

Ju. Ju. Slavik
S. W. Turkowsky
Wolfgang Rug
Wolfgang Kreißig

Montierbare Verbindungen in Holzkonstruktionen mit schräg eingeklebten Stäben

Verbindungen mit eingeklebten Stahlstäben gehören heute schon fast zum Stand der Technik im Holzbau, lassen sich doch im Hinblick auf das Trag- und Verformungsverhalten sehr leistungsfähige Verbindungen herstellen (s. auch [1] und [2]). Die erreichbaren Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte von Verbindungen mit eingeklebten Stäben sind höher als traditionelle Verbindungen mit Bolzen, Schrauben oder Nägeln.

Joints in wooden structures by application of inclined glued-in bars. *Joints with inclined glued steel bars are today very often used in timber engineering. On this basis one can develop effective and compact joints.*

In the last 30 years there are a lot of investigations to study such structural joints and to develop to design rules. The following explanations are giving an overview on the results of experimental work and the experience with the application in timber constructions.

1 Einleitung

In den letzten drei Jahrzehnten wurden vom staatlichen Bauforschungsinstitut Moskau eine ganze Reihe von Konstruktionen mit effektiven Bauteilverbindungen entwickelt, wo die eingeklebten Verbindungen längs der Holzfaser angeordnet wurden (Bild 1). Jedoch haben derartige Verbindungen in den GUS-Staaten wenig Verwendung gefunden. Die Analyse der Prüfungen, Fertigungsverfahren und Nutzung hat gezeigt, daß die Verbindungen längs der Holzfaser wesentliche Nachteile haben (s. auch [3]). In den Schichten, in denen die Stäbe eingeklebt sind, konzentrieren sich große Kräfte. Die Haftung der Stäbe im Holz wird durch Stirnrisse gestört. Die Längsanordnung der Stahlstäbe beschränkt ihre Anzahl in der Stirn, und nicht immer erhält man gleichfeste Verbindungen. Außerdem treten technologische Schwierigkeiten auf.

Die ungenügende Sicherheit der Verbindungen und die beschränkten Möglichkeiten der Anwendung dieser Lösungen führten

zu Untersuchungen von Verbindungen mit eingeklebten Stäben, die schräg zur Holzfaser angeordnet sind, über die nachfolgend berichtet wird.

2 Grundlagen

Das Hauptziel der seit 1975 durchgeführten Entwicklungsarbeiten bestand in der Untersuchung und Erprobung von vorgefertigten Holzkonstruktionen mit Verbindungen aus schräg eingeklebten Stäben. Dabei ging es vor allem um die Entwicklung und Untersuchung derartiger Verbindungen bei verschiedenen Arten von Spannungszuständen.

Grundsätzlich wurden die geprüften Verbindungen mit Betonstahl im Durchmesser zwischen 12

und 25 mm hergestellt. Die Bewehrung wurde mit Epoxid-Zement-Klebstoff in Bohrungen, die 4 ... 5 mm größer als der Stahldurchmesser waren, eingeklebt.

Die Entwicklung von Verbindungen mit schräg im Holz eingeklebten Stäben gründet sich auf umfangreiche Untersuchungen zum Spannungszustand derartiger Verbindungen unter Zug-, Druck-, Biege-, Druckbiege- bzw. Schubbeanspruchung.

Einfach in der Konstruktion sind die Verbindungen, die Zugkräfte übertragen (Bild 2). Die Verbindung ist symmetrisch zur Neutral- bzw. Querschnittsachse und besteht aus Auflagerteilen, die im Holz mit eingeklebten Stäben verbunden sind. Experimentelle Untersuchungen wurden haupt-

Tragkraft: $T = R_{SK} \pi [d + 0,005] \cdot l \cdot K_{SK}$
 R_{SK} = Rechenfestigkeit der Schubfestigkeit
 K_{SK} = Beiwert zur Berücksichtigung der ungleichmäßigen Schubspannungsverteilung
 $K_{SK} = 1,2 - 0,02 (l/d)$
 d = Bewehrungsdurchmesser
 l = Länge des eingeklebten Stabes ($30d > l < 10d$)
 zulässige Temperatur $\leq 35^\circ\text{C}$

Technologie: Stäbe genügend entrostet; in vorgebohrte Bohrungen ($d_B = d + 5\text{mm}$) oder eingetrajete Nuten mit Epoxyd-Mörtel kleben

Bild 1. Eingeklebte Stahlstäbe (nach [6])
Fig. 1. Glued steel bars according to [6]

sächlich an Bauteilen mit einem Querschnitt von 140×400 mm durchgeführt. Die Probenanzahl betrug 20 Stück. Im Rahmen der Experimente sollte der Einfluss von verschiedenen Schwächungen und

Verankerungsverfahren auf die Tragfähigkeit und Verformung studiert werden.

