



**Bachelor's Thesis in der Fachrichtung Baukonstruktion / Holzbau:**

## **Materialspezifische Aspekte zum Neubau einer Brücke im ecuadorianischen Regenwald**

### **Teil 2: Verbindungsmittel/Verbindungstechniken**



#### **Lehrstuhl:**

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mike Sieder

#### **Betreuer:**

Dipl.-Ing. Peter Mestek  
Dipl.-Ing. Norman Werther

#### **Verfasser:**

Alexander Braun

#### **eingereicht am:**

02. August 2010

## **Kurzfassung**

Im Rahmen dieser Arbeit werden grundlegende Informationen zu den materialspezifischen Fragestellungen der konstruktiv notwendigen Verbindungsmittel und Verbindungstechniken für die Realisierung einer Brückenkonstruktion in der Gemeinde Sharamentsa in Ecuador erarbeitet.

Hierzu ist eine allgemeine Übersicht zu verschiedenen Verbindungen verfasst worden.

Darüber hinaus wurden vor Ort verfügbare Verbindungen analysiert und auf ihre Tauglichkeit für den Brückenbau hin untersucht.

Des Weiteren galt es, detaillierte Vorschläge für die konstruktiven Verbindungen der geplanten Brückenmodelle zu unterbreiten. Hierzu wurden die einzelnen Modelle vorgestellt und entsprechende Änderungsvorschläge unterbreitet.



## **Abstract**

This Bachelor's Thesis reflects about the basic information on material specific issues of the constructive joinery, needed to develop a bridge project in the municipality of Sharamentsa, Ecuador.

A general overview about various joining methods has been written for that purpose.

In addition, the joinery on site has been analyzed and examined for its suitability for the bridge.

Furthermore, it was important to put forward detailed proposals for the design of the constructive joinery for the planned bridge models. The individual models were presented and proposals for amendments were given.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Projektbeschreibung .....	5
2	Allgemeine Verbindungsübersicht: .....	7
2.1	Druckverbindungen .....	8
2.2	Zugverbindungen .....	10
2.3	Momentenverbindungen .....	12
2.4	Querkraft .....	13
3	Traditionelle Verbindungen der Achuar-Indios.....	15
3.1	Bestandsaufnahme .....	15
3.1.1	Vorhandene Konstruktions- und Verbindungsdetails.....	16
3.1.2	Holzschutz.....	18
3.2	Herstellung .....	18
3.3	Verwendungsmöglichkeiten .....	20
4	Brückendetails.....	21
4.1	Biegesteife Hängebrücke .....	22
4.1.1	Modellbeschreibung .....	22
4.1.2	Verbindungsübersicht und Verbesserungsvorschläge .....	22
4.2	Bogenhängewerk .....	23
4.2.1	Modellbeschreibung .....	23
4.2.2	Verbindungsübersicht und Verbesserungsvorschläge .....	24
4.3	Sprengfachwerk .....	24
4.3.1	Modellbeschreibung .....	24
4.3.2	Verbindungsübersicht und Verbesserungsvorschläge .....	24
4.4	Leonardo-Brücke .....	26



4.4.1	Modellbeschreibung .....	26
4.4.2	Verbindungsübersicht und Verbesserungsvorschläge .....	26
5	Zusammenfassung .....	28
6	Literaturverzeichnis .....	29
7	Abbildungsverzeichnis.....	30
8	Tabellenverzeichnis .....	32



## 1 Einleitung und Projektbeschreibung

Das Amazonasgebiet hält und regeneriert ein Drittel des gesamten Süßwasservorkommens unserer Erde und stellt damit eines der letzten und wichtigsten Tropengebiete der Welt dar.

Nachdem mittlerweile fast ein Drittel der Menschheit mit akuter Trinkwasserknappheit zu kämpfen hat, ist es unabdingbar den Tropenwald nachhaltig zu schützen und zu erhalten. Genau dies wird durch die andauernde Abholzung jedoch stark gefährdet. Der ständige Drang des Menschen nach neuer, fruchtbarer und landwirtschaftlich nutzbarer Fläche drängt den Regenwald jeden Tag weiter zurück. Nach Angaben des WWF wurden bisher über 17% des Regenwalds im brasilianischen Amazonien abgeholzt und weitere 18% stark geschädigt.<sup>1</sup>

Neben dem Wasser bietet das Amazonasbecken vielen seltenen, unter Artenschutz stehenden Tieren ein Zuhause- es gehört zu den artenreichsten Gebieten der Welt. Fast nirgends ist die Biodiversität so hoch.

Des Weiteren werden in Ecuador riesige Erdölvorkommen vermutet, weswegen auch Erdölfirmen in den Wald drängen und diesen somit noch zusätzlich gefährden.

Ein Teil des Waldes wurde vor mittlerweile fast 40 Jahren von der ecuadorianischen Regierung den verschiedenen Stämmen der Indios zugesprochen – allerdings nur die obersten 30 cm des Bodens. Der Rest wurde schon lange an Erdölfirmen verkauft, welche nun nur noch durch die dort lebende Bevölkerung abgehalten werden.

Um den Indios bei diesem Vorhaben zu helfen muss die Aufmerksamkeit der Weltbevölkerung langfristig auf den Regenwald gerichtet werden.

Dazu müssen die Völker bei vielen infrastrukturellen Maßnahmen unterstützt werden um die Lebensqualität in den Dörfern zu steigern. So werden Trinkwasserversorgung, Mülltrennung und Biotoiletten gebaut und die Einwohner mit der Benutzung vertraut gemacht. Ein weiterer Punkt ist die Vermittlung von Bildung und des Kontakts zur Außenwelt. Strom und Internet zählen dabei zu den wichtigsten Mitteln.

Nun soll der ständige Kontakt zur Außenwelt verbessert und Wissenschaftler dabei unterstützt werden, den Regenwald weiter zu erforschen um so einen Schutz langfristig und nachhaltig zu gewährleisten. Dazu wird im Dorf der Achuar-Indios namens Sharamentsa eine Urwaldakademie errichtet. Das Dorf liegt ca. 500 km von der Hauptstadt Quito entfernt am Rio Pastaza, einem Zufluss des Amazonas und direkt im zu schützenden Amazonasgebiet. Durch den

---

<sup>1</sup>WWF Deutschland im "WWF Magazin" 4/07



Wissenschaftstourismus soll die Zukunft des Dorfes langfristig gesichert werden, da die Zusammenarbeit mit Universitäten auf der ganzen Welt die Aufmerksamkeit der Bevölkerung auf die entlegenen Gebiete richtet und so die verschiedenen an den Ressourcen interessierten Unternehmen auf Dauer vom Amazonasbecken ferngehalten werden können.

Die bauliche Umsetzung der neuen Akademie stellt die Planer vor viele Herausforderungen. Nachdem bereits eine Gruppe von Architekturstudenten der Hochschule München eine Ortsbesichtigung vorgenommen und Pläne zur Gestaltung der selbigen entworfen hat, gibt es noch einige weitere Fragestellungen hinsichtlich der Realisierung der genannten Akademie.

Neben den für Europäer klimatisch völlig neuartigen Bedingungen beim Bau der Akademie muss zum Erreichen selbiger auch ein fast 23 m langer und 8,5 m tiefer Graben überwunden werden. Eine Brücke ist in diesem Fall unabdingbar. Wichtig beim Bau der Brücke ist vor Allem, die Kosten gering zu halten und eine nachhaltige Bauweise um möglichst ohne importierte Baustoffe auszukommen. In diesem Zusammenhang wurde einigen Studenten der Technischen Universität München die Möglichkeit gegeben, die Problematik in Abschlussarbeiten zu erläutern und Lösungsvorschläge zu erarbeiten.

Insgesamt sind an dem Projekt vier Studenten beteiligt. Dabei wird in einer Diplomarbeit der Gesamtentwurf der Brücke entwickelt sowie in zwei Bachelorarbeiten die dafür erforderlichen Grundlagen hinsichtlich der Materialwahl und der Verbindungstechnik erarbeitet. Eine weitere Bachelorarbeit befasst sich zusätzlich mit bauphysikalischen Aspekten im Regenwald.

