

Fakultät für Architektur

Lehrstuhl für Baugeschichte, Historische Bauforschung und Denkmalpflege

Gewebebogenbrücken:
Geschichten struktureller Gedanken

LIU Yan

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Hermann Kaufmann
Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing Manfred Schuller
2. Prof. Dr. Joseph Schwartz

Die Dissertation wurde am 19.04.2016 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Architektur am 11.01.2017 angenommen.

Brücken bauen. Statt Mauern.

Abstract	1
Vorwort	5

Teil Eins Gewebebogenbrücken: Drei Geschichten 7

Kapitel I	Von Cäsars Rheinbrücke bis zu da Vincis Gewebekonstruktionen	9
Teil A	Ehre sei Cäsar!	9
I.	Cäsar und seine Rheinbrücke	9
II.	Von Mittelalter an: Cäsars Rheinbrücke in der Cäsars Geschichte	11
III.	Renaissance Italien: Cäsars Rheinbrücke als architektonischer Gegenstand	12
IV.	Palladios Rheinbrücke	15
Teil B	Erfindung der da Vincis gewebte Konstruktion	18
I.	Leonardo da Vinci, das Genie	18
II.	Hebelstabwerk, andere Tradition	25
Kapitel II	Die Mondbrücke des Huntington Japanischen Gartens	27
I.	Die japanische Landschaft in Kalifornien	27
II.	Kurzbiographie des japanischen Zimmermanns Toichiro Kawai	30
III.	Die Mondbrücke – ein Kunstwerk	32
IV.	Mondbrücke: Struktur und Konstruktion	39
V.	Rekonstruktion der Mondbrücke: ungeschriebene Geschichte	46
Kapitel III	Suche nach den chinesischen Holzbogenbrücken	53
I	Die Entdeckung der chinesischen Holzbogenbrücken	53
II	Die Regenbogenbrücke unter dem Blickwinkel der MZ-Brücken	58
III	Der Ursprung der MZ-Brücken	64
IV	Holzbogenbrücken: Leidenschaft dreier Generationen chinesischer Wissenschaftler	68

Teil Zwei Gewebebogenbrücken in Südostchina 71

Einführung zu Teil Zwei	73	
Abkürzung der Namen der Bauelemente	77	
Kapitel IV	Bau einer Holzbogenbrücke: Eine anthropologische Untersuchung	79
I.	Organisation und Vorbereitung	80
II.	Material und Werkzeug	82
III.	Entwurf des Holzbogens und Bauteilbearbeitung	90
IV.	Herstellung des Holzbogens	101
V.	Die Gedanken der Brückenbaumänner	125
Kapitel V	Familienstammbaum der Brückenbauleute und Verbreitung der Bautechnik	131
I.	Brückenbaufamilien und ihr Einfluss	131
II.	Verbreitungsweg der Brückenbautechnik	133
III.	Technikentwicklung innerhalb der Brückenbaufamilien	134
IV.	Untypische Holzbogenbrücken	145
Kapitel VI	Bauforschung zur Rulong-Brücke	151
I.	Die Rulong-Brücke als Bauforschungsprojekt	151
II.	Das Rätsel der Rekonstruktion	157
III.	Schlussfolgerungen	163

Schlussbetrachtung: 165

Überdenken der Geschichten der Gewebebogenbrücken	167	
I	Gedanken zu den drei Gewebebogenbrücken-Bautraditionen	167
II	Gedanken zur Definition Gewebter Konstruktionen als „Bögen“	171
III	Typologie der gewebten Konstruktionen	172
IV	Spielen die Konstruktion	175
V	Strukturelle Gedenken: die Spannweite herausfordern	175

Literatur	183
Index	187
Dank	189

Inhaltsverzeichnis für Kapitel III, IV und V

Kapitel III	Suche nach den chinesischen Holzbogenbrücken	53
I	Die Entdeckung der chinesischen Holzbogenbrücken: von der Regenbogenbrücke zu den MZ-Brücken	53
1.	Entdeckung der Regenbogenbrücke	53
2.	Historischer Hintergrund der Regenbogenbrücke	54
3.	Entdeckung der Holzbogenbrücken im Min-Zhe-Gebiet	55
4.	Das traditionelle Spiel „Essstäbchenbrücke“	56
5.	Wiederentdeckung der Brückenbautradition der MZ-Brücken	57
II	Die Regenbogenbrücke unter dem Blickwinkel der MZ-Brücken	58
1.	Tangs Sinneswandel bezüglich der Regenbogenbrücke	58
2.	Die Rekonstruktion der Regenbogenbrücke aus den Jahren 1950 und 1990	58
3.	Tangs Typologie der Holzbogenbrücken	63
III	Der Ursprung der MZ-Brücken	64
1.	Theorie der überlebenden Technik der „verlorenen“ Regenbogenbrücken nach Tang Huancheng	64
2.	Theorie des lokalen Ursprungs der MZ-Brücken nach Zhao Chen	65
3.	Evaluierung der beiden Theorien	67
IV	Holzbogenbrücken: Leidenschaft dreier Generationen chinesischer Wissenschaftler	68
Kapitel IV	Bau einer Holzbogenbrücke: Eine anthropologische Untersuchung	79
I.	Organisation und Vorbereitung	80
1.	Projektleiter, Ausschreibung der Baumeister, Materialbeschaffung	80
2.	Standortwahl	81
II.	Material und Werkzeug	82
1.	Die Wahl des Holzes	82
1)	Verschiedene „Shanmu“ Holzarten	82
2)	Querbalken / stärkeres Holz	83
2.	Holzbearbeitung	83
1)	Die Zeit des Holzeinschlags	83
2)	Trockenes und feuchtes Holz	83
3)	Entrinden	84
4)	Entfernen der Knorren	85
5)	Die Richtung des Holzes	85
3.	Werkzeuge zur Holzbearbeitung	85
1)	Messwerkzeuge	85
2)	Zeichenwerkzeuge	87
3)	Richtwaage	88
4)	Werkzeuge zur Holzbearbeitung	88
III.	Entwurf des Holzbogens und Bauteilbearbeitung	90
1.	Grundlegendes Prinzip	90
2.	Traditionelle Entwurfsmethode	91
1)	Erstes Bogensystem: Länge und Steigung	92
2)	Das zweite Bogensystem	94
3.	Bearbeitung der Holzbogenelemente	96
1)	Bogenaufleger	96
2)	Schräge Balken des ersten Bogensystems (S-Balken(1))	96
3)	Die Liegenden Balken des ersten Bogensystems (L-Balken(1))	98
4)	Fußbalken des zweiten Bogensystems (Fußbalken(2))	98
5)	Untere Schräge Balken des zweiten Bogensystems (U-S-Balken(2))	99
6)	Oberer Schräger Balken des zweiten Bogensystems (O-S-Balken(2))	99
7)	Querbalken des ersten Bogensystems (Q-Balken(1))	100
8)	Querbalken des zweiten Bogensystems (Q-Balken(2))	101
9)	Liegende Balken des zweiten Bogensystems (L-Balken(2)) und seitlich liegende Balken (SL-Balken)	101
IV.	Herstellung des Holzbogens	101
1.	Rituale	101
1)	Errichten des „Holzpferds“	102
2)	Markieren der Maßlatte	102
3)	Aufstellung der ersten Bauelemente	103

4)	Schließen des ersten Systems	103
5)	Schlagen des Baums für das Bauelement von „Dong“	104
6)	Richtfest bzw. Dong-Fest	104
2.	Pfeiler	105
3.	Herstellung der unteren Konstruktion	107
1)	Das Gerüst	107
2)	Erstes Bogensystem – Der dreiseitige Bogen	109
3)	Feldherrensäulen	115
4)	Zweites Bogensystem – Der fünfseitige Bogen	116
5)	Die äußeren SL-Balken bzw. Kantenbalken	120
6)	X-förmige Stützen	120
7)	Liegende Balken (L-Balken)	121
8)	„Froschschenkel-Konstruktion“	122
4.	Herstellung des Brückenkorridors	123
V.	Die Gedanken der Brückenbaumänner	125
1.	Strukturelles Verständnis der Brückenbaumänner	125
1)	Ist die Brückenkonstruktion ein Bogen?	125
2)	Beziehung zwischen dem ersten und dem zweiten Bogensystem	125
3)	Der Querbalkenschlag bzw. Choudu	125
4)	Beziehung der O- und U-S-Balken(2)	125
5)	Wu Fuyongs Methode	126
6)	Balkenschulter und strukturelle Stabilität	126
7)	Funktion des Querbalkens(1)	127
2.	Wahl der Verbindungsart	128
1)	Verbindung an den Bogenfüßen(2)	129
2)	Balkenfuß (unter Ende) der O-S-Balken(2)	130
3)	Balkenkopf (ober Ende) der O-S-Balken(2)	130
Kapitel V	Familienstammbaum der Brückenbauleute und Verbreitung der Bautechnik	131
I.	Brückenbaufamilien und ihr Einfluss	131
II.	Verbreitungsweg der Brückenbautechnik	133
1.	Familien und Familienverband	133
2.	Ausrichtung und Zusammenarbeit	133
3.	Selbstlernen	134
III.	Technikentwicklung innerhalb der Brückenbaufamilien	134
1.	Unterschiedliche technische Eigenschaften der Brückenkonstruktionen von Brückenmännern mit und ohne Familientradition	134
2.	Die Entwicklung der Choudu-Methode der Xiajian-Meister	136
3.	Technische Eigenschaften der Holzbogenbrücken in Taishun	139
4.	Beziehung zwischen den Xiajian-Meistern und den Xiaodong-Meistern	144
IV.	Untypische Holzbogenbrücken	145
3x3-Brücken als Abweichung von den 3x5-Brücken		146
3x2-Brücken als „einfachste“ gewebte Bögen		147
3x2-Brücken als ungünstige Abweichung von den 3x5-Brücken		147
3x4-Brücken als Sonderform der MZ-Brücken		148

Abstract

Diese Dissertation beschäftigt sich mit einer außerordentlichen Art der Struktur in verschiedenen Holzbau Traditionen der Welt, die Gewebebogenbrücken. Der Gewebebogen ist eine bogenförmige Holzstruktur, sie ist aus vielen Holzbalken, die gegenseitig unterstützend sind, zusammengesetzt. Brücken in dieser Form sind speziell aber auch universell, sie erschienen in der Geschichte mehrerer Kulturen in Europa und Asien.

Diese widersprüchliche Individualität zieht sich wie ein roter Faden durch die Dissertation. Die wichtigsten Beispiele werden erst in ihrem eigenen historischen Zusammenhang so umfassend und so tief wie möglich studiert. Auf den jeweils eigenständigen Forschungen basierend, zieht die Doktorarbeit weiter einen Vergleich zwischen den betreffenden Baukulturen, von der Konstruktion und Bautechnik bis zum gesellschaftlichen und kulturellen Hintergrund, und letztendlich zu den strukturellen Gedanken.

Die Dissertation besteht aus zwei parallelen Teilen und einem Schlusskapitel. Der erste Teil besteht aus drei Geschichten aus unterschiedlichen Kulturen der Gewebebogenbrücken. Jede Geschichte entspricht einem Kapitel und ist vollständig und selbstständig.

Das erste Kapitel ist über die Leonardo da Vinci Gewebestrukturen. Durch Hinweise in verstreuten Skizzen von da Vincis Manuskripten, und vor dem Hintergrund der Renaissance in Europa, beweist die Arbeit, dass da Vincis Gewebestrukturen eng mit der Julius Caesars Rheinbrücke der römischen Zeit verwandt sind, und in der geistigen Tradition der Renaissance Italiens verwurzelt sind. Das zweite Kapitel ist eine Bauforschung Fallstudie über die Mondbrücke im japanischen Garten der Huntington Bibliothek in den USA. Sie wurde am Anfang des letzten Jahrhunderts von einem japanischen Zimmermann gebaut. Die Arbeit zielt auf eine ganzheitliche Dokumentation und Analyse des Bauwerks ab, vom historischen Hintergrund, einschließlich der Japonaiserie Bewegung in Amerika des Besitzers des Gartens und der Einrichtung der Brücke, des Lebenslaufs des japanischen Zimmermanns, seines Fachwissens und -fähigkeiten, bis zu der umfassenden bautechnischen Information der Brücke selber, wie etwa ihres Entwurfs, ihre Konstruktion und Umbaugeschichte. Das dritte Kapitel ist eine Kritik an der Geschichtsschreibung chinesischer Holzbogenbrücken. Hier werden die Arbeiten der zwei führenden Wissenschaftler und Gründer dieses Forschungsthemas diskutiert und teilweise widerlegt, wobei ihre Theorien jedoch unter dem Blickwinkel der Entwicklung des Fachs Architektur in China und der Bedingungen ihrer Zeit betrachtet werden müssen.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit Holzbogenbrücken in den Bergen Südostchinas, mit bestehenden Gebäuden und überlebenden Bautechniken. Dieser Teil besteht aus drei Kapiteln, wobei jedes auch aus einem unterschiedlichen Forschungsfeld stammt. Das erste Kapitel ist das Ergebnis einer anthropologischen Studie. Der Prozess des Brückenbaus sowie Detailbetrachtungen zu jeder Bauphase, von der Vorbereitung bis zum Entwurf und der Konstruktion, werden systemisch und umfassend dokumentiert. Die wichtigste neue Erkenntnis ist die unterschiedliche Art und Weise, wie der Entwurf, die Struktur und die Konstruktion von den lokalen Brückenbauleuten (im Gegensatz zu uns modernen Wissenschaftlern) verstanden wird. Das zweite Kapitel ist eine Technikgeschichte. Hier werden die in früheren Kapiteln vorgestellten Bautechniken mit bestehenden historischen Gebäuden verglichen, wodurch Unterschiede zwischen der heutigen Handwerkskunst und der aus früherer Zeit deutlich werden sowie die Technikentwicklung in den jeweiligen Brückenbaufamilien. Das dritte Kapitel ist eine Bauforschung der Rulong-Brücke, der ältesten bestehenden Holzbogenbrücke in China. Aufgrund der Hinweise von Konstruktionsspuren auf den Strukturelementen kann die Umbaugeschichte und -methode rekonstruiert und aufgezeichnet werden.

Die oben genannten sechs Kapitel formen den Hauptteil der Dissertation. Außer dem fünften, das eng mit dem vierten verwandt ist und mit ihm ein zusammengehöriges Ganzes bildet, sind alle Kapitel selbstständig, weshalb die Dissertation eigentlich aus fünf eigenständigen Forschungen besteht. Diese sind parallel aufgebaut: es werden jeweils der Gewebebogen, seine Konstruktion, und seine Interpretation

vorge stellt.

Auf dieser Grundlage baut sich das Schlusskapitel auf. Die ursprünglichen sechs Themen werden neu durchgedacht, untereinander verglichen auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Mit zusätzlichen Beispielen werden sie nach einer neuen Typologielehre eingeordnet. Auf der Analyse der Gewebobogenbrücken aufbauend, stellt die Dissertation abschließende vergleichende Betrachtungen zwischen den westlichen und östlichen Baukulturen an und liefert neue Einsichten in die gegensätzlichen konstruktiven Denkansätze Chinas und des Westens.

Abstract in English

This dissertation focuses on an extraordinary type of structure among the timber building traditions of the world, the woven arch bridge. The woven arch is an arch shaped structure, composed of many mutually supported wooden beams. Bridges in this form are unique but also universal. They exist in many cultures in the history of Europe and Asia.

This contradictory individuality is the red thread of this dissertation. Important examples are studied in their own historical contexts as comprehensively and as deeply as possible. Based on these individual studies, the thesis then draws a comparison between all building cultures, ranging from construction and building techniques to the social and cultural backgrounds, and finally to structural thoughts.

The dissertation is composed of two parallel parts and a concluding chapter.

The first part consists of three (hi)stories of different woven-arch-bridge-cultures. Each (hi)story corresponds to one chapter and is by itself a complete and independent narration.

The first chapter is on the woven structures of Leonardo da Vinci. Through the scattered sketches of da Vinci's manuscripts, and on the academic background of Renaissance Europe, it is proved that da Vinci's invention of woven arch structures is closely related to his study on Rhine bridge of Julius Caesar in the Roman Empire, and has a root in the intellectual tradition of Renaissance Italy.

The second chapter is a *Bauforschung* (building archaeology) case study on the Moon Bridge in the Japanese garden of Huntington Library, USA. It was built at the beginning of the last century by a Japanese carpenter. The aim of this chapter is a complete documentation of this architecture, from the historical background, including the Japonaiserie movement in America, the owner of the garden, the establishment of the bridge, the life of the Japanese carpenter, his professional knowledge and skills, to the comprehensive information of the bridge building, including its design, construction and the unwritten history of reconstruction.

The third chapter is a critique of the historiography of the Chinese wooden arch bridge. The works of two leading scholars in this field are discussed and partly refuted, while their theories have to be considered under the perspective of the development of the architecture discipline in China and the conditions of their times.

The second part of this thesis deals with the wooden arch bridges in the mountains of Southeast China, the surviving structures and building techniques. This part also consists of three chapters; each of them comes from a different research field.

The first chapter is an anthropological study. The process of bridge building as well as detailed considerations for every construction phase, from preparation to design and construction, are systematically and comprehensively documented. The most important contribution of this work is the idea about different ways of understanding design, structure, and construction by local bridge builders and modern scholars.

The second chapter is a technique history. The building techniques discussed in the previous chapter will be compared here with existing historical buildings; through this, differences between the skills of the craftsmen today and back then will be pointed out; the development of technology within bridge building families will be revealed.

The third chapter is a *Bauforschung* research on the Rulong Bridge, the oldest existing wooden arch bridge in China. From the evidences found on the structural elements, an unwritten reconstruction history and the method of construction are discovered and reconstructed.

The six chapters above form the main part of this dissertation. Apart from the fifth, which is closely related to the fourth, and forms with it a coherent body, all other chapters are independent. Therefore, this dissertation actually consists of five independent studies, which are composed parallel: each of them is a

story of the woven arch structure, of its construction and its interpretation.

On this basis is the final chapter established. The original six themes are rethought, compared to one another with regard to their similarities and differences. With additional examples, they are classified according to a new typology. Based on the analysis of the woven arch bridges, this dissertation makes a final comparative analysis between western and eastern timber building cultures and provides new insights into the opposing constructional thoughts of China and the West.

Vorwort

2002, als Studienanfänger der Fakultät für Bauingenieurwesen an der Tsinghua Universität, war mein erster Kurs „Einleitung des Bauingenieurwesens“ bei Prof. Liu Xila. In seiner mitreißenden Einführungsvorlesung zeigte er uns eine wunderschön anmutende historische Bogenbrücke, die Regenbogenbrücke aus der berühmten *Qingming Shanghe Tu* 清明上河图 Bildrolle (siehe Kap. III). Aus „gewebten“ Balken zusammengesetzt war diese Holzbogenbrücke (auch: Gewebebogenbrücke) so außergewöhnlich, dass der Professor behauptete, selbst moderne Bauingenieure könnten ihre Struktur nicht richtig berechnen.

Im gleichen Jahr nahm ich am achten Tragwerkentwurf Wettbewerb der Universität teil, der ähnlich zu den Vorjahren, Brücken im Belastungstest zum Thema hatte. Ich wollte gerne die Konstruktion der Regenbogenbrücke ausprobieren, aber meine Klassenkollegen entschieden sich für Fachwerk- oder Fischbauchträgerbrücken, welche wir im Unterricht besprochen hatten und die, nach einfacher Berechnung, optimale oder zumindest begünstigte Strukturen aufwiesen. Ganz alleine konnte ich, damals am Anfang meiner Ausbildung, noch kein entsprechendes Modell bauen und daher meinen Plan nicht verwirklichen. Die Regenbogenbrücke ist mir aber seitdem im Gedächtnis geblieben.

Vier Jahren später, mit einer Diplomarbeit über die Berechnungsmodelle der historischen chinesischen Holzarchitektur, machte ich meinen Bachelor Abschluss in Bauingenieurwesen. Später veröffentlicht, wurde meine Studie bis jetzt etliche Dutzend Male von Fachkollegen zitiert. Allerdings hatte ich immer das Gefühl, dass dieser Forschung noch etwas Wesentliches fehlte.

Für mein Masterstudium wendete ich mich dem Fachgebiet der Architektur zu und widmete mich der Geschichte der chinesischen Architektur. Fast gleichzeitig begann mich die Frage zu beschäftigen, warum, trotz des auf der Universität gelehrteten Wissen, die Baugeschichte meines Heimatlandes „ein fremdes Land“ war.

Während meiner Studien an der Südost Universität in Nanjing hatte ich die Gelegenheit, den Kurs Baugeschichte bei Prof. Zhao Chen zu besuchen. Als einer der führenden Wissenschaftler der Holzbogenbrückenforschung diskutierte er diese Brücken im Rahmen der Tektoniktheorie. Er ist mittlerweile der zweite Mentor meiner Doktorarbeit an der TU München.

Warum ich danach Gewebebogenbrücken zum Thema meiner Doktorarbeit machte, verdanke ich einem glücklichen Umstand: ich hatte die außerordentliche Gelegenheit hatte, an einem Erhaltungsprojekt historischer Holzbogenbrücken in Südostchina teilzunehmen. Auch bereiste ich das Kerngebiet der Gewebebogenbrücken, konnte selber Materialien sammeln, und legte damit den Grundstock, ihre Struktur zu verstehen.

Meine Doktorarbeit bei Prof. Manfred Schuller an der TU München ist im Bereich Bauforschung. Am Anfang war mein Forschungsziel eine wissenschaftliche Untersuchung der überlebenden etwa einhundert Gewebebogenbrücken und ihrer Typologie- und Stammbaumanalyse. Stets hatte ich jedoch das Gefühl, chinesische Konstruktionen mit der westlichen Wissenschaftstheorie nicht vereinbaren und erklären zu können.

Ich fand neue Inspiration außerhalb des traditionellen architektonischen Forschungsgebiets, und zwar durch die Anthropologie. Meine Idee war einfach aber effektiv: um die Handwerkskunst der Zimmermänner zu verstehen, musste ich einer von ihnen werden und wie ein Zimmermann denken.

Während meiner Feldforschungen von 2011 bis 2015 nahm ich am Bau dreier Gewebebogenbrücken teil und arbeitete mit drei Brückenbaufamilien zusammen. Bei der dritten, einer kleinen Holzbogenbrücke im Garten des Nepal-Himalaya-Pavillons in Regensburg, agierte ich selbst als Baumeister. Durch diese Erfahrungen, die Interviews mit Zimmerleuten und die Forschungen vor Ort in den Brückengebieten und anderen Teile Chinas begann ich die Methodik des Holzbaus langsam zu verstehen und erhielt endlich den

Schlüssel zu dem Problem, warum es schwierig war, chinesische Holzbogenbrücken mit moderner Wissenschaft zu verstehen.

Erst durch meine doppelte Ausbildung, nämlich durch mein Universitätsstudium zum Bauingenieur und mein handwerkliches Praktikum als Holzarbeiter, war es mir möglich geworden, Theorie und Praxis zu vereinen und die traditionellen Holzbautechniken mit den Augen der modernen Wissenschaft zu betrachten. Die Schwierigkeit liegt nicht in der sichtbaren strukturellen Form oder der Baumethode, sondern in der unterschiedlichen Denkweise und Interpretation der Struktur durch Tradition oder durch Technik.

Den endgültigen Ausschlag, meine Arbeit ganz der Erforschung struktureller Gedanken zu widmen, verdanke ich jedoch einem westlichen Beispiel, nämlich der da Vinci Brücken. Leonardo da Vincis gewebte Strukturen werden heute üblicherweise als „Hebelstabwerke“ („reciprocal frame“) bezeichnet, mittlerweile ein beliebtes Thema im modernen Tragwerkdentwurf. Ihre hohe Ähnlichkeit mit der chinesischen Regenbogenbrücke verleitet viele asiatische und europäische Wissenschaftler dazu anzunehmen, dass da Vinci von östlichen Ideen beeinflusst wurde, auch wenn es dafür keine Beweise gibt. Ich jedoch fand Hinweise in verstreuten Skizzen von da Vincis Manuskripten, die das Gegenteil beweisen, nämlich, dass da Vincis Entwürfe in der europäischen Wissenschaftstheorie verwurzelt sind. Das beweist, dass identische Formen verschiedenen logischen Gedankengängen zugrunde liegen können.

Deshalb sind strukturelle Gedanken zur Brückenstruktur der eigentliche Zweck dieser Doktorarbeit. Die wissenschaftliche Auseinandersetzung damit muss aber auf gesicherten archäologischen und historischen Forschungen basieren. Deshalb machte ich mir jede verfügbare Methodik und jedes Forschungswerkzeuge zunutze. Sechs Kapitel entsprechen selbständigen Geschichtsstudien aus unterschiedlichen Forschungsfeldern. Neben der Literaturstudie, wurde archäologisches und anthropologisches Material aus erster Hand in vieljähriger Feldarbeit gesammelt.

Für einen interkulturellen Dialog über Strukturprinzipien, auch im größeren Rahmen des Holzbaus, ist der Gewebebogen ein ideales Beispiel. Einerseits ist er außergewöhnlich genug: Sogar in China, wo drei Arten von Gewebebogenbrücken existiert hatten, ist diese Struktur unüblich; allerdings findet man diese unübliche Struktur in mindestens vier unterschiedlichen Kulturen und Ländern der Welt. Andererseits ist er repräsentativ und typisch genug für China: nur dort gibt es auch Beispiele der ausgereiften Gewebebogenkonstruktion. Beispiele des Gewebebogens in anderen Ländern sind nur einfache Versionen und als Sonderfälle in der Geschichte erscheinen.

Deshalb, obwohl auf das Objekt Gewebebogenbrücke fokussiert, ist der endgültige Zweck der Arbeit nicht darauf begrenzt. Das tiefe Verstehen dieser speziellen Strukturart ist nur durch die gemeinsamen Kenntnisse mehrerer vorindustrieller Holzbaukulturen möglich. Meine Erfahrungen im Holzbau und die Beobachtungen, die ich auf meinen Reisen und Feldarbeiten im deutschen Sprachgebiet, China und den USA gesammelt habe, obwohl auf den ersten Blick nicht unbedingt mit dem Thema dieser Doktorarbeit verwandt (und daher in dieser Arbeit nicht behandelt), tragen aber dennoch zum ganzheitlichen Verständnis dieser Dissertation bei. Als Abschluss versuche ich nämlich philosophische Einsicht in die Holzbautraditionen des Westens und Ostens zu bekommen und sie vergleichend zu analysieren. Auch wird die Frage, die Prof. Liu Xila vor 14 Jahren gestellt hat („Wie soll die moderne Ingenieurwissenschaft die chinesischen Gewebebogenbrücken verstehen?) endlich beantwortet.

Teil Eins. Gewebebogenbrücken: Drei Geschichten

Kapitel I

Von Cäsars Rheinbrücke bis zu da Vincis Gewebekonstruktionen

Teil A

Ehre sei Cäsar!

I. Cäsar und seine Rheinbrücke

Schilderung in *Commentarii de bello gallico*

Von 58 bis 50 v. Chr., während seines Prokonsulats in Gallien, führte Julius Cäsar (100 – 44 v.Ch) seine römischen Legionen in einer Reihe von Kriegen, um die gallischen Stämme und einige feindlichen Nachbarn zu unterdrücken.

55 v. Chr. entschied sich Cäsar, wegen der regelmäßigen Störungen der Germanenstämme an der Grenze des römischen Galliums seine Legionen über den Rhein zu führen.

Als natürliche Grenze zwischen Gallien und den germanischen Stämmen, war der Rhein berühmt für seine Breite, seine Tiefe und sein schnell fließendes Wasser. Eine Überquerung mit Schiffen mag problemlos möglich gewesen sein, doch Cäsar war der Meinung, dies wäre unsicher und würdelos. Nur durch den Bau einer Brücke ließen sich die Germanen abschrecken.

Die Brücke wurde innerhalb von zehn Tagen gebaut. Cäsar führte seine Legionen über den Rhein, nahm Rache an den germanischen Dörfern, und weckt Furcht in dem Feind. Danach führte er die Legionen zurück und zerstörte die Brücke. Es war ein großer militärischer Erfolg.

In der Erzählung seines Buchs *Commentarii de bello gallico* (Gallischer Krieg), ein eigenhändig abgefasster Bericht, beschrieb Cäsar mit ausführlichen Details und großer Genauigkeit, wie die Brücke gebaut wurde:

*Rationem pontis hanc instituit: tigna bina sesquipedalia paulum ab imo praeacuta dimensa ad altitudinem fluminis intervallo pedum duorum inter se iungebant. Haec cum machinationibus immissa in flumen defixerat festuculisque adegerat, non sublicae modo directe ad perpendicularum, sed prone ac fastigate, ut secundum naturam fluminis procumberent, his item contraria duo ad eundem modum diiuncta intervallo pedum quadragenum ab inferiore parte contra vim atque impetum fluminis conversa statuebat. Haec utraque insuper bipedalibus trabibus immissis, quantum eorum tignorum iunctura distabat, binis utrimque **fibulis** ab extrema parte distinebantur. Quibus disclusis atque in contrariam partem revinctis tanta erat operis firmitudo atque ea rerum natura, ut, quo maior vis aquae se incitavisset, hoc artius inligata tenerentur. Haec directa materia iniecta contexebantur et longuriis cratibusque consternebantur. Ac nihilo setius sublicae et ad inferiorem partem fluminis oblique agebantur, quae pro ariete subiectae et cum omniopere coniunctae vim fluminis exciperent, et aliae item supra pontem mediocri spatium ut si arborum truncisive naves decendi operis causa essent a barbaris missae, his defensoribus earum rerum vis minueretur neu ponti nocerent.*

[Er entwickelte folgenden Plan für den Bau der Brücke: Je zwei eineinhalb Fuß starke Balken wurden unten etwas angespitzt und ihr Maß der Tiefe des Flusses angepasst. Die Paare wurden in einem Abstand von zwei Fuß miteinander verbunden. Dann wurden sie mit Kränen in den Fluss versenkt, fest in Stellung gebracht und mit Rammen in den Grund getrieben. Sie standen nicht senkrecht wie gewöhnliche Brückenpfähle, sondern waren schräg nach vorn geneigt wie Dachsparren, so dass sie der Strömung des Flusses keinen Widerstand boten. Ihnen gegenüber brachte Cäsar in einer Entfernung von 40 Fuß jeweils zwei auf dieselbe Weise verbundene Pfähle an, die von unten her gegen die Gewalt und den Druck der

Strömung geneigt waren. Quer auf die Pfahlpaare wurden zwei Fuß dicke Balken gelegt. Dabei wurde der Abstand, den das Verbindungsgerüst zwischen den Pfählen eines Paares herstellte, auf beiden Seiten durch je zwei *fibulis* am oberen Ende der Pfähle gesichert. Da damit die Balken eines Pfahlpaares auseinandergehalten wurden und jeweils in entgegengesetzter Richtung sicher befestigt waren, stand der Bau so unerschütterlich und erhielt eine solche Beschaffenheit, dass die Verbindung zwischen den Pfahlpaaren um so stärker wurde, je kräftiger die Strömung dagegen andrang. Hierauf wurden die Pfahlpaare in Querrichtung mit horizontalen Balken belegt und miteinander verbunden. Das Brückengerüst deckte man mit Stangen und Flechtwerk. Nicht genug damit, es wurden flussabwärts weitere Pfähle in schräger Richtung eingerammt, die man als Wellenbrecher anbrachte und mit dem ganzen Bau verband, so dass sie die Gewalt der Strömung brachen. Oberhalb der Brücke wurden in einigem Abstand weitere Pfähle eingerammt, die zum Schutz dienen sollten gegen Baumstämme oder Schiffe, die die Barbaren vielleicht flussabwärts schickten, um die Brücke zum Einsturz zu bringen. Sie sollten deren Stoßkraft abschwächen, damit sie die Brücke nicht beschädigten.] (Cäsar, 1980)

„*fibulis*“

In dem Text beschrieb Cäsar eine Art von Jochbrücken. Dabei besteht jedes Joch aus zwei zueinander geneigten Pfählen und einem Balken dazwischen. Obwohl der Text ausführlich und präzise erscheint, sind Cäsars Ausführung doch stellenweise unklar. Verwendet Cäsar den Begriff "*fibulis*" (Pluralform von "*fibulae*" oder "*fibula*") um die Bauelemente, die paarweise an der Trennstelle von Balken und Pfählen angewendet, zu bezeichnen, wodurch die Konstruktion mit steigendem Wasserdruck stabiler wird.

In unserer Zeit gibt es keine befriedigende Erläuterung für "*fibulae*". Ein ähnliches Wort "*fibula*" mit seiner Pluralform "*fibulae*" ist die eventuell nächste Lösung. Das ist die Brosche für Kleidungsstücke festzumachen. Das römische *fibula* zur Zeit Cäsars waren bogenförmig. In Legionen zeigten sie sich die Ränge oder Positionen in der Armee.

Zweitausend Jahre später interessierten sich moderne Wissenschaftler wieder für Cäsars Rheinbrücke und gingen einer Reihe von Fragen nach. Dabei ging es unter anderem um den Entstehungsort, die damaligen geologischen Bedingungen, die Form der Brücke und die Konstruktionsmethode. Ein zentrales Thema war die Konstruktion der Brücke. Dafür, war die Problem der Erklärung von *fibulis* der Schlüssel der Diskussion.¹

Der Entwerfer der Brücke

Obwohl sich Cäsar in seiner Erzählung selbst den Entwurf der Brücke zuschreibt („*nationem pontis hanc instituit*“, „*Er entwickelte folgenden Plan für den Bau der Brücke*“), wird er doch gemeinhin seinem damaligen *praefectus fabrum* (Präfektingenieur) Mamurra zugeschrieben, der von 58 bis 54 v. Chr. diese Stellung innehatte (McDermott, 1983).

Unser heutiges Wissen über Mamurra beruht auf Ausführungen des Dichters Catullus, der beispielsweise dessen großes Vermögen aus Kriegsbeuten, dessen extravagantes und laszives Leben und – wahrscheinlich nur ein böses Gerücht – eine homosexuelle Beziehung mit Cäsar beschrieb. Allerdings war Mamurra „unbedingt der beste Militäringenieur seiner Zeit“ (Frank, 1928). Zu seinen genialen Werken zählt auch eine neue Form von Schiff, die Cäsars zweite Invasion in Britannien ermöglicht hatte.

Es gab den Versuch, Mamurra als Vitruv zu identifizieren (Thielscher, 1961). Dies aber stieß nicht auf Anerkennung (Ruffel und Soubiran, 1962). Eines der Gegenargumente ist, dass Vitruv wahrscheinlich eine niedrigere Position als Mamurra innehatte.

Zudem verschafft die Rheinbrücke Vitruv ein Alibi. In *De Architectura*, schrieb er im zehnten Buch über Militärarchitektur und Maschinen, die er aus seinen Erfahrungen mit Cäsar im Bürgerkrieg ableitete. Im gesamten Werk allerdings gibt es keinen einzigen Hinweis zum Brückenbau, weder militärisch noch zivil.

¹ Über die Diskussion der Konstruktion der Cäsars Rheinbrücke, siehe: Cohausen (1867), Rheinhard (1883), Schleussinger (1884), Menge (1885), Zimmerhaeckel (1899), Schramm (1922), Saatmann, und Thielscher (1939), Drachmann (1965), Bundgard (1965).

II. Von Mittelalter an: Cäsars Rheinbrücke in der Cäsars Geschichte

Fehlen der Brückenzeichnung im Mittelalter

Auch im Mittelalter blieb Cäsar in seinem Herkunftsland und in den von ihm eroberten Gebieten unvergessen. Sein Ansehen war so groß, dass er zu einer Legende und mythischen Figur stilisiert wurde. So wurde er zum ersten Kaiser Roms, zu einem Mann mit höchster Moral, zu einem militärischen Genie, zum Vorfahren Frankreichs und zum Gründer deutscher Städte entlang des Rheins, von denen er viele tatsächlich nie gesehen oder betreten hatte.²

Mittelalterliche Handschriften, z.T. illuminiert, die Cäsars Leben und Kriege thematisieren, überlebten bis heute. Darstellung auf diese Brücke finden sich darin jedoch nicht. Die allgemeine Vernachlässigung kann teilweise begründet werden, dass das Interesse vornehmlich auf dem legendären Kaiser und seiner dramatischen Lebensgeschichte lag, und teilweise verursacht von der Aufteilung der Berufe zwischen Schreiber und Illustratoren: Buchillustrationen dienten vor allem den Lesern als dem Lesefortschritt. Deshalb wurden meist die Zeichnungen nach einem gewohnheitsmäßigen Layout gestaltet. Bei der Herstellung wurden Plätze für Illustrationen erst leer lassen. Nachdem die Schreiber die Kopieren fertiggestellt hatten, traten Illustratoren in ihren Dienst. Manchmal haben die Schreiber durch Skizzen am Seitenrand oder auf andere Weise auf den Inhalt der Zeichnungen hingewiesen. Es kommt auch vor, dass die Zeichnungen keine direkte Beziehung zum Text haben.³

Diese Situation änderte sich in der Renaissance. Nachdem Cäsar und sein Text von den Humanisten neu untersucht worden war, wurde er schließlich als Autor der Kommentare anerkannt⁴ und als ein Mensch gesehen. Als Vorbild eines Autors, der in reinem Latein schrieb, und als ein Musterhistoriker stand er oben der Liste derjenigen, deren Arbeiten in Europa und vor allem in Italien gelesen und übersetzt wurden. Dank der neu erfundenen und verbreiteten Drucktechnik wurden Cäsars Werke umfangreich veröffentlicht und gelesen und bis in die Volkssprachen übersetzt. Die erste italienische Fassung erschien in der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts, die erste deutsche Übersetzung im Jahr 1507, die spanische Übersetzung erschien 1529 und etwa zeitgleich die englische Übersetzung.

So ist es keine Überraschung, dass die ersten Zeichnungen von Cäsars Rheinbrücke als Teil von Buchillustrationen erst in der Renaissance erschienen. Es war der Zeit, stattdessen die legendären Geschichten, hatten neuen linguistischen und historischen Interessen auf Cäsars Werke angehoben. Die genauen Texte wurden erst konzentriert, dazu war die Aufmerksamkeit auf der Rheinbrücke parallel.

Frühe Beispiele außen Italien

Frühe Beispielen außerhalb von Italien zeigen einen Übergang der allgemeinen Haltung über die Brücke von Mittelalter nach Renaissance.

Die Handzeichnungen der verschiedenen Versionen von *Faits des Romains* seit Anfang des 14. Jahrhunderts und der Holzschnittillustrationen des *Les Commentaires de Jules César* seit der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts zeigen keine Rheinbrückezeichnungen. Wenn Brücken schließlich in den folgenden genannten Versionen auftraten, hielten die Texte noch den konventionellen Geschmack mit biographischem oder moralischem Interesse. So betonten die Illustrationen den Bauprozess mit der Darstellung von Kran und Bauarbeiter.



Abb. 1 Cäsars Rheinbrücke in Matthias Ringmanns deutscher Version, 1507

² Über Cäsars Rolle siehe Griffin (2009) und Gundolf (1904).

³ Für ein allgemeines Verständnis des Herstellungsverfahrens der mittelalterlichen Handschriften, siehe Watson (2003), Alexander (1992), De Hamel (1992, 2001).

⁴ Coluccio Salutati (1331-1406) war der erste es erkannte, dass Caesar sich Autor der Kommentaren war, anstelle Julius Celsus nach gemeinsamem Verständnis des Mittelalters. Siehe Griffin(2009, S.340).

Die Brücken wurden als Bühne der Geschichte dargestellt. Die Form der Brücken hat offensichtliche Unvereinbarkeit mit der Beschreibung Cäsars. Sie wurden wahrscheinlich nach einer zeitgenössischen gewöhnlichen Form gezeichnet, und ihre Gestaltungen weisen darauf hin, dass die Illustratoren sorglos oder eben nicht vertraut mit der genauen Beschreibung des Texts waren.

In der ersten deutschen Übersetzung von Matthias Ringmann, *Julius der erst römisch Keyser von seinem Kriege* (1507), wird eine Jochbrücke mit Diagonalstreben und einem Radkran darauf in der Mitte des Holzschnitts dargestellt. Die Brücke (Abb. 1) ist nahezu einheitlich mit anderen Brückendarstellungen im selben Buch. Im Text ist das „*fibulis*“ als „*Nageln*“ übersetzt.