In allen Fällen trat der Bruch im Holz außerhalb der Verbindungen auf. Die Bruchkräfte lagen über

1000 kN. Jeder eingeklebte Stab im Durchmesser von 20 mm (rechnerische Bruchlast = 3600 MPa) wurde durchschnittlich von einer Kraft von maximal 200 kN beansprucht.

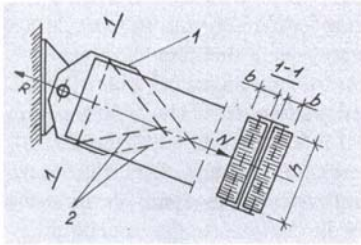


Bild 2. Verbindungsschema von Zugelementen mit Stützkontur
1 – Auflagerteil
2 – Schräg eingeklebte Stahlstäbe
Fig. 2. Joint of tension elements with bearing points
1 – bearing plate
2 – glued-in steel bars

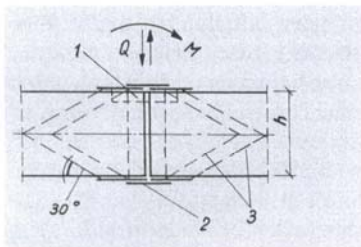


Bild 3. Verbindung von biegebeanspruchten Bauteilen
1 – Versteifung; 2 – Deckplatte;
3 – Schräg eingeklebte Stahlstäbe
Fig. 3. Joint of flexural elements
1 – shear rib; 2 – cover plate;
3 – glued-in bars

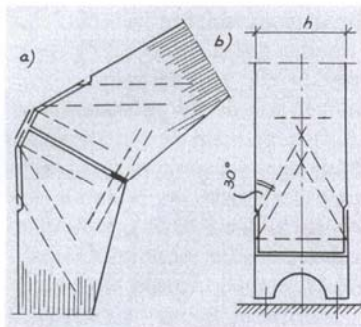


Bild 4. Verbindungen von montierbaren Konstruktionen
a) Rahmenecke;
b) Verbindung einer Stütze mit Fundament;
Fig. 4. Joint of prefabricated elements
a) cornice joint of frame; b) joint of column with foundation

