Neuartiger Strabrost in Holzbauweise

Autor(en): **Gehri, Ernst**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht**

Band (Jahr): **12 (1984)**

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-12220

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Neuartiger Stabrost in Holzbauweise

New Type of Space Truss in Timber

Nouveau type de treillis spatial en bois

Ernst GEHRI
dipl. Bauing.
Eidg. Techn. Hochschule
Zürich, Schweiz

ZUSAMMENFASSUNG
Voraussetzung für eine wirtschaftliche Lösung in Holz ist die Entwicklung leistungsfähiger Stahl-Holz-Verbindungen und der Einsatz von Holzarten höherer Festigkeit. Umfassende Versuche lieferten die Grundlagen für den Entwurf und die Bemessung eines grösseren Stabrostes.

SUMMARY
An economical solution for a space truss in timber was possible by the development of an efficient steel-wood-connection and the use of wood types of higher strength. Extensive experimental tests provided the basis for the design of a large space truss.

RESUME
Pour obtenir une solution économique de treillis spatial en bois il a fallu en premier lieu réaliser une attache bois-acier efficace et utiliser des essences à haute résistance. Des essais nombreux ont fourni les bases pour le projet et le dimensionnement d'un treillis spatial important.

1. EINLEITUNG

Stabroste - in Stahl- und Aluminiumbauweise bekannte Konstruktionsarten - weisen dank industrieller Fertigung der Bauteile, sowie einfachen Transport und Montage, wesentliche Vorzüge auf. Verschiedene hiefür geeignete Knotensysteme sind bekannt.

In Holzbauweise wurden bisher kaum Stabroste ausgeführt. Die wenigen bisherigen Ausbildungen waren kaum wettbewerbsfähig, bedingt durch die gegenüber Stahl wesentlich grösseren Stabquerschnitte in Holz und den daraus resultierenden massiveren und aufwendigeren Knotenausbildungen. Eine entscheidende Verbesserung war nur zu erwarten durch ein Anheben der spezifischen Belastbarkeit (z.B. durch verwenden von Holz höherer Festigkeit sowie von Verbindungsarten höherer Leistungsfestigkeit) und durch eine rationellere Fertigung der Anschlüsse.

2. VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE WIRTSCHAFTLICHE HOLZLÖSUNG

2.1 Technische Anforderungen

Um mit den bestehenden Bauweisen konkurrieren zu können, sind folgende technische Anforderungen zu erfüllen:

- Einsatz eines Knotensystems mit rascher und einfacher Montageverbindung.
- Entwicklung einer leistungsfähigen und zugleich zuverlässigen Stahl/Holzverbindung.
- Einsatz hochfester Holzarten zur Erreichung möglichst kleiner Holzquerschnitte (dadurch lassen sich die geometrischen Bedingungen bei kompakter Knotenausbildung leichter erfüllen).

2.2 Knotensystem

Ausgangspunkt hiefür war der vielfach erprobte Kugelknoten, bestehend aus einer stählernen Vollkugel mit Gewindelöchern und den entsprechenden Gewindebolzen. Die verschiedenen auf dem Markt befindlichen Stahlbausysteme mit Kugelknoten unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die Art der Gewindebolzen und des Anspannens.

Für die Holzbaulösung wurde kein besonderer Gewindebolzen entwickelt, sondern handelsgängige hochfeste Schrauben mit Innensechskant eingesetzt. Der Zusammenstoss bzw. die Verschraubung wird erleichtert durch den speziell konzipierten Anschlussteil und den Einsatz von Druckluftschlagschlüssel.

2.3 Verbindung Stahl-Holz

Verschiedene Anschlussarten wurden in Betracht gezogen: Einleimung von Gewindestäben, Verleimung der metallenen Anschlussteile mit den Holz sowie eine mechanische Verbindung Stahl-Holz. Aufgrund der heutigen Kenntnisse stellt letztere Verbindungsart die zuverlässigste Lösung dar. Sie ist mit bestehender Technologie und Einrichtungen realisierbar. Zudem ist die Ausführungsqualität leicht überprüfbar.

