

# LEICHTBAU

## ENTWURF AUS GEBOGENEM BAMBUS

UND EINE MÖGLICHE KOOPERATION DES PALMENGARTEN FRANKFURTS  
MIT DER FRANKFURT UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



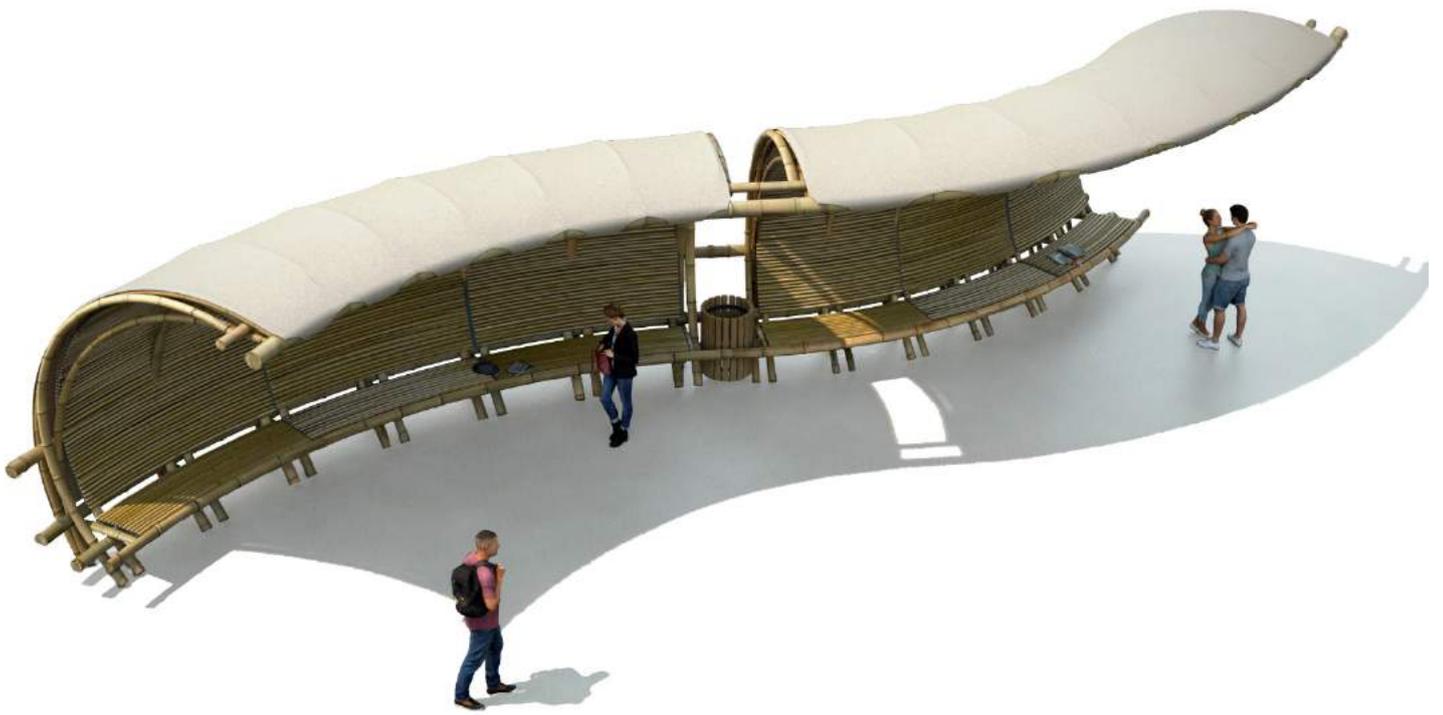


ABBILDUNG 1: GESAMTANSICHT VORNE



ABBILDUNG 2: GESAMTANSICHT HINTEN



ABBILDUNG 3: GEBOGENER FACHWERK-TRÄGER MIT INNERER SCHALE

# Entwurf aus gebogenem Bambus

Im Rahmen des Master-Studienganges „Zukunftssicher Bauen“, im speziellen des Kurses „Leichtbau“ unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Agnes Weilandt, ist dieser Entwurf einer Leichtbaukonstruktion aus dem Naturprodukt Bambus entstanden.

## ENTWURF UND KONSTRUKTION

Dargestellt ist relativ schematisch das Konstruktions- und Tragwerkskonzept aus (vor-)gebogenem (!) Bambus.

Verschiedene Kreisbögen (radiale Kräfte) werden durch Knotenpunkte überlagert und fixiert – somit entsteht ein solider, stabiler und sich selbst aussteifender Fachwerkträger, bei einer zugleich klaren, filigranen und ästhetischen Formensprache.

Dieses entstandene Träger-Modul kann nun in geringem Abstand gereiht (oder gar geschwungen gereiht) werden und bildet, mit einer Sitzfläche und Rückenlehne versehen ein, in der Theorie unendlich fortführbares, Bank-/Pavillon-Element, das individuell der Umgebung und dem Bedarf (Anz. Sitzmöglichkeiten, Wegeführung, etc.) angepasst werden kann.

Die fertige Tragkonstruktion wird schlussendlich mit wetterbeständigem Textil bespannt. Des Weiteren wäre denkbar (auch in Abhängigkeit von Schall- und Wetterschutzanforderungen), die Rückenlehne – quasi als innere Schale – komplett bis zur Spitze auszuführen, was einen höheren Schutz und ein homogeneres Erscheinungsbild bedeuten würde, oder den Rückenbereich zu minimieren, um möglichst viel von der Konstruktion zu zeigen. Zweiteres würde gewiss mehr „Spannung“ erzeugen und die Textilschicht wäre dann über die reine Schutzfunktion nach außen, auch Gestaltungselement nach innen hin. Diese Gestaltung kann ein schlichter Material- und Farb-Kontrast (wie dargestellt) sein, um sich zurückhaltend in die Umgebung einzufügen, oder aber mit gedeckten Naturtönen direkt Umgebung formend und gliedernd wirken.

Durch die gebogene, natürliche Form – also Abgrenzung von einer technischen und geradlinigen Struktur, die Stab-/Stangenelemente in der Regel mit sich bringen – wird die Verwendung von Bambus als nachhaltiges Naturprodukt, mit seinen speziellen Eigenschaften betont und für den Besucher/Benutzer erleb- und erfahrbar gemacht. Je nach Ausrichtung und Formführung wirkt der Entwurf introvertiert als Ort der Stille zum Ausruhen und Entspannen, oder extrovertiert als Treffpunkt zum gegenseitigen Austausch.

Zonen können gegliedert und „Ausblicke“ gesteuert werden, so dass der Entwurf entweder als Tribüne fungiert, die den Blick des Besuchers auf besondere Stellen/Plätze ausrichtet und gleichzeitig (Sicht-) Schutz bietet oder aber als Blickfang selbst die Bühne oder den Ort der Begegnung liefert.

Bambus (*Phyllostachys*) ist ein schnell wachsendes Monokotyledon, das für seine hervorragenden mechanischen Eigenschaften bekannt ist. Im Allgemeinen wachsen Bambushalme als singuläre vertikale Triebe und entwickeln keine sekundäre Wachstumsbildung. Aufgrund seiner hohen Zugfestigkeit, seines schnellen Wachstums und seiner breiten Verfügbarkeit wird Bambus seit Jahrhunderten als Baumaterial verwendet.<sup>[1]</sup>

Ein weiterer Fokus dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung wie man gewisse Stückzahlen gleichmäßiger Geometrie biegen kann, ohne dabei jede Stange aufwendig einzeln bearbeiten zu müssen. Hierbei werden verschiedene Ansätze betrachtet um einen formsteifen, „gebogenen“ Bambusträger zu erzeugen. Zunächst jedoch ein paar Skizzen zur Konzeptfindung aus dem frühen Entwurfsstadium und eine exemplarische Übersicht über die Lösung der konstruktiven Verbindungen.

