



*Dr Jean-Marc Ducret
Entreprise Jean-Louis Ducret,
Orges CH*

Eine neue Verbindungstechnik: Ferwood®

Eine neue Verbindungstechnik : Ferwood®

Das patentierte Ferwood® System ist ein vollständiges Verbindungsprogramm für den Holzbau. Mehrere verschiedene Laborversuche haben bewiesen, dass steife, halbsteife oder gelenkige Stösse auf einfache, unauffällige Weise ausgeführt werden können und die verschiedenen Beanspruchungen wie Biegemomente, Zug-, Druck- und Querkräfte übertragen werden können.

Das Ferwood System ist für alle möglichen Tragwerksarten im Holzbau geeignet, d.h. für ebene oder räumliche Fachwerke sowie Stabtragwerke, Trägerroste und Rahmen. Gelenkige oder steife Montagestösse können ebenfalls ausgeführt werden.

Die verschiedenen Tragwerksnormen, insbesondere die SIA Norm 164, sind unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade bezüglich des ungeschwächten Querschnittes anwendbar. Die Berechnung der Schnittkräfte erfolgt nach den Regeln der Stabstatik. Die Bestimmung der Verformungen und des Spannungszustandes im Querschnitt erfolgt unter Berücksichtigung elastisches Materialverhaltens.

Einführung

Seit 1981 führte das Laboratorium des EINEV (HTL; Kanton Waadt, Prof. R. Oguey) mehrere verschiedene Laborversuche mit Brettschichtholz durch. 1984 wurde das Laboratorium beauftragt, verschiedene Laborversuche für eine Holzrestaurationstechnik durchzuführen.

Aus den Erfahrungen und dem vorhandenen Know-how, entstand die Absicht, diese Technik auf neue Brettschichtholzbauten anzuwenden. Die vorläufigen Versuche erlaubten seit 1993 die ersten Anwendungen des patentierten Ferwood® Systems. Seine Anwendung basiert auf genauen Kenntnissen des mechanischen Verhaltens und der notwendigen konstruktiven Durchbildung. Der empirische Teil wurde durch genaue, zuverlässige Anwendungsmethoden ersetzt. Bild 1 zeigt Beispiele von den vorläufigen Versuchen.

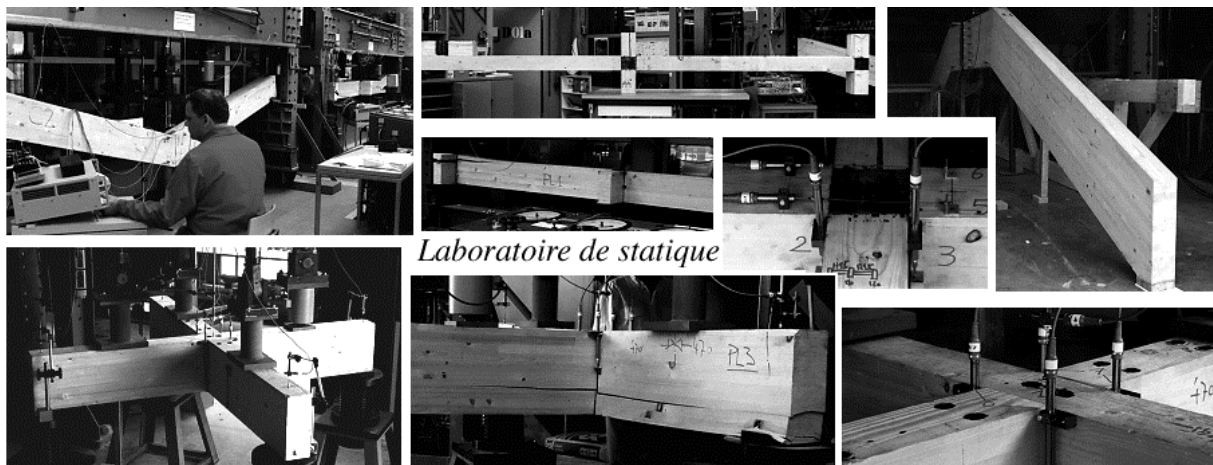


Abbildung 1 Vorläufige Versuche : Trägerroste und Rahmen

Laborversuche

Nach den vorläufigen Laborversuchen, wurden systematische Versuche durchgeführt. Die wesentlichen Ziele waren die Untersuchung des globalen Verhaltens von verschiedenen Trägern und die Bestimmung der Zuverlässigkeit des Systems. Die folgenden Abschnitte zeigen Beispiele der Laborversuche.

