

Projekte aus IL 31

Einleitung



Diese Internetseiten befassen sich mit der 1985 erschienenen Publikation IL 31 "Bambus" des [Instituts für leichte Flächentragwerke](#) (IL) der Universität Stuttgart.

Die Publikation hat das Bauen mit pflanzlichen Stäben mit besonderem Augenmerk auf Bambus zum Thema. In verschiedenen Kapiteln wird der Baustoff Bambus in verschiedenen Formen, gerade oder gekrümmt, gespalten oder als Vollprofil untersucht.

Stangenförmige Baustoffe besitzen verschiedenste, positiv zu bewertende Eigenschaften. Zum einen ist dies sicherlich die hohe Wirtschaftlichkeit aufgrund eines geringen Preises, zum anderen durch ihren ressourcenschonenden Schnellwuchs. Insbesondere Bambus besitzt statische Eigenschaften, die den klassischen Holzbau um einiges überlegen sind.

Dennoch ist das Ansehen von Bambus nicht sehr hoch angesiedelt. Er gilt als Baustoff der Armen. Die Publikation IL 31 möchte neben den Darstellungen der konstruktiven Möglichkeiten besonders die Akzeptanz der Menschen gegenüber diesem Baustoff erhöhen.

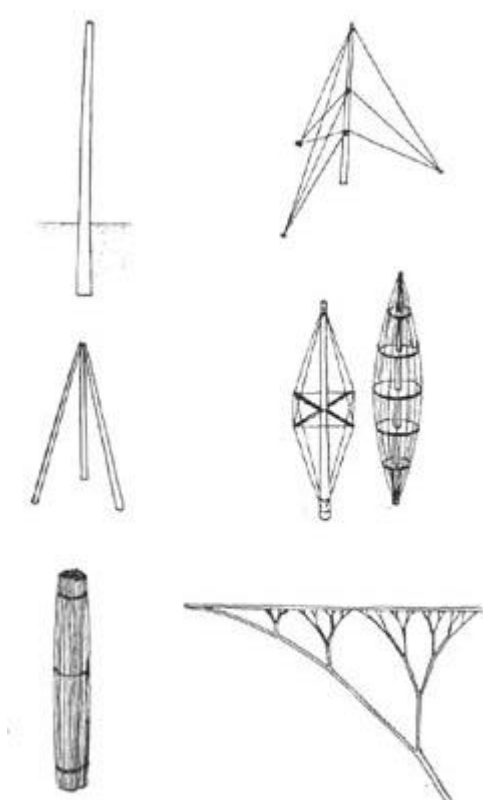
Gerade Stäbe

Einführung

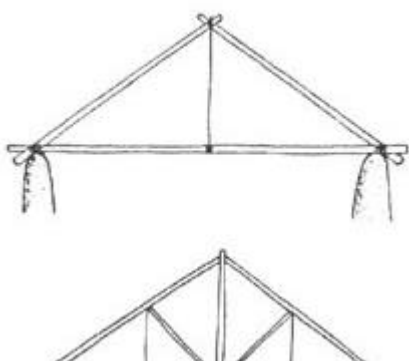
Unter der Überschrift "gerade Stäbe" wird in der Dokumentation IL 31 auf Konstruktionssysteme mit diesen und das Tragverhalten des einzelnen Stabes eingegangen. Mit Skizzen und Modellfotos werden Konstruktionen gezeigt, die besonders geeignet für das Bauen mit geraden Stäben sind und es wird die Dimensionierung mit dem BIC-Diagramm gezeigt. Neben der traditionellen Bauweise Südostasiens wird an Hand des Beispiels einer Siedlung aus Bambus in Manizales vor allem die südamerikanische Bautechnik beschrieben, die von der nordamerikanischen Plattform-Bauweise beeinflusst ist. Der Bambusturm der Phänomene in Zürich ist der Versuch die traditionelle

chinesisch Bauweise mit der europäischen zu verbinden. Der Übergang vom geraden zum gekrümmten Stab wird am Beispiel der Weiterentwicklung des traditionellen Bambusschirms zum Gestellzelt gezeigt. Vorweggenommen werden kann, dass insgesamt versucht wird, durch kurze Stablängen und die Verwendung des unteren steiferen Abschnittes des Bambus die Verformung unter Last geringzuhalten. Zudem werden kurze Spannweiten und geringe Gerauchslasten angenommen. Nur in speziellen Anwendungen werden die vollen Stablängen verwendet, wobei dann auf eine besondere Detailausbildung geachtet werden muss, da bei starken Verformungen in den Verbindungen insbesondere grosse Zugkräfte aufgenommen

Konstruktionssysteme



Verschiedene Konstruktionssysteme

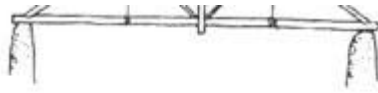


Konstruktive Systeme mit konischen Rundstäben

Der gerade Stab findet verschieden gelagert unterschiedliche Verwendungen (Eulerfälle). Unter Einspannung mit horizontalen Lastenwirkung ergibt sich die für die konischen Rundstäbe typische Biegelinie. Der gelenkig gelagerte Stab muss durch Abspannungen gesichert werden. "Dreibeine" sind standfeste Tragsysteme, die umgedreht und addiert sozusagen in eine Tischplatte eingespannt werden können.

Wegen der hohen Schlankheit von pflanzlichen Stangen ist es günstig diese zu bündeln. Dies ist besser als die bloße Addition, da ein geringe Vorspannung erzielt wird. Noch günstiger sind natürlich röhrenförmige Querschnitte und das beste Verhältnis von Tragfähigkeit zu Gewicht wird bei seilverspannten Druckstäben erzielt. Eine Reduzierung der Masse und die dem Kraftfluss entsprechenden Anordnung ist anzustreben. Die besondere Biegelinie konischer Elemente ist in konstruktiven Systemen zu berücksichtigen. Bei weiterentwickelten Systemen müssen an den Einspannstellen Biegemomente aufgenommen werden. Durch wechselseitiges Anordnen des dünnen und dicken Endes können unterschiedliche Tragfähigkeiten ausgeglichen werden.

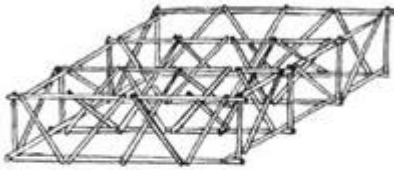
Spreng- und Hängewerke die in einer grossen Vielfalt kombiniert und umgewandelt werden können sind möglich. Fachwerke lassen sich als weiterentwickelte Hängewerke beschreiben. Parallelgurtige Träger kommen vor allem beim Brücken und Deckenbau zum Einsatz.



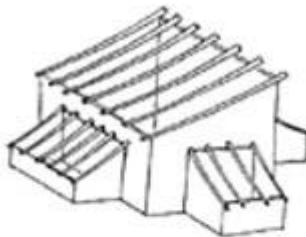
Fachwerke etc.



Die Fachwerkträger könne zu Raumtragwerken addiert werden. Bei der Unterspannung des Trägers muss das Wegknickens der Strebe vermieden werden.



