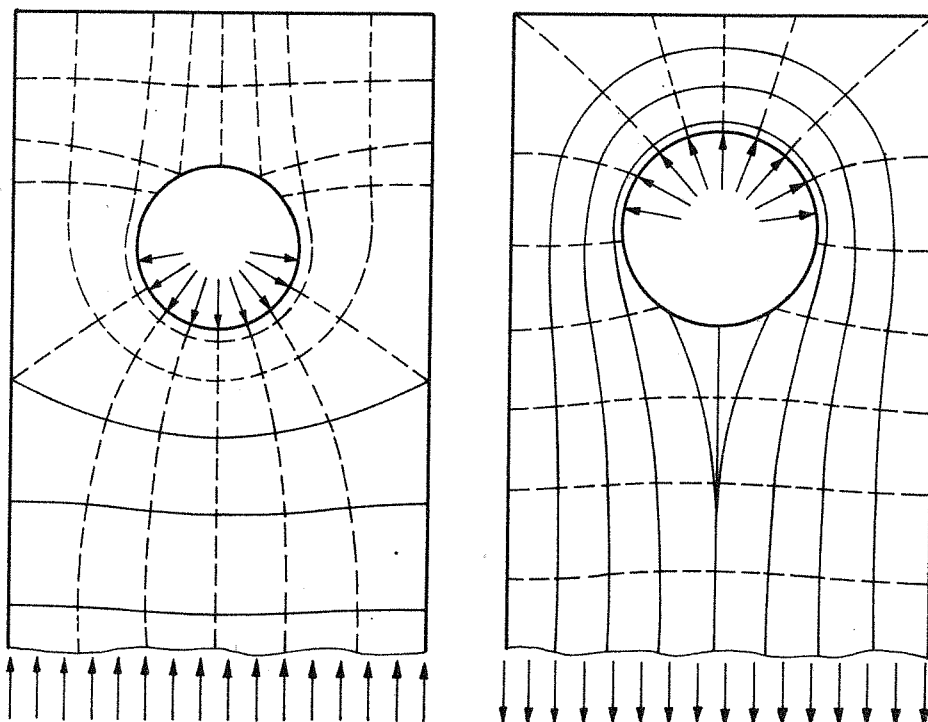


Bild 6: Spannungszustand im Holzteil in Abhängigkeit der Art der Krafteinleitung durch den Bolzen (Zug oder Druck): schematische Darstellung /3/

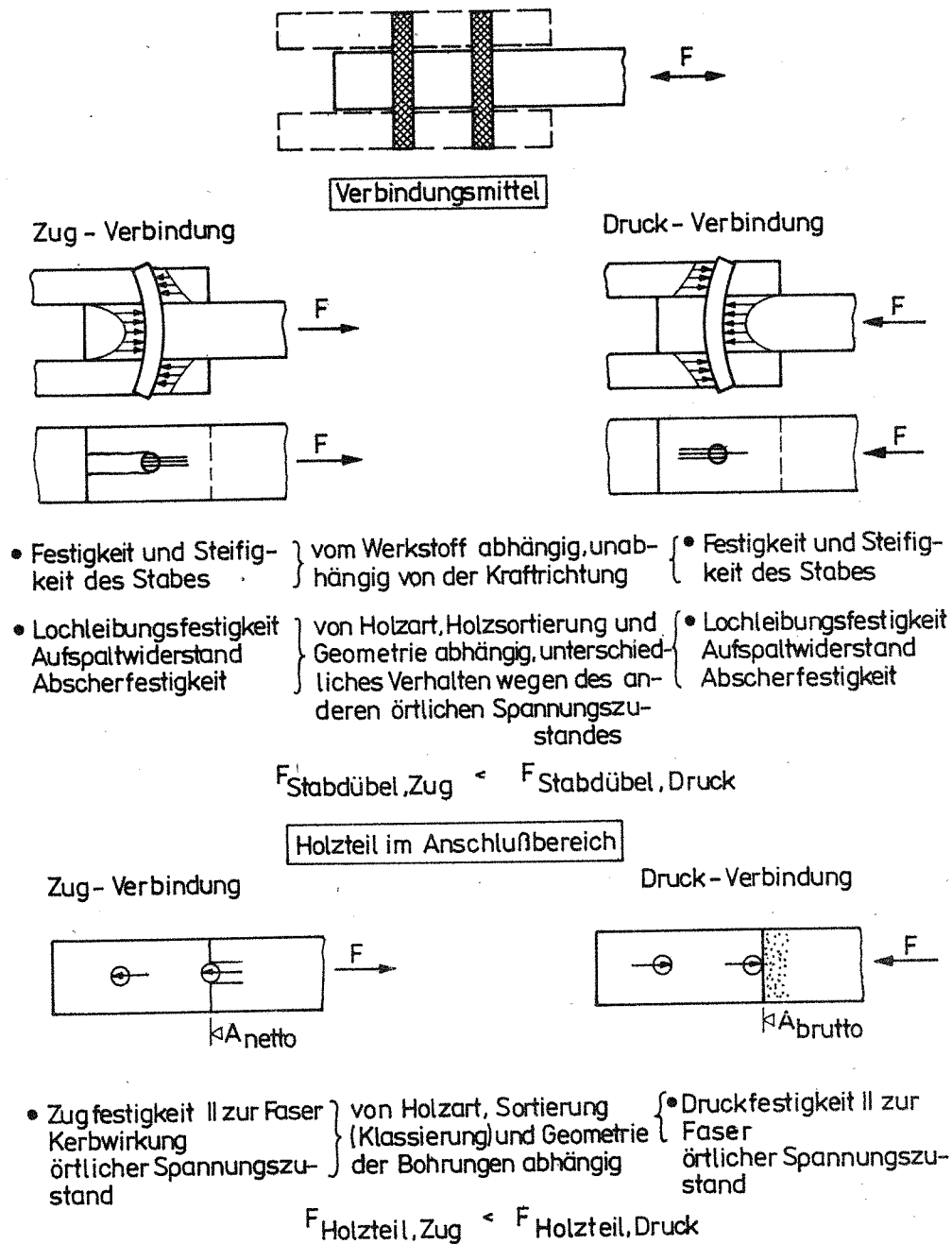


Bild 5: Prinzipielle Darstellung des Tragverhaltens von Stabdübelverbindungen nach /9/

2. Experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten von Stabdübelverbindungen

2.1. Allgemeines

Von GEHRI wurden umfangreiche Untersuchungen zum Tragverhalten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in /3/ bis /9/ dargestellt.

Die Schlankheit der Dübel wurde so gewählt, daß die Biegefestigkeit des Dübels für das Versagen der Verbindung ausschlaggebend wird. GEHRI fand heraus, daß die Tragfähigkeit einer derartigen

Verbindung über 2 Wege erhöht werden kann:

1. Über die Erhöhung der Materialfestigkeit der Dübel
2. Verringerung der Stützweite der Dübel durch Anordnung einer Mehrfachstützung der Dübel

Bild 7 verdeutlicht den 1. Weg. Die Tragfähigkeit des Verbindungsmittels wird in Abhängigkeit von der Stahlfestigkeit, welche die Biegefestigkeit des Stabdübels beeinflusst, vergrößert. Die höhere Tragfähigkeit wird aber nur dann erreicht, wenn die Grenzwerte der Schlankheit auf die Stahlfestigkeit abgestimmt sind.

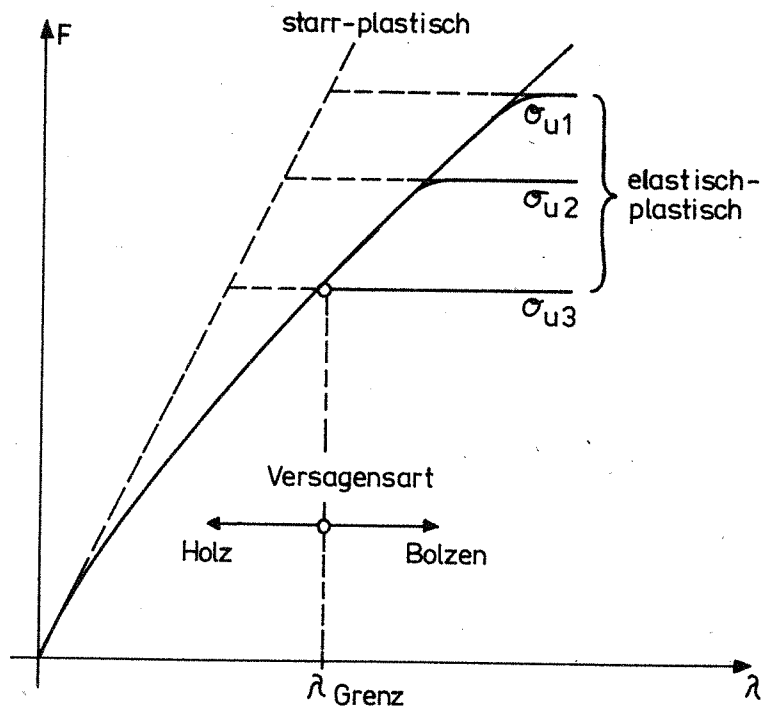


Bild 7: Einfluß der Stahlfestigkeit σ_u auf die Tragfähigkeit F_u des Verbindungsmittels: --- unter Annahme starr-plastisch; — für elastisch-plastisches Verhalten des Bolzens /3/

Den 2. Weg verdeutlicht Bild 8. Über die Verminderung der Stützweite der Dübel mittels Stahlaschen oder in das Holz eingelegte Bleche können größere Schlankheiten für die Dübel realisiert werden, das heißt, es können dünnere Dübel ausgeführt werden. Die Grenzschlankheit wird durch die Holzart beeinflusst. Verwendet man zum Beispiel Brettschichtholz aus Fichte oder Buchenholz, so muß bei gleicher Grenzschlankheit eine höhere Stahlfestigkeit für die Stabdübel gegenüber einer Verwendung von Fichtenholz (s. Bild 9) eingeführt werden.