Ein anderes Beispiel der Brückenzeichnung kommt aus dem *Commentaires de la guerre gallique* (1519-1520), ein Buch für den privaten Gebrauch des französischen Hofes. Es war übersetzt von François du Moulin, einem Lehrer des jungen Königs Franz I. Das Ziel dieses Umschreibens auf Cäsar war die Erziehung des jungen Monarchen. Der Originaltext Cäsars wurde geschnitten und in einer Frage-und-Antwort Form umgeordnet. Das Buch wurde exquisit dargestellt (Griffin, 2009).

Die Brücke (Abb. 2) ist enorm groß dargestellt und nimmt einen wesentlichen Teil des Bildes ein. Damit spielt die Brücke in der Zeichnung eine wichtige Rolle. Allerdings hat ihre Konstruktion gar keine Beziehung zu Cäsars Beschreibung: Es handelt sich nicht um eine Jochbrücke; ihre Pfähle stehen einzeln und vertikal; die Balken verlaufen in Längsrichtung.

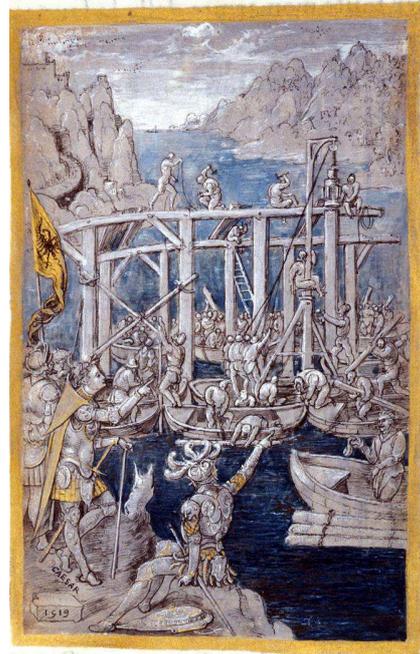


Abb. 2 Cäsars Rheinbrücke von François du Moulin, 1519-1520 (aus: British Library⁵)

III. Renaissance Italien: Cäsars Rheinbrücke als architektonischer Gegenstand

Während der Renaissance in Italien wurde Cäsars Rheinbrücke erstmals wissenschaftlich untersucht, dank der Entstehung der beruflichen Architekten.

Alberti, der Schriftsteller klassisches Lateins

Noch bevor die zahlreichen Illustrationen der *Commentarii* in der Renaissance, erschien das erste Rampenlicht auf die Rheinbrücke in Leon Battista Albertis (1404-1472) *De re aedificatoria*.

Im Jahr 1450 (eine Jubeljahre), wurde die *Ponte Sant'Angelo*, die Hauptbrücke inzwischen dem Vatikan und der Stadt Rom, durch großem Gedränge beschädigt. Alberti erhielt den Auftrag zur Reparatur der Brücke.

Das Kapitel über Brücken in *De re aedificatoria* beschäftigt sich allgemein mit den Problemen, die bei diesem Projekt auftraten.⁶ Bevor sich Alberti mit einer solchen Steinbrücke ausführlich auseinandersetzte, erwähnte er kurz das Thema Holzbrücken und nahm Cäsars Rheinbrücke als ein Beispiel.

Albertis Beschreibungen waren auf den Adel und große Händler ausgerichtet, im Gegensatz zu der späteren Schreibtradition der Architekturtheorie, deren Lesergruppe die Künstler, Architekten und Handwerker waren. So schrieb Alberti in elegantem Latein, was die Gebildeten laut vorlesen konnten. Die originale Handschrift des *De re aedificatoria* besitzt keine Abbildungen⁷. Für den Abschnitt über die Rheinbrücke kopierte Alberti Cäsars Text von der *Commentarii* fast Satz für Satz mit nur kleinen Veränderungen, um den Text besser lesbar zu machen. Den entscheidenden Begriff „*fibulis*“ hielt Alberti für Cäsars originale Benennung.

⁵ Digital manuscript of the British Library:

<http://www.bl.uk/catalogues/illuminatedmanuscripts/ILLUMIN.ASP?Size=mid&IllID=23179>

⁶ Eine kurze Biographie und Einführung über Alberti, siehe Rykwert (1998).

⁷ Für Grund und Hintergrund der Fehler der Abbildungen, siehe Carpo (2007).

Alberti ist der erste Autor, der Cäsars Rheinbrücke als einen Gegenstand der architektonischen Untersuchung angesehen hatte. Allerdings bringt er uns weder neue Informationen außer dem Text der *Commentarii* noch ein genaueres Verständnis.

Giovanni Giocondo (Latein) und die erste Abbildung von Cäsars Rheinbrücke

Die erste Studie über die Rheinbrücke für die *Commentarii de bello gallico* kam von Fra Giovanni Giocondo (1433-1515), ein Mönch, der einem römisch-katholischen Orden angehörte. Er war der Illustrator der 1513 erschienenen Ausgabe der *Commentarii* (in Latein) von der Druckerei Aldina. Die Zeichnung der Rheinbrücke (Abb. 3) erscheint unter Zeichnungen von Karten und militärischen Einrichtungen.

Giocondo hatte die architektonischen Abhandlungen von Vitruv und Alberti studiert, um solche technischen Abschnitten der *Commentarii* zu interpretieren (Griffin, 2009). Tatsächlich hatte er Vitruvs Schriften nicht nur studiert: Er war der Hersteller der ersten Ausgabe von Vitruvs *De Architectura* (1511), noch zwei Jahre früher als seine *Commentarii*.

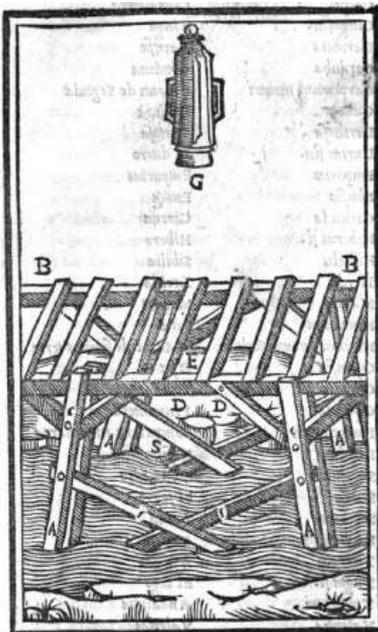
Seine Version von *De Architectura* war die erste Ausgabe mit Glossar und mit zahlreichen Illustrationen ausgestattet, wozu auch eine berühmte Zeichnung von den vitruvianischen Mensch gehört.

Für deutliche Darstellung markierte er eine Reihe von Buchstaben in der Brückenzeichnung, und danach listet er Erklärungen der Bauteile auf. Damit war er nicht, wie sein Biograph Giorgio Vasari (1511-1574) behauptet hatte, der erste Maler der Rheinbrücke (Vasari, 2009), aber der erste, der eine wissenschaftliche Studie daraus gemacht hatte.

Mit „*fibulae*“ (D) wurde hier ein Strebenpaar bezeichnet, die Dreiecksverbindungen zwischen dem Balken und den geneigten Pfählen bilden.

Wir werden es schon gewahr, dass Vitruv in seinem Werk keine Brücken irgendwelchen Arte diskutiert hatte. Somit hatte Giocondo keine Antwort auf den Brückenproblemen darin finden können. Alberti schrieb auch nicht wirklich selbst etwas über diese Brücke, denn vielmehr kopierte er den originalen Text Cäsars. Deshalb stand Giocondo dem Problem gegenüber, die Rheinbrücke nach der Beschreibung von Cäsar zu rekonstruieren.

Abb. 3 Restauration der Rheinbrücke von Fra Giovanni Giocondo (1519)



Giocondo als „Redakteur“ Cäsars war, anders als seine Vorgängerredaktion, nicht nur ein Gelehrter und ein Meister der griechischen und lateinischen Sprachen, sondern auch ein fähiger Architekt, der sich an praktischen Projekten beteiligte, wozu auch Brücken und Kanäle gehörten. Nach der Schreibung von Giorgio Vasari, war Giocondo für den Wiederaufbau der Brücke *Ponte della Pietra* in Verona verantwortlich, zur der Zeit, als die Stadt unter der Herrschaft von Kaiser Maximilian stand (1490-1516):

It was seen to be necessary to refound the central pier, which had been destroyed many times in the past, and Fra Giocondo gave the design for refounding it, and also for safeguarding it in such a manner that it might never be destroyed again. His method of safeguarding it was as follows: he gave orders that the pier should be kept always bound together with long double piles fixed below the water on every side, to the end that these might so protect it that the river should not be able to undermine it. (Vasari, 2009)

Von dieser Beschreibung ausgehend kann vermutet werden, dass Giocondos Vorgehen, die Pfeiler mit Pfählen zu verstärken, um so die Kraft des Wassers abzufangen, eine wirkungsvolle Umsetzung der Beschreibung der Rheinbrücke ist. Damit hatten Giocondos Studien von Cäsars Arbeiten unmittelbar Nutzen für seine Konstruktionsprojekte. Andererseits wurden seine Fähigkeiten im Brückenbau ihm die wissenschaftliche Autorität auf der Erklärung der Cäsars Brücke vergeben. Seine Darstellung der Rheinbrücke wurde in den folgenden Jahrhunderten zum Standard; sie in verschiedenen Versionen und Übersetzungen immer wieder verwendet.

Giocondo war ein Freund von Aldus Manutius dem Älteren, einem Humanisten, Buchdrucker und Verleger und Gründer der Druckerei Aldina in Venedig. Aus dieser Familie stammt eine spätere, veränderte Version der Abbildung von Cäsars Rheinbrücke. Davon später mehr.

Augustine Vrtica von Porta Genova (Italien)

Fast unmittelbar nach Giocondo erschienen häufiger Abbildungen der Rheinbrücke in den lateinischen und volkssprachlichen Ausgaben der *Commentarii*. Sie zeigen deutliche Unterschiede zu Giocondos Verständnis für den "fibulis".

In der 1517 erschienenen italienischen Version *Comentarii di C. Iulio Cesare Tradotti* beim Agostino Vrtica von Porta Genova wurden die "fibulis" einfach mit "fibule" übersetzt, und als ein Paar von Dübeln dargestellt (Abb. 4).



Abb. 4 Restauration der Rheinbrücke bei Agostino Vrtica von Porta Genova (1517)

Dante Popoleschi (Italien)

In der 1518 erschienenen italienischen Ausgabe *Commentarii di Iulio Cesare* von Dante Popoleschi wurden die "fibulis" als "legature" (Pluralform von "legatura", Bindung oder Ligatur) übersetzt. Sie wurden als eine Kombination von Seilknoten, was der Bedeutung des Begriffs "Legatura" entspricht, zusammen mit Paaren von Dübeln dargestellt (Abb. 5).

Popoleschis Version der *Commentarii* wurde gelobt für ihr perfektes Italienisch, das dem "reinen" Latein Cäsars entspreche. Neben der Aufmerksamkeit auf ihrer eigenen Sprache, waren die Italiener gleichzeitig daran interessiert, Wissen über Frankreich und Deutschland zu bekommen. Diese Länder waren unter Cäsars Eroberung, aber seit 1494, führten neue Kriege gegen Italien. „Die Italiener waren niedergeschlagen wegen ihren mangelnden militärischen Erfolgen gegen fremde Mächte in den italienischen Kriegen. Damit gewährten ihnen Cäsars Berichte einen tröstenden Blick zurück auf ihre glücklichere militärische Vergangenheit.“(Griffin, 2009)

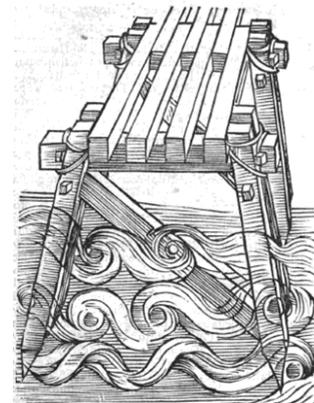


Abb. 5 Restauration der Rheinbrücke von Dante Popoleschi (1518)

Abbildung für Alberti

Albertis *De re aedificatoria* wurde zuerst im Jahre 1485 posthum in reinem Latein veröffentlicht. Beide frühen lateinischen und italienischen Versionen blieben unebildet, bis die berühmte italienische Übersetzung *L'architettura di Leon Batista Alberti* von Cosimo Bartoli im Jahre 1550 erschien. Diese einflussreiche Version wurde mit zahlreichen Architekturzeichnungen in Form von Holzschnitten versehen, wozu eine Skizze der Rheinbrücke gehört (Abb. 6). Das "fibulis" wurde dem Vorbild von Popoleschi folgend als "legature" übersetzt, und zu dieser Zeit wurden sie einfach als Seilknoten dargestellt.

Diese Darstellung findet sich auch noch in der modernen englischen Übersetzung von Joseph Rykwert, mit dem Begriff "bracket" für "fibulae" verwendet wird.

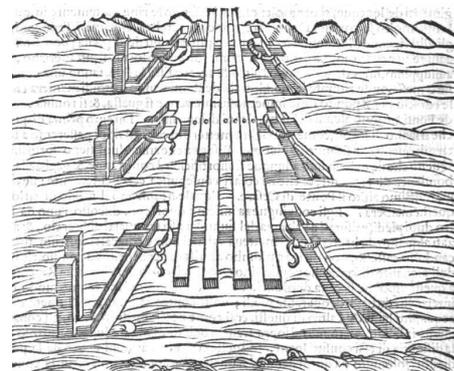


Abb. 6 Abbildung der Cäsars Rheinbrücke in der italienischen Übersetzung für *De re aedificatoria* von Cosimo Bartoli (1550)

Aldus Manutius der Jüngere (Latein)

1571 veröffentlichte Aldus Manutius der Jüngere eine lateinische Version der *Commentarii, Caii Iulii Caesaris Commentariorum*, die nach seiner Überarbeitung nun mit Karten ausgestattet waren sowie mit Abbildungen der militärischen Brücken, Befestigungen, Belagerung Türme, Waffen plus einige von Cäsar genannten fremde Tiere aus deutschen Wald. So zu seiner Zeit lehrt Cäsars Text nicht nur reinen Latein, Tugenden, militärische Taktik und Technik, sondern auch europäische Geographie und Naturgeschichte (Griffin, 2009).



Abb. 7 Restauration der Rheinbrücke von Aldus Manutius Ausgabe (1574)

Die Darstellung der Rheinbrücke zeigt eine lebhaftere Szene ihrer Konstruktion mit einem Kran, der einen Pfosten rammt. Ebenfalls dem Vorbild von Giocondo folgend, wurden die Abbildung mit Buchstaben und Erklärung der Terminologie der Bauteile markiert. Trotzdem scheint es, als ob der Illustrator (Abb. 7) nur wenig über die Konstruktion einer Brücke wusste. Der Joch steht isoliert in falscher Richtung, und die „fibulis“ (B) wurden als einfache kurze horizontale Holzstäbe dargestellt. Um mit der neuen Zeichnung übereinzustimmen, wurde die Beschreibung der „fibulis“ aus dem originalen Text Cäsars verändert:

B. Trabes transversariae bipedales, quibus ea tigna iungebantur interuallo pedu duorum, ab vtroque latere fibulis infixis.

[B. Querträger von zwei Füßen, die in den Pfosten mit zwei Fuß inzwischen verbunden wurden, von beiden Seiten durch fibulis befestigt wurden.]

Aldus Manutius' Version wurde im 16. Jahrhundert mehrfach aufgelegt.

IV. Palladios Rheinbrücke

Cäsars Rheinbrücke in *I quattro libri dell'architettura*

Die einflussreichsten Darstellungen der Gallischen Kriege stammt von Andrea Palladio (1508-1580).

Der von Alberti begonnen Tradition folgend, veröffentlichte Palladio 1570 sein großes Architekturtraktat *I quattro libri dell'architettura*. Anders als Albertis schrieb Palladio in Italienisch und erläuterte seinen Text mit zahlreichen selbst gezeichneten Abbildungen.

Im Abschnitt über Brücken diskutiert Palladio zunächst Holzbrücken, wobei er Cäsars Rheinbrücke als erste Beispiel nimmt. Palladio erwähnt mit Stolz, dass er die Cäsars Brücke in seiner Jugend gedacht (*imagina*) hat, wenn er zum ersten Mal Cäsars Kommentare las (Abb. 8).

Es ist bemerkenswert für seine Einstellung gegenüber seinen eigenen und vorangegangenen Studien, dass Palladio hier selbst eine eigene Interpretation („disegno“ Entwurf) der Cäsars Brücke vorstellt, nachdem sie in mehreren Ausführungen und Entwürfen bereits verschiedentlich dargestellt worden ist.

Palladio zitiert in seinem Buch aus dem lateinischen Text von Cäsar die komplette Beschreibung der Brücke,

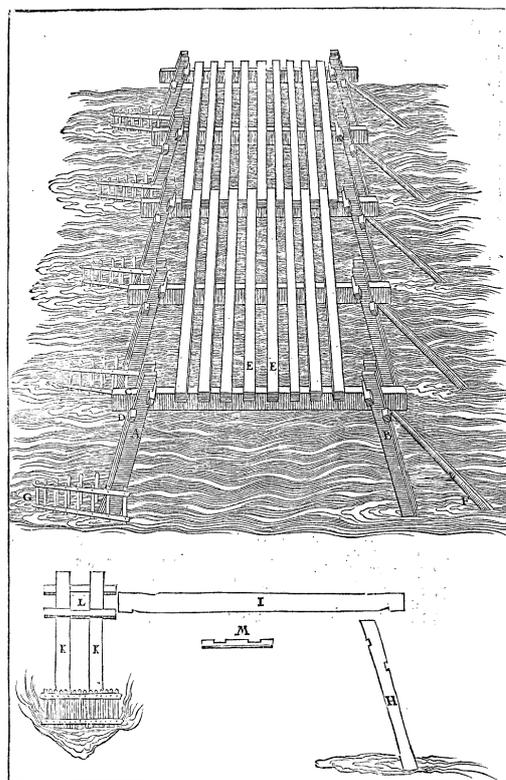


Abb. 8 Palladios Darstellung der Cäsars Rheinbrücke (1570)

die er dann ins Italienische übersetzt. In der Übersetzung behält er das Wort „*fibule*“ bei. In seiner Zeichnung beschreibt er es als ein Paar von Bolzen (Abb. 8 M), die die Kreuze des Balkens und der Pfähle klemmt und eingekerbt dargestellt sind. Dank dieses Gerät, sind die Bauteile der Hauptkonstruktion miteinander verriegelt, wodurch vermieden wird, dass sie sich unter der Schubkraft des Wassers trennen.

Sowohl Palladio als auch Alberti zeigten mit ihren großartigen Abhandlungen einen Widerhall an Vitruv, und beide liefern Passagen in ihren Werken zum Thema von Brücken, ein Gegenstand, der von Vitruv vernachlässigt worden war. Und sowie das ehemalige Exemplar Alberti, wurde Palladios Interesse an Brücken durch praktische Aufgaben geweckt.

Im Oktober 1567 wurde die alte Brücke in Bassano über den Fluss Brenta in Italien durch ein Hochwasser weggespült. Es war eine überdachte Jochbrücke, ganz aus Holz gebaut. Palladio war verantwortlich für das Wiederaufbauprojekt. Er schlug zunächst vor, eine steinerne Brücke nach dem alten römischen Vorbild zu bauen. Dies aber wurde von der Stadtverwaltung abgelehnt. Sie verlangten eine Rekonstruktion der originalen Brücke. Palladio legte seinen endgültigen Entwurf 1569 vor, in dem er eine Wiederherstellung der alten Form vorsah, technische und statische Probleme aber mit neuen Lösungen verbesserte (Puppi, 2000). In seinem *I quattro libri dell'architettura* finden sich die Beschreibung und die Pläne dieser Brücke im letzten Kapitel des Holzbrückenabschnitts.

Palladios *I Commentarii di C. Giulio Cesare*

1575 veröffentlichte Palladio seine Ausgabe der italienischen Übersetzung der *Commentarii, Commentarii di C. Giulio Cesare*. Darin ist die Abbildung der Rheinbrücke die gleiche wie im früher erschienenen *quattro libri*, aber hier wird das „*fibulis*“ als „*legature*“ übersetzt.

Neben den üblichen Karten, Zeichnungen der Befestigungen und Brücken, fallen in Palladios Übersetzung zahlreiche Radierungen auf, die Schlachten, Formationen und Feldlager wiedergeben. Sie sind in der Vogelperspektive dargestellt. Alle Zeichnungen stammen von Palladio selbst.

Auf diese Weise versuchte er, Cäsars Text übersichtlicher und verständlicher zu gestalten und seinen Soldaten dessen militärische und ingenieurwissenschaftliche Technik näherzubringen. Die damaligen Soldaten Italiens stammten aus der ungebildeten Landbevölkerung und waren in der Verteidigung ihres Lands erfolglos. Palladio widmete dieses Buch dem Feudalherr Jacopo Boncompagno und wies darauf hin, dass Italien nach seinen militärischen Niederlagen „deprimiert sei“. Die antiken römischen Kampffertigkeiten würden, so Palladio weiter, trotz der Veränderungen äußerer Bedingungen auch seinerzeit noch einer Nachahmung würdig sein (Griffin, 2009).

Eine praktische militärische Zwecke war das gemeinsame Ziel der italienischen Illustatoren / Herausgeber der Texte Cäsars zu dieser Zeit. Als Giocondo seine *Commentarii* veröffentlichte, hatte Italien bereits seit fast zwei Jahrzehnten unter den italienischen Kriegen⁸ gelitten. Die Enttäuschung über die militärischen Misserfolge hatte in den folgenden 50 Jahren nicht gemildert werden können. Darin liegt wahrscheinlich begründet, dass die Rheinbrücke und andere militärischen Einrichtungen in der Veröffentlichung der Cäsars Kommentar in diesem Land viel Aufmerksamkeit zu teil wurde.

Mit Palladios Zeichnungen begann eine neue Tradition der Illustration der *Commentarii*, aber seine Zeichnungen der Schlachtordnungen wurden nach und nach weniger. In einigen späteren Ausgaben im 19. Jahrhundert ist nur noch die Rheinbrücke zu sehen, oder eine veränderte Abbildung nach seiner ursprünglichen Idee der Brücke, als die einzelne Darstellung des Buches.

Ausführbarkeit der Palladios Restauration

Cäsars Beschreibung der Rheinbrücke diente Palladio als Ausgangspunkt für seine „Entwurf“. Allerdings ist sie technisch gesehen für das Schlachtfeld nicht leicht praktisch umsetzbar. Nach Palladios Entwurf werden Pfähle und Balken zum vierkantigen Querschnitt gehackt; die Position der Bolzen (*fibulis*), die Tiefe und die Winkel der Kerben müssen genau berechnet und ausgeführt werden, sonst ist die entstehende

⁸ Oder Renaissance-Kriege, eine Reihe von Kriegen, die zwischen 1494 und 1559 zu einem großen Teil auf dem Gebiet des heutigen Italien ausgetragen wurden

Verbindung zu locker oder es treten große Abweichungen in der Neigung der Pfähle auf.

Palladios Entwurf gibt jedoch eine kluge durchdachte Anlage wieder, die an Land hergestellt werden kann und einen ruhigen Fluss überqueren soll. Es wird kaum möglich sein, eine solch anspruchsvolle Anlage im Wasser vor Ort herzustellen. Aber nach Cäsars Beschreibung kann die Höhe der Pfähle nur den Bedingungen im Fluss entsprechend entschieden werden.

Palladios Entwurf („*disegno*“) der Rheinbrücke, wie er es nannte, ist eine „Erfindung“ in seinen jungen Jahren unter dem Einfluss von Cäsar. Obwohl das Bild der Brücke in Cäsars Text recht genau erscheint, hatte Palladio vom strengen modernen Blick keine echte Absicht eine Baurestauration zu machen. Wie er es erwähnt, war der Entwurf der Rheinbrücke ein Rätselspiel für den Junge.

Es gab jemanden, der sich mit diesem Rätsel von aus einer technischen Perspektive auseinandersetzte und eine ähnliche Lösung wie Palladio fand, noch bevor dieser geboren war. Er war Leonardo da Vinci (1452-1519).

Teil B

Erfindung der da Vincis gewebte Konstruktion

I. Leonardo da Vinci, das Genie

Im Gegensatz zu anderen Architekten der Renaissance wurden da Vincis Manuskripte nie zu seinen Lebzeiten oder kurz darauf folgend veröffentlicht. Sie haben sich in privaten Sammlungen erhalten und wurden unwiederbringlich umgeordnet. Es ist unmöglich, die ursprüngliche zeitliche Reihenfolge ihrer Entstehung zu rekonstruieren. Neben den wenigen Spuren, die einen allgemeinen Zeitumfang ergeben können, können wir für diese Studie nur die Logik der Ideen hinter dem Inhalt der Zeichnungen da Vincis untersuchen, um sie damit in eine zeitliche Ordnung zu bringen.

Da Vincis Forschung über Cäsars Rheinbrücke

In einem Brief (ca.1481-82) an Ludovico Sforza, der Herzog von Mailand, in dem da Vinci um eine Anstellung als Kriegingenieur bittet, führt er alle seine Fähigkeiten auf. Zuoberst nennt er seine Fähigkeiten im Brückenbau:

„1. Habe ich Mittel, sehr leichte Brücken anzufertigen, die sich sehr bequem transportieren lassen und mit denen man die Feinde verfolgen sowie auch ihnen nach Gelegenheit entfliehen kann. Und andere, die gegen Feuer gesichert und von der Schlacht unverletzbar sind, sowie auch leicht und bequem wegzunehmen und wieder aufzuschlagen. Nicht minder auch Mittel, die Brücken der Feinde in Brand zu setzen und zu zerstören.“ (Mereschkowski, 2013)

Die von ihm aufgelisteten Eigenschaften der Brücken, die er zu bauen plant, erinnern an Cäsars Erzählung der Rheinbrücke: sie seien leicht, robust, transportabel sowie effizient auf- und abzubauen, und sie besäßen eine starke, feste und stabile Konstruktion.

Gleichweise als Kriegsgeräte, solcher Brücken sind in da Vincis Handschriftensammlungen zu finden. In seine Zeichnungen im Folio 58 von Codex Atlanticus (Abb. 9), sind eine Gruppe von Konstruktionsdetail. Die geneigten Pfähle sind paarweise gruppiert. Dazwischen befinden sich, waagrecht angeordnet, runde oder quadratische Balken sowie identische *fibulis* der Cäsars Rheinbrücke (die kleinen hölzernen Stangen im Paar am Kreuz der Balken und Pfähle gesetzt), die wir bereits bei Palladio kennen gelernt haben. Diese Konstruktionseigenschaften weisen darauf hin, dass sich da Vinci mit dem Thema der Rheinbrücke beschäftigt haben muss. Die zahlreichen verschiedenen Arten der Verknotungen weisen darauf hin, wie sorgfältig er sich mit der Studie darauf auseinandergesetzt hatte.

Zwei Skizzen am Unterteil der Seite stellt eine Konstruktion und ihr Verbindung Detail dar, die durch die Verbindung bzw. Verknotung mehrerer ziehender Seile geschaffen wurde. Hier zeigt sich, dass Leonardo war es bewusst, dass dieser Art von Gerät eine die Besonderheit der baulichen Eigenschaften: die Konstruktion erhält ihre Stabilität durch die Zentripetalkraft, die hier durch die nach Zentrum ziehend Seile gelt. Ähnlichweise wirkt sich eine Belastung von oben auf den Balken oder eine Belastung durch seitlichen Schub auf den oberen Teil der Pfosten positiv auf die Stabilität der Konstruktion aus. Diese Eigenschaft erinnert die Beschreibung von Cäsar: *„eine solche Beschaffenheit, dass die Verbindung zwischen den Pfahlpaaren um so stärker wurde, je kräftiger die Strömung dagegen andrang“*.

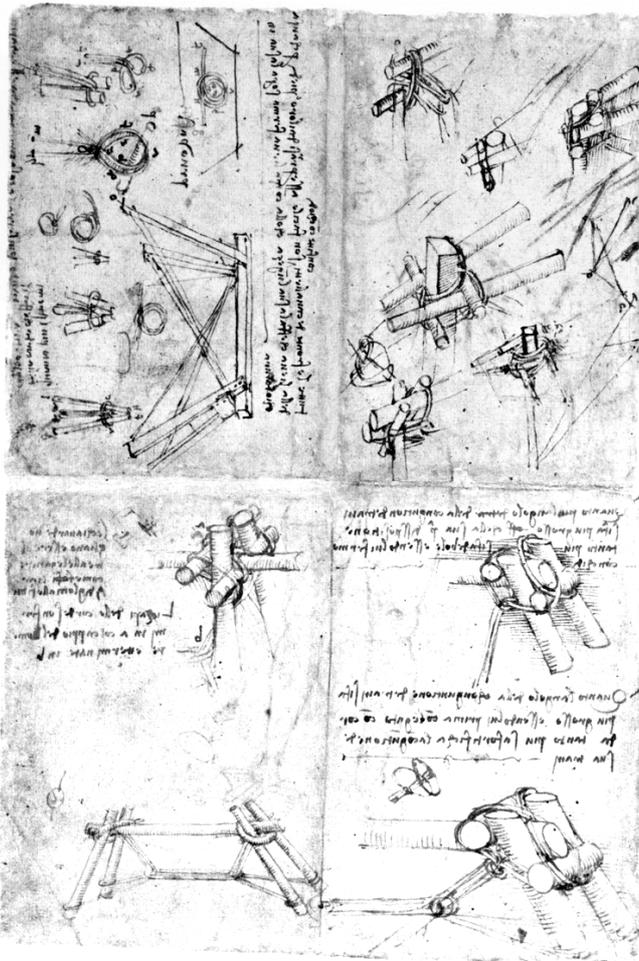
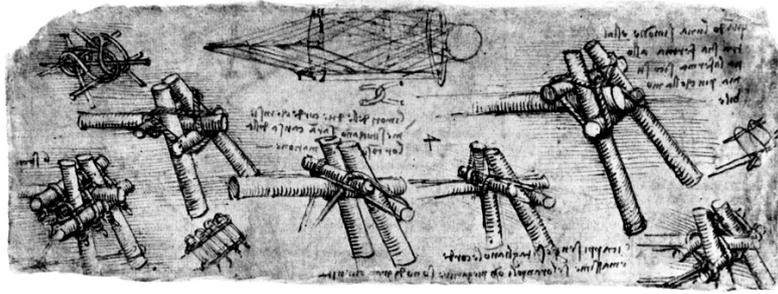


Abb. 9 Leonardo da Vinci, Skizzen. (aus: Codex Atlanticus, Folio 58)

Der erste Gedankensprung eines Genies: Erfindung der Klemmenbrücke

Da Vinci war kein Illustrator der *Commentarii*, dem beide die Treue des Originaltextes und die Durchführbarkeit der Wiederherstellung sollen sorgfältig erfüllt. Da Vinci war in erster Linie ein praktischer Militäringenieur. Seine Studien über die römischen Kriege boten ihm eine bessere Fähigkeit für diese Rolle. Er begrenzte sich nie beim Cäsars Text. Die Idee solcher ineinandergreifenden Verbindung begeistert ihm noch weiter, auf ganzer Konstruktion zu übertragen.

Im Folio 902 des Codex Atlanticus (Abb. 10), stellt da Vinci zwei Arten von Brücken dar. Sie sind beide Längskonstruktion (d.h. die Hauptträger sind entlang die Fahrriichtung der Brücke), die waagrechte Balken sind jeweilig von paarweise angeordneten, X-förmigen Ständern, die aus kreuzend Pfosten zusammengeknüpft sind, getragen.

Die Skizze in der Mitte (Abb. 10 a) zeigt in klaren Linien gezeichnet eine Art Brücke, ihre beide Hauptträger sind für sich von einer Reihe X-förmigen Stützen getragen (obwohl nur eine gezeichnet). Die Ständer eines jeden Trägers funktionieren selbständig und sind voneinander getrennt.

In der links daneben skizzierten, auf den ersten Blick ähnlichen Brückenkonstruktion (Abb. 10 b) gibt es einen wichtigen Unterschied. Ihre X-förmigen Ständer sind jetzt ordentlich paarweise in einer Reihe gesetzt und werden im Mittel zusammengeknüpft. Dadurch wird die Stabilität der Konstruktion erhöht.

Die Skizzen am oberen und unteren Rand der Abbildung (Abb. 10 c) zeigen eine interessante Idee. Die beiden Pfosten der X-förmigen Ständer funktionieren jetzt als Klemme (Brücken mit dieser Konstruktion sind als „Klemmenbrücke“ genannt in diesem Kapitel), um das Paar von Längsträgern zu halten. Für ihre Ausführbarkeit muss die Neigung der Pfosten sehr flach sein.

Es ist fast bestimmt, dass da Vinci diesen Klemmmechanismus sich an die Konstruktion der Rheinbrücke anlehnte: sie sind genau die vergrößerten X-förmigen Verbindung (Abb. 9), die da Vinci viele malen in seine Forschung der Cäsars Brücke studierte hatte.

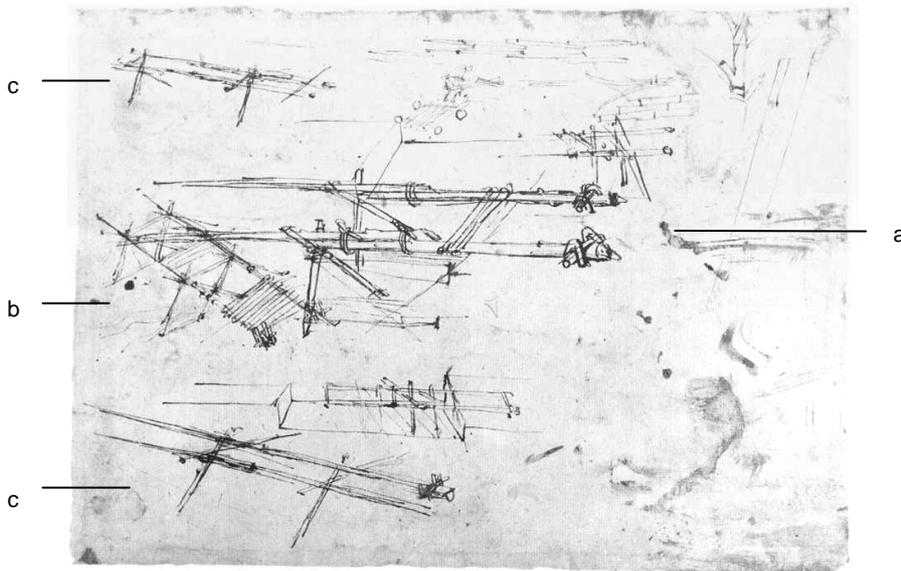


Abb. 10 Leonardo da Vinci, Skizzen.
(aus: Codex Atlanticus, Folio 902)

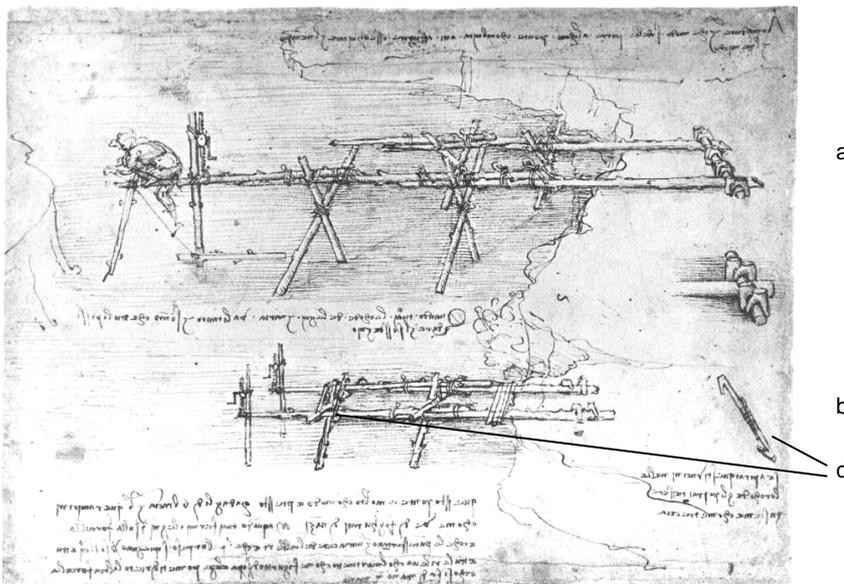


Abb. 11 Leonardo da Vinci, Skizzen.
(aus: Codex Atlanticus, Folio 55)

Auf den ersten Blick, erscheint die Brückenzeichnungen im Folio 55 des Codex Atlanticus (Abb. 11) eine ausgearbeitetere Version der Skizzen im Folio 902 zu sein. Aber ihre Unterschiede sind wesentlich. Die Zeichnungen im Folio 902 zeigen verschiedene Arten von Brücken (Brücke mit X-förmige Stütze und Klemmenbrücke), während im Folio 55 die zwei Schritte des Aufbaus einer einzigen Klemmenbrücke dargestellt sind.

Im Text des Folio 55, in "gespiegelter" Handschrift geschrieben, weist da Vinci auf die Schritte des Aufbaus einer Brücke ganz klar hin:

Text oben:

Armature. In che modo si debbe porre alcuno ponte con brevità, atti a fuggire o seguitare il nemico.

[*Armature. Wie man eine Brücke in kurzer Zeit (aufzubauen) soll, dient der Flucht vor dem Feind oder der Verfolgung des Feindes*]

Text in der Mitte:

Quando tu hai le code de' legni in aria, va li tanto in sommo che tu li possi dare il sostegno.

[*Wenn das Ende des Holzes in der Luft haben, gehen sie so hoch, dass es möglich ist, sie zu unterstützen.*]

Text unten:

Questo ponte è molto comodo e presto, ma dagli di sei braccia in sei que' rampini come vedi figurati dinanzi. Ma quando tu hai fermi i legni in sulla forcella e che le punte sportano in aria cioè de li alberi, e che pel lor peso si piegano verso l'acqua, e tu le rileva col martinetto, com'è figurato di sopra, e lega. Po' metti dirieto l'altra forcella, e così fa di mano in mano. (Marinoni, 1974)

[*Diese Brücke ist sehr bequem und schnell aufzubauen, sechs Arme Länge von sechs nach vorne tragen. Sobald die Hölzer auf der Gabel liegen und die Spitzen in die Luft ragen, werden sie sich durch ihr Gewicht in Richtung des Wassers biegen, mit dem Hebezeug angehoben, wenn er von oben ausgeführt, und gebunden. Dann setzten Sie die nächste Gabel und bearbeiten sie ein Stück jeweils nach vorne.*]

Die obere Zeichnung (Abb. 11 a) zeigt den ersten Arbeitsschritt, während dem die Balken von dem Arbeiter vor Ort eingesetzt werden. Die unteren X-förmigen Ständer funktionieren jetzt als Gerüst (Abb. 12, Schritt 1). Danach wird ein Pfosten des X-förmigen Ständers, der von außen nach innen geneigt, nach unten gebogen, bis er den gegenüberliegenden Balken erreicht hat. Wenn diese Stufe an beide Ständer fertig ist, funktioniert die Konstruktion jetzt als Klemmgerät (Abb. 12, Schritt 2). Haken (Abb. 11, c) werden dann eingerichtet, um die Balken festzuhalten. Die übrigen Pfosten der Ständer könnten jetzt demontiert werden, das die fertige Konstruktion, die untere Zeichnung (Abb. 11 b) gezeigt (Abb. 12, Schritt 3).

Beim Vergleich der Zeichnungen in Folio 55 (Abb. 11, a und b) mit der Zeichnung im Folio 902 (Abb. 10, a und b) finden sich zwei wesentliche Unterschiede. Erstens bedecken die Brücken im Folio 902 mit einer Schicht von Brückendeck, geformt aus kleinen Hölzern, die auf die Hauptträger und quer zu die Längsträger gesetzt sind. Damit werde die Brücke ein fertiges Gebäude hingewiesen. Sein Gegenstück im Folio 55 (Abb. 11, a) ist nackt ohne Deck, seit sie noch unter Konstruktion ist; während die Schritt später (Abb. 11, b) ist fertig gedeckt als der letzten Schritt der Konstruktion.

Zweitens, liegen bei den betreffenden Brücken im Folio 902 (Abb. 10 a und b) die Längsbalken gerade an der Kreuzung des X-förmigen Ständers, also auf der Stelle, an der sie naturgemäß zum Liegen kommen. Im Unterschied dazu sind die Balken im Folio 55 (Abb. 11a) auf den äußeren Pfosten befestigt, die schließlich entfernt werden, und sie haben einen gewissen Abstand von der Kreuzung des X-förmigen Ständers. Weil diese Stelle ist keine endgültige Stelle der Längsbalken. Nach dem Klemmen, werden die äußeren Pfosten abgebunden und entfernt.