In Rahmen dieser Bachelorarbeit werden die Verbindungen der einzelnen Brückenentwürfe untersucht. Dabei werden Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet und die Umsetzbarkeit durch die indigene Bevölkerung untersucht. Zusätzlich wird eine Gesamtübersicht über aktuelle und traditionelle Verbindungen gegeben und auf die bisher von den Indios genutzten Verbindungen eingegangen.

## 2 Allgemeine Verbindungsübersicht<sup>2,3,4</sup>

Im Folgenden wird eine Übersicht über diverse Holzverbindungen gegeben. Diese kann selbstverständlich in keiner Weise einen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, da dies den Umfang dieser Arbeit übersteigen würde. Deswegen werden einige repräsentative Beispiele, interessante traditionelle Verbindungen sowie aktuelle Entwicklungen einen Einblick in die vielfältigen Möglichkeiten geben, Holz in konstruktiver Weise zu verbinden.

Grundsätzlich besteht eine Holzverbindung aus mindestens zwei Holzelementen die durch Formschluss oder unter Anwendung anderer Materialien und Konstruktionselemente, wie Leim, Metall oder andere Baustoffe zusammengefügt werden.

Eine sinnvolle Sortierung lässt sich durch die Belastungsart vornehmen. Alternativ wäre eine Kategorisierung nach zimmermannsmäßigen Verbindungen, Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln oder geklebte Verbindungen möglich. Der Begriff „zimmermannsmäßige Verbindungen“ umfasst gemäß DIN 1052<sup>5</sup> die im traditionellen Holzbau häufig verwendeten Verbindungen. Dazu zählen die Verblattung, die Versatzung, die Verzapfung sowie die Verkämmung. Diese sind im Rahmen des geplanten Brückenbaus besonders interessant, da sie funktionsorientiert und verständlich aufgebaut sind.

Neben der technischen Fertigung spielt bei der Qualität einer Verbindung das Holz eine sehr große Rolle. Zu beachten sind unter anderem die Lage der Holzfasern sowie die Holzfeuchte. Nachdem Jahrringe bei Bäumen durch klimatische Einflüsse des Jahreszeitenklimas entstehen, im Regenwald jedoch Tageszeitenklima herrscht, haben Bäume im Urwald kaum Jahresringe und damit eine sehr homogene Struktur. Speziell für Verbindungen ist außerdem das maximale Schwindmaß von besonderer Bedeutung. Es beschreibt die Dimensionsänderung unter Feuchteabgabe zwischen dem grünen und dem darrtrockenen Zustand, also dem schlagfrischen und dem vollständig getrockneten Holz. Wenn sich das Holz während des Trocknens zusammenzieht kann dies zu großen Verformungen führen. Allerdings ist das absolute Schwindmaß bei Tropenhölzern mit maximal ca. 8% gering und nachdem im humiden Warmtropenklima<sup>6</sup> mit hoher Wahrscheinlichkeit keine vollständige Trocknung des Holzes zu erwarten ist, sind unter dem Aspekt der Maßhaltigkeit die Voraussetzungen für Verbindungen ideal.

---

<sup>2</sup>(Holzverbindung - Wikipedia, 2010)

<sup>3</sup>(Graubner, 1987)

<sup>4</sup>(Alles für Schreiner - Holzverbindungen, 1996 - 2010)

<sup>5</sup>(DIN 1052, 2008)

<sup>6</sup>(Diercke Weltatlas, 2002)



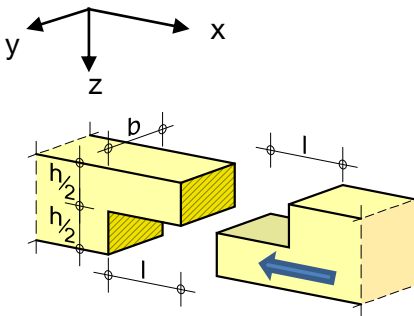
Für die Erleichterung der Brücken- und der dazugehörigen Verbindungsplanung ist nachfolgend eine Sortierung hinsichtlich der Belastungsart aufgeführt. Unterschieden wird zwischen Druck-, Zug-, Momenten- und Querkraftverbindungen. Die zusätzliche Beschreibung gibt einen kurzen Einblick in Vor- und Nachteile der jeweiligen Typen. In dieser Übersicht liegt das Augenmerk auf reinen Holzverbindungen, da das Hauptkriterium die schnelle und leichte Herstellung durch die Indios ist. Darüber hinaus ist es von großer Bedeutung, möglichst ausschließlich auf vorhandenes Material zu setzen um nachhaltig zu bauen.

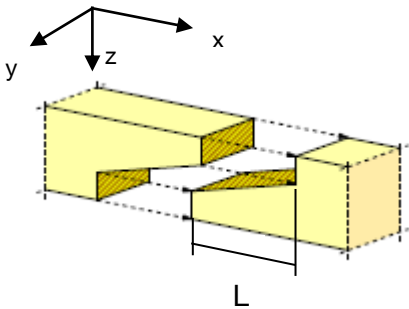
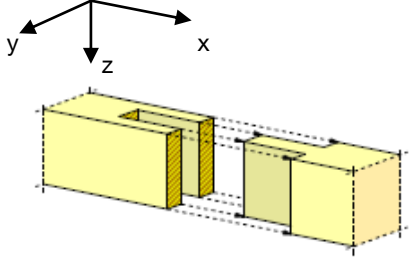
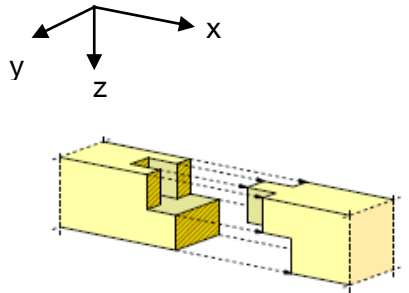
Die Grafiken wurden zum Teil der Webseite des Bundesbildungszentrums des Zimmerer- und Ausbaugewerbes entnommen.

## 2.1 Druckverbindungen

Der Großteil der betrachteten Verbindungen lässt sich auf Druck belasten. Um eine sinnvolle Strukturierung zu erhalten, wird hier jedoch nur auf Verbindungen eingegangen, die primär Druckkräfte in Faserrichtung der zu verbindenden Bauteile übertragen.

Tabelle 1: Übersicht Druckverbindungen

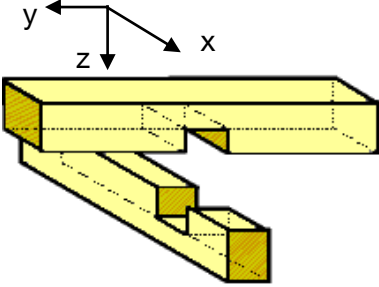
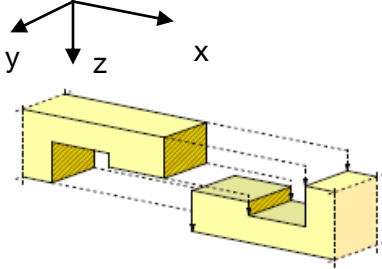
Name	Beschreibung	Bild
<p><b>Gerades Blatt</b></p>	<p>Eine sehr simple, zimmermannsmäßige Verbindung, welche einfach vor Ort herzustellen ist. Bei der Blattung werden die zu verbindenden Hölzer jeweils zur Hälfte ausgenommen. Im Gegensatz zum klassischen Stoß bestehen hier immer 3 Kontaktflächen. Neben der Druckaufnahme können auch lotrechte Verschiebungen verhindert werden. Das klassische Blatt dient meist zum Verlängern von Balken. Belastung auf Zug oder Biegung können kaum aufgenommen werden, da diese Kräfte nur von den zur Fixierung nötigen Nägeln aufgenommen werden können.</p>	 <p>Abbildung 1: gerades Blatt</p>