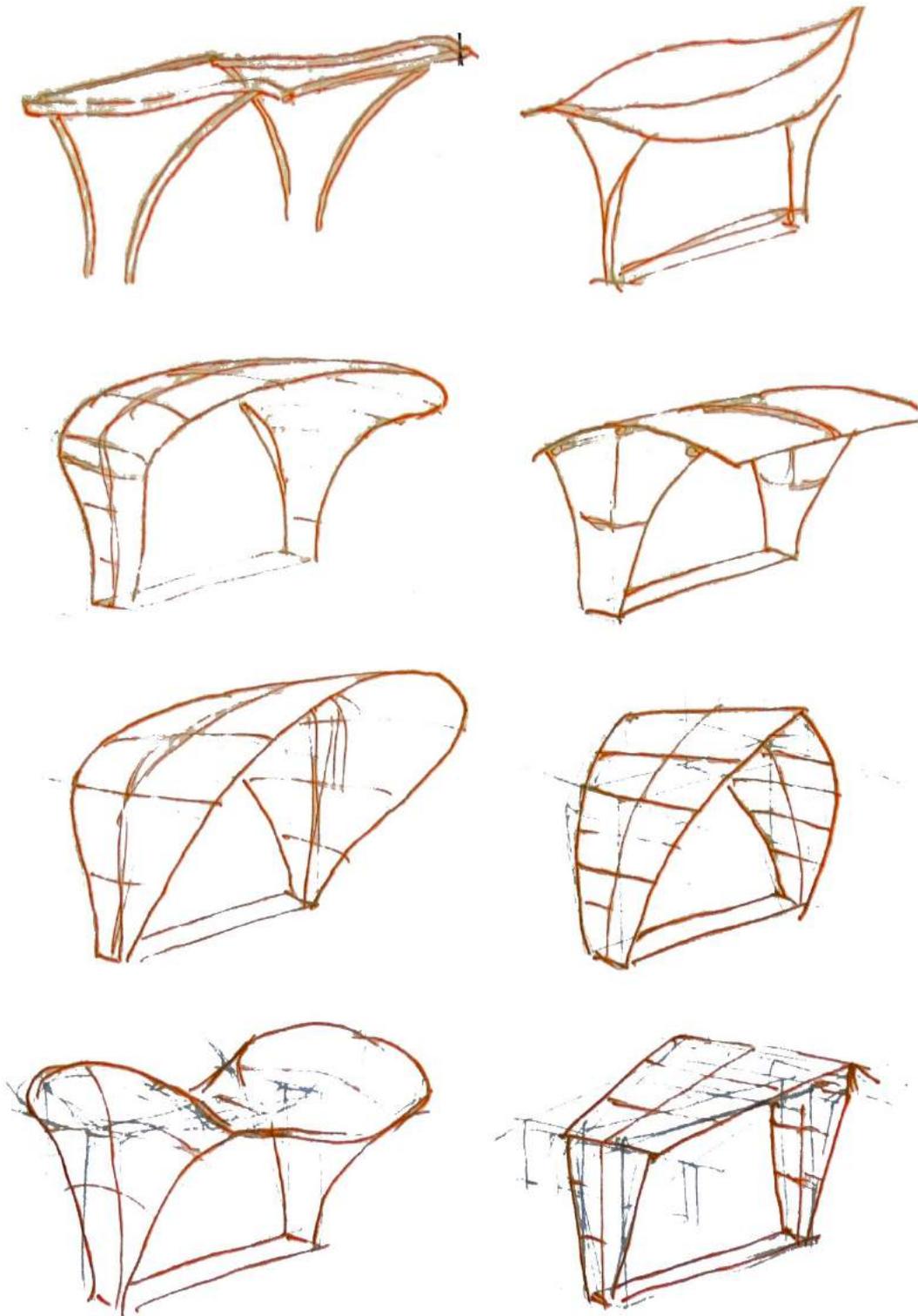
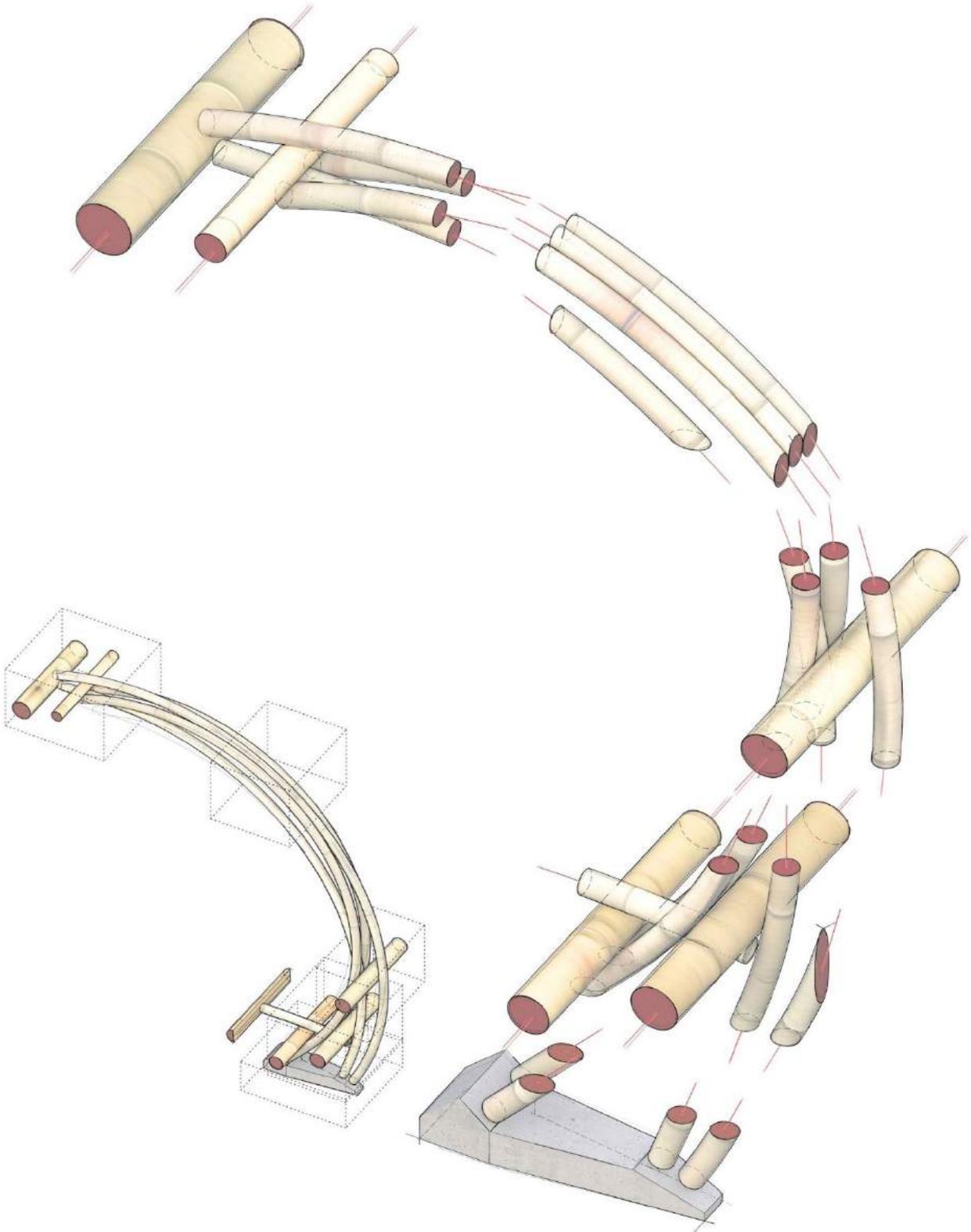


ABBILDUNG 4: ERSTE SKIZZEN ZU EINER (PAVILLON -)DACHKONSTRUKTION AUS BAMBUS

Erste Entwurfsüberlegungen betrachten stets die funktionale Trennung des schützenden Daches von dem konstruktiv stützenden Teil, um eben dieses „oben“ zu halten. Resultat der Überlegungen war die Vereinigung von Tragkonstruktion und Hülle zur gesamtumformenden Schale. Die gebogene Struktur liefert wie bei einer Muschel gleichzeitig Träger-, Wand- und Dachelement in einem, ohne dabei eine optische Differenzierung aufzuzeigen.

# KNOTEN UND VERBINDUNGEN

(ABBILDUNG 5)



