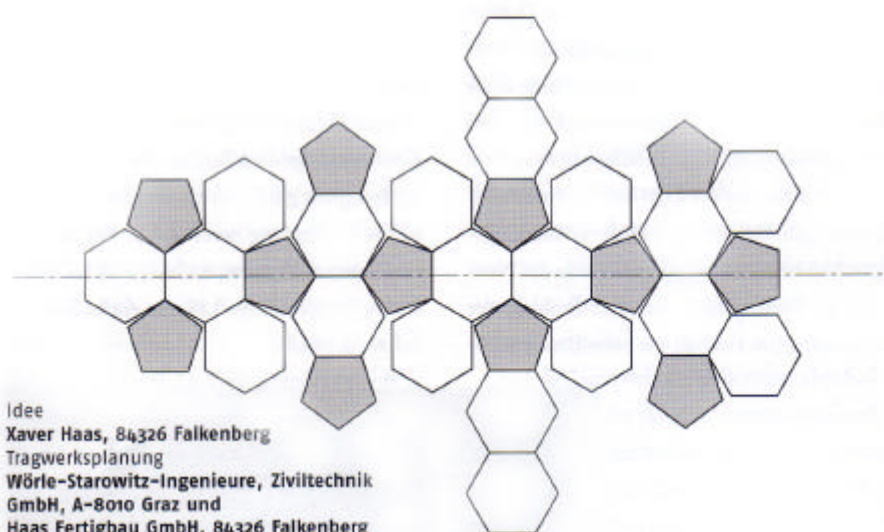


Ein bisschen Spaß muss sein

... mag Xaver Haas gedacht haben, als ihm die Idee kam, zu dem Frühlingsfest seines Unternehmens einen Fußball mit 26 m Durchmesser aufzurichten, passend zur Fußball-WM in Deutschland, als weltmeisterliche Werbeskulptur für den Holzbau.



Bild 1 Der Fußball, Durchmesser 25 m, wurde als „Aufmacher“ für das Haas-Frühlingsfest und längerwährend als Werbung für den konstruktiven Holzbau gebaut. Mit dem wahrscheinlich größten Holz-Fußball der Welt wäre zumindest diesbezüglich die Meisterschaft schon errungen. Der Eintrag in das Guinness Book of Records ist beantragt.



Idee
Xaver Haas, 84326 Falkenberg
Tragwerksplanung
Wörle-Starowitz-Ingenieure, Ziviltechnik
GmbH, A-8010 Graz und
Haas Fertigbau GmbH, 84326 Falkenberg
Verbindungssystem
TiComTec Holz-Verbund-Systeme,
63808 Haibach
Ausführung
Haas Fertigbau GmbH

Fotos
Haas Fertigbau GmbH
Zeichnungen
Red.; Haas Fertigbau GmbH

Bild 2 „Schnittmuster“ für einen Fußball. Gewiss hilft CAD bei der Konstruktion, aber dem CAD muss zuerst einmal das Prinzip „Fußball“ „beigebracht“ werden.

Die Hülle „alter“ Lederfußbälle ist aus regelmäßigen 5- und 6-eckigen Lederstücken mit gleichen Kantenlängen zusammengesetzt. Dieses Modell – mit geraden Holzstäben gut zu realisieren – wurde dem aktuellen Modell aus kurvigen Lederzuschnitten vorgezogen. (Mit zweiachsig gekrümmten BS-Hölzern wäre das wohl auch gegangen, aber so einfach nicht). Damit auch ein Holzbau-Spaß daraus wird, wurde eine neuartige, noch in der Entwicklung befindliche Verbindungstechnik ausprobiert.

Zur Geometrie

So einfach das scheint mit dem Lederfußball (er ist rund, wie schon Sepp Herberger naturgesetzlich feststellte), so ist es mit Holzstäben schon ein wenig Geometrie-lastiger. Das Bild 2 zeigt die Grundzüge. Am besten nimmt man einen Fußball zur Hand, dann fällt es leichter. Legt man einen Äquator über den Ball, so stellt man eine Reihung fest.

Mit der überall gleichen Kantenlänge a errechnet sich der Umfang unter Vernachlässigung des Bogenmaßes zu:

$$U \cong 2 \cdot a + 2 \cdot 2 \cdot a \cdot \cos 30^\circ + 2 \cdot a \cdot \cos 18^\circ + 2 \cdot a \cdot \cos 54^\circ =$$

$$U \cong 2 \cdot a \cdot (1 + 4 \cdot \cos 30^\circ + 2 \cdot \cos 18^\circ + 2 \cdot \cos 54^\circ) = 15,08 a$$

Bei einem Durchmesser $D = 25,80$ m wird $15,08 a \cong 25,80 \text{ m} \cdot \pi$

$$a \cong \frac{25 \text{ m} \cdot \pi}{15,08} = 5,375 \text{ m allgemein: } a = 0,208 \cdot D$$

$$\text{und } r = \frac{a}{0,417}$$

Die weitere Austragung ist eine Wochenendaufgabe für Schifftknobler.