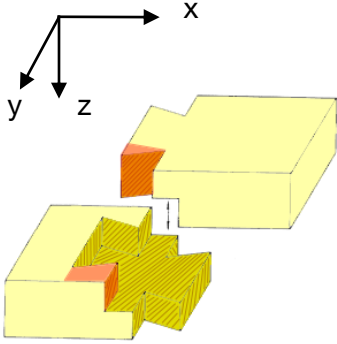
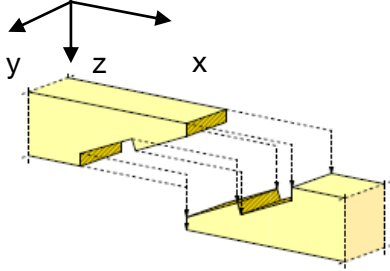
<p><b>Gerberblatt</b></p>	<p>Das Gerberblatt ist eine weiterentwickelte Form des geraden Blattes. Der Vorteil liegt hier in der angeschrägten Kontaktfläche, da bei der selben Blattlänge <math>L</math> eine größere Auflagerfläche in <math>z</math>-Richtung entsteht und gleichzeitig der Querschnitt am Ende der Verbindung vergrößert wird. Somit ist dieses Blatt besser dazu geeignet, Querkräfte abzutragen.</p>	 <p>Abbildung 2: Gerberblatt</p>
<p><b>Zapfenstoß</b></p>	<p>Der Zapfenstoß kann mit seinem mittig angeordneten Zapfen neben Druck auch Querkräfte in <math>y</math>-Richtung aufnehmen. Zusätzlich verhindert er wirksam das Verdrehen der Balken gegeneinander. Durch die Ausnahme des Schlitzes ist diese Verbindung etwas schwerer herzustellen als das Blatt und erfordert eine größere Passgenauigkeit.</p>	 <p>Abbildung 3: Zapfenstoß</p>
<p><b>Zapfenblattstoß</b></p>	<p>Der Zapfenblattstoß ist eine Kombination der beiden vorherigen Verbindungen. Hier ist ein Schutz vor Verschiebung sowohl in waagrechter als auch in senkrechter Richtung gegeben. Auch Verdrehungen können verhindert werden.</p> <p>Falls diese Verbindung statisch auf Abscheren in <math>z</math>-Richtung berechnet wird, muss die Verbindung sehr passgenau gefertigt werden um eine homogene Druckfläche über den gesamten Querschnitt zu erzeugen.</p> <p>Da diese Verbindung insgesamt einfach herzustellen ist, wird sie häufig genutzt. Durch zusätzliche Laschen oder Metalleinlagen kann sogar eine Zugfestigkeit hergestellt werden.</p>	 <p>Abbildung 4: Zapfenblattstoß</p>

## 2.2 Zugverbindungen

Zugverbindungen sind sehr anspruchsvolle Verbindungen, da bereits kleine Ungenauigkeiten bei der Fertigung die Belastbarkeit massiv einschränken können. Sie funktionieren in der Regel nach dem Prinzip der Verkeilung oder Überlappung. Aus diesem Grund ist besonders zu beachten, dass nur ein kleiner Teil des eigentlichen Holzquerschnitts die Zugkraft aufnimmt. Dadurch sind sie im Vergleich zu Druckverbindungen weniger belastbar.

Tabelle 2: Übersicht Zugverbindungen

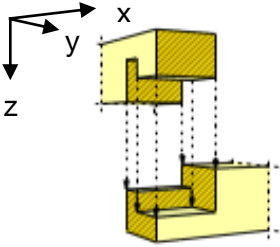
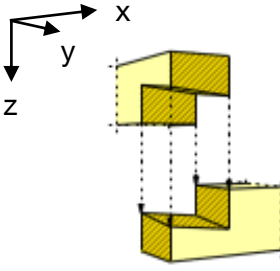
Name	Beschreibung	Bild
<p><b>Kreuzblatt</b></p>	<p>Das Kreuzblatt ist eine schnell herzustellende, praktische Verbindung. Aufgrund der Ausnehmung der beiden durchlaufenden Balken wird die Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion halbiert, jedoch hat sie den Vorteil, dass die verbundenen Balken ohne Zerteilung weitergeführt werden können und trotzdem eine Verbindung möglich ist.</p>	 <p>Abbildung 5: Kreuzblatt</p>
<p><b>Hakenblatt</b></p>	<p>Das normale Hakenblatt, ist die einfachste auf Zug belastbare Verbindung. Bei der Herstellung werden erst 5/8 der Balkenhöhe eingeschnitten, im überlappenden Teil dann entsprechend 3/8. Dadurch kann die Zugkraft auf 37,5% und falls Abscheren maßgeblich wird noch auf 25% des Querschnitts wirken. Auch hier ist wie bei nahezu allen Blattungen eine Fixierung durch Nägel sinnvoll.</p>	 <p>Abbildung 6: Hackenblatt</p>

<p><b>Doppelter Schwalbenschwanz</b></p>	<p>Wie alle Schwalbenschwanzverbindungen ist diese schwer herzustellen. Sie kann hauptsächlich Zugkräfte aufnehmen, bei genauerer Verarbeitung auch Momentenbelastungen. Allerdings ist sie sehr schwer herzustellen und auch wegen der schlechten Passgenauigkeit nach dem Schwinden des Holzes meist nicht zu empfehlen.</p> <p>Zusätzlich ist bei dem Schwalbenschwanz die Schräge der Zinken für die Haltbarkeit von besonderer Bedeutung, da bei zu schrägen Zinken die Gefahr besteht, dass das Seitenholz der Schwalbe keilförmig abschert. (die betroffenen Bereiche sind in der Abbildung rot markiert)</p>	 <p><i>Abbildung 7: doppelter Schwalbenschwanz</i></p>
<p><b>Schräges Hakenblatt</b></p>	<p>Das schräge Hakenblatt ist eine leicht herzustellende, jedoch vielseitige Verbindung, welche im Ausgangszustand sehr gut auf Druck und Zug belastbar ist. Durch eine Verkeilung der Haken nach dem Prinzip des Schwalbenschwanzes kann diese Verbindung sogar Momentenbelastungen übertragen, was sie zu dem vorteilhaftesten Blatt macht.</p>	 <p><i>Abbildung 8: schräges Hakenblatt</i></p>

### 2.3 Momentenverbindungen

Verbindungen, die Momentenbelastungen aufnehmen können, sind selten und meist schwer zu fertigen, da dieser besondere Belastungsfall die Verbindung in sich selbst verdreht. Diese Belastung können nur wenige Verbindungen gut aufnehmen.

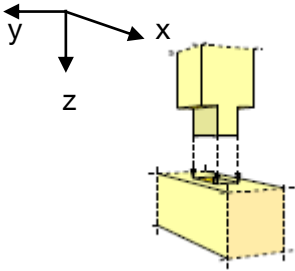
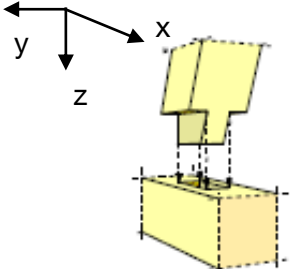
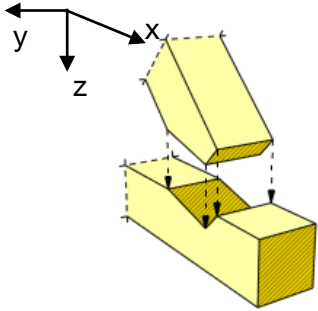
Tabelle 3: Übersicht Momentenverbindungen

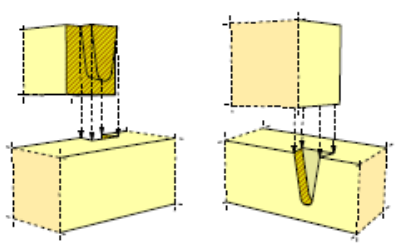
Name	Beschreibung	Bild
<p><b>Schwalbenschwanz-eckblatt</b></p>	<p>Das Schwalbenschwanz-eckblatt ist eine komplexere Verbindung, deren Herstellung eine Erfahrung benötigt. Die Verbindung hält sehr gut, auch ohne Fixierung durch Nägel, jedoch besteht das Risiko des Abscherens.</p>	 <p>Abbildung 9: Schwalbenschwanz-eckblatt</p>
<p><b>Schräges Eckblatt</b></p>	<p>Diese Verbindung ist im Ausgangszustand noch wenig tragfähig, zieht sich bei einer Momentenbelastung jedoch zusammen. Trotzdem sollte der Eckpunkt zusätzlich eingespannt werden, um Abscheren zu vermeiden. Durch seine einfache Herstellung ist das schräge Eckblatt eine gute Wahl, jedoch ist die mögliche Druckaufnahme wegen der großen Ausnehmung relativ gering.</p>	 <p>Abbildung 10: schräges Eckblatt</p>

## 2.4 Querkraft

Querkraftverbindungen haben in der Regel den Vorteil, dass sie einen Balken parallel zur Faser stoßen und das Holz in dieser Belastungsrichtung sehr stabil ist.