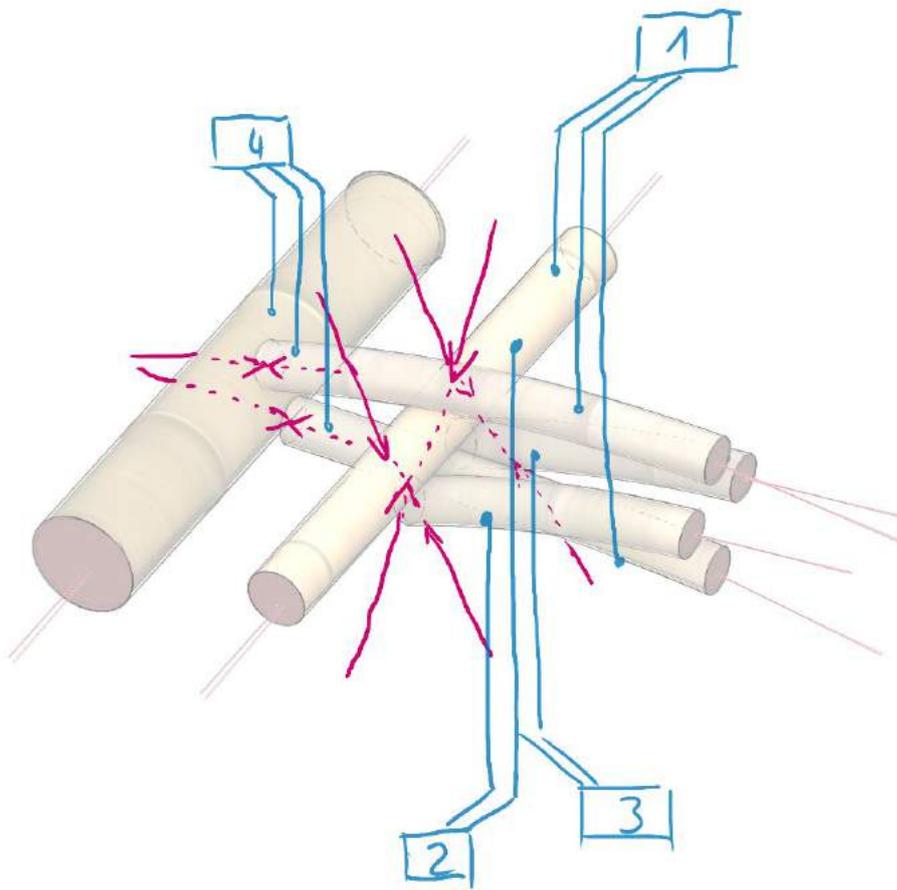


ABBILDUNG 6: DETAIL 1

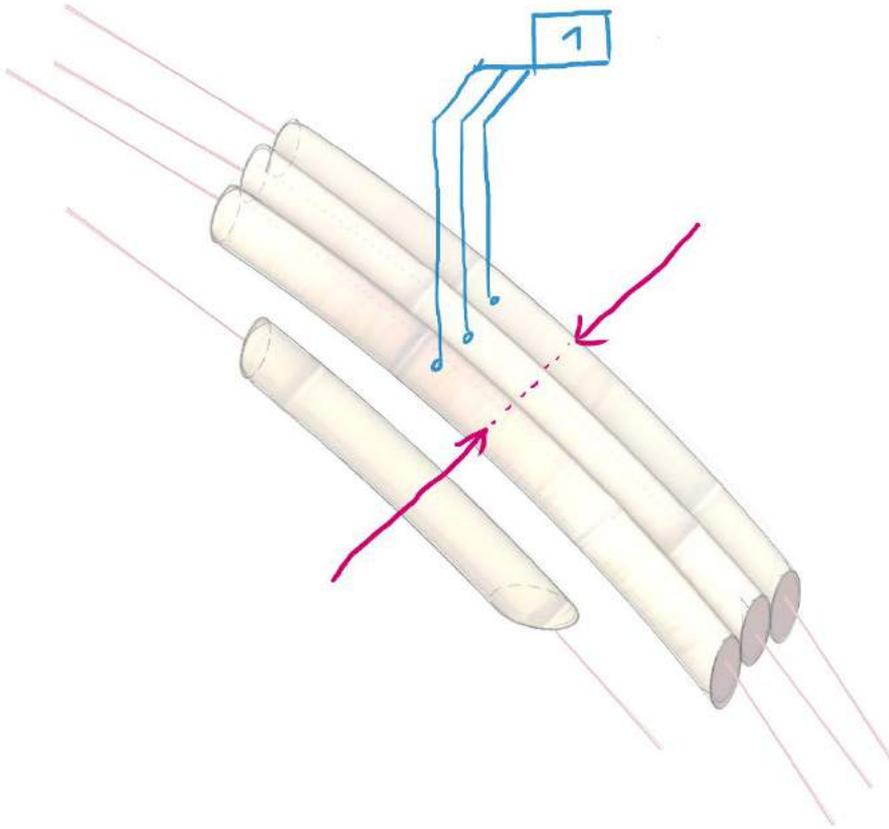


ABBILDUNG 8: DETAIL 2

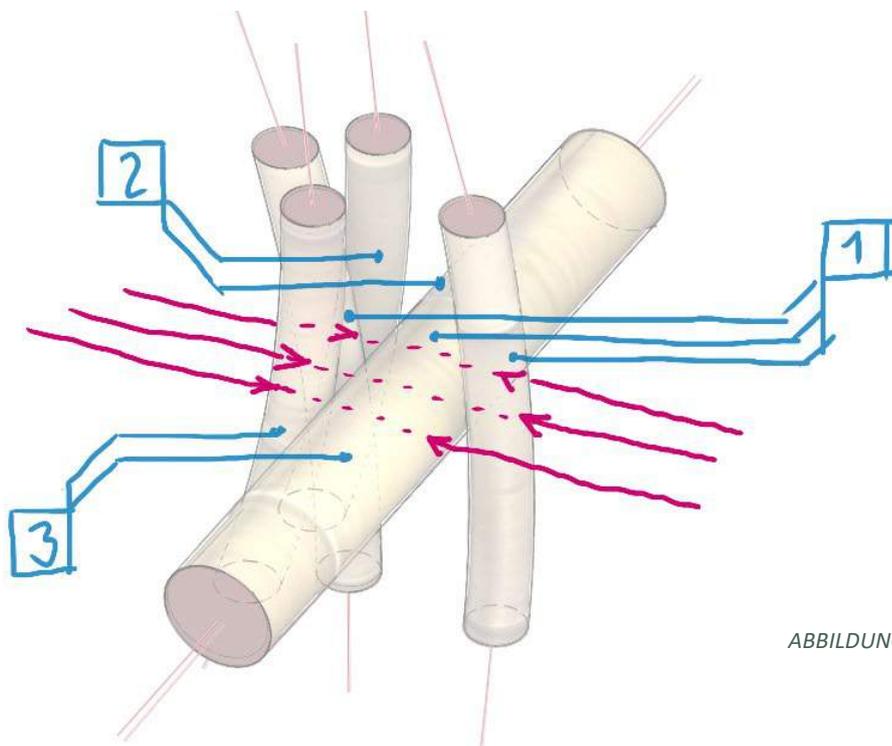


ABBILDUNG 7: DETAIL 3

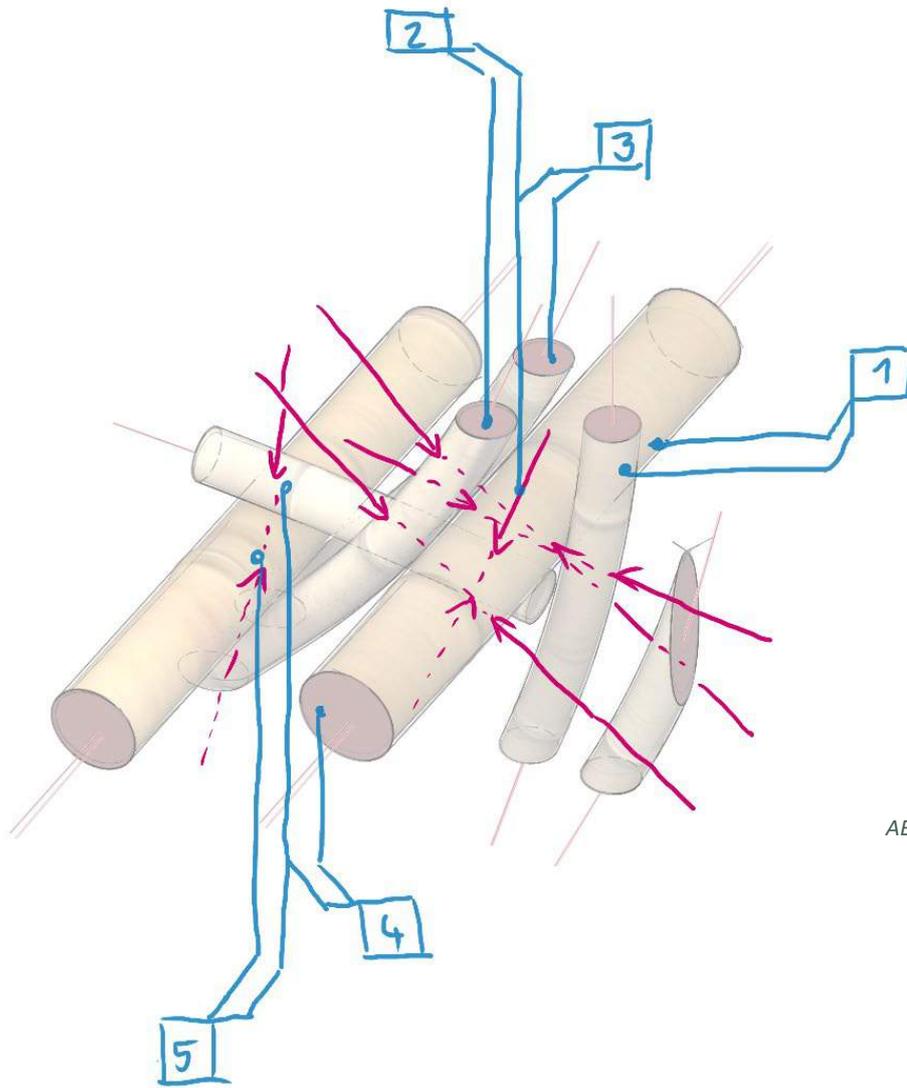


ABBILDUNG 10: DETAIL 4

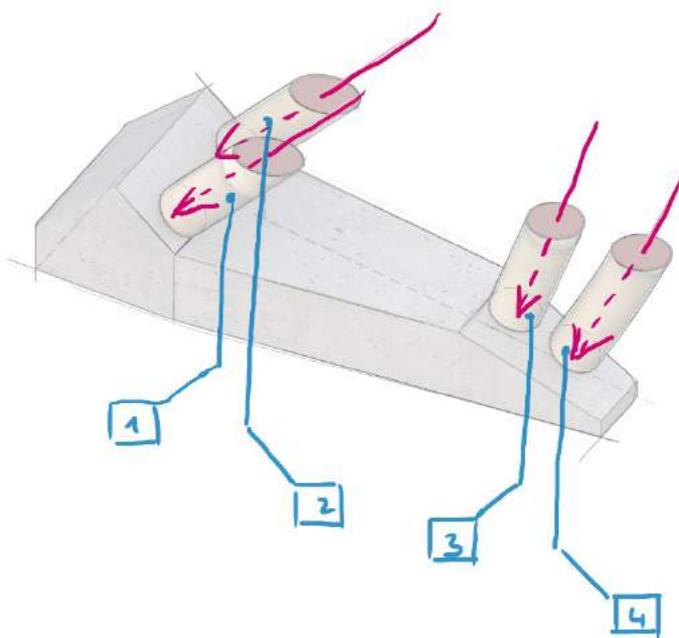


ABBILDUNG 9: DETAIL 5



ABBILDUNG 11: GEBOGENER FACHWERK-TRÄGER, SCHEMATISCH

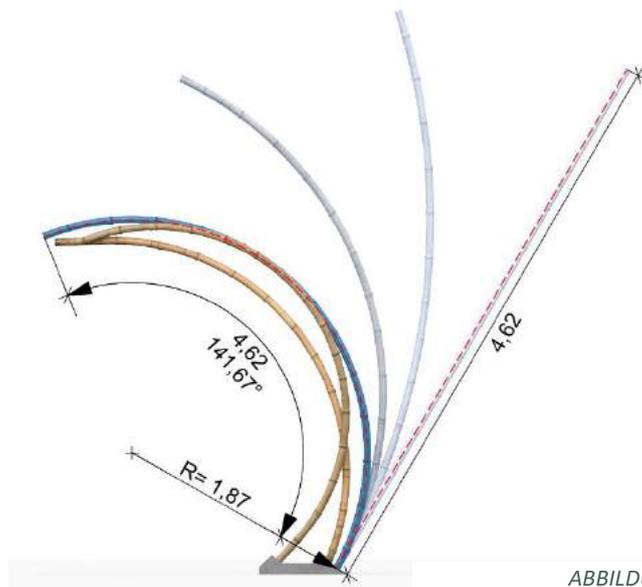
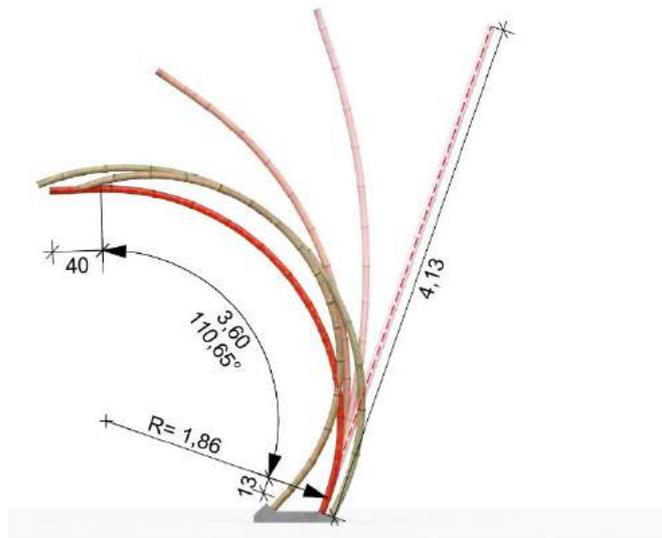
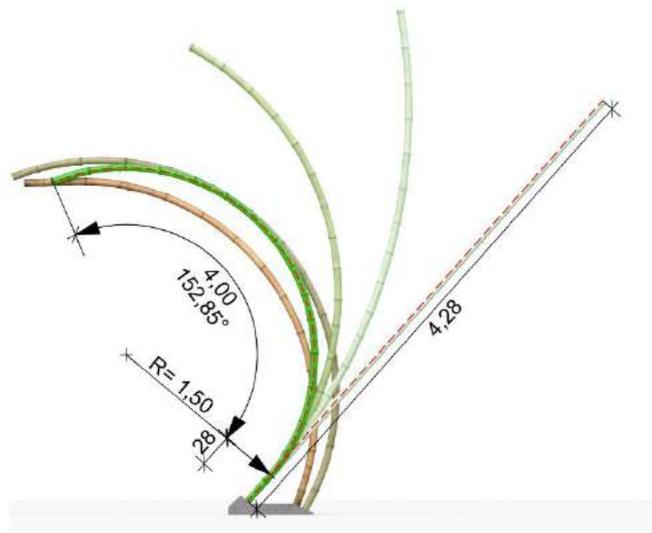


ABBILDUNG 12: WINKEL UND MAßE

## BIEGEN VON BAMBUS

*Bambus ist nicht nur besonders nachhaltig, weil er so schnell wächst, sondern bietet darüber hinaus gute mechanische Eigenschaften, die ihn äußerst interessant für die architektonische Verwendung machen. Gute Tragfähigkeit bei Zug- und Druckbeanspruchungen und eine relativ hohe Steifigkeit zeichnen ihn hierbei als Bauprodukt aus. Im Vergleich bietet Stahlbeton seine Druck- und Zugfestigkeit nur durch den Verbund von eben Stahl (Zug) und Beton (Druck).*

*Bei richtiger Vorbehandlung und dem entsprechenden bautechnischen Schutz, so wie einer angemessenen Statik, müssen Bambuskonstruktionen nicht zwangsläufig jenen aus Stahlbeton oder Holz nachstehen. Selbst mehrgeschossige Bauten oder Hallen mit großen Spannweiten und einer kalkulatorischen Lebenserwartung von 50 Jahren sind möglich.*

*Eine der für diesen Entwurf entscheidendsten Eigenschaften von (allerdings nur relativ frisch geschnittenem, nicht durchgetrocknetem) Bambus, ist die Möglichkeit der Verformung in gewissem Maße, durch Biegen unter Hitzeeinwirkung von ca. 150°C. Zwingt man den Stab so in seine gewünschte neue Form, behält er diese nach dem Abkühlen bei, ohne dass die mechanischen Kennwerte der manipulierten Stange sonderlich negativ beeinflusst werden. Allgemein kann man sagen, dass je frischer und dünner der Bambus ist, die Stäbe einfacher zu bearbeiten sind. Mit zunehmendem Durchmesser nimmt die Möglichkeit zur dauerhaften Biegeverformung ab.*