Die Netzstruktur der Fußball-Nähte ist statisch nur eine gute Wahl, wenn alle Stäbe (Nähte) gleichmäßig „auf Zug“ beansprucht werden, wie es z. B. bei einer „Gaskugel“ oder

Kraft-Verschiebungs-Diagramm

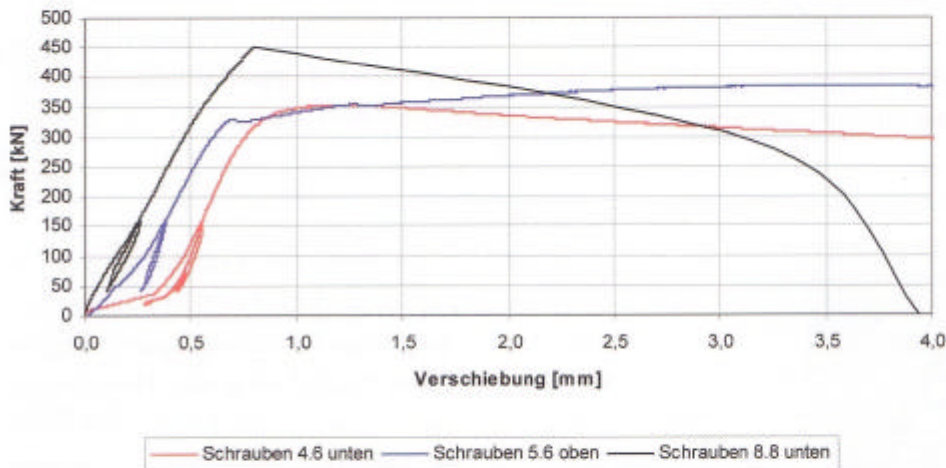


Bild 3 Kraft-Verschiebungs-Diagramm: Die Schrauben 5,6 zeigen das duktilste Verhalten, allerdings wird die Bruchlast im Holz nicht erreicht. Aus der Linie für die Schrauben 8,8 lässt sich der Verschiebungsmodul $K_{90} = C \approx 300 \text{ kN}/0,45 \text{ mm} \approx 660 \text{ kN/mm}$ oder 660.000 N/mm abschätzen. Eine solche Steifigkeit können mechanische Holzverbindungen nicht erreichen.

eben dem unter Gasdruck stehenden Fußball der Fall ist. Das System ist verschieblich unter ungleichmäßiger Last. Beim Fußball ist das sehr wichtig, denn dadurch wird er leicht verformbar. Die Spieler können ihn tüchtig treten, ohne sich die Zehen zu brechen, und der traktierte Ball entfaltet im Bestreben sein niedrigstes Energieniveau einzunehmen seine (Gas)-Feder-Reaktionskraft, ein sehr dynamischer Vorgang.

Bauwerke sollen sich nun sehr wenig dynamisch verhalten und schon gar nicht kinematische Ketten bis zum vollständigen Einsturz bilden. Versuchen Sie mit Mikado-Stäbchen und Kaugummi als Knoten einen Modell-Stab-Fußball zu bauen: Er wird zusammenklappen.

Also, was ist stabil: Das Dreieck. Mittels nur wenig ins Auge fallenden Stahldiagonalen wurde aus der Fußballnetzstruktur ein so-

lides, stabiles Tragwerk, vollständig aus Dreiecken zusammengesetzt, das sich einseitigen Beanspruchungen (den „Tritten“, hier dem Wind) starrsinnig widersetzt. Ein statisch bestimmtes Raumfachwerk, wäre es, wenn es auf nur drei Punkten gelagert wäre. Es steht allerdings auf 20 Punkten, weil der Ball sonst wohl allzu leicht vom Wind weg gerollt würde.

