

Projekte aus IL 31

Einleitung



Das [Institut für leichte Flächentragwerke](#) in Stuttgart, ehemals geleitet von Frei Otto, veröffentlicht seit Jahren seine Forschungsarbeiten in einer Buchreihe. 1985 kam die IL 31 - Bambus heraus. In diesem Buch werden nicht nur Forschungen des IL beschrieben, sondern auch Forschungen anderer Hochschulen und realisierte Projekte aus aller Welt. An dieser Stelle soll eine Auswahl vorgestellt werden.

Moderne Konstruktionen aus gespaltenem Bambus



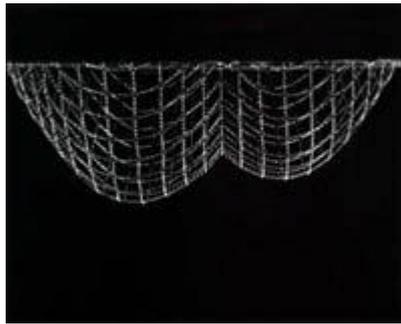
zugbeanspruchte Konstruktion

Die hier vorgestellten Versuchsbauten sind eine Zusammenarbeit des Instituts für leichte Flächentragwerke aus Stuttgart und der School of Architecture (SA) in Ahmedabad, Indien. Begonnen wurde die Zusammenarbeit, die von dem internationalen Büro der KFA Jülich gefördert wird, 1981.

Das Ziel der Forschungsarbeit liegt, darin neue konstruktive Anwendungen durch die Verbindung von handwerklicher Bambus-Tradition mit moderner Leichtbauweise zu finden. Der Bambus wird dabei sowohl als druck- als auch als zugbeanspruchtes Material eingesetzt. Bis 1985 lag der Schwerpunkt jedoch auf druck- biegebeanspruchten Konstruktionen. Vor allem auf Gitterschalen aus gespaltenem Bambus. Für zugbeanspruchte Konstruktionen gab es bis dahin nur Vorversuche.

Der Inhalt der Untersuchungen waren vorwiegend Versuchsbauten und Modelle, die in Zusammenarbeit mit Studenten in Lehrveranstaltungen untersucht wurden. Die Errichtung der Schalen erforderte die Fachkenntnis lokaler Arbeiter aus Indien, daher wurden nur dort die Versuche unternommen.

Zu Gitterschalen



Hängemodell



quadratische Maschen am Boden



Gitter wird in Form gebracht

Gitterschalen sind eine am IL entwickelte Konstruktion, bei der dünne Stäbe ein räumliches Tragwerk bilden. Das zu Grunde liegende Prinzip ist die Umkehrung der Kettenlinie zur Stützenlinie eines Bogens. Das bedeutet die Formen werden nicht entworfen, sondern in Hängemodellen gefunden. Dabei ist eine fast unbegrenzte Anzahl von Formen möglich.

Ein großer Vorteil solcher Konstruktionen ist der einfache Bauprozess: Die Gitterstäbe werden am Boden zu einem ebenen Gitter mit quadratischen Maschen verbunden. Dann wird das Gitter in Form gebracht, dabei verbiegen sich die Stäbe und die Maschenwinkel verdrehen sich. Die Tragfähigkeit wird durch die Fixierung der Form gewährleistet. Zu Beispiel durch eine Diagonalaussteifung, die die Verformung der Maschenwinkel verhindert. An den Rändern wird die Konstruktion durch druck-, biege- oder nur zugbeanspruchte Randelemente gefasst. Die Ausbildung der Ränder ist entscheidend für das Tragverhalten der Gitterschalen.

Ziele der Untersuchung

- Feststellen der Auswirkungen von materialbedingten Unregelmäßigkeiten auf die Form und das Tragverhalten der Gitterschalen.
- Entwicklung und Erprobung materialgerechter Details (Knoten, Längsstoß, Randausbildung, Befestigung des Gitters am Rand, Formfixierung, etc.)
- Optimierung der Montage und der Formeinstellung (besonders wichtig bei größeren Spannweiten)
- Feststellen der Tragfähigkeit der Gitterschalen und Erforschung sinnvoller Spannweiten
- Entwicklung von Dacheindeckung und Innenausbau

Bei der Arbeit in Ahmedabad wurde nur gespaltenen Bambus verwendet, da damals kein Vollprofilbambus verfügbar war, den man ausreichen verformen konnte. Die genaue Art des Bambus war dem Forschungsteam nicht bekannt. Gekauft wurde er auf dem örtlichen Holzmarkt. Er hatte einen Durchmesser von 60mm und eine Wanddicke von 15-20mm an der unteren Seite bzw. 50mm Durchmesser und 68mm Wanddicke an der oberen Seite. Es gab damals drei Versuche, davon waren zwei Versuchsbauten im Maßstab 1:1 und es gab ein Modell im Maßstab 1:5.