Diese Details geben uns klare Hinweise auf da Vincis Gedankengänge während der Erfindung einer neuen Art von Brücke (Klemmenbrücke) und seinen Plan des entsprechenden Konstruktionsprozesses.

Der Nachteil dieser Konstruktion ist offensichtlich. Wenn die Balken in einem bestimmten Abstand gehalten werden, um nach der Deckung ausreichend Raum für eine Nutzung durch



Abb. 12 Modell für die Skizze in Folio 55 des Codex Atlanticus.

Truppen zu gewährleisten, werden die Pfosten in einer sehr flachen Neigung stehen, was die Brücke sehr niedrig macht (Abb. 12, Schritt 3). Eine hohe Brücke würde auf steil geneigten Pfosten stehen, und dann wäre die Brücke sehr schmal. (Abb. 13)

Um dieses Problem zu lösen, erfand da Vinci eine Klemmenbrücke mit doppelten X-förmigen Ständern (Abb. 14), die jeweils einen Paar von eng angeordneten Längsbalken einklemmen. Durch die Verdoppelung der ehemaligen problematischen Konstruktion, funktioniert diese Brücke jetzt mit dicht angeordneten Pfosten und flexibler Breite, so dass sie von einer großen Armee übergangen werden kann.

Eine wesentliche Information über diesen Brückenentwurf befindet sich in dem erklärenden Text unterhalb der Zeichnung. Da Vinci sprach hier deutlich die Idee an, die Brücke zu „weben“ („*tessere il ponte*“) (Giorgione, 2009). Darauf kommen wir später zurück.

Bei näherer Betrachtung der Konstruktion (Abb. 14) wird deutlich, dass da Vinci nicht einfach zwei X-förmige Ständer zusammensetzte. Er fügte zusätzlich in der Mitte der Kreuzungspunkte am Fuße der X-förmigen Ständer Längshölzer ein. Diese Längshölzer Balken funktionieren hier als paarweise angeordnete Klemmen, ebenso wie die Verbindungen am Oberteil der Konstruktion. Diese Klemmen sind ein Hilfsmittel, um die Stabilität des gesamten Rahmens zu erhöhen. Und es taucht eine weitere interessante Gegebenheit auf: Wir haben hier nicht einfach zwei gewebte Rahmen nebeneinander, sondern eine einzige M-förmige Faltkonstruktion mit gewebten Verbindungen an alle drei Verbindungen.

Außerdem befinden sich am Ende der Brücke einer Gruppe von vier Pfosten (Abb. 14 a). Sie laufen entlang die Fahrrichtung der Brücke, von der Küster im Querbalken der X-förmigen Ständer eingegangen, nach dem gleichen Prinzip mit ein Paar Querbalken von oben und unten verriegelt. Dies ergibt eine zusätzliche Dimension des Gewebe-Mechanismus.

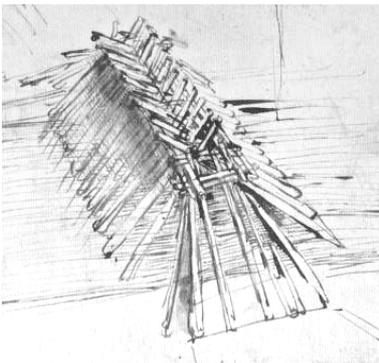


Abb. 13 Leonardo da Vinci, Skizzen.
(aus: Codex Atlanticus, Folio 71)

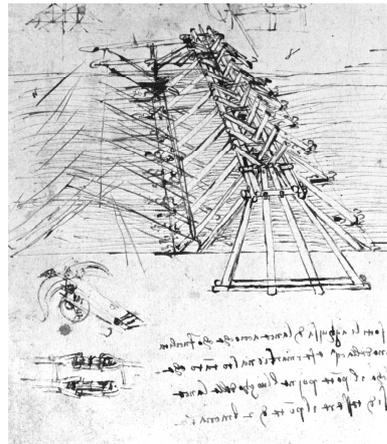


Abb. 14 Leonardo da Vinci, Skizzen.
(aus: Codex Atlanticus, Folio 57B)

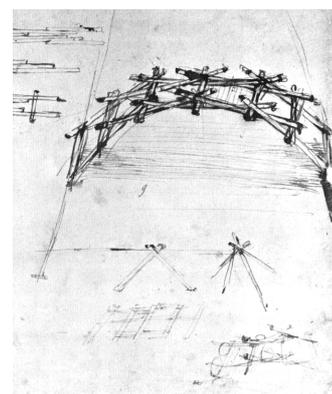


Abb. 15 Leonardo da Vinci, Skizzen.
(aus: Codex Atlanticus, Folio 69A)

Der zweite Gedankensprung eines Genies: Erfindung der Gewebebogenbrücke

Das Folio 57B ist der linke Teil eines größeren Papiers, auf dessen rechtem Teil sich das Folio 69A befindet. Auf diesem Folio ist die schönste und bekannteste Konstruktion der da Vinci-Brücken zu sehen, eine „Gewebebogenbrücke“ (Brücke von Konstruktionsform gewebtes Bogens) (Abb. 15).

Werden beide Folios nebeneinandergelegt und so zur ursprünglichen Stelle des Papiers verbunden, sind in der Mitte kleinere Zeichnungen zu finden (Abb. 16). Sie geben wahrscheinlich den Bauprozess der Konstruktion wieder. Die in der Mitte ist der erste Schritt des Bauprozesses einer verdoppelte X-Ständer Brücke (Abb. 16b). Pfosten der Ständer sind in vier gruppiert im Flussbett stoßend. Darauf werden die Längsträger gefestigt. Dann kann man die Pfosten paarweise an ihrer richtigen Neigung drücken, oder nach da Vincis Schreibung „biegen“, und mit den Längsbalken festmachen.

Oben (Abb. 16a) ist eine Gruppe von drei Skizzen. Sie zeigen die Verfahren der Gewebebogenbrücke. Erste werden die Längsbalken an Land eine nach der anderen gesetzt, und dann mit den dazwischen

laufenden Querbalken verknüpft.

Lange gingen Wissenschaftler davon aus, dass diese zwei Folien (Folio 57 und Folio 69) aus einer gleichen Papier sind (sie wurden von früherem Sammler getrennt). Es war ihnen nicht bewusst worden, dass die beiden Zeichnungen, obwohl völlig unterschiedlich im Aussehen, zu einem kontinuierlichen Gedanken gehören, der zu einer außerordentlichen Erfindung weiter führte.

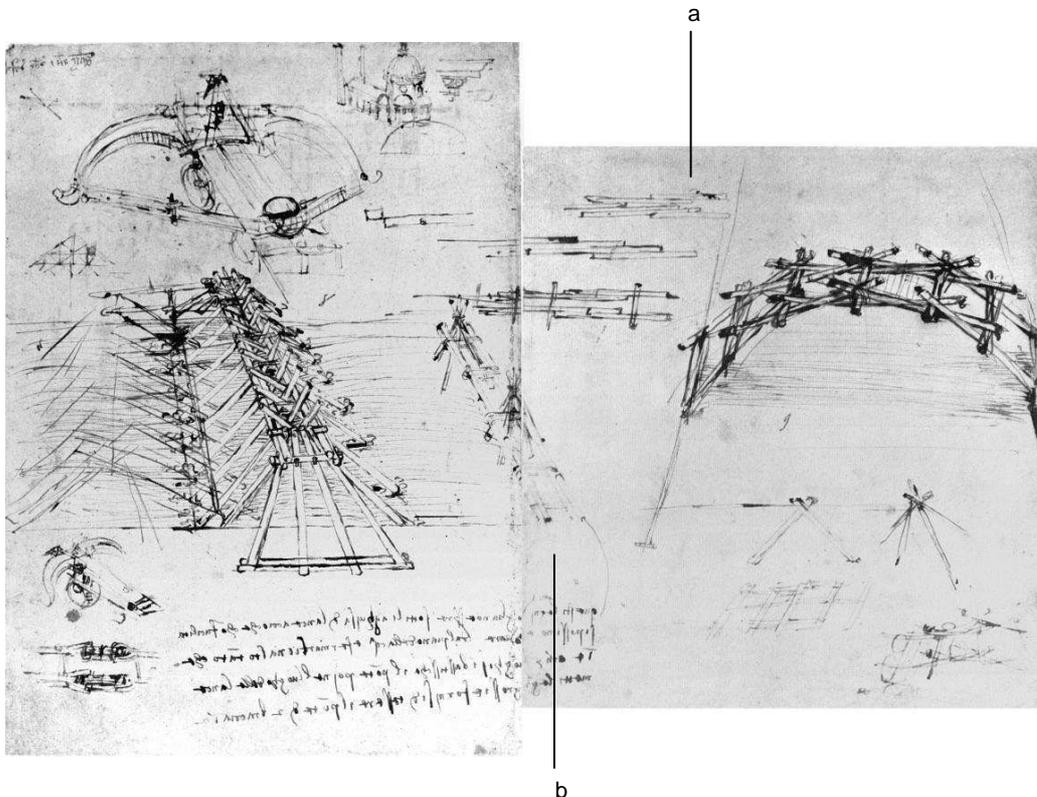


Abb. 16: Leonardo da Vinci, Skizzen. (aus: Codex Atlanticus, Rekombination von Folio 57 und Folio 69)

Wie hatte da Vinci seine Idee der Gewebebogenbrücke entwickelt und fortgeführt? Die Skizze am unteren Rand des Folios 183 im Codex Atlanticus (Abb. 17) kann uns einen Hinweis geben. Hier ist ein Gewebebogen zu sehen, der nahezu identisch ist mit der im Folio 69 skizzierten Konstruktion (Abb. 15). Auf ihre rechten Seite sind die Details skizziert, das identisch ist mit den konstruktiven Verbindungen der Rheinbrücke von Cäsar (Abb. 9) und die X-förmige Ständer der Klemmenbrücken (Abb. 10 c).

Beim der Prinzip der Klemmenbrücken (Klemmenprinzip) zu erweitern, entdeckte da Vinci das Gewebebogenprinzip. Mit diesem Prinzip ist die Konstruktion theoretische vom Hilfsmittel der Klemmenbrücke (Schnur oder Hacken) befreit. Jeder Balken ist jetzt miteinander greifend. Die Querbalken sind bei den Längsbalken geklemmt, wie die Kettenfäden des Gewebes.

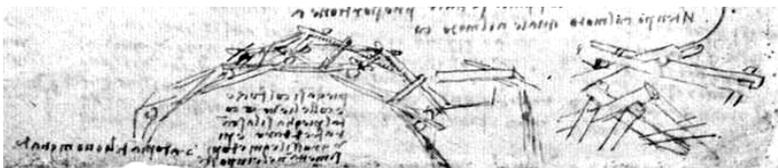


Abb. 17: Leonardo da Vinci, Skizzen. (aus: Codex Atlanticus, Folio 183, unter auf der Seite)

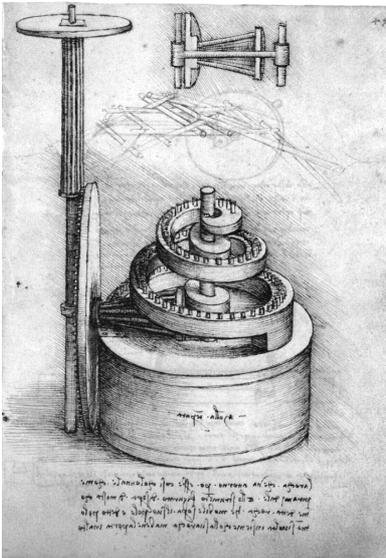
Die Idee eines Gewebebogens scheint da Vinci so sehr fasziniert zu haben, dass er dieses Thema wieder und wieder untersuchte, um allen möglichen Varianten zu entdecken.

Auf Folio 45, Codex Madrid, da Vincis Handschriftsammlung in Madrid aufbewahrt (Abb. 18 a) ist im Hintergrund einer spiralförmigen Maschine in hellen Linien gezeichnet ein Gewebebogen zu sehen, der mit verdoppelten Querbalken dargestellt ist.

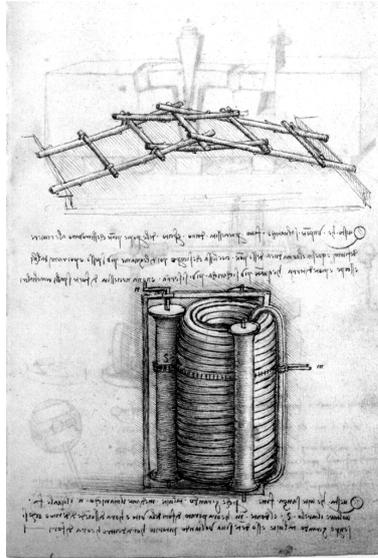
Im nächsten Folio desselben Codex (Abb. 18 b) ist eine einfachste Einheit der gewebten Konstruktion zu sehen. Sie könnte den Prototyp der Gewebebrücke darstellen, der am Übergang von der Klemmenbrücke

zur Gewebebogenbrücke steht.

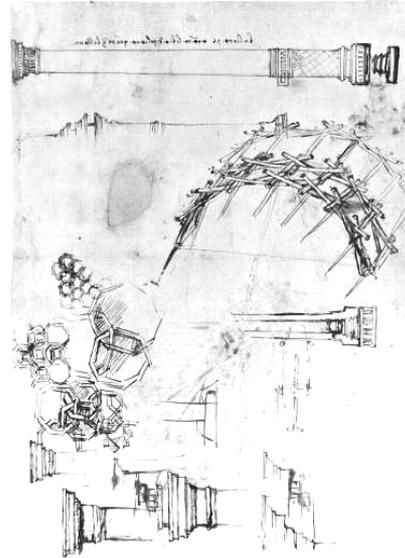
Im Folio 71 des Codex Atlanticus (Abb. 18 c), versuchte da Vinci, durch Wiederholung einer Bogenreihe eine doppelt breite Brücke zu entwerfen. Diese Konstruktion bildet mehrere gewebte Einheiten und formt fast einen Halbkreis.



a. Folio 45, Codex Madrid



b. Folio 46, Codex Madrid



c. Folio 71, Codex Atlanticus

Abb. 18: Leonardo da Vinci, Skizzen den Gewebebögen.

Der letzte Gedankensprung eines Genies: Erfindung des Gewebegewölbes

Die letzte Stufe in da Vincis Gedankengängen bzw. Überlegungen ist der Übergang von einer zweidimensionalen gewebten Konstruktion (gewebter Bogen) zu einer dreidimensionalen gewebten Konstruktion (gewebtes Gewölbe).

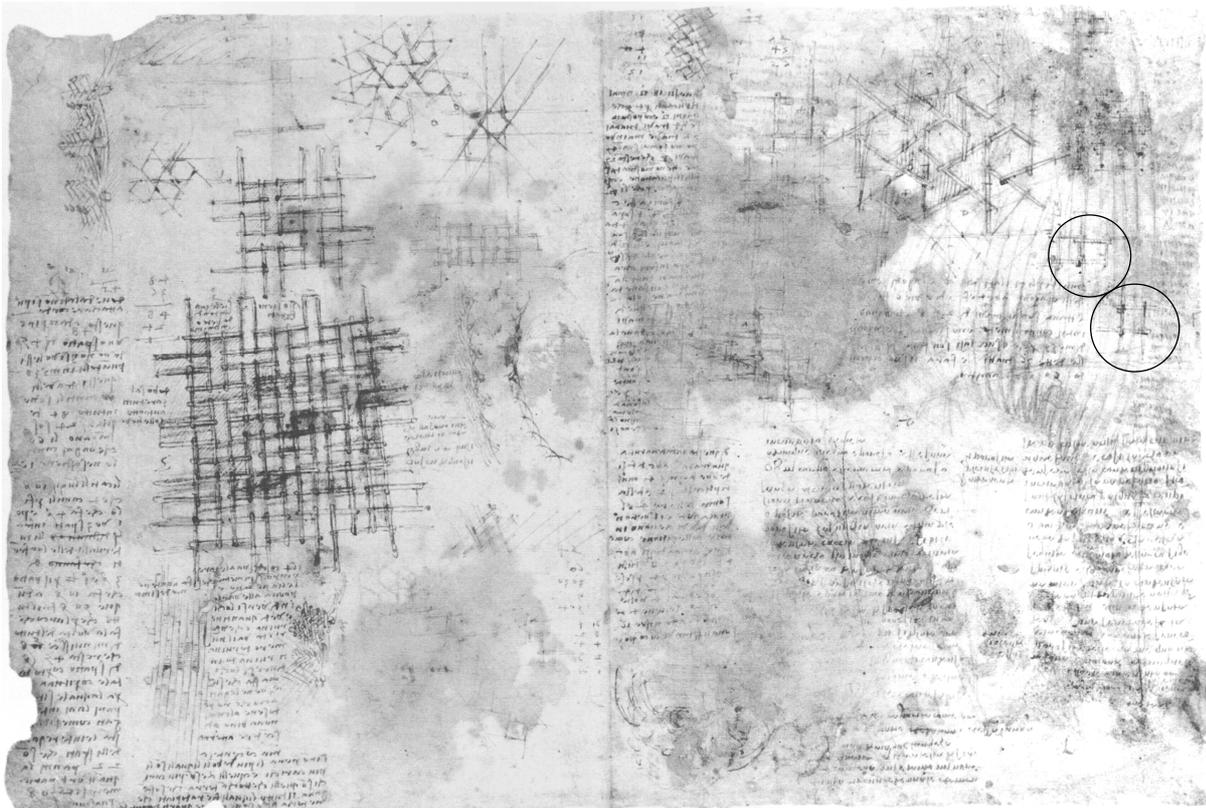


Abb. 19: Leonardo da Vinci, Skizzen. (aus: Codex Atlanticus, Folio 899)

Er nahm einfachste geometrisch Formen, zwar regelmäßige Polygone, Quadrate und Dreiecke als Grundeinheiten. Dem Gewebebogenprinzip, das vom gewebte Bogen geübt hatte, entsprechend erweiterte er sie zu einer ausdehnenden Konstruktion (Abb. 19).

Obwohl in waagrechte Ebene gezeichnet, stellen sie sicherlich eine Art von gewölbt Konstruktion dar. Die Balken des Gewebegewölbes sind auch miteinandergreifend. Gleichweise wie dem Gewebebogen, ist jeder Balken an beiden Enden von den Nachbarnbalken stützt, während stützen sie in der Mitte die Balkenenden anderer Nachbarn.

II. Hebelstabwerk, andere Tradition

Von Villard de Honnecourt bis zu Sebastiano Serlio

Da Vincis Gewebegewölbe, oder "Hebelstabwerke", wie es die moderne Wissenschaft bezeichnet, erfuhren in den vergangenen Jahrzehnten viel Aufmerksamkeit⁹. Die Idee, dass eine größere Ebene (z.B. Decken und Boden) mit kürzer Balken zusammenzufassen, kann bis ins 13. Jahrhundert zurückverfolgt werden, bezeugt bei den Skizzen des damaligen französischen Baumeisters Villard de Honnecourt.

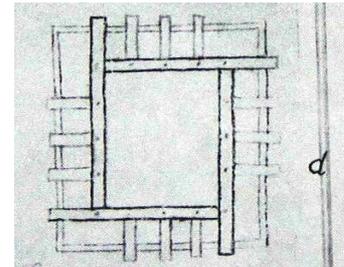


Abb. 20: Villard de Honnecourt, Skizzen. (aus: Bowie, 1959)

In seinen Manuskripten skizzierte de Honnecourt eine Methode, wie die Zimmererleute im Mittelalter einen Boden oder ein Dach mit kürzeren Balken zu spannen vermochten (Abb. 20). Jedes Bauteil innerhalb der Konstruktion sind mit benachbarte Bauteile verbinden, sie bedecken die ganz Fläche zusammen. Durch diesem „gegenseitige stützend“ Prinzip können größere Spannweiten erreicht werden. Eine solche Art der Bodenkonstruktion wurde u.a. in der Renaissance studiert. Darunter ist beispielsweise der Architektur Sebastiano Serlio, weshalb diese flachen Decktragwerk nach ihm benannt worden war.¹⁰

Allerdings beschäftigten sich diese Baumeister mit einer flachen Konstruktion.

Hat da Vincis Erfindungen von de Honnecourt beeinflusst?

Es ist möglich, dass da Vinci die Manuskripte de Honnecourts gelesen hatte und dadurch inspiriert worden war. Beispielsweise weist die vierseitige Einheit (Abb. 19, Abb. 21) rechts außen in der Abbildung, die als Prototyp Einheit seines Gewebegewölbes gesehen werden kann, die gleiche Geometrie wie den Deckenträger de Honnecourts (Abb. 20).

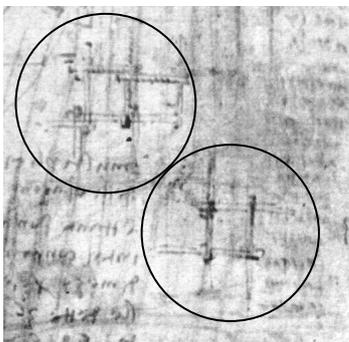


Abb. 21 Leonardo da Vinci, Skizzen. Quadrateinheit Detail. (aus Codex Atlanticus, Folio 899)

Allerdings zeigen da Vincis Ideen wesentlichen Unterschiede zu den Deckenproblemen seiner mittelalterlichen Vorgänger und Zeitgenossen. Seine Entwürfe waren in erster Linie theoretische Experimente, keine Lösungen für Anwendungen. Da Vinci setzte sich nicht mit der Verbesserung von Boden- oder Deckenkonstruktionen für praktische Anwendungen, sondern untersuchte bauliche Möglichkeiten. Seine Zeichnungen im Folio 899 des Codex Atlanticus zeigen eine mit Balken geformte Gewölbekonstruktion, die seinerzeit kaum von Nutzen sein konnte.

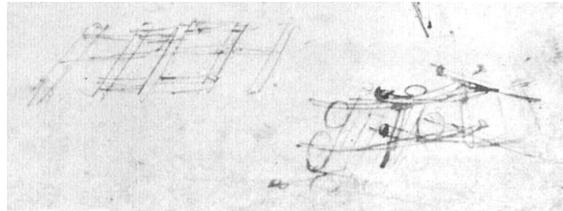
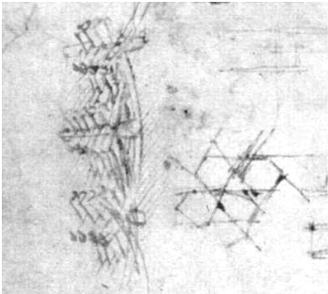
Zudem hatte da Vinci, ohne die mögliche Inspiration durch de Honnecourt, dreidimensionale Konstruktionen selbst erforscht, beispielsweise, wie oben angesprochen, die Klemmenbrücke mit verdoppelten X-förmigen Ständern, dargestellt in Folio 57, Codex Atlanticus (Abb. 14).

Noch weiter, die Idee von "Weben" („*tessere*“), die von da Vinci deutlich

⁹ Siehe Larsen (2008) und Bertin (2012).

¹⁰ Eine Geschichte dieser Bodenkonstruktion sehen: Thönnissen (2015).

geschrieben hatte (in Folio 57, Abb. 16) im gerade gesprochen Beispiel, zeigt sich auch durch die flexible "gewebte" Einheit am linken Rand dieser gleichen Seite des "Gewölbe" aus (Abb. 22 a). Sie ist identisch mit der Skizze am unteren Rand des Folio 69A (Abb. 22 b), genau unter der Zeichnung der Gewebebogenbrücke. Dieses wiederholende Thema bieten wir den klaren Hinweis da Vincis Gedankengang.



a. Folio 899 b. Folio 69

Abb. 22 Details da Vincis Studie auf die gewebte Konstruktion, am Seiten des Entwurfs der Gewebebrücken und -gewölben. (aus: Codex Atlanticus)

"Weben" ist der Schlüssel zu da Vincis Entwürfen, sowohl in der Bogen- als auch in der Gewölbekonstruktion. In der Tradition de Honnecourts und Serlios taucht Prinzip des Webens gar nicht auf. Auch durch de Honnecourt hätte da Vinci inspiriert werden können. Aber er spürte immer den Gedankenzug auf, der zurück zu Cäsar zurückverfolgt werden kann. Durch die Erforschung des Konstruktionsprinzips der Verbindungen der Cäsars Rheinbrücke, erfand er den Gewebebogen und schließlich das Gewebegewölbe.

Kapitel II

Die Mondbrücke des Huntington Japanischen Gartens

I. Die japanische Landschaft in Kalifornien

Die Familie Marsh und der erste japanische Garten in Kalifornien¹

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erlebte Japan einen radikalen gesellschaftlichen Wandel. Die 1868 begonnene Meiji-Reform wirkte sich sowohl auf soziale als auch kulturelle Aspekte aus. Unter anderem wurden Kunst und Kunsthandwerk beeinflusst. Die entmachteten Samurai waren gezwungen, ihre Kunstsammlungen zu verkaufen; die traditionellen Handwerker verloren ihre Stammkunden und mussten neue Finanzierungsmöglichkeiten oder neue Kundschaft finden. Gleichzeitig wurde die gesamte japanische Gesellschaft von verschiedenen Weltausstellungen nahezu ergriffen, um Japanische Güter im Ausland zu verkaufen und westliche Techniken kennenzulernen. Japanische Kunstwerke, die während der Weltausstellung in Wien 1873 und der Jahrhundertweltausstellung in Philadelphia 1876 gezeigt wurden, steigerten die Begeisterung für japanische Kunst im Abendland.

1872, als die Familie Marsh von Australien in die USA umzog, kamen sie auf ihrer Reise über Japan. George Turner Marsh (1857-1932), kurz G.T., der damals noch ein Jugendlicher war, begeisterte sich sofort für die japanische Kunst und Kultur. Er trennte sich für eine Weile von seiner Familie und blieb vier Jahre, bereiste das Land und sammelte Wissen über japanische Kunst.

1876 ging er nach San Francisco, um in das Familienunternehmen einzutreten. Wenig später unternahm er eine Reise nach Japan, um dort Kunstgegenstände zu kaufen, und eröffnete nach seiner Rückkehr in San Francisco einen Laden, das "Japanese Art Repository". Es war das wahrscheinlich erste Geschäft für japanische Kunst in den USA.

Vor dem Hintergrund des Ausbaus des Eisenbahnstreckennetzes und des Aufschwungs der Silberbergbau-Industrie sowie einem nach der 1876 Weltausstellung in Philadelphia aufkeimenden Interesse an japanischer Kunst hatte G.T.s Geschäft sofortigen Erfolg. Insgesamt reiste er 40 bis 60 Mal nach Japan, unter anderem, um dort einzukaufen, was den Erfolg seines Geschäfts bestätigt.

Im Jahr 1893 erlebten die Vereinigten Staaten eine schwere wirtschaftliche Krise. Um den Aufschwung zu fördern und die Wirtschaft in Kalifornien zu stärken, fand 1894 im Golden Gate Park in San Francisco die Mittwinter-Ausstellung statt. In diesem Zusammenhang arbeitete G.T. als Verwalter des für die Ausstellung errichteten japanischen Dorfs und half er bei der Organisation der asiatischen Ausstellung. Für die Konstruktion des Dorfs wurden viele japanische Künstler, Handwerker und Werkstoffe von Japan in die USA geliefert. Zu den errichteten Gebäuden zählte u.a. ein Glockenturm, Brücken, ein zweigeschossiges Haus, ein Theater und ein Torii (Symbolische Eingangstore eines Schreins). Pflanzen und Ausstattungsgegenstände wurden ebenfalls aus Japan eingeführt.

Neben G.T. war es Nakatani Shinshichi (中谷新七, 1842-1922)², der den Bau des Japanischen Gartens ermöglichte. Im Auftrag der japanischen Regierung entwarf und baute er unter anderem eine halbkreisförmige (bogenförmige) Brücke (Trommelbrücke).

Das japanische Dorf war ein großer Erfolg auf der Weltausstellung. Nach deren Ende kauften die Parkkommissare den Japanischen Garten. In den Jahren 1893, 1925, 1932–33 erlitt der Garten einige Beschädigungen durch mehrere Brände. Im folgenden Jahrhundert wurde er mehrmals umgebaut, und die Eigentümer wechselten.

¹ Alle Informationen dieses Abschnitts stammen aus Wolf und Piercy (1998).

² Für die Fertigstellung der Trommelbrücke und für den Bau eines Glockenturmstors (Shoro-no-mon 鍾樓の門) im Golden Gate Park verkaufte Shinshichi Nakatani den Reisacker seiner Familie in Japan, forderte seinen Sohn auf, in San Francisco zu bleiben, und nachdem dieser ein halbes Jahrhundert gearbeitet und genug Geld verdient hatte, kaufte er das Reisfeld zurück.

Der geschäftliche Erfolg ermöglichte G.T., mehre Geschäftsstellen für den Vertrieb fernöstlicher Kunst in Kalifornien zu eröffnen, darunter in Pasadena, Santa Barbara, San Diego, Los Angeles, und auch in Ensenada in Mexiko, wo er sich allerdings nicht lange halten konnte. Der Laden in Pasadena wurde von G.T.s Bruder Victor Marsh geleitet. Zu diesem Laden gehörte ein japanischer Garten, in dem sich ein aus Japan stammendes Teehaus befand sowie künstliche Wasserwege, Brücken, Steinlaternen und japanische Pflanzen. Alle Geschäftsstellen wurden später von G.T.s Kindern weitergeführt, jedoch wurde die Mehrzahl im folgenden Jahrhundert geschlossen oder verkauft. Das Eigentum des Ladens in Pasadena wurde von Henry E. Huntington gekauft und ist in sein Landgut eingegangen.

Der Japanische Garten im Landgut Huntingtons³

Die Huntington Bibliothek, deren voller Name „Huntington Bibliothek, Kunstsammlungen und botanische Gärten“ oder kurz „Huntington“ lautet, befindet sich im südkalifornischen San Marino, eine kleine Stadt im Nordosten von Los Angeles, und Nachbar von Pasadena. Heute beträgt ihre Fläche knapp 84 ha (207 Acker) und besteht aus vierzehn unterschiedlichen botanischen Gärten, die nach bestimmten Kulturen und geometrischen Gebieten entworfen und gebaut worden sind.

Ihr Gründer, der Eisenbahnmagnat Henry Edward Huntington (1850–1927), hatte 1903 das San Marino Landgut gekauft, ein Land mit Farm und Obstgarten, und begann die frühe Ausgestaltung seines Landguts.

1911 war das Wohnhaus für die Familie in San Marino fast fertiggestellt. Für die Begrüßung der Familie entschied sich Huntington, das kleine Tal an der Westseite seines Grundstücks in einen japanischen Garten zu verwandeln.

Wie heute bekannt, gibt es mindestens zwei Quellen, aus denen Huntington sein Wissen um japanische Gärten bezog. Die erste Quelle ist der Japanische Teegarten, der auf der Weltausstellung 1894 in San Francisco zu sehen war. Damals wohnte die Huntington-Familie auch in San Francisco⁴ und war wahrscheinlich mit dem Garten im Golden Gate Park vertraut. Die andere Quelle ist das Buch „*Landscape gardening in Japan*“ (Conder, 1893) des englischen Architekten Josiah Conder, der erste westliche Erforscher japanischer Architekturkultur⁵.

Der erste Verwalter der botanischen Gärten der Huntington Bibliothek, William Hertrich, hatte die Konstruktion des Japanischen Gartens organisiert. Während des Einrichtens der Baustelle suchte er in Kalifornien nach fernöstlichen Pflanzen. Als er den japanischen Laden der Marsh-Familie in Pasadena besuchte, wurde er von Victor Marsh benachrichtigt, dass das gesamte Eigentum zum Verkauf stand. Huntington übernahm den gesamten Laden zusammen mit seinen Pflanzen, Gebäuden, Verzierungen und Anlagen.

Auf dem neuen Grund des ehemaligen Marsh-Eigentums konnte Hertrich den Garten in drei Monaten fertigstellen, rechtzeitig vor der Ankunft der Huntington-Familie im Winter 1912.

Danach verbesserte Hertrich den Garten weiter. Neue Anlagen wie Steinlaternen, Mini-Pagoden, Steinskulpturen wurden hinzugefügt. Ein japanischer Zimmermann, Toichiro Kawai, der eine wichtige Rolle spielte, wurde beauftragt, eine Mondbrücke, ein Torii und einen Glockenturm zu bauen.

Im folgenden Jahrhundert wurde der Ausbau des Japanischen Gartens weitergeführt und der Garten wurde vergrößert.

Die Trommelbrücke in San Francisco

Gebogene Brücken, aus Holz oder Stein gebaut, werden im Japanischen als „*Taiko Bashi*“ (Trommelbrücke 太鼓橋) oder „*Sori Bashi*“ (umgekehrte Brücke 反橋) bezeichnet. Halbkreisförmig gebogene Brücken werden als „*Engetsukyou*“ (Mondbrücke, Vollmondbrücke 円月橋 oder Halbmondbrücke 偃月橋) bezeichnet. Dies entspricht dem kreisförmigen Aussehen der Struktur und ihrem Spiegelbild auf dem

3 Informationen dieses Abschnitts stammen aus der Erzählung von Hertrich (Hertrich 1988) und aus dem Archiv des Japanischen Gartens, Huntington Bibliothek.

4 Henry E. Huntington's Japanese Garden. Huntington Archiv. Siehe auch: Bennette (2013).

5 Diese Information wird von Frau Cynthia Dickey bei der Huntington Bibliothek gegeben..

Wasser, was eine Analogie zum Mond oder der runden Oberfläche der japanischen Trommel darstellt.

Dank ihrer Eleganz, Feinheit und romantischen kulturellen Bedeutung sind Trommelbrücken im japanischen Gartenentwurf sehr beliebt und zahlreich in den Kunstwerken des 18. und 19. Jahrhunderts dargestellt. Die Trommelbrücke ist zum Symbol der japanischen Kunst geworden.

Ihr Ursprung führt zurück nach China. Dort waren während der Tang- (618-907) und der Song- (960–1279) Dynastie gebogene Holzbrücken ein beliebtes Thema, bezeugt sowohl durch Landschafts- als auch buddhistische Malerei. Wahrscheinlich kamen die Trommelbrücken während der Ausbreitung des Buddhismus zusammen mit seiner Garten- und Baukunst nach Japan. Spätestens in der Heian-Zeit (794–1185) war die gebogene Holzbrücke in Japan verbreitet, bezeugt durch das Meisterwerk „Gartengestaltungsbuch“ (*Sakuteiki* 作庭記).

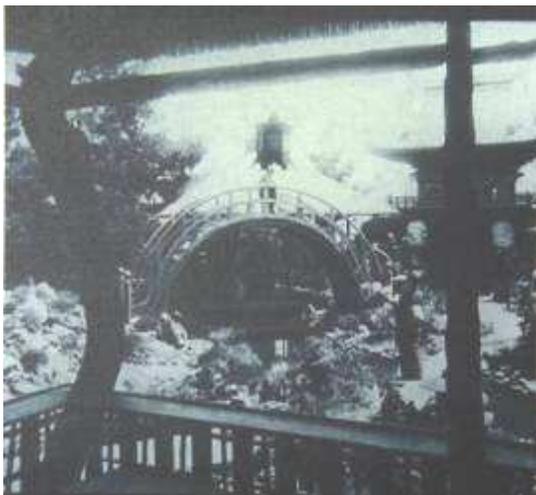


Abb. 1 Trommelbrücke im Japanischen Teegarten, San Francisco, USA, 1894. (aus: Huntington Archiv)

Die Trommelbrücke des Japanischen Teegartens im Golden Gate Park in San Francisco wurde in Japan entworfen und gefertigt, gesegnet, nach San Francisco transportiert und dort aufgebaut. Das alte Foto (Abb. 1) der Weltausstellung zeigt eine halbkreisförmige Brücke, die viel steiler ist als vergleichbare traditionelle Brücken in Japan. Diese Trommelbrücke ist ein übertriebenes Symbol der japanischen ästhetischen Kultur, das Japan in die westliche Welt sendete.

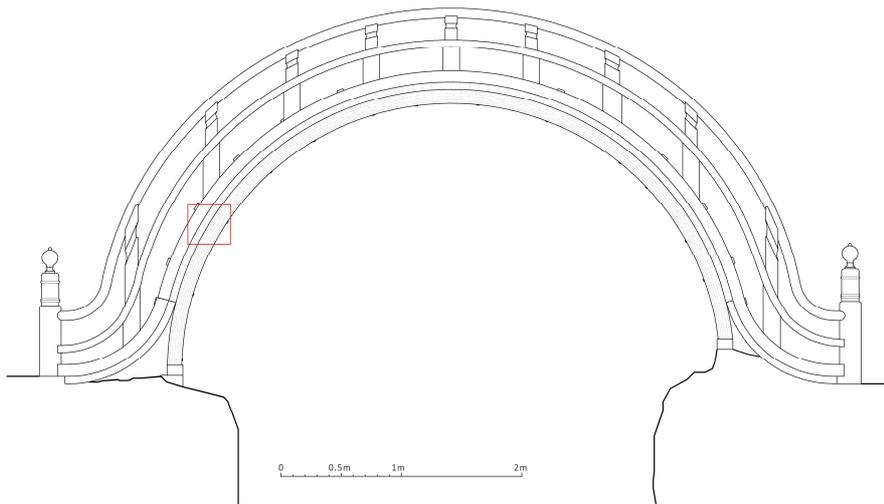
Nach der Ausstellung wurde die Trommelbrücke mehrmals durch lokale amerikanische Zimmermänner umgebaut. Die Umbauten und Reparaturen sind nicht dokumentiert (Abb. 2, Abb. 3).

In der traditionellen Konstruktion der japanischen Zimmerei wurden die gebogenen Bauteile, beispielsweise das gewellte Giebelbrett (*Karahafu* 唐破風), aus großem Holz ausgeschnitten. Allerdings zeigt die Struktur der heutigen Trommelbrücke im Golden Gate Park eine westliche Konstruktion auf. Die gebogenen Balken unter dem Brückendeck sind aus dünnen Holzschichten zusammengesetzt, die durch Metallbolzen miteinander verbunden sind. Diese Konstruktionsmethode ist nicht in der japanischen Bautradition zu finden, weshalb die Struktur wahrscheinlich während späterer Umbauten verändert worden ist. Die Brückengestalt blieb dabei unverändert.

Als Henry E. Huntington während der kalifornischen Mittwinter-Weltausstellung in San Francisco wohnte, hatte er ohne Zweifel den Japanischen Teegarten im Golden Gate Park besucht. Er musste von der eleganten Trommelbrücke so stark beeindruckt gewesen sein, dass er eine solche Brücke in seinem japanischen Garten zu bauen plante.



Abb. 2 Trommelbrücke im Japanischen Teegarten, Golden Gate Park, San Francisco, USA 2013.



a. Trommelbrücke im Japanischen Teegarten, Aufriss .



(Einheit: cm)



b. Die Konstruktion des gebogenen Balkens: jeder Balken unter dem Brückendeck ist aus sechs dünnen Holzschichten, drei dickeren und drei dünneren, zusammengesetzt. Die dickeren Schichten sind oberflächlich im Abstand von etwa 10 cm regelmäßig eingeschnitten und damit biegsam. Die Schichten werden durch Metallbolzen zusammengehalten. Das Brückendeck ist aus quadratischen Holzblöcken zusammengesetzt; sie haben halbkreisförmige Zapfen und Zargen an ihren Enden.

Abb. 3 Trommelbrücke im Japanischen Teegarten, Golden Gate Park, San Francisco, USA. 2013. Aufriss und Details.

II. Kurzbiographie des japanischen Zimmermanns Toichiro Kawai ⁶

Leben in Japan

Toichiro Kawai (1861⁷-1943) wurde in einer ländlichen Gegend in Shizuoka-ken, Enshu, geboren. Er hatte seinen Vater im Alter von 14 Jahren verloren, wurde von seiner Mutter erzogen und später in einen Tempel geschickt, wo er Lesen, Schreiben und verschiedene Künste, u.a. die Gartenkunst, erlernte.

Mit großem Interesse an Schiffen und dem Ozean, schon von früh auf, ging er nach Yokosuka, um Schiffbau zu studieren. Danach suchte er sich in der bekannten Hafenstadt Yokohama, Arbeit.

⁶ Informationen dieses Abschnitts stammen aus dem Archiv des Japanischen Gartens, Huntington Bibliothek, und dem Archiv des mündlichen Geschichtsprojekt der Pasadena Geschichte Museum, 1985, Interview mit Toichiro Kawais Sohn, Herr Nobu T. Kawai:

Nobu Kawai. Kawai Family Background. 1985.01. Aus: Archiv des Japanischen Gartens, Huntington Bibliothek.