Verbindungskonzept

Beim Fußball entwickelt sich das Zusammenspiel zwar nach eingeübten Mustern aber der Zufall spielt dennoch eine erhebliche Rolle bei der Vollendung von Ideen und Anstrengungen zum Tor. Eher zufällig begab es sich, dass der Auslober des 25 m hohen „Superballs“ einem „coming star“ im Holz-Verbindungsgeschäft begegnete. Spontan wurde der Neuling ins Team genommen. Das Problem der Zulassung (im Fußball wie beim Bauen wich-

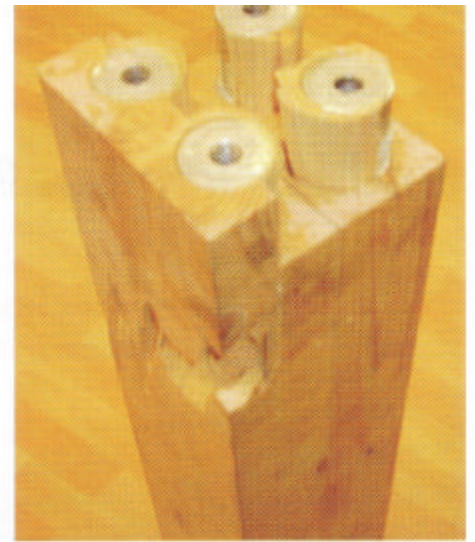


Bild 5 Bruchbild einer Zugprobe mit BS-Holz $16 \times 16 \text{ cm}^2$, im wesentlichen Blockscheren als Versagensmerkmal.

tig) gab es hier nicht, weil es sich um ein „fliegendes Bauwerk“ handelt. Sicherheitsregeln sind gewiss einzuhalten, aber dazu braucht man normalen Sachverstand, Überwachung im Einzelfall, aber keinen Bundesinnenminister bzw. kein DIBt, wenn das Vorhaben räumlich und zeitlich kontrolliert überschaubar ist.

Der neue Spezialist für Wirkung mit geringem Aufwand brachte mit seiner Idee in $8 \times 8 \text{ cm}^2$ Holz mit einer Bohrung und wenigen Gramm Kleber rund 80 kN Zugkraft „unter“. Vorversuche gab es sowie gut zutreffende Berechnungsansätze. Die Technologie ist schnell beschrieben: Von der Hirnholzseite wird parallel zur Holzfaser ein ringförmiges Loch gebohrt. In dieses wird Kleber eingebracht und ein Stahlrohr eingeklebt, in das an dem äußeren Ende eine Gewindemuffe eingeschweißt ist (Bild 4). Der Anschluss an den Knoten erfolgt über Bolzen. Da die Klebefestigkeit größer ist als die Holzfestigkeit, ist die Verbindung berechenbar. Bei der hier eingesetzten Variante, Stahlrohr $\varnothing 50 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, Einklebelänge 125 mm ergibt sich mit $\tau = 0,09 \text{ kN/cm}^2$:

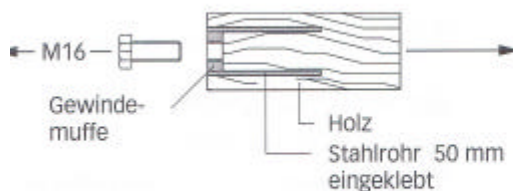


Bild 4 Prinzipzeichnung HSK-Verbindung

Bild 6 Knoten im Detail, reine Bolzenanschlüsse, hier ein „geteilter“ Knotenpunkt.





Bild 7 Hebauf in Winterskälte mit drei Mann.

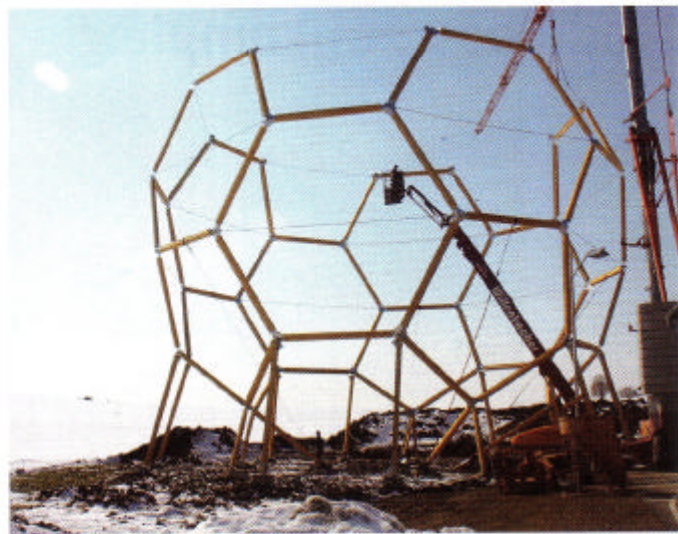


Bild 8 Die Montage-Zugseile waren so nur auf Grund der Biegesteifigkeit der Knotenanschlüsse möglich (keine Dreiecke!).

zul $N_{innen} =$

$$4,0 \cdot \pi \cdot 10,0 \cdot 0,09 = 11,3 \text{ kN} \approx \frac{4,0^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0,85 = 10,7 \text{ kN}$$

zul $N_{ausen} =$

$$5,0 \cdot \pi \cdot 12,5 \cdot 0,09 = 17,7 \text{ kN}$$

Insgesamt ist ein Querschnitt von $6,5 \times 6,5 \text{ cm}^2$, BS 11, „auf Zug“ vollständig ausgenutzt, die Fehlfläche beträgt nur 7 cm^2 oder 17 %. Optimierungen lassen Ausnutzungsgrade von 90 % erwarten.