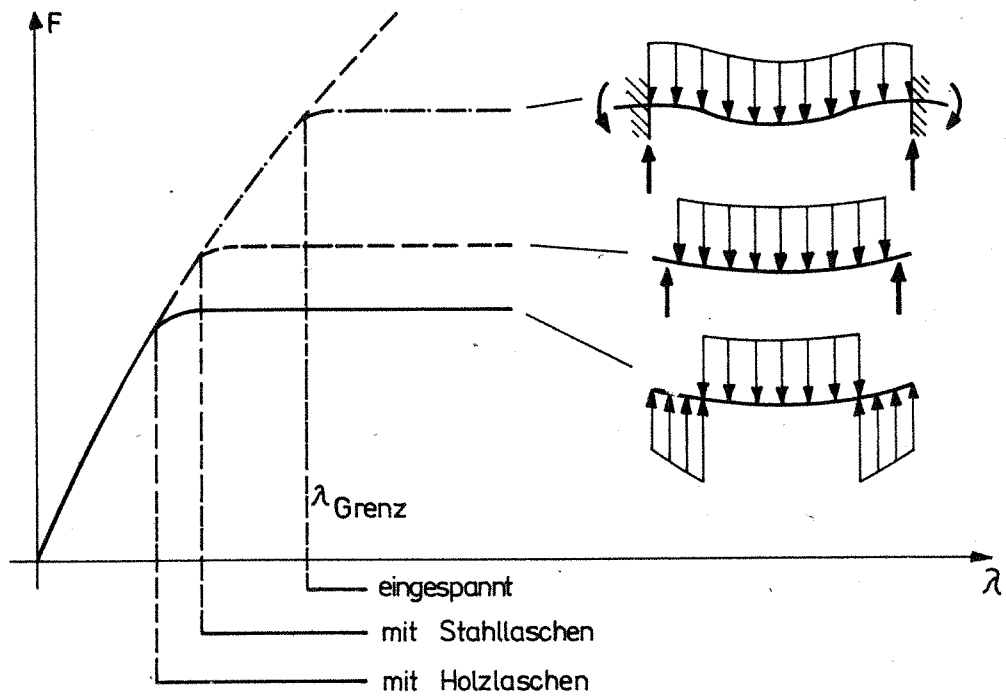


Bild 8: Einfluß der Lagerungsbedingungen auf die Grenzsclänkheit des Bolzens /3/

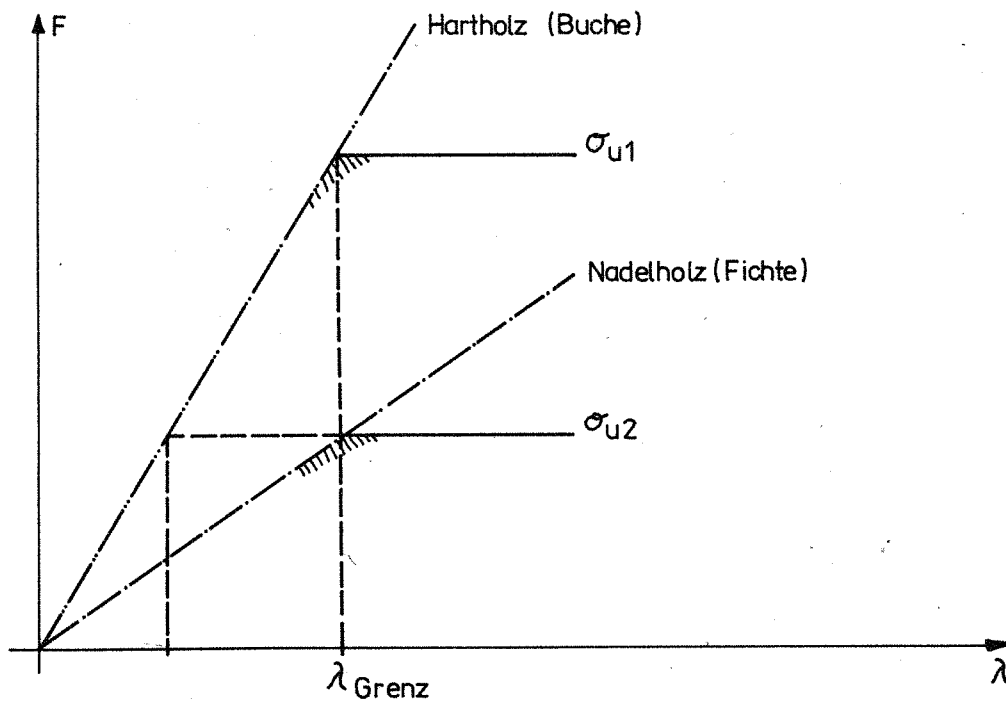


Bild 9: Einfluß der Holzart auf die Grenzsclänkheit des Bolzens /3/

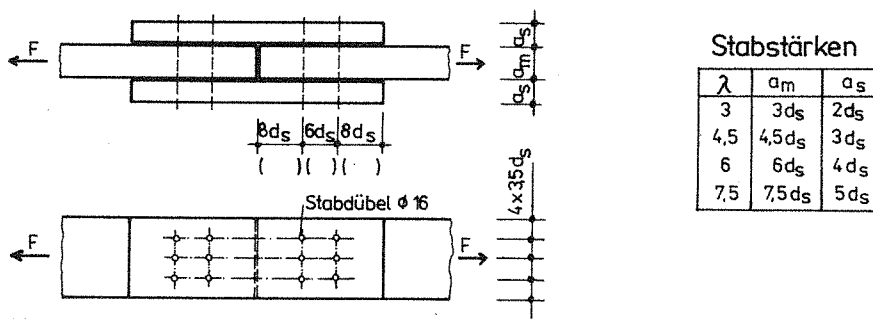
GEHRI berichtete über folgende Untersuchungen:

1. Tragfähigkeit von Stabdübeln an Zugverbindungen mit Holzlaschen
2. Tragfähigkeit von Stabdübeln an Zugverbindungen mit in das Holz eingelegte Stahllaschen
3. Tragfähigkeit von Holzstabdübeln an Zugverbindungen und Sperrholzlaschen
4. Tragfähigkeit von parallelgurtigen Fachwerkträgern mit verschiedenen Verbindungen

2.2. Versuche an Zugverbindungen mit Holzlaschen

GEHRI untersuchte die Tragfähigkeit der in Bild 10 dargestellten Probenformen. Die Rand- und Zwischenabstände entsprechen der Schweizer Norm SIA 164 und sind damit etwas größer als die in der TGL 33 135 festgelegten.

Bezüglich des Mittelholzes wurden Dübel schlankheiten von 3, 4, 5, 6 und 7,5 untersucht.



TGL 33 135/85 und DIN 1052/69
 Holzart BSH Fichte : Darrholzdichte i.M. 458 kg/m^3
 Druckfestigkeit parallel zur Faser i.M. $44,8 \text{ N/mm}^2 (u=11\%)$

Stabdübel :

Durchmesser [mm]	8	16			24
		A	B	C	
Fließgrenze [N/mm^2]	524	262	524	915	524
Zugfestigkeit [N/mm^2]	560	404	560	1008	560

Bild 10: Abmessungen der Proben nach /9/

Mit zunehmender Belastung verformten sich die Stabdübel. Den prinzipiellen Verlauf der Verformung von Stabdübeln zeigt das Bild 11a und b, welches /20/ entnommen wurde.

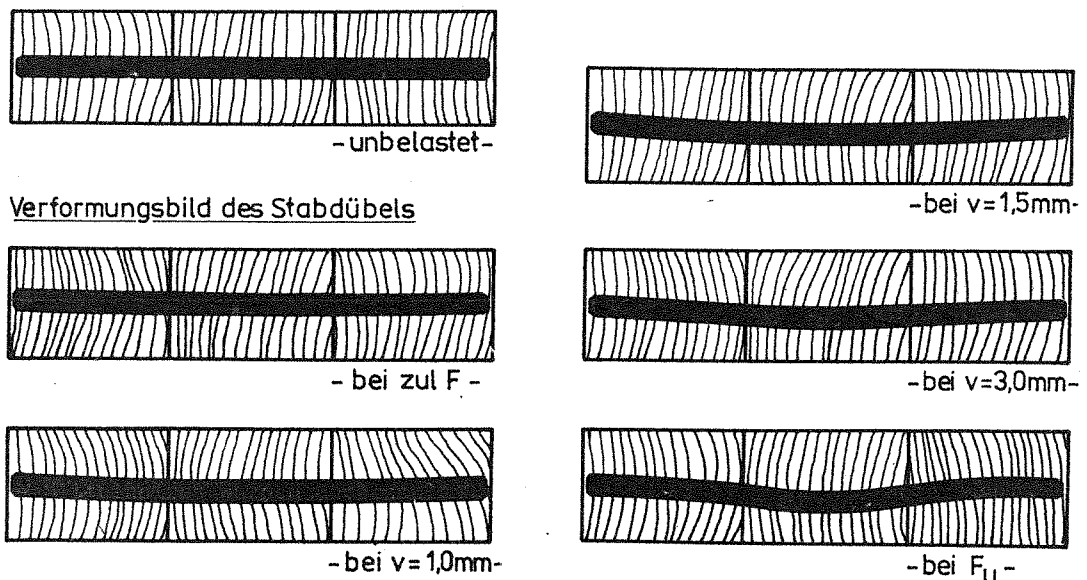


Bild 11a: Verbindungsmittel Stabdübel $d_{st} = 8 \text{ mm}$ im Vollholz-Vollholz-Element nach /20/

Beim Bruch spalteten sich die Laschen im Bereich der äußeren Stabdübelreihe. Die Bruchverformung (Spaltenöffnung) betrug 15 mm.

Für die Stahlsorte A stellte GEHRI fest, daß gegenüber den Festlegungen der DIN 1052 (identische Festlegungen enthält TGL 33135) nur mittlere Bruchsicherheiten von 2,2 erreicht wurden (s. Bild 12).

Bild 13 enthält Versuchsergebnisse von Verbindungen mit Stabdübeln $\varnothing 16$ aus verschiedenen Stahlgüten. Für die Stahlsorte B, die einem Betonstahl der Güte ST IV. entspricht, ist zum Beispiel ab einer Schlankheit von 3 mit einem Einfluß der Stahlfestigkeit auf die Tragfähigkeit der Verbindung zu rechnen.

Materialkernwerte

Verbindungsmittel: Stabdübel $\varnothing 8$
 Holz: NH Gkl. II Feuchtigkeitsgehalt 10 [M %]
 Rohdichte 440 [kg/m³]

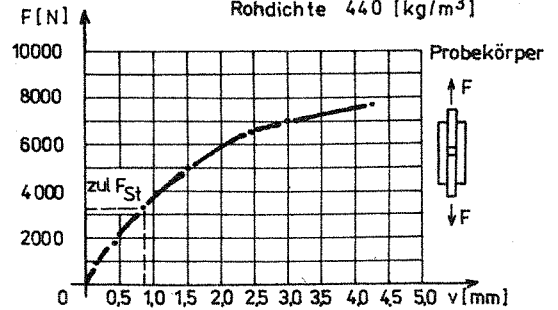


Bild 11b: Last-Verformungs-Kurve des Stabdübels $d_{St} = 8$ mm

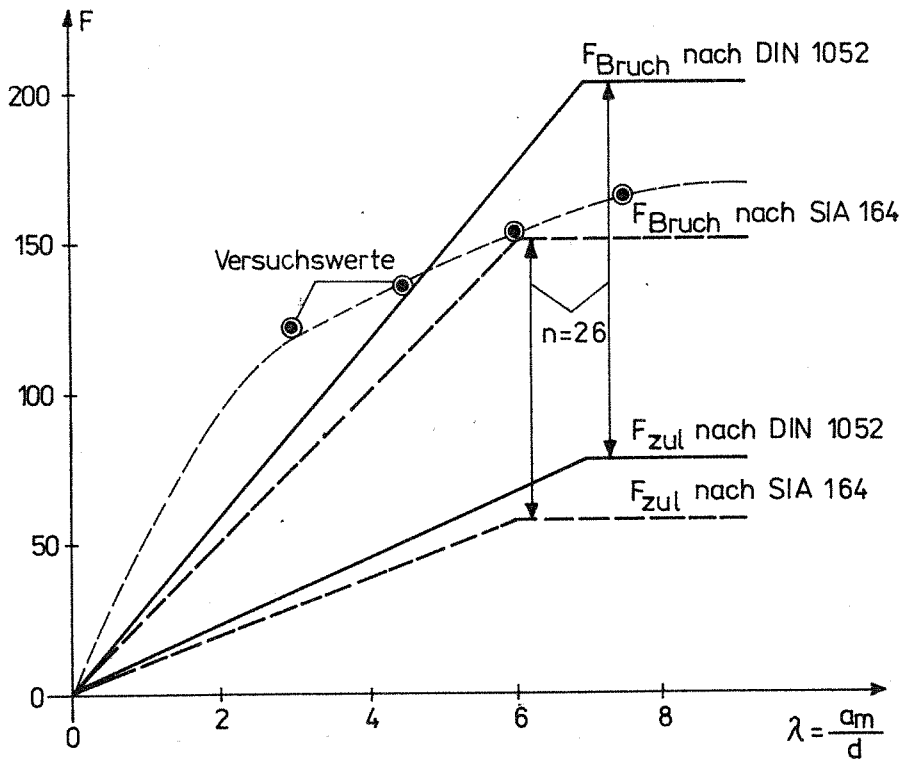


Bild 12: Versuchswerte für Stabdübel $\varnothing 16$, Stahlsorte A (\approx Fe 360) und 6 Stabdübel pro Anschluß (Mittelwerte aus 3 Proben) nach /4/