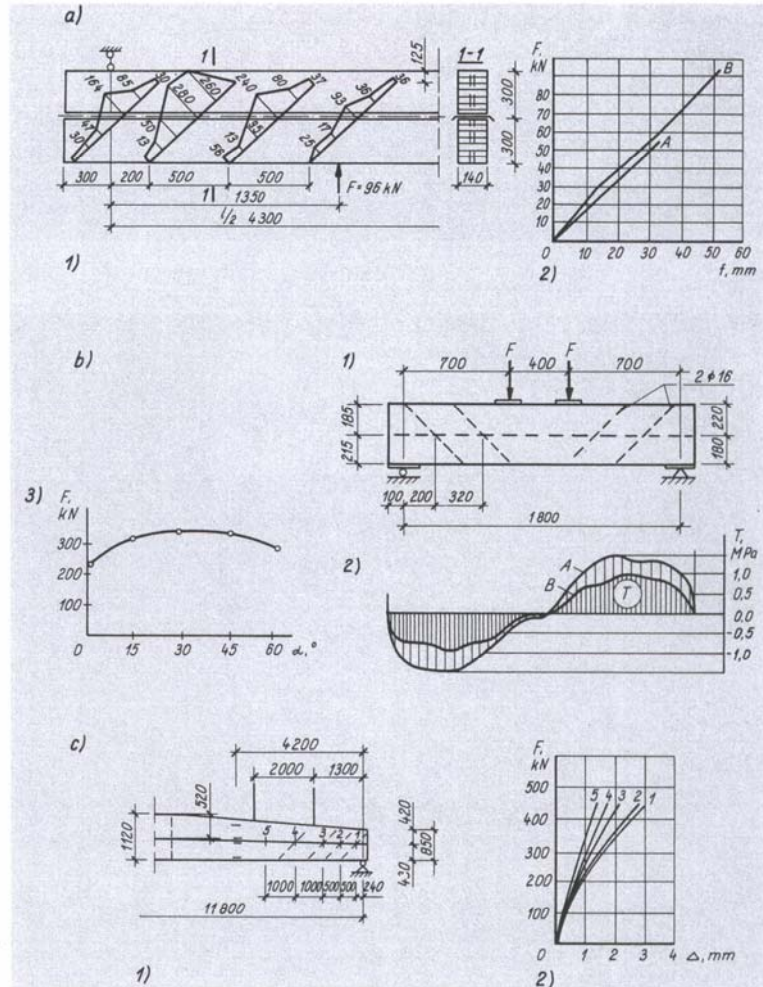
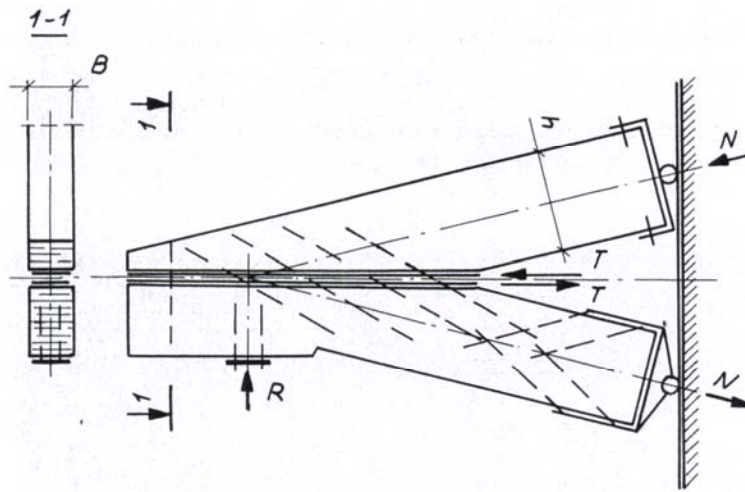
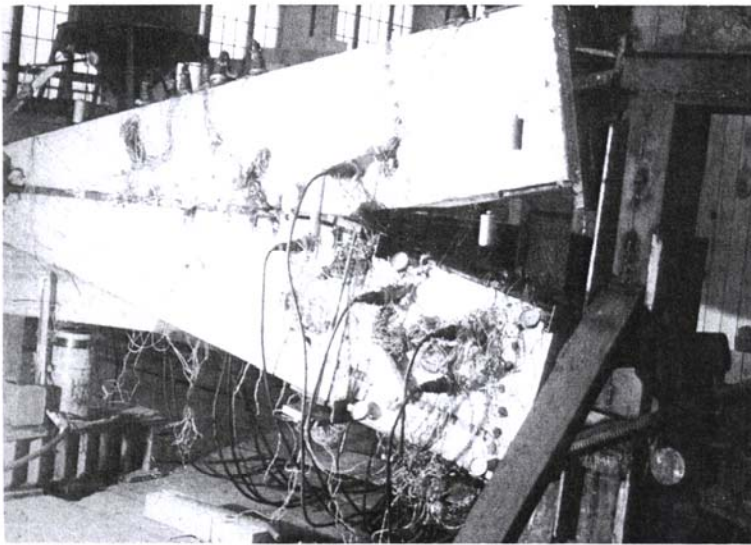


Bild 5. Versuche mit Schubverbindungen
a) zweiteiliger Querschnitt; 1 – Normalspannungen vor dem Bruch MPa; 2 – Last-Durchbiegungs-Kurve (A ohne Verbindung, B nach der Verbindung)
b) Vergrößerung der Scherfestigkeit durch Bewehrung; 1 – Versuchsbalken; 2 – Tangentiale Spannungsverteilung in der neutralen Faser (A vor der Bewehrung, B nach der Bewehrung); 3 – Wirkung des Winkels der Bewehrung auf die Tragfähigkeit
c) Bewehrung eines gerissenen Satteldachträgers
1 – Versuchsträger; 2 – Schubverformungen entlang der Verbindung (Last in den Punkten 1, 2, 3, 4, 5)

Fig. 5. Tests with shear joints
a) doubled cross-section; 1 – curves of normal stresses in ties before destruction (MPa); 2 – ratio deflection in 1/2 (A without joint, B after reinforcement)
b) increase of shear strength by means of glued reinforcement; 1 – test beam; 2 – tangential stress distribution in neutral layer (A before reinforcement, B after reinforcement); 3 – effect of glued in tie slope upon bearing capacity of the test specimen
c) Reinforcement of a double slope beam after spelling; 1 – test beam 2 – shear deformation along the joint (load points in 1, 2, 3, 4, 5)



a)



b)

Bild 6. Versuch am Auflagerpunkt eines linsenförmigen Trägers; Schema von einigen Gelenkeinheiten: a) Versuchsschema; b) während der Prüfung