Fachwerk

Bild 2 zeigt das statische System und die Querschnitte eines untersuchten Fachwerks.

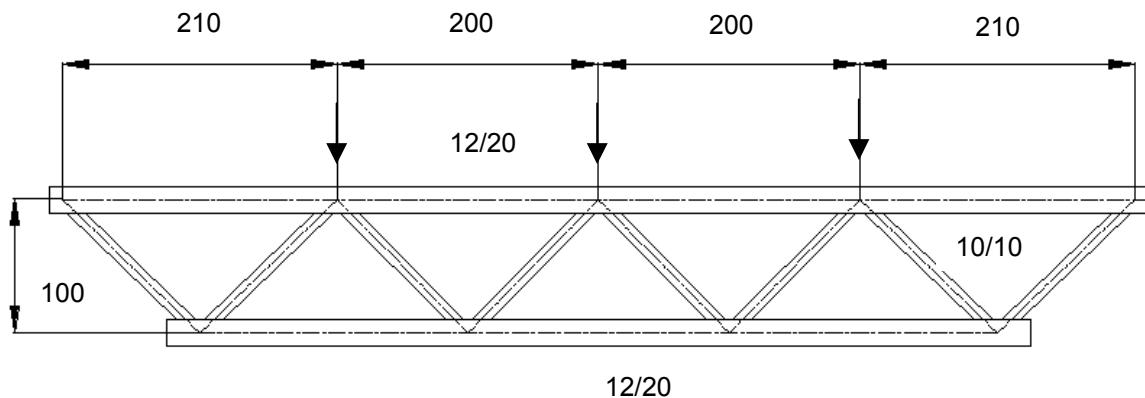


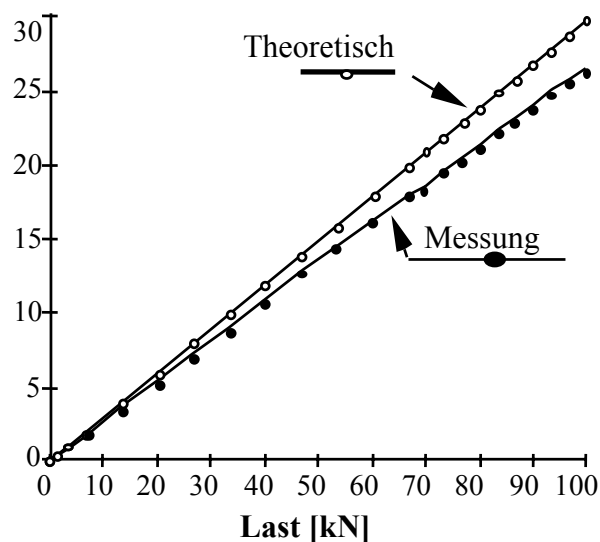
Abbildung 2 Statisches System und Querschnitte

Das Fachwerk wurde wie folgt belastet :

- Zwei Lastzyklen von 0 bis zur Gebrauchslast (48 kN)
- Ein Lastzyklus von 0 bis zur theoretischen Bruchlast (85 kN),
- Ein Lastzyklus von 0 bis zur effektiven Bruchlast (108 kN).

Bild 3a zeigt das Last-Verformungs-Diagramm im Mittelfeld und die theoretischen Werte. Bild 3b zeigt die gemessene Verformung am Stoss und in der Mitte der Streben.