Durch Optimierung dieser Anschlussart konnte ein für mechanische Anschlüsse ausserordentlich hoher Wirkungsgrad bei gleichzeitig hohem Verformungsvermögen des Anschlusses erreicht werden (vgl. hiezu [1]).

Voraussetzung für die Umsetzung von Stahl- auf Holzraumfachwerke war die Entwicklung leistungsfähiger Zug- und Druckanschlüsse. Dabei sollten diese möglichst

kompakte Formen aufweisen (kleinere Anschlussteile), da bei der grossen Anzahl von Anschlüssen, eine kostengünstige Ausbildung entscheidend ist.

3. ENTWICKLUNG EINER KOMPAKTEN, LEISTUNGSFÄHIGEN MECHANISCHEN VERBINDUNG

3.1 Prinzip

Das Prinzip der entwickelten Verbindung ist aus Abbildung 1 ersichtlich.

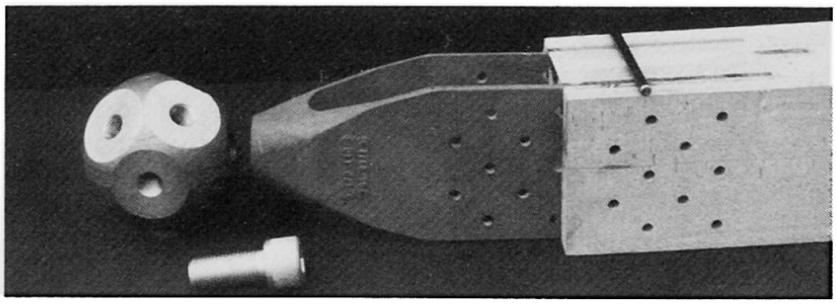

Abb. 1 : Explodierte Darstellung eines Anschlusses bestehend aus Stahlkugel, Schraube, Anschlussteil, Stahlbolzen und Holzstab

3.2 Stahl-Holzverbindung

Für den Prototyp wurde das Anschlussstück noch als Schweissteil ausgeführt. Um eine möglichst gleichmässige Kraftübertragung zwischen Stahl und Holz zu erreichen, wurde eine mehrschnittige Verbindung mittels hochfester Stahlbolzen angestrebt. Untersuchungen über die optimale Lage der Schlitze und geeigneter Bolzenabstände führten zum hohen Wirkungsgrad von $\eta = 0{,}6$ (vgl. hiezu auch [2] und [3]).

3.3 Einsatz von Holzarten höherer Dichte

Im Allgemeinen wird als Bauholz Nadelholz eingesetzt. Dem Vorteil leichterer Bearbeitung und genauer Kenntnis über das Verhalten steht als Nachteil die geringe spezifische Belastbarkeit (Festigkeit bezogen auf die Querschnittsfläche). Dies führt zu grösseren Stabquerschnitten und zu geometrischen Unverträglichkeiten im Knotenbereich (Ueberschneiden von Stäben).

Durch den Einsatz von Holzarten höherer Dichte und somit auch höherer Festigkeit, wie z.B. Esche oder Buche, als verleimtes Holz eingesetzt, erhält man bedeutend geringere Stabquerschnitte und zudem kürzere Anschlusslängen (dank der höheren spezifischen Belastbarkeit des einzelnen Bolzens). Dies wird aus Abbildung 2 ersichtlich.