## VERSCHIEDENE HERANGEHENSWEISEN

Es gibt zwei grundlegende Ansätze zum Biegen von Bambus: die Heißbiegemethode und die Kaltbiegemethode. Bei der ersteren gibt es zwei Möglichkeiten der Erwärmung, um gekrümmte Bambusstäbe herzustellen - entweder durch Eintauchen/Wässern oder das Anwenden von Wärme. Das Einschneiden bei größeren Durchmessern oder das Bündeln von kleinen Durchmessern sind Techniken der Kaltbiegemethode. Jeder dieser Ansätze hat seine eigenen Vor- und Nachteile, sowie unterschiedliche Auswirkungen auf die ästhetischen, strukturellen und konstruktiven Aspekte. Kombinationen untereinander schließen sich dabei nicht aus.<sup>[2,3]</sup>

## HEIßBIEGEMETHODEN

Hitze ausgesetzter Bambus (> 150 ° C) ist weich und flexibel, so dass er leichter gebogen werden kann. Nachdem der Bambus abgekühlt ist, bleibt er in seiner neuen Form. Das Erreichen dieser Temperaturen kann auf zwei Arten erzielt werden:

### *Eintauchtechnik*

Feuchter Bambus ist flexibler als getrockneter Bambus – mit Hitze und Feuchtigkeit wird er also leichter formbar. Die Bambusstangen müssen in eine Wanne oder eigens angefertigte Kiste mit lauwarmem bis heißem Wasser gelegt und über Nacht eingeweicht werden (abhängig von der Größe und Dicke des Bambus kann die Einwirkzeit länger sein). Anschließend wird der Bambus z.B. zwischen Nägeln in Form fixiert, bis er nach 1-3 Tagen getrocknet ist.

Das Ergebnis gekrümmter Bambuselemente der Eintauchmethode ist eine sanfte Krümmung und Oberfläche. Die mechanischen Eigenschaften dieses gekrümmten Bambus ändern sich nicht, er hat die gleiche Druck- und Zugfestigkeit wie der ungebogene Bambus.<sup>[2,4]</sup>

### *Verbrennungstechnik*

Durch das Erhitzen eines Bambusstabes wird er flexibel, dabei ist es wichtig, die Stange allmählich zu erwärmen, statt sie zu schnell zu verbrennen und damit zu zerstören, da die Stange bei zu viel Druck oder Hitze zum Aufspalten neigt. Einer Zerstörung kann durch folgende Maßnahmen entgegengewirkt werden.

- Kleine Löcher nahe an den Knoten sorgen dafür, dass übermäßiger Dampf leicht aus den Bambusinternodien entweichen kann.
- Es sollte stets versucht werden, den Flammbrenner oder Heißluftföhn in die Richtung zu bewegen, in die der Bambus wächst. Mit anderen Worten, vom dickeren Ende in Richtung der schmalen Spitze.
- Durch Befüllen der einzelnen Kammern mit Sand, kann ein unerwünschtes Aufbersten verhindert werden.



ABBILDUNG 13: GEBAUTES BEISPIEL - OCEAN WAVE<sup>[2]</sup>

Die Installation Ocean Wave, DVK Asia (Vietnam) wurde bei der Lombok International Bamboo Architecture Festival-Veranstaltung (LIBAF) in Senggigi Beach, Lombok (2013) errichtet. Dieses Konstrukt verwendete Verbrennungstechniken, um Kurvenbambuselemente herzustellen. Das Ergebnis gekrümmter Bambuselemente der Verbrennungstechnik ist eine sanfte Krümmung und Oberfläche, es wurde jedoch eine lange Zeit (mehr als 3 Tage) benötigt, um den Bambus bis zur erwarteten Krümmung zu biegen. Manchmal ändert sich die Bambusfarbe durch direkte Erwärmung. Die mechanischen Eigenschaften dieses gekrümmten Bambus haben sich nicht geändert.<sup>[2]</sup>

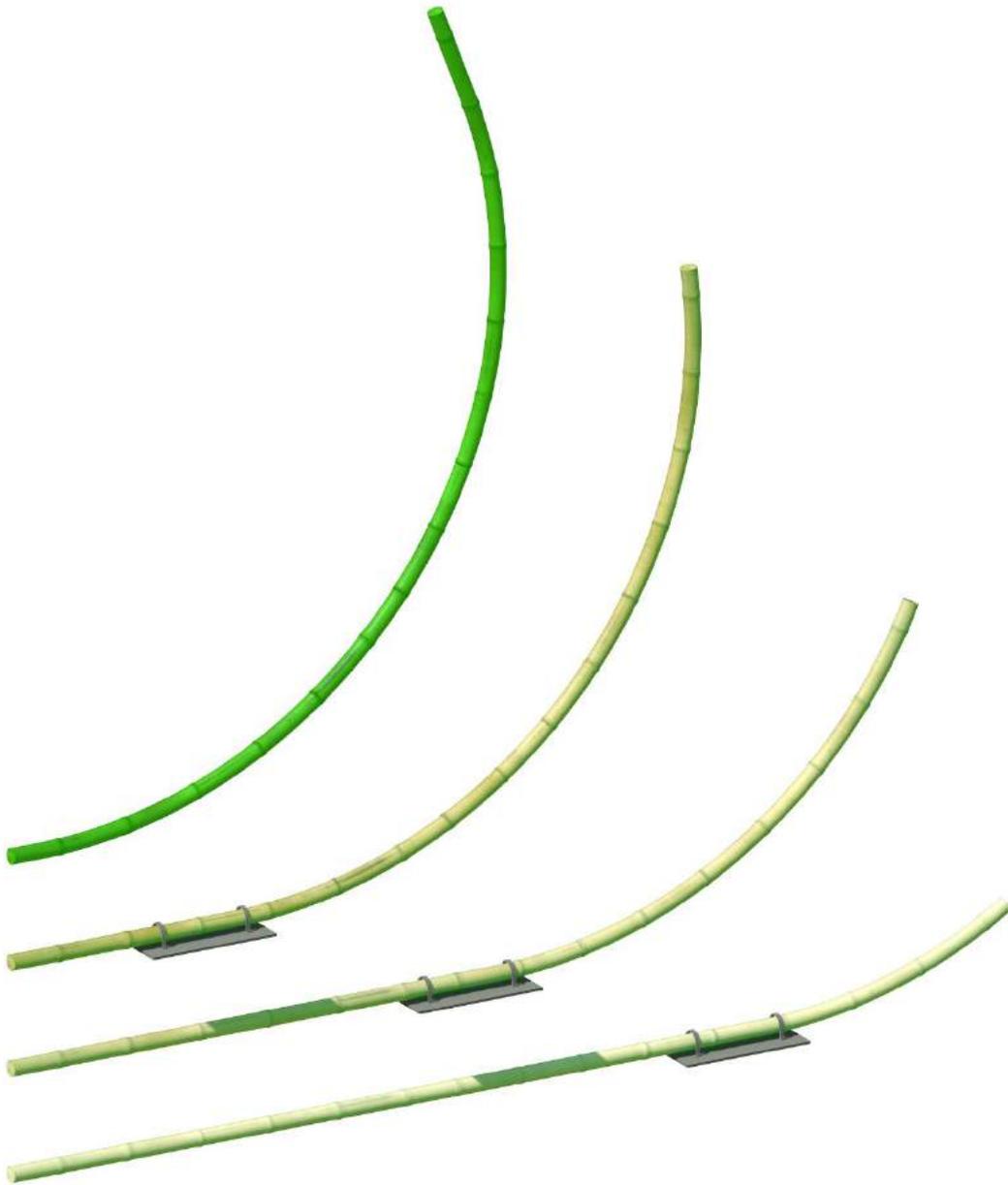


ABBILDUNG 14: STÜCK FÜR STÜCK VERFORMEN

## STÜCK FÜR STÜCK VERFORMEN

### *Aufwändig – aber bestes Resultat:*

Jedes Bambusrohr muss einzeln nach und nach erhitzt werden, ohne dabei das Material zu beschädigen und dann vorsichtig über eine Biegevorrichtung abschnittsweise der gewünschten Form angenähert werden. Dieses Verfahren ist zwar relativ aufwändig und fehleranfällig in Bezug auf die Gleichmäßigkeit, aber liefert dennoch die besten Ergebnisse, da der Druck/die Spannung im Bauteil über den gesamten Abschnitt wirken kann ohne eine punktuelle Beanspruchung darzustellen.

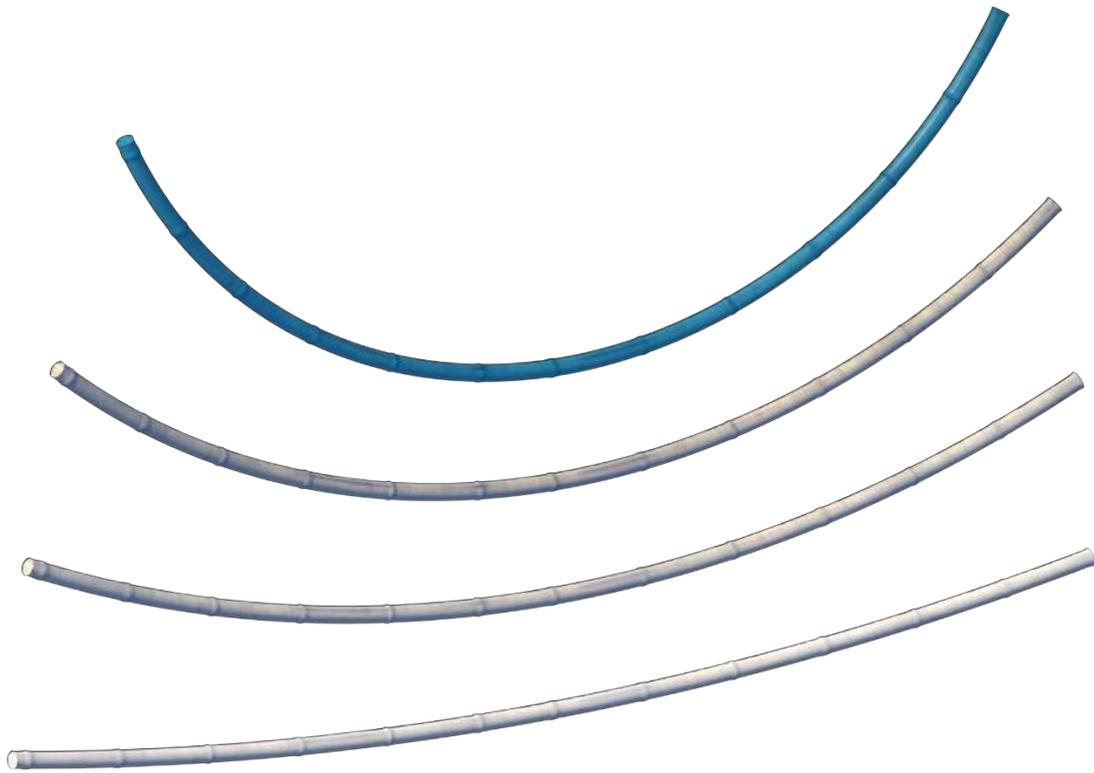


ABBILDUNG 15: IM GESAMTEN VERFORMEN

## IM GESAMTEN VERFORMEN

*Vom Ansatz her besser – aber schwer umzusetzen:*

Man bräuchte eine Art Ofen oder mit heißem Wasser befüllte Kiste von ausreichender Länge oder eine andere Vorrichtung, bei der man den gesamten Stab auf besagte 150°C erhitzt und dann mittels einer entsprechenden „Pressform/Biegemaschine“ den gewünschten Radius erzeugt, bis die Stange wieder abgekühlt ist. Problematisch hierbei ist, dass die eigentliche Biegung immer nur an den aktuellen Auflagepunkten der Druckform stattfindet und der Bambus eben an dieser Stelle zur Schädigung neigt. Bei dieser Vorgehensweise müssten einige Punkte in weiteren Versuchsanordnungen geklärt werden, um erfolgsversprechend zu sein. Wie erhitzen? Wie und womit am besten verformen? Und wie weit ist eine eventuelle ‚Rückbiegung‘ nach dem Erkalten und Lösen aus der Form (Vorrichtung?) möglich, also wie groß wäre eine eventuell nötige Überbiegung?