Raumtragwerke / Unterspannungen



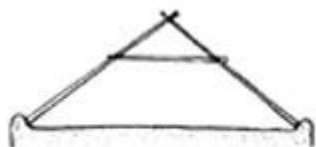
Geneigte Dächer sind auch typische Stangenkonstruktionen. Pultdächer werden oft als angehängte Konstruktionen vor massive Bauten gestellt, wobei die vordere Unterstützung als Pendelstütze ausgebildet werden kann.



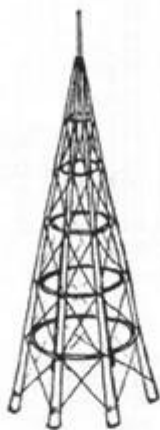
An der Spitze zusammengebundene Stangen.



Aus diesen Prinzipien entwickelt sich auch das Sparrendach, das bei grossen Spannweiten zum Kehlbalkendach ergänzt wird. Die Aufnahme der Horizontallasten muss über die Wandkonstruktion, ein Zugband oder auch den Ringbalken aufgenommen werden.

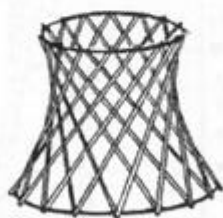
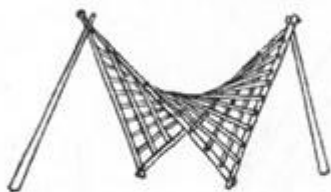


Verschiedene Dachformen



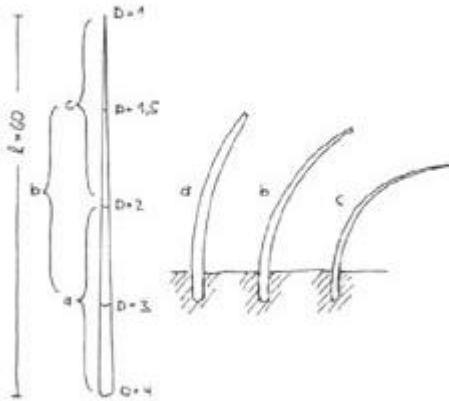
Türme werden gewöhnlich als Fachwerkkonstruktionen ausgebildet wobei oft hohen Horizontallasten vor allem aus Wind Rechnung zu tragen ist.

Aus geraden Stäben lassen sich gekrümmte Flächen (Regelflächen) erzeugen wie das hyperbolisches Paraboloid und Rotationsparaboloid. Die runden Querschnitte haben den Vorteil dicht an dicht aneinandergelegt werden zu können. Auch geodätische Kuppeln sind möglich, wobei die Knoten, der nicht in einer Ebene liegenden Stäbe besonders beachtet werden müssen.



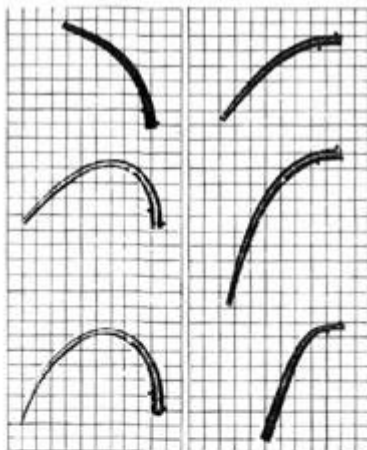
Gekrümmte Flächen mit geraden Stangen

Biegelinie



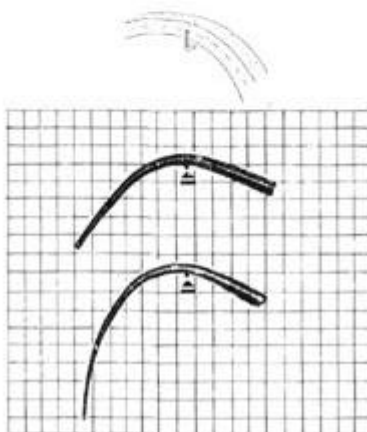
Bei den Kegelförmigen Stäben ergeben sich Konstruktionen, die sich grundsätzlich von denen mit gleichmässiger Dicke unterscheiden. Stäbe gleicher Konizität weisen aber nicht unbedingt dieselbe Biegelinie auf, selbst wenn ihre Materialeigenschaften gleich sind: die Stababschnitte a, b und c haben alle die gleiche Konizität, weisen jedoch unterschiedliche Biegelinien auf. Die Ursache dafür ist die unterschiedlich Schlankheit der Stäbe.

Konizität



Zu den Biegelinien wurden im IL Versuche in Schaumstoff durchgeführt. Er bietet den Vorteil der Homogenität und des leichteren und deutlicheren Verbiegens.

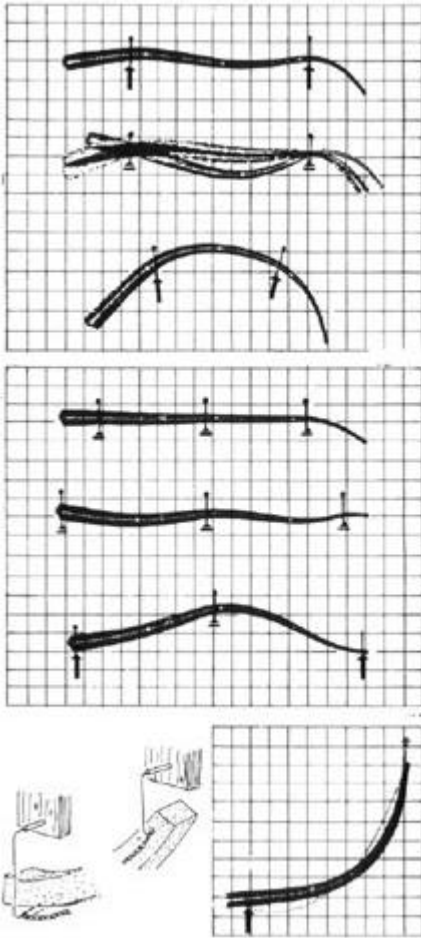
Zur Vereinfachung wurden allerdings rechteckige Querschnitte gewählt und die Biegung in nur einer Richtung untersucht. Der Krümmungsradius ist am Einspannpunkt am kleinsten und wird zum dünnen Stabende hin grösser.



Balken mit einem Auflager

Der Schwerpunkt des gekrümmten Stabes entspricht nicht dem des geraden Stabes, da sich durch die Biegung die Länge der Hebelarme verringert. Der höchste Punkt der Biegelinie liegt höher als der Auflagerpunkt.

Schaumstoffversuche, ein Auflager



Schaumstoffversuche, zwei Auflager

Balken mit zwei Auflagern

Verschiedene Positionen sind möglich:

1. Hier treten nur vertikale Auflagerkräfte auf (feste und verschiebliche Auflager möglich)
2. Bei verschieblichen Auflagern lässt sich der Durchhang des Balkens innerhalb eines Spielraums verschieben.
3. Bei verringertem Auflagerabstand

Verschiedene Positionen mit drei Auflagern und nur vertikalen Auflagerkräften

Geneigte Balken

Die Kettenlinie liegt im oberen Bereich über der Biegelinie, im unteren Bereich darunter. Diese Form ist von asiatischen Tempeldächern her bekannt.