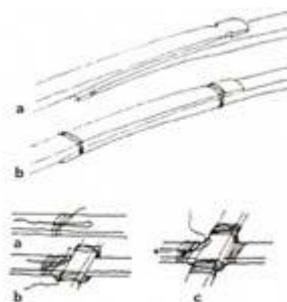
gespaltenen Bambus

Versuch1



Versuchsaufbau 1

Der erste Versuch im Maßstab 1:1 hatte die Form einer Doppelkuppel mit einer Gesamtlänge von 7,5m. Die Spannweite betrug 4,5m bzw. 4m. Die Gitterstäbe bestanden aus einem Achtel eines Vollprofils. Die Maschenweite betrug 47cm und die Kosten beliefen sich auf 80,-DM. Bei diesem Versuch wurde der Längsstoß und die gebundene Knotenverbindung entwickelt. Die Fixierung der Form wurde lediglich durch Kokosfaserseile in einigen Gittermaschen erreicht. Die größere der beiden Kuppeln wurde auf Belastung überprüft. Bei einer Flächenlast von 122 N/m² traten nur geringe Verformungen auf.



Längsstoß und Knoten



Kokosfaserseile fixieren die Form



Belastungstest

Versuch2

Im November 1981 wurde der erste Versuchsbau umgebaut. Die größere Gitterschale wurde abmontiert (bei ihr waren die Juteschnurknoten inzwischen verwittert). Mit den Stäben der größeren Schale errichtete man ein sekundäres Gitter für die kleinere Schale. Dieses sekundäre Gitter wurde diagonal zu dem vorhandenen primären Gitter montiert. Die Tragfähigkeit der Schale erhöhte sich dabei um das dreifache. Die Schale wurde auch durch Punktlasten (zwei Personen) belastet und hielt stand. 1984 wurden an der Schale verschiedene Dacheindeckungen erprobt. 1985 war der Bambus verwittert und die Schale damit zerstört.



Versuchsaufbau2

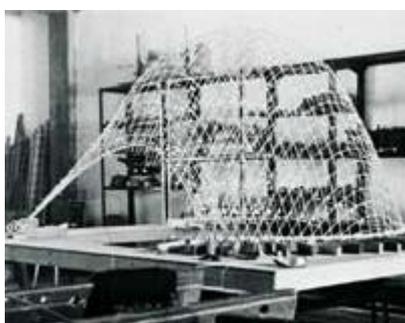


Belastungsversuch



Belastung durch Menschl

Versuch3



Versuchsaufbau3



Belastungsversuch

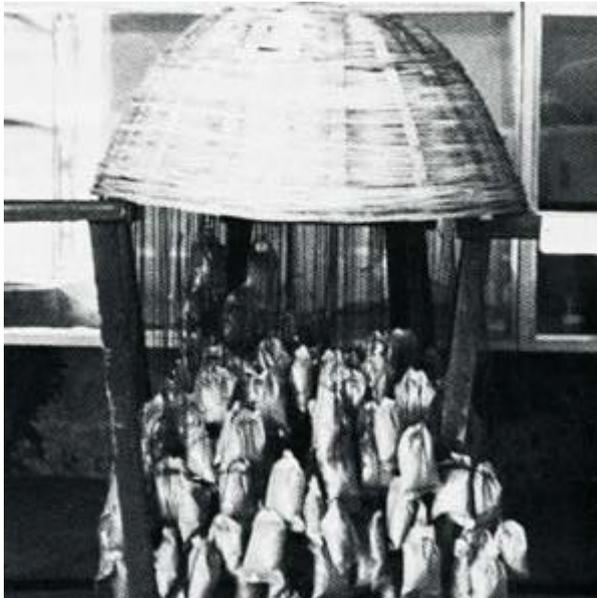
Der dritte Versuch im Februar 1984 war ein form- und materialgerechtes Modell einer Gitterschale mit 9m Spannweite im Maßstab 1:5. Der Versuch brachte Ergebnisse zu möglichen Spannweiten und zu dem Verhalten bei Montage und zur Formeinstellung. Die Gitterschale hatte ein Eigengewicht von 7kg/m^2 Grundfläche, die Maschenweite betrug 36cm und auch hier bestanden die Stäbe aus einem Achtel eines Bambusvollprofils. Außerdem gab es ein sekundäres, diagonal versetztes Gitter. Die Ergebnisse der Belastungsversuche ergaben eine aufnehmbare Flächenlast von $250\text{-}330\text{ N/m}^2$ und einen aufnehmbaren Windlastdruck von 500 N/m^2 .

Schlußfolgerung

- Gespaltener Bambus ist gut geeignet für Gitterschalen.
- Es gibt keine wesentliche Probleme durch materialbedingte Unregelmäßigkeiten.
- Die Formtoleranzen können durch die entsprechende Auswahl und die entsprechende Anordnung der Stäbe im Gitter kompensiert werden.
- Die aus dem traditionellen Bambushandwerk entwickelten konstruktiven Verbindungen haben sich bewährt.
- Die harmonische Krümmung wird im Gegensatz zu Bohrungen durch Knoten nicht gestört. Das entgeltige Bindematerial ist noch nicht geklärt.
- Bei größeren Gittern ist die Vorbereitung des Gitters für die Montage sehr wichtig.
- Die maximalen Spannweiten bei Verwendung von gespaltenem Bambus und einem diagonalen

Sekundärgitters liegen bei ca. 10m. Abhängig ist das natürlich von der Bambusart; größere Spannweiten sind bei Vollprofilen zu erwarten.