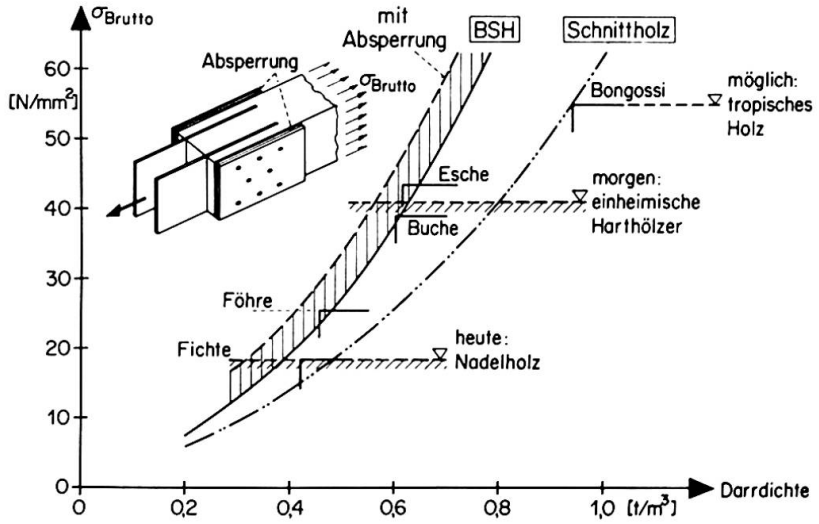

Abb. 2 : Ueberproportionale Steigerung der Tragfähigkeit von Zuganschlüssen mit zunehmender Dichte des Holzes; Spannungswerte bezogen auf Bruttoquerschnitt

3.4 Bedeutung des Anschlusses auf die Knicklast

Anschlüsse stellen bei Zugbeanspruchung bekanntlich eine Schwächung dar. Häufig wird jedoch übersehen, dass die Anschlussart ebenfalls einen ungünstigen Einfluss auf die Druckkraft bzw. auf die Knicklast ausübt.

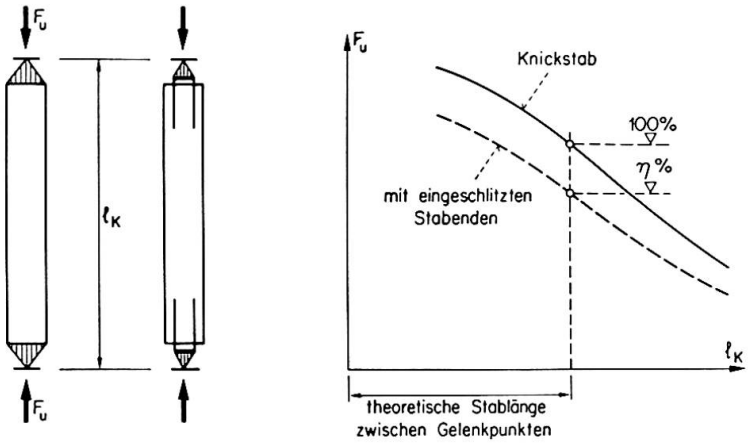

Abb. 3 : Einfluss des Anschlusses auf die Knicklast eines beidseitig gelenkig gelagerten Stabes

4. UNTERSUCHUNGEN AN EINEM PROTOTYP-STABROST

4.1 Ausbildungsform

Für den Versuch wurde ein quadratischer Stabrost mit dem Modulmass 2,40 m hergestellt. Die Abmessungen des an 4 Eckpunkten gelagerten Rostes betrugen: Seitenlänge je 7,20 m, Systemhöhe 1,70 m. Die Belastung erfolgte in Rostmitte mittels 4 Pressen. Der Stabquerschnitt wurde generell zu 120 x 120 mm gewählt. Die höher beanspruchten Stäbe bestanden aus verleimtem Buchenholz; die restlichen aus normalem Brettschichtholz (Fichte). Die Bruchbelastung des Stabrostes betrug 1200 kN. Der Bruch wurde durch ein Knickversagen eingeleitet.