Oral History Project. Interview with Nobu Kawai. Aus: Oral History Collection. Special Collections on Toichiro Kawai, unpublished manuscript. (Un-edited material). Pasadena History Museum.

Biographical sketch III. Aus: Archiv des Japanischen Gartens, Huntington Bibliothek.

⁷ Nobu Kawai gab das Geburts- bzw. Sterbejahr mit 1860 bzw. 1943 an. In einem Dokument im Huntington Archiv allerdings sind der 1. Okt. 1861 und der 30. Sep. 1943 als Geburts- bzw. Sterbedatum angegeben.

In Yokohama wohnte Kawai in einem Hotel, dessen Gäste zum großen Teil Zollbeamte und reiche chinesische Studenten waren. Die Tochter der Hotelbesitzerin, Hama, (Hama Ishiwatari Kawai, 1873–1956), wurde später seine Frau. Hama war in Yokohama geboren worden und aufgewachsen. Ihre Mutter besaß das Hotel, ihr Vater war ein Bauingenieur und hatte viele Brücken in Yokohama gebaut.

Damals wurden Schiffe meist aus Holz gebaut, weshalb Schiffszimmermänner wichtige Mitglieder der Schiffsbesatzung waren. Kawai arbeitete auf vielen ausländischen Schiffen und reiste so u.a. nach Südasien und Südostasien. Er arbeitete auch auf britischen Schiffen, wo er einfaches Englisch lernte.

Zufällig lernten sich Kawai und Victor Marsh in Yokohama kennen, auf einer Einkaufsreise Marshs. Da Kawai Englisch sprechen konnte, nahm ihn Victor Marsh als Dolmetscher auf seine Reisen nach Kobe, Osaka und Kyoto mit.

Anreise in Amerika und der Dienst für die Familie Marsh

1898 suchte ein amerikanisches Marineschiff, die „Original“, einen Schiffszimmermann. Kawai wurde unter den Bewerbern ausgewählt, weil er Englisch sprach und verstand.

Nach seinem Treffen mit Victor Marsh hatte Kawai den Wunsch und das Ziel, sein weiteres Leben in Amerika zu verbringen. Sein Wunsch ging in Erfüllung, als er die Gelegenheit bekam, in die USA zu reisen. Nach Ankunft des Schiffes in San Francisco blieb Kawai illegal im Land. Er fand Victor Marsh und bekam eine Stelle in seinem Kunstladen in San Francisco. Viele asiatische Güter, die er vom Osten bestellte, kamen beschädigt an. Kawai, der als Schiffszimmermann ausgebildet war, reparierte beschädigte Stücke und zeigte dabei kunsthandwerkliches Talent, was ihn gewissermaßen zum Restaurator der Kunstwerke machte. Seine Arbeit umfasste u.a., Stücke aus Hartholz für Möbel oder andere Kunstwerke zu schnitzen, um fehlende oder beschädigte Teile auszutauschen, sowie die Originallackierung nachzuarbeiten. Kawai war geschickt im Zeichnen von Pflanzen und Tieren und nutzte dieses Talent in der Holz- und Elfenbeinschnitzerei.

Nach zweijähriger Arbeit für Marsh hatte Kawai genug Geld verdient, um nach Yokohama zurückzugehen und Hama zu heiraten. Im darauffolgenden Jahr wurde sein erstes Kind geboren. Er war so enttäuscht darüber, dass es eine Tochter war, dass er nach San Francisco zurückkehrte und die Arbeit für Marsh fortsetzte. 1902 schließlich holte er mit Hilfe von Marsh seine Familie nach.

Hama mochte San Francisco nicht, und so zog die Familie um nach Pasadena, wo die Marsh-Brüder ein weiteres Geschäft hatten, in dem Kawai arbeiten konnte. Zu diesem Laden gehörte ein japanischer Garten, der obengenannt hat.

In Pasadena gab es damals nur sehr wenige Einwohner, die aus Japan stammten. Die Familie Kawai gehörte zu den ersten japanischen Immigranten. In den folgenden Jahren stieg die Anzahl japanischer Immigranten, und so wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein Verein gegründet, für dessen Auftritte auf der Rose-Parade Pasadena Kawai die Festwagen gestaltete. Die Familie Kawai hatte ihren Lebensmittelpunkt in Pasadena gefunden.

Projekte im Japanischen Garten Huntingtons

1912 beschloss Victor Marsh, den Laden in Pasadena zu schließen und verkaufte das gesamte Eigentum. Wie oben beschrieben, wurde der Besitz durch Huntington für seinen Japanischen Garten in San Marino übernommen. Unter den Gebäuden, die zu Marshs Eigentum in Pasadena gehört hatten, befand sich ein japanisches Teehaus, das in traditioneller, authentischer Handwerkskunst gebaut worden war, „ohne die Verwendung von Nägeln“, wie viele Dokumente des Huntington-Archivs betonen. Kawai wurde mit der Umgestaltung des Teehauses im Huntington-Besitz beauftragt. Er markierte jedes Bauteil der Struktur und setzte sie danach wieder zusammen. Das Projekt war erfolgreich.

Huntington war zufrieden mit Kawais Arbeit und beauftragte ihn mit weiteren Strukturen für seinen Garten. Darunter waren ein Torii, eine Mondbrücke und ein Glockenturm. Alle Arbeiten wurden von Kawai mit traditionellen japanischen Zimmermannswerkzeugen durchgeführt.

Den Briefen zwischen Hertrich und Huntington folgend, können wir die zeitlichen Abfolgen der

Konstruktionen zurückverfolgen:

Im Nov. 1911 stellte Hertrich einen Japaner ein für den Abbau und Wiederaufbau des Teehauses. Im März 1912 war die Arbeit fertiggestellt. Im April begann die Arbeit am Torii, dessen Aufbau im Mai fertiggestellt war. Im Oktober 1912 wurde der Bau der Mondbrücke in Auftrag gegeben. Im November 1913 erwähnte Hertrich erstmals den Glockenturm – zu diesem Zeitpunkt muss die Mondbrücke fertiggestellt gewesen sein. Im Dezember 1914 wurde der Bau des Glockenturms abgeschlossen.

Während seiner Ausbildung in seiner Kindheit im Tempel war Kawais Interesse an Architektur geweckt worden und er begann, Bücher darüber zu sammeln. Dies half ihm bei der Erstellung seiner Bauten für Huntington. Daneben hatte er Gartenarbeit im Tempel gelernt, und dieses Wissen hatte ihm auch beim Entwurf des Japanischen Gartens für Huntington geholfen.

Das Torii-Tor wurde aus Zederholz aus Alaska gebaut. Die Hölzer hatten einen Durchmesser von fast einem Meter (drei Fuß) und waren ursprünglich für Totempfähle vorbereitet worden. Sie wurden für ein Indisches Dorf nach Los Angeles geliefert, wofür Huntington ein wichtiger finanzieller Unterstützer war. Nachdem das Dorf verlassen worden war, wurden die Hölzer in den Huntington-Garten für das Torii-Tor versandt.

Nach den Projekten in Huntingtons Garten

Nach seiner Arbeit im Japanischen Garten blieb Kawai nicht länger bei Huntington. Die meiste Zeit seines Lebens arbeitete er für den Marsh-Laden in den USA. Nachdem Marsh sein Geschäft an einen anderen Geschäftsmann, Walter Gerlach, verkaufte, arbeitete Kawai für Gerlach für sechs oder acht Jahre. Danach war er selbstständig tätig und reparierte Möbelstücke und andere Gegenstände der lokalen Bevölkerung. Er baute auch Schiffe für ein Fischerdorf.

Kawai und seine Frau hatten acht Kinder, sechs Söhne und zwei Töchter. Sie lebten später in Pasadena. Während ihres gesamten Lebens blieben sie der japanischen wie auch der Kultur ihrer neuen Heimat USA verbunden.

III. Die Mondbrücke – ein Kunstwerk

Architektonische Eigenschaften der Mondbrücke

Im zentralen Tal der Naturlandschaft im Japanischen Garten, befindet sich die Mondbrücke als visueller Fokus des Gartens. Ihre leichte und elegante Gestalt ist ein Anziehungspunkt für Besucher. Ihr auffälligstes Merkmal ist ihre besondere Struktur: Anders als die meisten Trommelbrücken wird sie durch verriegelnde Hölzer zusammengehalten.

Das heutige Erscheinungsbild der Mondbrücke allerdings ist unscheinbar im Vergleich zu ihrer früheren Gestaltung. Zwischen 1960er und 1988 war die Brücke „der japanischen Tradition“ folgend rot lackiert. Während einer Reparatur im Jahr 1988 hielt der damals zuständige Kurator die Farbe für unpassend und ließ sie entfernen. Ein farbloser Holzlack wurde aufgetragen, um das Holz zu schützen.

Im Huntington Archiv wird die Holzbogenbrücke als „Mondbrücke“, „Vollmondbrücke“ (Moon Bridge / Full Moon Bridge) oder „Trommelbrücke“ (Drum Bridge) bezeichnet. Um sie von der Trommelbrücke im Golden Gate Park zu unterscheiden, wird die Huntington-Brücke im Folgenden „Mondbrücke“ genannt.

Zum Zeitpunkt der Hundertjahrfeier der Mondbrücke im Juni 2013 besuchte der Autor den Huntington Japanischen Garten und fertigte eine Reihe detaillierter Zeichnungen im Maßstab 1:15 an. Zwei Jahre später, im Juni 2015, besuchte der Autor den Garten erneut und untersuchte die Mondbrücke genauer hinsichtlich ihrer Restaurierungsproblematik, die hier, der Beschreibung folgend, näher erläutert wird.

Die Mondbrücke (Abb. 4) hat die Form eines Kreisbogens mit einer Aufbauhöhe von etwa 3 Meter, einer Spannweite von etwa 8 Meter und einer Gesamtbreite von etwa 2 Meter. Ihre Struktur entsteht durch eine Kombination aus einem unteren Gewebobogen und einem darauf liegenden Krummbogen (Abb. 5). Der untere Gewebobogen wird durch verriegelnde Längs- und Querbalken gebildet (Abb. 6). Alle Balken haben

denselben quadratischen Querschnitt. Die Längsbalken bilden an den Enden der Querbalken jeweils einen Bogen, also der Laufrichtung über die Brücke entsprechend einen linken und einen rechten Bogen. Die Bögen entstehen durch abwechselnd innen und außen gesetzte Längsbalken. Dazwischen werden die waagrechten liegenden Querbalken geklemmt.



Abb. 4 Mondbrücke,
Huntington Bibliothek,
San Marino, USA. 2013.
Von Westen.

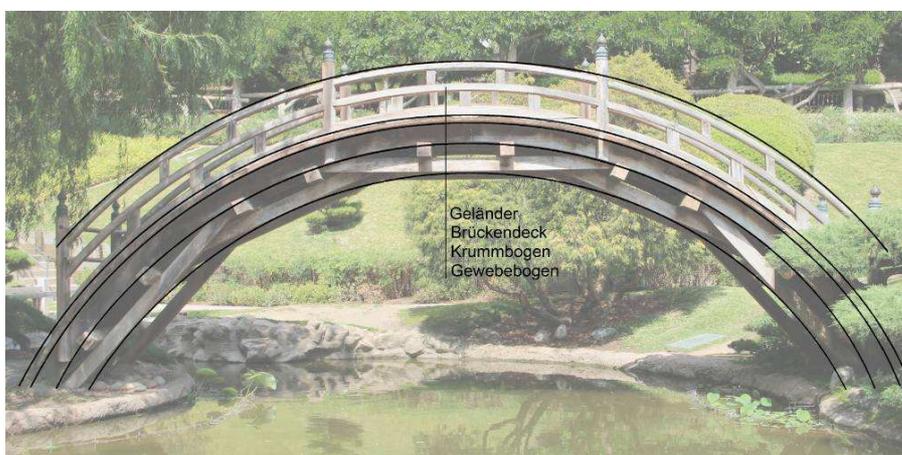


Abb. 5 Gestaltung der
Mondbrücke.

Der obere Bogen, der Krummbogen, ruht auf den Querbalken des beschriebenen Gewebebogens. Der Krummbogen setzt sich aus insgesamt drei Krummbalken zusammen, an beiden Seiten und in der Mitte der Brücke.

Auf den Krummbogen sind Deckungsbretter gelegt. Darauf befindet sich die Treppe, die aus den gleichen Holzbrettern hergestellt ist wie die Deckung. Die Breite und die Höhe der Treppenstufen sind entlang des Bogens verschieden.

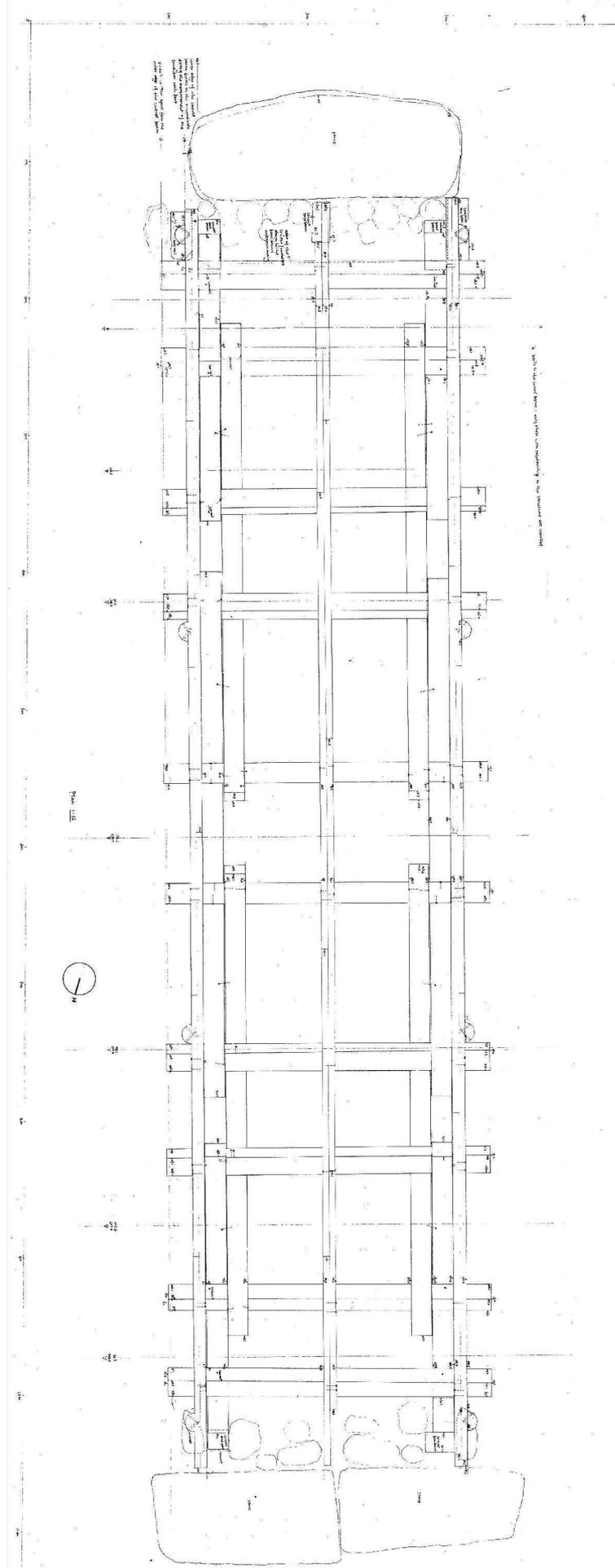
Das Geländer wird entlang der gekrümmten Form geführt. Die Füße der Geländerpfosten sind auf dem Krummbogen mit runden Holznägeln befestigt.

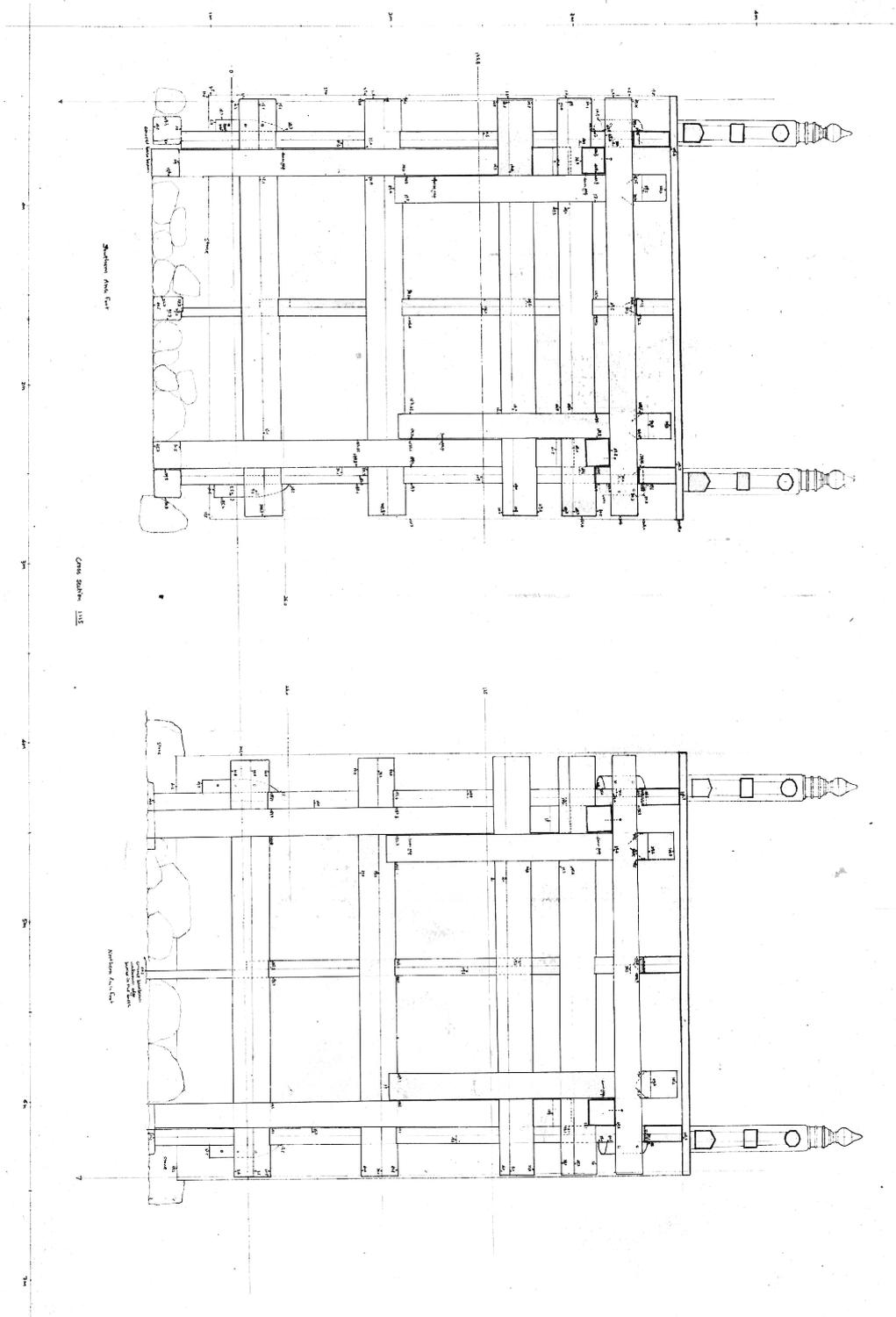
Zu Füßen des Bogens befinden sich Betonbänke, an deren Außenseite riesige Steinfundamente tief in der Erde vergraben sind. Sie fungieren als Steinstufen zu Füßen der Brückentreppe und als stabile Fundamente, die die Schubkraft der Bogenstruktur abfangen.



Abb. 6 Mondbrücke, Huntington Bibliothek,
San Marino, USA. 2013. Untere Konstruktion,
von Norden.

b. Mondbrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Ansicht der Struktur.





c. Querschnitte (links: Südseite, rechts: Nordseite)
Abb. 7 Pläne der Mondrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA, 2013.

Brücke der Vollkommenheit

Der Vollmond steht in der China-zentrierten asiatischen Kultur als Metapher für „Vollkommenheit“, ebenso wie die Zahl 10. Im Chinesischen hat das Wort „Kreis“ 圓, die gleiche Bedeutung wie das Wort „voll“ 滿, und die Verbindung der beiden Wörter bedeutet „Perfektion“. Die Kombination der Zahl 10 (十) und des Wortes für „komplett, vollständig“ 全, bedeutet „Vollkommenheit“ – dies sowohl in der chinesischen als auch in der japanischen Kanji (die adaptierten Schriftzeichen im Japanischen lauten 十全, 円満).

Die Huntington-Mondbrücke wurde unter dem Namen „Vollmondbrücke“ in Auftrag gegeben, und wurde sie auch häufig unter diesem Namen erwähnt, besonders in früherer Dokumente bei den ersten Kurator Hertrich. Wie oben beschrieben, war ihre Struktur durch die halbkreisförmige Trommelbrücke in San Francisco inspiriert, die starken Eindruck auf Huntington gemacht haben muss, und die mit ihrem Spiegelbild im Wasser eine perfekte Kreisform nachzeichnet.

Auch wenn die Form der Huntington-Mondbrücke nicht die Form eines „Vollmonds“ erreicht, so hat ihr Konstrukteur doch Methoden gefunden, sich der Metapher anzunähern.

Die Form der Struktur ist aufwändig gestaltet. Der Gewebebogen ist aus 10 Längsbalken und 10 Querbalken zusammengesetzt. Jeder dieser quadratischen Balken besitzt die Kantenlängen des Querschnitts von fünf Cun (japanisches Zoll, 3,03 cm, siehe unten). Für die Kreisform des Krummbogens besitzt die innerste Bogenlinie der parallelen Kurven einen Mittelpunktswinkel von 120 Grad und einen Radius von genau 5 Meter, so dass der Durchmesser genau 10 Meter beträgt (Abb. 8).

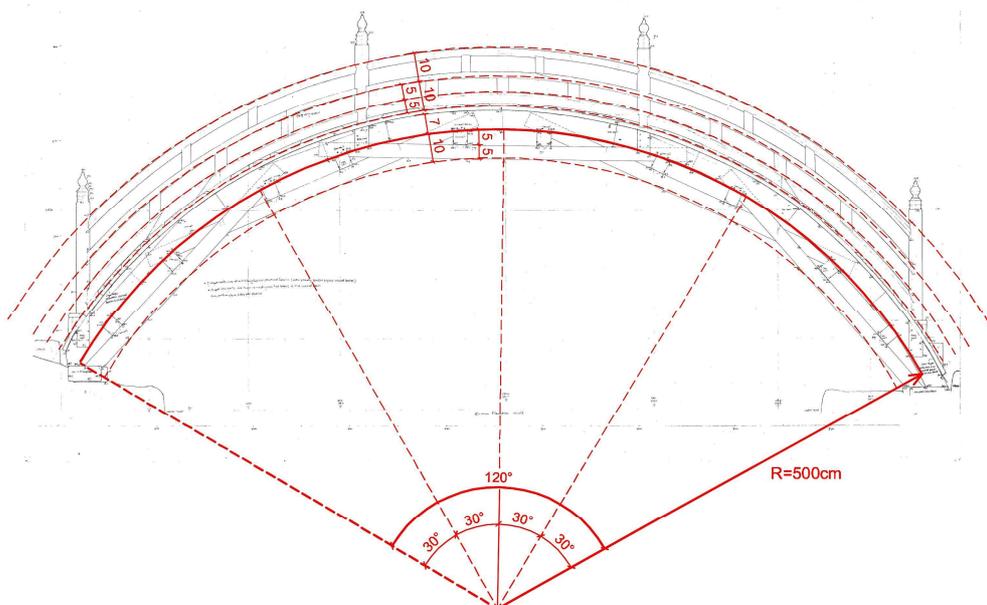


Abb. 8 Geometrieanalyse der Ansicht der Huntington-Mondbrücke (Maßeinheit: Cun).

Werden weitere Maße der Geometrie der Mondbrücke geprüft, fällt auf, dass die Spannweite und der Bogenaufstieg nicht ganzzahlig sind. Sie wurden im Entwurf also wahrscheinlich nicht als maßgebende Faktoren angesehen. Indes beträgt der Durchmesser des Mondbrückenbogens genau 10 Meter. Die 10 muss für den Durchmesser geplant gewesen sein (Tabelle 1).

Tabelle 1 Geometriedaten der Mondbrücke

Meßgröße	metrisches System (cm)	Shakkanhō System (1 Cun=3,03 cm)	imperiales System (1 inch=2,54 cm)
Spannweite des Gewebebogens	834	275	328
Höhe des Gewebebogens	230	76	91
Spannweite des Krummbogens	875	289	344
Höhe des Krummbogens	260	86	102
Radius des Krummbogens	500	165	197

Entwürfe mit ganzen Zahlen sind eine Tradition im japanischen Brückenbau. Die berühmte Kintai-Brücke besitzt einen Mittelpunktswinkel von genau 60 Grad, weshalb Spannweite und Radius identisch sind (Ren, 2013).

Die Geometrie der Fassade der Mondbrücke weist weitere Aspekte auf, die auf die kunstvolle Gestaltung durch ihren Konstrukteur hinweisen. Wegen des ungleichmäßig hohen Bodens haben die Bogenfüße der nördlichen (niedrigeren) und der südlichen (höheren) Seite einen Höhenunterschied von etwa 23 cm. Wäre die Brücke symmetrisch ausgebildet, würde das mittlere Balkenpaar geneigt sein. Die Brücke in ihrem heutigen Zustand aber besitzt einen fast horizontalen Mittelbalken, mit einem Höhenunterschied dieses Balkens von links nach rechts von nur 5 cm, der mit bloßem Auge kaum wahrnehmbar ist. Für eine derartige Konstruktion muss die Länge der jeweiligen unteren Längsbalken von beiden Bogenfüßen ungleich sein. Die Differenz der Längen beträgt 14 cm.

Verschiedene Einheitensysteme (Maßstab)

Die Abmessungen der Mondbrücke besprechend, stehen wir dem Problem verschiedener Maßsysteme gegenüber. Das in Amerika anerkannte Maßsystem ist das imperiale Maßsystem mit Zoll, Fuß und Meilen. In der Meiji Zeit (1868–1912) in Japan wurde das traditionelle Shakkanhō System gebraucht, bei dem 1 Shaku (japanischer Fuß) 30,3 cm beträgt. Das Shakkanhō System galt bis 1924, bevor es durch das metrische System ersetzt wurde. Bereits um 1885 hatte Japan eine Generalkonferenz zu Maßen und Gewichten einberufen, und die Einführung des metrischen Systems wurde seit 1890 gefördert. Kawai wird alle drei Einheitensysteme gekannt haben.

Um das Einheitensystem zu identifizieren, das Kawai in seinem Entwurf benutzte, überprüfte der Autor im ersten Schritt die Abmessungen der wichtigsten Strukturelemente, nämlich die quadratischen Balken. Jeder Balken wurde an mehreren Positionen gemessen. Die Kantenlängen des Balkenabschnitts weisen wenig Abweichungen im Umfang von 14,7–15,2 cm auf, während 15,15 cm eine häufig gesehene Länge ist. Dieses Maß ist weder ganzzahlig im metrischen noch im imperialen System, beträgt aber genau 5 Cun (0,5 Shaku) im Shakkanhō-System. Balken mit ganzzahligen Cun ist eine im japanischem Brückenbau verbreitete Methode, unabhängig von der Bauform der Brücken. Bei der Kintai-Brücke, die bekannteste Brücke der „drei berühmten Brücken in Japan“, beträgt die Kantenlänge der Balken 6 Cun. Wahrscheinlich hatte Kawai das traditionelle japanische Maßsystem eingehalten. Vielleicht benutzte er auch ein traditionelles japanisches Lineal während seiner Konstruktion in den USA.

Weitere Abmessungen wesentlicher Bauteile der Mondbrücke sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 2 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, Kalifornien. Abmessungen der wesentlichen Bauteile

		metrisches System (cm)	shakkanhō System (1 Cun = 3,03 cm)	imperiales System (1 Zoll = 2,54 cm)
Abschnitt der quadratischen Balken		14,7–15,2	4,85-5,02	1,85-5,98
Länge der quadratischen Balken	Längsbalken	373 383	123,10 126,40	146.85 150.79
	Querbalken	233	76,90	91.70
Dicke der Krumbalken		9,1–9,3	3,00-3,07	3,58-3,66
Höhe der Krumbalken		20,7–21,3	6,83-7,03	8,15-8,39
Durchmesser des Geländerpfostens		13,8	4,55	5,43
Durchmesser des Obergeländerbalkens		9,1	3,00	3,58
Höhe des Mittelgeländerbalkens		11,0	3,63	4,33
Dicke des Mittelgeländerbalkens		7,0	2,31	2,76
Höhe des Untergeländerbalkens		11,2	3,70	4,41
Dicke des Untergeländerbalkens		11,1	3,66	4,37
Breite der Oberstütze** des Geländers		9,2	3,04	3,62

Dicke der Oberstütze des Geländers	6,9	2,28	2,72
Breite der Unterstütze** des Geländers	12,2	4,03	4,80
Dicke der Unterstütze des Geländers	8,4	2,77	3,31
Länge des Deckungsbretts (Breite der Brücke)	236,4	78,0	93,1
Breite des Deckungsbretts	14,1–14,5	4,65-4,78	5,55-5,70
Dicke des Deckungsbretts	4,1	1,35	1,61
Dicke des Stufenbretts	4,1	1,35	1,61

Rot markiert sind die Bauteile und Maße, die ausschließlich dem Shakkanhō System entsprechen.

** Stützen sind die Holzstücke zwischen den Geländerbalken.

Aus diesen Daten lässt sich folgendes schlussfolgern:

Die speziell entworfenen und manuell gefertigten Strukturelemente, nämlich die Elemente des Gewebebogens und die Elemente des Krumbogens, wurden dem Shakkanhō System entsprechend gefertigt.

Alle Bretter haben eine einheitliche Stärke von 4,1 cm und stammen möglicherweise aus industrieller Produktion.

Die Maße der Geländer stammen nur teilweise mit dem Shakkanhō System überein. Interessanterweise alle diese zu dem Shakkanhō System passende Aufmaße werden an der Seitenansicht der Mondbrücke zu finden (Abb. 9) (Aufmaße an dem Querschnitt, nämlich die Dicke dieser Elemente, passen das Shakkanhō System nicht an).

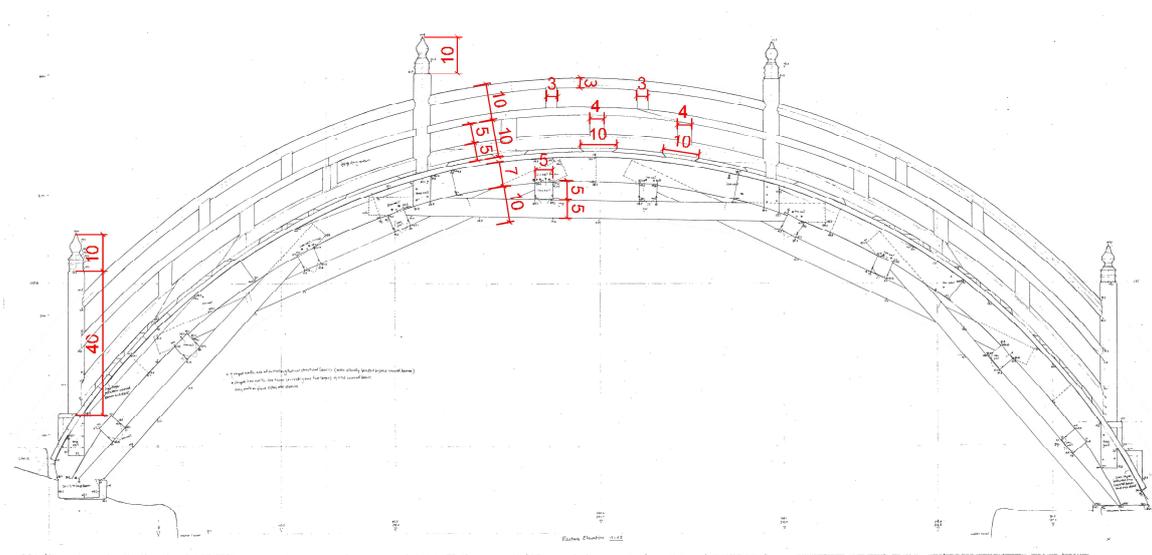


Abb. 9 Analyse der Abmessungen der Bauelemente der Mondbrücke (Maßeinheit: Cun).

IV. Mondbrücke: Struktur und Konstruktion

Konstruktion der Holzstruktur

Krumbogen:

Der Krumbogen wird aus drei parallel laufend Krumbalken gebildet (Abb. 11), die in Laufrichtung über die Brücke seitlich und in der Mitte unter den Deckungsbrettern liegen. Jeder Krumbalken besteht aus zwei Schichten von Bretter, jede Schicht besteht aus vier bis sechs hintereinander liegenden Brettern, die sich gegenüber alternierend gesetzt und durch Nägel miteinander verbunden sind.

Die Teilung der Bretter (Innen- und Außenplatte) der seitlichen Krumbalken ist symmetrisch. Beide Aneinanderreihungen haben einen oberen mittleren Teil außen, wie den „Schlussstein“ in der

Steinbogenstruktur, und die Fuge zwischen den ober paar Bretter der inneren Schicht von Brettern (Innenplatte) befindet sich fast genau in der Mitte der Ansicht des Bogens.

Um die gebogene Form zu bilden, wurden die einzelnen Bretter aus größeren Holzplatten ausgeschnitten. Wenn das Plattenmaterial nicht breit genug war, wurde ein Kreissegment entlang dem Bogen Akkord mit Kleber befestigt (Abb. 10).

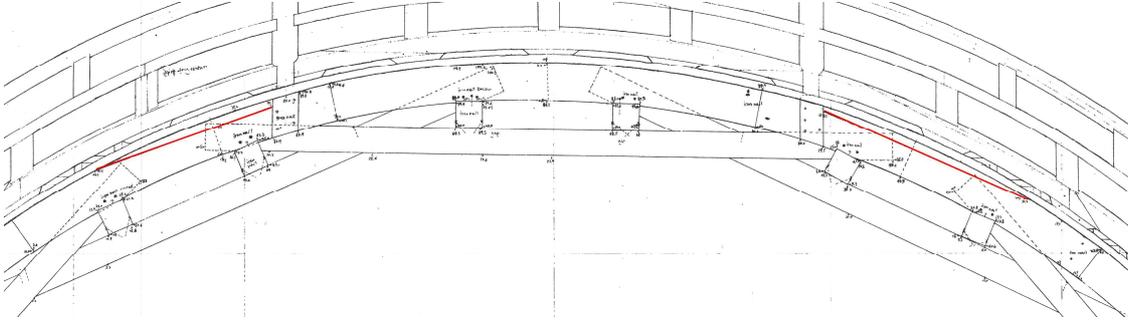


Abb. 10 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, Kalifornien. Die Befestigungsfugen (rot markiert) der Bretter, Wenn die Holzplatten nicht breit genug, zusätzlich Teile werden auf dem Bretter hingefügt.

Gewebebogen:

In der Bogenstruktur sind die Längsbalken nicht eingeschnitten. Alle verbindenden Kerben befinden sich auf den Querbalken, einschließlich der Aussparungen für die Einstellung der Längsbalken und die für die Aufnahme der Krumbalken.

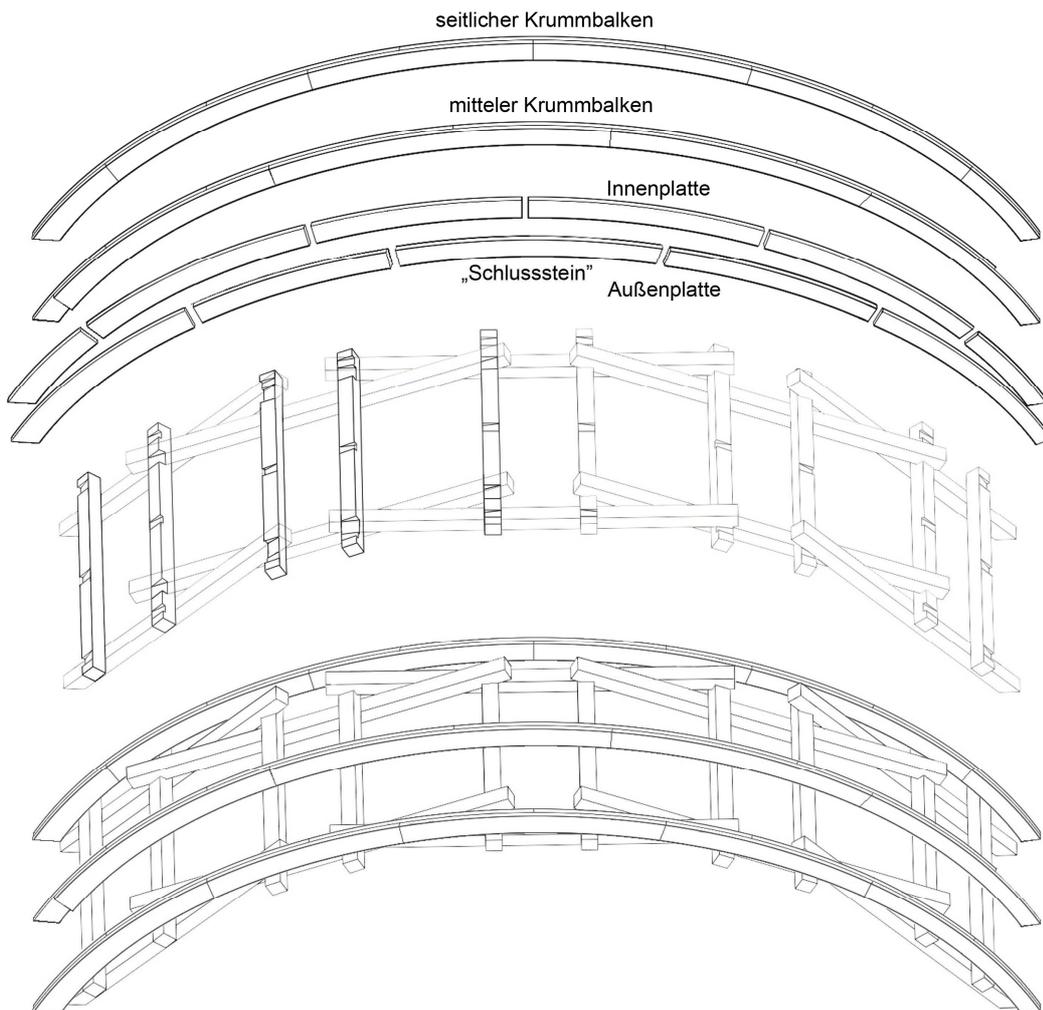


Abb. 11 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, Kalifornien. Gewebebogen und Krumbogen. Konstruktion

Die Kerben sind im Querschnitt dreieckig, passend für die Form des aufzunehmenden Bauteils. Diese Holzverbindungen erlauben den derart miteinander verbundenen Bauteilen, sich gegeneinander zu bewegen. Ohne zusätzliche Befestigungselemente wäre die Stabilität der Struktur von der Reibungskraft abhängig, die sicherlich nicht ausreichend groß wäre. Deshalb werden die vielen Nägel für die Verbindungen verwendet.

Konstruktion: Nägel

Die Eisennägel in der Brücke sind vermutlich alle verzinkt.⁸ Die Durchmesser der Nagelköpfe liegen zwischen 8 und 10 mm. Sie sind entweder perfekt rund und stammen aus industrieller Produktion, oder die Form ist unregelmäßig, was auf eine manuelle Herstellung hinweist.

Nach ihrer Funktion können die Nägel in der Unterstruktur der Mondbrücke in drei Typen eingeteilt werden:

Der erste Typus verbindet die Platten der Krumbalken. Diese Nägel sind vergleichsweise kleiner, haben eine industriell gefertigte runde Nagelkopfform und sind waagrecht eingeschlagen.

Der zweite Typus ist am Kreuz der gewebten Balken eingeschlagen, und zwar zwischen den Längs- und Querbalken (Abb. 12a, links und unten). Sie werden entweder einzeln oder paarweise benutzt und sind nach unten schräg eingeschlagen. Daher stehen die Nagelköpfe etwas hervor. Es sind die längsten Nägel in der Struktur, weshalb sie die entsprechend größten Nagelköpfe besitzen. Sie sind vielleicht von Hand gemacht. Die Stellen, an denen dieser Nageltypus eingeschlagen ist, sind auf dem Plan (Abb. 7b) und in den Querschnittszeichnungen (Abb. 7c) der Mondbrücke markiert.