Korbschale aus gespaltenem Bambus



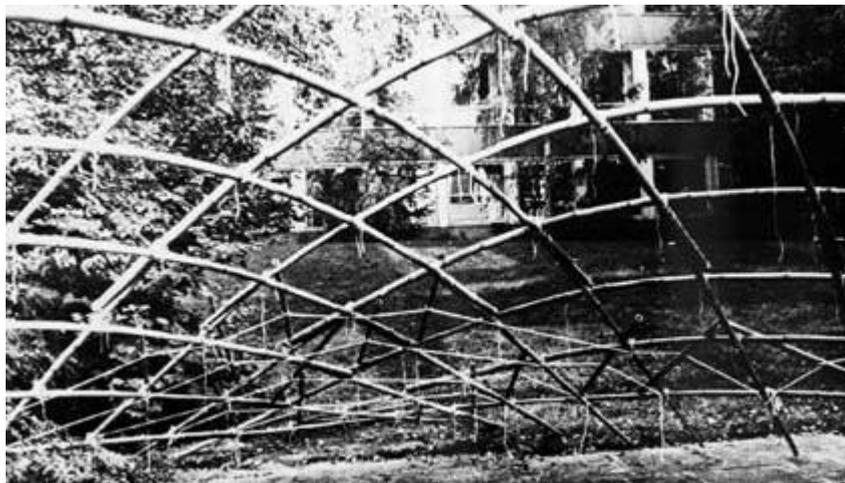
Korbschale beim Belastungstest

Das Institut für leichte Flächentragwerke untersuchte auch das Tragverhalten von Kuppeln, hergestellt in traditioneller Korbflechttechnik. Dazu wurde eine kleine Kuppel nach Angaben des Instituts von einem indischen Handwerker in der üblichen radialen Flechttechnik hergestellt.

Die Form entsprach im Wesentlichen einer Hängeform und hatte einen Durchmesser von 56cm, eine Höhe von 25cm und ein Gewicht von 865p. Bei einem Belastungstest mit einer Gleichlast von 1000 N/m² Grundfläche bzw. 630 N/m² Oberfläche gab es keine messbaren Verformungen in der Fläche. Der freie Rand des Korbes senkte sich nach mehreren Tagen Belastung um 2cm. Bei einer Vergrößerung um den Faktor 7 entsprächen die Bambusstreifen dem Durchmesser eines Bambusrohres mit einem Durchmesser von 4cm. Das Eigengewicht betrüge 296kp (25,5kp / m² Grundfläche). Die Kuppel wäre praktisch gleich belastbar mit 1000 N/m² Grundfläche.

Das eine Übertragbarkeit möglich ist zeigen Beispiele solcher Bautechniken in Afrika. Weitere Untersuchungen waren angestrebt.

Detailuntersuchungen an einer Bambusgitterschale



Bambusgitterschale

Auch an der [Fachhochschule Aachen](#) wurde mit Bambus geforscht. Die hier vorgestellte Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit Studenten und hatte das Ziel für Entwicklungsländer erdbebenwiderstandsfähige, billige Konstruktionen aus örtlichen Materialien zu entwickeln, die in Selbsthilfe errichtet werden können. Die zu verwendenden Werkzeuge sollten möglichst einfach und die Verbindungsmittel jederzeit verfügbar sein.

Die für diesen Zweck entwickelte Bambusgitterschale war im Grundriß quadratisch und 6x6m groß. Der Rand bestand aus einem Stabbündel mit der Funktion eines Ringbalkens. Aufgelagert auf eine darunter liegende Wandkonstruktion, sorgt er für die gleichmäßige Verteilung der Lasten und hält die Schale zusammen.



Gummiknoten



zementgetränkte Bondage



Splintknoten

Der Knotenabstand betrug 50cm. Es wurden zwei verschiedene Knoten erforscht.

Der erste war ein "Gummiknoten", bei dem die Bambusstäbe mit einer Zwischenlage aus Gummi straff aufeinander gebunden waren. Der Knoten leistete einen Widerstand von 0,6 kN gegen Verschieben. Bei weiterer Belastung verschiebt sich der Querstab bis zum nächsten Nodium. Bei einer Belastung von 2,5 kN versagte ein Stab infolge von überschrittenen Querdrukspannungen.

Bei dem zweiten Knoten dem "Splintknoten" erfolgte die Verbindung der Stäbe durch einen Bambussplint. Bei dem ersten Versuch ging dieser Splint nur durch eine, beim zweiten Versuch durch beide Stabwände. Beim Versuch 1 betrug der Verschiebungswiderstand 0,5 kN. Dann wurde die Lochlaibungsspannung überschritten und der Splint kippte in die Bohrung. Beim zweiten Versuch betrug der Verschiebungswiderstand 2,5 kN. Das Versagen trat bei der Überschreitung der Querdrukspannungen an der Lasteinleitungsstelle im Stab ein.

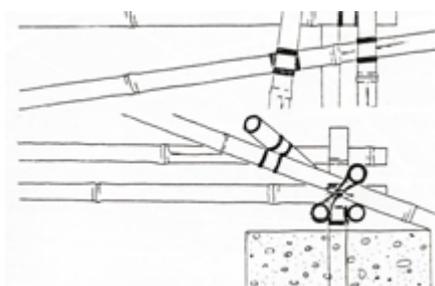
Dieser zweite Splintknoten wurde schließlich bei dem Versuchsbau verwendet.