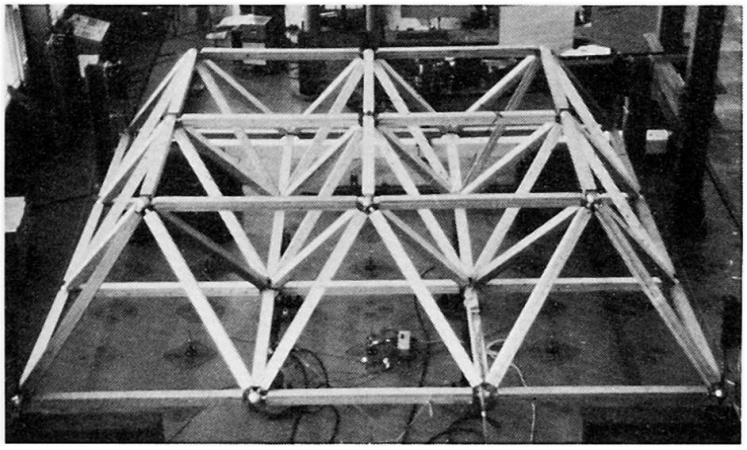

Abb. 4 : Prototyp-Stabrost in Versuchshalle der ETH Zürich

Für den Prototyp wurde ein auf dem Markt befindliches Knotensystem möglichst unverändert übernommen, so dass hiefür einzig neue Anschlussteile zu konzipieren waren.

4.2 Eingangsdaten für die Berechnung

Für die Berechnung der Stabkräfte und der Verformungen des Stabrostes müssen die Verformungscharakteristiken der unterschiedlichen Holzarten und Stabanschlüsse bekannt sein. Umfangreiche Messungen an individuellen Anschlüssen als auch an ganzen Stäben lieferten die hiefür erforderlichen Grundlagen. Die Messanordnung ist aus Abbildung 5 ersichtlich.

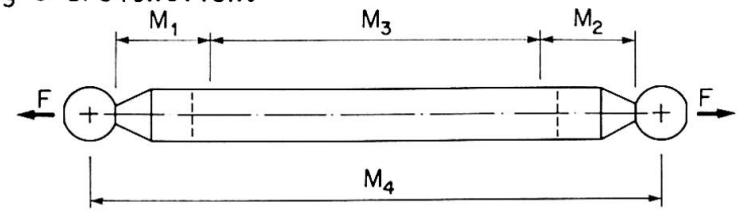

Abb. 5 : Messanordnung zur Bestimmung der Verformungscharakteristik der Stäbe

4.3 Vergleich Messung/Berechnung

Die Messungen am Prototyp zeigten Uebereinstimmung mit der Berechnung, was auf die guten Ausgangsdaten und die kontrollierten Auflagerbedingungen zurückzuführen ist. An einzelnen Stäben erfolgte mittels je 8 Dehnmessstreifen (in einem Schnitt) die Bestimmung der auftretenden Kräfte. Nebst den rechnerischen Normalkräften konnten dadurch auch die aus Imperfektionen (Aussermittigkeit, Stabkrümmung) resultierenden Biegemomente ermittelt werden. Die Auswertung von Dehnmessstreifen ist allerdings nur möglich, falls eine vorgängige Kalibrierung jedes einzelnen Messstreifens erfolgt, da beim Holz lokal ausserordentlich grosse Unterschiede (über 50 %) festgestellt werden können.

Die üblichen Berechnungsannahmen gelenkiger Anschlüsse sind gut erfüllt.

5. DACHEINDECKUNG DIREKT AUFLIEGEND

5.1 Statische Bedeutung

Durch die direkte Auflage der Dacheindeckung auf der oberen Stablage des Rostes werden diese Stäbe durch die Querlasten zusätzlich auf Biegung beansprucht. Die Eigenlasten des Daches sind gleichbleibend und gleichmässig auf allen Feldern wirkend; die Restlasten (infolge Schnee und Wind) können über grössere Bereiche ebenfalls als gleichmässig verteilt betrachtet werden. Die gleichzeitig als Pfetten wirkenden Gurtstäbe sind demnach in benachbarten Feldern durch Biegemomente ähnlicher Grössenordnung beansprucht. Eine gewisse Kompensation bzw. Verringerung des Feldmomentes ist somit durch eine exzentrische Anordnung des Stabanschlusses möglich (Aufbau eines in Gegenrichtung wirkenden Momentes resultierend aus Normalkraft im Stab und exzentrischer Anordnung), wie aus Abbildung 6 ersichtlich.