## KALTBIEGEMETHODEN

Das Biegen von Bambus mit der Heißbiegemethode entspricht am ehesten der Vorstellung von gebogenem Bambus, erfordert jedoch ausreichend Werkzeug und Zeit. Eine simplere Methode zum Biegen/in gebogene Form bringen ist die Kaltbiegemethode.

Indem Bambus zerschnitten oder gebündelt wird, gibt es zwei Techniken, die verwendet werden können.

### *Schnitttechnik*

Bei dieser Technik wird der Bambus mit dem Messer oder einer Säge V-förmig eingeschlitzt. Dabei gelingt es ohne Spezialwerkzeuge und in kurzer Zeit geschwungene Strukturen herzustellen.

Um Träger mit einem großen Krümmungsdurchmesser herzustellen, wird die V-Form relativ schmal geschnitten. Um einen im kleineren Durchmesser gekrümmten Bambus herzustellen, wird die Kerbe breiter geschnitten, um genügend Platz für die jeweilige Korrektur zu haben. Dabei ist die Einkerbung etwa mit einer Tiefe von zwei Dritteln des Gesamtdurchmessers auszuführen. Im Nachhinein muss der Bambus dann entweder durch Verzurren oder mit einem Klebstoff wieder fixiert werden.

Diese fragmentsweise Technik erzielt Ergebnisse bei denen der Bambus entsprechend unsanft gekrümmt ist und dessen mechanischen Eigenschaften verändert sind. Der gekrümmte Bambus hat zwar noch die gleiche Druckfestigkeit wie der nicht gebogene, jedoch nimmt die Zugfestigkeit ab. Eine Verringerung der Zugfestigkeit tritt immer dann auf, wenn die Bambusfasern zerschnitten werden. <sup>[2,4]</sup>



ABBILDUNG 16: GEBAUTES BEISPIEL – ARKOM JOGIA INSTALATION  
([WWW.FACEBOOK.COM/KARANGTARUNAPUNJULHARJO](http://WWW.FACEBOOK.COM/KARANGTARUNAPUNJULHARJO))

Sirat Juwita, ARKOM Jogja-Installation wurde bei der Kartinstalation-Veranstaltung in Rembang, Zentral-Java (2015) gebaut. Dieses Gebäude kombiniert Schnitt- und Bündelungstechniken, um Bambusbogen und -ringe herzustellen.

### Bündeltechnik

Eine in der Bündeltechnik verwendete Methode ist die Spaltung - Bambus wird geteilt, dann gebogen und gebündelt. Der gespaltene Bambus ist sehr geschmeidig und hat eine starke Zugfestigkeit, so dass er gewebt oder in gebogene Formen gebracht werden kann. Ferner können diese Bambusstreifen auch gebündelt oder in Laschen gelegt werden, um sehr starke strukturelle Elemente zu erzeugen. Diese Technik wird als gebündelter Bambusspalt bezeichnet. Mit dieser Methode können Länge und Durchmesser des gekrümmten Bambus variiert werden.



ABBILDUNG 17: GEBAUTE BEISPIELE  
([WWW.FLICKR.COM/PHOTOS/LARUTH/1505390808/](http://WWW.FLICKR.COM/PHOTOS/LARUTH/1505390808/))

Das Resultat dieser Technik ist ein Bauteil mit geschmeidiger Form, dessen Oberfläche jedoch gegenüber den Ergebnissen der anderen Methoden am rauhesten ist. Die mechanischen Eigenschaften dieses gebogenen Stabes ändern sich hierbei nicht und der gekrümmte Bambus behält die gleiche Zugfestigkeit wie der nicht gebogene – lediglich die Druckfestigkeit nimmt ab.<sup>[2]</sup>

Neben der Verwendung von Bambussplit können bei der Bündelungstechnik auch leichter zu biegende Bambusstangen mit geringem Durchmesser verwendet werden. Diese vielen kleinen Bambusstäbe würden dann wieder zu einem Strukturelement mit größerem Durchmesser verbunden werden.



ABBILDUNG 18: GEBAUTES BEISPIEL - MEGANTIGAN GREEN SCHOOL  
([WWW.DESIGNBOOM.COM/ARCHITECTURE/PT-BAMBOO-PURE-GREEN-SCHOOL-BALI/](http://WWW.DESIGNBOOM.COM/ARCHITECTURE/PT-BAMBOO-PURE-GREEN-SCHOOL-BALI/))

Mepantigan - Green School, entworfen von John Hardy, wurde in Bali gebaut. Dieses Gebäude verwendete Bündelungstechniken mit mehreren kleinen Bambusstangen, um einen gebogenen Bambusträger herzustellen. Das Ergebnis dieser Technik ist Bambus mit geschwungener Form (da er auf der natürlichen Krümmung beruht), mit jedoch rauerer Oberfläche als bei Anwendung der Heißbiegemethode. Die mechanischen Eigenschaften dieses gekrümmten Bambus haben sich nicht geändert und er hat die gleiche Druck- und Zugfestigkeit wie der gebogene Bambus.<sup>[2]</sup>



ABBILDUNG 19: SEGMENTE / ABSCHNITTSWEISE

## SEGMENTE / ABSCHNITTSWEISE

### *Einfach - aber nicht Thema:*

Aus Gründen der Einfachheit werden im Bambus-Möbelbau Bögen gerne als gestückelte und wieder verbundene, geradlinige Segmente umgesetzt – ein Ansatz, der für dieses Projekt ungeeignet ist.

### *Einfach - aber Trag-/Belastungsfähigkeit wird beeinträchtigt:*

Mittels kleiner Schnitte/Einkerbungen, die in geringem Abstand auf der Bogeninnenseite angebracht werden, lassen sich Bambusstangen mit dickerem Durchmesser in die Bogenform bringen. Je nach Dicke und Abstand der Schlitzte, lässt sich der Bambus dann mehr oder weniger stark einbiegen.



ABBILDUNG 20: VIELE DÜNNE STÄBE VERBUNDEN

## VIELE DÜNNE STÄBE VERBUNDEN

### *Ansatz der im Zweifel immer funktioniert:*

Je dünner der Bambus ist, umso leichter lässt er sich auch ohne Hitzeeinwirkung biegen, nur würde er nach jeder Deformation wieder seine ursprüngliche Form annehmen. Möchte man nun einen dickeren gebogenen Träger erzeugen, kann man ein Bündel von vielen dünnen Stäben in die gewünschte Form legen/biegen und alle Stäbe entweder auf der gesamten Länge oder in gewissen Abständen fest miteinander verbinden (z.B. verkleben). Dadurch, dass außen liegende Stäbe länger wären, würden sie die inneren in Form drücken – dadurch, dass die inneren kürzer sind, würden wiederum die äußeren in Form gezogen werden und das Bündel insgesamt, also der Träger, bliebe formstief und gebogen. Entscheidende Parameter wären hierbei die Dicke und Anzahl der Stangen, sowie Verbindungstechnik und -material.

## VERSUCHSANORDNUNG

Im Folgenden werden nun zweierlei Versuche betrachtet, zum einen das Biegen im gesamten durch Erhitzen im Ofen und Biegen per Druck-Maschine, und zum anderen die abschnittsweise Verformung durch Biegen von Hand mit Anwendung eines Heißluftföhns.

Insgesamt muss dabei festgestellt werden, dass die meisten Ansätze und Versuche nicht verliefen, wie erhofft und viele Ergebnisse nicht zufriedenstellend sind.

Mit jedem gescheiterten Versuch steigt aber sogleich der Erkenntniszuwachs bezüglich der entscheidenden Stellschrauben, womit sich eine ganze Reihe neuer Versuchsanordnungen auftun, bei denen in einem ersten Schritt die optimalen Parameter z.B. zur Art und Weise des Erhitzens, der Druckform, der Art des Biegens oder der Vorbearbeitung des Bambus ermittelt werden könnten. Schlussendlich ist ein Erfolg also nicht ausgeschlossen, was ebenfalls durch das entstandene Modell im Maßstab 1:3 unterstrichen wird.

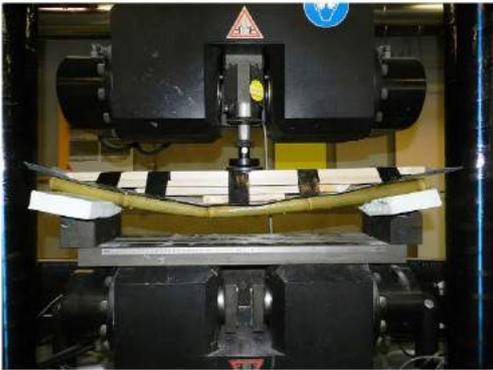
1.)



2.)



3.)



4.)



- 1.) Ofen
- 2.) Druckform
- 3.) Bambus in Biegemaschine
- 4.) Bruchstelle

ABBILDUNG 21: VERSUCHSANORDNUNG AN DER FRANKFURT-UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

ABBILDUNG 22: VERSUCHSREIHE 1



Erhitzt im Ofen bei 150-170°C,  
gebogen mit Maschine und Druckform

38mm - 50mm Durchmesser, ca. 1m Länge

ABBILDUNG 23: VERSUCHSREIHE 2



Erhitzt im Ofen bei 170-190°C,  
gebogen mit Maschine und Druckform

26mm - 33mm Durchmesser, ca. 1m Länge

ABBILDUNG 24: VERSUCHSREIHE 3



Kombination aus Einkerbungen und Erhitzen im Ofen bei 150-170°C,  
gebogen mit Maschine und Druckform

39mm - 49mm Durchmesser, ca. 1m Länge

ABBILDUNG 25: VERSUCHSREIHE 4



Kombination aus Schlitzten und Erhitzen mit Heißluftföhn,  
von Hand gebogen

19mm - 26 mm Durchmesser, ca. 2m Länge

ABBILDUNG 26: VERSUCHSREIHE 5



Kürzere mit Ofen, Längere mit Heißluftföhn erhitzt,  
punktuell von Hand gebogen

19mm - 26 mm Durchmesser, ca. 1m - 2m Länge

## FEHLER / BRUCHSTELLEN

Hier sind exemplarisch typische Fehlerstellen aufgeführt, die es zu vermeiden gilt.