In einem Vorversuch mit vier so genannten HSK-Verbindern (Bild 5) wurden 325 kN, also 81,3 kN je Verbinder, Bruchlast festgestellt. Bei dem für Holz „nach alt“ üblichen Sicherheitsbeiwert von 2,5 beschreibt dies zul $N = 81,3 / 2,5 = 32,5 \text{ kN}$ was ziemlich gut $10,7 + 17,7 = 28,4 \text{ kN}$ aus der Berechnung entspricht. Dies entspricht auch ziemlich genau zul N eines Bolzens M 16 Festigkeitsklasse 4,6. Je „Fußball-Stab-Anschluss“, nur durch Normalkraft beansprucht, reichten vier HSK-Verbindern „locker“. Das „Design“ der Raumknoten ergab sich als einfacher „Kopfplatten-Anschluss“ an ein stählernes Knotenteil. Dieses wurde aus ebenen Blechen konstruiert und zwecks wirtschaftlicher Montage entsprechend der Montagefolge für die Montage-Stöße von zwei- oder dreistäbig vormontierten Stabzügen zweiteilig modifiziert (Bild 6) um „in der Luft“

Stahl an Stahl verbinden zu können. Praktisch stellte sich heraus, dass es einfacher war Holz an Blech anzuschließen.

Montage

Für die Montagezustände waren die Anschlüsse ausreichend biegesteif, so dass die vormontierten Stabzüge wie Rahmenteile gehandhabt werden konnten. Etwas schwieriger war die Stabilisierung der Struktur in den Montagezuständen bis zum Einbau der Dreiecke bildenden Stahlauskreuzungen. Wie vorne erwähnt: Ein Fußball ist naturgemäß hoch kinematisch. Hilfreich war die recht hohe Biegesteifigkeit der Stabanschlüsse, so dass nur mit einem Hubsteiger montiert werden konnte, allerdings bei Windstille. „In der Luft“ waren je Anschluss nur vier Bolzen einzudrehen, was die Montage erleichterte und vor allem die schnelle, zerstörungsfreie Demontage erlaubt.

In Bild 7 sind neben den horizontalen Seilverbindungen die Abspannungen mit Greifzügen zum Boden zu beachten. Zum Einbau der Stäbe über dem Zustand in Bild 8 wurden zusätzlich Spieße eingesetzt.

Idee verwirklicht, neue Erfahrungen gewonnen

Die Umsetzung der Idee stellt neben der Werbung für das Unternehmen auch Werbung für den Holzbau insgesamt dar. Die Ausei-

nersetzung der Techniker mit der Aufgabe „Fußball“ war nicht nur eine Abwechslung sondern auch eine Herausforderung. Das „Ausprobieren“ des neuartigen Verbindungssystems brachte einen Vorsprung. Zu guter Letzt sei nochmals vermerkt: Das Konstruktionsprinzip des Fußballs ist für „kugelige“ oder „halbkugelige“ Baustrukturen zunächst denkbar ungeeignet. Wenn man die Flächen zwischen den Stäben als Scheiben ausbildet, ergibt sich allerdings mit nur zwei Stabgeometrien eine stabile, runde Kugel. Hier war es eben den Spaß an der Freude wert. Und wenn es als Weltrekord anerkannt wird, um so besser.

KF

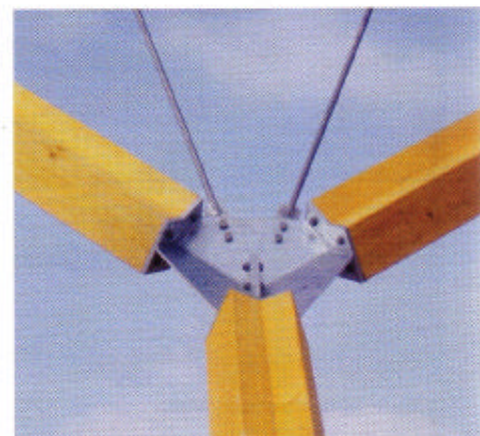


Bild 9 Fertig: Schön detailliert die Stäbe mit Grat und Kehle.