Das IL hat ein Verfahren entwickelt, das möglichst einfach eine genügend genauen Abschätzung der Tragfähigkeit von Bauteilen ermöglichen soll. Das sogenannte BIC-Diagramm.

Konstruktive Details

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 Querkraftfestigkeit, was die Gefahr des Spaltens geringer macht.

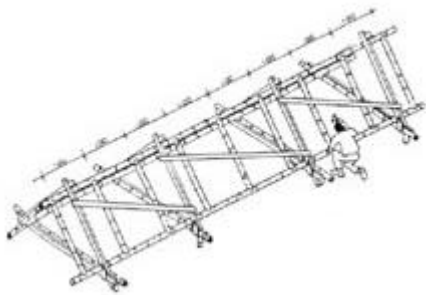
Das Forschungszentrum führte diverse Projekte durch, von denen einige in der IL 31 kurz vorgestellt werden. Das CIBAM selbst hat ein Handbuch der Bambuskonstruktion herausgegeben. Einige Seiten davon kann man [hier](#) herunterladen.

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-Fachwerk-Binder



Das CIBAM hat einen leichten einfach herzustellenden Träger aus Bambus entwickelt, der eine Breite von 2m und eine Länge von 8m hat. Diese Struktur ist auf Grund der Stabilität und Flexibilität des Bambus sehr widerstandsfähig gegen Erdbeben. Dieser auch von Laien herstellende Träger kann mit den unterschiedlichsten Materialien eingedeckt werden.

Dreigurt Fachwerkträger



Wohnungsbau

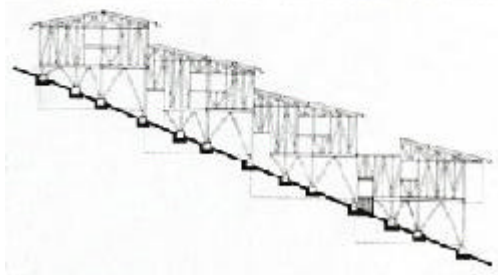


Bambussiedlung in Manizales

Eine Siedlung aus Bambus in Manizales

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 oder Steilhängen.



Projekt Malabar

Projekt Malabar

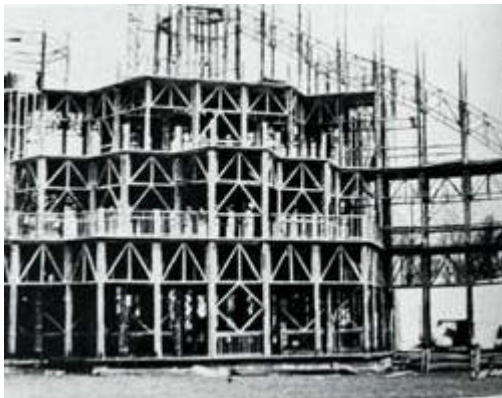
Das Projekt Malabar ist eines der Wohnbauprogramme des Instituto de Credito Territorial.

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 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.

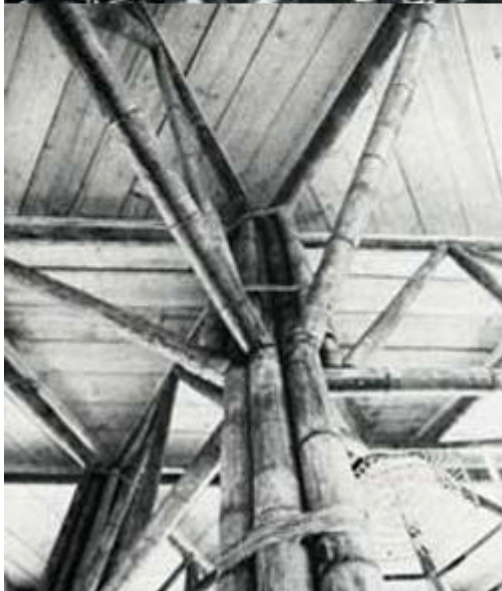
Ingenieurbau



Bambusturm

Bambusturm auf der Phänomena

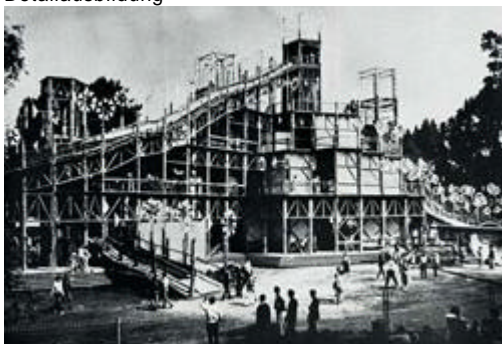
1984 fand in Zürich die "Phänomena" eine Ausstellung über Phänomene und Rätsel der Umwelt statt. Der Bambusturm ist ein Entwurf von dem Züricher Künstler Johannes Peter Staub. Er wurde mit 250t Bambus aus China realisiert. Die Stäbe von 20-jährigen Bambuspflanzen hatten einen Durchmesser von 6-11cm.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



Detailausbildung

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. 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.

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.





Gesamtansicht

Schirme

Asiatische Schirme



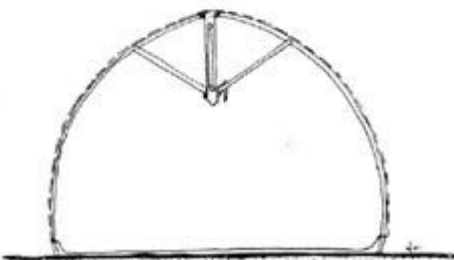
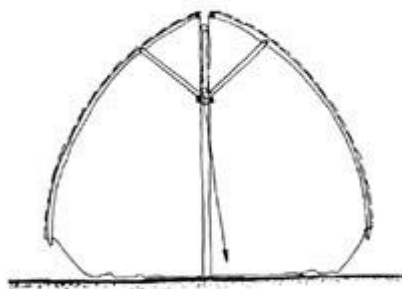
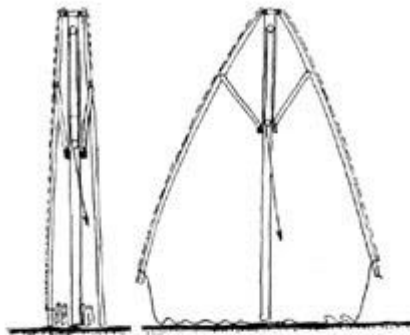
Der Schirm besteht aus einem ganzen Mittelrohr und den aus fein gespaltenem Bambusrohr hergestellten Rippen und Stangen, die in der oberen Nabe gelenkig am Stab befestigt sind und mit der unteren Nabe frei verschieblich sind. Normalerweise gibt es 38 Fächer oder auch feinere Schirme mit 60 Rippen.

Die flache Kegelform der asiatischen Schirme geht auf die geringe Reißfestigkeit der Papierbespannung zurück.