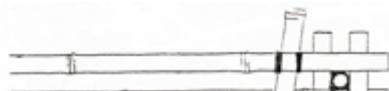
Längsstoß

Die Länge der verwendeten Stäbe betrug 4,20m und hatten einen Durchmesser von 28 - 33mm. Längere und dadurch auch dickere Stäbe waren nicht mehr ausreichend biegsam.

Die notwendige Bogenlänge von 7,20m wurde durch einen Längsstoß erreicht. Die Stöße werden nach der Aufstellung hauptsächlich auf Biegung beansprucht, daher wurden [Biegeversuche](#) mit unterschiedlich langen Stößen durchgeführt.



Auch bei dem Ringbalken wurden die Stabbündel gestoßen. Die Belastung war vorwiegend auf Zug. Die Stöße wurden einmal mit einem einfachen Splint und einmal mit doppeltem Splint geprüft. Der einfache hatte eine Reißkraft von 6 kN der doppelte Splint eine Reißkraft von 17 kN. Das Versagen trat beide Male durch Spalten der Bambusstäbe ein.

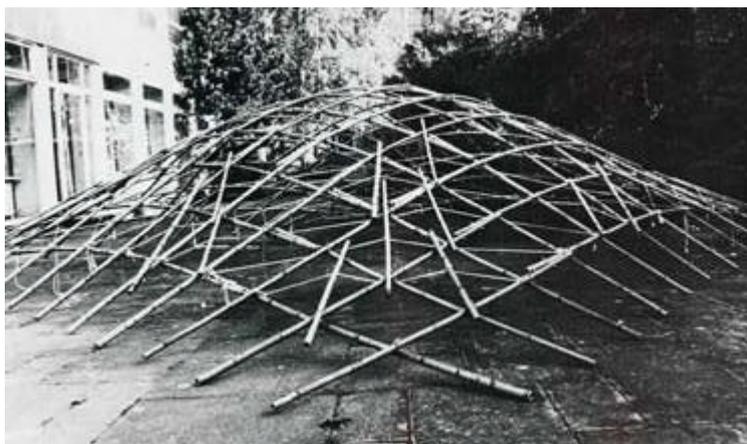


Ringbalken

Damit die Gitterschale in der Form gehalten wird, muß eine Veränderung der Winkel verhindert werden. An der Fachhochschule Aachen entschied man sich für die Fixierung der Eckmaschen mit der größten rhombischen Verformung durch Zugdiagonalen.

Fazit:

Die Gitterschale ist eine billige und relativ erdbebensichere Alternative zu traditionellen Dachkonstruktionen in Entwicklungsländern und im Selbstbau gut herstellbar.



Fixierung der Gitterschale

Konstruieren mit Bambus in Südamerika

An der Universität in Bogota, Kolumbien gibt es das Bambusforschungszentrum CIBAM, dessen Ziel die konsequente Anwendung des südamerikanischen *guadua angustifolia* für das Bauen ist. Diese Bambusart besitzt eine hohe Querkzugfestigkeit, was die Gefahr des Spaltens geringer macht.

Das Forschungszentrum führte diverse Projekte durch, von denen einige in der IL 31 kurz vorgestellt werden.

Das CIBAM selbst hat ein Handbuch der Bambuskonstruktion herausgegeben. Einige Seiten davon kann man [hier](#) herunterladen.

Das CIBAM hat einige prinzipielle, auf den *guadua* abgestimmte [Detailanschlüsse](#) für die Verbindung von Stützen, Balken und Streben entwickelt. Sie zeigen Ähnlichkeiten mit Holzbauverbindungen aus Europa und aus Nordamerika.

Nachfolgend einige weitere Aufzeichnungen des Forschungszentrums:

Eine [Rahmenkonstruktion](#) mit Kopfbändern und die Anordnung von eventuell notwendigen Verstärkungen bei größerer Spannweite und größeren Lasten.

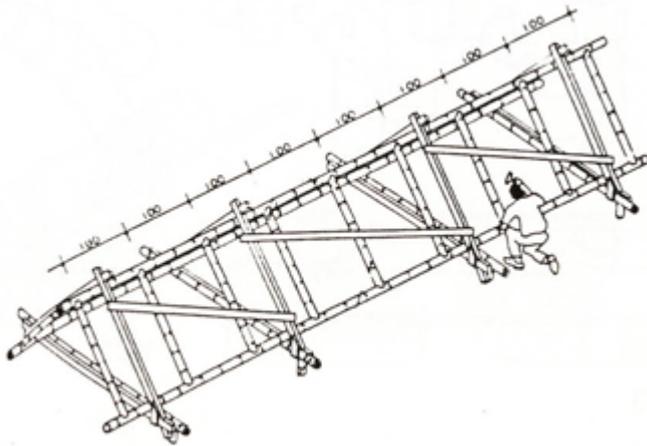
Zweckmäßige [Anschlüsse](#) von Diagonalen und Pfosten in einem Fachwerkträger.

Schirmähnliche [Kegeldachkonstruktion](#) mit Hängesäule.

Herstellung von [Wasserleitungen](#) aus Bambus mit durchbohrten Diaphragmen.

Komplizierte [Brückenkonstruktion](#) nach dem Prinzip einer Schere.