Fig. 6. Test of joint of lens shaped truss a) test procedure; b) during the test

Die Verschiebung der Auflagerteile betrug i. a. nicht mehr als 0,5 mm. Es wurde festgestellt, daß die Festigkeit der Zugverbindungen von der Anzahl und Anordnung der Fugen pro eingeklebtem Stab abhängig ist. Die Verwendung von Schräg- und Querbewehrung ermöglicht es, gleichfeste Einheiten herzustellen und Sprödbrüche zu vermeiden. Solche Verbindungen können für die Verbindung von Trägeruntergurten, für zugbeanspruchte Turmabspannungen, für Verbindungen von steifen Ankerseilen usw. verwendet werden.

Verbindungen unter Druckbeanspruchung wurden analog den Zugverbindungen mit Polymerbetonverklebung hergestellt. In diesem Fall sollten die Einbauteile im Hinblick auf das Auftreten von Montagezugkräften und von Querkraften untersucht werden. Der Druck wurde hauptsächlich über Kontakt übertragen.

Das Konstruktionsschema einer Verbindung von Riegelementen unter Biegung zeigt Bild 3. Abhängig von der Beanspruchung im Querschnitt kann die Bewehrung unterschiedlich sein. Die Zugzone

wird analog den Zugverbindungen ausgeführt. Die Druckzone kann anders gestaltet werden. Druckkräfte können mittels Kontaktstoß oder durch stabile Einlagen übertragen werden.

Gewöhnlich sind wesentliche Schubspannungen in der Neutral-lage durch schräg eingeklebte Stäbe (Winkel von 45° zur Holz-faser) aufzunehmen. Verbindungen in biegebeanspruchten Bauteilen sollten eine Überhöhung von ca. 1/400 Spannweite haben. Zahlreiche Prüfungen an Prüfkörpern in Bauteilgröße, deren Verbindung in der Mitte der Spannweite angeordnet war, zeigten Holzbruch durch Zugfaserriß. Die Durchbiegungen der geprüften Balken korrespondierten mit der von ungestoßenen Balken.

Der Entwurf von Verbindungen bei Druck-Biege-Beanspruchung ist abhängig von der Konstruktion und der Wirkungsrichtung der auftretenden Kräfte. Zum Beispiel: Eine steife Verbindung eines Rahmens (s. Bild 4a) unterscheidet sich wesentlich von Verbindungen von Bögen oder Stützen (s. Bild 4b), die gewöhnlich symmetrisch hergestellt werden. Die spezifische Besonderheit der Verbindungen ist die Ausbildung der Druckzone, die sehr oft der bestimmende Faktor ist.

Vorgefertigte Drei-Gelenk-Rahmen mit Spannweiten von 12, 18 und 24 m wurden im ZNIISK entwickelt (s. Abschnitt 3). Die wichtigsten Eckverbindungen dieser Rahmen wurden in natürlicher Größe geprüft. Bei den Prüfungen wurden die rechnerischen Spannungen mit den Werten aus holografischen oder tensometrischen Messungen verglichen. Die Ergebnisse bestätigten im wesentlichen die Richtigkeit der theoretischen Annahmen. Der Bruch der Experimentalrahmen fand im Holz statt.

Durch Schrägbewehrungen erhält man kompakte und effektive Verbindungen, die beträchtliche Scherkräfte aufnehmen können (s. Bild 5a)–c)). Die wichtige Voraussetzung ist, daß die mit Winkel 30° oder 45° zur Faser eingeklebten Stäbe Zugkräfte aufnehmen müssen. Diese Annahme ist anwendbar für Baukonstruktionen mit Ver-

bundquerschnitten oder bei Bewehrung von Bauteilen unter Biegung. Die eingeklebte Schrägbewehrung führt zur Reduzierung der Schubspannung bis 25 % in Bauteilen mit konstantem Querschnitt, da der Sprödbbruch vermieden wird.

Auflagerpunkte von linsenförmigen oder Dreiecksträgern werden durch Scherkräfte beansprucht (Bild 6). Die Einheiten haben zwei Auflagerteile, die über eingeklebte Stäbe (5 Ø 16) verbunden werden können. Die Auflagerteile von Ober- und Untergurt sind in den Bauteilen zusammengeschweißt. Bei der Prüfung der Trägereinheit mit Spannweite 30 m wurde Viskosebruch infolge Reißen und Herausziehens außerhalb der Stäbe erreicht. Die Axialkräfte im Untergurt betragen 1200 kN. Bei der zulässigen Last betrug die Verformung nicht mehr als 0,3 mm.