Asiatische Schirme

Europäische Schirme

Die europäischen Schirme hingegen nutzten die hohe Zugfestigkeit ihrer textilen Bespannungen aus. Bei diesem Beispiel von Frei Otto und Jürgen Bradatsch (1985) werden beim Aufspannen die Rippen von der Zelthaut gebogen und in ihrer Form gehalten, so dass sie die Beine des Zelt bilden





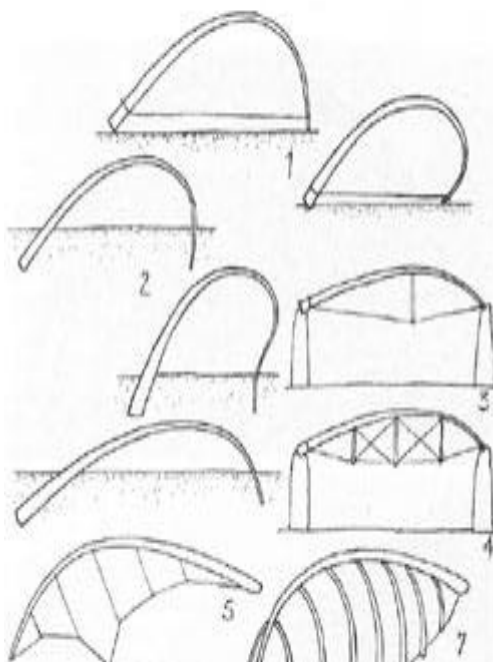
Europäische Schirme

Gekrümmte Druckstäbe

Einführung

Neben den [geraden Stäben](#) behandelt das IL31 Beispiele von Konstruktionen, deren Form durch den Einbau von gekrümmten und somit vorgespannten Stäben bestimmt wird. Die Besonderheit von gekrümmten Stäben besteht darin, dass sie unter Belastung eine zum dünnen Ende hin zunehmende Biegung aufweisen. Aus dieser Eigenschaft ergeben sich umfangreiche Gestaltungs- und Konstruktionsmöglichkeiten.

Konstruktionssysteme

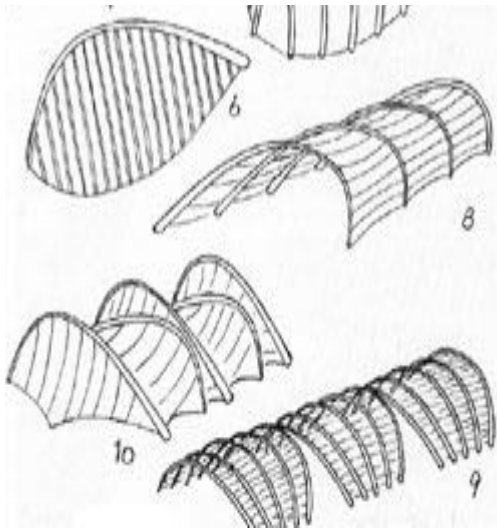


Bögen

Die Form eines einfachen Bogens wird von der Biegelinie bestimmt. Da die Querschnitte sich verändern, entspricht die Biegelinie nicht einer Parabelform.

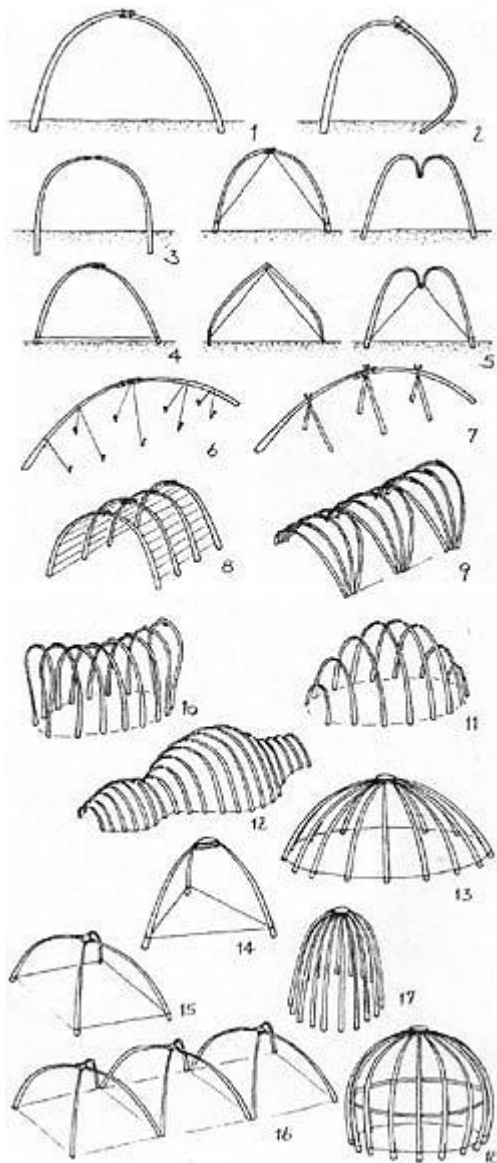
Sie ist außerdem abhängig von der Art der Auflager. Insbesondere eine von der Biegelinie abweichende Richtung der Einspannung führt durch Einbringung eines zusätzlichen Moments zu einer neuen Form des Trägers. Während bei Stabtragwerken eine Unterspannung die Tragfähigkeit verstärkt, führt sie bei Bögen aus konisch zusammenlaufenden zu Formveränderungen.

Durch Addition von Bögen können durch unterschiedliche Anordnungen die verschiedensten Gebäudeformen erschaffen werden, wobei die Bögen durch Ein- oder Abspannung (z.B. im Verband mit anderen Bögen) gegen Umkippen stabilisiert werden



Form wird durch asymmetrische Biegelinie bestimmt

können.



Symmetrie durch Addition von Stäben

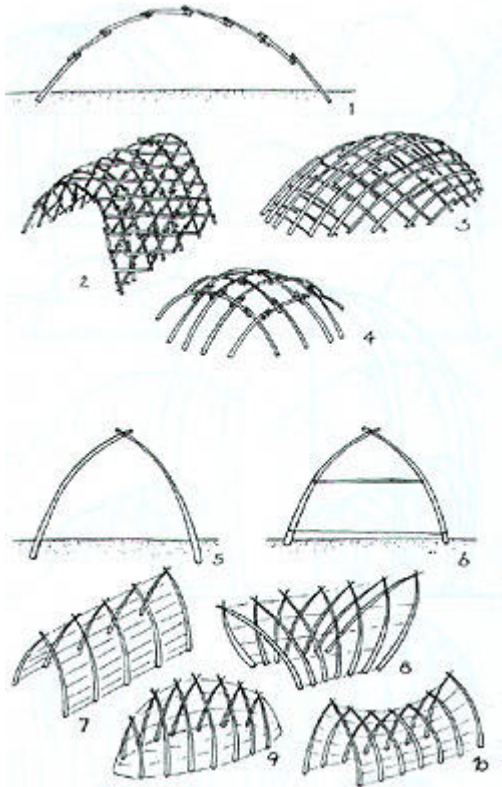
Zusammengesetzte Bögen

Durch Zusammensetzung mehrerer Stäbe lassen sich symmetrische (bei annähernd gleichen Querschnitten) Konstruktion erstellen. Wie bei den einfachen Bögen ist die Form sehr stark abhängig von der Art der Lagerung. Längere Bögen können räumlich stabilisiert werden, wodurch die zwischenliegende Knicklänge reduziert wird.