Dreigurt-Fachwerkträger

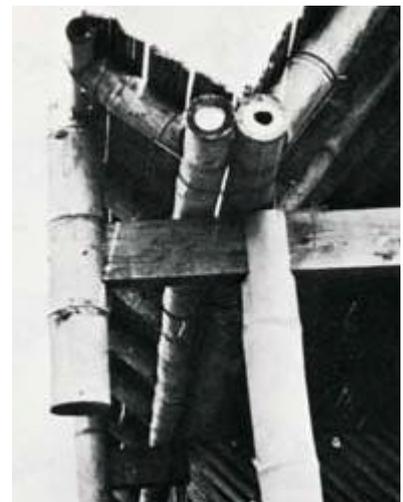


Fachwerkträger

Der Dreigurt Fachwerkbinder aus Bambus ist eine Entwicklung des CIBAM zur Fertigstellung von Wohnungen und anderen Bauten in Selbsthilfe für die ländlichen Gemeinden in Kolumbien. Der Prototyp ist 2m breit und 8m lang. Getestet wurde er an der wissenschaftlichen Fakultät in Palmira, Kolumbien. Die Montage geschieht am Boden, danach wird der Binder entweder von 45 Personen oder einem kleinen Kran in Position gebracht. Der Binder ist fast ohne Kosten von nicht speziell qualifizierten Arbeitern herstellbar und besitzt eine gewisse Erdbebenwiderstandsfähigkeit. Es sind unterschiedliche Dachdeckungen denkbar (Wellblech, Bambus, Betoneindeckung oder auch eine Eindeckung aus verdichteter Erde).

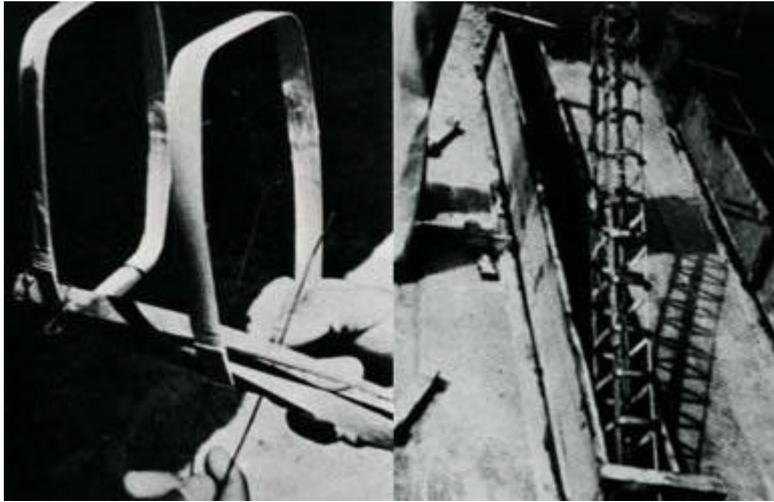


Fachwerkträger



Trat

Mit Bambus bewehrter Beton



Bambusbewehrung

Zum ersten Mal wurde 1914 am Massachusetts Institute of Technology Bambus als Bewehrung eingesetzt. Eine Forschung in dieser Richtung wurde in vielen Hochschulen Asiens, Europas und Nordamerikas weiterverfolgt. Das grundsätzliche Problem war immer die Haftung des Betons mit dem Bambus.

Das CIBAM verwendet Taue mit dünnem Querschnitt aus verdrehten Streifen der äußeren Zone des Bambusrohres. Diese Zone ist besonders zugfest.

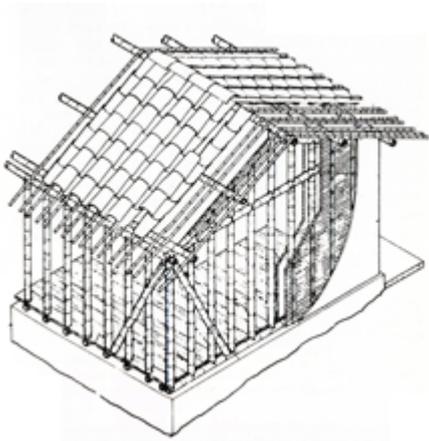
Zahlreiche Belastungsversuche zeigten sehr gute mechanische Eigenschaften des Bambusbetons.

Die Verarbeitung geschieht in klassischer Bügelbewehrung und auch die weitere Behandlung erfolgt wie im Stahlbetonbau.