Untersuchungen und Entwicklungen von Konstruktionen mit Außenbewehrung sind sehr interessant. Hier ist die Hauptbewehrung nicht eingeklebt, sondern befestigt an den Enden von Ankerschlägen. Derartige Anschläge sind Teile, die zu eingeklebten V-förmigen Ankern aus zwei Stäben angeschlossen werden (s. Bild 7).

Sie nehmen Scherkräfte auf und haben große Steifigkeit. Solche Anschläge werden für feste und steife Konstruktionsverstärkung genutzt. Auf dieser Grundlage wurden Binder, Rahmen u. ä. mit Lokalbewehrung entwickelt. Mittels solcher Bewehrung kann die Tragfähigkeit bis 30 % erhöht werden.

3 Anwendung

Analoge Lösungen, wie nach Bild 2 erprobt, wurden in vorgefertigten Bindern mit Kragarmen in Durchlaufbindern, in Trägerrosten verwendet.

Binder mit Spannweiten von 100 m aus Elementen mit Einzellänge 15 bis 18 m wurden 1987 für ein Dach eines öffentlichen Gebäudes verwendet (s. Bild 8).

Die Verbindungen mit eingeklebter Bewehrung sind in den Feldern und an die Auflagerpunkten zur Herstellung eines Durchlaufträgers verwendet worden.

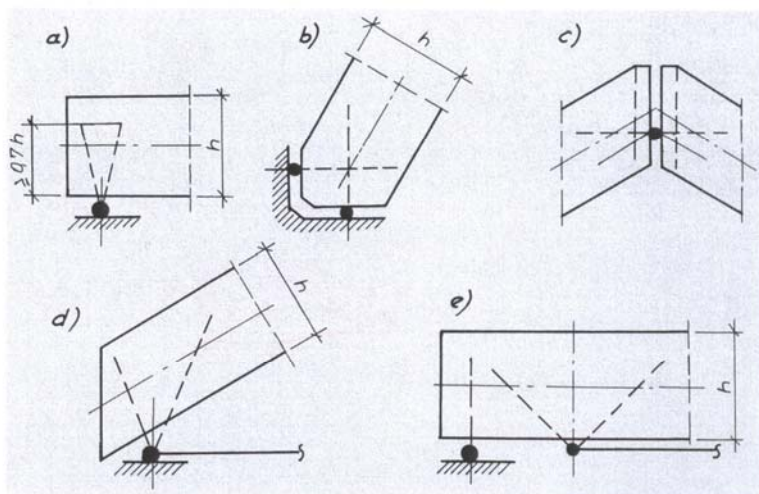


Bild 7. Auflagerpunkte von Bauteilen

a) Trägerauflager; b), c) Bogenträger; d) Binder mit Zugband; e) Träger mit Unterspannung

Fig. 7. Schemes of hinge joints

a) of beam bearing; b), c) of arches; d) truss with tension band e) beam with prestressed elements