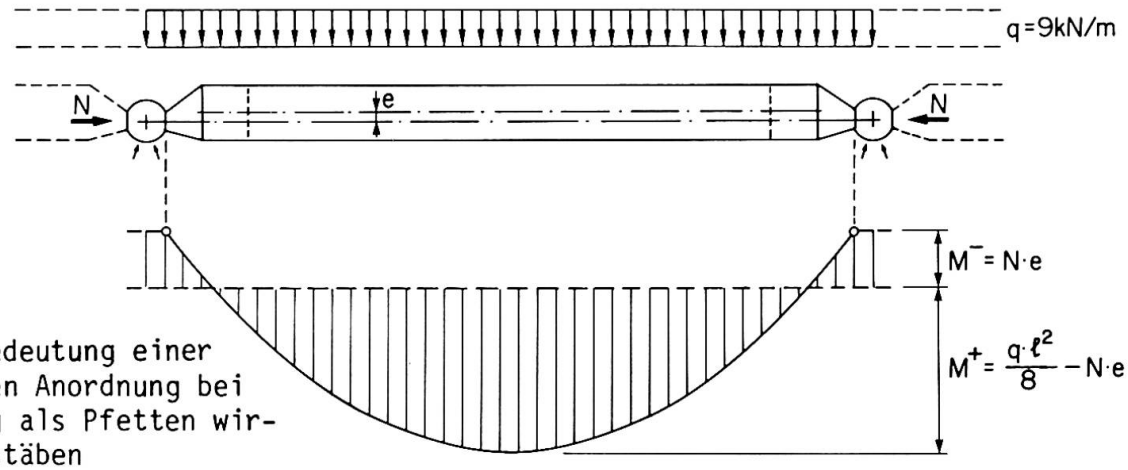

Abb. 6 : Bedeutung einer exzentrischen Anordnung bei gleichzeitig als Pfetten wirkenden Gurtstäben

Die Bedeutung des exzentrischen Anschlusses und der Einfluss der Querlast auf die Tragfähigkeit des Stabes (nur Normalkräfte) wurde experimentell untersucht, wobei die beiden Grenzfälle gemäss Abbildung 7 geprüft wurden.

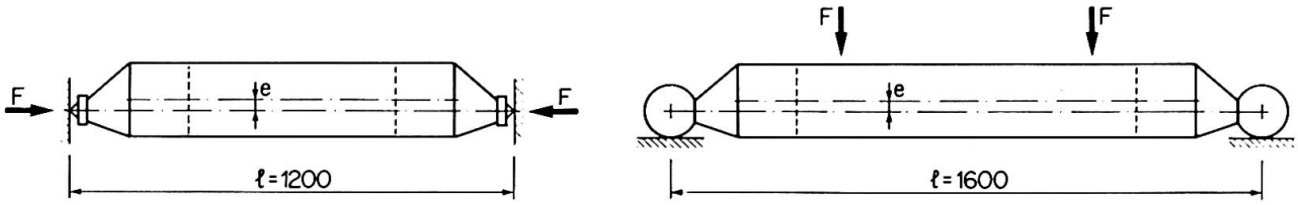

Abb. 7 : Prüfanordnungen

5.2 Geometrie des Tragwerkes

Bedingt durch die Anpassung des Tragwerkes bzw. der oberen Stablage an die Dachform und durch die Anordnung einer Ueberhöhung ergeben sich keine modularen Abmessungen mehr. Die Festlegung der Geometrie des Tragwerkes hat individuell zu erfolgen, mit dem Nachteil eines grösseren Arbeitsaufwandes für die Festlegung der Geometrie. Dies wirkt sich selbstverständlich auch nachteilig auf die Knotengeometrie aus (beschränkte Verwendung von Knoten mit Normbohrungen) und führt zu unterschiedlichen Stablängen.