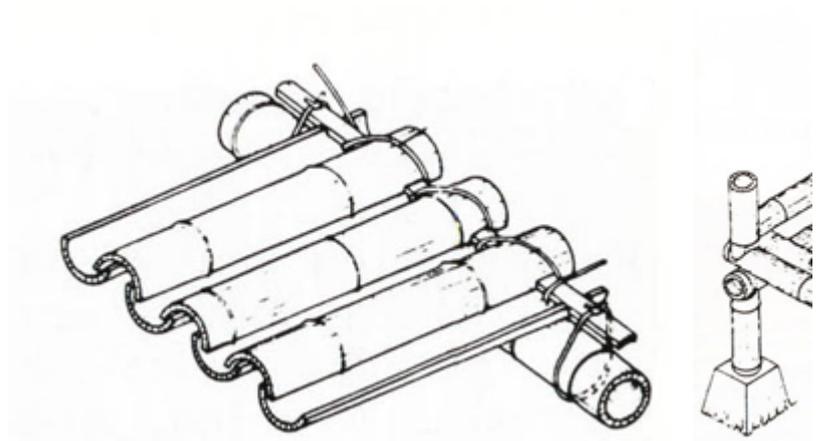
Bambushaus



Bambushäuser



Bambushaus



Dachkonstruktion

Eine Siedlung aus Bambus in Manizales

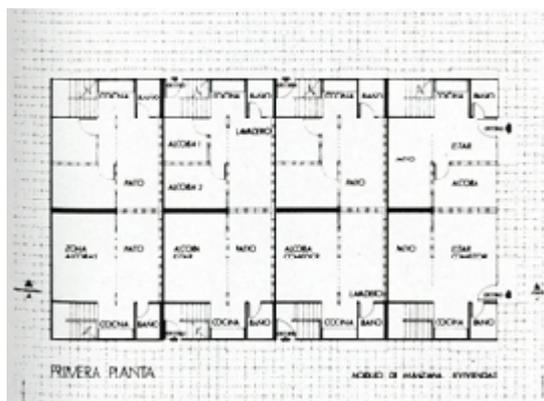


Bambussiedlung

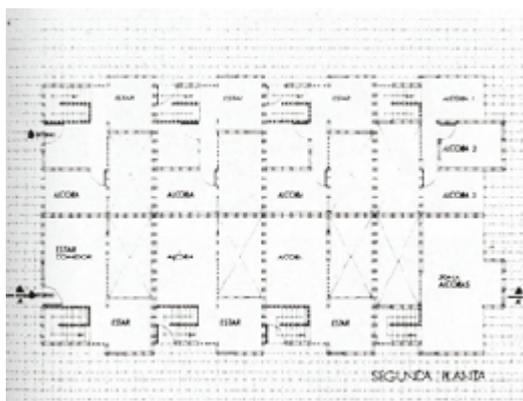
Manizales ist eine Kleinstadt westlich von Bogota, Kolumbien. Sie liegt auf 2500m Höhe in einem Kaffeeanbaugebiet.

In der Region herrscht ein Mangel an Wohnungen, dem das Instituto de Credito Territorial entgegen wirken will. Das Institut ist eine staatliche Organisation zur Entwicklung von Wohnbauprogrammen für die Behausung der sozial am meisten Benachteiligten. Die Wohnungen entstehen oft auf enteignetem Land und oft an Steilhängen.

Das Projekt Malabar



Grundriß EG



Grundriß OG



Das Projekt Malabar ist eines der Wohnbauprogramme des Instituto de Credito Territorial. Die Berücksichtigung der sozialen und kulturellen Werte, sowie der natürlichen Ressourcen spielte eine große Rolle. Der dominierende Baustoff ist Bambus. Bambus ist ein örtlicher Baustoff, er gehört zu dem Stadtbild von Manizales. Die Verarbeitung ist der Bevölkerung wohl bekannt. Außerdem ist er durch seine Verformbarkeit gut für die Erdbebenregion geeignet. Die Wohneinheiten sind haben eine Grundfläche von 6x7m. Es gibt Wohn- und Schlafzimmer, Küche und WC. Die Belüftung und Belichtung erfolgt neben den Fenstern auch durch einen Innenhof. Die Stützen stehen in einem Hauptraster von 50cm auf Betonfundamenten. Ausgesteift werden sie durch Diagonalstäbe. Die Wandverschalung erfolgt durch "Bambusbretter", die verputzt werden. Die Errichtung der gesamten Anlage erfolgt im Selbstbau, unter der Leitung des I.C.T.. Nach Abschluss der Bauarbeiten werden die einzelnen Wohneinheiten unter den Arbeitern verlost.



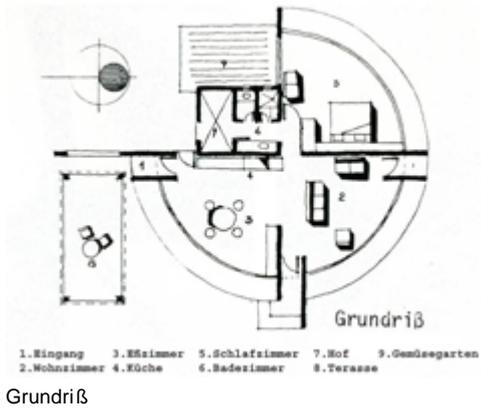
Bambusgerüst



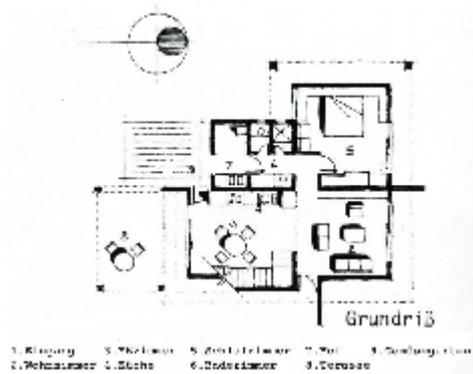
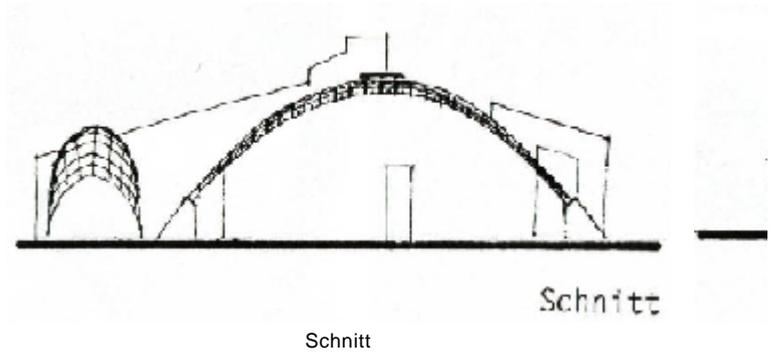
Bretterschalung