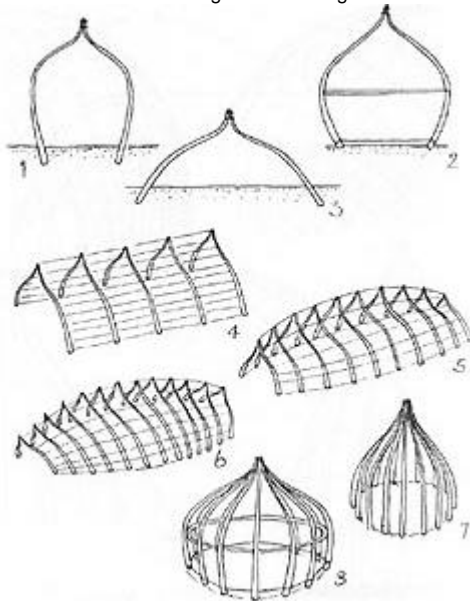
Durch Addition von zweifach zusammengesetzten Bögen entstehen räumliche Konstellationen, wobei durch Veränderung der Länge über elliptischen Grundrissen Kuppelformen erzeugt werden können. Eine weitere Möglichkeit in der Formgebung besteht in der gekreuzten (Gitterschalen) sowie in der zentralsymmetrischen Addition.

Unterschiedliche Verbindungen

Speziell formgebend ist auch die Art der Verbindung. Neben oben behandelten, besteht die Möglichkeit der gelenkigen Verbindung, die Spitzbögen hervorruft. Wenn die Stabenden parallel miteinander verbunden werden, können durch Einspannung der anderen Enden zwiebelförmige Geometrien erzwungen werden.



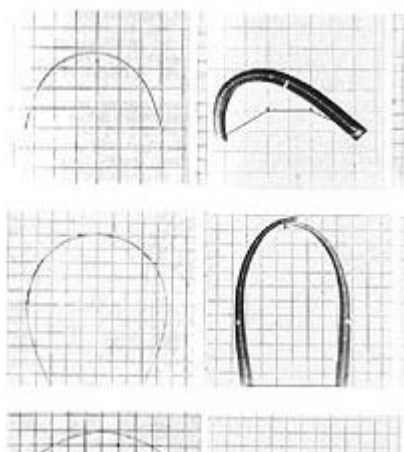
Gitterschalen / Gelenkige Verbindungen

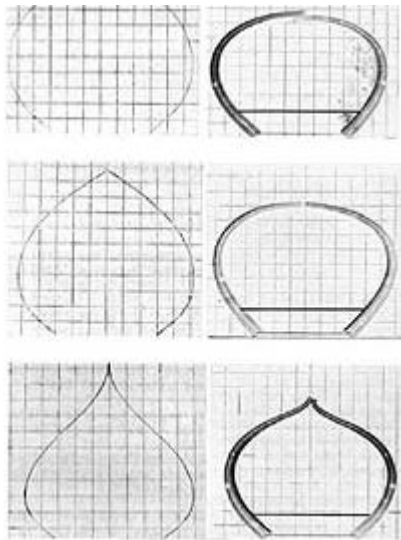


Parallele, steife Verbindungen

Übersicht

Nebenstehendes Bild zeigt eine Übersicht der verschiedenen Bogenformen im Vergleich mit gekrümmten Stäben konstanten Querschnitts. Sie wurden anhand von Modellversuchen mit gespanntem Federstahl sowie konisch zusammenlaufenden Schaumstoffstreifen untersucht.





Konstante / konisch zulaufende Querschnitten



Bambusbrücke in Japan

Bauen mit gebogenem Bambus

Bei Stabtragwerken mit geraden Stangen wird in der Regel nur das untere Drittel eines Bambusrohres verwendet. Bei Verwendung der vollen Länge ist eine Ausnutzung der natürlichen Krümmung unumgänglich. Aufgrund dessen ist bei dem Entwurf von Bauten mit langem Spannweiten die Verwendung von gebogenen Formen ratsam. Bei derartiger Verwendung entstehen die für die Bambusbauweise typischen Formen. Wird die tragende Konstruktion aus gespaltenem Bambus errichtet, ist die gekrümmte Form unvermeidbar.

Gitterschalen



Moderne Konstruktionen aus gespaltenem Bambus

Wird die tragende Konstruktion eines Bauwerks aus gespaltenem Bambus errichtet, ist die gekrümmte Form unvermeidbar. Auf diese Art und Weise können relativ große Hütten aus Bambus errichtet werden. Traditionelles Beispiel sind die Hütten des Dorse Volkes auf der Gamu Hochebene in Südäthiopien, die in einer komplizierten Technik aus ineinander



Bambushütte in Südäthiopien

verflochtenen Bambusbrettern gefertigt sind. Bambusbretter entstehen durch Aufspaltung von Bambusrohren.

Die Möglichkeiten der Konstruktion mit gespaltenen, druckbeanspruchten, gekrümmten Bambusstangen wurden in Zusammenarbeit des Instituts für leichte Flächentragwerke, Stuttgart (IL) mit der School of Architecture (SA), Ahmebad, Indien in verschiedenen Untersuchungen durchgeführt.

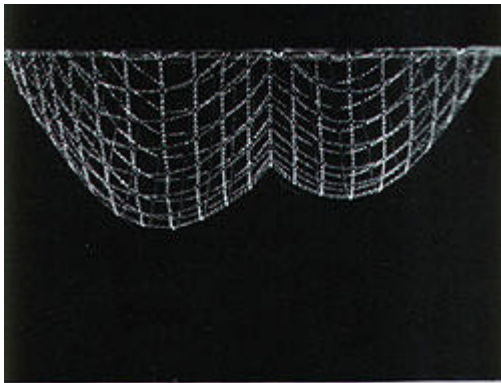
Man bemühte sich, neue Konstruktionsweisen durch die Verbindung von handwerklicher Bambustradition mit moderner Leichtbauweise zu untersuchen. Derartige Versuche konnten aufgrund der handwerklichen Fähigkeiten der Arbeiter nur in Indien stattfinden. Hauptgesichtspunkt war die Untersuchung von in gespaltenem Bambus ausgeführten Gitterschalen.

Gitterschalen

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. Am Boden liegende gespalte Bambusstangen werden in einem quadratischen Raster miteinander verbunden. Das entstandene Gitter wird in die der Hängeform entsprechenden Form gebracht und anschließend in den Kreuzungspunkten fixiert.