Ursachen hierfür sind:

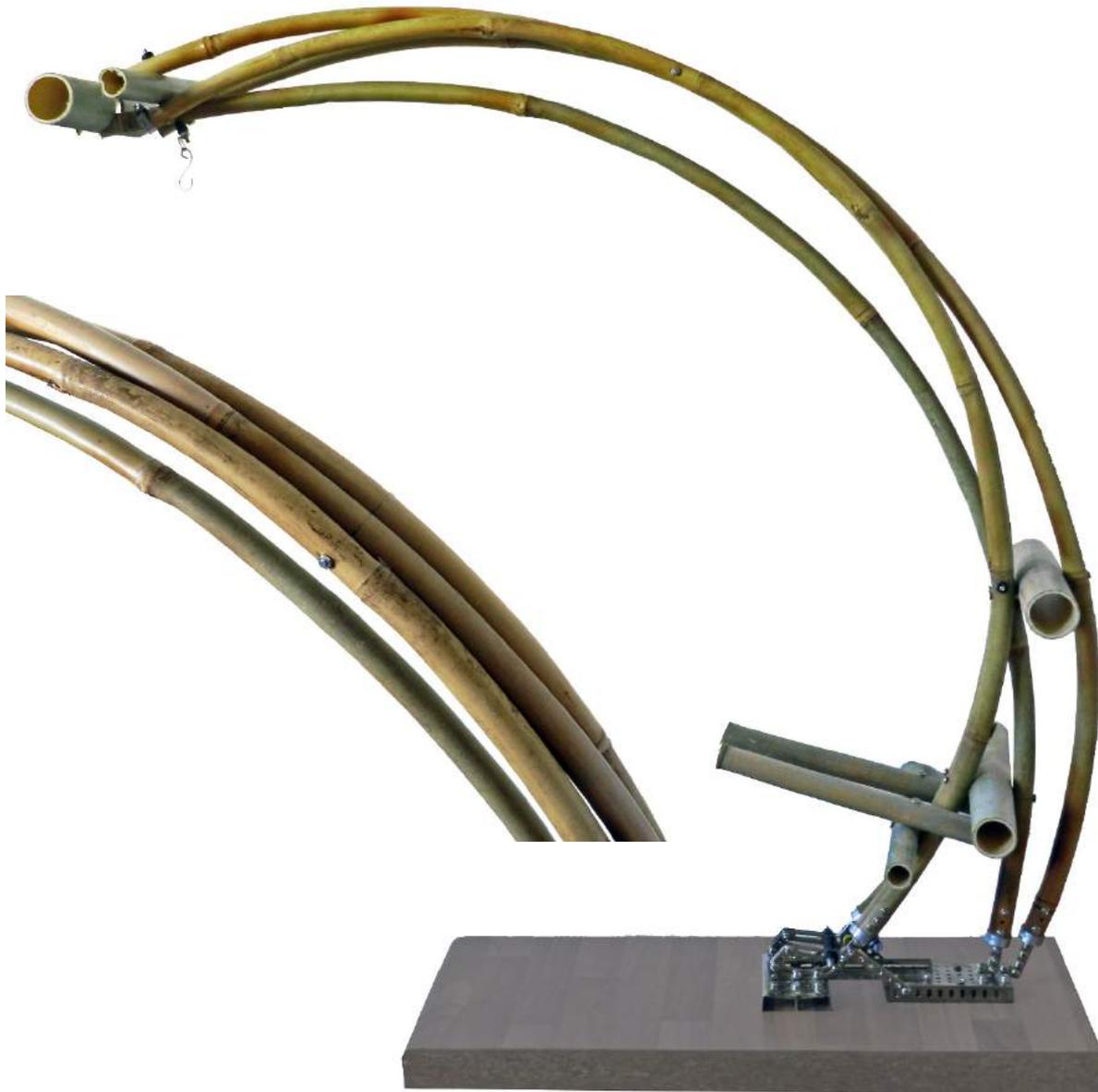
- zu hohe Hitze
- Hitze nicht ausreichend verteilt
- Rissbildung durch zu starkes Austrocknen
- Einknicken, Aufplatzen oder Dellen unter Druckpunkt
- Kraft zu konzentriert
- Platzen durch erhöhten Innendruck

Entgegenwirken durch:

- ausreichende, abschnittsweise Verteilung der zugeführten Wärme
- Spannung/Druck nicht punktuell, sondern über gesamten Abschnitt erzeugen
- kleine Entlüftungslöcher oder Befüllen mit Sand



ABBILDUNG 27: FEHLERSTELLEN



Nach einigen gescheiterten Versuchen ist es schließlich gelungen ein Modell im Maßstab 1:3 zu bauen, bei dem das Biegen ohne „Nebenwirkungen“ funktioniert hat.

Der Schlüssel hierfür liegt in der Kombination der gesammelten Erfahrungen, Geduld bei der Umsetzung des Erwärmens und Biegens, sowie der Wahl der Bambussorte.

Die entscheidenden Punkte zur Bearbeitung von Bambus, im speziellen dem Biegen, wurden bereits 1901 von Paul Nooncree sehr anschaulich zusammengetragen und haben heute noch genauso Gültigkeit wie damals. Auf den nächsten Seiten ist zusammenfassend zum Thema ein Auszug aus seinem Buch „Bamboo work; comprising the construction of furniture, household fitments, and other articles in bamboo “ angefügt.

on the bottom of the fret-cutting board (Fig. 7), as shown in Fig. 18. The strips *s*, which should be of tough wood, rounded a little in the middle, should be about 1 in. thick,  $1\frac{1}{2}$  in. wide, and as long as the board is wide.

To bend bamboo pass the end of the cane through the loop of the bending-iron and underneath the top of the bench (Fig. 17), and with the outside end of the cane in one hand, and the Bunsen burner or other heating appliance in the other, bend the cane by a gentle downward pressure,

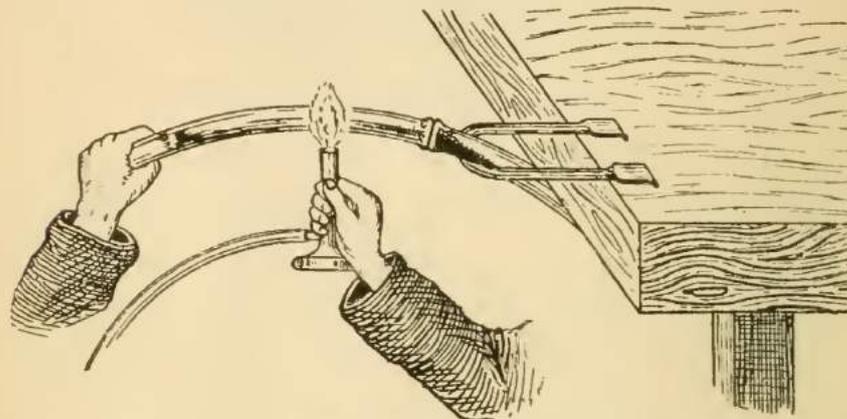


Fig. 17.—Method of Bending Bamboo.

while the part of its surface that is to form the inner curve is made hot by allowing the flame to play upon it as it is passed slowly up and down (see Fig. 17). Do not concentrate the heat, but move the flame about so that the cane is not burnt. When the cane is sufficiently pliable, a gentle pressure should be able to produce the required curve; then a wet cloth should be rubbed up and down the cane till it is cold, keeping the cane in the bending-iron and continuing the downward pressure. Canes that have been exposed very long to the weather, or that are old, can seldom be bent satisfactorily. Fresh, new canes as just imported bend the best.

When a sharp bend is required it will be better

to cool down as above described when it is bent to half the requisite curve, and resume the heating and bending after sufficient time has been allowed for the cane to cool. A cane that is bent too quickly is liable to split

When heating preparatory to bending take care not to burn the canes; revolving them will prevent this. It is best to make the bend on a part of the bamboo between the knots. But if there must be a knot where the bend is required, rasp the knot flat on the side that will form the inside of the bend, and (excepting in very thin canes) notch on the same side with a saw about a quarter through. In

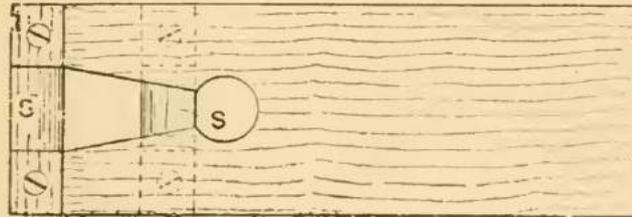


Fig. 18.—Bending-board for Bamboo.

any case, it will assist the bending operations if a few very slight saw cuts are made on the inner part of the cane required to be bent. This prevents the surface of the cane breaking away. It is not quite possible to prevent a certain amount of flattening at the bend; but this can be remedied to a great extent by using a mallet judiciously when the bend is thoroughly set, and the inner parts, where joined on to other parts, may be slightly rasped to restore the requisite roundness. If a bend is made too acute, it can be opened out by heating in the flame and pulling apart in the hands, or in the bending hook. It is not possible to bend a bamboo cane to a very acute angle without cutting out a V-shaped piece to allow for the reduced length of the inner as compared with the outer side of the cane. A slight

bend is all that can be made if the cane is to be uninjured or uncut. The bending must be done very gradually. It is better to go by easy stages if the cane is very large, hard, or tough. Of course, very large and thick canes can scarcely be bent at all. Canes stouter than  $1\frac{1}{4}$  in. or  $1\frac{3}{8}$  in. cannot be bent satisfactorily; here, joints must be made to serve the purpose.

When several pieces of bamboo are to be bent to a uniform curve, the only method is to bend the

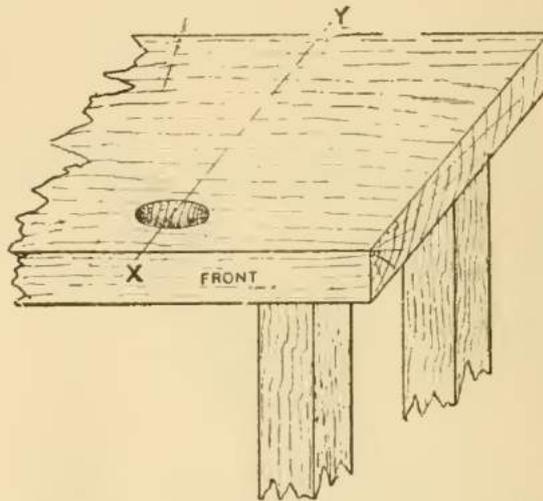


Fig. 19.—Bamboo Worker's Bench.

first piece to the required shape and then to use it as a pattern, the other bends being tested by it. If a complex bend is required, a drawing is often made on a piece of wood or paper, and the bend applied to the drawing as the work proceeds.