Der dritte Typus wird eingesetzt, um die Krumbalken und die Querbalken zu verbinden. Sie sind in ähnlicher Weise geneigt wie der zweite Nageltypus. Sie sind an der Außenfläche zweier gebunden Platten, und auch zwischen den nebeneinander gebunden Platten zu finden. Ihre Stellen und die Richtungen, in die sie eingeschlagen sind, werden in Abb. 13 dargestellt.



- a. Nägel in zwischen kreuzenden Bauelementen.
 b. Nagel in zwischen kreuzenden Bauelementen: Detail.
 c. Verbindung zwischen Krumbalken und Querbalken, Außenfläche. Die Nägel gehen geneigt nach unten und noch einen halben Zentimeter tiefer nach innen. Die Nagellöcher sind mit Kalk gefüllt. Der Kalk ist geschwärzt, wegen des während einer Reparatur in den 1980er Jahren als Holzschutzmittel aufgetragenen Überzugs.

Abb. 12 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Details der Nägeln.

Die Nägel zwischen den Platten sind sehr schwer zu finden. Dank kleiner Lücken zwischen den Strukturelementen konnte der Autor mit Hilfe einer Taschenlampe einige sehen und mit einem feinen Werkzeug berühren. Dank ihrer symmetrischen Verteilung geben die wenigen beobachteten Nägel einen Einblick ins Verteilungsmuster.

⁸ Aussage von Andrew Mitchell, für die Pflege der Mondbrücke verantwortlicher Architekt.

Bauprozess der Mondbrücke

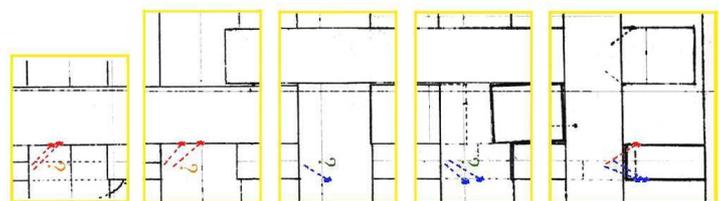
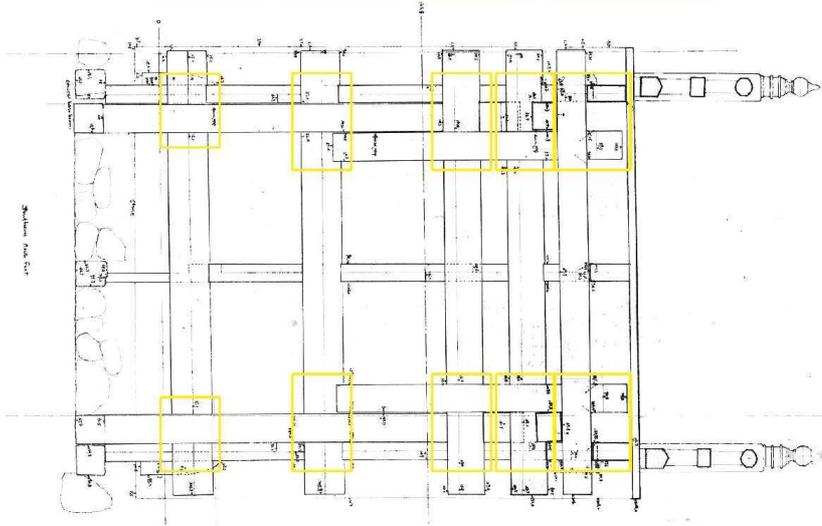
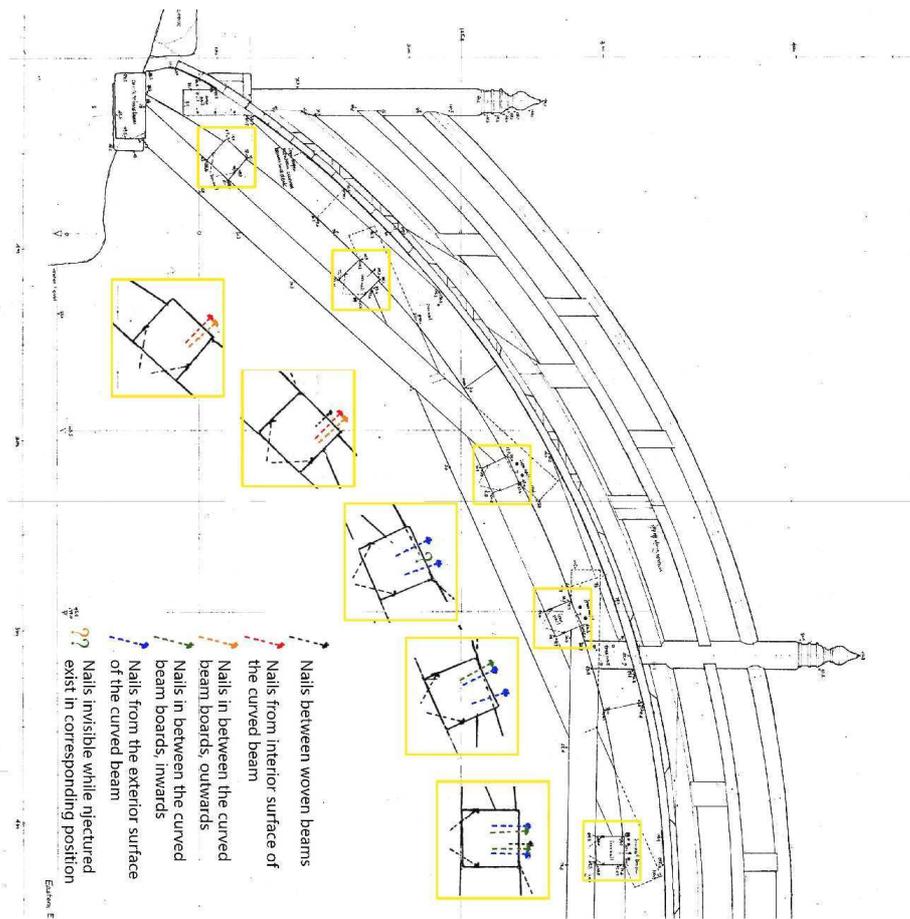
Den interessantesten Aspekt die Nägel betreffend finden wir bei zwei Platten jedes Krumbalkens. Sie zeigen, dass ein Krumbalken nicht zunächst, soweit möglich, am Boden vormontiert worden ist, sondern dass die zwei Schichten aus Platten dieses Balkens getrennt voneinander und nacheinander auf den Querbalken genagelt worden sind. Richtung und Position der Nägel erlauben es, den Bauprozess nachzuvollziehen. Die Beobachtung ist auf den zwei Außenbalken dreier Krumbalken fokussiert, dank die symmetrische Form der Brücke und beziehungsweise die symmetrischen Verteilung der Nägel.

Die Nägel wurden auf dem untersten zwei Paar von Querbalken von innen nach außen, dann separat auf den Innenflächen der Außen- und Innenplatten eingeschlagen. Dies weist darauf hin, dass die Außenplatten zuerst positioniert worden sind, und erst im Anschluss wurden die Innenplatten fixiert.

Auf den oberen drei Paar von Querbalken wurden die Nägel separat auf den Außenflächen der zwei Platten eingeschlagen. An der entsprechenden Stelle wurden die Innenplatten zuerst fixiert, und dann kamen die äußeren Platten.

Es scheint, der Erbauer versuchte, Nägel an den Sichtseiten weitmöglich zu vermeiden. An den Stellen der dritten und vierten Querbalken (von den Bogenfüßen aufwärts gezählt) ist dies aber unmöglich. Dort müssen die Innenplatten gerade auf den Längsbalken fixiert werden. Deshalb müssen die Nägel auf den Außenplatten von außen eingeschlagen werden und sind in der Ansicht zu sehen.

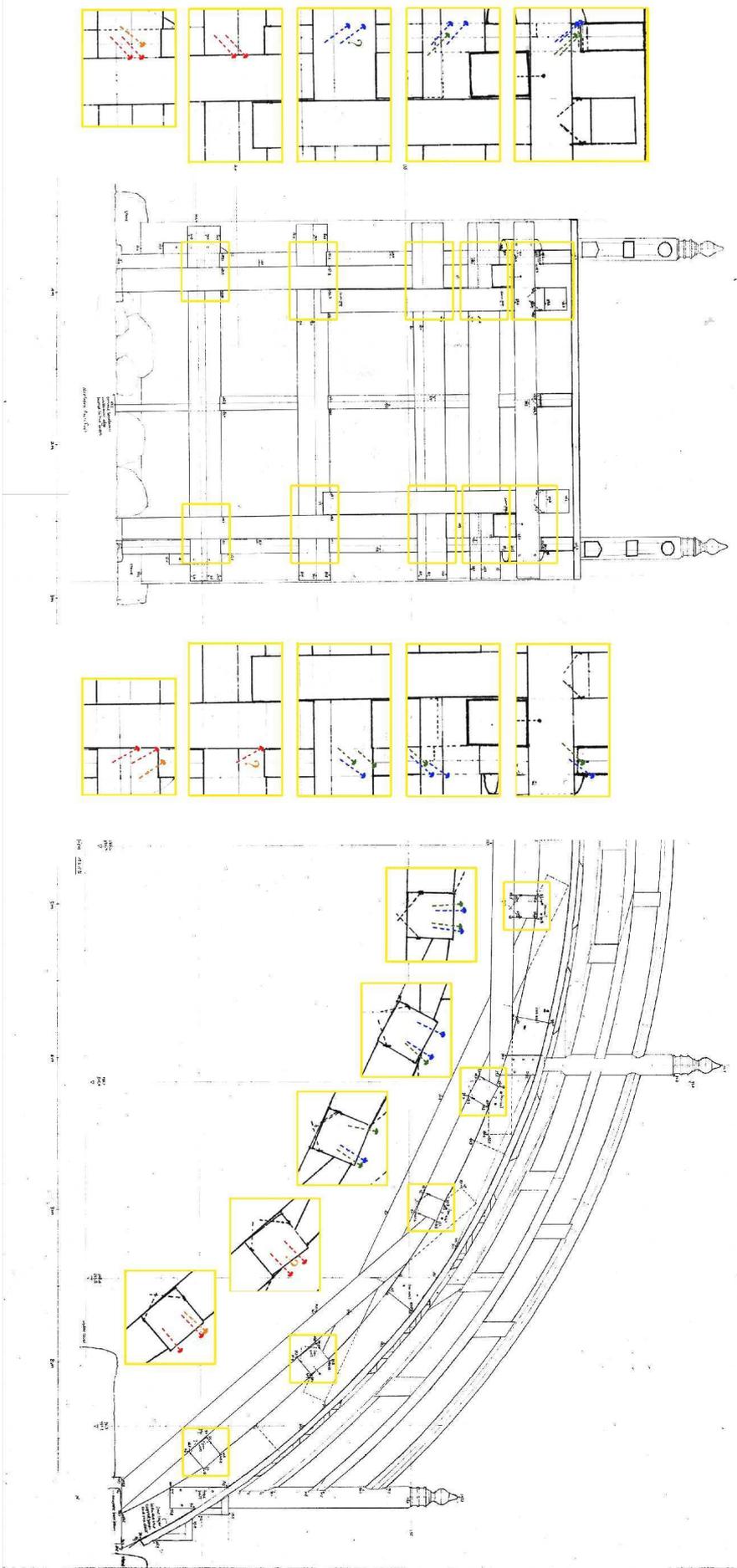
Da jede Platte mit Ausnahme der inneren kurzen Bretter an den Bogenfüßen, zwei benachbarten Querbalken abdecken, und die Außen- und Innenplatten alternierend gesetzt sind. Gibt es den Positionen der vorhandenen Nägel folgend nur eine einzige Lösung für den möglichen Aufbauprozess (Abb. 14).

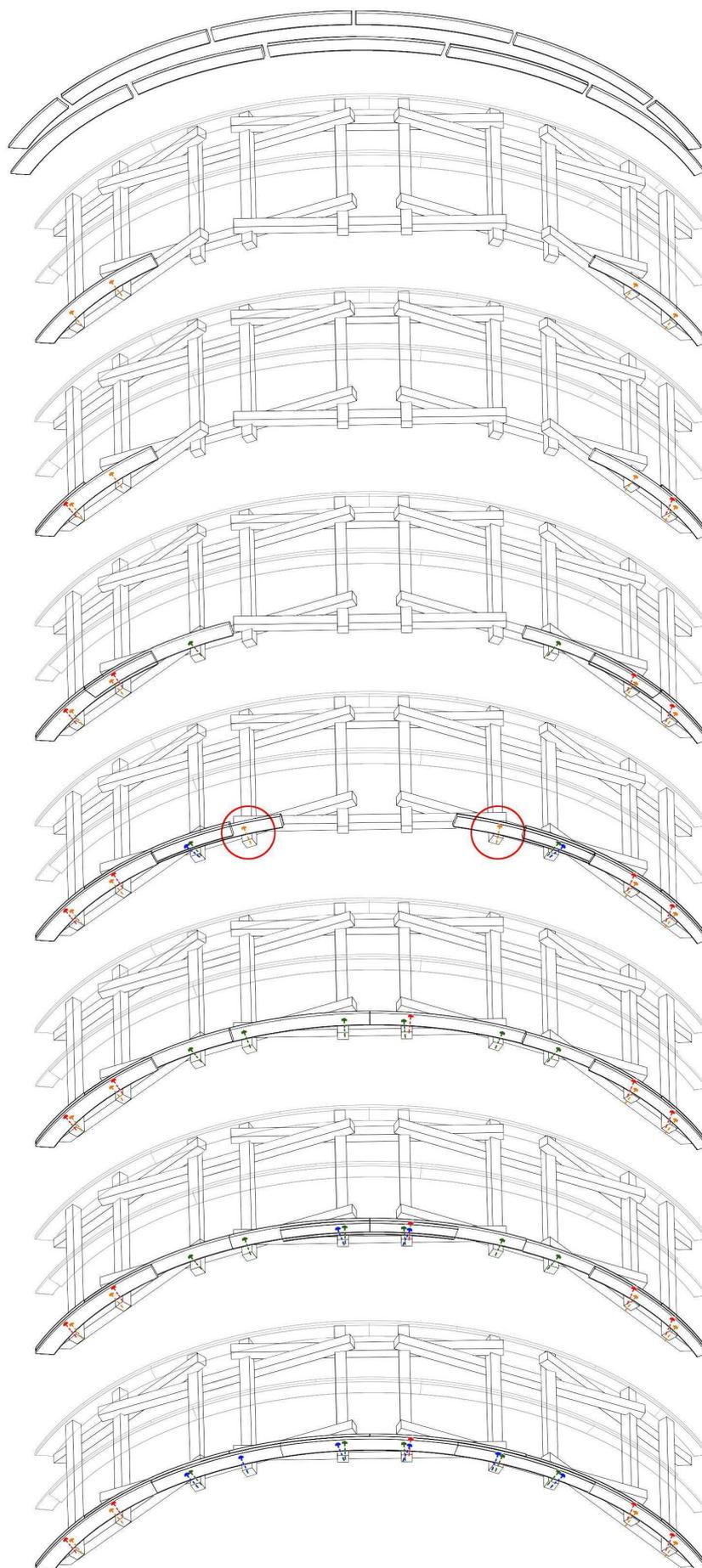


a. Nägel im Südteil des Bogens, auf der Ostansicht und im Querschnitt des Südteils.

b. Nägel im Nordteil des Bogens. Auf der Ostansicht und im Querschnitt des Nordteils.

Abb. 13 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Lokalisierung der Nägel zwischen dem Krummbogen und den Querbalen.





Der Krummbalken besteht aus fünf Brettern außen und sechs Brettern innen.

Schritt 1. Die äußeren unteren Bretter werden zuerst eingesetzt und von innen befestigt.

Schritt 2. Die inneren unteren Bretter werden eingesetzt und von innen befestigt.

Schritt 3. Die in der Reihe zur Mitte hin folgenden Bretter werden auf den jeweils zweiten Querbalken von innen und an den dritten Querbalken von außen befestigt.

Schritt 4 (Hinweis). Wenn die folgenden Bretter von außen angesetzt werden, würden die inneren Nägel an den jeweils vierten Querbalken in falscher Richtung, die gegen die tatsächliche Gegebenheit ist, gehen, und so wird es unmöglich, die entsprechenden Innenplatten zu fixieren.

Schritt 4. Daher wird das obere Paar von innenliegenden Brettern nur mit Nägeln von außen oder von innen fixiert.

Schritt 5. Die Reihe der äußeren Bretter wird geschlossen. Wahrscheinlich wird das obere Brett zunächst montiert, um es genau in die Mitte zu setzen.

Schritt 6. Endbearbeitung der Außenplatten mit Nägeln von der Außenfläche (anschließendes Auffüllen der Löcher mit Kalk).

Abb. 14 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Aufbauprozess der Krummbalken, der Nagelung entsprechend analysiert. Der östliche Krummbalken.

Damit haben wir den Bauprozess der Brücke vom Entwurf bis zur Fertigstellung nahezu vollständig dargestellt. Das einzige Problem bleibt, dass es sich bei dieser Struktur nicht um die Brücke von 1913 handelt.

V. Rekonstruktion der Mondbrücke: ungeschriebene Geschichte

Die Mondbrücke in den 1920er Jahren

Als der Autor im Juni 2013 im Japanischen Garten der Huntington Bibliothek ankam, konnte er es nicht erwarten, den Blick auf die Mondbrücke zu finden, wie ihn die älteste erhaltene Fotografie dieser Brücke wiedergibt. Sie ist datiert zwischen 1913 und 1923, und der Autor wollte diese Fotografie reproduzieren.

Trotz mehrerer Versuche gelang es ihm nicht. Obwohl die neuen Fotos von 2013 auf den ersten Blick mit den 100 Jahre älteren Fotografien übereinstimmen, gab es hier und da immer wieder Fehler bzw. Verschiebungen (Abb. 15), was der Autor mit falschen Standpunkten oder Bildverformungen durch ungenaue optische Systeme zu begründen versuchte.

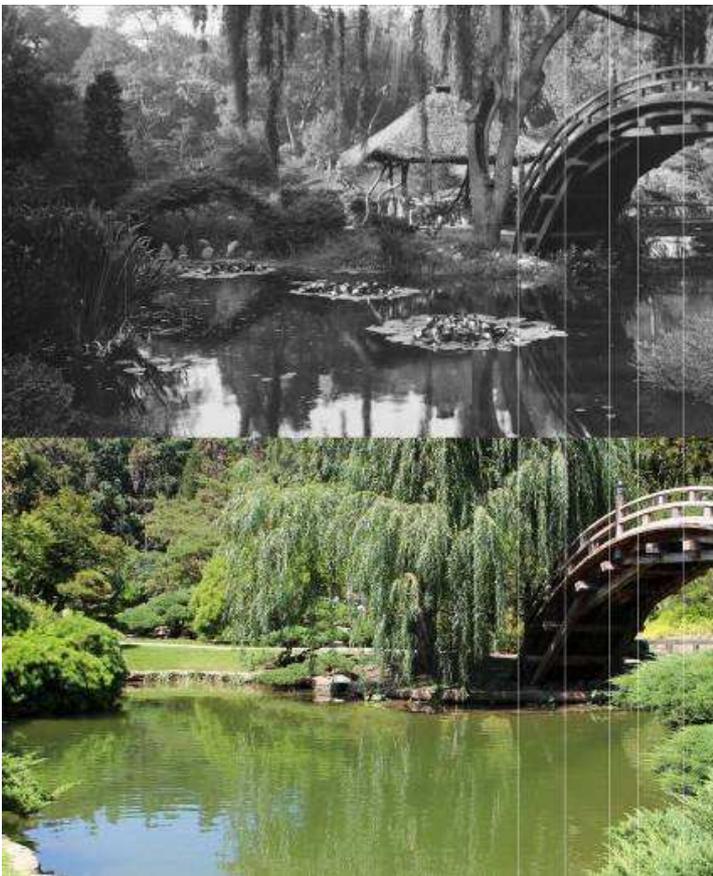


Abb. 15 Die Mondbrücke im Jahrhundert. Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Die ältere Fotografie wird von Hertrich (1988) auf 1913 datiert. Kopien dieser Fotografie, die in der Huntington Digital Library zu finden sind⁹, werden davon abweichend datiert. Auf Nachfrage in der Huntington Bibliothek wurde dem Autor geantwortet, dass das Foto zwischen 1913 und 1923 entstanden sein kann.¹⁰

Bald gaben weitere Fotografien der Brücke, die im digitalen Archiv der Huntington Bibliothek vorliegen,¹¹ Antwort. Die Brücke auf der ältesten Fotografie ist nicht diejenige, die heute im Japanischen Garten steht. Fotografien aus den 1920er Jahren zeigen andere Längenverhältnisse innerhalb des Gewebobogens. Die Abstände zwischen den Querbalken sind in der alten Brücke weitgehend einheitlich, während sie innerhalb der heutigen Brücke paarweise einander näher stehen.

Für die Rekonstruktion des früheren Verhältnisses werden die hilfreichsten Bilder in Abb. 16 gezeigt.

⁹ <http://cdm16003.contentdm.oclc.org/cdm/singleitem/collection/p15150coll8/id/313/rec/3>

<http://cdm16003.contentdm.oclc.org/cdm/singleitem/collection/p15150coll8/id/3807/rec/8>

¹⁰ Die Antwort wurde von Frau Devonne Tice, Imaging Services, Huntington Library, in Dezember 2015 dem Autor gegeben.

¹¹ <http://cdm16003.contentdm.oclc.org/cdm/search/searchterm/drum%20bridge/field/all/mode/all/conn/and/>



a. "Trommelbrücke im Japanischen Garten, um 1925"¹²
(von Westen)



b. "Trommelbrücke im Japanischen Garten, um 1925"¹³
(von Westen)



c. "Trommelbrücke im Japanischen Garten, um 1925"¹⁴
(von Osten)



d. "Trommelbrücke im Japanischen Garten"¹⁵ (von Osten)



e. "Kinder und Erwachsene auf der Trommelbrücke in Japanischen Garten"¹⁶ (von Osten)



f. "Japanischer Garten nach Schneefall, 11. Januar 1949"¹⁷
(von Osten)

Abb. 16 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Fotografien aus den 1920er und 1940er Jahren zeigen einen sich von der heutigen Mondbrücke unterscheidenden Gewebebogen innerhalb der Konstruktion. (aus: Huntington Digital Library)

Die der Datierung entsprechende letzte Fotografie, auf der die ältere Version des Gewebebogens zu sehen ist, entstand im Januar 1949 (Abb. 16 f). Die früheste Fotografie, die mit der heutigen Mondbrücke übereinstimmt, ist auf 1962 datiert.¹⁸ So muss eine Veränderung der Brücke irgendwann in zwischen Jahren 1949 und 1962 stattgefunden haben.

Mit Hilfe der älteren Fotografien rekonstruiert der Autor das frühere Verhältnis des Gewebebogens innerhalb der Mondbrücke (Abb. 17).

12 <http://hdl.huntington.org/cdm/singleitem/collection/p15150coll8/id/3805/rec/5>

13 <http://hdl.huntington.org/cdm/singleitem/collection/p15150coll8/id/3806/rec/5>

14 <http://hdl.huntington.org/cdm/ref/collection/p15150coll8/id/3803>

15 <http://hdl.huntington.org/cdm/singleitem/collection/p15150coll8/id/3802/rec/1>

16 <http://cdm16003.contentdm.oclc.org/cdm/ref/collection/p15150coll8/id/90>

17 <http://hdl.huntington.org/cdm/singleitem/collection/p15150coll8/id/3907/rec/13>

18 <http://cdm16003.contentdm.oclc.org/cdm/ref/collection/p15150coll8/id/3808>

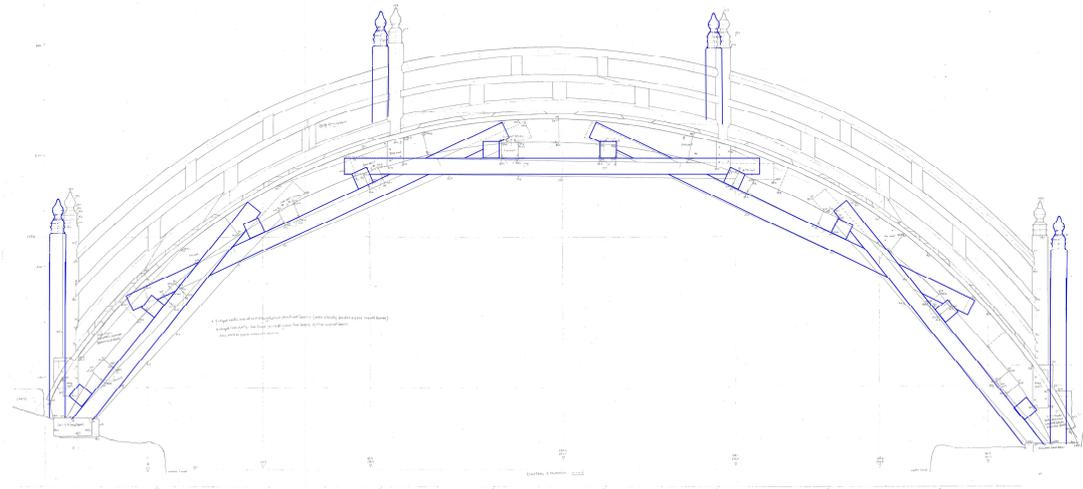


Abb. 17 Mondbrücke. Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Längenverhältnisse innerhalb des Gewebebogens, vor 1949.

Der Umbau um 1950

Die Details in Fotografien mit höherer Auflösung zeigen neben den Längenverhältnissen innerhalb des Gewebebogens weitere Unterschiede zwischen der älteren Brücke und der heutigen Mondbrücke.

a. Gewebebogen

Zwei Fotografien in Abb. 16 (a und b) sind beide um 1925 entstanden, von Westen aufgenommen und zeigen eine wellenförmige Holzfasertextur bzw. Maserung auf dem mittleren Längsbalken (Abb. 18). Diese Maserung ist auf den entsprechenden Bauelementen der heutigen Brücke nicht zu finden.

Anhand mehrerer älterer Fotografien kann festgestellt werden, dass die Kerben in den Querbalken, die die Krumbalken aufnehmen, ursprünglich tiefer waren als sie heute sind (Abb. 19). Dies weist darauf hin, dass zumindest alle ursprünglichen Querbalken durch neue Querbalken ersetzt worden sind.

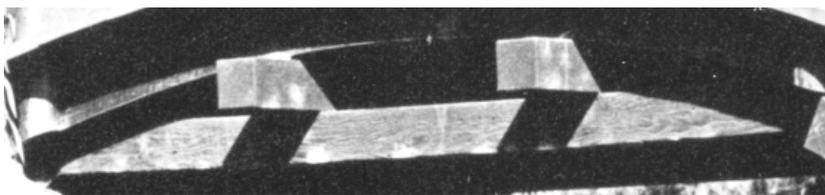


Abb. 18 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Detail zweier Fotografien von Westen, um 1925. Holzmaserung des mittleren Längsbalkens. (aus: Huntington Digital Library)

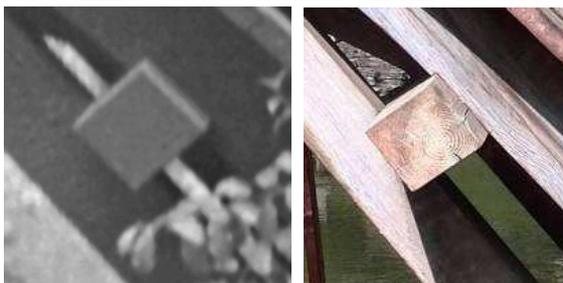


Abb. 19 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Links Detail aus Abb. 16e. Rechts zum Vergleich der heutige (2015) Zustand. Die zweite Querbalken von unten, Nordosten des Bogens. Der Krumbalken war um 1920 wesentlich tiefer in die Querbalken gesetzt als es heute der Fall ist.

Die Bauteile des Gewebebogens können einfach ausgetauscht werden, im Gegensatz zu den Bauteilen des Geländers und des Krumbalkens, worauf wir später eingehen.

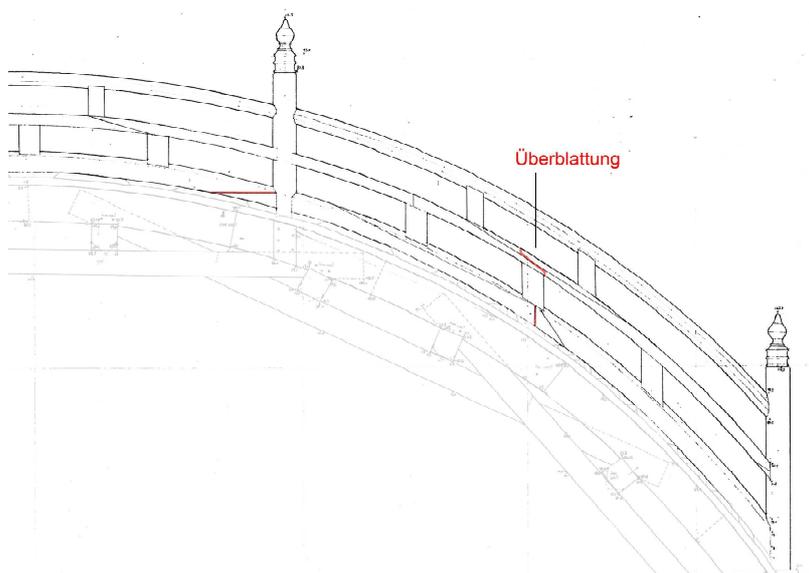
Nachdem wir die Tatsache bemerkt haben, dass die Kerben für die Krumbalken in der früheren Brücke viel tiefer waren, kommen wir zurück zum oberen Paar von Querbalken (Abb. 18). Zwischen dem Krumbalken und den Querbalken gab es einen großen Abstand. Dies führte zu einer ungünstigen Kräfteverteilung innerhalb der Struktur der Brücke. Der Krumbalken und die Querbalken waren wahrscheinlich nicht durch Nägel fest miteinander verbunden (hierzu später mehr). Die ungünstige Kräfteverteilung und die wahrscheinlich fehlende Verbindung zwischen Krumm- und Querbalken kann dazu geführt haben, dass die Brücke unbegehrbar wurde und in den 1950er Jahren wieder neu aufgebaut wurde.

b. Geländer

Die Fotografien aus Abb. 16a und b, die beide um 1925 entstanden, können das Prinzip der Zusammensetzung der Geländerbauteile wiedergeben. Im Vergleich mit den verhältnismäßig fragmentarischen Stücken des heutigen Geländers war die ursprüngliche Struktur übersichtlich angeordnet:

In den drei durch die Pfosten unterteilten Abschnitten ist der mittlere Abschnitt der Kürzeste. Seine Ober- und Mittelgeländerbalken sind aus jeweils einem Stück Holz gefertigt. Nur der untere Balken wurde aus mehreren Teilen gefertigt. Die waagerechte Nahtlinie (Abb. 20, rote Linien) zeigt an, dass sein Hauptteil aus einem Brett geschnitten worden ist.

Die seitlichen Abschnitte sind länger als der mittlere Abschnitt. Auch hier sind die Obergeländerbalken aus einem Stück Holz gefertigt. Bei der heutigen Mondbrücke ist es ebenso. In der Werkstatt des Japanischen Gartens zeigte Andrew Mitchell, der für die Brückenreparatur im Jahr 1988 verantwortliche Architekt, dem Autor ein riesiges Holzstück (Abb. 21). Es stammt wahrscheinlich von der ersten, ursprünglichen Konstruktion der Mondbrücke. Daraus hatte Mitchell für die Reparatur einen auf südwestlicher Seite zu ersetzenden Obergeländerbalken ausgeschnitten.



a. Skizze der Aufteilung der Bauteile des Geländers (Südwestansicht). Der Zustand in 1920er wird rot markiert.



b. Pfosten der Geländer (Nordwestansicht, Detail aus Abb. 15).

Abb. 20 Mondbrücke, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. Details der Geländer.



Abb. 21 Werkstatt von Andrew Mitchell, Huntington Bibliothek, San Marino, USA. 2015. Ein großes Stück Holz, das vermutlich von der ursprünglichen Mondbrücke stammt. Länge ca. 360 cm, Stärke ca. 9.5 cm.

In der Brücke aus den 1920er Jahren, war der Mittelgeländerbalken der seitlichen Abschnitte aus zwei Teilstücken zusammengesetzt, die in Form einer Überblattung miteinander verbunden sind (Abb. 16a, b, e; Abb. 20a). Diese Art von Überblattung Verbindung ist nicht in der vorliegenden Brücke zu finden.

Die Untergeländerbalken der seitlichen Abschnitte waren früher ebenfalls aus zwei Stücken zusammengesetzt, die einfach mit ihren Enden aufeinanderstoßen.

Alle drei durch die Pfosten unterteilten Abschnitten sind auf den Fotografien aus den 1920er Jahren länger als im aktuellen Zustand (Abb. 17). Diese Tatsache, zusammen mit der Übereinstimmung der Fugen der alten (rote Linien in der Abb. 20a) und der gegenwärtigen Struktur (schwarze Zeichnung in der Abb. 20a) weist auf eine maximale Wiederverwendung originaler Bauteile für die in den 1950er Jahren durchgeführte Rekonstruktion hin.

Die Details in älteren Fotografien zeigen, dass die Pfosten der Geländer auf dem Boden standen (Abb. 20b, Detail von Abb. 15.). Sie sind in der heutigen Struktur verkürzt.

Nobu T. Kawais Erzählung

Der Sohn Toichiro Kawais, Nobu T. Kawai, erwähnte einen sehr interessanten Vorfall, der nicht in dem Bericht im Archiv der Huntington Bibliothek auftaucht: Irgendwann nach ihrer Konstruktion waren sowohl die Mondbrücke als auch das Torii eingestürzt. Die Mondbrücke wurde dann wiederaufgebaut, das Torii nicht.

Der Einsturz der Mondbrücke wurde von Nobu in drei verschiedenen Berichten^{19,20,21} besprochen, wobei zwei der Berichte widersprüchliche Angaben zum Zeitpunkt beinhalten. In einem Interview im Jahr 1984 erwähnte er, dass der Einsturz „etwa 1914“ stattgefunden habe, und dass die heutige Brücke ein „exaktes Duplikat“ (exact duplicate) nach dem originalen Entwurf seines Vaters sei:²⁰

„Er baute das Taiko-bashi,²² eine Trommelbrücke, die noch existiert, sowie den Glockenturm, und half im Entwerfen anderer Strukturen oder im Ersetzen der Steinlaternen und Statuen im gesamten Japanischen Garten. Jetzt, da die ursprüngliche Brücke seit etwa 1914 dem Verfall, Termiten, der Trockenfäule usw. ausgesetzt war, brach sie zusammen. So haben sie die Brücke in genau der Gestalt wiederaufgebaut, wie sie mein Vater gebaut hatte. So ist die Brücke, die heute steht, nicht diejenige, die mein Vater gebaut hatte, aber ist sie ein exaktes Duplikat derjenigen, die er an der gleichen Stelle errichtet hatte.“

In einem anderen Bericht, den Nobu im Jahr 1984 aufgeschrieben, erwähnte er den Zusammenbruch als „vor einigen Jahren“. Bemerkenswert ist, dass er im gleichen Absatz beschrieb, wie sein Vater die Brücke zu Hause studiert hatte²¹:

„Er fertigte ein Modell der Brücke, das sich irgendwo in der Nähe des Hauses befand, bis es während unserer Evakuierung zu Kriegszeiten verloren ging. Es wurde mit verriegelnden Hölzern ohne die Verwendung von Nägeln gebaut. Je mehr Gewicht auf der Brücke lastete, desto fester und stärker wurden die Verbindungen. Alter, Termiten und Trockenfäule machten eine Rekonstruktion vor einigen Jahren notwendig. Sie wurde im gleichen Design an der gleichen Stelle wie das Original wiederaufgebaut.“

In allen drei Berichten schrieb Nobu den Zusammenbruch der Brücke ihrem Alter, dem Termitenbefall und einer Art Trockenfäule zu, die gleichen Ursachen, die er auch dem Strukturversagen des Torii anrechnete.

Kawai hatte für die Huntington Bibliothek drei Bauwerken hergestellt: die Mondbrücke, das Torii, und einen Glockenturm. Nobu hat es erwähnt, dass sein Vater sehr stolz auf die Errichtung des Glockenturms (Abb. 22) war. Er war Kawais Lieblingsarbeit, und ist sich noch heute im Garten in einem guten Zustand befindet. In einem Interview 1985 erzählte Nobu erzählte wie folgendes:

19 Oral History Project in Pasadena History Museum: Long, Long ago oral history project. Answers to Questions by Nobu T. Kawai. Question No.4.

20 Oral History Project in Pasadena History Museum: Interview with Nobu Kawai, 55 Harkness Street, Pasadena, Thu, sep. 27. 1984. p6-7.

21 Kawai family background. Compiled by Nobu. T. Kawai. 1985 January. P.4

22 „Taiko-bashi“ wurde dabei fälschlicherweise als „tyco bushee“ notiert. Dies weist darauf hin, dass das Interview auf Tonband o.ä. aufgezeichnet worden ist.

"Papa zitierte oft japanische Sprichwörter. Eines davon war: 'Wenn ein Bulle stirbt, hinterlässt er seine Hörner; wenn ein Tiger stirbt, hinterlässt er seine Haut; wenn ein Mann stirbt, hinterlässt er seinen Namen. Ich erinnere mich, dass er ganze Nächte aufblieb, um Baupläne zu zeichnen. Er wollte dieses Gebäude mit seinem Namen und Stolz verbinden. Er nutzte sein Talent, um jede einzelne Verbindung perfekt passend zu machen. Seine Zufriedenheit mit diesem Werk wird bezeugt durch eine Gedenktafel mit seinem Namen als Erbauer und dem Datum des Aufbaus – und diese Gedenktafel hatte er selbst veranlasst. Sie befindet sich auf dem Dachboden des Gebäudes."



Abb. 22 Der Glockenturm. Japanische Garten. Huntington Bibliothek, San Marino, USA. 2013

Der Zusammenbruch 1914? Eine Theorie

Als der Autor seine Entdeckungen zur Umbaugeschichte der Mondbrücke mit dem Architekt Andrew Mitchell diskutierte, erwähnt dieser, dass er gehört habe, die Brücke sei mindestens zweimal umgebaut worden.²³

Zu einem zweiten Neubau geben Nobu T. Kawais Berichte keine Auskunft. Die beiden von ihm angegebenen Daten (in 1914 und vor 1984) sind nicht zuverlässig. Die Angabe aus seinem Bericht von 1984, „vor einigen Jahren“, könnte sich auf die Rekonstruktion in den 1950er Jahren beziehen. Bestätigt durch Fotografien der Brücke im Huntington Archiv, ist die Brücke seit 1962 nie umgebaut, nur repariert worden. Die Jahresangabe 1914 ist noch verwirrender. 1914 arbeitete Nobus Vater Toichiro Kawai noch im Huntington Japanischen Garten für den Glockenturm, der im Dezember fertig war. Könnte das einfach ein Versprecher Nobus während des Interviews sein? Oder vielleicht war der erste Zusammenbruch ein Unfall? Warum betrachtete Toichiro Kawai, ein Handwerker mit Berufsstolz, die Mondbrücke nie vor seinen Kindern als sein Kunstwerk, obwohl sie tatsächlich ein wundervoller Entwurf ist? Es könnte sein, dass die Mondbrücke durch einen Unfall zu einem frühen Zeitpunkt eingebrochen ist, und zwar lange vor Toichiro Kawais Tod (1943).

Die Fotografien der Brücke, die zwischen 1920 und 1949 entstanden sind, geben identische Längenverhältnisse ihrer Bauteile wieder. Also muss die erste Rekonstruktion, wenn es zwei gab, zu einem früheren Zeitpunkt stattgefunden haben.

Es gibt keine ausreichenden Informationen zu diesem Thema, weder in den historischen Aufzeichnungen seit Beginn der Geschichte der Mondbrücke, noch lassen sich Hinweise in der bereits stark reformierten Struktur der Brücke selbst finden. Allerdings können wir ein Gedankenexperiment aufstellen, um ein besseres Verständnis der Eigenschaften dieser Struktur zu erhalten:

Ist es möglich, dass die Mondbrücke für mindestens mehrere Monate gut und sicher stand, aber in einem Zeitraum von einigen Jahren, entweder bis Ende 1914, nach Nobus Erzählung, oder bis zur ersten Fotografie in den 1920er Jahren, zusammenbrach und wieder zusammengesetzt wurde, ohne dass die Geländer Schaden nahmen und noch in den 1920er Jahren in einem ziemlich guten Zustand waren? Die Antwort wird Ja sein.