Gitterschalen sind eine bereits mehrfach erprobte Form von leichten Flächentragwerken. In den durchgeführten Versuchen sollten ihre Machbarkeit in Bambus erfasst werden. Insbesondere folgende Fragen wurden untersucht:

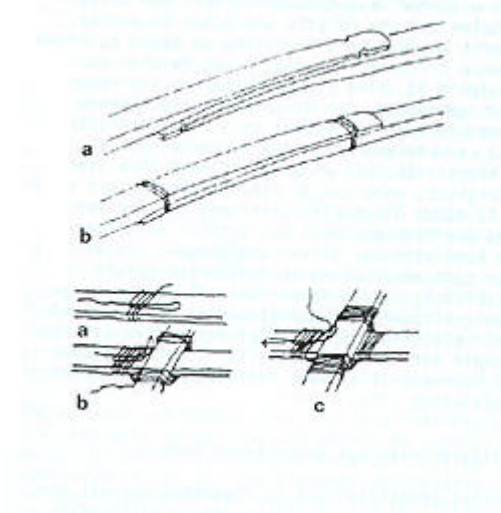
1. Feststellen der Auswirkungen von materialbedingten Unregelmäßigkeiten auf die Form und das Tragverhalten der Gitterschalen.
2. Entwicklung und Erprobung materialgerechter Details (Knoten, Längsstoß, Randausbildung, Befestigung des Gitters am Rand, Formfixierung, etc.)
3. Optimierung der Montage und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



Gitterschale als Umkehrung der Kettenlinie



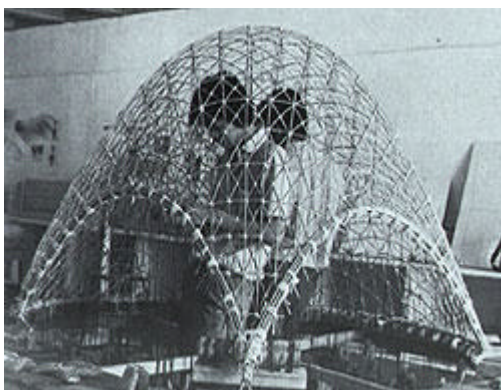
Fertige Gitterschale



Detailausbildungen



Stabilisierung / Aufbringung von Punktlasten



In verschiedenen Versuchen wurden verschiedene Konstruktionsformen betrachtet:

Versuch 1:

Aus gespaltenem Bambus (1/8 eines Bambusrohres) wurde eine Doppelkuppel mit insgesamt 7,5 m Länge entwickelt. Die Kosten des Materials beliefen sich auf etwa 80 DM. Als Verbindungsmöglichkeiten wurden Längsstoß sowie eine einfache gebundene Knotenverbindung verwendet. Die Stabilisierung erfolgte durch Kokosfaserseile.

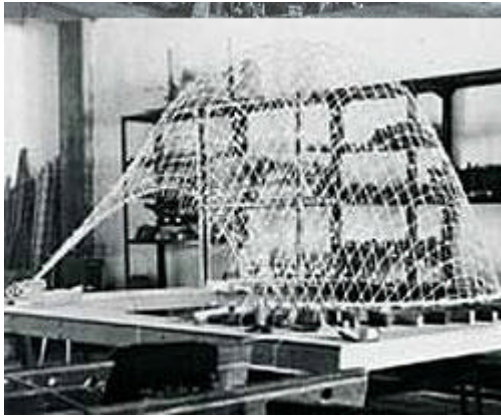
Die Untersuchung ergab bei einer aufgetragenen Flächenlast von ca. 122N/m² geringe Verformungen der Gitterschalen.

Versuch 2:

In einem weiterführenden Versuch wurde der größere Teil der Kuppel demontiert und der kleinere Teil mit einem sekundären Gitter, was diagonal zum primären Gitter verlief, verstärkt. Durch diese Verstärkung erhöhte sich die Tragfähigkeit um ein Vierfaches. Auch aufgetragene Punktlasten verursachten keine nennenswerten Verformungen.

Versuch 3:

Der dritte Versuch im Februar 1984 bestand aus einem form- und materialgerechten Modell einer Gitterschale wie in Versuch 2 mit 9m Spannweite im Maßstab 1:5. Der Versuch brachte Ergebnisse zu möglichen Spannweiten und zu dem Verhalten bei Montage und zur Formeinstellung. Die Ergebnisse der Belastungsversuche ergaben eine aufnehmbare Flächenlast von 250-330 N/m² und einen aufnehmbaren Windlastdruck von 500 N/m².

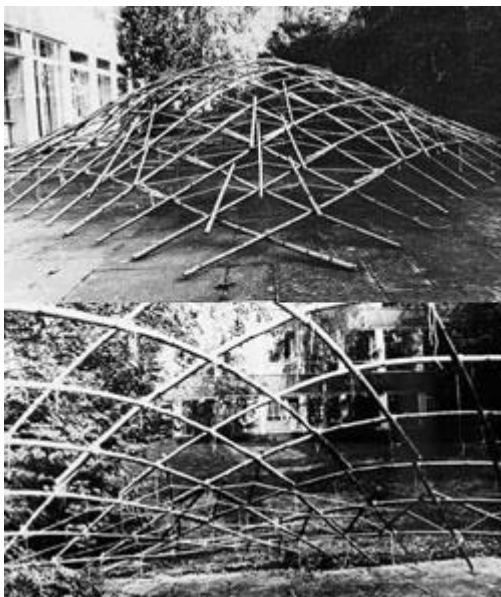


Masstabsgetreues Modell

Schlussfolgerung

1. Gespaltener Bambus ist gut geeignet für Gitterschalen.
2. Es gibt keine wesentliche Probleme durch materialbedingte Unregelmäßigkeiten.
3. Die Formtoleranzen können durch die entsprechende Auswahl und die entsprechende Anordnung der Stäbe im Gitter kompensiert werden.
4. Die aus dem traditionellen Bambushandwerk entwickelten konstruktiven Verbindungen haben sich bewährt.
5. Die harmonische Krümmung wird im Gegensatz zu Bohrungen durch Knoten nicht gestört. Das entgeltige Bindematerial ist noch nicht geklärt.
6. Bei größeren Gittern ist die Vorbereitung des Gitters für die Montage sehr wichtig.
7. 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.

Gitterschalendetails



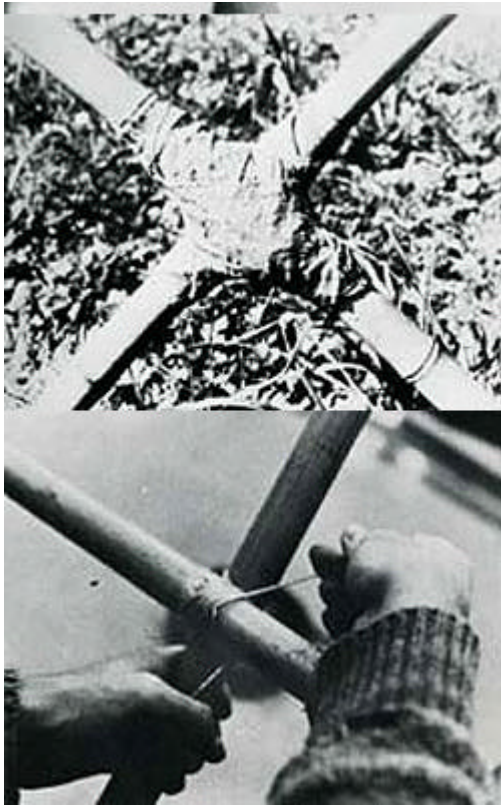
Gitterschale

Detail-Untersuchungen an einer Bambusgitterschale

Die hier vorgestellte Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit Studenten der Fachhochschule Aachen 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.