5.3 Wirtschaftlichkeit

Durch eine angepasste Produktionsmethode wirken sich veränderliche Knotengeometrie und unterschiedliche Stablängen nur geringfügig auf die Herstellungskosten aus. Die Kugelknoten werden auf numerisch gesteuerten Bohrautomaten hergestellt. Eine durchdachte Herstellschablone erlaubt auf einfache Weise die unterschiedlichen Stablängen einzuhalten. Einzig bezüglich Montage ergibt sich ein, wegen der Vielzahl von Positionen, höherer Aufwand. Durch entsprechende Markierung der Stäbe und durch Vorbereitung des Montageablaufes kann diesem Umstand begegnet werden.

Diesen Nachteilen stehen jedoch auch wesentliche Vorzüge gegenüber. Neben der verbesserten ästhetischen Wirkung ergeben sich vom statischen Standpunkt aus folgende Vorteile:

- Einsparung der Nebentragelemente (zusätzliche Pfetten und Pfettenaufständerungen zur Ueberhöhung)
- Verbesserte Scheibenwirkung der Dacheindeckung (dank der direkten Verbindung Gurtstäbe des Stabrostes mit den Dachelementen).

6. VERWENDUNG VON BUCHENHOLZ FÜR HOCHBEANSPRUCHTE ELEMENTE

6.1 Allgemeines

Wie aus der Abbildung 2 ersichtlich, sind mit Buche oder Esche wesentlich grössere Anschlusskräfte möglich. Diese liegen rund 80% höher als bei einer Ausführung mit Fichte oder Tanne.

Generell liegen die Festigkeiten parallel zur Faser von Buchenholz rund 30% höher als Fichte (dies gilt sowohl für Druck, Zug oder Biegung). Aber auch die Steifigkeitsmasse sind rund 30% höher.

6.2 Knickfestigkeit

Bei einem stark vereinfachten Tragmodell fliessen - nebst der Schlankheit des Stabes - nur noch folgende Materialeigenschaften in die Berechnung hinein: die Druckfestigkeit und der Elastizitätsmodul. Nimmt man bei unterschiedlichen Holzarten noch eine Proportionalität zwischen Druckfestigkeit und E-Modul an, so kann die Knickfestigkeit σ_K für alle Holzarten einzig durch die Schlankheit und die Druckfestigkeit $\sigma_{d\parallel}$ ausgedrückt werden zu:

$$\sigma_K = \kappa_K \cdot \sigma_{d\parallel} \qquad \text{mit} \qquad \kappa_K = f(\lambda)$$

Ein Vergleich mit publizierten Versuchsdaten ergab eine gute Uebereinstimmung der an grösseren Stäben (120 x 120 mm) ermittelten Knicklasten (vgl. Abb. 8).