Verformung [mm]



Verformung [mm], Messlänge 250mm

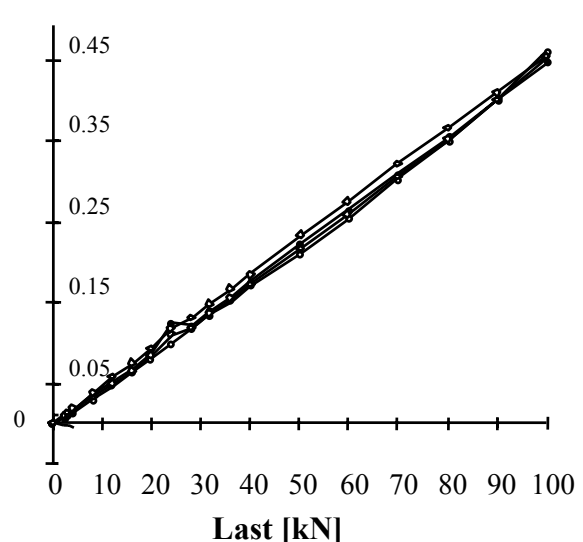


Abbildung 3 a) Last-Verformungsdiagramm, b) Last-Dehnungsdiagramm

Das Last-Verformungsdiagramm (Fig. 3a) zeigt das elastische Materialverhalten. Die Annahmen bezüglich des Elastizitätsmoduls waren eher pessimistisch (ungefähr 10%). Die Verbindungen erzeugten weder bedeutende, zusätzliche Verformungen noch unerwartetes Verhalten. Die gemessenen Verformungen am Stoss und in der Mitte der Streben waren sehr ähnlich (Fig. 3b).

Unterspannte Träger

Bild 2 zeigt das statische System und die Querschnitte eines untersuchten unterspannten Trägers.

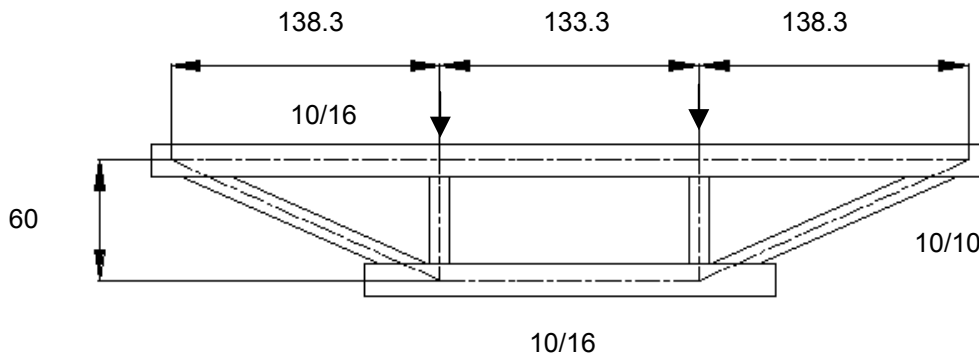


Abbildung 4 Statisches System und Querschnitte

Solche Träger wurden genau untersucht, weil die Streben und die Stöße ziemlich hoch beansprucht werden. Die folgenden Versuche wurden durchgeführt :

Vier Träger von 0 bis zur Bruchlast,

Zwei Träger, P_{b1} bzw. P_{b2} , wurden mit langfristiger Last (70% der Gebrauchslast) untersucht. Dann wurden 3000 bzw. 6000 Zyklen (0 bis 70% der Gebrauchslast) durchgeführt.

Bild 5 zeigt das Zeit-Verformungsdiagramm für die beiden Träger während 2 Monaten.