Tabelle 4: Übersicht Querkraftverbindungen

Name	Beschreibung	Bild
<p><b>Gerader Zapfen</b></p>	<p>Zapfen gehören zu den am häufigsten verwendeten Verbindungen. Durch ihren primären Zweck, Querkräfte zu übertragen, kommen sie häufig in Fachwerkbauten vor.</p>	 <p>Abbildung 11: gerader Zapfen</p>
<p><b>Schräger Zapfen</b></p>	<p>Der schräge Zapfen ist eine Sonderform des geraden Zapfens. Die Herstellung ist im Vergleich zur Blattung mühsam, da der Schlitz exakt angefertigt werden muss.</p> <p>Diese Verbindung ist aufgrund ihrer vielseitigen Belastbarkeit variabel einsetzbar. Neben Querkräften können auch Druckkräfte aufgenommen werden.</p>	 <p>Abbildung 12: schräger Zapfen</p>
<p><b>Versatz</b></p>	<p>Der Versatz als Druck-/Querkraftverbindung wird als Stirn-, Brust- oder Fersenversatz ausgeführt. Die Verbindung muss in ihrer Lage durch Nägel, Laschen oder Bolzen gesichert werden. Durch die hohe Druckfestigkeit von Holz parallel zur Faser, ist diese Verbindung sehr stabil. Die Fertigung ist einfach, jedoch muss sehr sauber gearbeitet werden, da bei ungenauem Stoß lokale Überbeanspruchungen auftreten.</p>	 <p>Abbildung 13: Versatz</p>

<p><b>Schwalben- schwanz- verbindung</b></p>	<p>Die Schwalbenschwanzverbindung ist eine verborgene Verbindung, das bedeutet, dass man die Verbindungstechnik selbst nicht sieht. Sie eignet sich vor Allem für architektonisch hochwertige Tragwerke und kann sogar auf Zug belastet werden. Die Herstellung ist wegen der spitz zulaufenden Form allerdings sehr kompliziert.</p>	 <p>Abbildung 14: Schwalbenschwanzverbindung</p>
--	---	---

### **3 Traditionelle Verbindungen der Achuar-Indios**

Im Rahmen der Studienreise nach Sharamentsa wurden auch die bereits verwendeten Verbindungen der Achuar-Indios untersucht. Nachdem die Völker sich erst in den siebziger Jahren sesshaft gemacht haben, wurden bis zu diesem Zeitpunkt meist nur Unterkünfte für wenige Wochen oder gar Tage gebaut. Die in diesem Zusammenhang verwendeten Verbindungen waren extrem einfach und wurden mit Macheten hergestellt.

Die aktuell verwendeten Verbindungen sind nach wie vor sehr simpel und werden von den Indios schnell gefertigt. Nachdem es mittlerweile Motorsägen und weitere technische Geräte wie zum Beispiel eine Hobelmaschine im Dorf gibt, sind auch präziser gearbeitete Ausführungen möglich, allerdings werden der Fortschritt und die damit verbundenen Möglichkeiten bisher selten genutzt. Von den Einwohnern werden nach wie vor traditionelle Hütten mit einfachen, durch Macheten bearbeiteten Bauteilen bevorzugt. Da jedoch nach und nach auch hygienische Aspekte in den Vordergrund rücken, wird sich dies auf kurz oder lang ändern. So wurde für den querschnittsgelähmten Mediziner eine behindertengerechte, aufgeständerte Hütte mit Holzboden realisiert. Dafür mussten maßgefertigte Holzlatten und entsprechend darauf abgestimmte Tragkonstruktionen mit exakten Verbindungen hergestellt werden. Dies zeigt, dass es durchaus möglich ist, vor Ort passgenaue Verbindungen zu konstruieren.

#### **3.1 Bestandsaufnahme**

Nachdem die geplante Brücke möglichst nachhaltig gebaut werden soll, ist unter der gegebenen Voraussetzung Holz für die Tragkonstruktion unverzichtbar, da zusätzliche Baustoffe, wie zum Beispiel Stahl, im Regenwald nicht vorhanden sind und per Boot importiert werden müssen. Da Brückentragwerke aus Gewichtsgründen nicht zu groß dimensioniert werden können, besteht bei schlecht verarbeitetem Material eine erhöhte Einsturzgefahr. Dementsprechend wichtig ist es, sicherzustellen, dass alle Bauteile mit der notwendigen Genauigkeit hergestellt werden.

Aus diesem Grund wurden die Häuser der Indios auf ihre Verbindungsdetails hin untersucht um zu prüfen, ob bereits vorhandene Verbindungen für die Brücke verwendet werden können. Diese wären im Falle ihrer Tauglichkeit definitiv zu bevorzugen, da eine detaillierte Erklärung und Einarbeitung in eventuelle Alternativen wegfällt.



### 3.1.1 Vorhandene Konstruktions- und Verbindungsdetails



Für tragende Konstruktionen, wie hier die Aufständering beim Schulgebäude (Abbildung 1) werden bereits zimmermannsmäßige Verbindungen eingesetzt. In diesem Fall sogar eine schräge Verblattung, welche auf einem Betonfundament gelagert ist.

Abbildung 15: Verblattung

Bauwerk zu realisieren.

Es ist eindeutig, dass ohne die Hilfe von außerhalb kein solches Gebäude entstehen hätte können. Nur dank des Imports von Beton, technischem Gerät und des entsprechenden Fachwissens sind die Ureinwohner in der Lage gewesen, dieses

Die Verbindung in *Abbildung 16* zeigt die Unterkonstruktion des Daches des Gemeindehauses. Wegen der Größe dieses Gebäudes und dem damit verbundenen Gewicht der Dachdeckung aus Blattwerk wurden sehr harte Hölzer verwendet. Der Stoß (Kennzeichnung: rot auf grün) und die leichte Anblattung des Durchlaufträgers zeigen wieder gute Grundlagen für funktionierende Verbindungstypen.



Abbildung 16: Stoß

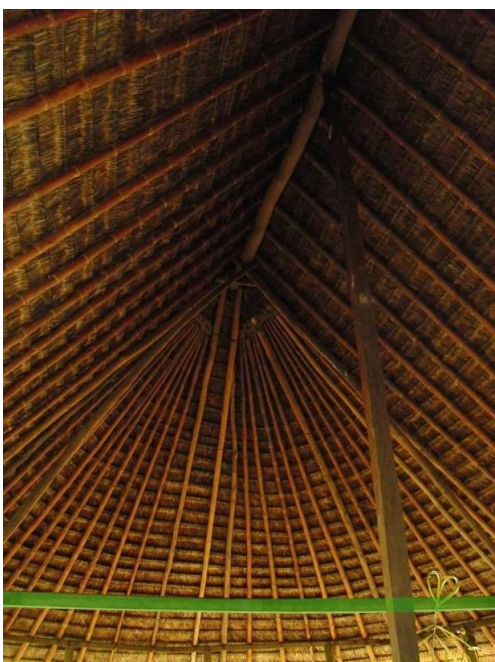


Abbildung 17: Innenansicht des Dachstuhls

Der Dachstuhl ist in den traditionell gebauten Häusern stets gleich aufgebaut. Die ca. 30cm im Boden versenkten Stützen rund um das Gebäude werden oben wie ein Ringanker verbunden, wobei in diesem Fall eher symbolisch von einer Verbindung gesprochen werden kann, da diese kaum Kraft aufnehmen kann (*Abbildung 18*). Zusätzlich stärken 2 Querstreben die Tragkonstruktion (siehe *Abbildung 16 und 3*, grüner Balken). Darauf werden jeweils von den Enden zwei Sparren nach oben geführt um die Firstpfette zu stützen. Insgesamt entspricht diese Konstruktion also einem Sparrendach. Allerdings werden die restlichen Sparren aus Bambus nur aufgelegt und

nutzen die Firstpfette und den umlaufenden Deckenbalken als Auflager. Somit entsteht eine Mischform aus Sparren- und Pfettendach.