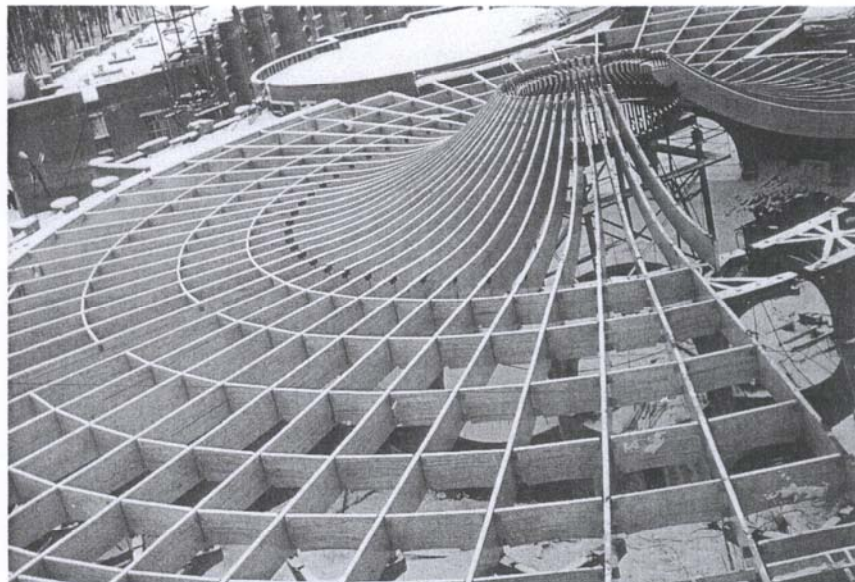
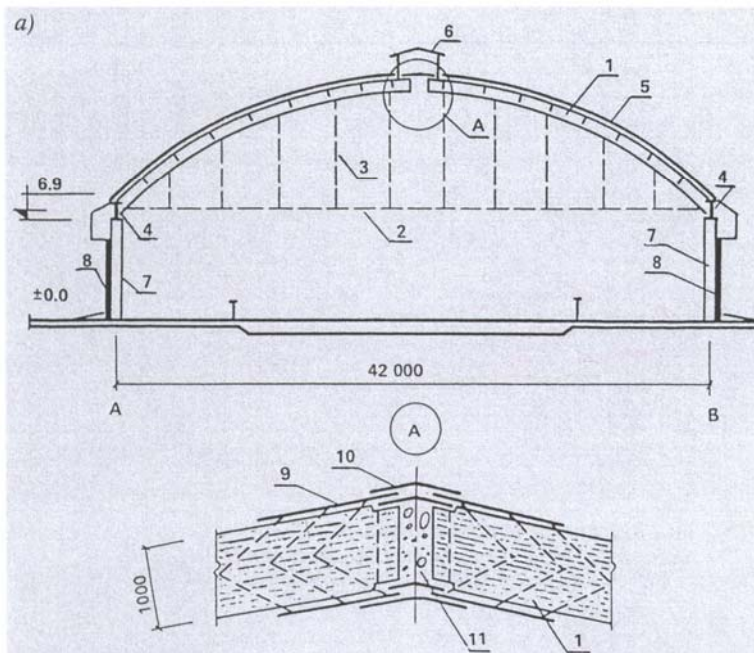


Bild 8. Konstruktion für ein öffentliches Gebäude mit 100 m langen Durchlaufträgern, zusammengesetzt aus 15 bis 18 m langen Trägerteilen
Fig. 8. Construction of a official building with continuous beams over a length of 100 m, consisted on several beam-elements with a length of 15 ... 18 m

Dadurch konnte gegenüber einer Tragstruktur aus Einfeldträgern der Holzverbrauch um 30 % gesenkt werden.

Dreigelenkrahmen aus geradlinigen Elementen mit Spannweiten von 18 m für Sporthallen werden im Brettschichtholzwerk in Wologda hergestellt.

Steife Verbindungen mit eingeklebten Stäben sind für Zweigelenk-Bögen einer Eissporthalle in Moskau (Spannweite 42 m – s. Bild 9a und b) zur Herstellung einer festen Verbindung zwischen Stützen und Fundament, aber auch zur Verbindung der gebogenen und geraden Rahmenzonen mit Spann-



Halle überdacht mit kurzen zylindrischen Schalen mit den Abmessungen 42 m × 12 m. Die Montageelemente der Schale bestehen aus:

- bogenförmigen Konturelementen im Abstand von 12 m (1)
- bogenförmigen Rippen zwischen den Konturelementen im Abstand von 3 m

- Platten mit den Abmessungen 3 × 1,5 m, welche die eigentliche Schale bilden (5)

- Spreizen zwischen den Rippen

- Randelementen mit 12 m Länge (4)

- Stahlzugbändern im Abstand von 12 m (2) an Abhängungen (3).

Die Bewehrung befindet sich in den Auflager- und Firstknoten der Konstruktion.

Dämmung: Mineralwolleplatten, belüftetes Warmdach, Dachhaut aus verzinktem Stahl

Projektverfasser: ZNIISK Moskau

Hersteller: Volokolamsker Experimentalbetrieb für geklebte Holzkonstruktionen

Aufbau: 2. Moskauer Bautrust der Moskauer Eisenbahn

b)