Der erste entwickelte Detailpunkt 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 Querdruckspannungen. 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.



Verschiedene Knotenpunkte

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 Querdruckspannungen an der Lasteinleitungsstelle im Stab ein.

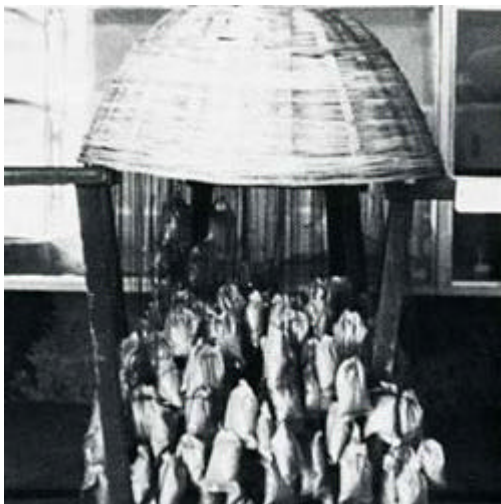
Dieser zweite Splintknoten wurde schließlich bei dem Versuchsbau verwendet.

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.

Korbschalen



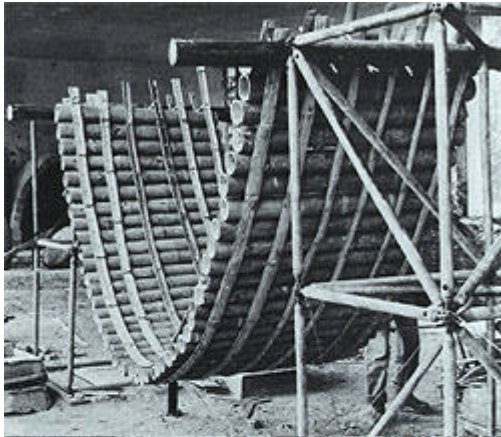
Korbschale mit Belastung

Korbschale aus gespaltenem Bambus

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.

Bögen und Tonnen



Bogenkonstruktionen und Tonnen aus Bambus

Im Forschungslabor für experimentelles Bauen, Universität Kassel werden ebenfalls Versuche zum Bauen mit Bambus durchgeführt. Besonderer Augenmerk gilt der Entwicklung von bogenförmigen Tragwerken, die zunächst hängend konstruiert und schließlich andersherum aufgestellt werden. Mit derartigen Konstruktionsmöglichkeiten ließen sich sehr tragfähige Konstruktionen entwickeln. Belastungstests zeigten, dass die horizontalen Rohre auch im asymmetrischen Lastfall für eine gute Verteilung der aufbrachten Kräfte sorgen. Im Anschluß wurde die Konstruktion mit Grassoden eingedeckt.



Hängende / Stehende Bogenkonstruktion

Verschiedenes

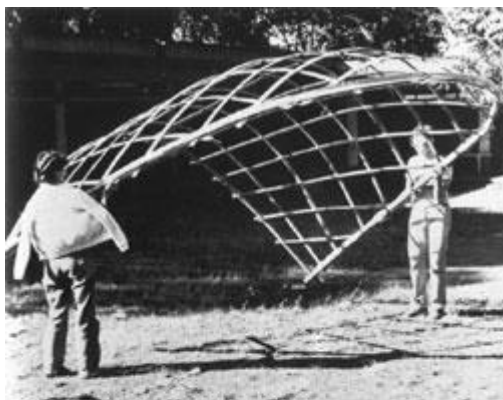


Verschiedene Projekte

1. Doppelt gekrümmte Gitterschale, entwickelt an der Universität Francisco Marroquin, Guatemala



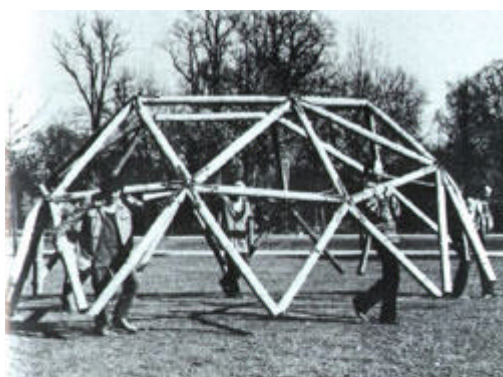
Doppelt gekrümmte Gitterschale



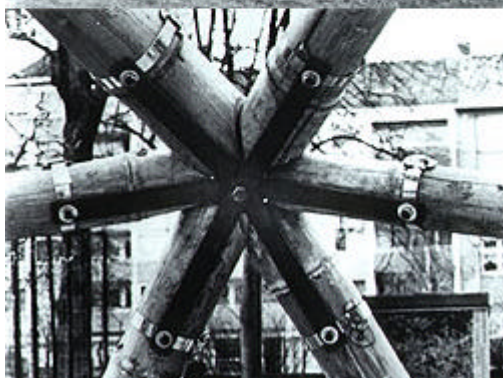
Engmaschige Gitterschale aus gespaltemem Bambus, gedeckt mit einem PVC beschichtetem Baumwollgewebe, als Schutzdach für einen Verkaufstand



Verkaufsstand



Gitterschalenkonstruktion, die lediglich 2kN wiegt, über 6m spannt und die Lasten von insgesamt 200 kN (100 fache des Eigengewichts) aufnehmen kann.