Je nach Größe des Hauses und dem daraus resultierenden Gewicht des Daches werden in der Bauphase spontan zusätzliche Stützen, wie in *Abbildung 17* zu sehen, nachgerüstet.

Die in *Abbildung 18* umlaufenden Dachbalken werden mit ausgehöhlttem Kopfholz fixiert. Die Formgebung ist reine Verzierung. Die Verbindung der Dachbalken ist mit einfachen pflanzlichen Seilen gelöst.



*Abbildung 18: Fixierung von Dachbalken*

Interessant ist in diesem Fall auch die Konstruktionsweise: Die Hölzer werden gebogen und liegen teilweise nicht auf den Stützen auf. Die wird erst durch das Gewicht des Daches erreicht. Für den späteren Bau der Brücke muss darauf geachtet werden, dass den Indios vermittelt wird, wie wichtig eine exakte Fertigung der einzelnen Bauteile ist und dass Abweichungen zusätzliche Gefahren in sich bergen.



*Abbildung 19: genagelte Firstpfette*

Zu den neuen Verbindungstechniken der Achuar gehört auch die Nagelverbindung. Jedoch besteht hier – wie bei jeder neuen Technik - das große Problem, dass die Indios keine Erfahrung mit richtiger Dimensionierung haben und dementsprechend viel zu provisorisch bauen.

Die schweren Stützbalken werden nur mit einem Nagel befestigt. Eine Vorbohrung des harten Tropenholzes erfolgt nicht, weswegen beim Eintreiben der Nägel eine Holzspaltung auftreten kann. Zusätzlich wird nicht auf einen Mindestabstand zum Rand des Balkens geachtet, was die Tragfähigkeit zusätzlich einschränkt. Die vollendete Konstruktion hält auf Dauer nur, weil sich die einzelnen Balken gegenseitig abstützen.

### 3.1.2 Holzschutz

Mit der Niederlassung und dem dauerhaften Häuserbau kamen auch Schädlingsprobleme zu den Ureinwohnern. Besonders Insekten nisten sich in den Dächern ein und schädigen diese dauerhaft. Zusätzlich setzt der häufige Regen den Dächern enorm zu. Deswegen werden die Dächer täglich durch kleine Feuerstellen, die auch zum Kochen genutzt werden, geräuchert. Holzverbindungen werden zusätzlich mit einer Mischung aus Teer und Benzin geschützt. Diese Methode schützt effektiv vor Schädlingsbefall und verhindert, dass sich dort Fledermäuse einnisten. Trotz des Erfolgs dieser Methode ist der Umweltaspekt nicht zu verachten.



*Abbildung 20: Schädlingschutz mit Teer und Benzin*

### 3.2 Herstellung



*Abbildung 21: traditioneller Anker*

Neben den technischen und konstruktiven Aspekten der Planungsphase ist zudem zu klären, ob die Indios die personellen Möglichkeiten sowie die handwerkliche Fähigkeit haben, ein Brückenbauwerk über eine 23 m große Schlucht zu erstellen.

Traditionelle Verbindungen der Indios werden primär mit Macheten bearbeitet. Die Herstellung erfolgt dabei routiniert und sehr gekonnt. Wie in *Abbildung 21* zu sehen, wurde der sehr schlicht gehaltene Anker innerhalb weniger Minuten problemlos erstellt. Dieselbe Funktionsweise wird auch

für die Dachdeckung der Häuser verwendet und dementsprechend gut beherrscht.

Da bekannte Verbindungen also schnell hergestellt werden können, galt es zu testen, wie neue Verbindungstechniken von den Indios aufgenommen werden.

Um dies herauszufinden, wurde ein Versuchsstand geplant, der einige beispielhafte Verbindungstypen enthielt um die Ureinwohner an die traditionelle europäische Bauweise heranzuführen. Dabei wurde auch beobachtet, wie an unbekannte Methoden herangegangen und diese realisiert wurden.

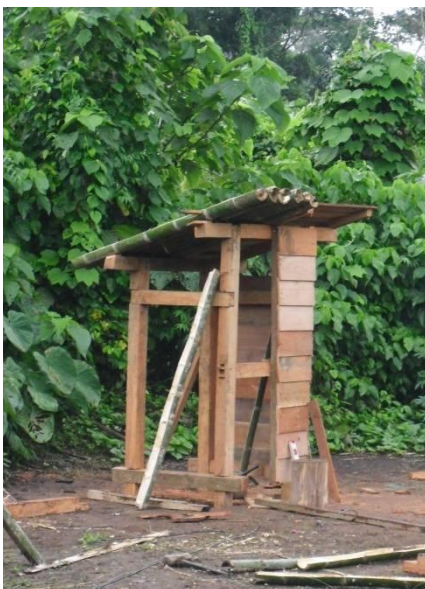
Das Ergebnis war sehr erfreulich. Sowohl das Verständnis der Indios, als auch die Umsetzung verlief reibungslos.

Auch die Herstellung der Balken wurde mit maximal 1 cm Abweichung relativ genau umgesetzt. Problematisch ist hier das schlecht gewartete Werkzeug, sowie mangelhafte Kenntnis bei der Benutzung der Motorsäge. Wie in *Abbildung 22* zu sehen, sägen die Indios mit dem vorderen Umlauf der Säge. Dies bedeutet, neben der Gefahr für die Arbeiter, auch eine erhöhte Abweichung bei der



*Abbildung 22: Herstellung einer Verbindung*

Fertigung, da man bei dieser Sägetechnik leichter verrutscht oder die Säge „verreißt“. Für detaillierte Verbindungen wurde mit einem Meißel gearbeitet, welcher schon sehr stumpf war. Insgesamt fällt die Wartung der Werkzeuge sehr mangelhaft aus. Zusätzlich stellt sich das Problem, dass die Regenwaldhölzer im Vergleich zu europäischem Bauholz teilweise sehr hart sind. Dadurch wird die Bearbeitbarkeit weiter erschwert.



*Abbildung 23: Versuchsstand mit verschiedenen Verbindungstypen*

Trotzdem haben die Indios neben Anblattungen auch Zapfen, Kreuzblätter und Versätze ohne Mühe hergestellt. Abschließend wurden alle Verbindungen mit Nägeln zusätzlich gesichert. Durch den fertigen Unterstand konnte nachgewiesen werden, dass es den Indios möglich ist, funktionstüchtige Konstruktionen umzusetzen. Der Unterstand wurde schließlich mit unterschiedlichen Dachdeckungen gedeckt und mit einer kleinen Lehmziegelwand ausgekleidet. Nun soll in einem Langzeitversuch die Dauerhaftigkeit des Holzes im Bodenbereich untersucht werden. Zusätzlich werden die klimatischen Einwirkungen auf Dach und Wand untersucht.

Diese Untersuchungen fließen in eine weitere Bachelorarbeit („Gebäudespezifische Konstruktionsregeln in tropischen und subtropischen Klimaregionen, am Beispiel von Ecuador.“, Jonas Schikore, 2010, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TUM) ein, die sich mit den bauphysikalischen Eigenschaften im Regenwald beschäftigt.

### 3.3 Verwendungsmöglichkeiten

Die vorgestellten Verbindungen der Ureinwohner sind alle funktional und einsatzfähig. Insgesamt erkennt man in dem Dorf jedoch schon eine sehr deutliche Beeinflussung von außerhalb und findet so viele bewährte, einfache Verbindungen wieder. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Bestandsaufnahme in situ zwar viele Erkenntnisse über die Bauweisen der Achuar-Indios gebracht hat, jedoch aus technischer Sicht keine herausragenden Verbindungen vorhanden sind, die sich nicht in vergleichbarer bzw. weiterentwickelter Form im europäischen Raum bewährt haben. Diese Erkenntnis ist wohl auch auf eine Regierungsinitiative zurückzuführen, die Ende der neunziger Jahre alle bekannten Indio-Stämme kostenlos mit Wellblechhütten ausstattete. Dadurch ging vermutlich ein großer Teil der Kultur und Tradition – vor allem im Bauwesen – verloren.