Verformung

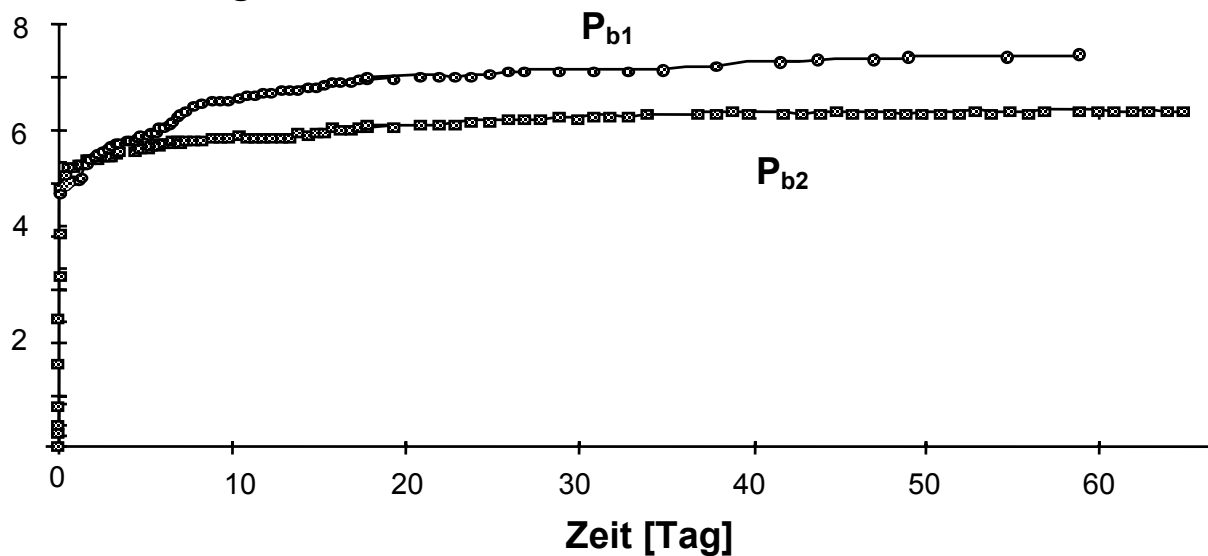


Abbildung 5 : Zeit-Verformungsdiagramm

Die Verbindungen haben keinen wichtigen Einfluss auf das Langzeitverhalten der Träger. Tatsächlich entspricht das Kriechverhalten der beiden Träger dem normalen Holzverhalten [2]. Die gemessenen Verformungen in den Streben führen zu den selben Schlussfolgerungen [3].

Nach dem Langzeitversuch und den Zyklen, wurden statische Versuche bis zur Bruchlast durchgeführt. Diese Versuche haben gezeigt, dass sich die Träger bis zum Bruch elastisch verhielten. Ähnliche Bruchlasten wie für die anderen Träger wurden erreicht. Die Langzeitversuche und die Zyklen haben folglich keinen Einfluss auf das Bruchverhalten.

Rahmen

Bild 6 zeigt das statische System und verschiedene Biegemomentenverteilungen. Die Biegemomentverteilung hängt von den Annahmen bezüglich der Steifigkeit der Verbindung zwischen Pfosten und Träger ab.

Das Rahmen wurde wie folgt belastet :

- Zwei Lastzyklen von 0 bis zur Gebrauchslast
- Ein Lastzyklus von 0 bis zur theoretischen Bruchlast.

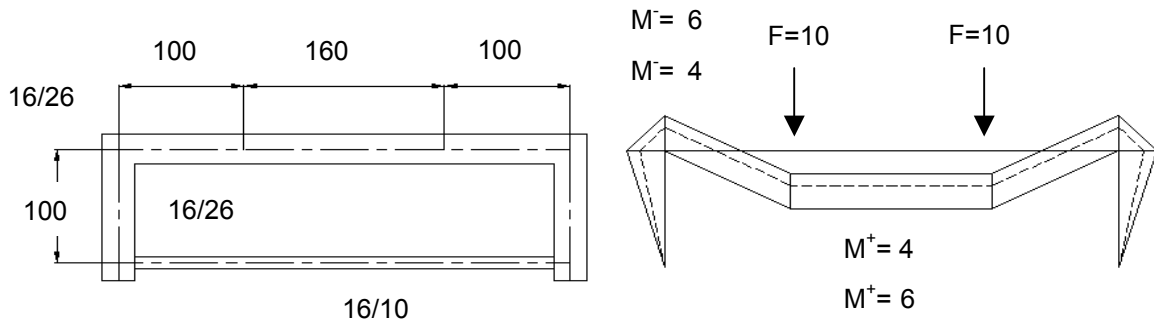


Abbildung 6 Statisches System und Biegemomentenverteilungen

Bild 7a zeigt das Last-Verformungsdiagramm und die theoretischen Werte, die von der Steifigkeit der Verbindung abhängen. Bild 7b zeigt die gemessenen und gerechneten Werte der Verformungen des unteren Teils des Trägers im Mittelfeld.