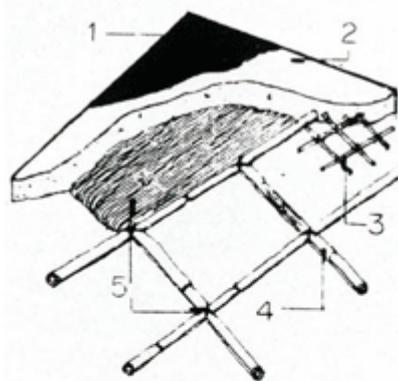
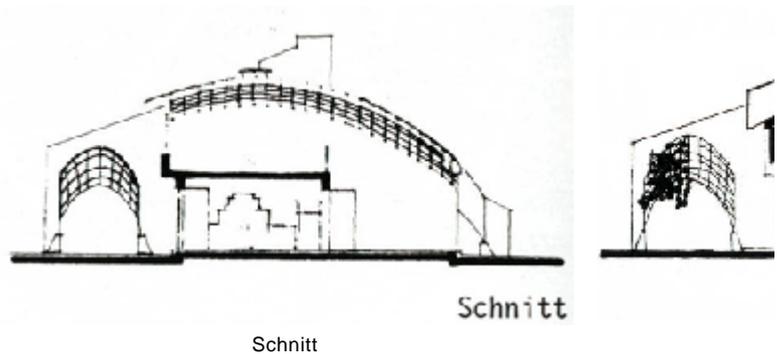
Wohnen unter Bambusschalen



Grundriß



Grundriß



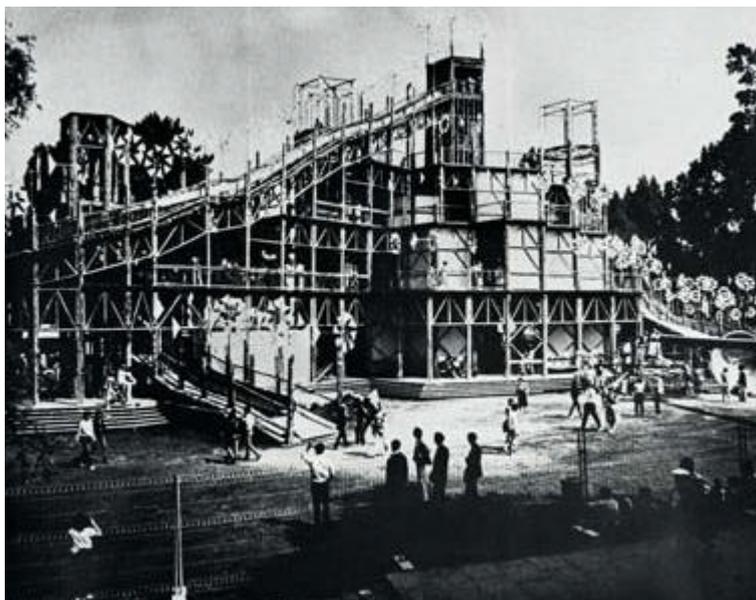
- Eindeckung:
1. Kalkschicht
 2. Erdbeton 30 mm
 3. Schilf
 4. Bambusrohr Ø 40 mm
 5. Lianengewebe

Dachaufbau

Dr. - Ing. Juan Gerardo Oliva Salinas leitete an der CAA "Koordination für angewandte Architektur" ein Projekt zur Entwicklung von Ferienhäusern in Teptoztlán, Morelos, Mexiko. Der Entwurf geschah mit Hilfe von Studenten der Fakultät für Architektur. Geplant wurden zwei Arten von Wohneinheiten für pensionierte Akademikerehepaare.

Die Dachkonstruktion besteht aus einer Translationsgitterschale aus Bambusrohren mit lianengebundenen Knoten. Zwischen den Rohren liegt ein Lianengewebe, darüber befindet sich eine Schicht aus 30mm Erdbeton mit Schilfgitterarmierung. Als Dachabdichtung fungiert ein Kalkputz mit Algavenflüssigkeit. Wichtig war das alle Baumaterialien vor Ort auffindbar waren.

Bambusturm auf der Phänomena in Zürich

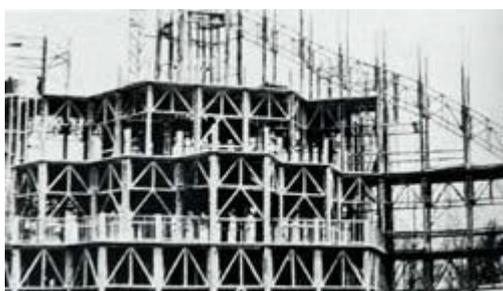


Bambusturm

1984 fand in Zürich die "Phänomene" eine Ausstellung über Phänomene und Rätsel der Umwelt statt. Der Bambusturm ist ein Entwurf von dem Zürcher Künstler Johannes Peter Staub. Er wurde mit 250 t Bambus aus China realisiert. Die Stäbe von 20-jährigen Bambuspflanzen hatten einen Durchmesser von 6-11cm. Sie wurden in China im Herbst geschlagen, dort getrocknet und nach Zürich verfrachtet. Alle Arbeiten übernahmen 40 bambuserfahrene Handwerker aus China.