Daher erscheint es sinnvoll, neue Gebäude mit bekannten zimmermannsmäßigen Verbindungen zu bauen, da diese meist einfach umzusetzen und auch unter den gegebenen Randbedingungen von den Indios realisierbar sind. Gleichzeitig ergibt sich dadurch ein Wissenstransfer, in dem den Indios für Sie neuartige Verbindungssysteme näher gebracht werden.

## 4 Brückendetails

Im Rahmen der projektbegleitenden Diplomarbeit entstanden insgesamt acht Vorschläge zur Gestaltung der Brücke über die Schlucht im Urwald. Nach intensiven Diskussionen wurden drei finale Entwürfe übernommen und für die Indios verständlich aufbereitet. Bei der Auswahl wurde vor allem darauf geachtet, dass die Konstruktionen für die Ureinwohner verständlich waren und eine Umsetzung im Regenwald machbar ist. Zusätzlich musste der Schutz des Tragwerks vor starkem Regen gewährleistet werden. Nachdem während der Bauphase wenig Restholz anfallen soll, war auch wichtig, ob während der Baumaßnahme ein Gerüst erforderlich ist. In Gesprächen mit den Indios stellte sich heraus, dass die Brücke keinen steilen oder biegeweichen Übergang haben sollte um mit Gepäckwagen befahrbar zu sein. Besonderer Wert wird auf eine Überdachung der Brückenkonstruktion gelegt. Nachdem dadurch das Tragwerk geschützt wird, ist diese Anforderung sehr erstrebenswert und bei allen geplanten Modellen umsetzbar.

Vor Ort konnte nach der Vermessung des Geländes und der Bodenuntersuchung die bisherige Modellwahl bestätigt und als zusätzliche Option, das zuvor schon verworfene Modell der Da Vinci Brücke wieder mit aufgenommen werden.

Nachfolgend werden alle Modelle kurz vorgestellt sowie zur Verbindungswahl Stellung genommen und eventuelle Verbesserungsvorschläge unterbreitet.

Für Berechnungen ist vorerst die Holzfestigkeitsklasse „D30“ zu verwenden.<sup>7</sup> Diese ist für das Tropenholz vermutlich mit zu hohem Sicherheitsbeiwert versehen, jedoch kann zum jetzigen Zeitpunkt keine verlässliche Aussage über die Qualität des Bauholzes getroffen werden und somit muss im Moment ein Wert angenommen werden, der nach endgültiger Bestimmung und Beurteilung der Holzarten noch korrigiert werden kann. Nachfolgend können aus diesem Grund nur Annahmen über die Tragfähigkeiten der Verbindungen getroffen werden, jedoch zeigen sie beispielhaft die entsprechende Kraftübertragung.

---

<sup>7</sup> (Vilgertshofer, 2010)

## 4.1 Biegesteife Hängebrücke

### 4.1.1 Modellbeschreibung

Die Hängebrücke hat als sehr leichte Konstruktion viele Vorteile. Der Großteil der Kräfte wird über die Stahlseile aufgenommen und an Bäume oder Fundamente übertragen, welche einige Meter von der Schlucht entfernt stehen. Durch die Abhängung der Tragkonstruktion können viele Momentenbelastungen, welche die biegesteife Konstruktion sonst belasten würden, abgetragen werden. Jedoch ist in diesem Zusammenhang besonders auf die Umsetzung der Verbindung Seil-Holz einzugehen.



Abbildung 24: Biegesteife Hängebrücke

Zusätzlich muss der Laufsteg selbst ausgesteift werden um die Gebrauchstauglichkeit zu erhöhen und zu große Bewegungen zu verhindern.

Die biegeeweiche Alternativlösung, welche eine noch geringere Auflagerlast am Rand der Schlucht aufweisen würde, ist nicht umsetzbar, da sie nicht auf die schon erwähnten Bedürfnisse der Ureinwohner zugeschnitten ist.

### 4.1.2 Verbindungsübersicht und Verbesserungsvorschläge

Tabelle 5: Verbindungsdetails der biegesteifen Hängebrücke

Bei der zur Abhängung des Laufsteges nötigen Holz-Stahlseil-Verbindung ergeben sich zwei sinnvolle Möglichkeiten (siehe *Abbildung 25*).

Nach Begutachtung der Baumöglichkeiten in situ besteht zurzeit keine Möglichkeit, größere Löcher vorzubohren nachdem hierzu das nötige Werkzeug sowie ausreichend Elektrizität fehlen. Darum ist Variante B unkomplizierter und besser umsetzbar, jedoch sollte aufgrund der berechneten 15kN Zugkraft eine Stahlplatte zwischen Seil und Träger angebracht werden, um ein Einschneiden des Seils zu verhindern.

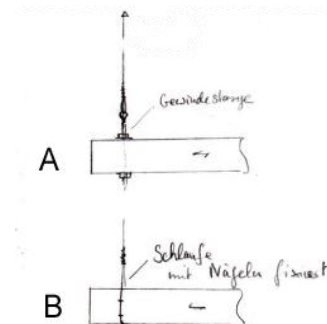


Abbildung 25: Varianten A & B Anschluss Abhängung-Querbalken

Die Lastabtragung des Geländers ist in dieser Ansicht noch nicht eindeutig geregelt. Der Geländerpfosten muss im Endeffekt biegesteif befestigt werden um sicher seine Funktion zu erfüllen. Gleichzeitig darf der Querbalken H4

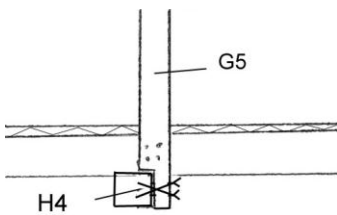


Abbildung 26:  
 Verbesserungsvorschlag  
 Geländer

nicht in seiner Tragfähigkeit beeinträchtigt werden. Dazu würde sich eine Anblattung des Geländers „G5“ um den im Querschnitt unveränderten Querbalken „H4“ und eine Nagelverbindung sowohl am Laufsteg als auch an „H4“ eignen, da mit dieser Kombination eine sehr feste Verbindung erstellt wird.

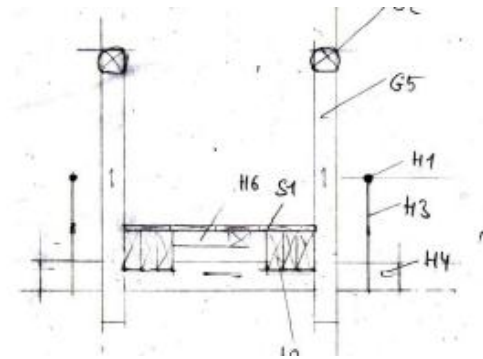


Abbildung 27: Schnitt Hängebrücke

Aktuell ist vorgesehen, die Stahlseile an vorhandenen Bäumen zu befestigen. In den meisten Fällen wird das funktionieren, jedoch sei der Vollständigkeit halber angemerkt, dass einige Bäume im Einzugsgebiet der zukünftigen Brücke nur über flaches Wurzelwerk verfügen und deswegen eventuell auf Betonaufleger ausgewichen werden muss.



Abbildung 28: Baumaufleger

## 4.2 Bogenhängewerk

### 4.2.1 Modellbeschreibung

Die Konstruktion des Bogenhängewerks nutzt zum einen die Bogenwirkung, um an den Auflagern die Kräfte gut in den Boden zu leiten. Zusätzlich wird der Laufsteg abgehängt um einen ebenen Weg zu erhalten. Wegen des massiven Überbaus und des großen Stahlbedarfs ist diese Brücke in der Herstellung teurer als ihre



Abbildung 29: Bogenhängewerk



Konkurrenten.

#### 4.2.2 Verbindungsübersicht und Verbesserungsvorschläge

Die Verbindungen des Laufstegs können bei dieser Variante analog zur biegesteifen Hängebrücke geführt werden, während der Bogen aus mehreren einzelnen Hölzern besteht. Eine Verbindungsanalyse fällt hier schwer, da die ursprünglich geplante Umsetzung mit Bambus nicht möglich ist. (siehe Materialspezifische Aspekte zum Neubau einer Brücke im ecuadorianischen Regenwald - Teil 1: Verfügbarkeit und Eigenschaften von Bauhölzern)

Eine alternative Umsetzung mit schwerem Tropenholz muss jedoch erst statisch berechnet werden um daraufhin verlässliche Aussagen über Verbindungen treffen zu können.