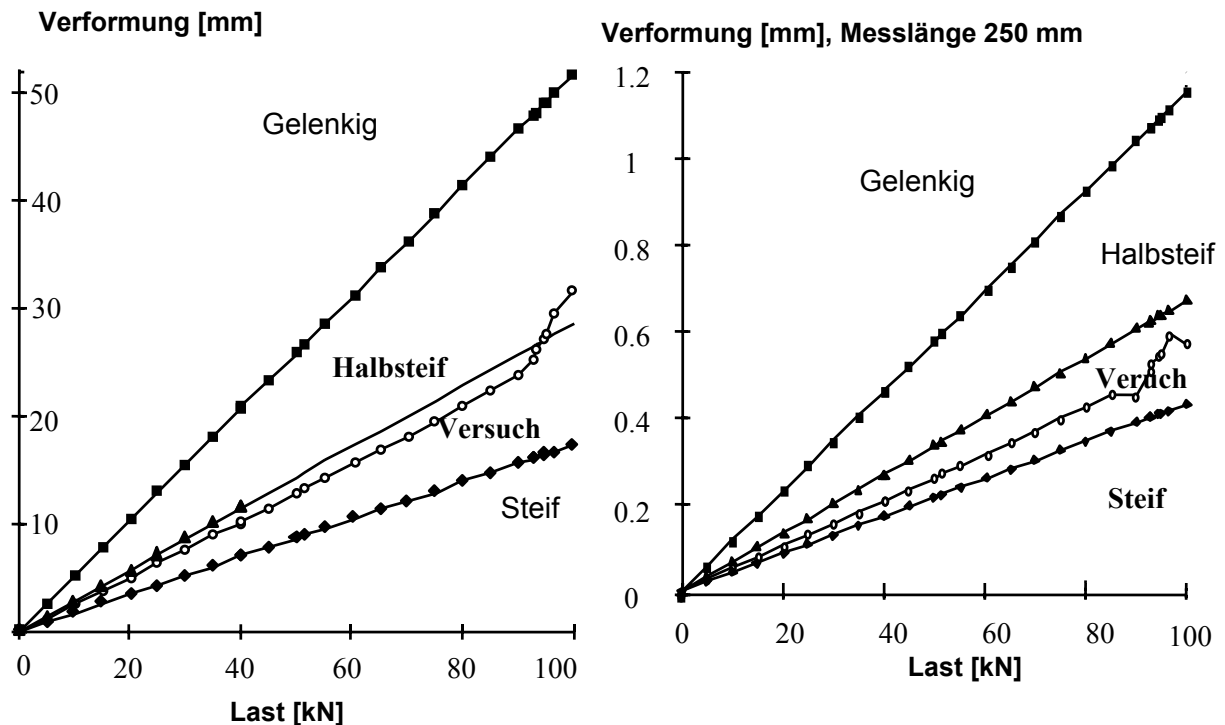


Abbildung 7 a) Last-Verformungsdiagramm im Mittelfeld b) Last-Dehnungs-Diagramme für den unteren Teil des Trägers im Mittelfeld.

Das Rahmenverhalten kann klar als halbsteif bis zur Bruchlast beurteilt werden. Die theoretischen Werte der halbsteifen Verbindung beschreiben am besten das gemessene Verhalten. In der Nähe der Bruchlast hat die Verbindung eine geringere Steifigkeit und der Träger verhält sich wie im Fall einer gelenkigen Verbindung.