²³ Der Autor in einem Gespräch mit Andrew Mitchell, Juni 2015, im Huntington Japanischen Garten.

Ohne Nägel oder eine ähnliche Befestigungsmechanik besitzt der Gewebebogen zwei Arten von Bewegungsfreiheitsgraden, so dass sich die Querbalken entlang der stützenden Längsbalken bewegen können, und so dass sich die Längsbalken entlang ihrer Achsen bewegen können. Um die Struktur stabil zu halten, ist die dabei auftretende Reibungskraft nicht ausreichend.

Toichiro Kawai muss dieses strukturelle Problem verstanden haben. Das Modell, das er nach Berichten seines Sohnes zu Hause gefertigt hatte, zeigt auf jeden Fall eine stabile Gewebebogen-Struktur ohne die Benutzung von Nageln. Allerdings zielte Kawais Mondbrücke auf die Metapher der Nummer zehn, der Vollkommenheit. Er bestand aus zehn Bauteilen und einem Kreis mit 10 m Durchmesser. Das Ergebnis ist der vorhandene Entwurf, eine perfekte Form mit Verzicht auf strukturelle Stabilität.

Kawai musste Methoden haben, die Holzverbindungen zu stabilisieren, eventuell ohne Nägel, wie sich sein Sohn mit Stolz erinnert. Es gibt so viele Stellen in den frühen Archivalien der Bibliothek des Huntington Japanischen Gartens, in denen betont wird, dass die japanischen Zimmerleute keine Nägel verwenden, und das war auch genau der Grund, dass Kawai seinen ersten Auftrag (das japanische Teehaus) von Huntington bekommen hatte. Ein solcher Glaube ist heute noch immer in Amerika und auch in Asien populär. Tatsächlich aber gilt die „Konstruktion ohne Nägel“ nur für die Hauptstruktur der japanischen (und ähnlich chinesischen) Architektur. Was Schreinerarbeiten, einschließlich Fenster, Türen, Decken und Böden, betrifft, wurden und werden viele Nägel verwendet. In Japan sind Nägel und andere Eisenelemente, z.B. Eisenklammern und Eisenbänder, auch in traditionellen Holzbrücken üblich. Es ist möglich, dass ein stolzer japanischer Zimmermann wie Kawai von dem Ideal seiner legendären Berufstradition gefangengenommen wurde und so die Verwendung von Eisenelementen in der Hauptstruktur der Brücke zu vermeiden versuchte, und dass er daher andere Arten von Verbindungen ausprobierte.

Es gibt viele Methoden, um die Bewegung zwischen den Balken zu beschränken. Zum Beispiel könnten Holzdübel zwischen die gewebten Balken gesetzt werden, oder versteckte Schwalbenschwänze an der Stelle der heutigen Kerbe. Diese Holzverbindungen wären an diesen Stellen stark genug – allerdings nur für eine Weile, denn sie wären auch schwach genug, um in einer kurzen Zeitspanne beschädigt zu werden.



Abb. 23 Modell der Mondbrücke,
Gefertigt vom Autor.

Kapitel III

Suche nach den chinesischen Holzbogenbrücken

I Die Entdeckung der chinesischen Holzbogenbrücken: von der Regenbogenbrücke zu den MZ-Brücken

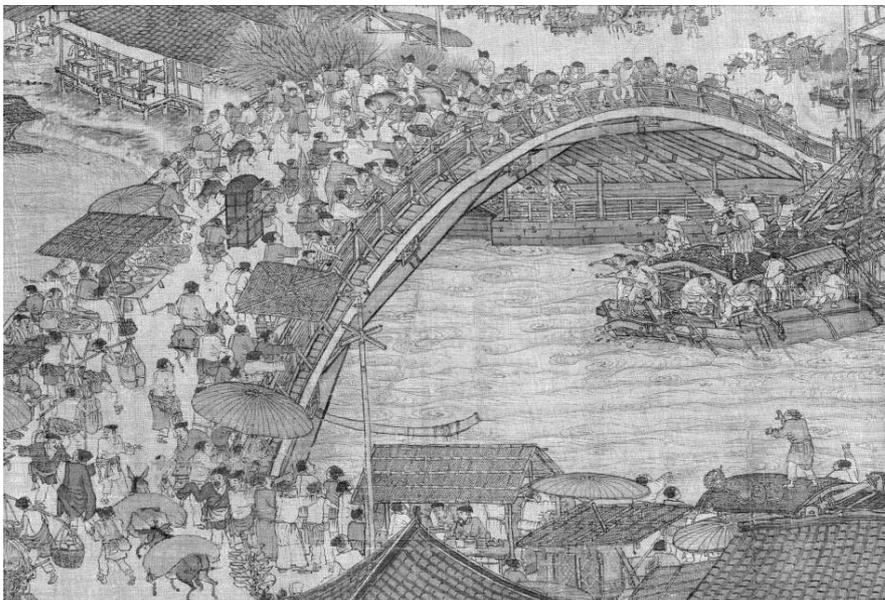
1. Entdeckung der Regenbogenbrücke

1953, vier Jahre nach der Gründung der Volksrepublik China, wurde die Qingming-Bildrolle (*Qingming Shanghe Tu* 清明上河图), das berühmteste noch erhaltene chinesische Rollbild, im Palast Museum, der ehemaligen Verbotenen Stadt des chinesischen Kaisers, der Öffentlichkeit vorgestellt.

Tang Huancheng (1926-2014), damals ein junger Brückenbauingenieur, gerade fünf Jahre aus der Universität, nutzte wie viele andere diese Gelegenheit. Jedoch machte das Rollbild, auf das er nur einen kurzen Blick im düsteren Licht erhaschte, damals noch keinen nachhaltigen Eindruck auf ihn.

Später im selben Jahr sah Tang die Bildrolle abermals in der Zeitschrift „Neue Beobachtung“ (*Xin Guan cha* 新观察). In dem beigefügten Artikel wurden Teile davon behandelt, und nun zog Tang eine „lichte und schöne“ Brücke, die ganz anders im Vergleich zu den üblichen Brückenzeichnungen war, besonders an.

Die Bildrolle, 24,8 cm breit und 528,7 cm lang, zeigt den Blick von den Außenbezirken nach der Innenstadt und stellt Szenen des städtischen Alltagslebens in Bianliang (heute Kaifeng, Henan Provinz), der damaligen Hauptstadt der Nördlichen Song Dynastie, dar. Von rechts nach links sieht man die Landschaft am Stadtrand, den Fluss Bian mit geschäftigen Boote, das Stadttor und die florierenden Straßen der Stadt mit verschiedenen Läden. Die betreffende Brücke (Abb. 1), heute gewöhnlich Regenbogenbrücke genannt, steht genau in der Mitte des Bildes, außerhalb des Stadttors. Sie ist aus vielen Holzbalken, die gegenseitig unterstützend sind, zusammengesetzt und formt eine Art Bogen.



a. Mittelteil der Qingming
-Bildrolle: von der Brücke
zum Stadttor.
b. Regenbogenbrücke

Abb. 1
Regenbogenbrücke in der
Qingming-Bildrolle
(aus: Palast Museum,
Peking, China)

Die Struktur war so außerordentlich, dass Tang glaubte, sie sei das einzige Beispiel ihrer Art in der ganzen Welt. Sogar nach der Entdeckung der Holzbogenbrücken in Südostchina im Jahr 1980 (Genaueres dazu weiter unten), die Tang als überlebende Technik der Regenbogenbrücken identifizierte, war er der Meinung, dass Brücken dieser Art nur in China zu finden seien. Das hat diese Doktorarbeit in Kapitel I und II jedoch mit europäischen und japanischen Beispielen widerlegt.

Die Brücke regte Tang zum Nachdenken an:

Wer war der Maler und was war der historische Hintergrund zur Entstehung der Malerei?

Gab es diese Brücke tatsächlich oder war sie bloß eine Fantasie?

Wie entstand die Brücke?

Wie ist die Brücke konstruiert?

Gibt es noch überlebende Brücken dieser Art in China?...

Ein halbes Jahrhundert später, in seinem letzten Buch „Die chinesischen Holzbogenbrücken“ (*Zhongguo Mugongqiao* 中国木拱桥) (Tang, 2010), das vier Jahre vor seinem Tod veröffentlicht wurde, behauptete Tang, dass er alle diese Fragen zuletzt gelöst hätte. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie er zu diesem Ergebnis gekommen ist.

2. Historischer Hintergrund der Regenbogenbrücke

Historische Darstellungen der Regenbogenbrücke

Unter den vielen als *Qingming Shanghe Tu* bezeichneten Darstellungen, ist nur die Bildrolle, die in der kaiserlichen Sammlung *Shiqu Baoji* 石渠宝笈 in der Verbotenen Stadt aufbewahrt wird, als Original anerkannt, und zwar des Kolophons wegen, den nachfolgende Dynastien daran gefügt haben, sowie wegen der raffinierten Malereitechnik und den wahrheitsgetreuen Song-Zeit Stadtszenen.

Über den Maler kommen unsere Kenntnisse fast ausschließlich aus dem Nachsatz der Jin Dynastie. Der wurde nur ein halbes Jahrhundert nach dem Ende der Song Dynastie geschrieben und kann deshalb als glaubwürdiges Zeugnis angesehen werden. Dadurch wissen wir, dass der Maler Zhang Zeduan (11. Jh. - 12. Jh.) ein offizieller Künstler am Hof des Kaiser Huizong (1101 – 1125) war. Er kam aus der Provinz Shandong und hatte in der Hauptstadt studiert. Er war berühmt für *Jiehua* 界画 (die chinesische mit Lineal gezeichnete Architekturmalerei) und war besonders talentiert im Malen von Booten, Wägen, Städten, Brücken und Straßen.

In späteren Dynastien befand sich die Qingming-Bildrolle größtenteils in der kaiserlichen Sammlung und war damit der Außenwelt verschlossen. Trotzdem war sie sehr bekannt, bezeugt durch unzählige Nachahmungen. Der Einfluss der Qingming-Bildrolle reichte so fern als Japan (z. B. *Kidai Shoran* 熙代勝覽 Handrolle von 1805). Jedoch hatten viele Künstler das Original nicht gesehen, malten nur nach Beschreibungen und stellten eher ihre eigenen Erfahrungen und Vorstellungen dar. Beispielsweise ist eine Gruppe solcher Bilder der Stadt Suzhou und nicht der Stadt Bianliang nachempfunden. Bemerkenswert ist auch, dass spätere Versionen der Qingming-Bildrolle die Regenbogenbrücke als eine Steinbrücke darstellen. Als Gewebeholzbogenbrücke ist sie nur in der Song Malerei zu finden.

Historische Beschreibungen der Regenbogenbrücke

Hinweise zur Regenbogenbrücke, die den Bian Fluss überspannt hatte, fand Tang in der Literatur der Song Zeit. Der Bian Fluss, der die Hauptstadt in Nordchina mit dem fruchtbaren unteren Jangtse Gebiet in Südchina verband, diente als wichtigster Hauptverkehrsweg, gleich einer Lebensader des Kaiserreiches. Tag und Nacht befuhren ihn tausende Boote, die Getreide und andere Güter beförderten.

Der Name der Brücke stammt von einer der Pinselnotizen *Dongjing Meng Hua Lu* 东京梦华录 (wörtlich „Der Traum von Hua in der östlichen Hauptstadt“), einer Prosasammlung über das Stadtleben und die Stadtansichten in der Song Dynastie, dass viele Brücken in- und außerhalb der Hauptstadt werden erwähnt:

„Die Brücke, sieben Meilen außerhalb des Ost-Wassertors, heißt Regenbogenbrücke. Diese Brücke hat keine Pfeiler. Sie ist ganz aus großen Holzbalken konstruiert, mit zinnoberroter Lackfarbe gestrichen, und sie wölbt sich auf wie ein fliegender Regenbogen.“ 东水门外七里曰虹桥。其桥无柱，皆以巨木虚架，饰以丹艧，宛如飞虹。（Meng und Kölla, 1996）

Außerdem berichtet die Pinselnotiz, seien zwei andere Brücken, die Obere und Untere Erd-Brücke, ähnlich konstruiert 其上下土桥亦如之。

Aus den historischen Beschreibungen und der bildnerischen Darstellung in der Bildrolle schloss Tang, dass die Brücke 18 bis 20 m lang und 8 bis 9 m breit war.

Das Compendium (von Regierungsstatuten) *Song Huiyao* 宋会要, heute Teil der Yongle Enzyklopädie aus dem 15. Jh., berichtet vom Bau und Umbau der Brücke, und dass der Bian Fluss schnell und kräftig war und die Boote behindert oder sogar beschädigt wurden durch die Brückenpfeiler in der Mitte des Wassers. Im Jahr 1017, dem ersten Jahr der Tianxi Regierungsperiode, wurde eine neue Brückenform, eine „Brücke ohne Füße“ 无脚桥, vorgeschlagen, die „aus gewebten Hölzer gemacht und mit Nägel verbunden“ 编木为之, 钉贯其中 werden sollte, jedoch wurde das Projekt abgebrochen, weil sich die Kosten während der Bauphase bereits verdreifacht hatten.

Ein paar Jahrzehnte später, in der Nachbarprovinz, wurden zwei Beispiele so einer „fliegenden Brücke ohne Pfeiler“ verwirklicht. Wang Pizhi 王辟之 berichtet in seinem Werk *Shengshui Yan Tan Lu* 澠水燕谈录 (1099), dass die Leute in Qingzhou (heute Qingzhou, Shandong) im Sommer das Problem hatten, dass das Wasser, das aus den Bergen kam die Brückenpfeiler des Yang Flusses beschädigte. Woraus schließen wir können, dass die Brücke mittige Pfeiler im Wasser hatte. In der Mingdao Regierungsperiode (1032–1033) hatte ein niederer Diener des Gefängnisses 牢城废卒 dann eine kluge Idee. Er befestigte beide Flussufer mit großen Steinen, und baute eine fliegende Brücke ohne Pfeiler aus Dutzenden großen Holzbalken. Als das Werk geschrieben wurde, war die Brücke bereits 50 Jahren alt aber noch in gutem Zustand. Später, in der Qingli Regierungsperiode (1041–1048), als der Bezirksvorsteher Chen Xiliang 陈希亮 Suzhou (heute Suzhou, Anhui) beherrschte, stand er vor einem ähnlichen Problem. Er befahl eine fliegende Brücke nach dem Vorbild Qingzhous zu bauen. Danach waren fliegenden Brücken in diesem Gebiet alltäglich. Sie wurden über den Fen Fluss und den Bian Fluss gebaut und „Regenbogenbrücken“ genannt.

Die Geschichte der fliegenden Brücke des Bezirksvorstehers Cheng Xiliang wurde auch im *Song Shi* (宋史), der offiziellen Geschichte der Song Dynastie, niedergeschrieben.

Obwohl Brücken dieser Art in der Song Zeit oft gebaut wurden, fehlen Zeugnisse aus späteren Dynastien. 1950 wurden Regenbogenbrücke in China daher als ein verlorener Brückentypus in akademischen Kreisen anerkannt.

3. Entdeckung der Holzbogenbrücken im Min-Zhe-Gebiet

1980, während der Konferenz der Brückengeschichte in Hangzhou, Zhejiang, sprachen Wissenschaftler vom Verkehrsamt in Zhejiang über eine Art von besonderen „Sprengwerkbrücke“, einer Balkenbrücke mit schrägen Stützen, die in den Bergen dieser Provinz stehen. Trotz genauer Betrachtung der Fotos hatte Tang große Zweifel. Gemeinsam mit Kollegen fuhr er 435 km um die Brücke zu begutachten. Dort angekommen, stellte er fest, dass sie tatsächlich zu einer Brückenart gehörte, die der Regenbogenbrücke statisch sehr ähnlich war (Tang, 2010).

Das war die Entdeckung der Min-Zhe Holzbogenbrücken („MZ-Brücken“ in den folgenden Kapiteln), die nur im Grenzgebiet der Provinzen Fujian (Min) und Zhejiang (Zhe) zu finden sind. Diese Brückenart, mutmaßte Tang, sei das Ergebnis eines langen und kreativen Entwicklungsprozesses basierend auf der Regenbogenbrücke, deren Entwurfsprinzip sich von Nord- nach Südchina ausgebreitet hatte und in diesem entlegenen Berggebiet Südostchinas fast ein Jahrtausend überlebte.

Bis 1980er gab es vermutlich noch etwa 200 solcher Brücken in den Bergen Zhejiang und Fujian (Fang, 1995). In den letzten Jahrzehnten wurden viele davon zerstört oder abgebaut. Heute sind nur etwa 100 Brücken erhalten.

Anhand der Meichong Brücke (Abb. 2) im Landkreis Yunhe, Provinz Zhejiang, erklärte Tang das Konstruktionsprinzip dieser Brücken.

Laut Tangs Erklärung besteht die Hauptkonstruktion der Meichong Brücke aus zwei Tragsystemen. Das erste ist ein dreiseitiger Bogen, das zweite ist ein fünfseitiger Bogen. Jedes System besteht aus Längsbalken und Querbalken, die durch Holzverbindungen zusammengehalten werden, zum Unterschied zur Regenbogenbrücke, die mit Nägeln verbunden ist.

Zusätzlich zur tragenden Hauptkonstruktion weisen die MZ-Brücken noch eine Oberflächendeckung auf, die einen flacheren Winkel der Deckung und ein einfacheres Überqueren ermöglicht. Zwischen den Hauptbogen (gewebte Bogen / Gewebebogen) und der Deckung gibt es noch unterschiedliche Stützen (X-förmige Stützen und Mittelstützen). Sie steigern die Stabilität.

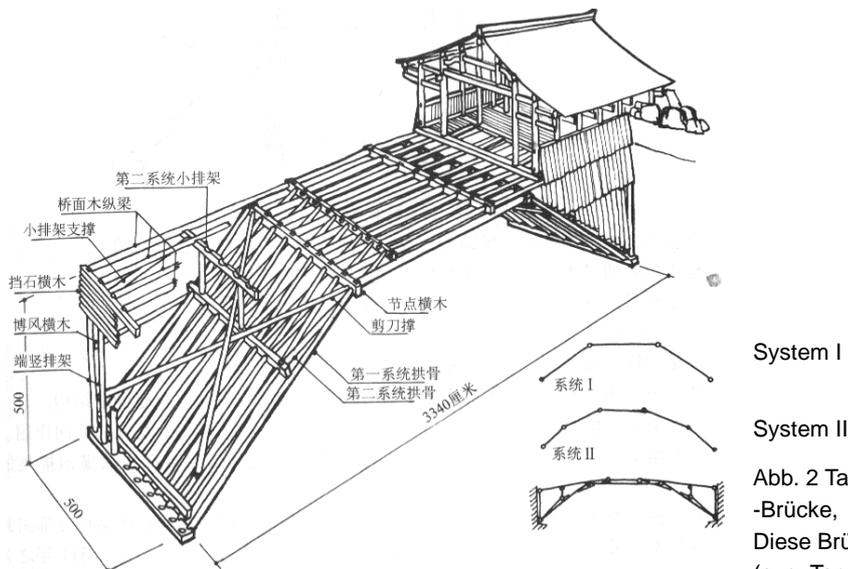


Abb. 2 Tangs Darstellung der Meichong-Brücke, Landkreis Yunhe, Zhejiang, China. Diese Brücke wurde 2005 durch Brand zerstört. (aus: Tang, 2000, S. 471)

4. Das traditionelle Spiel „Esststäbchenbrücke“

Nach der Entdeckung der MZ-Brücken in den MZ-Bergen begannen viele lokale Kulturarbeiter mit der Erforschung dieser Brücken in ihrem Gebiet. Dadurch erregte ein traditionelles Spiel, genannt „Esststäbchenbrücke“, Aufmerksamkeit. Das Ziel des Spiels ist eine Brücke in Miniaturform zu bauen, indem man aus dünnen Hölzern, oft Esststäbchen, eine Bogenkonstruktion formt. Jeder Balken ist miteinandergreifend. Alle Hölzer stützen einander gegenseitig ab. Die einfachste Bogenform hat sechs Hölzer. Mit weiteren Hölzern wird der Bogen dann nach gleichem Prinzip erweitert (Abb. 3).

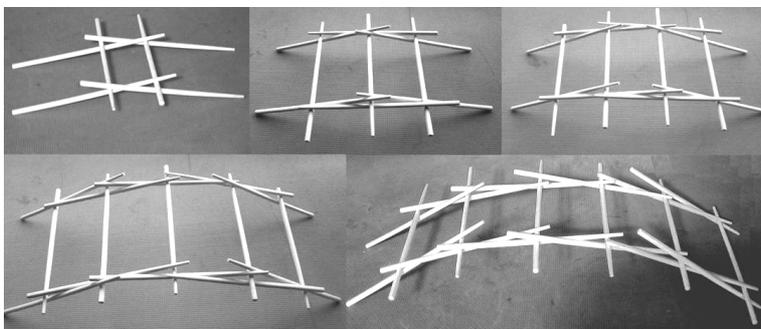


Abb. 3 Erweiterung der Esststäbchenbrücke

Das Spiel ist besonders bekannt im Verbreitungsgebiet der MZ-Brücken. In einem lokalen Dialekt Nord-Fujians (z. B. in Songxi) werden die Holzbogenbrücken gemeinhin „Esststäbchenbrücken“ genannt. Eine 1960 gebaute Gewebebücke in Shuijizhen, Jianyangshi, Fujian, trägt sogar den Namen „Esststäbchenbrücke“ (Fankuai-Brücke 饭筷桥).

Obwohl die „Esststäbchenbrücke“ ein beliebtes Thema unter lokalen Kulturarbeitern, meist Amateur Forschern, ist, wird dieses Spiel in wissenschaftlichen Kreisen nicht anerkannt. Weder Tang, der 1950 ein

Modell der Regenbogenbrücke mit Streichhölzern baute, um ihre Konstruktion zu erklären, noch Lu Bingjie, Professor der Tongji Universität in Shanghai, der 1980er während seinem Besuch in Japan tatsächlich Essstäbchen zum Nachbau verwendete, sprachen über die mögliche Beziehung zwischen ihren Modellen und dem traditionellen Spiel. Das gleiche gilt für den heute führenden Forscher Zhao Chen, Professor der Nanjing Universität in Nanjing (Nachfolgend noch genauer erklärt, siehe Abschn.III.2).

Im Zuge der Feldforschung für diese Doktorarbeit sammelte der Autor Daten, wonach dieses Spiel bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts in Harbin (Nordostchina)¹, Hebei (Nordchina) und dem MZ-Gebiet (Südostchina) geläufig war, und bis zu den 1990er Jahren, vor der Einführung des Internets, sogar fast in großen Teilen Chinas bekannt war. Auch Befragte aus anderen Provinzen erzählten dem Autor, dass sie mit diesem Spiel seit ihrer Kindheit vertraut waren. Demnach war es auch im Gebiet um Chongqing und in der Provinz Hubei zu finden, was bemerkenswert ist, da es dort traditionell auch Gewebeholzbogenbrücken gibt.

Obwohl weit verbreitet, war diese Spiel vor der Zeit des Internets im Großteil Chinas niemals Teil des Allgemeinwissens. Es war eine Art Zauberstück, das die Zuseher faszinierte und in Verwunderung versetzte. Die Mehrzahl der Menschen außerhalb der Brückenverbreitungsgebiete kennen es nicht. Ein Befragter erzählte, dass er das Spiel am Anfang dieses Jahrhunderts, in Maoming, Guangdong, sah, wo ein Mann, der Wundsalben verkaufte, das Spiel auf einem Markt vorführte. Es war eine Art Werbung für seinen Verkauf, dass er besondere Kenntnis hatte. Das uns zeigt, dass das Spiel in Guangdong, der südlichsten Provinz Chinas, zu der Zeit nicht bekannt ist.

Leider fehlen schriftliche Aufzeichnungen über die Entstehungsgeschichte des Spiels. Doch kann man sich gut vorstellen, angesichts der Ähnlichkeit zwischen der „Essstäbchenbrücke“ und der Regenbogenbrücke und aufgrund des dominierenden Stands der Essstäbchen in der chinesischen Kultur, dass Essstäbchen immer schon das beste und einfachste Hilfsmittel waren, um das Prinzip der Holzbogenbrücken aufzuzeigen und spielerisch weiterzugeben. Auch kann man sich vorstellen, wenn sich die Geschichte des niederen Dieners des Gefängnisses 牢城废卒 wirklich so zugetragen hat, dass er seine kluge Idee tatsächlich mit Essstäbchen dem Bezirksvorsteher vorführte.

5. Wiederentdeckung der Brückenbautradition der MZ-Brücken

Seit Chinas Modernisierung in den MZ-Bergen in den 1970er Jahren waren keine neuen Holzbogenbrücken gebaut worden. Betonbrücken beherrschten das ganze Land. Die Frage, ob es noch Zimmermänner gäbe, die solche Brücken bauen könnten, wurde in den folgenden zwei Jahrzehnten nach ihrer Wiederentdeckung 1980 nicht beantwortet.

Seit Anfang des 21. Jahrhunderts waren die Universitäten und ihre Wissenschaftler die wichtigste Kraft der Holzbogenbrückenforschung. Fast gleichzeitig gingen Forschungsgruppen geleitet von Professoren aus Nanjing und Shanghai in die MZ-Berge. Sie starteten im Landkreis Taishun, Provinz Zhejiang, dem nordöstlichen Verbreitungsgebiet der MZ-Brücken und dem damals berühmtesten Landkreis der gedeckten Brücken, und marschierten west- und südwärts in die Provinz Fujian. Sie suchten nicht nur nach erhaltenen Brücken, sondern auch nach Brückenbauleuten.

Der erste Wissenschaftler, der seine Aufmerksamkeit auf die Brückenbauleute gelenkt hatte, war Tang Huancheng. In seinem frühen Werk erwähnte er die Namen und die Abstammung der Zimmermänner zweier Brücken (Tang, 1986).

Der Information Tangs folgend, zog Liu Jie, damals Doktorand der Shanghai Jiaotong Universität, im Frühling 2001 in Shouning Erkundigungen ein. Mit Hilfe des lokalen Kulturarbeiters Gong Difa fanden sie den Brückenbaumeister Zheng Duojin, Nachkomme des im Landkreis Shouning berühmten Zimmermanns „Xiaodong-Meister (siehe Kap. IV und V)“.

Im gleichen Sommer fand Zhao Chen, Professor der Nanjing Universität, den Namen und den Stammhaus des Erbauers der Huilong-Brücke 回龙桥 in Jingning, der auch aus dem Landkreis Shouning stammte. Mit Hilfe von Gong Difa, besuchte er die gleiche Zimmermannsfamilie.

Später im gleichen Jahr drehte das Chinesische Zentral Fernsehen (CCTV) im Rahmen der Serie „Forschung & Entdeckung“ 探索·发现 den Dokumentarfilm „Suche nach der Regenbogenbrücke“ 虹桥寻踪,

1 Beispiel aus Harbin wurde von Prof. Fang Yong diesem Autor informiert.

wofür Meister Zheng Duojin, Nachkomme des Xiaodong Meisters, eine kleine Holzbogenbrücke aufbaute. Der Bauprozess wurde gefilmt. Die Baumethode und der Baufortschritt wurden aufgezeichnet.

Seitdem erhalten die Holzbogenbrücken und ihre Brückentechnik große Aufmerksamkeit sowohl von lokalen Regierungen als auch von Wissenschaftlern. Mehrere Brückenbaufamilien (Zimmermannsfamilien, die Holzbogenbrücken bauen können) wurden durch lokalen Kulturarbeiter gefunden, darunter die bedeutende Zhang Familie aus Xiajian, Limen, Zhouning. Diese Familie, die Xiajian-Meister hat die längste Tradition und arbeitet bereits acht Generationen in diesem Beruf. Sie haben Dutzende Brückenverträge (abgeschlossen zwischen dem Baumeister und den Projektdirektoren) aufbewahrt.

2009, durch die Kooperation mit lokalen Behörden und Wissenschaftlern, wurde der traditionelle Entwurf und die Praktiken der chinesischen Holzbogenbrückenkonstruktion ("*Traditional design and practices for building Chinese wooden arch bridges*") in die Liste des immateriellen UNESCO Weltkulturerbes aufgenommen. Dafür wurde der Dokumentarfilm „Heimat der Holzbogenbrücken“ 木拱廊桥之乡 gedreht. Im Zuge dessen erhielt der Brückenbaumeister Huang Chuncai eine finanzielle Unterstützung, um eine kleine Holzbogenbrücke, die Shijin Brücke, im Landkreis Pingnan, Provinz Fujian, zu bauen. Die Baumethode und der Baufortschritt wurden dokumentiert.

Nach der Aufnahme in die UNESCO Weltkulturerbeliste, erregten die Holzbogenbrücken das Interesse der Regierung und der Bevölkerung. Viele neue Brücken wurden gebaut. Die neuen Projekte boten dem Autor dieser Doktorarbeit die Gelegenheiten, die verwendete Brückentechnik zu erforschen.

II Die Regenbogenbrücke unter dem Blickwinkel der MZ-Brücken

1. Tangs Sinneswandel bezüglich der Regenbogenbrücke

Nach der Entdeckung der MZ-Brücken nahm Tangs Arbeit der Regenbogenbrücke eine merkwürdige aber interessante Wendung. Bevor er von den MZ-Brücken wusste, sah Tang die Regenbogenbrücke als einen Bogen, der

„...aus fünf Bogenbalken zusammengesetzt ist. Jeder Bogenbalken ist auf Querhölzer gesetzt, die mittig auf zwei anderen Bogenbalken liegen. Eine einzige Reihe von Bogen ist nicht selbstständig, zumindest sind zwei Reihen mit Querhölzern verbundene Bögen nötig.“ (Tang, 1957)

Nach 1980, nach der Entdeckung der MZ-Brücken, deren untere Konstruktion aus zwei polygonalen Bögen besteht, änderte Tang seine Meinung. 1986 beschrieb er die Regenbogenbrücke als Zusammenspiel zweier Systeme:

„Das erste System bildet die äußere Gruppe (von vorne gesehen); es ist aus zwei langen und zwei kurzen Bogenbalken zusammengesetzt. Das zweite System ist die innere Gruppe; es ist aus drei gleichlangen Bogenbalken geformt.“ (Tang, 1986)

Ein Jahr später änderte Tang noch einmal seine Ansicht. Er identifizierte nach wie vor zwei Systeme, wobei aber das erste System nun aus drei langen Balken bestand, und das zweite System aus zwei langen und zwei kurzen Balken (Tang, 1987). Seit 2000 bezeichnete er die zwei Systeme als I und II. Die Grundidee eines zweiteiligen Tragsystems war gleich geblieben, jedoch hatte das erste System nun drei Balken und das zweite System vier Balken.

2. Die Rekonstruktion der Regenbogenbrücke aus den Jahren 1950 und 1990

Als Brückeningenieur und Brückenhistoriker, hatte Tang Huancheng zweimal die Gelegenheit, die Regenbogenbrücke nachzubauen.

Das erste Mal 1958, kurz nachdem er die Regenbogenbrücke in der Qingming-Bildrolle „entdeckt“ hatte, als Ingenieur und Designer der Wuhan Jangtse-Brücke in Hanyang, Wuhan, der ersten modernen Brücke über den Jangtsekiang. Tang hatte damals die Gelegenheit eine Regenbogenbrücke im verkleinerten

Maßstab im dazugehörigen Park zu errichten (Hanyang Regenbogenbrücke, kurz „Hanyang-Brücke“). Leider wurde das Bauwerk in den 1970er Jahren im Zuge der Kulturrevolution abgebaut.

Das zweite Mal 1998, als der US Fernsehsender WGBH Nova Programm einen Dokumentarfilm über die Regenbogenbrücke drehte. Das internationale Team aus chinesischen und amerikanischen Wissenschaftlern und Ingenieuren, Tang war einer von ihnen, baute eine kleine Nachbildung der Regenbogenbrücke in Jinze (kurz „Jinze-Brücke“), der Wasserstadt bei Shanghai.

A. Die Konstruktion der Bücken von Hanyang und Jinze

Die beiden Nachbauten waren kleinformatige Brücken. Die Brücke in Wuhan hatte 12 m Spannweite und wurde mit 12 cm dicken Balken gebaut. Die Brücke in Jinze hatte 13.2 m Spannweite und 18 cm dicke Balken.

Beide Brücken wichen vom Original insofern ab, als dass sie aus runden Balken bestanden und die Längsbalken jeweils paarweise gesetzt waren. Heute macht die moderne Technik eine detailgetreue digitale Kopie des Rollbildes möglich, auf der man klar sieht, dass alle Längsbalken vierkantige Hölzer sind.

Wahrscheinlich beruhte Tangs falsches Verständnis der Regenbogenbrücke auf den unbefriedigenden Bildquellen, die ihm damals zur Verfügung standen. In einer Abhandlung aus 1986 nennt er die Längsbalken „runde Hölzer“, aber „die obere und untere Seite wurde mit der Sage oder der Dechsel eben gemacht“. In einer perspektivischen Zeichnung im gleichen Buch stellt er allerdings alleine vierkantige Balken dar. Seine Beschreibung weist es hin, dass Tang spätestens seit 1980er bessere Bildquellen bekommen hat, die ihm eine genauere Erkenntnis der Konstruktion ermöglichten. Trotzdem benutzte er noch kleine runde Hölzer, die paarweise angeordnet, für die Jinze-Brücke.

Beim Nachbau in Hanyang war Tang auf ein konstruktives Problem gestoßen – den Mangel der seitlichen Steifigkeit. Deshalb fügte er in der Jinze Nachbildung eine Ebene von X-förmigen Balken ein (Abb. 4). Diese Idee, schrieb er, kam nicht nur von der Erfahrung in Hanyang sondern auch von den MZ-Brücken, die ein Paar X-förmigen Balken zwischen dem Gewebebogen und der Deckung haben. Als Bauingenieur erschien es Tang logisch, dass diagonale Aussteifungen Stabilität erzeugen. Die im Zuge der Feldforschung für diese Doktorarbeit befragten Brückenbauleute hatten aber eine andere Erklärung dafür, warum solche Brücken letztlich stabil sind. Ihr Verständnis beruht nicht auf einer wissenschaftlichen, sondern auf einer über Jahrhunderte überlieferten naturangepassten Weltanschauung (siehe Kap. IV, Abschn. V.1.(6)). Allerdings entstand das Problem der mangelnden seitlichen Stabilität durch Tangs falsches Verstehen der Brückenform. Regenbogenbrücken mit vierkantigen Balken haben kein Stabilitätsproblem, denn der Gewebebogen aus vierkantigen Hölzern ist in sich selbst fest und stabil und funktioniert wie eine starre Hülle, wie der Autor dieser Doktorarbeit durch ein naturgetreues Modell bewiesen hat (Abb. 5).



Abb. 4 Jinze-Brücke. Jinze, China. X-förmige Stützen in der Konstruktion. (aus: Tang, 2010, S. 121)



Abb. 5 Modell der Regenbogenbrücke mit vierkantigen Balken. Gefertigt durch diesen Autor.

B. Die Bauausführungen von Hanyang und Jinze

Der Schlüssel, um das Geheimnis der wundersamen, scheinbar schwebenden Gewebebogenkonstruktion zu lüften, liegt im Verstehen der Konstruktion. Tangs Wandel im Verständnis der Regenbogenbrücke, der sich in den Jahren 1957 bis 2010 vollzog, zeigte sich durch seine Wahl der

Konstruktionsmethoden und das Herangehen an die Konstruktion.

Erst 1986, fast 30 Jahre nach dem Bau der Brücke, erwähnt Tang die Hanyang-Brücke in seinem Buch „Technikgeschichte historischer chinesischer Brücken“ 中国古桥技术史. Im Abschnitt „Errichtung der Holzbogenbrücken“ berichtet er über ihre Bauweise und vergleicht sie kurz, damals noch ohne das Wissen der Bautraditionen der noch lebenden Brückenbauleute, mit der Bauweise der MZ-Brücken.

1998, nach der Entdeckung der bestehend MZ-Holzbogenbrücken, aber noch ein paar Jahre bevor der Entdeckung des stillen Wissens der Brückenbauleute als wichtige Informationsquelle, als die Jinze-Brücke gemeinsam von chinesischen und amerikanischen Ingenieuren aufgebaut wurde, wurde dann eine Bauweise verwendet, die die alten Techniken berücksichtigte. Die Baumethode und der Bauprozess werden in Tangs letztem Buch (2010) ausführlich beschrieben.

Genauer betrachtet sind Tangs Schriften – die von 1986 über die 1958 gebaute Hanyang-Brücke, die von 1986 über die MZ-Brücken, und die von 2010 über die 1998 gebaute Jinze-Brücke – zwei Berichte tatsächlich ausgeführter Bauprojekte und eine hypothetische Abhandlung. Alle drei sind Rekonstruktionen der historischen Techniken im Sinne der experimentellen Archäologie. Ihre Wichtigkeit liegt nicht nur in der Erläuterung der Bautechnik, sondern auch in ihrer Funktion als zeitgeschichtliches Dokument, das veranschaulicht, wie sich Tangs Anschauung und sein Verständnis der Konstruktion im Laufe seines beruflichen Lebens geändert haben. Jede Entwicklungsstufe wurde durch neue Information über der MZ-Brücken beeinflusst:

1) Die Hanyang-Brücke (1958) wurde zwar vor der Entdeckung der MZ-Brücken (1980) aufgebaut, aber erst nach der Entdeckung der MZ-Brücken beschrieben (1986).

2) Die hypothetische Abhandlung der MZ-Brücken war gleichzeitig mit der Diskussion der Hanyang-Brücke (1986).

3) Die Jinze-Brücke (1998) wurde nach der Entdeckung der MZ-Brücken (1980) und vor der Entdeckung der lebenden Brückenbautraditionen (2001) gebaut, aber erst danach schriftlich festgehalten (2010).

a. Hanyang-Brücke (Projekt 1958; Bericht 1986)

Über den Konstruktionsprozess schrieb Tang (Tang, 1986):

„An dem Kreuz der Bogenbalken des Systems I errichten wir zwei vorläufige Pfostenrahmen, um das System I zu stützen und die Querbalken des Systems I zu setzen. Dadurch wird das System I vorläufig stabil. Auf diesen stabilen Untergrund setzten wir die Balken des Systems II und befestigen sie. Danach entfernen wir die vorläufigen Pfosten. Erst jetzt ist die Konstruktion wirklich selbständig. Darauf setzen wir das Deckungssystem.“ (Abb. 6)

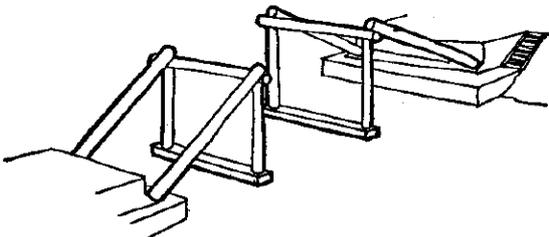


Abb. 6 Tangs Darstellung des Bauprozesses der Hanyang-Brücke (aus: Tang, 1986, S.206)

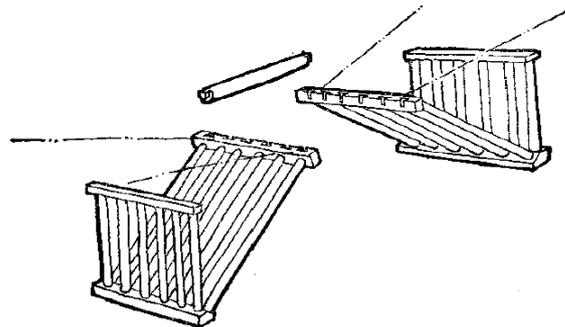


Abb. 7 Tangs hypothetische Rekonstruktion der MZ-Brücken (aus: Tang, 1986, S.207)

b. MZ-Brücken (Hypothetische Abhandlung 1986)

1986, bevor er die lebenden Bautraditionen berücksichtigte, vermutete Tang, dass der Konstruktionsprozess der MZ-Brücken folgendermaßen vor sich ging:

„Die Konstruktion beginnt mit den schrägen Balken des Systems I. Erst werden die schrägen Balken und die unteren und oberen Querbalken am Ufer zu senkrechten Rahmen zusammengesetzt. Dann werden

die Rahmen am oberen Ende festgeknüpft. Dann löst man die Schnüre und neigt die Rahmen nach der Mitte des Flusses bis zu ihrer richtigen Stelle. Die liegenden Balken haben Schwalbenschwanzverbindungen an beiden Enden. Sie werden von den Rahmen von oben abgehängt und in den Zapfenlöchern der Querbalken eingesetzt. Dank der Schwalbenschwanzverbindungen wird das System I festgezogen und auf Druck belastet. Die Verbindungen können ein geringes Biegemoment aufnehmen. Nach dem System I kommen die Balken des Systems II. Danach das Deckungssystem.“ (Abb. 7)

c. Jinze-Regenbogenbrücke (Projekt 1998; Bericht 2010)

Für den Bau der Jinze-Brücke lehnte Tang den Vorschlag von amerikanischen Ingenieuren ab, moderne Maschinen zu verwenden. Stattdessen verwendete er eine Baumethode, die dem Stand der Technik der Song Zeit entsprach.