Arbeiter



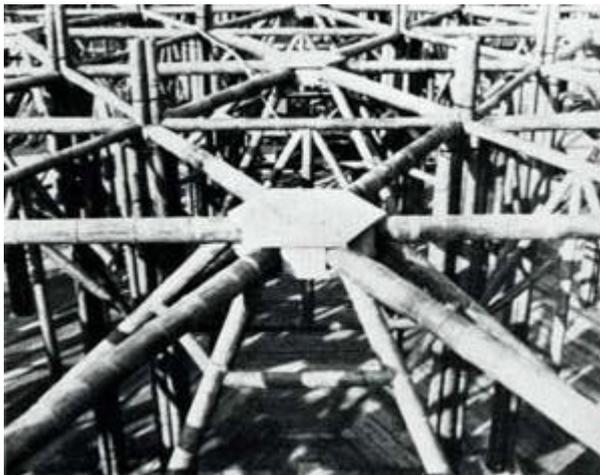
Die Konstruktion hat drei Geschosse und ist auf einer 21x21m großen Grundfläche errichtet. Herausstechend sind zwei 20m hohe Treppentürme.

Dem Entwurf liegt ein Sechseckraster mit 2,40m Kantenlänge zugrunde. Vor Ort wurden die sechseckige Elemente hergestellt und auf dem Raster errichtet. Weitere Elemente wurden jeweils aufgesteckt und verstrebt. Die maximale Spannweite der Elemente beträgt 4,80m.

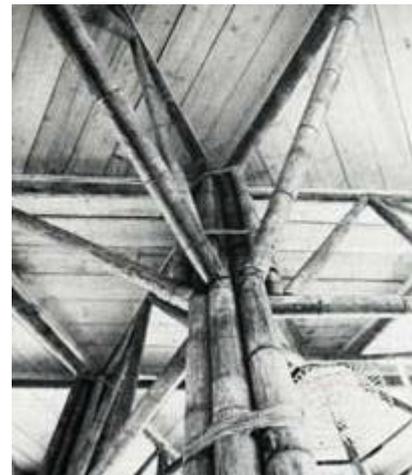


Turm während der Bauphase

Die senkrechten Elemente wurden durch Schraubbolzen über ein eingelassenes Stahlprofil in den Betonfundamenten verankert. Auch an anderen Stellen musste man auf Baustahl zurückgreifen, um die Verbindungen herzustellen. Die Diagonalstützen zur Verstärkung der Stockwerksbögen wurden verschraubt. Ein verborgenes Stahlband unter den geflochtenen Knotenpunkten dient zur Sicherung der Statik. Der Grund liegt in den hohen Belastungen des Ausstellungsgebäudes und in der geringen Erfahrung der Arbeiter mit derart hohen Konstruktionen.



Bambusgitterschale



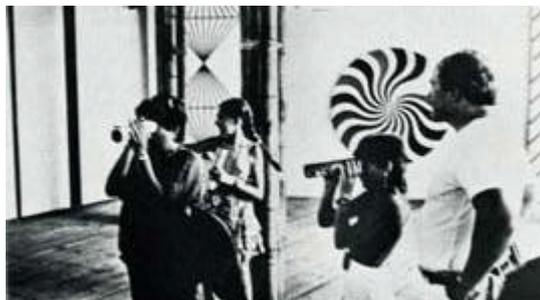
vor dem Aufbau

Vor der Errichtung in Zürich wurde ein Versuchsbau in China errichtet und auf sein Tragverhalten überprüft. Auch in China hatte man keine Erfahrungen mit über 8m hohen Konstruktionen, obwohl es dort durchaus Baunormen mit technischen Anweisungen gibt.

Besonderes Augenmerk wurde bei dem Versuchsbau auf das Schwingungsverhalten gelegt, da der Turm durch seine vielen Knoten und Verbindungen in diesem Bereich besonders anfällig war.

Der Innenausbau des Turm wurde sehr einfach gehalten. Da der Turm nur in Sommermonaten stand gab es kaum Verkleidungen der offenen Wandelemente, wenn doch dann durch einfache Tücher. Die obere Plattform wurde durch eine einfache Folie vor Regen geschützt. Der Turm war Ausstellungsobjekt und -raum in einem. Er beherbergte Kaleidoskopbetrachtungen, einen Spiegelsaal, Windräder, Savoniusrotoren und einen 1,50m Gong. Es gab außerdem 4 Rutschbahnen, ein Restaurant und die dazugehörige Küche.

Das Restaurant wurde möbliert mit Tischen und Stühlen aus den Reststücken des Bambus.



Kaleidoskopbetrachtungen



Restaurant



Literatur

Alle Projekte und Bilder sind entnommen aus:

IL 31 Bambus - Bamboo 1985
Karl Krämer Verlag Stuttgart
ISBN 3-7828-2031-2