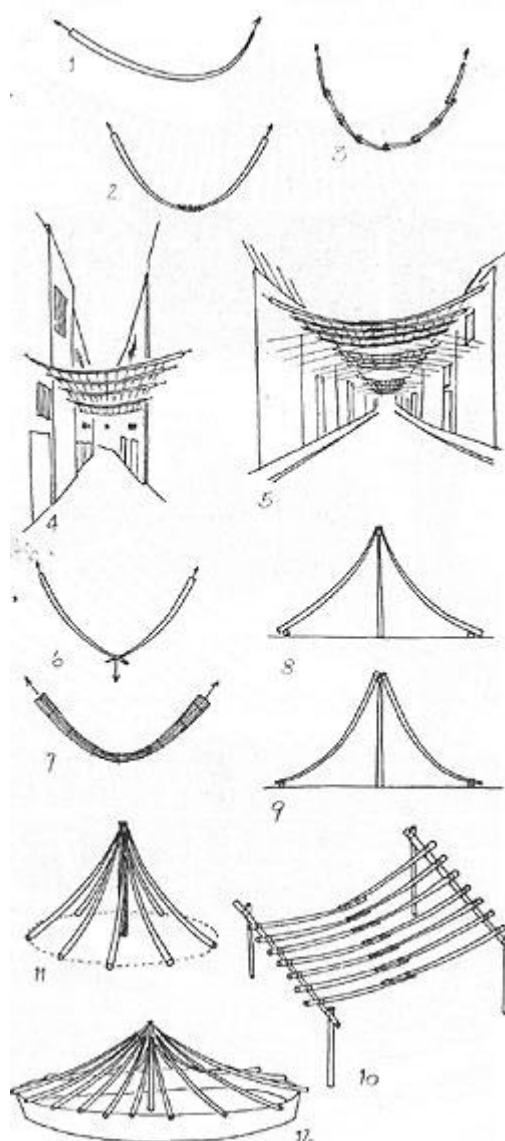
Sehr robustes Tragwerk

Gekrümmte Zugstäbe

Einführung

In Ergänzung zu den [gekrümmten Druckstäben](#) behandelt das folgende Kapitel Konstruktionen die aus gekrümmten, zugbelasteten Stäben bestehen. Derartige Konstruktionen gehören zur Familie der Hängedächer, deren Krümmung mit der frei hängenden Kette verwandt, aber aufgrund der geringen Biegesteifigkeit der Stangen nicht identisch ist

Konstruktionssysteme



Hängelinien

Hängelinien

Pflanzliche Stangen, die sich aufgrund ihrer geringen Biegesteifigkeit aber hohen Zugfestigkeit für zugbeanspruchte Konstruktionen eignen ergeben eine charakteristische asymmetrische Biegelinie, wenn sie zwischen zwei Auflagern gehängt werden.

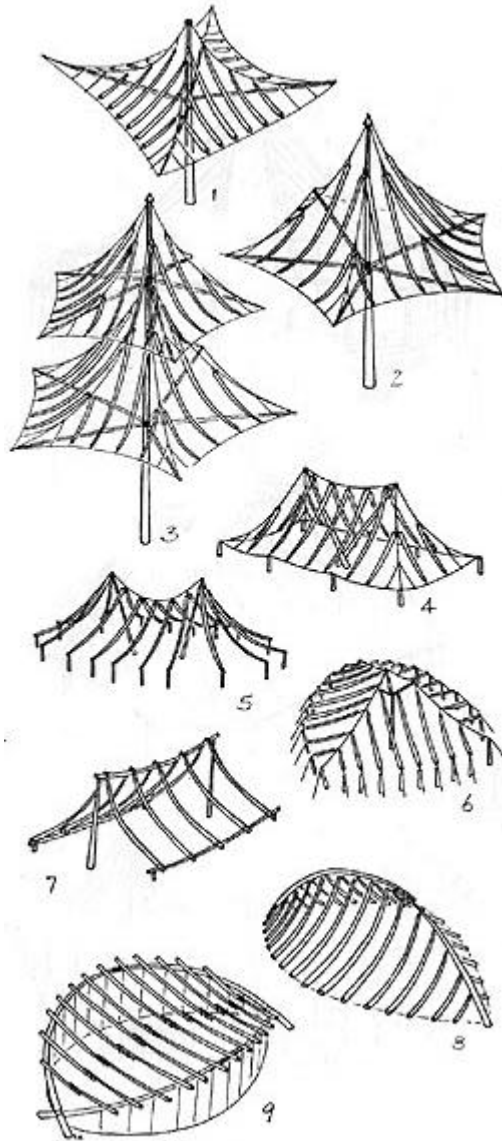
Die Hängelinie zeichnet sich umso deutlicher ab, je größer die Last ist.

Um größere oder symmetrische Spannweite zu erreichen, werden auch mehrere Stangen zusammengesetzt.

Leichte Dächer müssen in der Regel durch Unterspannungen stabilisiert werden.

Je nach Belastungssituation sind unterschiedliche Bogenformen erforderlich. Einzellasten beispielsweise werden am sinnvollsten durch hängende Spitzbögen abgetragen. Durch Addition mehrerer Hängelinien lassen sich charakteristische Bauformen, insbesondere zeltartige Hängedächer, konstruieren.

Zeltartige Konstruktionen



Zeltartige Konstruktionen

Das schirmähnliche Zeltdach mit Graten und horizontalen Druckstreben ist wohl als traditionelle Konstruktion im asiatischen Raum zur klassischen Form entwickelt worden.

Neben der Möglichkeit, Randträger als Seile auszubilden, lassen sie sich natürlich auch durch biegeweiße Stangen ersetzen.

Um größere Flächen zu überdachen, können mehrere Firste ausgebildet werden, die wiederum durch Hängewerke miteinander verbunden sind.

Häufig werden entstehen Bauwerk aus einer Kombination von druck- und zugbeanspruchten Elementen.

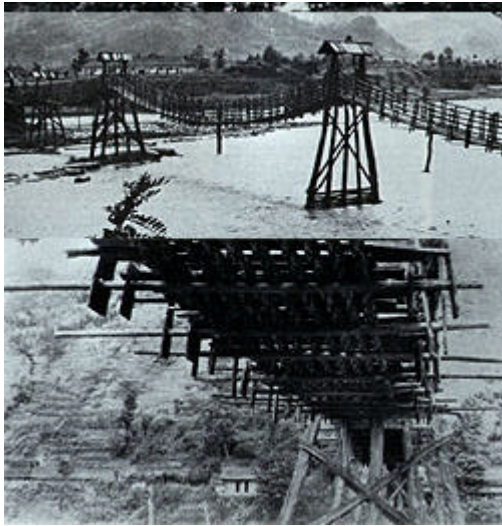
Zugbeanspruchte Seilkonstruktionen



Beispiel: Die An-Lan Hängebrücke

Das bekannteste, traditionelle in der Hauptsache zugbeanspruchte Bauwerk ist die An-Lan Hängebrücke von Kuanhsien über den Fluß Min. Sie wurde vermutlich im dritten Jahrhundert nach Christus gebaut und seitdem stetig verändert und repariert. Angeblich wurde beim Bau und bei der jährlichen, 2 Monate andauernden Reparatur niemals ein Stück Metall verwendet.

In ihrem hier präsentierten Zustand (Fotos von 1958) bestand sie aus acht Hängewerken, das längste davon war 61 m lang, und hatte eine Gesamtlänge von 320 m. Sie war aufgehängt auf sieben Brückenpfeilern, sechs aus Hartholz und einer aus Granit.



An-Lan Hängebrücke

Haupttragelement sind aus Bambus gefertigte Seile. Sehr zugfeste Fasern aus der Außenseite eines Bambusrohrs werden um einen weicheren Kerne aus der Bambusaußenseite miteinander verflochten. Die Zugfestigkeit eines Seiles soll sich im nassen Zustand gegenüber herkömmlichen Seilen um 20 % verstärken. Die Verankerung der tragenden Seile (jeweils 5 an jeder Seite, Durchmesser ca.16,5 cm) erfolgte durch große Seilwinden, wodurch die Brücke jederzeit nachgespannt werden kann.

Literatur

Alle Projekte und Bilder sind entnommen aus:

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