Cane  $\frac{3}{8}$  in. in diameter may be bent into small scrolls in the following manner. Soak the cane in water for twelve or more hours, and then hold over a Bunsen flame. When supple, wrap the cane round a peg of the size wished, and tie it there till cold.

Many professional bamboo workers, instead of using a bending iron, have a 2-in. hole, as shown in Fig. 19 bored slantingly through a very strong

bench ; the inclination of the hole is shown by Fig. 20, which is a section on line x y (Fig. 19). The cane to be bent is inserted in the hole and treated as usual. This is claimed to be the best method of bending, as when using a bending-iron there is a liability of this getting too hot, and so marking the cane. The canes to be bent should be heavy, though not more than  $1\frac{3}{8}$  in. in diameter, as the more substantial are less liable to bulge or split than the lighter ones.

It is difficult to bend bamboo by the usual method without the flame marking it ; but a method

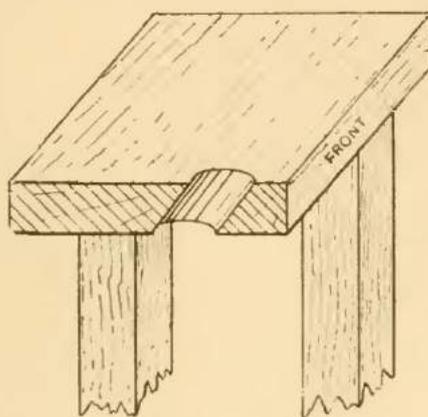


Fig. 20.—Section of Bench.

which answers when the canes must not be marked is to soak them in boiling water, and whilst hot to bend them as required. When cold the cane will permanently have assumed the shape given it.

Bamboo canes may be rendered sufficiently supple for being bent by steaming ; the time taken to soften the bamboo can be shortened by employing superheated steam. The bamboo is placed in the steaming apparatus, the lid screwed close, and the steam turned on. When the bamboo is softened, the steam is turned off ; directly the bamboo is re-  
geth  
d from the steam, it must be bent, and held so  
m  
til cold.

be A steam chest for bamboo is illustrated by Fig. 21.

The chest is made as follows:—Procure four pieces of sound deal, 1 ft. wide by  $1\frac{1}{2}$  in. thick, and about 3 ft. 6 in. long. Join the edges of these together, as shown at Fig. 22, to form a box, firmly screwing the joints and bedding them with thick white lead. Close one end with a block firmly secured with screws, and make a lid for the other end, as shown at Fig. 21. The lid is a block a little larger than the sectional area of the chest, with pieces fixed to the sides to fit over the end of the chest. On each side of the chest the lid is secured by a strap-bolt, the screwed end of which passes through the lid, and is fastened by a cross-plate and

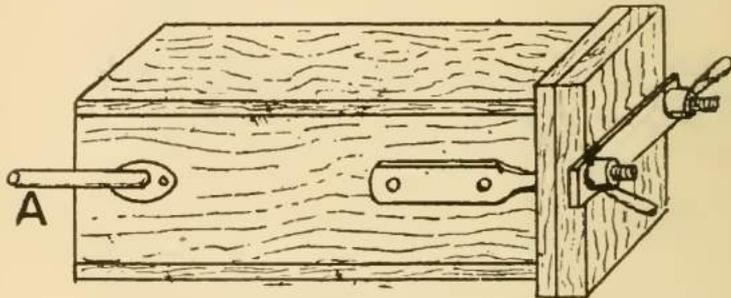


Fig. 21.—Steam-chest for Bamboo.

two wing-nuts. The chest is connected to a steam boiler by a small steam pipe, as shown at A (Fig. 21). Place the wood in the chest, turn on the steam, and proceed as before described. Do not screw on the lid too tightly, but allow it to “blow” a little. It must be remembered that though steam bending is commonly employed for ordinary woods, professional bamboo workers but rarely make use of it. The Bunsen burner and the bending iron give better results at less expense of money and of time. The steam method might have advantages for repetition work, but it is doubtful whether the amateur will find it of any use at all.

The beginner probably will split many canes on his first attempts at bending. This is due, perh

to too much heat, and consequent burning, or to insufficient heat, in which case the cane does not become pliable enough. Or perhaps the cane has been bent too quickly; a usual fault is that the heat is concentrated too much. A safe plan is to apply heat over a considerable surface and keep the burner constantly on the move, then, with one hand holding the end of the cane, by putting the pressure on gradually the cane will give slightly. Occasionally wipe the part heated with a wet rag, still keeping the cane bent; then apply more heat and again the wet rag, and so on until the required bend is obtained.

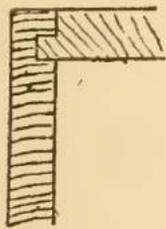


Fig. 22

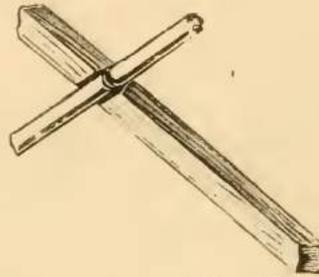
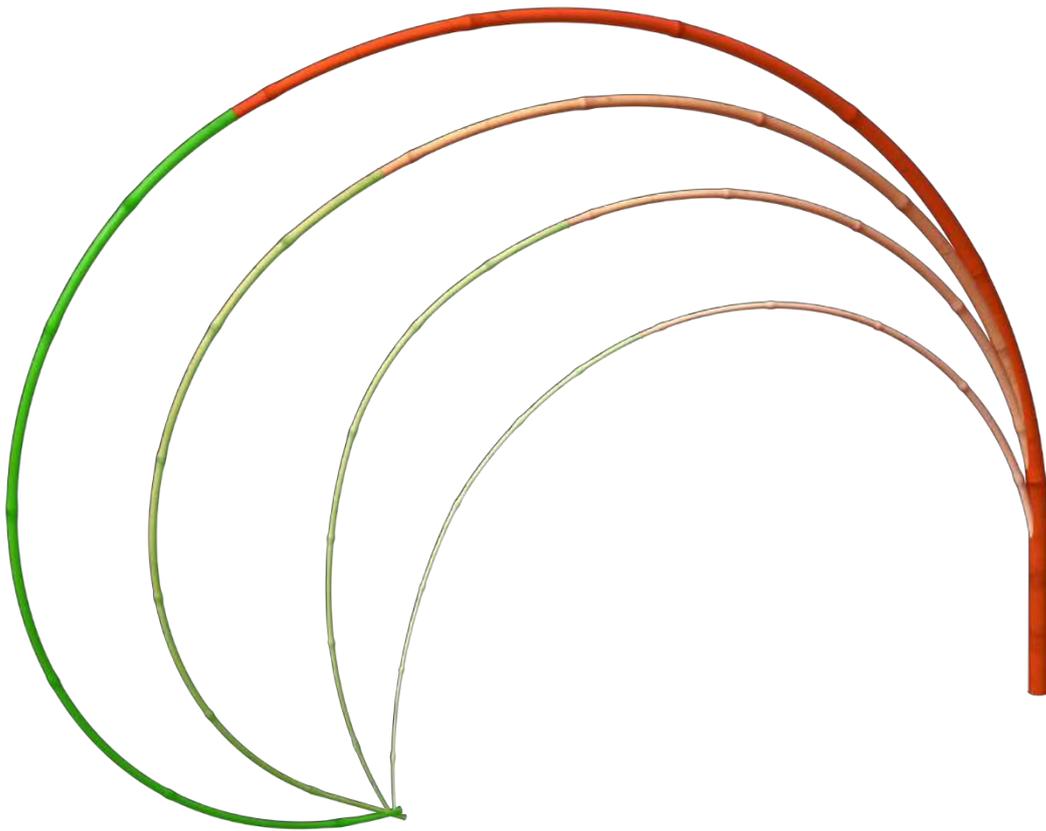


Fig. 23

Fig. 22.—Joint of Steam-chest. Fig. 23.—Method of Straightening Bamboo.

As has been said, canes may be straightened in the same way that they are bent; a very convenient tool for straightening bamboo is a piece of deal about 2 in. square and about 16 in. long, with a square groove,  $1\frac{1}{2}$  in. wide and 1 in. deep, cut obliquely across one of its sides (Fig. 23). The cane to be straightened must first be made hot in the flame of a Bunsen burner, then laid in the groove, by which it will be gripped, while the wooden tool is used as a lever to straighten it.

The joints used in bamboo work are only a few in number. For joining the ends of two canes together at right angles, in all cases a mitred joint is the most satisfactory and easiest in working, and should be adopted wherever practicable, leaving the bends



## GEBOGEN WACHSEN-LASSEN

(ABBILDUNG 34)

### *Wunschvorstellung – geht das?*

Warum kann man den Bambus nicht einfach in die gewünschte Form wachsen lassen? Bzw. wie könnte man den Bambus bereits während des Wachstums beeinflussen oder zwingen, so zu wachsen, dass die nötige Biegung gar nicht mehr erzeugt werden muss? Kleinere Abweichungen von der Idealform wären hierbei nicht dramatisch, da bei der späteren Verbindung an den Knotenpunkten schlussendlich der einzelne Stab in die finale Form gebracht und in dieser gehalten würde.

Ein Ansatz hierbei könnte sein, eine spezielle Form/Geometrie zu finden, durch die man den Bambus wachsen lässt, so dass der Durchschnitt nicht mehr Kreis-, sondern z.B. Mondsichelförmig wäre – vielleicht würde der Bambus durch eine veränderte Oberflächenspannung zu gebogenem Wachstum neigen? Eine andere Idee wäre eine Vorrichtung/Konstruktion, die entweder als Art Schiene die Wuchsrichtung vorgibt - was voraussetzen würde, dass sich der Bambusstab auch an diese Form hält ohne auszubrechen - oder etwas, das immer nur die Spitze, also den direkt wachsenden/sprießenden Teil beeinflusst und mit voranschreitendem Wachstum immer wieder neu eingestellt und ausgerichtet würde.

Ein dritter Gedanke wäre, einen jungen und noch dünnen Bambusspross (Alter/Länge müsste man ermitteln) zu nehmen und ihn mit einem Seil von der Spitze her seitlich nach unten zu biegen und am Boden oder irgendeiner Hängevorrichtung mit Gewicht (mitwachsen der Biegevorrichtung) zu befestigen. Durch Versuche müsste man herausfinden, welche Biegung, ab welchem Alter eingestellt werden müsste und ob fortlaufende Neueinstellungen im Verlauf des Wachstums nötig wären.

*Mit diesem Ansatz hat sich bereits auch schon die RWTH Aachen im Paper „Bio-based structural building components grown into near net shape“ beschäftigt, wie mir Franziska Moser vom Lehrstuhl für Tragkonstruktionen in einem freundlichen Telefonat mitteilte. Die bereits gewonnenen Erkenntnisse sollen hier einmal ins Deutsche übersetzt zusammengefasst werden.*

### *Biologischer Rahmen*

Die Hauptbiopolymere, die von Pflanzen produziert werden, sind Cellulose, Hemicellulose und Lignin, ein 3D-Biopolymer aus phenolischen Alkoholen. Diese Biopolymere bilden zusammen mit Pektin und Proteinen einen extrazellulären Komplex. Dieser extrazelluläre Komplex wird auch als sekundäre Zellwand bezeichnet - die primäre Zellwand von Pflanzen enthält kein Lignin, da die Zellen immer noch wachsen. Wenn die Zellen differenziert werden, wird die sekundäre Zellwand aufgebaut, indem Lignin und Mineralien in den Komplex aus Cellulose, Hemicellulose und Pektin eingearbeitet werden. Diese Polymere verleihen Bäumen und Pflanzenfasern ihre charakteristischen Eigenschaften und bilden letztendlich ihre „Körper“.