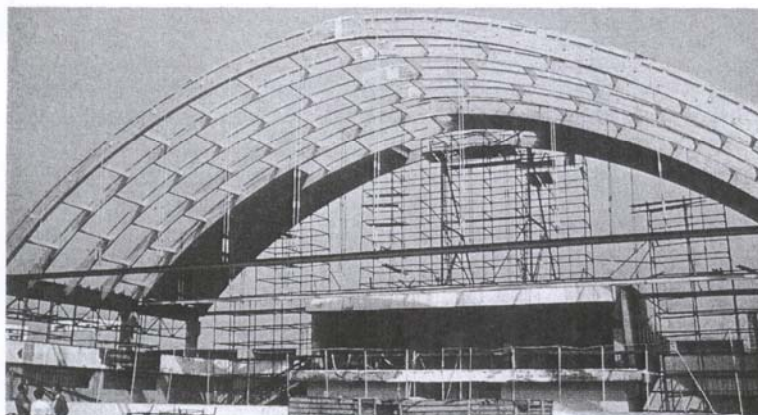


Bild 9. Eishockeyhalle, 42 m Spannweite, Moskau

a) Hallenschema; b) während der Errichtung

Fig. 9. Ice-hall in Moscow, span 42 m

a) sheme of the hall; b) during the erection

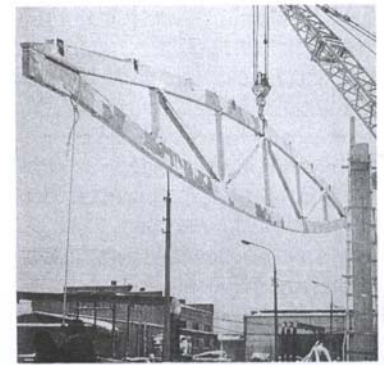


Bild 10. Linsenförmiger Träger
Fig. 10. Erection of a hall with lens shaped beams, span 36 m

weiten von 50 m bei einem öffentlichen Gebäude nahe Moskau verwendet worden.

Weiterhin wurden linsenförmige Serienkonstruktionen mit Spannweiten von 18, 24 und 36 m und Parallelgurträgern, z. B. für Autobahnüberbrückungen entwickelt (s. Bild 10). Weiterhin entwickelte man Brücken über die Autobahn, die durch Schrägbewehrung verstärkt sind.

Die Quer- und Schrägbewehrung gestattet, zahlreiche Verbindungen für verschiedene Konstruktionen zu entwerfen. Die Berechnungsgrundlagen sind in [7] geregelt. Dank hoher Festigkeit und Steifigkeit derartiger Verbindungen kann der Stahlverbrauch bei Holzkonstruktionen wesentlich reduziert werden. Auflagerplatten zur Verteilung der Auflagerkräfte sind nicht mehr nötig. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Kräfte präzise zu fixieren. Derartige Holzkonstruktionen sind sehr einfach zu montieren. Sie unterscheiden sich von traditionellen Konstruktionen durch höhere Betriebssicherheit, Montagefähigkeit und reduzierten Materialverbrauch. Solche Verbindungen wurden bei Bögen und Rahmen, Träger- und Bindereinheiten in den GUS-Staaten seit 1978 verwendet.

4 Zusammenfassung

Durch die Schräganordnung von in Holz eingeklebter Bewehrung lassen sich steife und zuverlässige Holzverbindungen herstellen. Gleichzeitig können die techno-

logischen Fragen der Anordnung der Stäbe in Verbindung mit Auflagerteilen leicht gelöst werden. Die Auflagerteile können durch Schweißen oder mit Bolzen bei der Montage der Holzkonstruktionen verbunden werden. Das erweitert die Verbindungsmöglichkeiten insbesondere bei der Montage von Konstruktionen mit großen Spannweiten.

Die Grundlagenuntersuchung zeigte, daß die höchste Effizienz der Schrägbewehrung bei einem Winkel von 30° erreichbar ist.

Literatur

- [1] Gerold, M.: Verbund von Holz und Gewindestangen aus Stahl. Bautechnik, Berlin 69 (1992) 4, S. 167–178.
- [2] Hollinsky, K.: In Holz geklebte stabförmige Verbindungsmittel. 14. Dreiländer-Holztagung in Interlaken, 1990.
- [3] Turkowsky, S. W.: Bemessung von Leimholzkonstruktionen – Verbindungen aus eingeleimten Stäben. In: Holzbau, 22. Jahrestagung der Arbeitsgruppe „Timber Structures“. Bauforschung Baupraxis 279 (dtsh), Berlin 1990.
- [4] Werner, K.: Holz-Beton-Verbunddecke mit einer neuartigen Fugenausbildung. Bauen mit Holz, Karlsruhe (1992) 4, S. 312–324.
- [5] Holzkonstruktionen. Staatliches Baukomitee der UdSSR (russ.), Moskau 1991.
- [6] Slitschkoichow u. a.: Konstruktionen aus Holz und Plast (russ.), Moskau 1986.
- [7] SNIP 2.05.08–09 Holzkonstruktionen. Neufassung der Holzbau-norm SNIP P-25-80 (russ.), Moskau 1989.
- [8] Turkowsky, S. W.: Prefabricated Joints of Timber Structures on Inclined glued-IN-Bars. 1991 International Timber Engineering Conference (engl.), London 1991.
- [9] Turkowsky, S. W. u. a.: Use of glued-IN-Bars for Reinforcement of Wood Structures. 1991 International Timber Engineering Conference (engl.), London 1991.
- [10] Slavik, Ju. Ju.; Turkowsky, S. W.: Entwicklung eines Konstruktionssystems von Brettschichtholzkonstruktionen mit Stahlverstärkungen. Forschungsbericht (russ.), Moskau 1989.
- [11] Zubarev, G. N. u. a.: Verbindungen mit eingeklebten Stahlstäben. In: Holzbau, 22. Jahrestagung der Arbeitsgruppe „Timber Structures“. Bauforschung Baupraxis 279 (dtsh.), Berlin 1990.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Ju. Ju. Slavik, Dr. sc.-Ing. S. W. Turkowsky, Zentrales Wissenschaftliches Bauinstitut (ZNIISK), Moskau
Dr.-Ing. Wolfgang Rug, Dr.-Ing. Wolfgang Kreißig, Recontie-Institut für Holzbau und Ökologisches Bauen, O - 1113 Berlin, Berliner Straße 5