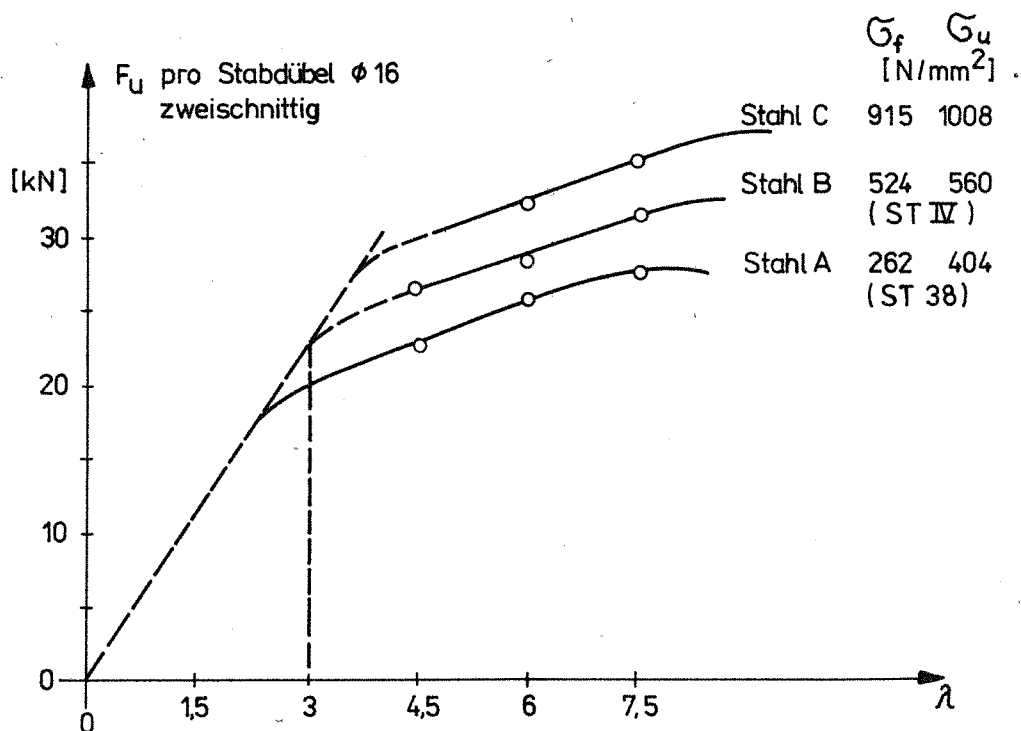


Bild 13: Einfluß der Stahlfestigkeit auf den Tragwiderstand von Stabdübeln $\emptyset 16$ in zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen (Brettschichtholz aus Fichte); Mittelwerte aus jeweils 3 Versuchen nach /9/

2.3. Versuche an Zugverbindungen mit Stahllaschen

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf folgende Probleme:

1. Einfluß der Holzart (Fichte und Buche) auf die Tragfähigkeit.
2. Einfluß der Stahlfestigkeit auf die Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen.
3. Einfluß einer Verstärkung der Holzquerschnitte durch aufgeklebte Sperrholzplatten auf die Tragfähigkeit.
4. Tragfähigkeit der Verbindung bei Vergütung durch aufgeklebte Sperrholzplatten und reduzierter Anschlußfläche.
5. Einfluß einer Exzentrizität des Kraftangriffes auf die Tragfähigkeit der Verbindung.

Im Bild 14 sind die unterschiedlichen Probenformen und in Tabelle 2 die Ergebnisse der Versuche dargestellt.

Die Verformungen betragen unter kurzzeitiger Last 0,3...0,8 mm im Bereich der zulässigen Belastung. Die größeren Werte sind auf Schlupfverformungen infolge ungenauer Bohrungen zurückzuführen. Bei den Anschlüssen ohne seitliche Verstärkung durch aufgeklebte Sperrholzlaschen trat der Bruch durch Aufspalten des Holzes (bei Fichtenholz) und durch Abscheren (bei Buchenholz) ein.

Der Einfluß der Stahlfestigkeit auf die Tragfähigkeit ist nur bei Proben zu bemerken, bei denen die Dübel zweifach gestützt sind (Probenform A). Wird der Dübel 4-fach gestützt (Probenform C und D) oder sind die Kragarme der zweifach gestützten Dübel klein (Probenform B), hat die Stahlfestigkeit keinen Einfluß auf die Tragfestigkeit der Verbindung. Der Dübel wirkt im Bereich des Mittelholzes wie ein eingespannter Balken.

GEHRI hat die Ergebnisse der Versuche nach dem Normensatz $F_u = k \cdot d^{1,7}$ ausgewertet und erhält für eine Schlankheit $\lambda = 6$ die in der Tabelle 2 enthaltenen K-Werte.

In Bild 15 wurden die Anschlüsse B, C und D hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Stahlfestigkeit, Holzart und Anschlußfläche miteinander verglichen.

Die größte Tragfähigkeit wurde mit Verbindungen aus Buchenholz erzielt. Selbst bei großer Reduzierung der Anschlußflächen ändert sich die Tragfähigkeit des Anschlusses nur wenig.

Bild 16 zeigt die Ergebnisse von Versuchen an Verbindungen, bei denen die Sperrholzverstärkungen nicht außen aufgeklebt wurden, sondern im Holzquerschnitt angeordnet wurden. Auch hier wird deutlich, daß mit Hilfe derartiger Verstärkungen die Tragfähigkeit, trotz einer beträchtlichen Reduzierung der Anschlußfläche, erhöht werden kann. Diese Erkenntnisse wurden von GEHRI dann für die Entwicklung von hochbeanspruchten Knotenverbindungen für Raumfachwerke genutzt.

Der Einfluß der Exzentrizität der Belastung auf die Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen kann Bild 17 entnommen werden. Gleichzeitig machte GEHRI darauf aufmerksam, daß durch die Verwendung von Stabdübelverbindungen mit Stahllaschen bei Fachwerken relativ steife Fachwerkknoten entstehen. Er schlug deshalb vor, eine 10 %ige Verminderung der Tragfähigkeit bei der Berechnung derartiger Verbindungen zu berücksichtigen /4/.

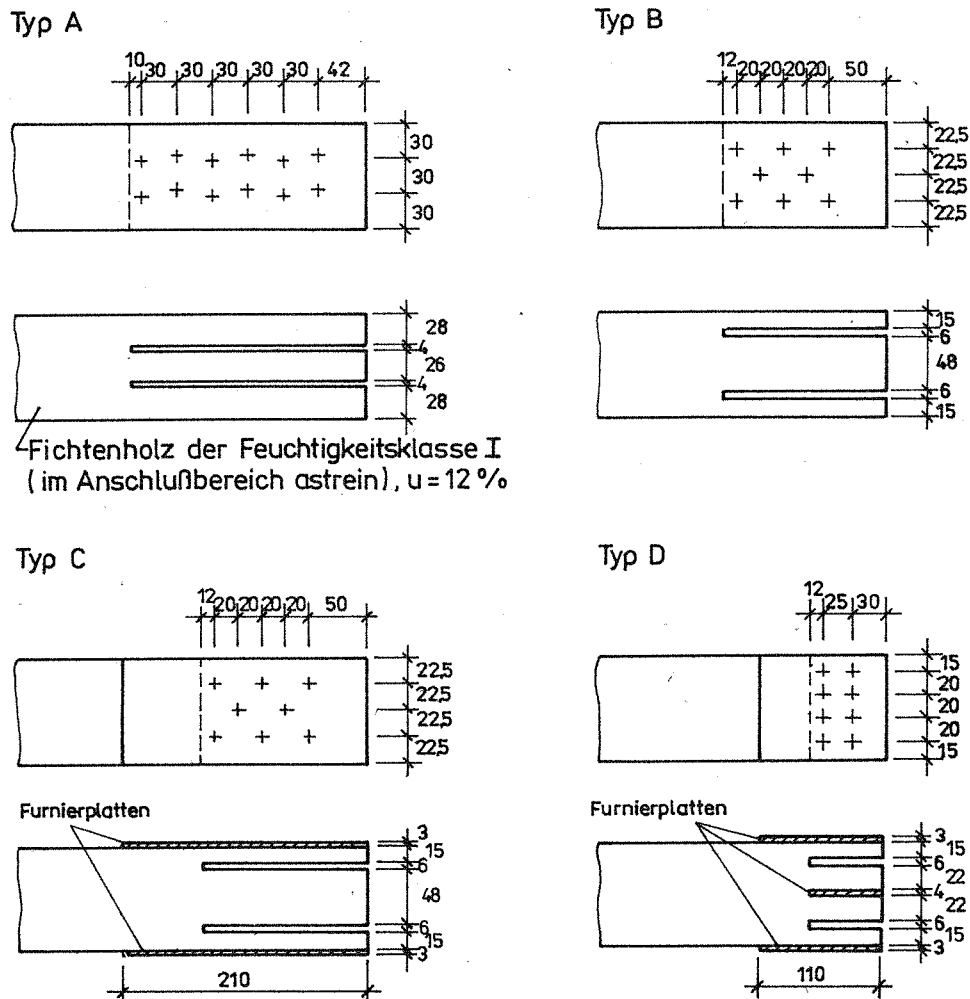


Bild 14. Untersuchte Ausbildungsformen nach /3/

Ansatz: $F_U = k \cdot d^{1,7} \cdot a$

$$a = \frac{12 \cdot d}{2a_s + a_m}$$

Blechdicke ≥ 2 mm

für $a_m = 6d$
 $a_s = 3d$
wird $a = 1,0$

Serie 1)	Stahlsorte 2) N/mm ²	F _{Bruch} 3) kN	F _{Bruch} /Bolzen kN	σ Bruch brutto N/mm ²	k-Werte ($\lambda=6$)
AF 5	600	99,1	8,3	12,2	99
AF 6	1000	138,5	11,5	17,1	120
AF 6	600	116,8	9,7	14,4	102
AF 8	600	131,6	11,0	16,3	94
BF 6	1000	127,3	15,9	15,7	174
BF 8	1000	134,6	16,8	16,6	151
BF 8	550	136,0	17,0	16,8	153
BF 10	1000	163,7	20,5	20,2	157
CF 8	1000	191,1	23,8	23,6	198
DF 8	1000	157,6	19,7	19,5	164
BB 8	1000	241,3	30,2	29,8	271
BB 8	550	263,3	32,9	32,5	295
CB 8	1000	280,0	35,0	34,5	291
DB 8	1000	272,4	34,0	33,6	283
BF 8/ 0	550/1000	135,2	16,9	16,7	
BF 8/05	1000	130,1	16,3	16,1	
BF 8/10	1000	106,6	13,3	13,2	
BF 8/15	1000	97,1	12,1	12,0	
BB 8/ 5	1000	264,9	33,1	32,7	
DB 8/ 5	1000	256,3	32,0	31,6	

1) Schlüssel zur Seriebezeichnung :

1. Buchstabe : Anschlussbild

2. Buchstabe : Fichte / Buche

Zahl : Bolzendurchmesser in mm

Zahl nach Querstrich : Exzentrizität in mm

2) Bruchfestigkeit σ_U in N/mm²

3) In der Regel Mittelwert aus 3 Versuchen

Tabelle 2: Versuchsergebnisse für mehrschnittige Stahl-Holz-Verbindungen nach /3/

Die Möglichkeit der Verbesserung der Tragfähigkeit durch Verstärkung des Holzquerschnittes mittels Hölzer oder Holzwerkstoffen höherer Festigkeit führt zu den in Bild 18 dargestellten Verbesserungen der Tragfähigkeit von Stäben, die mit Stabdübeln verbunden werden.