Die mechanischen Eigenschaften von Holzkonstruktionen können beeindruckend sein: Die Elastizitäts-, Zug-, Druck- und Bruchfestigkeit sowie die Oberflächenhärte von Holz übertreffen häufig die von herkömmlichen, nicht biologischen Materialien wie Beton, außerdem haben Holzpflanzen die Fähigkeit, ihre Topologie in Abhängigkeit von äußeren Einflüssen (z.B. mechanische Belastung) zu optimieren. Dieser kontinuierliche Optimierungsprozess der Wachstumsanpassung wird durch das Kambium reguliert, das die Holzbildung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Lastbedingungen erhöht oder verringert. Untersuchungen zu natürlichen Optimierungsprozessen haben gezeigt, dass Bäume, die sich auf künstliche Unterstützung stützen und so die mechanische Belastung des darunter liegenden Stammes verringern, ihre Wachstumsinvestitionen im weniger beanspruchten Teil des Baums reduzieren. Diese Optimierung führt nicht nur zu einer Formmodifikation, sondern auch zu einer Änderung der Gewebedichte.

Holz, das von gewöhnlich verwendeten Pflanzen erzeugt wird, wächst jedoch relativ langsam. Alternativen sind schnell wachsende Gräser mit starken Säulen wie Bambus (*Phyllostachys*) oder lignifizierende Früchte wie der Kalebassenkürbis (*Lagenaria siceraria*). Andere interessante Organismen sind Pilze, da sie eine andere extrazelluläre Matrix aus Chitin, Polysacchariden - insbesondere Glucosen - und Proteinen erzeugen. Im Gegensatz zu Pflanzen können Pilze in nahezu jede Richtung wachsen und so jedes Volumen auffüllen. Bis heute gibt es fast keine mechanischen Daten für Materialien auf Pilzbasis.

### *Die Substitutionsmethode*

Heutzutage basieren viele Produktinnovationen aus nachwachsenden Rohstoffen auf der Substitutionsmethode. Im Allgemeinen wird das natürliche Material - Pflanzen, Bäume oder Pilze - angebaut, geerntet und dann weiterverarbeitet, um die Form und die technischen Merkmale des ersetzten Objekts zu imitieren. Die Substitutionsmethode konzentriert sich also auf die funktionalen Eigenschaften des Produkts und zielt darauf ab, Schwankungen in Leistung und Form zu minimieren, um ein wirkliches Äquivalent zu dem substituierten Material zu schaffen. Diese biobasierten Produkte und Materialien unterlaufen notwendigerweise weniger Herstellungsschritte als herkömmliche Produkte und CO<sub>2</sub> wird während des Wachstums gebunden statt freigesetzt.

### *Technical Product Harvesting*

Das Konzept des Technical Product Harvesting (TEPHA) ist ein neuartiger Ansatz, der darauf abzielt, eine systematische Basis für die breite Substitution konventioneller Produkte durch nachwachsende Alternativen zu schaffen. An der RWTH Aachen arbeitet ein multidisziplinäres Forscherteam aus Architekten, Statikern, Industriedesignern, Biologen und Ökologen zusammen, um einen Ansatz zu

entwickeln, der das volle Potenzial der beiden verschiedenen Methoden der Biointegration erschließt. Ziel ist es, biobasierte Produkte zu entwickeln, die natürliche Ästhetik mit einem hohen Maß an Reproduzierbarkeit und Funktionalität verbinden.

Im Gegensatz zu den üblichen Substitutionsmethoden, die sich auf die Endbearbeitung und Verarbeitung nach der Ernte konzentrieren, konzentriert sich die Technik des Technical Product Harvesting auf eine Manipulation des Wachstumsprozesses natürlicher Ersatzstoffe. Pflanzen, Pilze oder andere Organismen durchlaufen einen Prozess der Wachstumsmanipulation, der zur Erzeugung von Halbzeugprodukten führt. Diese biobasierten Produkte können geerntet werden, sobald die gewünschte Form erreicht ist. Anschließend können sie an den Ort ihrer Anwendung verteilt und ohne aufwändige Veredelung verwendet werden. Durch das Züchten der Organismen in die gewünschte Form werden herkömmliche Produktionsschritte wie Formung oder Verbindung und somit Ressourcen in der Herstellung reduziert. Während Produktionsschritte und Energieverbrauch gesenkt werden, führt die Verwendung natürlicher Materialien sowie die Formgebung vor der Ernte zu einer Erhöhung der Recyclingfähigkeit. Gleichzeitig wird erwartet, dass die Auswirkungen der Optimierung der natürlichen Topologie und der schrittweisen Formoptimierung während des Wachstumsprozesses Komponenten mit höherer mechanischer Stabilität ermöglichen, die letztendlich zu einer effizienteren Struktur führen. Durch die Manipulation der Organismen während ihrer Wachstumsphase wird ein gewisses Maß an Reproduzierbarkeit und Standardisierung möglich. Diese Halbstandardisierung zusammen mit einem Minimum an Vorhersehbarkeit in Bezug auf Form und die grundlegenden Eigenschaften sind eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz und letztlich die breite Anwendung von biobasierten Materialien in verschiedenen Branchen.<sup>[1]</sup>

## RESULTAT

Am vielversprechendsten für die Produktion einer gewissen Menge sind als Form der „industriellen Fertigung“ der Punkt des Erhitzens und Biegen im Gesamten, wobei noch einige Parameter der Ausführung zu untersuchen und zu klären wären und als idealster, der letzte Punkt des Beeinflussens im Wachstum.

Aktuell lieferte die Technik des abschnittweisen Verformens die besten Resultate um den gewünschten Träger zu erzeugen. Nächste Schritte wären eine Reihe von Versuchen zur Wachstumsbeeinflussung, bei denen in einer ersten Phase die grundsätzliche Herangehensweise hierfür ermittelt werden müsste, um in einer zweiten Phase dann entsprechende Kenngrößen zu bestimmen.



ABBILDUNG 36: OHNE INNERE SCHALE



ABBILDUNG 35: MIT INNERER SCHALE

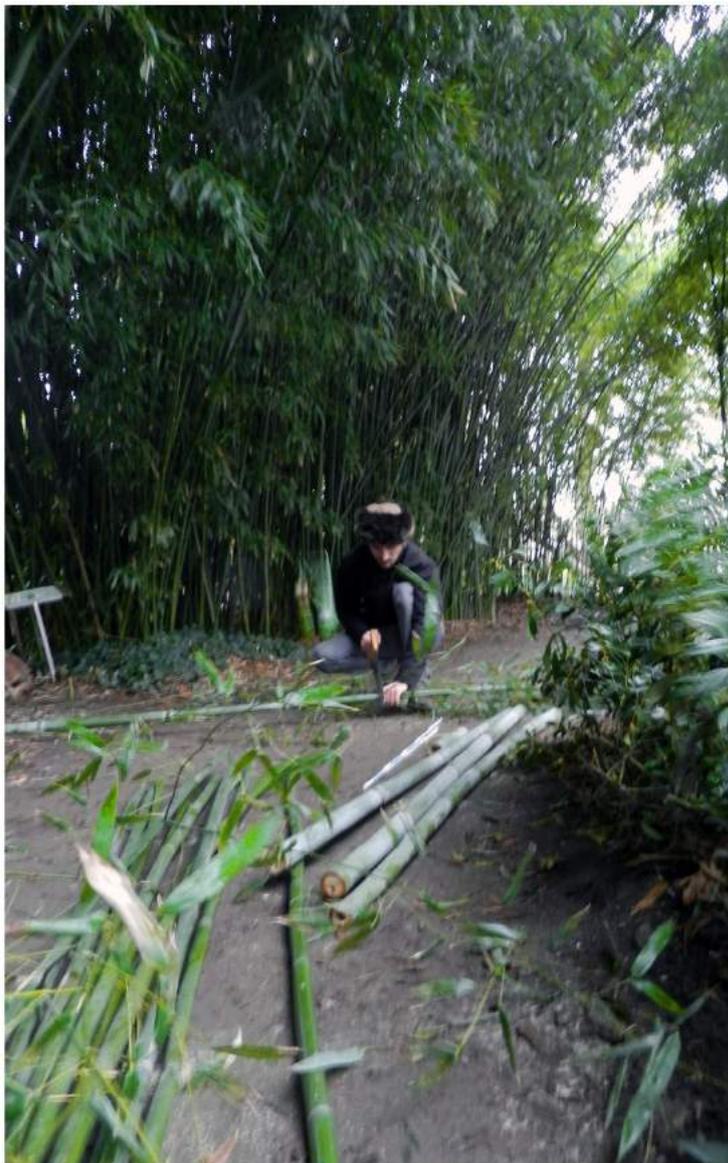


ABBILDUNG 37: BAMBUS SCHNEIDEN IM PALMENGARTEN

## PALMENGARTEN FRANKFURT

Ein besonders interessanter Punkt wäre die Kooperation mit dem Palmengarten Frankfurt und das Erarbeiten, sowie Umsetzen eines „Langzeitversuchs“ zum Ansatz des gebogen wachsen-lassens, mit dem Ziel einen Fachwerk-Prototypen gewünschter Form zu erzeugen.

Hierbei könnten dann über das Biegen hinaus auch die Ergebnisse anderer Gruppen einfließen, die sich mit Knotenpunkten und Verbindungsdetails beschäftigen. Darüber hinaus wäre auch die tatsächliche Umsetzung des gesamten Entwurfes, quasi aus „selbst-erzeugtem“ Material, entweder direkt im Palmengarten oder auf dem Gelände der Frankfurt University of Applied Sciences vorstellbar

Vielen Dank bereits jetzt an den Palmengarten Frankfurt, für das Bereitstellen von jeder Menge frischem Bambus für die ersten Proben und Versuche.



ABBILDUNG 38: AN FRANKFURT-UNIVERSITY, VOM PLATZ AUS



ABBILDUNG 40: AN FRANKFURT-UNIVERSITY, ZWISCHEN GEB.1 UND GEB.9



ABBILDUNG 39: VARIABLE REIHUNG

## QUELLEN

- [1] Structures and Architecture; Beyond their Limits / Edited by Paulo J. da Sousa Cruz, Seiten/Artikel-Nr: 137-144, 2016
- [2] Curved Bamboo Structural Element  
Anastasia Maurina, ST., MT., Department of Architecture, Parahyangan Catholic University
- [3] <http://www.payer.de/tropenarchitektur/troparch033.htm>, März 2019
- [4] Bamboo work; comprising the construction of furniture, household fitments, and other articles in bamboo, by Hasluck, Paul N. (Paul Nooncree), 1854-1931