### 4.3 Sprengfachwerk

#### 4.3.1 Modellbeschreibung

Das Sprengfachwerk ist der komplizierteste der vier Vorschläge, jedoch auch der nachhaltigste von allen. Nahezu keine Materialien müssen für diese Brücke in den Regenwald importiert werden. Der große Nachteil, ist die Vielzahl an unterschiedlichen Elementen, die einzeln angefertigt werden müssen und die Tatsache, dass ein Baugerüst benötigt wird. Des Weiteren müssen alle Teile mit präzisen Anschlüssen erstellt werden, damit die Gesamtkonstruktion nach Abbau des Gerüsts ihre Bogenwirkung nutzen kann.

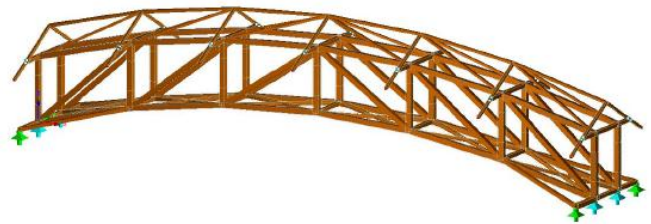


Abbildung 30: Sprengfachwerk

#### 4.3.2 Verbindungsübersicht und Verbesserungsvorschläge

Während der Planung dieses Modells entstanden einige Fragen zu Verbindungen, welche hier erörtert werden.

Der in *Abbildung 31* dargestellte Knoten findet sich mehrfach in dieser Brücke. Dort treffen unter Anderem im Untergurt zwei Druckstäbe aufeinander (x-Richtung), welche Teil des oben beschriebenen Bogens sind. Zusätzlich soll an selber Stelle ein Pfosten für den Dachaufbau (z-Richtung), sowie eine Querstrebe zur Aussteifung des Daches (x-z-Ebene) eingeplant werden. Daraufhin sollen noch drei Streben des Laufstegs in x-

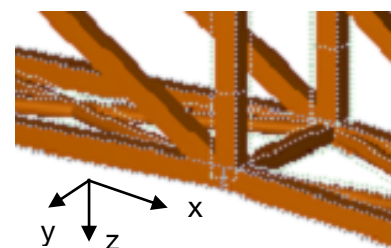
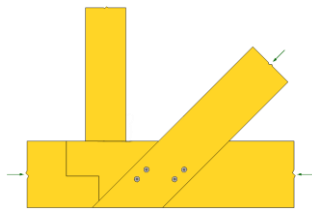


Abbildung 31: Knoten Sprengfachwerk

y-Ebene in diesem Punkt anschließen.

Höchste Priorität hat zu Beginn der Druckstoß des Grundtragwerks, der mit insgesamt 72kN belastet wird. Dabei stellt sich heraus, dass die Druckfestigkeit in Faserrichtung  $f_{c,0,d}$  bei einem D30-Holz  $12,5 \frac{N}{mm^2}$ <sup>8</sup> beträgt. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass der Querschnitt des Balkens mindestens 7,5cm hoch und breit sein muss. Als Verbindung selbst würde sich hier ein Zapfenblattstoß anbieten, da dieser die Druckkräfte komplett überträgt und gleichzeitig eine gute Grundlage für die wirkenden Querkräfte in z- und y-Richtung bietet. Wichtig ist nun, dass die restlichen Balken nicht allesamt im selben Punkt aufeinander treffen, da es kaum möglich ist, alle Verbindungen in einer einzelnen zu vereinen.

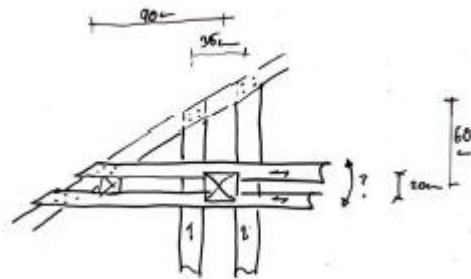


Durchmesser von 8mm.<sup>9</sup>

So kann man die Querstrebe – welche auf Druck und Zug belastet wird – etwas versetzt anordnen und mit Hilfe von Nägeln eine seitliche Befestigung realisieren (siehe *Abbildung 32*). Für die angegebenen Lasten von 35kN Druck- bzw. 8kN Zugkraft benötigt man bei einer mit 12\*12cm dimensionierten Querstrebe vier Nägel mit einem

*Abbildung 32: Verbindungslösung mit Nägeln*

**Rahmenecken (yz)**



*Abbildung 33: Rahmenecke Sprengfachwerk*

Um bei der Dachkonstruktion Material für Aussteifungen zu sparen, sollten Möglichkeiten erarbeitet werden, die Rahmenecken möglichst steif aufzuführen.

Nachdem auch hier tragende Balken betroffen sind, ist es zu empfehlen, eine entsprechende Aussteifung über die Dachkonstruktion vorzunehmen. Dabei reichen wie in der Skizze dargestellt bereits einfache Nagelverbindungen, die zusätzlich als Kreuzblatt ausgeführt werden könnten.

Nachdem schon anhand des vorherigen Beispiels gezeigt wurde, dass mit genagelten Verbindungen in diesem Bereich gute Ergebnisse erzielt werden können, wäre ein weiterer Einsatz in diesem Bereich in jedem Fall sinnvoll.

<sup>8</sup> (DIN 1052, 2008)

<sup>9</sup> Berechnungsprogramm FriLo - Holzverbindungen nach DIN 1052

## 4.4 Leonardo-Brücke

### 4.4.1 Modellbeschreibung

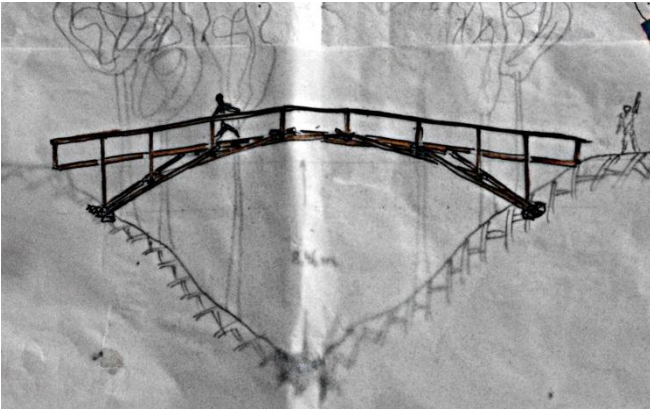


Abbildung 34: abgewandelte Leonard-Brücke

Das Prinzip der Leonardo-Brücke beruht darauf, mehrere Holzlatten so miteinander zu verkeilen, dass diese am Ende ohne zusätzliche Materialien wie Nägel oder Leim einen Bogen spannen, der als vollkommen funktionsfähige Brücke dient. Diese Idee wurde in das vorgeschlagene vierte Modell (Abbildung 34) als Tragkonstruktion integriert, jedoch befinden sich die Auflager etwa auf halber Höhe der Schlucht. Dadurch wird die Druckkraft des Bogens fast senkrecht in den weichen Boden abgetragen. Zusätzlich kann der Laufsteg mit deutlich geringerer Steigung

umgesetzt werden und somit der Wunsch der Indios nach einer befahrbaren Brücke erfüllt werden.

### 4.4.2 Verbindungsübersicht und Verbesserungsvorschläge



Abbildung 35: Verbindungsdetail Leonardo-Brücke

Bei der Leonardo-Brücke wird eine einzige Verbindung verwendet, welche sich ständig wiederholt. Diese besteht aus einer Querstrebe (hier in Bambus ausgeführt), sowie den jeweils zwei parallelen Latten, welche die Lauffläche darstellen und an beiden Enden von unten und in der Mitte nach oben verkeilt ist. (Beispielhaft wird in *Abbildung 35* eine davon rot dargestellt) Das nächste Lattenpaar ist um eine Querstrebe versetzt verkeilt, weitere folgen analog. Um zu verhindern, dass die Streben verrutschen, werden die Latten angekerbt.