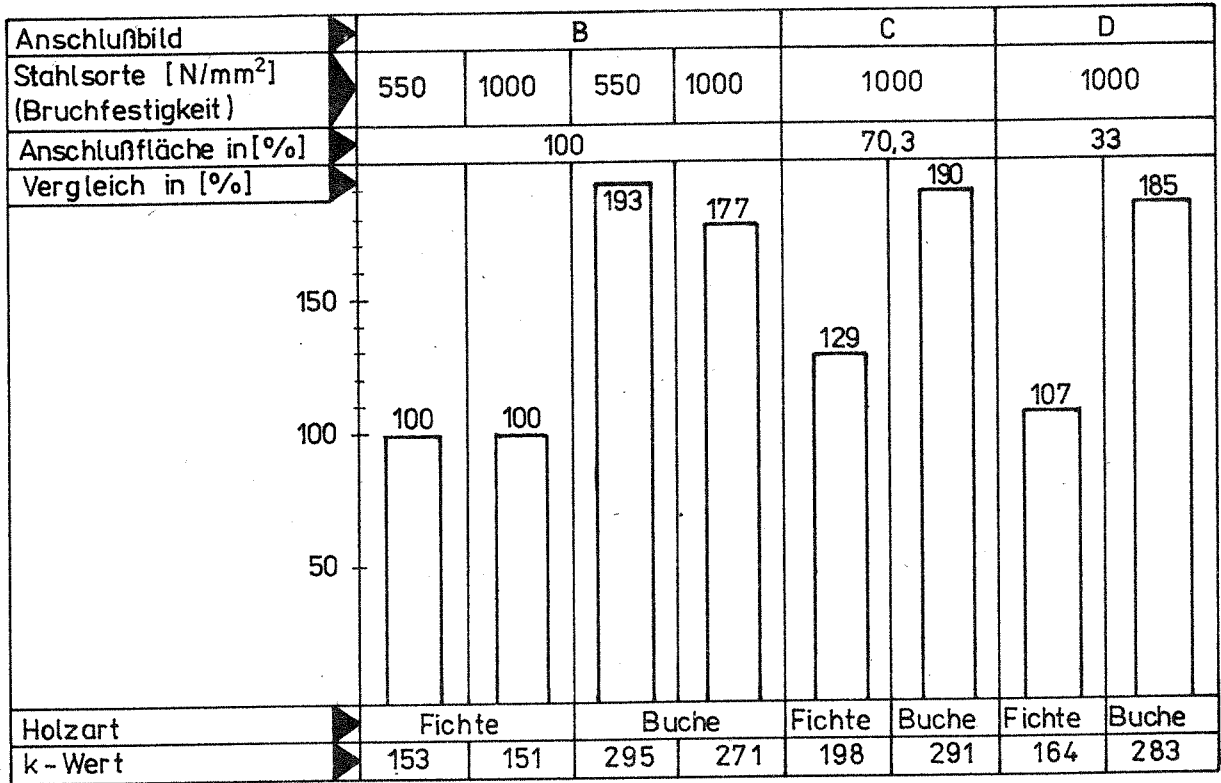
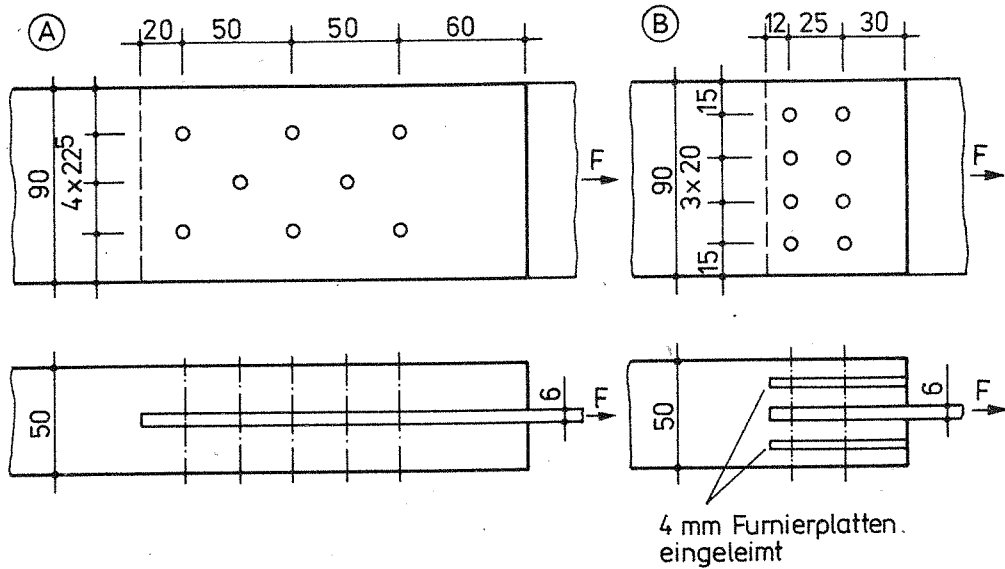


Bild 15: Vergleich der Tragfähigkeit (K-Werte) für $\lambda = 6,0$ entsprechend den Versuchswerten in der Tabelle



Anschlußform	Bolzen St.100 ϕ in mm	Fichte KN	Buche KN
Ⓐ	6	66,2	98,7
Ⓑ	6	75,7	101,4
	8	105,3	150,4

Bild 16 Tragfähigkeit von Stabanschlüssen an Fichten- oder Buchenholz (Mittelwerte aus 2 Versuchen), Form B mit reduzierter Anschlußfläche (ca. 37 % gegenüber Form A) und einer Verstärkung des Holzquerschnittes mittels Furnierplatten nach /6/

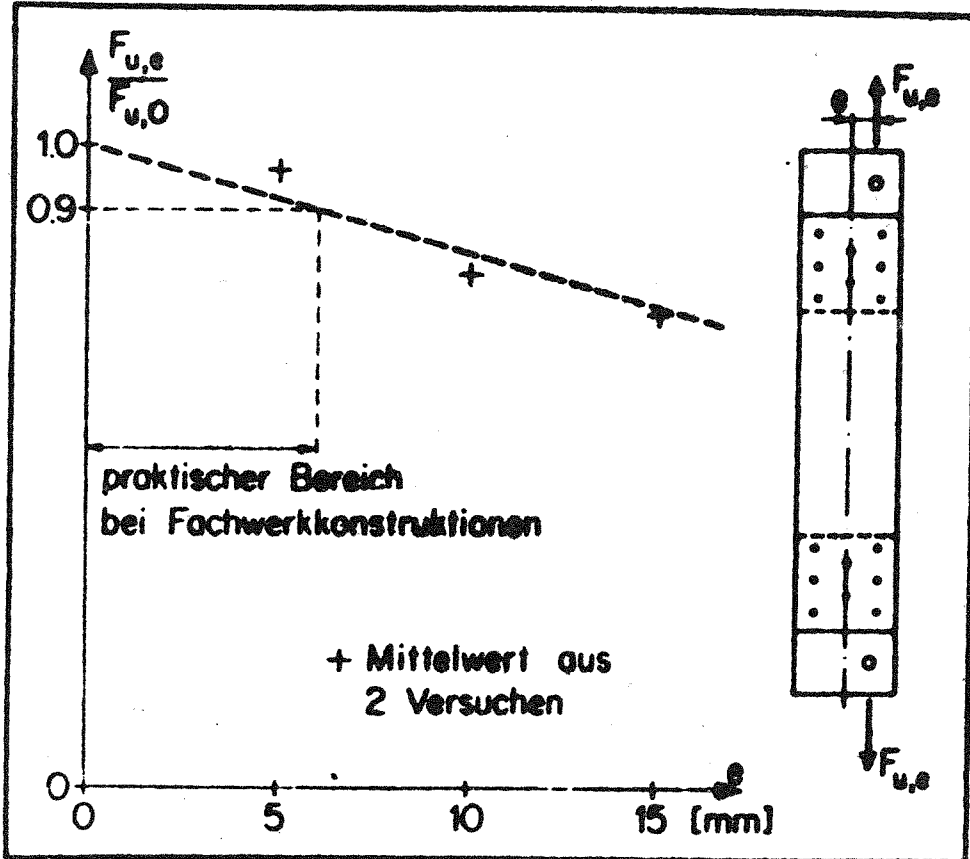


Bild 17: Einfluß der Stabendmomente auf die Tragkraft F_u (Darstellung der Werte $F_{u,e}$ bezogen auf die Tragkraft ohne Momenteneinwirkung $F_{u,0}$) nach /3/

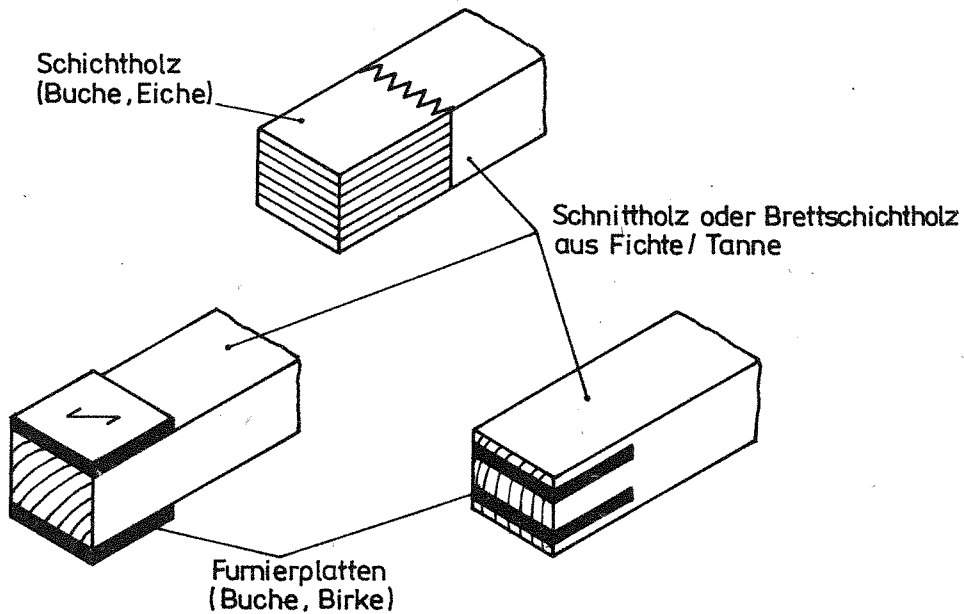


Bild 18: Verbesserung der Eigenschaften der Stabenden durch ein- oder aufgeleimte Furniersperrholzplatten sowie durch die Verwendung leistungsfähiger Holzarten nach /9/

2.4. Versuche an Zugverbindungen mit Sperrholzlaschen und Stabdübeln aus Holz bzw. anderen nichtmetallischen Werkstoffen

Die Form der Proben kann Bild 19 entnommen werden. Der Bruch tritt u.a. durch ein Versagen der Stabdübel ein. Wie bei den Stabdübeln bilden sich Fließgeränke aus (s. Bild 20).