Alle Elemente wurden zuvor genau gefertigt. Bevor die echte Konstruktion über Wasser installiert wurde, war die Brücke schon einmal an Land probeweise zusammengesetzt worden.

Die drei Schritte der endgültigen Konstruktion beschrieb Tang folgendermaßen:

1) Vorbereitung

Zwei Boote wurden im Fluss verankert. Darauf wurden die Bretter und das Gerüste gesetzt. Traditionelle Krane wurden an Land errichtet, die aus A-förmigen Holzrahmen mit darauf laufenden Schnüren bestanden, um die Bogenbalken zu halten (Abb. 8a).

2) Montage des Systems I (seitlichen Balken)

Mit Hilfe der traditionellen Krane und Schnüre wurden auf jeder Seite zwei schräge Balken gesetzt. Darauf wurden am oberen mittleren Teil auf dem Balken und am oberen Balkenende unter den Balken zwei Querbalken montiert (Abb. 8b). Dann kamen die mittleren waagerechten Balken (Abb. 8c).

3) Montage des Systems II

Dann wurden die Balken des Systems II von der Mitte seitwärts geschoben: die langen Balken in der Mitte zuerst und dann die seitlichen kurzen Balken (Abb. 8d). Nachdem alle Teile an der richtigen Stelle positioniert waren, wurden die Längs- und Querbalken mit Bambusstreifen zusammengebunden und mit langen Eisennägeln fixiert.

4) Montage der übrigen Bauteile

Dank den aufgestanden zwei Reihen Balken ist die Konstruktion stabil. Darauf werden anderen Balken der Bogen und anderen Bauteile der Brücken eingebaut und fertig gestellt.



Abb. 8 Konstruktionsprozess der Jinze-Brücke. Jinze, China. (aus: Tang, 2010, S.118)

Tang war ein erfahrener Brückeningenieur und Technikhistoriker. Seine Bauprojekte zeigen seine tiefgreifende Einsicht in die praktische Konstruktion der Gewebobogenbrücken. Obwohl die Unterschiede zwischen seinen (nachgebauten) Regenbogenbrücken und seinen (theoretisch rekonstruierten) MZ-Brücken für uns heute deutlich sichtbar sind (sowohl was ihre physische Struktur als auch ihre immaterielle Konstruktionsmethode betrifft), gelingt es Tang nicht, diese zwei unterschiedlichen Arten von Gewebobogenkonstruktionen verbal zu erfassen und theoretisch zu unterscheiden. Seine Erklärungsversuche stimmen daher nicht mit den (tatsächlichen oder theoretischen) Bauausführungen überein.

Einer der größten Unterschiede zwischen der Regenbogenbrücke und den MZ-Brücken liegt in der Betonung des zweiteiligen Aufbaus der MZ-Brücken, die aus zwei unterschiedlichen konstruktiven Tragsystemen, einem primären und einem sekundären, bestehen. Bei der Regenbogenbrücke ist die Zweiteilung nicht so deutlich hervorgehoben. Obwohl die Längsbalken in zwei Gruppen eingesetzt werden, unterscheiden die beiden Gruppen sich nicht wesentlich in Form und Funktion voneinander. Mit anderen Worten, die Regenbogenbrücke hat nicht zwei selbständige Bogensysteme sondern einfach nur zwei Balkengruppen, die sich durch ihre unterschiedliche Aufstellung definieren. Die „Essstäbchenbrücke“ ist ein Extrembeispiel der Regenbogenbrücke mit gleichartigen und gleichwertigen Längsbalken, und ihre Gewebobogen werden aus drei Reihen beziehungsweise drei Gruppen von Längsbalken geformt (Genauerer siehe Schluss Kapitel). Tang bemerkte diesen Aspekt nicht oder ignorierte ihn absichtlich.

Betrachten wir noch einmal die drei Bauprojekte, unabhängig von Tangs Interpretation:

- a. Hanyang-Brücke
Wurde mit Hilfe eines feststehenden Gerüsts gefertigt; ihre dreiseitigen Bogen („System I“ nach Tangs Beschreibung) wurden zuerst gebaut, danach wurden die Balken des „Systems II“ gesetzt.
- b. MZ-Brücken nach Tangs hypothetischer Abhandlung
Wurde auf hängenden Trägern gearbeitet; das dreiseitige Bogensystem (System I) wurde zuerst gebaut, danach wurde das System II befestigt.
- c. Jinze-Brücke
Wurde auf hängenden Träger gearbeitet; die äußeren Bogenrahmen (zwei seitliche Reihen von gewebten Balken) wurden zuerst gebaut, danach wurden die mittleren Balken, egal ob „System I“ oder „System II“, befestigt.

Sowohl die MZ-Brücken, als auch seine eigene Jinze-Brücke benutzten hängende Träger. Trotz dieser gleichen Konstruktionsbedingung unterschieden sich die beiden Brückenarten im Ablauf des Bauprozesses, und das ist der eigentliche Unterschied zwischen der „aus zwei Systemen gewebten“ Bogenkonstruktion (MZ-Brücken) und der „einheitlich gewebten (Essstäbchen-)“ Bogenkonstruktion (Regenbogenbrücke). In beiden Brückenarten ist das erste Ziel, so schnell als möglich einen steifen Rahmen zu errichten, als eine Art Gerüst für die weitere Konstruktion, und um sich von den Außenstützen (hier die hängenden Träger) zu befreien.

Dank der Holzverbindungen ist der dreiseitige Bogen der MZ-Brücken ein fast steifer Rahmen. In der Regenbogenbrücke, wo die Verbindungen geknüpft oder genagelt und deshalb nicht steif sind, ist das „System I“ im Unterscheid dazu keine selbstständige Konstruktion. Erst nachdem die Balken des „System II“ darin verwebt werden, wird die Konstruktion stabil und selbsttragend. Die Hanyang-Brücke benutzte ein festes Gerüst, weshalb der Nachteil der hängigen Konstruktion, „eine steife Konstruktion zuerst formen zu müssen“, vermieden wurde. Trotzdem schreibt Tang noch:

„Dadurch wird ist das System I vorläufig stabil. Auf diesen stabilen Untergrund, setzten wir die Balken des Systems II und befestigen sie“.

Aufgrund der geknüpften und genagelten Verbindungen der runden Hölzer formt das „System I“ aber keine „stabile Konstruktion“, weshalb diese Beschreibung eigentlich die Konstruktion der MZ-Brücken erklärt.

Obwohl Tangs experimentelle Versuche auf einem Missverständnis beruhen, sind sie für später Wissenschaftler sehr begeisternd und hilfreich.

3. Tangs Typologie der Holzbogenbrücken

1986, im Buch „Technikgeschichte der historischen Brücken in China“ (*Zhongguo Guqiao Jishushi* 中国古桥技术史), wo Tang das erste Mal über Gewebebogenbrücken im MZ-Gebiet spricht (im Text fälschlicherweise als „Holzbogenbrücken vom Typ Regenbogenbrücke“ 虹桥式木拱桥 bezeichnet), führt er noch ein anderes Beispiel einer gewebten Konstruktion an: die Wo Brücke (Liegende Brücke) in Weiyuan, Gansu. Um genau zu sein, Tang erwähnte diese Brücke schon 1957 zusammen mit der Regenbogenbrücke, aber damals beschrieb er sie als Kragbrücke. Nun versteht er sie als ein weiteres Beispiel der Gattung „Regenbogenbrücke“, denn in der Spannmittle werden die oberen Kragbalken von beiden Seiten durch einer gewebte Konstruktion verbunden.

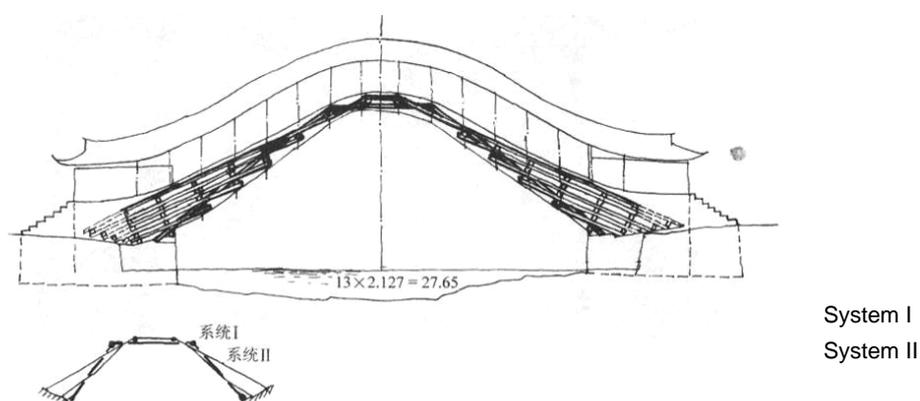


Abb. 9 Tangs Darstellung der Wo-Brücke in Weiyuan, Gansu, Nordwestchina. (aus: Tang, 2000, S.492)

Später fand Tang noch weitere Beispiele in anderen Teilen Chinas, die er ebenso wie die Wo Brücke „Variationen der Holzbogenbrücke“ nannte, die „...vielleicht nicht [direkt] von Regenbogenbrücke abstammen, aber mehr oder weniger eine Beziehung mit ihr haben“ (Tang, 2010, S.80).

Ähnlich wie die MZ-Brücken und die Regenbogenbrücke versteht er ihre Konstruktion als Kombination von zwei Tragsystemen. Allerdings ist die strukturelle Zweiteilung im Fall der Beispiele in Südwestchina sehr komplex und nicht deutlich abzugrenzen. Beispielsweise, bei der Qunce Brücke (Abb. 10) sind die beiden Systeme selbst „gewebte“ Konstruktionen, und bei der Youyang Brücke (Abb. 11), die, nach Untersuchung des Autors in 2016 ist eigentlich keine Gewebestruktur, sondern die einfache Kombination von mehreren Streben, ist Tangs Zweiteilung gar nicht mehr erkennbar.

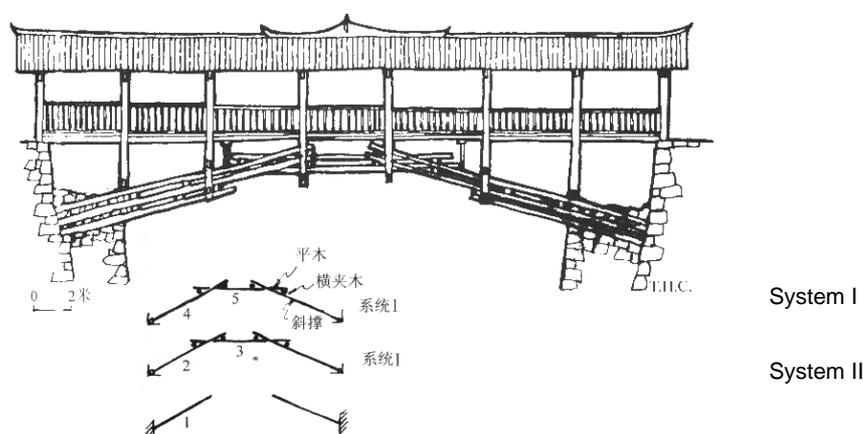


Abb. 10 Tangs Darstellung der Qunce-Brücke am Grenzgebiet zwischen Hubei und Chongqing, Südwestchina. (aus: Tang, 2000, S.461)

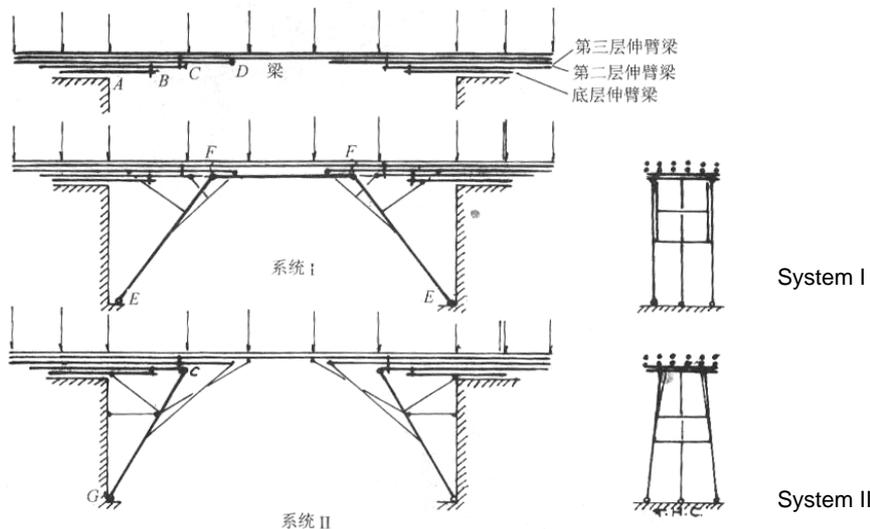


Abb. 11 Tangs Darstellung der Youyang-Brücke in Chongqing, Südwestchina. (aus: Tang, 2000. S.458)

III Der Ursprungs der MZ-Brücken

1. Theorie der überlebenden Technik der „verlorenen“ Regenbogenbrücken nach Tang Huancheng

Tang war überzeugt, dass die MZ-Brücken im Gegensatz zu den „Variationen“ eine Form der Regenbogenbrücke waren, die von der Song Dynastie bis ins 20. Jahrhundert überlebt hatte. Seiner Meinung nach stammten nur die MZ-Brücken, nicht jedoch andere gewebte Konstruktionen, direkt von der Regenbogenbrücke ab. Vom heutigen Stand der Forschung ist Tangs Schlussfolgerung allerdings weder konsistent noch vertretbar. Die Beziehung zwischen der Regenbogenbrücke und den MZ-Brücken ist nicht anders als die zwischen der Regenbogenbrücke und den „Variationen“. Tangs Beharren auf ihrer Unterschiedlichkeit lässt sich aus seiner Persönlichkeit erklären. Sein erklärtes Ziel war es, die verlorene Bautradition der Regenbogenbrücke wiederzufinden und ihren Ursprung und ihre Entwicklung zu dokumentieren.

Das wird in seinem neuesten Buch offenkundig, in dem er seine Gefühle nach der Entdeckung der MZ-Brücken beschreibt:

„Jeder kann wohl verstehen, wie froh ein Forscher der Brückengeschichte sein muss, Beispiele einer schon verloren geglaubten Brückenform zu entdecken, die ihm Grund zum Weiterforschen geben! Die Regenbogenbrücke ist nicht verloren! Aber warum erblühte sie in Zentralchina doch trug Früchte in Südostchina?“ (Tang, 2010)

Um die Frage nach der Ausbreitung und Verteilung der Regenbogenbrücke zu beantworten, studierte Tang den kulturellen und geschichtlichen Hintergrund der Song Brücke. Er fand drei Erklärungsmöglichkeiten:

1) Am Ende der Nördlichen Song Zeit (960-1127), kurz vor der Eroberung durch die Jin Dynastie (1115-1234), die Nordchina das nächste Jahrhundert regieren würde, floh die Song Regierung nach Süden, wurde dort sesshaft und gründete die Südliche Song Dynastie (1127-1279). Viele Gelehrte, Künstler und Handwerker folgten nach Süden, darunter wohl auch Brückenbauleute.

2) Der Bian Fluss war eine Hauptverkehrsader, und viele Boote kamen aus Südchina. Boote aus dem MZ-Gebiet werden in der Literatur ausdrücklich erwähnt (z.B. im *Diandu Fu* 汴都賦 von Zhou Bangyan 周邦彦). So ist es möglich, dass die Leute auf Decke, besonders die Zimmermänner der Boote, die Regenbogenbrücke mit eigenen Augen sahen und die ihnen durch ihre vielen Fahrten vertraute Bauform und Bautechnik mit nach Hause brachten.

3) Möglicherweise wurde die Bautechnik aber auch von Regierungsbediensteten nach Süden gebracht. Zum Beispiel der obengenannt Zhou Bangyan, ein berühmter Gelehrter der Song Dynastie, diente als Beamter sowohl in der Hauptstadt als auch im MZ-Gebiet.

Tang jedenfalls war davon überzeugt, dass das MZ-Gebiet, das reich an Wald und nah dem Meer war (Schiffstransport für eine florierende Wirtschaft wesentlich), ein fruchtbarer Nährboden für die Entwicklung der Brückenbautechnik war, nachdem sich diese im Laufe der Song Dynastie im Berggebiet Südostchinas erst einmal verbreitet hatte.

2. Theorie des lokalen Ursprungs der MZ-Brücken nach Zhao Chen

Die Idee des Ursprungs der MZ-Brücken örtlich in Südchina, anstatt der Abstammung von der aus Zentralchina kommenden Regenbogenbrücke wie Tang es vorschlägt, kam zuerst von lokalen Kulturarbeitern (Zhang, 2001). Aus Heimatverbundenheit versuchten sie die Geschichte der MZ-Brücken vor Ort hervorzuheben und ihre Entstehung zum frühest möglichen Zeitpunkt anzusiedeln. Als Nachweis dienten lokale Aufzeichnungen über die Existenz einer frühen Brücke und über einer Reihe von Umbauten in verschiedenen Dynastien sowie alte Ziegel mit Tang oder Song Inschriften, die auf der Brücke gefunden worden waren. Allerdings gibt es in der vorhandenen Literatur keinen sicheren Hinweis auf eine frühe Brücke mit Gewebebogenkonstruktion. Das früheste, datierte Beispiel einer Holzbogenbrücke stammt aus dem Jahr 1625 (Rulong-Brücke, Kapitel VI).

Die einzige wissenschaftliche Arbeit, die einen lokalen Ursprung vorschlägt, ist die Typologiestudie von Zhao Chen (2001). Durch seine umfassende Feldforschung im MZ-Gebiet kann Zhao beweisen, dass die MZ-Brücken eine enge Beziehung zur lokalen Baukultur haben. Er entwickelt eine Typologielehre, die darauf beruht, dass es im MZ-Gebiet eine kontinuierliche Entwicklung von der Balkenbrücke zur Bogenbrücke gibt (Abb. 12):

- (1) Balkenbrücke – (2) Balkenbrücke mit Holzpfeiler – (3) Balkenbrücke mit schrägen Stützen –
- (4) Balkenbrücke mit einem dreiseitigen Bogen / Sprengwerkbrücke –
- (5) Balkenbrücke mit mehreren Arten von Stützen und/oder Trägern –
- (6) Holzbogenbrücke mit Gewebebogen (aus dreiseitigen und fünfseitigen Bögen).

Die gegensätzlichen Theorien Tangs und Zhaos über den Ursprung der MZ-Brücken lösen eine akademische Debatte zwischen den beiden Wissenschaftlern aus². Tang weist nun den Ursprung der Gewebebogenbrücke in der zentralchinesischen Ebene mit klassischen Literaturzitaten nach. Zhao jedoch argumentiert, dass Holzbogenbrücken nicht durch eine bestimmte historische Person, beispielsweise durch den „niederen Diener des Gefängnisses“ oder den Bezirksvorsteher Chen Xiliang, erfunden, sondern nach örtlichen Erfordernissen durch lokale Zimmerleute entwickelt wurden und, auf mündlichen Überlieferungen und Handwerkstraditionen beruhend, nicht schriftlich aufgezeichnet wurden.

Das Argument der Ursprung der Holzbogenbrücken wird einer Aspekt einer landesweiten heftigen Diskussion gesehen, denn die verschiedenen Ursprungstheorien der MZ-Brücken weisen auf ein viel größeres Problem in der chinesischen Kulturgeschichtsforschung hin. Seit den 1980er Jahren musste die veraltete Anschauung der zentralchinesischen Ebene als einziges Zentrum der chinesischen Kultur (Fokus Gelber Fluss) der neuen Idee von mehreren Kulturzentren (Diversifikation) weichen. Das Gebiet um den Jangtsekiang wurde gleichbedeutend mit dem Gebiet um den Gelben Fluss. Seit 1990 erhielt Südchina auch im Fachgebiet Architektur neue Aufmerksamkeit, wobei Zhao Chen eine wichtige Rolle spielte. Gleichzeitig verlagerte sich das Hauptinteresse der Architekturforschung von monumentalen Tempel- und Regierungsbauten in Nordchina auf vernakuläre regionale Architekturen vor allem im kulturell und technologisch fortschrittlichen Jiangnan Gebiet (südlich des Unterlaufs des Jangtsekiang).

Zhaos Theorie des Ursprungs vor Ort entsprach damit auch dem akademischen Trend der Zeit. Seine Theorie wurde in akademischen Kreisen sofort weitgehend akzeptiert, besonders im MZ-Gebiet.

2 Briefe zwischen Zhan und Tang. Informationen werden von Zhao Chen diesem Autor gegeben.

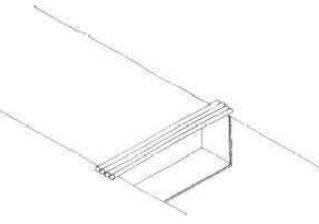
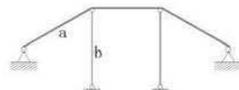
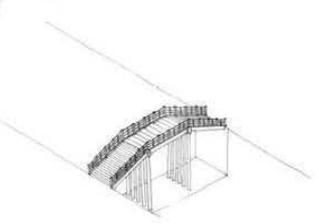
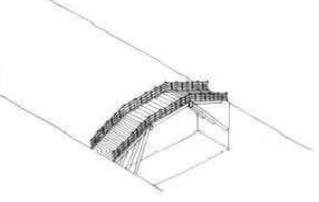
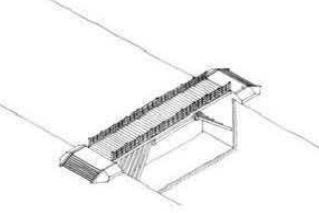
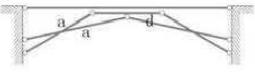
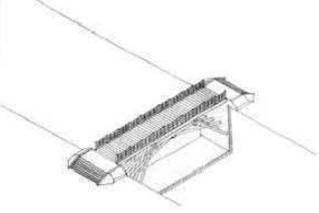
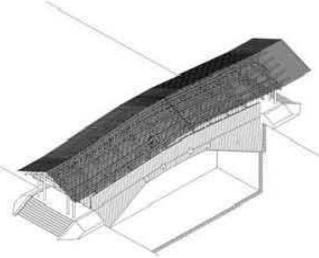
Type	Symbol of Structure	Typology	Cases
Type 1, Flat Beam Bridge			 The most primitive bridge
Type 2, Fold Floor with Posts			 From Song Dynasty's painting
Type 3, Double Posts from Banks			 From Song Dynasty's painting
Type 4, Eight Shape Posts			 Shengxian Bridge at Shouning County, Fujian Province
Type 5, Combination Posts			 Meishuban Bridge at Xinchang, Zhejiang Province
Type 6, Wooden Arched			 Lanxi Bridge at Qingyuan, Zhejiang Province

Abb. 12 Zhaos Typologielehre der Entwicklung der MZ-Brücken. (aus: Zhao, 2009)

Allerdings weist Zhaos Theorie einige Schwachpunkte auf.

(1) Die Beispiele für drei Glieder seiner sechsgliedrigen Evolutionskette kommen nicht aus dem MZ-Gebiet. Das Beispiel von der „Balkenbrücke mit mehreren Arten von Stützen und/oder Trägern“ kommt aus der Mitte der Provinz Zhejiang, 200 km nördlich des Holzbogenbrückengebiets. Das Beispiel der „Balkenbrücke mit Holzpfelern“ stammt von einer historischen Malerei (*Shuidian Zhaoliang Tu* 水殿招凉图 bei Li Song, Südliche Song Dynastie), ebenso das Beispiel der „Balkenbrücke mit schrägen Stützen“ (*Qiulin Feipu Tu* 秋林飞瀑图 von Fan Kuan, Nördliche Song Dynastie), dessen Konstruktion Zhao allerdings falsch

interpretiert. (Die wichtigen Seitenbalken, die in der Malerei dargestellt sind, um die Tragepfosten festzumachen, fehlen bei Zhao, weshalb die skizzierte Brücke nicht statisch stabil ist.)

(2) In seiner Evolutionskette fehlt das Zwischenglied von der vorletzten Entwicklungsstufe zur fertigen Holzbogenbrücke (3x5 Brücke). Die vorletzte Stufe, die von mehreren Arten Stützen/Trägern gestützte Brücke, weist überlappende Stützensysteme auf. Überlappung ist keine Vorstufe der Gewebebogens. Solche Brücken findet man in vielen Holz-orientierten Baukulturen. Von dieser Entwicklungsstufe zum Gewebebogen klafft eine technische Lücke, und es fehlt die nötige Information, um dieses Vakuum zu schließen.

In 2009 fanden die Kulturarbeiter von Pingnan, Fujian, am nördlichen Rand des Holzbogenbrückengebiets eine Gruppe von „Holzbogenbrücken mit zwei dreiseitigen Bogen“ (3x3 Brücke) (Su und Liu, 2010). Aufgrund dieser Entdeckung und der Felduntersuchungen im Anfangsjahr seiner Doktoratsstudien, ergänzte der Autor dieser Doktorarbeit Zhaos Evolutionskette (Liu, 2010; Liu, 2011). Dadurch wurde die 3x3 Brücke zur Zwischenstufe in der Technikevolution und zur Vorstufe der normalen Holzbogenbrücke (3x5 Brücke). Seither fanden lokale Kulturarbeiter noch mehr Beispiele von 3x3 Brücken, 3x4 Brücken und weiteren Arten von Gewebebogenbrücken.

Heute, aufgrund seiner weiterführender Studien in den vergangenen fünf Jahren, hat der Autor ein viel umfassenderes Verständnis der Evolutionsgeschichte und kann Zhaos Theorie mit den Erkenntnissen vom Teil II dieser Doktorarbeit und der umfassenden Analyse im Schlusskapitel widerlegen.

3. Evaluierung der beiden Theorien

Aus heutiger Sicht sind die Theorien von Tang und Zhao beide problematisch.

Das größte Problem von Tangs Theorie liegt in seiner vorgefestigten Meinung, dass die MZ-Brücken Zeugen der überlebenden Technik der „verlorenen“ Regenbogenbrücken sind. Damit übertreibt er die Ähnlichkeit und übersieht die Unterschiede, was umso mehr erstaunt, als dass Tang, ein erfahrener Brückenbauingenieur, zweimal die Regenbogenbrücke nachbaute.

Das Hauptproblem von Zhaos Theorie ist seine vorgefasste Annahme, dass die MZ-Brücken ein Produkt der lokalen Baukultur und der örtlichen Bedingungen sein müssen. Zhao startete die Erforschung der MZ-Brücken mit der klaren Absicht, seine aufgestellten Theorien zur chinesischen Baukultur zu beweisen und wählte daher ganz bewusst die MZ-Brücken als eines der zwei Forschungsfelder seiner Tektonikstudie (dazu mehr weiter unter). Sein Forschungsziel war es, eine Beziehung zwischen hoch entwickelter Bautechnik und lokalen Bautraditionen zu entdecken und zu betonen (Zhao, 2003; Zhao, 2007).

Bezüglich der möglichen Ausbreitung der Brückenbautechnik gibt es zwei wesentliche Aspekte zu bedenken:

1) Die Ausbreitung des Gewebebogenprinzips. Dazu braucht es nicht unbedingt Fachkräfte. Das Essstäbchen Spiel oder einfache Skizzen sind ideale Medien, um diese Idee zu transportieren und einfach und unkompliziert zu veranschaulichen. Die Brückenbauleute der ursprünglichen Regionen und jene in den neuen Ausbreitungsgebieten können die Baupraxis den lokalen Bedingungen und Traditionen anpassen und die Bautechniken dementsprechend weiterentwickeln. Deshalb sind die tatsächlich gebauten Brückenformen mitunter unterschiedlich.

2) Die Ausbreitung des technischen Fachwissens und seiner praktischen Anwendung unter Brückenbauleuten. In diesem Fall sehen sich die Brücken in den ursprünglichen und den neuen Gebieten sehr ähnlich. Trotzdem ist es noch möglich, dass die Bautechniken aufgrund lokaler Bedingungen und Traditionen zu einem gewissen Grad abgeändert werden.

Tangs Diskussion orientiert sich meist an der zweiten Möglichkeit, aber er lehnte den ersten Aspekt nicht vollständig ab (Wissenstransfer durch Beamte, die in mehreren Gebieten tätig waren und die Bautechnik in das MZ-Gebiet brachten).

Im Gegensatz dazu weist Zhao die zweite Möglichkeit eindeutig zurück. Er konzentriert sich auf die

Tektonik der MZ-Brücken unter Berücksichtigung ihrer eigenen Umwelt (Ursprung und Entwicklung einzig und allein vor Ort). Allerdings ist sein Zugang zur Ausbreitung des Gewebobogenprinzips ambivalent. Auch wenn er sich aufgeschlossen für mehrere Möglichkeiten der Ausbreitung zeigt (Zhao, 2003), lehnt er die erste Möglichkeit eigentlich ab, wie nachfolgend bewiesen wird:

Der Logik seiner Typologielehre zufolge entwickelten die Brückenbauleute das Gewebobogenprinzip aus der Erfahrung der überlappenden Trägersysteme. Diese Entwicklung ging geradlinig in einer Richtung vor sich und gipfelte in der 3x5 Brücke. Um den Entwicklungsimpuls der Überlappung glaubhaft zu machen, müsste Zhao beweisen, dass das Gewebobogenprinzip vor der „Erfindung“ der MZ-Brücke niemals in irgendeiner anderen Art und Weise, z.B. in Form des Esstübchen Spiels, im MZ-Gebiet vorhanden war, und dass das Spiel im Prozess der Brückenformfindung niemals als Entwurfshilfe benutzt wurde. Das zu beweisen ist schwierig und, nach Ansicht des Autors dieser Doktorarbeit, fast unmöglich. Angesichts der chinesischen Esskulturtradition und des Umfeldes im MZ-Gebiet, wo Laien ebenso wie Zimmerleute glauben, dass ihre Brücken auf dem Esstübchen Spiel beruhen, wird der Versuch wohl vergeblich sein, diese Beziehung zu verleugnen.

Anders herum gedacht, wenn das Esstübchen Spiel als Medium der Ausbreitung der Gewebobogenkonstruktion gedient hat, und wenn aufgrund der Eigenschaften des Spiels sich die Esstübchenbrücke in der Länge (fast) unbegrenzt ausstrecken kann, dann muss die Brückenform nicht eine geradlinige Entwicklung (von einfach bis kompliziert) durchgemacht haben. Denn die Brückenbauleute konnten spielerisch alle möglichen Formen gleichermaßen und gleichzeitig durchdenken.

Sobald die Idee des Gewebobogens erst einmal Fuß gefasst hatte (selber erfunden oder in Anlehnung anderen Regionen), explodierte die Formensprache, und in kurzer Zeit nahm die Gewebobogenbrücke fast alle denkbaren Formen an. Diese entstammen dem gleichen Ursprung und folgen nicht einer einzigen stufenförmigen Evolutionskette. Nach dem Festlegen der bevorzugten und praktischen Form verbessern die Handwerker die Aufbaumethode und optimieren die Verbindungen. Das Resultat sind Gewebebrücken mit unterschiedlichen Konstruktionsformen. Mit einem Wort, die Technikgeschichte der MZ-Brücken kümmerte sich nicht auf die Entwicklung der Form, sondern die technischen Details. (dazu mehr im Schusskapitel).

IV Holzbogenbrücken: Leidenschaft dreier Generationen chinesischer Wissenschaftler

In seinem letzten Buch „Chinesische Holzbogenbrücken“ (Tang, 2010) dokumentiert Tang Huancheng sein Lebenswerk: seine ein halbes Jahrhundert lange Suche nach chinesischen Holzbogenbrücken. Der ausschlaggebende Impuls, der seine ganze berufliche Karriere als Brückeningenieur und Brückenhistoriker prägen sollte, kam folgendermaßen:

„1948 erhielt ich meinen Abschluss von der Shanghai National Jiaotong Universität. Als junger Ingenieur arbeitete ich am Entwurf der Wuhan Jangtsekiang Brücke mit, der ersten Brücke über den längsten Fluss Chinas. Das Entwurfsprinzip war von der Regierung vorgegeben und voll von 'sozialistischem Inhalt und chinesischer Form'. Unter sozialistischem Inhalt verstand ich 'alles für das Volk'. Aber was „chinesische Form“ ist, dafür hatte ich keine Erklärung. Daher musste ich so viel als möglich Material darüber zu finden. Letztendlich konzentrierte ich mich auf die Geschichte und die Ästhetik von Brücken. Allerdings war ich nur ein einfacher Brückenbauingenieur.“ (Tang, 2010)

Daraus wird auch deutlich, dass seine spätere Obsession, die Wurzeln der Regenbogenbrücke zu finden, im Nationalstolz verwurzelt ist. Die nationale Einstellung Chinas zur eigenen Technikgeschichte um 1950, dem ersten Jahrzehnt nach der Gründung der Volksrepublik, wurde bei der Rede von Premierminister Zhou Enlai offensichtlich:

„Unsere Unternehmungen und Bemühungen im Bereich Architektur, trotz der vielen guten historischen Ergebnisse, sind heutzutage nicht ausreichend. Wir müssen uns schrittweise weiterentwickeln.“

Als Brückeningenieur hatte Tang die triste Situation der chinesischen Bautechnik klar erkannt. Es ist daher nicht schwer zu verstehen, insbesondere aufgrund der fehlenden modernen Brückenbautechnik im

damaligen China, dass die komplizierte und geheimnisvolle Konstruktion der Regenbogenbrücke, die vermeintlich als „einzige Brücke dieser Art in der ganzen Welt“ und als „der Gipfel der chinesischen Brückenbaugeschichte“ verstanden wurde, einen chinesischen Brückenhistoriker so verzaubern konnte, dass er sein Leben ihrer Erforschung verschrieb. Tangs Suche nach den chinesischen Holzbogenbrücken ist somit eigentlich die Suche nach dem Höchstwert der chinesischen Bautechnik und nach dem Inbegriff der chinesischen Baukultur.

Anders als andere Wissenschaftler, die die chinesische Brückenbaugeschichte erforschen, beschäftigt sich Zhao Chen intensiv mit dem theoretischen Hintergrund der MZ-Brücken. Vom Standpunkt eines Architekturtheoretikers betrachtet Zhao die volkstümlichen Konstruktionen und beginnt, die klassische Tradition der chinesischen Architekturforschung, die von der ersten Generation chinesischer Wissenschaftler eingeführt wurde, umzudenken:

„Im Vergleich mit der westlichen Architekturgeschichte ist die chinesische Baugeschichte offensichtlich nicht so bunt und reichhaltig. ... durch meine Feldforschungen und Vermessungen von historischen chinesischen Bauten und durch meine eigenen Umbau- und Wiederaufbauprojekte bin ich mit dem Prinzip der Holzbaukonstruktion und den spezifischen Baumethoden der verschiedenen Dynastien vertraut. Daher habe ich ein tiefgründiges Verständnis der Konstruktionsprinzipien. Alle Formen und Stile der chinesischen Architektur spiegeln unmittelbar die lokalen Konstruktionssysteme, Bräuche und Methoden wider. Deshalb hatte ich stets Zweifel daran, dass man die chinesische Architekturgeschichte nach westlichen Vorbild erklären und einordnen kann; das ist aber genau die Haltung der ersten Generation von chinesischen Wissenschaftlern also jene, die seit Liang Sicheng vertreten wird. Meine Auseinandersetzung mit vernakulärer Architektur hat mir die Möglichkeit gegeben zu sehen, dass der Wert der traditionellen chinesischen Baukultur und ihrer Baukunst in der Konstruktion liegen muss.“ (Zhao, 2007)

Die Tektoniktheorie, die im deutschen Sprachraum entwickelt wurde, lernte Zhao während seiner Doktoratsstudien an der ETH Zürich kennen. Sie gestattete Zhao eine neue Betrachtungsweise der chinesischen Architekturtradition und ermöglichte ihm, den Eurozentrismus in der chinesischen Architekturforschung zu bekämpfen:

„Der 'Eurozentrismus', der den Unmut von Wissenschaftlern und Theoretikern außerhalb von Europa erregt hat, basiert wohl unmittelbar auf der Stiltheorie der Kunstgeschichte, denn sofern es Stil betrifft, gibt es immer eine Wertung und damit Unterlegenheit oder Überlegenheit... während die Konstruktionstheorie das vermeidet und die Architektursprache unterschiedlicher Kulturen erforschen kann ohne zu werten. ...Genauer gesagt, gemäß der westlichen Architekturtheorie nach dem 2. Weltkrieg, gehört das traditionelle chinesische 'Entwurfs- und Konstruktionssystem zur 'anonymen Architektur' (Anonymous Architecture) auch 'Architektur ohne Architekten' (Architecture without Architects) genannt. Die 'chinesische Klassik' (Chinese Classic), als Gegenstück zur westlichen Klassik im Sinne der klassischen westlichen Theorie und Methodik, wie sie von der ersten Generation chinesischer Architekturwissenschaftler erklärt wurde, existiert eigentlich in der traditionellen chinesischen Kultur nicht [und ist ihr nur auf erzwungen worden]. (Zhao, 2007)

Deshalb orientiert sich Zhaos Tektoniktheorie an der Architekturwissenschaft des deutschen Sprachraums, und ausgehend von der chinesischen Holzbautradition, teilt Zhao das tektonische Thema in drei Aspekte: Material des Holzes, Konstruktion der Verbindungen und die Konstruktion im Ganzen. Als Architekturtheoretiker interessiert ihn die Konstruktionsform am meisten, die von der Spannweite und Höhe der Holzbaukonstruktion bestimmt wird, was er anhand konkreter Beispiele verdeutlicht: das Problem der Spannweite erklärt er anhand der MZ-Holzbogenbrücken, und das Problem der Höhe diskutiert er mittels der Trommeltürme der Dong Leute in Südwestchina. Stets stellt er dieselben Fragen: einerseits nach dem Konstruktionsprinzip („Wie werden die Gebäude gebaut?“), und andererseits nach der Entwicklungstypologie („Wie sind sie entstanden?“).

Zhaos Interpretation der chinesischen Holzbaukultur aus tektonischer Sicht und seine Kritik an der klassischen chinesischen Forschungstradition sind wichtige Meilensteine der chinesischen Architekturgeschichte und -geschichtsschreibung. Was die MZ-Brücken betrifft, so hat Zhao zum ersten Mal

Brücken und ihre Baugeschichte architekturtheoretisch betrachtet und die Diskussion von vernakulären Architektur damit auf eine akademische Ebene gebracht.

Als zweiter Mentor dieser Doktorarbeit hat Zhao den Autor sicherlich beeinflusst aber vor allem inspiriert. Jedoch teilt der Autor nicht immer die Meinung Zhaos, was der Konflikt zwischen Zhaos Typologielehre und dem Essstäbchen Spiel zeigt.

Ursprünglich war das Ziel dieser Doktorarbeit nur "die wissenschaftliche Untersuchung, Aufnahme und Analyse der MZ-Holzbogenbrücken". Aber nachdem der Autor die Gelegenheit hatte, die Brückenbauleute kennenzulernen, zu interviewen und Einblick in ihre Ideenwelt zu bekommen, hat sich der Schwerpunkt der Arbeit verlagert und es ist nun ein weiteres Ziel dieser Doktorarbeit, die grundlegenden Unterschiede zwischen dem Verständnis der chinesischen Zimmerleute und ihren traditionellen Entwurfs- und Baumethoden und dem Feld der Wissenschaft und Architektur aufzuzeigen. Das traditionelle Bauhandwerk in China hat seine eigene hochinteressante Entwicklungsgeschichte, die weder mit westlichen Standards zu messen noch mit westlichen Gegebenheiten zu vergleichen ist. Der Autor versucht den Standpunkt der Brückenbauleute zu vertreten und, vom Blickpunkt der traditionellen Handwerker, die MZ-Brücken neu zu verstehen. Nur so und durch das Umdenken der interkulturellen Forschung, das in früheren Kapiteln dieser Doktorarbeit behandelt wurde, kann diese Arbeit einen wertvollen Beitrag zur Diskussion der Gewebobogenkonstruktion (besonders ihrer Ursprung- und Verbreitungstheorien) leisten.