Völlig überarbeitete DIN 68 800, Teil 4, bekämpfender Holzschutz

Mit der im Januar 93 veröffentlichten stark überarbeiteten DIN 68 800, Teil 4, wird die Orientierung und damit die Sicherheit bei der Bekämpfung von holzerstörenden Insekten und Pilzen stark verbessert. Gegenüber der Ausgabe von Mai 1974 werden die Anliegen von Gesundheit und Umweltschutz eindeutiger berücksichtigt – sie werden den praktischen Erkenntnissen von heute angepaßt. Gleichzeitig wird es der Verantwortung der Anwender verstärkt überlassen, über eine sachgerechte Bekämpfungsmaßnahme nach dem tatsächlichen Gefährdungsgrad des Holzes zu entscheiden. Dazu muß eine genaue Analyse von Schädlingsart und Befallsumfang vorliegen.

Als weitere entscheidende Neuerung soll die Bekämpfung durch eine

dauerhaft angebrachte Kennzeichnung am Holz genau beschrieben sein. Das berücksichtigt den Umweltschutz insofern, als bei einer späteren eventuell notwendig werdenden Entsorgung der Weg vorgezeichnet ist.

Den geforderten Normen entsprechen vor allem bekämpfende Mittel mit dem RAL-Gütezeichen. Diese Produkte sind im nichtamtlichen Teil des „Verzeichnisses der Prüfzeichen von Holzschutzmitteln“ aufgeführt, das vom Institut für Bautechnik in Berlin – jährlich neu aufgelegt – herausgegeben wird. Wichtig ist, daß die Bekämpfungsmaßnahmen an Hölzern, die der Standsicherheit dienen, nur noch von qualifizierten Fachfirmen oder Fachleuten durchgeführt werden dürfen, die über eine fundierte Fachkenntnis und die erforderliche technische Ausrüstung verfügen. Sie müssen vor Beginn der Maßnahmen dem Auftraggeber einen Untersuchungsbericht mit der Feststellung der Schädlingsart und dem Befallsumfang vorlegen.

Die Beauftragung von Fachleuten empfiehlt sich vor allem dann, wenn

eine Auswechslung der befallenen Holzteile statt einer chemischen Bekämpfung des Schädlingsbefalls vorgesehen ist. Das ist der Fall, wenn der entsprechende Raum dem dauernden Aufenthalt von Menschen dient und durch die Behandlung die Raumluftbelastung bestimmte Werte übersteigt. Schließlich ist nicht zu unterschätzen die geänderte Ausführungsbestimmung, wonach die Regelungen zum Heißluft- und Begasungsverfahren zur Bekämpfung holzerstörender Insekten erweitert sind. Das gilt nicht für die Hausschwamm oder Pilze.

Damit die Norm eine rasche Verbreitung findet und sich alle Interessenten schnell mit den veränderten Bedingungen vertraut machen können, legte die Gütegemeinschaft Holzschutzmittel e. V. zusammen mit dem Deutschen Holz- und Bautenschutzverband e. V. einen Sonderdruck davon vor. Er ist anzufordern bei der Gütegemeinschaft Holzschutzmittel, Karlstraße 21 in 6000 Frankfurt am Main gegen Einsendung eines adressierten und mit DM 1,40 frankierten Umschlages im Format DIN C5 oder C6.