Gleichzeitig wurde eine große Kerbempfindlichkeit des Sperrholzes festgestellt, die dazu führte, daß der Bruch u.a. im Sperrholz erfolgte.

Die Werte für die Bruchkraft des Dübels können Bild 21 entnommen werden, die noch einmal alle wesentlichen Ergebnisse zusammenfassen.

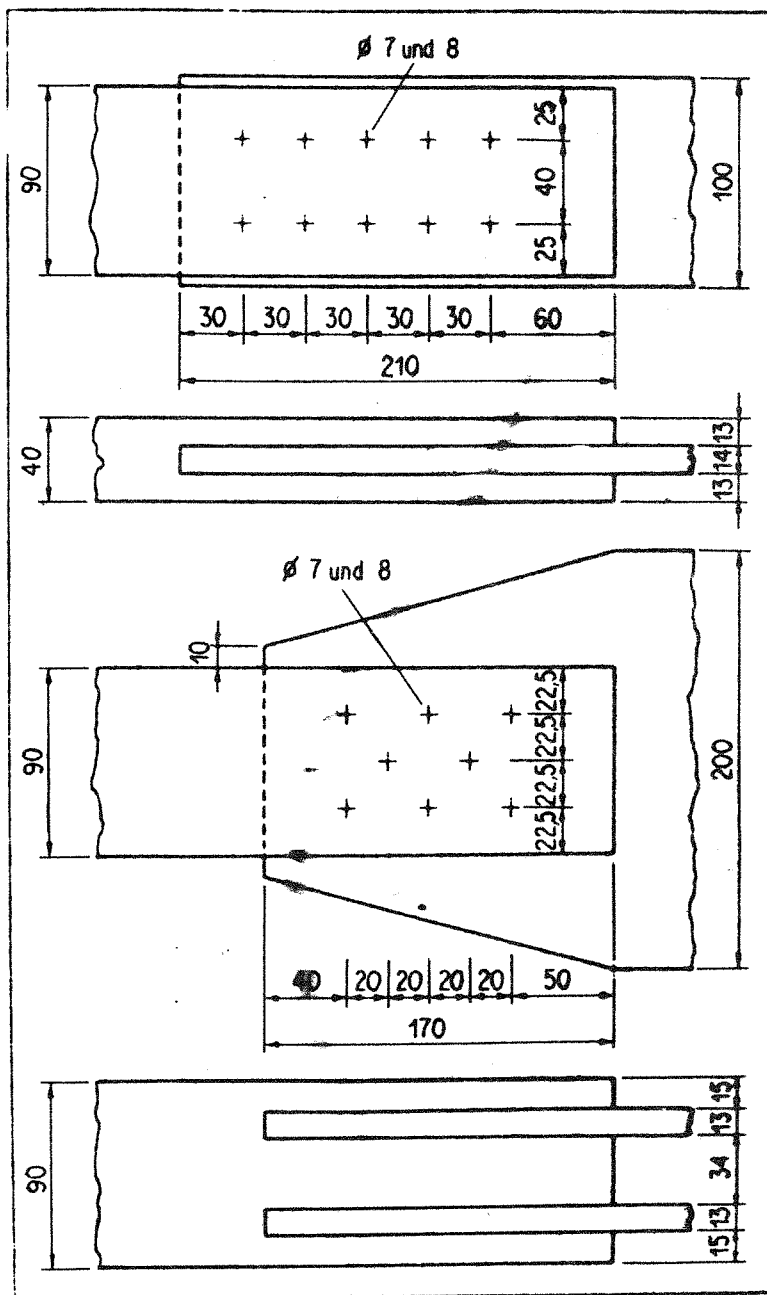


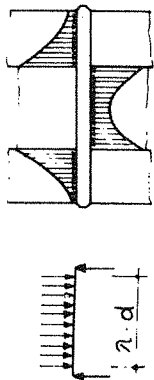
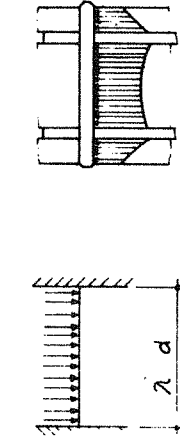
Bild 19: Probenabmessungen für Holznagelverbindungen nach /9/

Bild 21: Tragfähigkeit von Stabdübeln aus verschiedenen Werkstoffen und Stützbedingungen nach Gehri / 91

Lagerung	Holz + Holz		Holz - Stahl			
	Stahl $\sigma_u = 550 \text{ N/mm}^2$	Stahl $550 \text{ u. } 1000 \text{ N/mm}^2$	Stahl 1000 N/mm^2	Glasfaserstab	Bongossi	
Grenzschlankheit	6	6	6	5,5	3,5	
Durchmesser [mm]	8 ... 24	8 ... 10	8 ... 10	7,5	7 ... 12	
Tragfähigkeit	$115 \cdot d^{1,7}$	$150 \cdot d^{1,7}$	$280 \cdot d^{1,7}$	$110 \cdot d^{1,7}$	$55 \cdot d^{1,7}$	
Tragfähigkeit in %						
		130	243			
	Fichte	Fichte	Buche	Fichte		
				96		
					48	
					Fichte	

Holz - Stahl

Holz + Holz



200

100

Die Tragfähigkeit der einzelnen Verbindungen mit Stabdübeln aus verschiedenen Werkstoffen und Stützbedingungen wurde untereinander verglichen. Bei gleichen Stützbedingungen liegt die Tragfähigkeit von Holzdübeln bei 1/3 und von Glasfaserdübeln bei 3/4 der Tragfähigkeit einer Verbindung mit Stahldübeln (Holzart Fichte).

Verbindungen mit Holzdübeln und nur einer Sperrholzlasche haben eine Tragfähigkeit von

$$F_u = 40 \cdot d^{1,7} (\lambda = 2,0) / 9/.$$

Die mögliche Tragfähigkeit von Zuganschlüssen mit Stabdübeln in Abhängigkeit von der verwendeten Holzart zeigt Bild 22.

Es sind mehrere Möglichkeiten erkennbar:

- a) Einsatz von Hölzern mit zunehmender Rohdichte
- b) Nutzung der verbesserten Werkstoffeigenschaften des Brettschichtholzes
- c) Einsatz von Buchenbrettschichtholz
- d) Aufkleben von Sperrholzlaschen (schraffierter Bereich)

Die geprüften Anschlüsse mit Nadelholz hatten einen Wirkungsgrad von 0,6.

2.5. Versuche an parallelgurtigen Fachwerkträgern

Von GEHRI wurden 18 Fachwerkträger geprüft (Prüfschema s. Bild 23). Die Fachwerkträger bestanden aus Vollholz (Fichte), Brettschichtholz (Fichte oder Buche). Gleichzeitig wurden unterschiedliche Knotenpunktlösungen getestet, so u.a.

- Stahlbleche mit Stabdübeln
- Stahlbleche mit Stabdübeln (Blumer-System-Knoten)
- Stahlbleche mit Nägeln (System Greim)
- Furnierplatten mit Hartholzdübeln

Die Trägerhöhen und Stababmessungen entsprachen Trägerspannweiten von 15...18 m. Die große Anzahl an Varianten für die Knotenpunktausbildung führte zu unterschiedlichen Versagenarten, die in Bild 24 zusammengefaßt wurden.

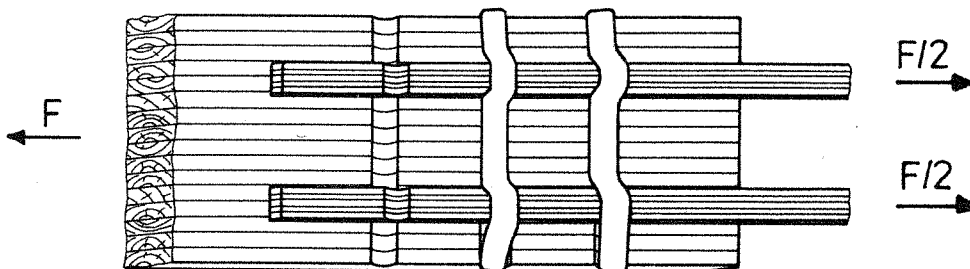


Bild 20: Stabdübelverbindung mit Holzdübeln nach dem Zugversuch /6/

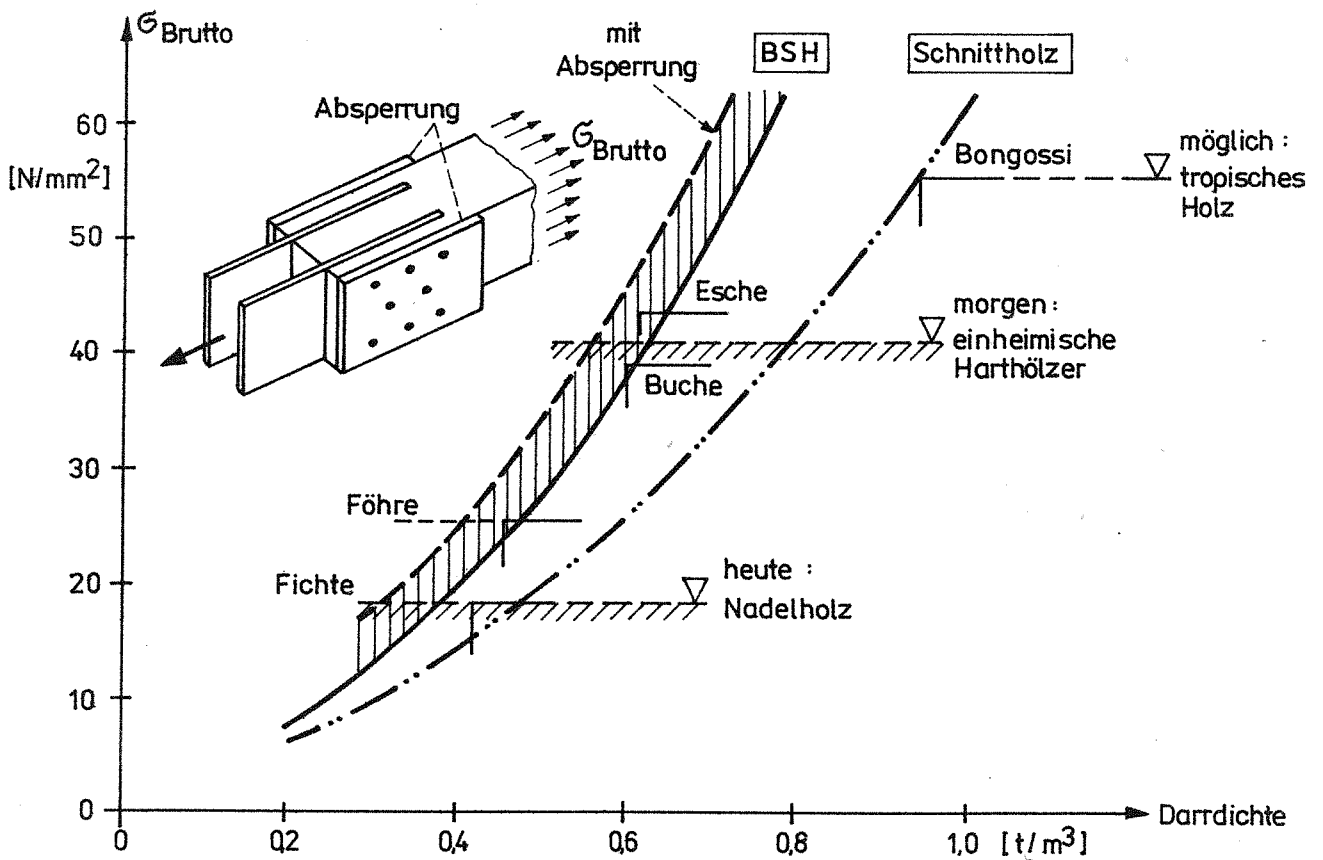


Bild 22: Überproportionale Steigerung der Tragfähigkeit von Zuganschlüssen mit zunehmender Dichte des Holzes: Spannungswerte bezogen auf Bruttoquerschnitte nach /8/