Ein ähnlicher Rahmen wurde ausgeführt und im Labor untersucht. Dieser Versuch hatte den Zweck, eine steife Verbindung zu gewährleisten. Bild 8a zeigt das Last-Verformungsdiagramm und die theoretischen Werte, die von der Steifigkeit der Verbindung abhängen. Bild 8b zeigt die „gemessenen“ und gerechneten Werte der Spannungen des unteren Teils des Trägers im Mittelfeld.

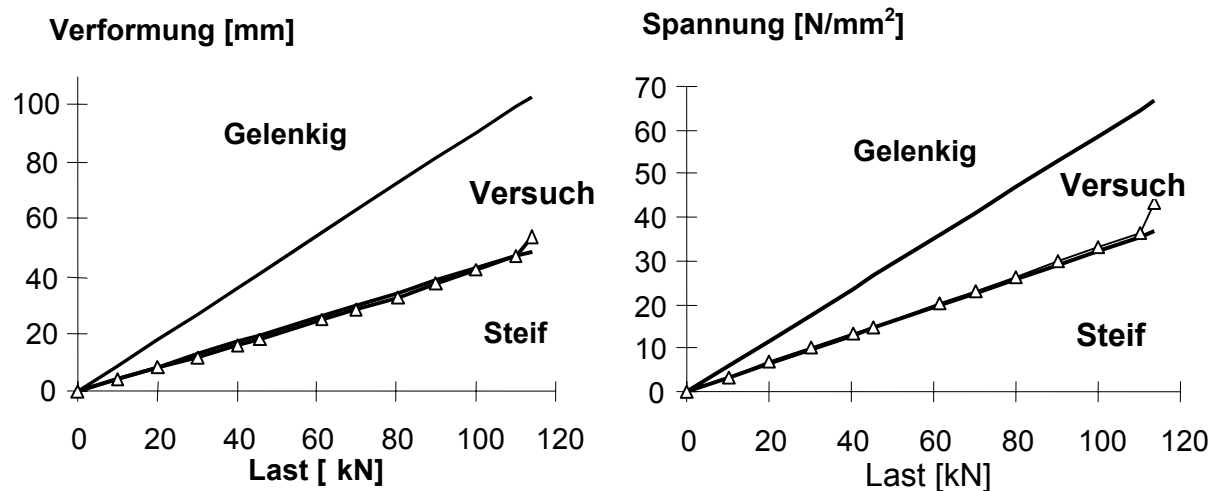


Abbildung 8 a) Last-Verformungsdiagramm im Mittelfeld b) Last-Spannungs-Diagramme für den unteren Teil des Trägers im Mittelfeld.

Bild 8a und b zeigen, dass eine steife Verbindung mit dem Ferwood System möglich ist. Wie schon erwähnt, nimmt die Steifigkeit in der Nähe der Bruchlast ab.

Bemessungsmethode und konstruktive Durchbildung

Durch die Laborversuche konnten die Baustoffe, Bemessungswerte und die notwendigen Nachweise festgelegt werden.

Baustoffe

Im allgemeinen werden die FERWOOD[®]-Holzbauten mit Brettschichtholz FK A gemäss Norm SIA 164 ausgeführt. Je nach Beanspruchungen oder Anforderungen können aber auch andere Güten verwendet werden (z.B. Eurocode prEN 1194 (GL28-36)).

Bemessungswerte

Die Berechnung der Schnittkräfte erfolgt nach den Regeln der Stabstatik. Die Bestimmung der Verformungen und des Spannungszustandes im Querschnitt erfolgt unter Berücksichtigung elastischen Materialverhaltens. Die verschiedenen Tragwerksnormen, insbesondere die SIA Norm 164, sind unter Berücksichtigung der folgenden Wirkungsgrade bezüglich des ungeschwächten Querschnittes anwendbar :