Besonders die Querstreben aus Bambus stellen aufgrund ihrer geringen Dauerhaftigkeit ein Problem dar. Hier muss mit hochwertigeren Holzbalken gearbeitet werden, welche allerdings wegen der fehlenden Fertigungstechnik nicht rund ausgeführt werden können. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Auskerbungen der tragenden Latten an die neue Querschnittsform

angepasst werden müssen und im ungünstigsten Fall einen Rechteckquerschnitt annehmen müssen. Nachdem sich die Leonardo-Brücke unter Lasteinwirkung gering verformt, bilden sich an diesen Verbindungsstellen Schubspannungen, die bei einem runden Querschnitt hauptsächlich über die Haftreibung der Hölzer entstehen. Da sich die Verbindung bei dem Rechtecksquerschnitt jedoch nicht verformen kann, sondern durch die Kanten daran gehindert wird, steigern sich hier zusätzlich die Spannungen und könnten im schlimmsten Fall das System gebrauchsuntauglich machen.

Hier wäre es wünschenswert, einen vieleckigen Querschnitt herzustellen, was zwar viel Arbeit erfordert, jedoch die Einzelspannungen enorm reduzieren könnte, wenn man die Auskerbungen entsprechend anpasst.

Der Laufsteg kann bei dieser Variante der Leonardo-Brücke einfach auf die bereits vorhandenen Querstreben aufgelegt werden. Wichtig ist dabei eine gute Verbindung des Laufstegs an sich. Dort würden sich zum Beispiel Hakenblätter anbieten, welche bei einem Querschnitt von 160mm \* 240mm immerhin eine Zugspannung von 29,91 kN sowie eine Druckspannung von 101,91 kN aufnehmen können.<sup>10</sup>

$$F_{t,0,d} = \frac{\left( \frac{h_v^2 * b * f_{t,0,k} * k_{mod}}{1,3} * f_{m,k} * \frac{k_{mod}}{1,3} \right)}{h_v * f_{m,k} * \frac{k_{mod}}{1,3} + (h_v + h_B) * 3 * f_{t,0,k} * \frac{k_{mod}}{1,3}} = 29,91 \text{ kN}$$

$$F_{t,0,d} = h_v * b * f_{c,0,k} * \frac{k_{mod}}{1,3} = 101,91 \text{ kN}$$

Damit sollten die Kräfte des Laufstegs gut aufnehmbar sein. An selbigen kann dann analog zur biegesteifen Hängebrücke eine Geländerkonstruktion befestigt werden.

---

<sup>10</sup> DIN 1052- Praxishandbuch Holzbau; S.249

## 5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit ist unter anderem eine Übersicht über die vielfältigen Verbindungsmöglichkeiten von Holz erstellt worden. Aufgrund der Voraussetzung, dass die Ureinwohner im ecuadorianischen Regenwald diese auch umsetzen können, wurden ausschließlich zimmermannsmäßige Verbindungen aufgenommen. Zusätzlich musste die Auswahl auf reine Holzverbindungen beschränkt werden. Dabei wurden die gängigsten, sowie einige besonderen Varianten aufgelistet und nach ihrer Belastungsart in Druck-, Zug-, Momenten- und Querkraftverbindungen eingeteilt.

Des Weiteren sollten im Rahmen des geplanten Brückenbaus im Achuardorf Sharamentsa die bereits vorhandenen Verbindungen untersucht werden. Dabei stellte sich heraus, dass die Indios zwar sehr einfache, jedoch durchaus brauchbare Verbindungen herstellen können. Dies ist Ihnen unter anderem durch die Einfuhr von neuem technischem Gerät, wie zum Beispiel Motorsägen, ermöglicht worden. Insgesamt überwiegen jedoch bereits bekannte Verbindungstypen. Nachdem es den Indios also durchaus möglich ist, die hauptsächlich zimmermannsmäßigen Verbindungen herzustellen, können die bereits bekannten Verbindungen gut eingesetzt werden. Dies erleichtert die später notwendige statische Berechnung und Bemaßung, da auf deutsche Normen zurückgegriffen werden kann.

Abschließend wurden die Verbindungen der vier zuvor entwickelten Brückenmodelle analysiert und auf ihre Umsetzbarkeit hin untersucht. Dabei wurden die wichtigsten Tragkonstruktionen anhand der vorhandenen Belastungswerte begutachtet und mit Hilfe der vorhandenen tabellarischen Verbindungsübersicht nach geeigneten Techniken gesucht, um mögliche Verbindungslösungen für die unterschiedlichen Modelle zu finden.

## 6 Literaturverzeichnis

*Alles für Schreiner - Holzverbindungen.* (1996 - 2010). Abgerufen am 20. 07 2010 von Schreiner  
Seiten: <http://www.schreiner-seiten.de/verbindungen/index.php>

*Diercke Weltatlas.* (2002). Westermann.

Holz-Massivbau - Anschlüsse und Verbindungen. (06 2006). *Der Zimmermann*, S. 8-12.

(2008). *DIN 1052*. Berlin: Normausschuss Bauwesen im DIN.

*Holzverbindung - Wikipedia.* (26. 06 2010). Abgerufen am 20. 07 2010 von Wikipedia:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Holzverbindung>

Graubner, W. (1987). *Holzverbindungen*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.

*Holzverbindungen.* (kein Datum). Abgerufen am 2010 von BubiZA:  
<http://www.bubiza.de/download/holzverbindungen.html>

Mannes, W. (1981). *Dachkonstruktionen in Holz*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.

Vilgertshofer, S. (2010). *Materialspezifische Aspekte zum Neubau einer Brücke im ecuadorianischen Regenwald - Teil 1: Verfügbarkeit und Eigenschaften von Bauhölzern*. TU München.

## 7 **Abbildungsverzeichnis**

<i>Abbildung 1: gerades Blatt</i> .....	8
<i>Abbildung 2: Gerberblatt</i> .....	9
<i>Abbildung 3: Zapfenstoß</i> .....	9
<i>Abbildung 4: Zapfenblattstoß</i> .....	9
<i>Abbildung 5: Kreuzblatt</i> .....	10
<i>Abbildung 6: Hackenblatt</i> .....	10
<i>Abbildung 7: doppelter Schwalbenschwanz</i> .....	11
<i>Abbildung 8: schräges Hakenblatt</i> .....	11
<i>Abbildung 9: Schwalbenschwanzeckblatt</i> .....	12
<i>Abbildung 10: schräges Eckblatt</i> .....	12
<i>Abbildung 11: gerader Zapfen</i> .....	13
<i>Abbildung 12: schräger Zapfen</i> .....	13
<i>Abbildung 13: Versatz</i> .....	13
<i>Abbildung 14: Schwalbenschwanzverbindung</i> .....	14
<i>Abbildung 15: Verblattung</i> .....	16
<i>Abbildung 16: Stoß</i> .....	16
<i>Abbildung 17: Innenansicht des Dachstuhls</i> .....	16
<i>Abbildung 18: Fixierung von Dachbalken</i> .....	17
<i>Abbildung 19: genagelte Firstpfette</i> .....	17
<i>Abbildung 20: Schädlingschutz mit Teer und Benzin</i> .....	18
<i>Abbildung 21: traditioneller Anker</i> .....	18
<i>Abbildung 22: Herstellung einer Verbindung</i> .....	19
<i>Abbildung 23: Versuchsstand mit verschiedenen Verbindungstypen</i> .....	19

<i>Abbildung 24: Biegesteife Hängebrücke .....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 25: Varianten A &amp; B Anschluss Abhängung-Querbalken .....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 26: Verbesserungsvorschlag Geländer .....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 27: Schnitt Hängebrücke .....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 28: Baumaufleger .....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 29: Bogenhängewerk .....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 30: Sprengfachwerk .....</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 31: Knoten Sprengfachwerk .....</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 32: Verbindungslösung mit Nägeln .....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 33: Rahmenecke Sprengfachwerk .....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 34: abgewandelte Leonard-Brücke .....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 35: Verbindungsdetail Leonardo-Brücke .....</i>	<i>26</i>





## 8 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Übersicht Druckverbindungen</i> .....	8
<i>Tabelle 2: Übersicht Zugverbindungen</i> .....	10
<i>Tabelle 3: Übersicht Momentenverbindungen</i> .....	12
<i>Tabelle 4: Übersicht Querkraftverbindungen</i> .....	13
<i>Tabelle 5: Verbindungsdetails der biegesteifen Hängebrücke</i> .....	22

## Selbständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.



.....

Alexander Braun

München, 02. August 2010