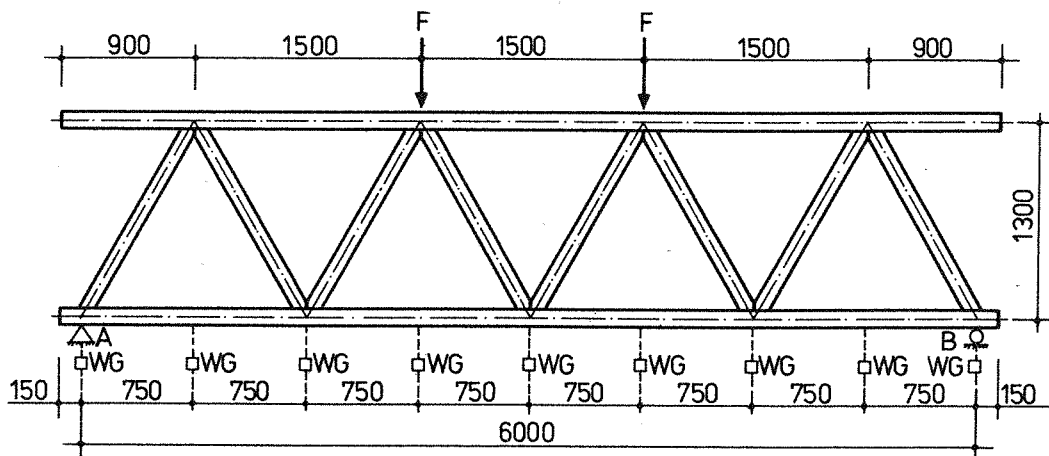


Bild 23: Versuchsanordnung nach /4/ und /5/

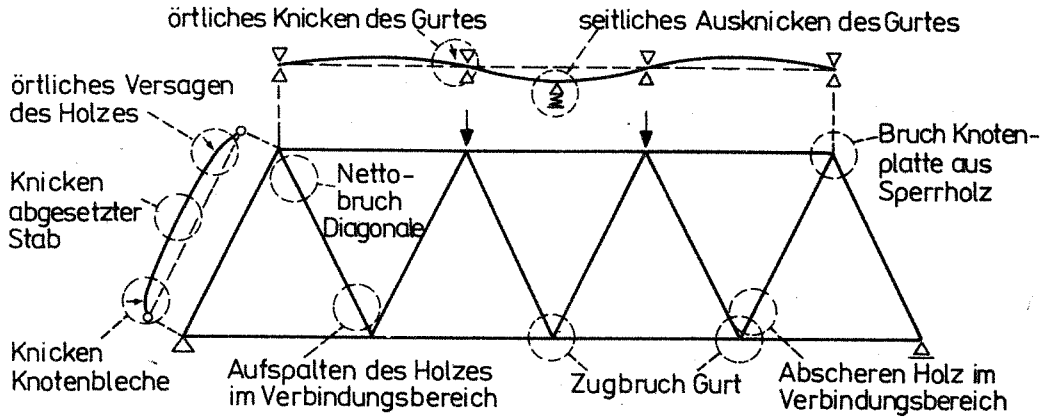


Bild 24: Im Versuch festgestellte Versagensarten nach /4/ und /5/

Die Ergebnisse beschreibt GEHRI ausführlich in /5/. Eine zusammenfassende Darstellung enthält /4/. Vom Autor wurden die Ergebnisse der Arbeit /5/ ausgewertet und die einzelnen Ergebnisse in Bild 25 zusammenfassend dargestellt.

GEHRI weist in /5/ darauf hin, daß sowohl die Knotenausbildung, als auch die Holzeigenschaften (Holzarten und Festigkeitsklassen) einen wesentlichen Einfluß auf die Tragfähigkeit der Fachwerkbinder haben.

Unter dem Gesichtspunkt der maximalen Leistungsfähigkeit (d.h. Tragfähigkeit) erfordert die Verwendung von Knotenplatten, die in eingeschlitzten Hölzern angeordnet werden, eine optimale Abstimmung von Länge, Abstand und Weite der Schlitze, die wiederum von den gewählten Verbindungsmitteln und deren Anordnung sowie der Materialfestigkeit (Knotenplatte und Verbindungsmittel) abhängen.

Die Versuchsergebnisse haben eine eindeutige Abhängigkeit der Tragfähigkeit von der Holzart gezeigt (s. Bild 26).

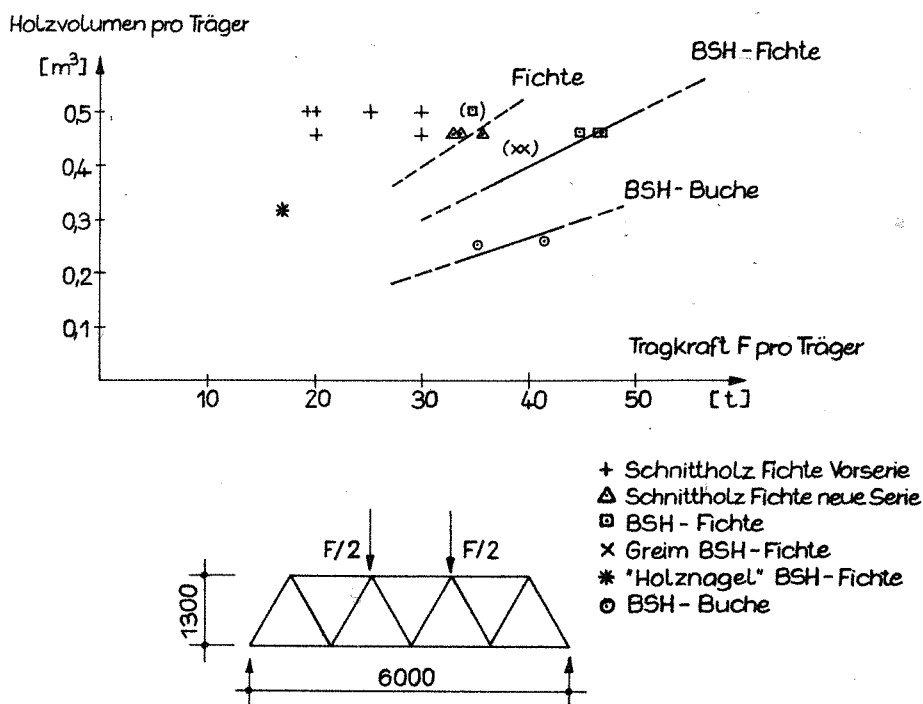


Bild 26: Tragkraft pro m³ Holzvolumen nach GEHRI /5/

Bild 25: Experimentelle Untersuchungen von Gehri / Schweiz an Fachwerkträgern / 5 /

Abmessungen der Prüfkörper	Bezeichnung	Holzart	Knotenausbildung	Versuchsergebnisse
	FWB-1	Brettschichtholz		<p>Verformung unter Gebrauchslast gering, aufgrund hoher Steifigkeit der Knotenpunkte. Das Verhalten der Knotenpunkte entsprach dem eines biegesteifen Knotens. Bruchlast betrug 2 x 200 KN. Bruch trat durch Ausknicken einer Enddiagonale (eingeleitet durch örtliches Ausknicken der Knotenbleche) ein, in der Folge versagte die angrenzende Zugdiagonale.</p> <p>Bruchlast 2 x 180 KN. Bruch infolge Versagen der Zugdiagonale am Untergurt. Das Versagen der Zugdiagonale ist auf die Querschnittsschwächungen zurückzuführen.</p>

Abmessungen der Prüfkörper	Bezeichnung	Holzart	Knotenausbildung	Versuchsergebnisse
	<p>FWF-4 ($u = 10\%$)</p>	<p>Brettschichtholz Fichte FK/A</p>		<p>Bruch: a) FWF-4: 2 x 170 KN infolge Versagen einer Zugdiagonale b) FWF-5: 2 x 230 KN infolge Versagen einer Zugdiagonale im Bereich des mittleren Knotens c) FWF-6: 2 x 230 KN infolge Versagen des Zuggurtes im Bereich des äußeren Knotens d) FWF-7: 2 x 220 KN infolge Versagen des Zuggurtes im Bereich des äußeren Knotens</p> <p>Die Verbesserung der Knotenpunkte führte zur Verhinderung des Bruches infolge Knicken.</p>
	<p>FWF-5 bis FWF-7</p>	<p>Brettschichtholz Fichte FK/A</p>		<p>Bruch: a) FWF-8: 2 x 160 KN infolge plötzlichem Zugversagen des Untergurtes im mittleren Knotenbereich b) FWF-9: 2 x 170 KN infolge Versagen des Zuganschlusses einer Diagonalen c) FWF-10: 2 x 160 KN infolge Versagen des Zuganschlusses einer Diagonalen</p> <p>Für Schnittholz FK II ($\sigma_z < 8,5 \text{ N/mm}^2$) wurde ein Wirkungsgrad der Verbindungen von 0,6 erreicht</p>
	<p>FWF-8 bis FWF-10 ($u = 12\%$)</p>	<p>Schnittholz Fichte</p>		<p>Bruch: FWF-11: 1 x 370 KN durch Ausknicken an der Druckdiagonalen 1 x 370 KN durch Ausknicken und Versagen der Zugdiagonalen</p> <p>Die vorgesehene Sicherheit wurde nicht erfüllt, so daß die zulässige Belastung für die Greibmaße ermäßigt werden mußte. (Wirkungsgrad, Zugdiagonale 66%, Druckdiagonale 76%)</p>
	<p>FWF-11 FWF-12</p>	<p>Brettschichtholz Fichte FK/A</p>		<p>Bruch: Ab 2-facher Gebrauchslast nehmen die Durchbiegungen infolge plastischer Verformungen der Holzstifte zu. Bruch: 2 x 85 KN (d.h. ca 2/3 der Bruchlast eines entsprechenden Fachwerkträgers mit stählernen Verbindungsmitteln wurden erreicht) infolge Bruch der Sperrholzplatte.</p>
	<p>FWF-11 FWF-12</p>	<p>Brettschichtholz Fichte FK/A</p>		<p>Bruch: Ab 2-facher Gebrauchslast nehmen die Durchbiegungen infolge plastischer Verformungen der Holzstifte zu. Bruch: 2 x 85 KN (d.h. ca 2/3 der Bruchlast eines entsprechenden Fachwerkträgers mit stählernen Verbindungsmitteln wurden erreicht) infolge Bruch der Sperrholzplatte.</p>

Aus diesem Grund schlägt GEHRI eine Differenzierung der zulässigen Belastung der Verbindungsmittel nach der Holzart und desweiteren nach der Beanspruchung (Druck oder Zug, s. Bild 27) vor.