Schnittkräfte	Wirkungsgrad	Bemessung	
		Querschnitt	Verbindung
Druck	$\eta_c = 0.90$	$S_d < R_d$	$S_{d\text{Verbindung}} < \eta R_d$
Zug	$\eta_t = 0.85$		
Biegung	$\eta_m = 0.90$		
Schub	$\eta_v = 0.95$		

(S = Schnittkraft, R = Widerstand)

Abbildung 9 : Wirkungsgrad

Nachweise

Die Bemessung und der Nachweis der Tragelemente können anhand der Bemessungsvorschriften vom planenden Ingenieur durchgeführt werden. Er bestimmt die vorgesehenen Holzquerschnitte und die zu übertragenden Schnittkräfte. Die Bemessung der Verbindungen und die konstruktive Durchbildung ist ausschliesslich den Inhabern des Ferwood®-Patents oder einem zugelassenen Projektbüro oder Unternehmen vorbehalten.

Die Sicherheitsbeiwerte der Verbindungen entsprechen den Werten der gültigen Normen. Die Formeln der Norm SIA (Ziffer 3 33 3 und 3 39 4) gelten bei der Bemessung der Anschlüsse unter Berücksichtigung ihres Wirkungsgrades.

Die Berechnung der Verformungen erfolgt nach den üblichen Regeln der Baustatik (elastische Berechnung), wenn nötig unter Berücksichtigung einer vorhandenen teilweisen Einspannung. Das Ferwood®-System erzeugt keine bedeutenden, zusätzlichen Verformungen des Tragwerks.

AUSFUHRUNGSBEDINGUNGEN UND ANWENDUNGSBEISPIELE

Die Ausführung von den Verbindungen erfordert einen hohen Präzisionsgrad für den Abbund, insbesondere für Fräsen, Sägen und Bohrungen. Zur Zeit ist die Verwendung von fünf-achsigen CNC-Anlagen die einzige Lösung. Bilder 10 a und b zeigen, wie solche Anlagen erlauben, Präzisionsarbeiten auszuführen. Die Arbeitsfläche beträgt 40 x 6 Meter.



Abbildung 10 : CNC Anlage a) Säge b) Bohrung

Bilder 11a und b zeigen Anwendungsbeispiele für Fachwerke mit grossen Spannweiten.



Abbildung 11 Fachwerke mit 45 und 36 Metern (Eishalle in Lausanne)

Bilder 12 a und b zeigen das Beispiel einer Reithalle mit Fachwerken mit einer totalen Länge von 80 m. und einer Spannweite von 56.6 m. Das Zugband wird mit Stahlprofilen hergestellt.



Abbildung 12 Fachwerke mit 56.6 m. Spannweite, Gesamtlänge 80 m. (IENA, Avenches)

Rahmen mit 30 bis 42 m. Spannweite werden im Bild 13 gezeigt.



Abbildung 13 a) 30 m. Rahmen b) Rahmenecke für Träger mit einer Gesamtlänge von 42 m. und Gesamthöhe von 2.00 m.

SCHLUSSEFOLGERUNGEN

Aus den zahlreichen durchgeführten Versuchen lässt sich schlussfolgern, dass die Ferwood®-Verbindungen keine bedeutende zusätzlichen Verformungen erzeugen.

Die Bemessung und der Nachweis der Ferwood®-Tragelemente können anhand der Bemessungsvorschriften (Wirkungsgrad) durchgeführt werden. Die Norm SIA 164 sowie andere Tragwerksnormen sind anwendbar.

Das Ferwood®-System ermöglicht die einfache und wirtschaftliche Ausführung von verschiedensten Tragwerken des Holzbaus. Die einfache Bemessung, die möglichen Baustoffeinsparungen und die Schlichtheit der Verbindungen sind bedeutende Vorteile des Systems für Architekten und Ingenieure.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Perret & Richardet. SA, R.-F. Oguey, "Essais de résistance et de déformations de poutres en bois", 1985.
- [2] Blass, Görlacher, Steck "Holzbauwerke nach EUROCODE 5, STEP 1", 1995.
- [3] Oguey R., Cours postgrade de génie civil, IBOIS, EPFL, 1995.