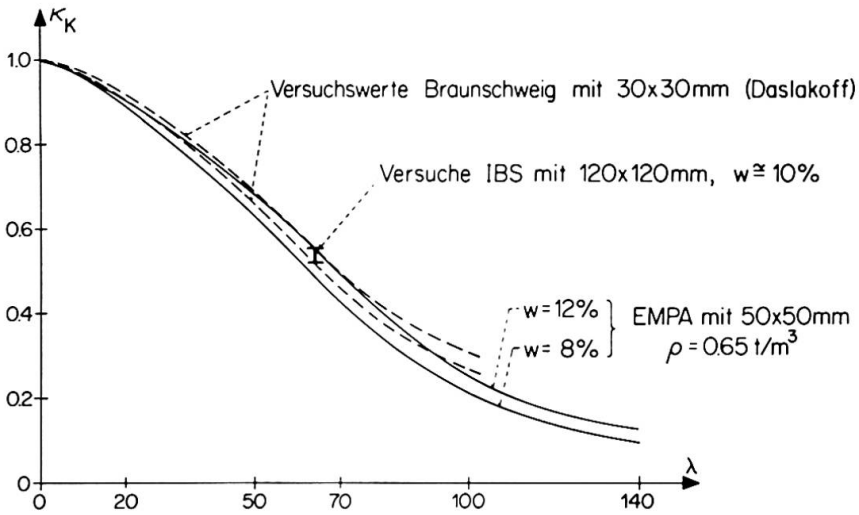

Abb. 8 : Vergleich von Versuchsdaten

6.3 Herstellung geleimter Querschnitte

Da Schnittholzquerschnitte aus Buchenholz selbst bei kleinen Holzfeuchtewechseln eine grosse Neigung zum Werfen aufweisen, kommt nur der Einsatz von verleimten Querschnitten in Frage. Durch die Verleimung von Brettern oder Furnieren erreicht man eine Homogenisierung des Querschnittes und eine erhöhte Formstabilität. Bei Brettern muss - um die Leimfugenbeanspruchung infolge Feuchtewechseln in Grenzen zu halten - zusätzlich ein Feuchteschutz aufgebracht werden, um rasche Feuchtewechsel möglichst zu dämpfen.

7. STAHLTEILE

Auch bei einem Holzraumfachwerk ist der Anteil der Stahlteile - zumindest kostenmässig - bedeutend. Eine gesamthaft wirtschaftliche Lösung ist somit nur bei gleichzeitiger Optimierung der Stahlteile möglich, wobei statische, geometrische, fertigungstechnische und Unterhaltsanforderungen zu erfüllen sind.

Die Stahlteile wurden in Abbildung 1 dargestellt und bestehen aus:

- Kugelknoten, aus Schmiedestahl oder Sphäroguss, mit Gewindebohrungen; Anschlusswinkel und Gewindegrösse innerhalb gewisser Grenzen frei wählbar
- Anschlussteil (Gabelstück) aus Sphäroguss, für die Holzlösung speziell entwickelt
- Hochfeste Schraube mit Innensechskant (handelsübliches Produkt)
- Stahlstift (handelsübliches Produkt)

Bei den hier - auch kostenmässig - ins Gewicht fallenden Anschlussteilen aus Sphäroguss spielt natürlich auch die Losgrösse eine entscheidende Rolle. Durch eine weitgehende Typisierung kann hier der Preis günstig beeinflusst werden.

8. HERSTELLUNGSTOLERANZEN

Bau- und Montagelehren gewährleisten - ohne grösseren Aufwand - die geforderten Längentoleranzen der fertigen Stäbe von $\ell \pm 0{,}5$ mm. Die Toleranzen für den eigentlichen Holzstab (ohne Anschlussteile) sind wesentlich grösser (+ 0, - 4 mm) und mit der üblichen Holzbearbeitungsgenauigkeit erfüllbar.

9. MONTAGE

Sofern möglich ist der Zusammenbau am Boden - zugleich mit der Dacheindeckung - und ein späteres Hochziehen, anzustreben. Ein genaues Einmessen der Tragstruktur ist dabei nicht erforderlich, da weder Anpassungen notwendig noch überhaupt vorgesehen sind. Die korrekte Form der Tragkonstruktion ergibt sich zwangsläufig. Die Bauteile sind stapelbar und leicht handbar.