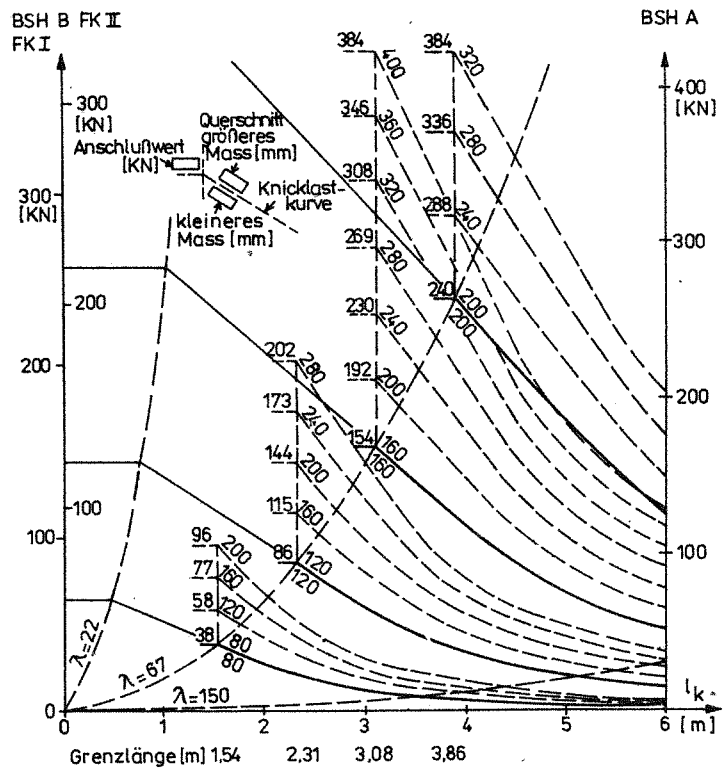


Bild 27: Bemessungsdiagramm für Druck- und Zugdiagonalen mit BSB-Reihenanschlüssen nach /4/

2. Entwicklung von Systemkonstruktionen

Ein anderer Autor aus der Schweiz berichtete über die Entwicklung von vereinheitlichten Knotenpunkten (sog. "Blumer-System-Knoten") /10/ und /11/ für "System Binder", die sich durch eine rationelle Fertigung und Projektierung auszeichnen. Gleichzeitig werden einige der im vorangegangenen Abschnitt angeführten neuen Erkenntnisse zur Verbesserung der Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen zielgerichtet genutzt (s. auch /12/, /13/, /22/ und /7/).

Die vereinheitlichten Knotenpunkte bestehen aus Knotenplatten, Dübeln und Dübelleisten. Man unterteilt die Knotenpunkte in 2 Gruppen:

1. Kleinlastsystem mit Dübelleiste aus Sperrholz bzw. lamellierten Preßholz (Dicke 20 mm) mit vorgebohrten Löchern. Die Dübelleiste wird für Queranschlüsse verwendet. Lochdübel bestehen aus lamelliertem Preßholz mit einem Durchmesser von 27 mm. Die maximale Tragfähigkeit pro Dübel und Verbindungsmittel beträgt 200 kg.
2. Großlastsystem mit Knotenplatten aus Stahl (Dicke 5 mm) und eingestanzten Löchern. Die Lochdübel bestehen aus Gewindestangen M 16. Die Dübelleiste ist ein Stahlprisma mit vorgebohrten Löchern.

Die maximale Tragkraft der Verbindung beträgt $\frac{2}{3}$ der zulässigen Holzfestigkeit. Der Stahl für die Dübel hat eine höhere Festigkeit als ST 38 ($\sqrt{\sigma_u} = 600 \text{ N/mm}^2$). Die Dübel haben einen einheitlichen Durchmesser von 6,5 mm.

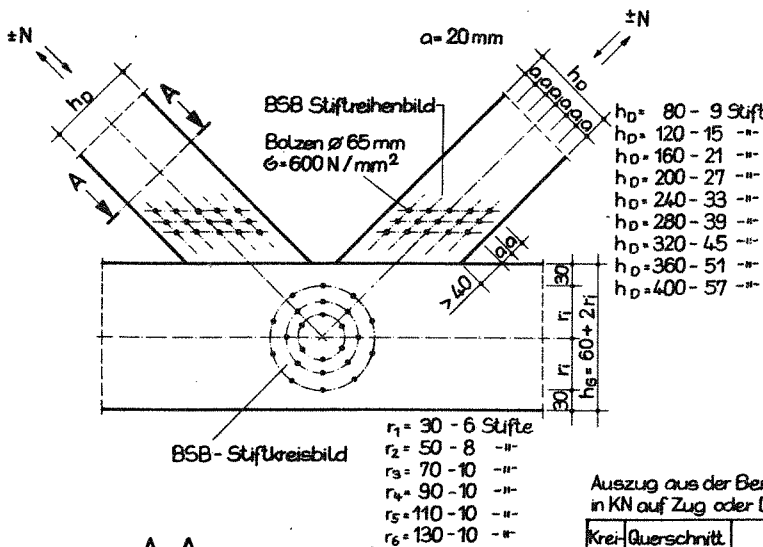
Für die Fachwerkbinder kommt besonders Brettschichtholz (Holzart Fichte und Buche), welches auf Hochfrequenzanlagen hergestellt wird, zur Anwendung. Entwicklungsseitig ist vorgesehen, daß mehrere Holzarten mit unterschiedlichen Materialkennwerten, in Abhängigkeit von der Größe

der Stabkräfte, kombiniert werden.

Die Holzabmessungen entsprechen in Breite und Höhe einem Vielfachen von 40 mm. Es lassen sich beachtliche Anschlußkräfte realisieren, so z.B. mit dem Großlastsystem:

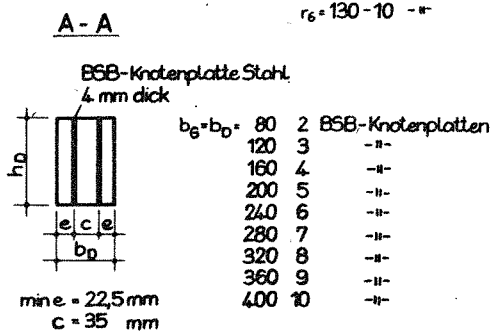
Holzart	Stabquerschnitt	Anschlußwert
Fichte FK II	120/280	160 kN
BSH Fichte	200/280	345 kN
BSH Buche	200/280	448 kN

Die statische Bemessung beschränkt sich auf die Auswahl eines zulässigen Anschlußwertes (s. Auszug aus Bemessungstabellen Bild 28), der einer auf den Bruttoquerschnitt des Stabes reduzierten zulässigen Spannung entspricht, welche vom Wirkungsgrad der Verbindung abhängt (Wirkungsgrad u.a. 0,6).



Auszug aus der Bemessungstabelle für *BSB*-Stüftreihen. Anschlußwerte in kN auf Zug oder Druck; Anschlußbereich Fichte 33 kN bis 950 kN (Querschnitt b x h = 360 x 400 mm)

Querschnitt b _D h _D	Schnittholz Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche FK II FK I		Brettschicht- holz Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche FK B FKA		Brettschicht- holz Buche FK B FKA	
	80	33	38	38	42	54
120	49	58	58	63	81	98
160	65	77	77	84	108	131
200	82	96	96	106	134	163
120	73	86	86	95	121	147
160	98	115	115	127	161	196
200	122	144	144	158	202	245
240	147	173	173	190	242	294
280	171	202	202	222	282	343



Auszug aus der Bemessungstabelle für *BSB*-Stüftkreise. Anschlußwerte in kN auf Zug oder Druck α = Winkel der Resultierenden zur Faserrichtung.

Kreis n	Querschnitt b _g h _g min	Schnittholz Fichte, Tanne Kiefer, Lärche						Brettschichtholz Fichte, Tanne Kiefer, Lärche					
		FK II α = 0°			FK I α = 0°			FK B α = 0°			FKA α = 0°		
1	80	21	19	16	25	22	19	25	22	19	27	24	21
	160	49	43	38	57	51	45	57	51	45	63	56	49
	200	82	74	65	96	87	76	96	87	76	106	96	84
1	120	31	28	24	37	33	29	37	33	29	41	36	32
	160	73	65	57	86	76	67	86	76	67	95	84	74
	200	122	108	95	144	128	112	144	128	112	158	140	123
	240	147	131	114	173	154	134	173	154	134	190	167	148
	280	171	152	133	202	180	157	202	180	157	222	197	173

Bild 28: Knotenausbildung der BSB-Binder mit Auszügen aus Bemessungstabellen nach /11/

Die Konstruktionszeichnungen vereinfachen sich auf den im Bild 29 dargestellten Umfang. Betriebsinterne Zeichnungen werden mit einem speziellen Computerprogramm erstellt.

Für die Fertigung wurde eine spezielle Technologie entwickelt, die auch eine rationelle Fertigung kleiner Serien gestattet. Nach der Herstellung der geklebten Bauteile auf einer Hoch-

frequenzmaschine werden diese auf einer Maschinenstraße mit dazwischen geschalteten Rollenbahnen präzise zugeschnitten und anschließend mit Mehrspindelbohrmaschinen gebohrt und mit Einschlitzsägeautomaten geschlitzt. Nach Einschätzung von BLUMER werden für die Herstellung der Fachwerkbinder 8...14 h/m³ benötigt, wobei eine Senkung des Herstellungsaufwandes auf etwa die Hälfte angestrebt wird /10/.

Die Normierung der Verbindungspunkte ermöglicht eine computergestützte Projektierung und einen effektiveren Einsatz von Bearbeitungsautomaten. Bisher wurden schon etwa 45 Bauten mit diesem System ausgeführt.

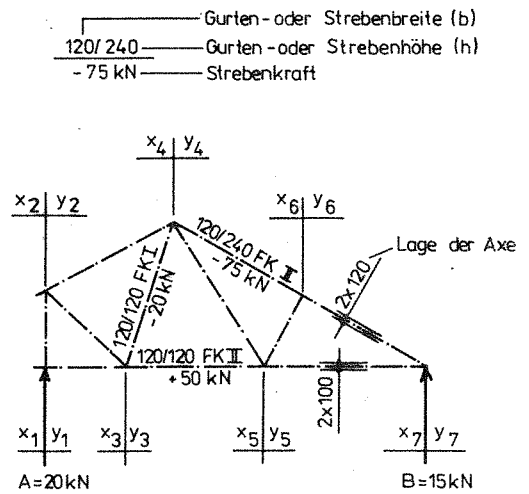
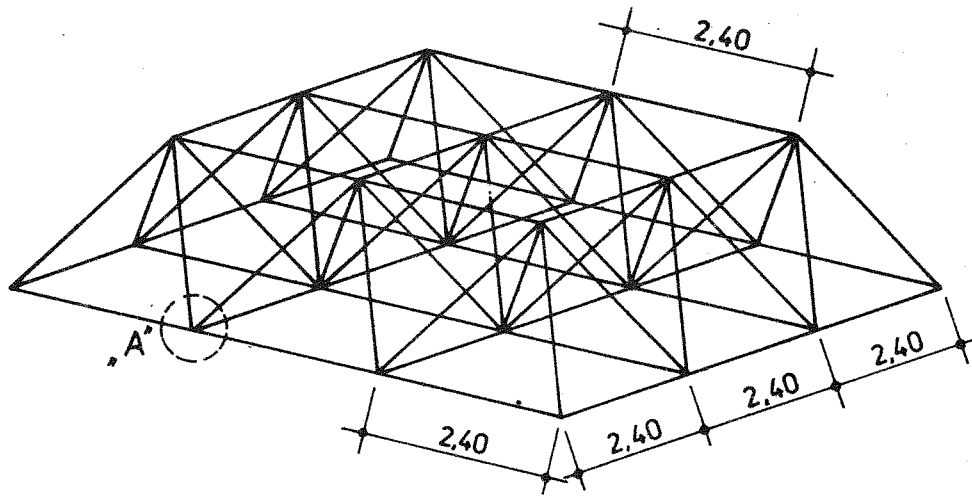


Bild 29: Beispiel einer Konstruktionszeichnung nach 711/

GEHRI verweist in /8/ auf die Vorteile der Verwendung von Buchenholz für weitgespannte Fachwerkbinder, deren Knotenpunkte biegesteif ausgeführt wurden. Entsprechend Bild 30 reduziert sich der Aufwand gegenüber einer vergleichbaren Knotenpunktlösung beim Material auf 63 % (Holz), 48 % (Stahlbleche) und auf ca. 83 % bei den Dübeln. Ein weiterer Vorteil entsteht durch eine erhebliche Arbeitszeiteinsparung beim Vorbohren von nur 45 Löchern gegenüber 520 Löchern.

Gelenkbolzen - Verbindung		Biegesteifer Knoten mit Stahl - Holz - Passbolzen	
Brettschichtholz aus Fichte		Brettschichtholz aus Buche	
Materialaufwand ¹⁾			
Holzvolumen (Fichte)	100 %	Holzvolumen (Buche)	63 %
Stahlbleche gelocht	42 kg	Stahlbleche gelocht	20 kg
Bolzen	12 kg	Bolzen (45 Stück ø 8)	10 kg
Nägel (520 Stück ø 6/80)	10 kg		
Arbeit			
520 Löcher vorbohren		45 Löcher vorbohren	
-----		-----	
-----		-----	
¹⁾ Holzvolumen auf ganzen Träger bezogen, Stahl und Arbeit auf einen Knoten bezogen			

Bild 30: Vergleich des Aufwandes für Fachwerkknoten aus Gelenkbolzenverbindung mit Fachwerkknoten aus Stabdübeln, nach /8/



Detail A

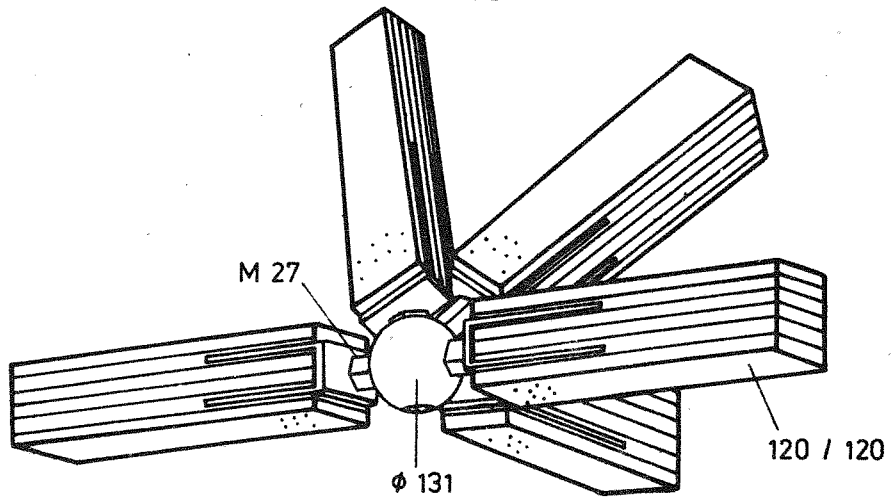


Bild 31: Räumliches Fachwerk für eine Spannweite von 24 m x 24 m nach /7/

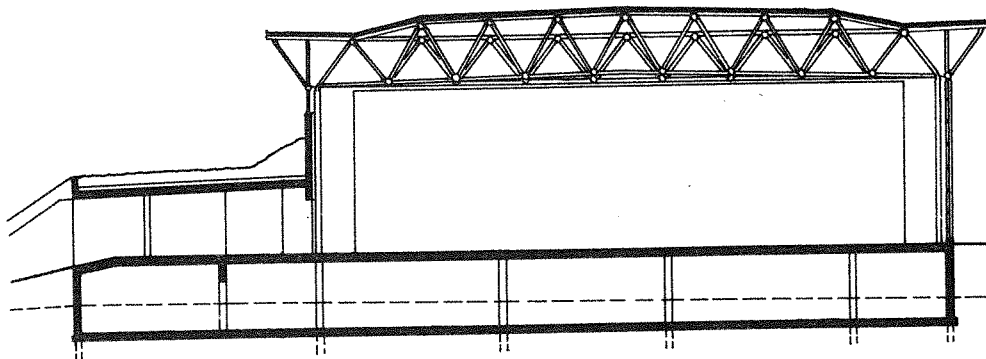


Bild 32: Querschnitt durch die Halle nach /23/

An der ETH Zürich wurden intensive Untersuchungen zur Erweiterung des Anwendungsbereiches durchgeführt. So wurde für Baufachwerke ein Systemknoten entwickelt (s. Bild 31), der sich aus einem gabelförmigen Anschlußteil und dem bei Raumbachwerken aus Stahl bekanntem Stahlkegel zusammensetzt. Im Jahre 1982 wurden an einem Prototyp eines Raumbachwerkes Untersuchungen zur Tragfähigkeit durchgeführt (s. Bild 31). Die Bruchlast betrug 1500 kN. Der Bruch trat durch Knickversagen ein. Die Knotenpunktlösungen wurden auf der Grundlage der bei den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt, so daß heute für verschiedene Stabgrößen zulässige Anschlußkräfte bis 350 kN zur Verfügung stehen.

Bei den entwickelten Trägerrosten kann die Dacheindeckung direkt auf den Rosten aufliegen. Dadurch müssen unterschiedliche Stablängen ausgeführt werden, da die obere Stablage an die Dachform angepaßt und eine Überhöhung eingehalten werden muß. Parallel zur Entwicklung des Raumbachwerkes wurden an der ETH auch die Produktionstechnik mitentwickelt.

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit haben gezeigt, daß derartige Raumbachwerke aus Holz mit denen in Stahl ebenbürtig sind.

Für eine Mehrzweckhalle in Aarben (Grundrißfläche 1215 m²) wurde ein Raumbachwerk konzipiert. Die Trägerroste überspannen eine stützenfreie Fläche von 27 x 30 m und 27 x 15 m /7/ und /23/. Die Bemessung erfolgte für eine Totallast von 3 kN/m². Durch eine geeignete Kombination von Material und Querschnitt wurde eine gute Anpassung an den Kräfteverlauf erreicht.

Von 50 m³ Brettschichtholz, die verwendet wurden, wurden 1/3 in Buchenholz hergestellt. Der Holzverbrauch lag bei 4,115 m³/100 m² /23/.

Das Raumbachwerk wurde auf dem Hallenboden innerhalb von 2 Wochen vorgefertigt und mit hydraulischen Hebern auf eine endgültige Höhe von 7 m angehoben (s. Bild 32),

3. Schlußfolgerungen

Aus den bisherigen Untersuchungen wird deutlich, daß Stabdübelverbindungen leistungsfähige Verbindungen darstellen.

Dabei können auch zukünftig noch Tragfähigkeitsreserven erschlossen werden, wenn die einzelnen Parameter, die die Tragfähigkeit der Verbindung beeinflussen, durch gezielte Untersuchungen optimiert werden.

Gleichzeitig kann die Tragfähigkeit der Verbindung durch Verstärkungen (z.B. mittels Sperrholz) bei gleichzeitiger Reduzierung der Anschlußfläche erhöht werden.

Wie die bisherige Entwicklung zeigt, bietet eine Normierung der Verbindungen günstige Voraussetzungen für eine rationelle Fertigung von ebenen oder räumlichen Fachwerken in verschiedenen Spannweiten und Laststufen. Eine computergestützte Fertigung und Projektierung ist möglich. Im Hinblick auf die Entwicklung von Fachwerkstrukturen in der DDR sind die Erkenntnisse durch eigene Versuche weiter zu vertiefen. Dabei sollten die Versuche in Anlehnung an die bisherigen Versuche durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

- /1/ Rug, W.:
Stand und Entwicklungstendenzen im Holzbau
Mitteilung Nr. 1/84 des Fachausschusses Ingenieurholzbau, Berlin 1984
- /2/ Rug, W.:
Stand und Entwicklungstendenzen im Holzbau
Teil 1 Holztechnologie (1984) 4, S. 171-175
Teil 2 Holztechnologie (1984) 5, S. 257-261
- /3/ Gehri, E.:
Betrachtungen zum Tragverhalten von Bolzenverbindungen im Holzbau
Schweizer Ingenieur und Architekt (1980) 51/52, S. 1336-1344
- /4/ Gehri, E.:
Zur Berechnung und Bemessung von Fachwerkträgern mit Knotenplatten in eingeschlitzten Hölzern
Schweizer Ingenieur und Architekt (1983) 6, S. 145-152
- /5/ Gehri, E.:
Fachwerkträger aus Buche und Fichte mit Stahlknotenplatten in eingeschlitzten Hölzern
Baustatik und Stahlbau, Publikation Nr. 82-1, ETH Zürich
- /6/ Dubas, P.; Gehri, E.:
Holzbau als Lehr- und Forschungsbereich
Schweizer Holzbau (1982) 1, S. 20-23
- /7/ Gehri, E.:
Leistungsfähige Verbindungstechniken
Schweizer Holzbau (1984) 8, S. 46-51
- /8/ Gehri, E.:
Entwicklung des ingenieurmäßigen Holzbaus seit Grubenmann, Teil 2: 20. Jahrhundert und künftige Möglichkeiten
Schweizer Ingenieur und Architekt (1983) 33/34, S. 808-815
- /9/ Gehri, E.:
Zur Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen
In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Karlsruhe 1982
- /10/ Blumer, H.:
Systematisierte Fachwerkknottenverbindung mit hoher Holzausnutzung
In: Abschlußbericht 11. IVBH-Kongreß; Wien 1980/Zürich 1981
- /11/ Blumer, H.:
Entwicklung einer normierten Holzverbindung und gemachte Erfahrungen
In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Karlsruhe 1982
- /12/ ...
Schweizer Holzbau schafft neue Möglichkeiten
Bau (1983) 10, S. 38-40
- /13/ ...
Neues Verbindungssystem erweitert den Anwendungsbereich von Holztragwerken
Schweizer Holzbau (1983) 9, S. 27-33
- /14/ Möhler, K.:
Entwicklung im Anwendungsbereich des Baustoffes Holz
11. IVBH-Tagung, Wien 1980, Vorbericht Zürich 1979
- /15/ Stern, E.G.:
Stahl-Holz-Verbundbauweise
In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Karlsruhe 1982
- /16/ Baumeister u.a.:
Neuere Karlsruher Forschungsarbeiten und Versuche im Ingenieurholzbau
Bauen mit Holz 74 (1972) 6, S. 298-317
- /17/ Scheer, C.; Wagner, C.:
Röntgenuntersuchungen an Nägeln, Klammern und Stabdübeln in Holz und Holzwerkstoffen
Die Bautechnik (1980) 3, S. 88-93

- /18/ ...
Holzleimbau
AG Holz, Düsseldorf 1980
- /19/ Blumer, H.:
Verbindung für Holzträger
E 04 B CH 636395 Patentschrift/Schweiz
- /20/ ...
Ein Raumbachwerk als Hallendach
Bauen mit Holz (1984) 9, S. 575-577



Institut für Industriebau



Zentrale Fachsektion
Industriebau bei der
KDT

Mitteilung

Nr. 1/85

des Fachausschusses Ingenieurholzbau
und des Institutes für Industriebau

III. Holzbauseminar 1984

Herausgeber: Dipl.-Ing. W. Rug - Vorsitzender des Fachausschusses Ingenieurholzbau

Berlin, Juli 1985