10. MEHRZWECKHALLE ARBON

Für die stützenfreie Ueberdachung einer Fläche von 27 x 45 m^2 wurde ein Stabrost in Holz nach dem beschriebenen Konzept entworfen. Die Bemessung der Tragkonstruktion erfolgte für eine Totallast von 300 kg/m^2 (3kN/m^2). Bei einer Maschenweite von 3 m und einer Systemhöhe von 2,5 m genügten, trotz der hohen Belastung, kleine Stabquerschnitte (grösster Stab 180 x 180 mm^2), wobei - wie aus Abbildung 9 - ersichtlich, der hochbeanspruchte Bereich mit Stäben aus Buchenholz ausgeführt wurde. Die Holzkubatur des Dachtragwerkes betrug nur rund 60 m^3. Pro m^2 Dachfläche ergibt sich somit ein Holzverbrauch für die Tragkonstruktion von 0,05 m^3, d.h. entsprechend einer Schalung von 50 mm Dicke!

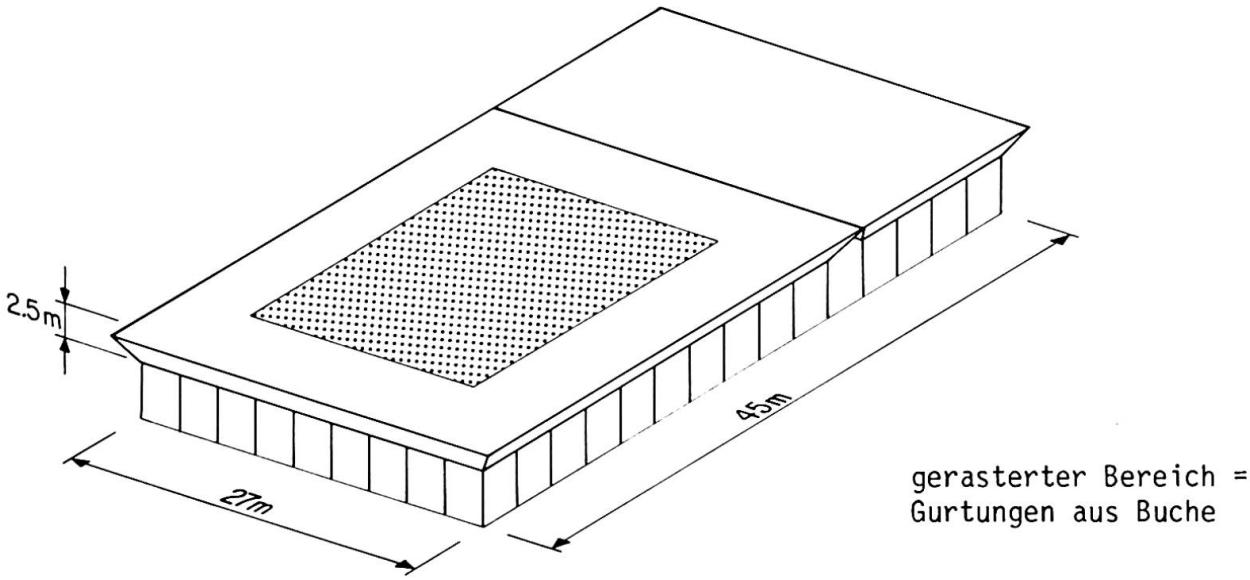

Abb. 9 : Schematische Darstellung des Stabrostes für die Mehrzweckhalle Arbon

Die Mehrzweckanlage Arbon steht zurzeit (Mai 1984) im Bau. Herstellung und Montage dieses neuartigen Stabrostes in Holzbauweise werden im Herbst 1984 abgeschlossen sein.

LITERATURVERZEICHNIS

1. GEHRI E./FONTANA M.: Betrachtungen zum Tragverhalten von Passbolzen in Holz-Holz-Verbindungen. Baustatik und Stahlbau, ETH Zürich, 1983.

2. GEHRI E.: Betrachtungen zum Tragverhalten von Bolzenverbindungen im Holzbau. Schweizer Ingenieur und Architekt, 1980, Jg. 98, H. 51/52.

3. GEHRI E.: Zur Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen. Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Karl Möhler gewidmet. Bruderverlag Karlsruhe, 1982.