Den Fußstapfen Tangs und Zhaos folgend hat sich auch der Autor dieser Doktorarbeit der Erforschung der chinesischen Holzbogenbrücken verschrieben und stellt damit die dritte Generation chinesischer Wissenschaftler in diesem Spezialgebiet dar. Von der gleichen Motivation getrieben hat jede Generation doch ihre eigenen Fragestellungen. Die erste Generation, Tang, war getrieben von Nationalstolz und der „Wiederentdeckung der verlorenen hohen Bautechnik“. Die zweite Generation, Zhao, sah in den Holzbaukunst ein wirksames Mittel, die klassische chinesische Architekturforschung und ihre Methodik zu hinterfragen. Die dritte Generation, der Autor, sucht nun in den Holzbogenbrücken nach einer Antwort, warum die chinesische Baukultur ganz anders als die westliche Wissenschaft ist.

Teil Zwei. Gewebebogenbrücken in Südostchina

Einführung

Die Holzbogenbrücken in Südostchina

Die Holzbogenbrücken in Südostchina sind heute nur im Grenzgebiet der Provinzen Zhejiang (Zhe) und Fujian (Min) (kurz als „MZ-Gebiet“ bezeichnet) zu finden (Abb. 1). Dieses Gebiet ist sehr abgelegen und schwer erreichbar in den Bergen gelegen. Durch diesen glücklichen Umstand sind viele Holzbogenbrücken (kurz als „MZ-Brücken“ bezeichnet) und auch deren Bautradition erhalten geblieben.

Heute existieren noch mehr als 100 historische Holzbogenbrücken. 112 bewusst Brücken sind auf der geografischen Karte markiert (Abb. 2). 69 davon werden vom der Autor vor Ort untersuchte (Abb. 2). (Leider sind darunter mehre historischen Brücken nach die Fertigstellung dieser Doktorarbeit im September 2016 durch Flut zerstört).

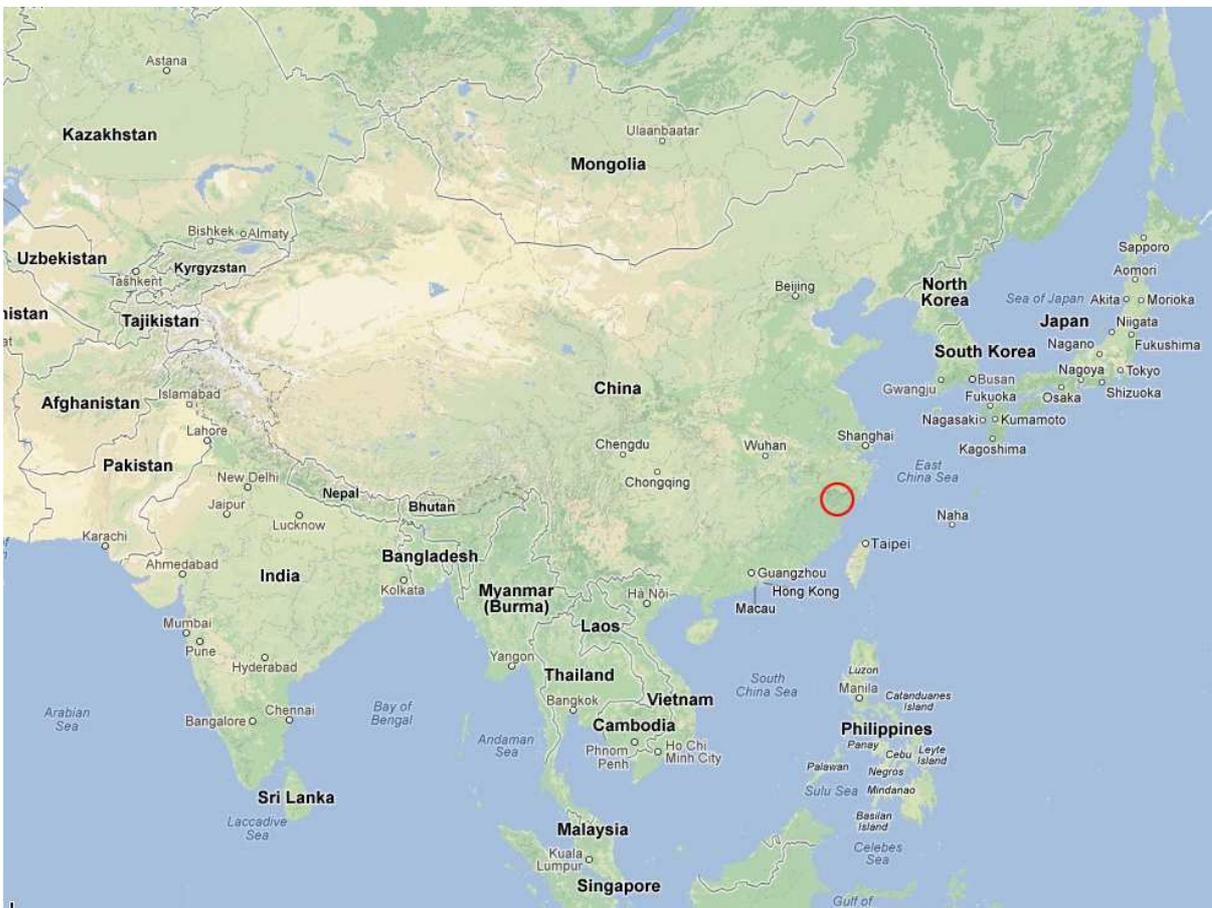


Abb. 1 Geografische Karte von China. Der rote Kreis zeigt das Gebiet, in dem die MZ-Holzbogenbrücken zu finden sind. (Auf dem Google-Map gearbeitet.)

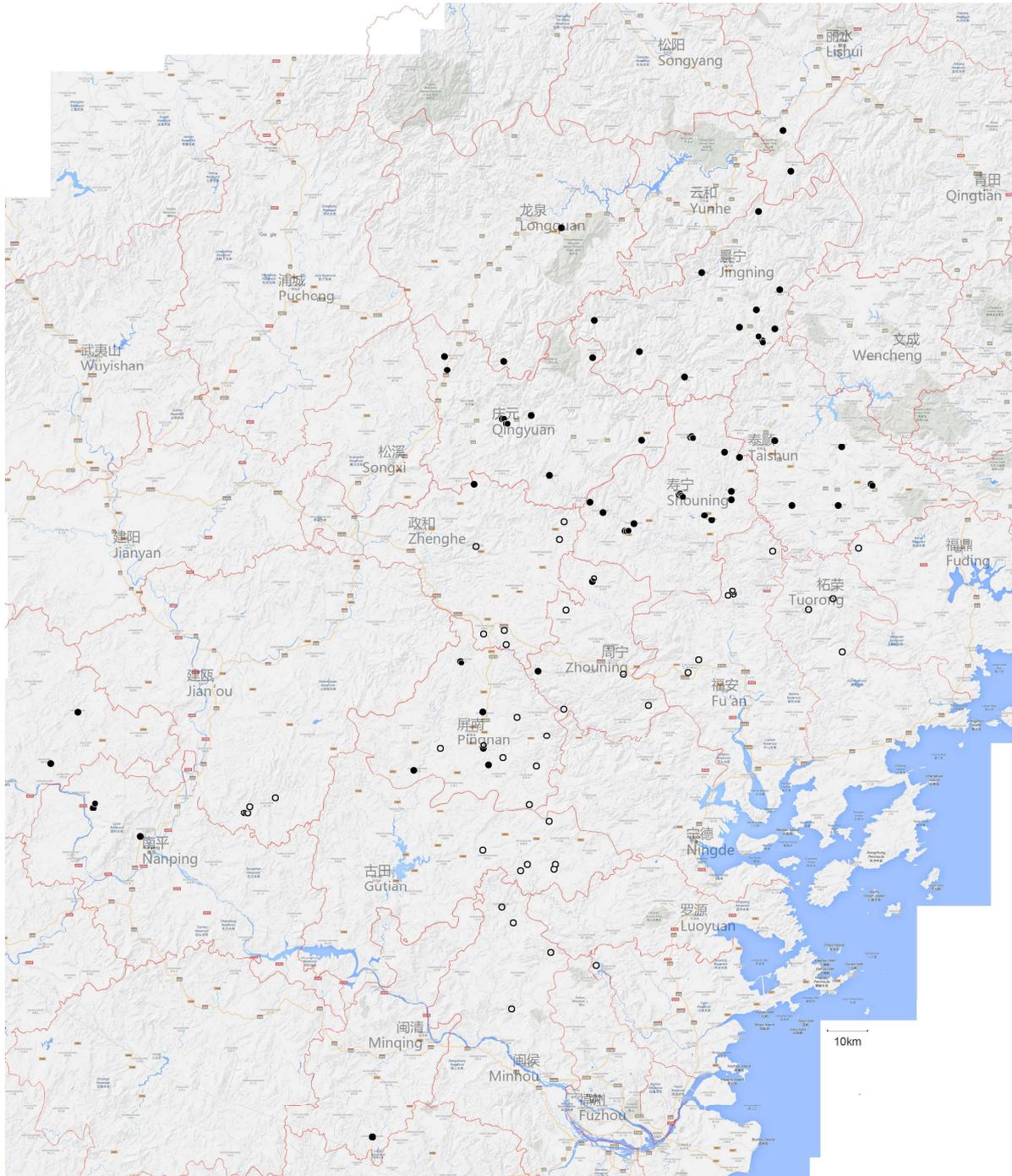
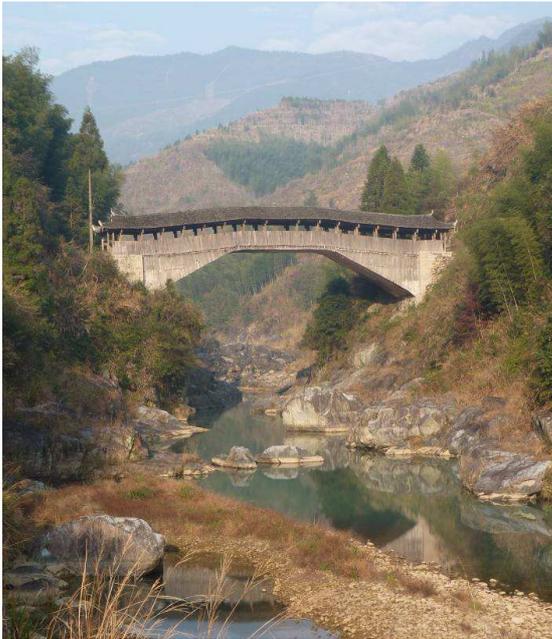


Abb. 2 Min-Zhe Holzbogenbrücken Gebiet, Südostchina. Topografische Karte der Holzbogenbrücken. Die schwarzen Punkte markieren die von dem Autor untersuchten Brücken. Die Kreise markieren noch nicht untersuchte Brücken. (Auf dem Google-Map gearbeitet.)

Im Teil II (Kapitel IV, V, VI) wird die traditionelle Bautechnik der Brücken beschrieben, wie sie noch heute durch die Brückenbauleute ausgeübt wird. Zunächst jedoch wollen wir uns anhand des Modells der Jielong Brücke (Abb. 3), einer typischen MZ-Brücke, mit der Struktur dieser Art von Brücken vertraut machen.

Jielong-Brücke befindet sich im Landkreis Jingning, Provinz Zhejiang. Nach den Inschriften auf den Korridorbalken werde die Informationen des Bauprojekts und der Brückenbaumänner zu finden: die Unterstruktur wurde im Jahr 1917 durch den Xiajian-Meister (Zhang Familie, siehe Kapitel IV und V) gebaut, und der Korridor wurde durch lokale Zimmermänner errichtet.

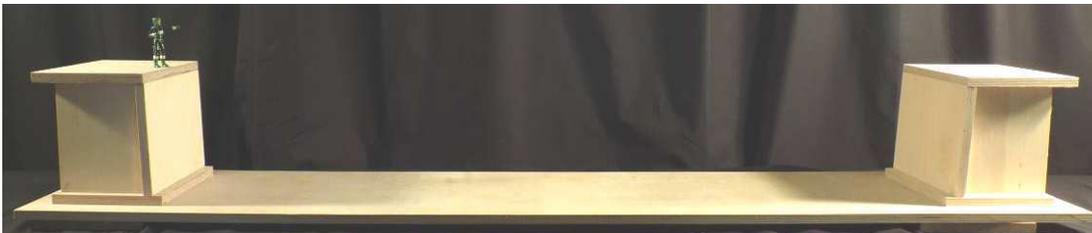


a. Jielong-Brücke und die dort typische Landschaft.
b. Der Gewebebogen von unter gesehen.

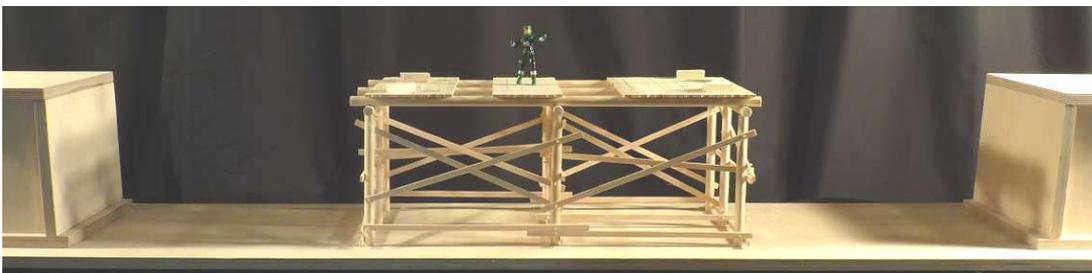
Abb. 3 Jielong-Brücke, Landkreis Jingning, Zhejiang.

Die Spannweite der Jielong Brücke beträgt 30 m. Nach der Bauaufnahme durch den Autor baute er zusammen mit Professor Philip Caston an der Hochschule Neubrandenburg ein Modell im Maßstab 1:20.

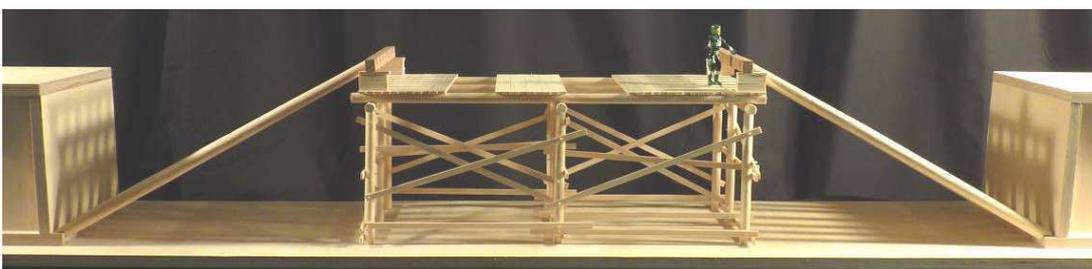
Wie im Kapitel III erwähnt, setzt sich der Gewebebogen der MZ-Brücke aus zwei Systemen zusammen, jeder System ist aus Längsbalken und Querbalken und Fußbalken zusammengeformt. Die runden Längsbalken werden durch quadratischen Querbalken zusammen verbunden. Im Modell wird diese grundlegende Struktur anschaulich dargestellt (Abb. 4).



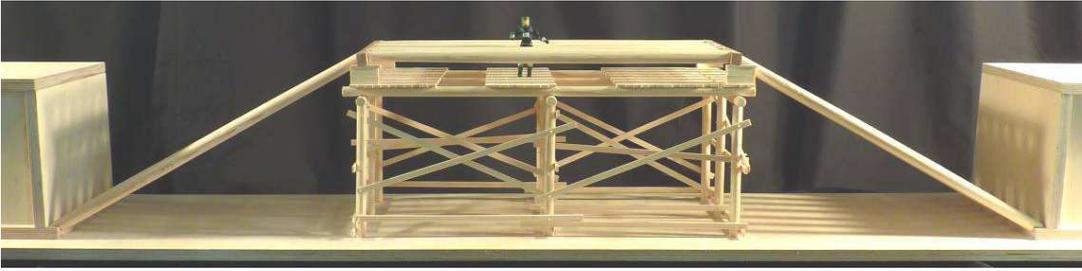
a. Pfeiler und Auflager des Gewebebogens.



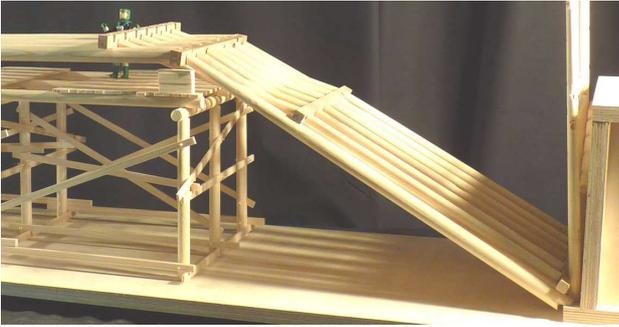
b. Gerüst in der Mitte des Flusses



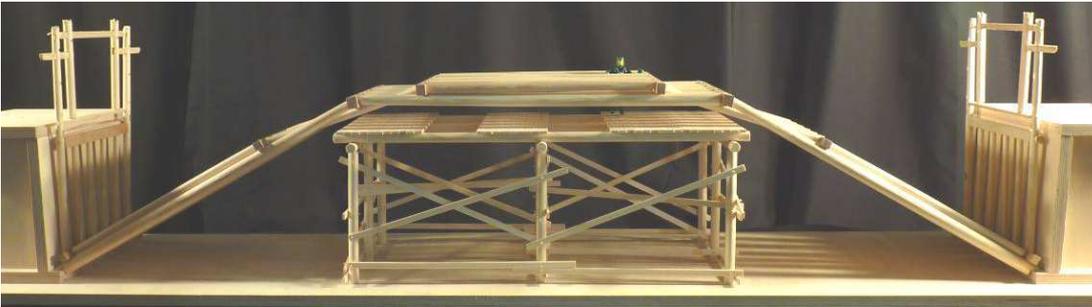
c. Schräge Balken und ihre Querbalken im ersten System



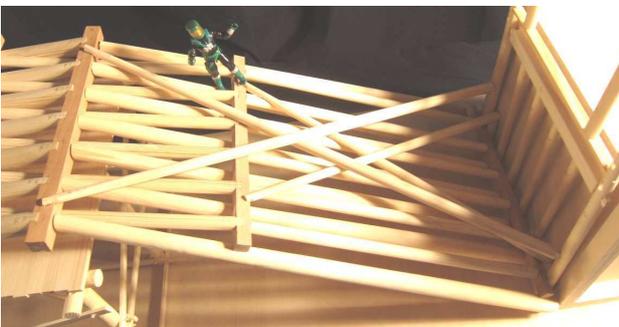
d. Fertigstellung des ersten Systems mit liegenden Balken



e. Schräge Balken des zweiten Systems und die seitlichen Säulenrahmen. Die seitlichen Säulen des Säulenrahmens, die vom Bogenfuß bis zur Dachkonstruktion des Brückenkorridors erreichen, werden als „Feldherrensäulen“ bezeichnet.



f. Fertigstellung des zweiten Systems mit liegenden Balken, von oben angesehen



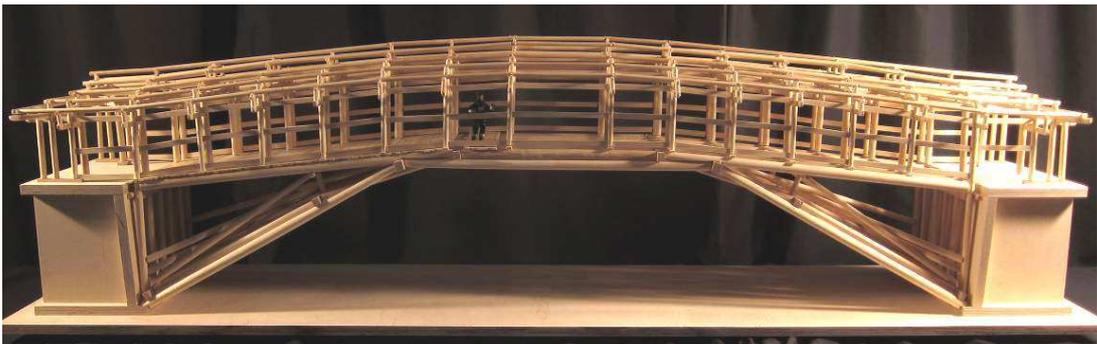
g. X-förmige Stützen



h. Mittlere Stützen



i. Fertigstellung der Unterstruktur mit den seitlich liegenden Balken



j. Fertigstellung der Brücke mit dem Korridor

Abb. 4 Bauprozess demonstriert durch dem Modell der Jielong-Brücke im Maßstab 1:20. Gebaut Juni 2012.

Abkürzung der Namen der Bauelemente:

In den folgenden Beschreibungen der Brücke werden die Bauelemente des ersten Systems mit einer „(1)“ markiert, die des zweiten Systems einer „(2)“.

Die schrägen Balken des Gewebebogens werden kurz als „S-Balken“ bezeichnet, die liegenden Balken als „L-Balken“ und die Querbalken als „Q-Balken“. Die schrägen und liegenden Balken sind die Längsbalken des Gewebebogens.

Im zweiten System sind die oberen schrägen Balken und die Querbalken mit „(O)“ markiert. „O-S-Balken(2)“ beispielsweise meint den oberen schrägen Balken des 2. Systems. Untere Bauelemente dieses Systems (untere schräge Balken, untere Querbalken) werden mit dem Präfix „(U)“ markiert, z.B. „U-S-Balken(2)“ und „U-Querbalken(2)“.

Die seitlichen liegenden Balken, die den Pfeiler und den Gewebebogen verbinden und als die Deckenbalken dienen, werden als „SL-Balken“ verkürzt.

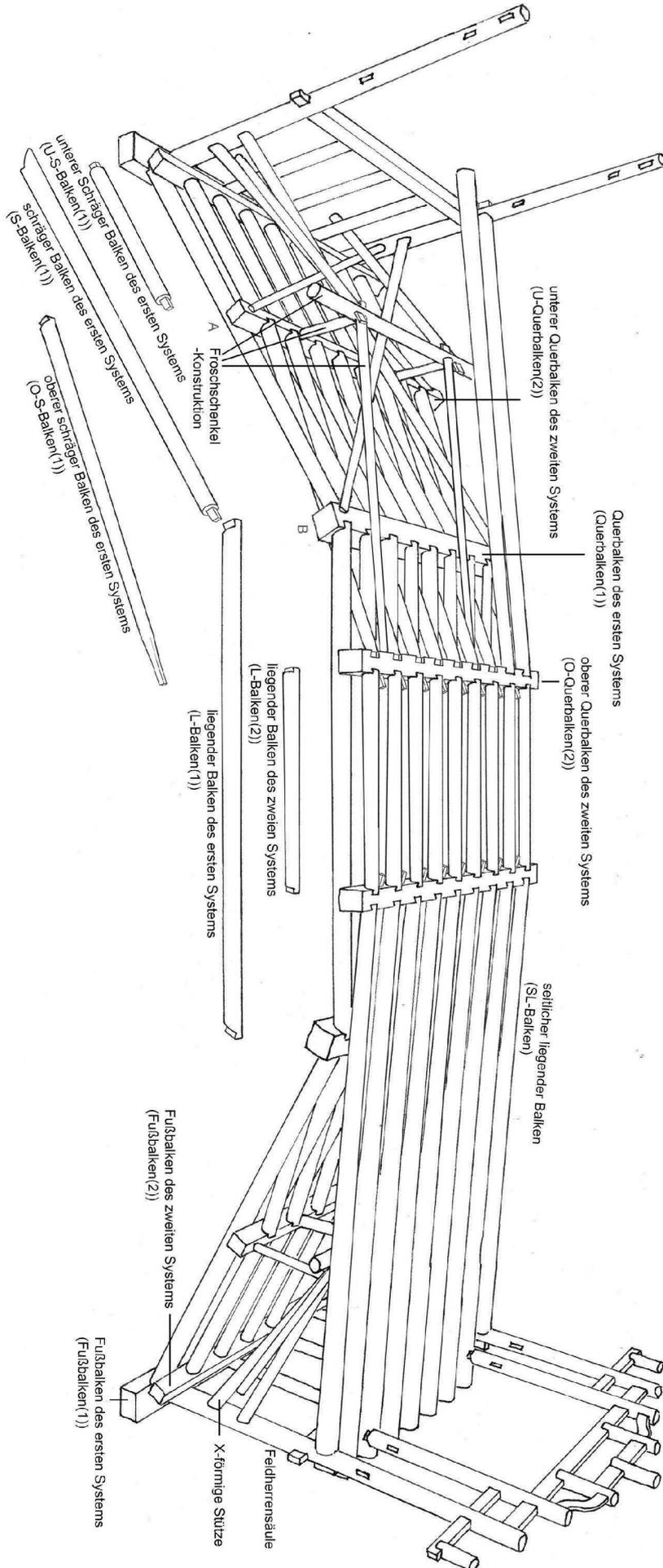


Abb. 5 Struktur einer typischen Holzbogenbrücke.

Kapitel IV

Bau einer Holzbogenbrücke: Eine anthropologische Untersuchung

Für ein genaueres Verständnis der Handwerkskunst und der traditionellen Handwerkstechnik der MZ-Holzbogenbrücken, führte der Autor umfassende Untersuchungen zahlreicher noch existierender historischer Brücken durch, führte Interviews mit Brückenbaumännern (Zimmermänner der MZ-Holzbogenbrücken) und nahm selbst an den in traditioneller Technik durchgeführten Konstruktionen dreier neuer Brücken teil, die jeweils drei bis fünf Wochen dauerten. Während des dritten Brückenbauprojekts konnte sich der Autor zum Baumeister qualifizieren. Die während der Errichtung der Brücken gesammelten Erfahrungen ermöglichten ihm eine anthropologische Sicht auf die chinesische Brückenbautradition als Teil seiner Forschungsarbeit.

Die drei Brückenbauprojekte:

Guanyin-Brücke in Shengshuitang, China (Shengshuitang-Brücke)

Meister Wu Fuyong 吴复勇 aus Daji, Landkreis Qingyuan, Fujian

13. Okt. bis 26. Nov. 2012. Ortschaft Shengshuitang, Longgong Xiang, Landkreis Qingyuan, Zhejiang, China.

Spannweite ca. 14 m

Huilong-Brücke in Dongtang, China (Dongtang-Brücke)

Meister Zheng Duoxiong 郑多雄 und Meister Wu Dagen 吴大根 aus Xiaodong, Landkreis Shouning, Fujian. Sie sind Nachkommen des bekannten „Xiaodong-Meisters“ im späten 19. Jh., und werden in der folgenden Beschreibung auch als „Xiaodong-Meister“ bezeichnet.

27. Nov. bis 23. Dez. 2013. Ortschaft Dongtang, Jingnan Xiang, Landkreis Jingning, Zhejiang, China.

Spannweite ca. 16 m

Regenbogenbrücke in Wiesent, Bayern, Deutschland (Regensburg-China-Brücke)

Meister und Architekt Liu Yan 刘妍 (der Autor)

Meister Zhang Changzhi 张昌智 aus Xiukeng, Landkreis Zhouning, Fujian. Diese Familie wird als „Xiajian-Meister“ bezeichnet, während „Xiajian“ der alte Name ihrer Heimat ist.

18. Okt. bis 31.1 Okt. 2014, Ningde, Fujian, China

14. Jun. bis 18. Jul. 2015, Nepal-Himalaya-Pavillon, Wiesent (bei Regensburg), Bayern, Deutschland.

Spannweite 7.5 m

Befragte Brückenbaumeister, die aus einer Brückenbaufamilie mit wenigstens zwei Generationen in diesem Beruf stammen:

- Zhang Changzhi 张昌智 und Peng Fodang 彭佛党 aus Xiukeng (früher „Xiajian“), Landkreis Zhouning, Fujian (Xiajian-Meister, in achter Generation)
- Zheng Duojin 郑多金, Zheng Duoxiong 郑多雄 und Wu Dagen 吴大根 aus Xiaodong, Landkreis Shouning, Fujian (Xiaodong-Meister, in siebenter Generation)
- Huang Chuncai 黄春财 aus Changqiao Zhen, Landkreis Pingnan, Fujian (Changqiao-Meister, in dritter Generation)
- Wu Fuyong 吴复勇 aus Daji, Landkreis Qingyuan, Zhejiang (in zweiter Generation)
- Dong Zhiji 董直机 aus Lingbei Xiang, Landkreis Taishun, Zhejiang (von Meister Xiaodong gelernt)
- Wei Shunling 韦顺岭 aus Daxi Zhen, Landkreis Pingnan, Fujian (in zweiter Generation)

Befragte Brückenbaumänner ohne Familientradition des Holzbogenbrückenbaus:

- Zeng Jiakuai 曾家快 aus dem Landkreis Taishun
- Liu Fanseng 刘繁森 aus dem Landkreis Zhenghe (in den 1960er Jahren aus dem Landkreis Qingyuan umgezogen)
- Zhang Yijin 张以进 aus dem Landkreis Qingyuan

Im Folgenden wird der Bauprozess der traditionellen chinesischen Holzbogenbrücke beschrieben. Dies umfasst Erläuterungen der einzelnen Schritte, in ihrer zeitlichen Reihenfolge, zu Organisation und Vorbereitung, Material und Werkzeug, Entwurf und Bearbeitung sowie zur Konstruktion. Ergänzt werden die Ausführungen durch einen Abschnitt über die Gedankengänge und Überlegungen der Brückenbaumänner. Den Lesern, die mit dieser Art von Brücken nicht vertraut sind, wird empfohlen, vor Abschnitt III (Entwurf) zunächst Abschnitt IV (Konstruktion) zu lesen, um die Entwurfsmethode zu verstehen und sich durch die Abbildungen mit der Konstruktion der Brücke vertraut zu machen. Übrigens, in seiner vor Ort Beobachtung der drei Bauprojekten, folgte der Fokus des Autors auch ein umgekehrte Verlauf eines echten Bauprojekts, nämlich, das Zusammenbauen der Struktur, die Behandlung der Bauelemente, und zuletzt der Entwurf.

I. Organisation und Vorbereitung

1. Projektleiter, Ausschreibung der Baumeister, Materialbeschaffung

Brückenbauten in den Bergen des MZ-Gebiets sind eng mit dem lokalen Verkehr, der lokalen Wirtschaft und dem Wohlstand eines Ortes verbunden. Daher tragen sie eine entscheidende und anhaltende Bedeutung für ihren Standort. Ein Brückenbauprojekt obliegt immer mindestens einer gesamten Ortschaft. Geldspenden kommen von ortsansässigen Familien und Beamten. Menschen, die viel Geld spenden, hinterlassen ihre Namen und ihre Heimatorte auf Balken des Brückenkorridors oder auf einer steinernen Stele für Jahrhunderte. In Brücken an wichtigen Verkehrspunkten finden sich Namen mit Heimatorten ferner Gebiete. Sie weisen darauf hin, dass die Brücken im Verkehr früherer Zeiten eine wichtige Rolle gespielt haben.

Das Brückendirektorium wird meistens im lokalen Dorf gebildet. Auch heute noch betreut das Direktorium das Bauprojekt, kümmert sich um die Finanzierung und beschafft das Material. Heute in wohlhabenderen Gebieten, zum Beispiel in Wenzhou, in Taishun und in Fu'an, wird ein Brückenbauprojekt manchmal durch einen oder ein paar private Unternehmer finanziert. Lokale Behörden können auch eine große Rolle spielen. In einem solchen Fall sind Spenden in Form kleinerer Geldbeträge ortsansässiger Bewohner willkommen. Sich an öffentlichen Projekten bes. Brückenbauprojekten zu beteiligen, bedeutet Gutes zu tun und Verdienste zu leisten. Dies sind Bestandteile der chinesischen Kultur.

Der Brückenbau in Shengshuitang wurde von vier Familien des Dorfs organisiert. Die Gesamtkosten lagen bei 800.000 Yuan (ca. 110.000 €). Gesammelt wurde an mehreren Stellen, u.a. von Dorfbewohnern und privaten Firmen, außerdem wurde um Geld von außerhalb gebeten. Die Unterstützung von Seiten der Dorfbewohner konnte neben finanziellen Spenden auch durch Materialspenden oder Arbeitseinsätze gegeben sein. Eine eintägige Arbeit auf der Baustelle entsprach 160 Yuan.

Der Brückenbaumeister wird durch eine einfache Ausschreibung gewählt. Die Projektwerbung leiten die Dörfler oft an Verwandte und Freunde weiter, um Kontakte zu den möglichen Brückenbaumeistern zu finden. Das günstigste, d.h. in der Regel das niedrigste Angebot wird angenommen.

Im Falle der Shengshuitang-Brücke wurde von 300.000 Yuan abwärts verhandelt. Sieben Brückenbaumeister nahmen an den Verhandlungen teil, und zuletzt bekam Meister Wu Fuyong den Auftrag mit seinem Angebot von 260.000 Yuan. Bei dieser Summe handelt es sich um die Bezahlung der Brückenbaumänner. Der Baumeister ist der Auftragnehmer bzw. der Bauunternehmer im modernen Sinn. Nachdem er eine Gruppe von Zimmermännern zusammengestellt hat, bezahlt er sie nach Arbeitstagen.

Die Dongtang-Brücke war ein Projekt des gesamten Dorfs. Das Direktorium wurde durch fast das

gesamte Dorfkomitee gebildet. Die Gesamtkosten lagen bei etwa 700.000 Yuan. Die Hölzer kamen zum großen Teil aus dem Wald des Dorfs, der gemeinsames Eigentum ist. Sie waren 40 Jahre zuvor gepflanzt worden und für das Bauprojekt geeignet. Weiteres Holz wurde von Dorfbewohnern gespendet, und einige besonders große Hölzer wurden zugekauft. Der Meister dieser Brücke, Meister Zheng Duoxiong und Meister Wu Dagen, Nachkommen des bekannten „Xiaodong-Meisters“, stammt aus einem benachbarten Landkreis.

Für gewöhnlich verantwortet der Meister allein die Holzarbeiten. Das Brückendirektorium beauftragt weitere Handwerker einschließlich dem Steinmetz und Maurer mit sonstigen Arbeiten.

In der Vergangenheit wurden die Brückenbaumeister oft wie andere Zimmermänner nach Arbeitstagen bezahlt. Nur zu wichtigen Anlässen, darunter das Richtfest, erhielten sie besondere „rote Papierverpackungen“ (siehe Abschn. IV.1.) mit einer Sonderbezahlung darin.

In weiten Teilen Südchinas wird der Baumeister als „*Shengmo* 绳墨“ (wörtlich „Schnur und Tinte“, benannt nach seinem Werkzeug, der Tintenschlagschnur, siehe Abschn. II.3.(2)) oder ähnlich „*Zhumo* 主墨“ (wörtlich „Meister der Tinte“) bezeichnet. Der „Meister der Tinte“ übernimmt die Verantwortung, wichtige Tintenlinien zu markieren. Danach werden alle Maße der einzelnen Bauteile entschieden. Für die gewöhnlichen Zimmer- oder Tempelbauten zeichnet der Meister Pläne, in die die Abstände und Größen der Bauelemente eingetragen sind. Die für den Meister arbeitenden Zimmerleute können dann ohne weitere Anleitung nach diesen Plänen arbeiten. Bei den Holzbogenbrücken allerdings ist dies anders. Jedes einzelne Maß der unteren Konstruktion, besonders des gewebten Bogens, ist so wesentlich, dass sie allein vom Meister Schritt für Schritt bestimmt werden. Sorgfältige Baumeister wie Wu Fuyong zeichnen selbst die Tintenlinien auf jedes einzelne Bauelement. Anschließend übergibt er die Bauelemente anderen Zimmermännern für die weitere Bearbeitung.

2. Standortwahl

Nach Standort und Funktion lassen sich die Holzbogenbrücken in zwei Arten einteilen: Holzbogenbrücken, die nur dem Verkehr dienen und sich meist außerhalb von Ortschaften befinden sowie Holzbogenbrücken, die eine engere Verbindung zu Ortschaften haben und für die auch das Fengshui von Bedeutung ist.

In jedem Fall ist das Fundament der Brücke wesentlich. Soweit möglich, werden natürliche Gesteine genutzt. Obwohl das Fengshui wie in allen chinesischen Bauwerken sehr wichtig ist, so dass sie im Einklang mit Natur und Ortschaften errichtet werden, fällt doch der Baumeister die endgültigen Entscheidungen. Der Brückenbau ist fast die einzige Bauform, bei der der Baumeister eine höhere Priorität hat als der Geomantiker.



Abb. 1 Yangmeizhou-Brücke. Landkreis Shouning, Fujian. Um die natürlichen Gesteine für das Fundament zu nutzen, wurde die Brücke an einer Stelle errichtet, wo ist das Flussbett mehr als 20 m tief, während an der Stelle nur ein paar Dutzend Meter flussaufwärts ist das Wasser sehr seicht.

Im Allgemeinen gibt es nur für Brücken mit einer Spannweite von mehr als etwa 20 m die Notwendigkeit einer Holzbogenkonstruktion. Die größten Holzbogenbrücken können eine Spannweite von etwa 40 m erreichen. Über breitere Flüsse mit günstigen Gegebenheiten (zum Beispiel ohne tiefes Kliff) werden Brücken mit mehreren Brückenfeldern, d.h. mit Brückenpfeilern im Mittelfluss aufgebaut. Die längste

historische Holzbogenbrücke ist die Wan'an-Brücke, Changqiao Zhen, Landkreis Pingnan, Fujian. Sie haben sechs Brückenfeldern, die insgesamt Länge ist fast 100 m. 1932 durch der Huang-Family gebaut wurde.

Die Brücken in Shengshuitang und Dongtang waren Wiederaufbauprojekte. Ursprünglich führten Holzbrücken an ihrer Stelle über den Fluss, die nach ihrer Zerstörung durch Betonbrücken ersetzt worden waren, die noch heute genutzt werden. Die beiden Wiederaufbauten befinden sich heute nur einigen Metern neben den Betonbrücken und haben keine Funktion für den Verkehr – sie dienen nur der Verbesserung des Fengshui für die anliegenden Ortschaften.

Im Zentrum einer Brücke gibt es immer einen Schrein, um lokale oder buddhistische Gottheiten zu ehren. Deshalb ist jede Brücke ein kleiner Tempel. Der Schrein ist immer entgegen der Richtung des fließenden Wassers geöffnet, unabhängig von der Stelle der benachbarten Ortschaft.

II. Material und Werkzeug

1. Die Wahl des Holzes

Nachdem die grundlegenden Maße der Brücke bestimmt sind, berechnet der Meister die Menge, Größe und Länge der Bauhölzer. Danach bereiten die Direktoren das Material vor.

Wenn chinesische Zimmerleute über die Größe eines Holzes sprechen, benennen sie den Durchmesser des kleineren Endes des Holzes. Sie bezeichnen das größere Ende eines Baums als das „Kopfende“ und das kleinere Ende als das „Schwanzende“. Dies widerspricht dem Vokabular vieler chinesischer Architekten und Wissenschaftler in Bauaufnahmen, die die Größe eines Holzstücks meist mit dem Durchmesser des größeren Endes angeben.

1) Verschiedene „Shanmu“ Holzarten

Das Holz *Cunninghamia lanceolata*, *Shanmu* 杉木 in Chinesisch wird oft mit „China-Tanne“ (Chinesische Spießtanne) übersetzt, ist allerdings keine Tannen-Art (der Kieferngewächse), gehört aber zur Familie der Zypressengewächse (*Cupressaceae*). Die Pflanze ist in Asien heimisch, ist in China eine der wirtschaftlich wichtigsten Baumarten und beherrscht den Bau in den meisten Gebieten Südchinas.

Im Nordosten von Fujian, im Herzen des Holzbogenbrückengebiets, befindet sich ein bekanntes Produktionsgebiet der *Shanmu*. Nach allgemeiner (aber übertriebener) Meinung der lokalen Zimmerleute „wird das *Shanmu* in tausend Jahren nicht verrotten“. Auch Totenschreine werden hier aus *Shanmu* gefertigt. Das „*Shanmu* ist in Südchina als Baumaterial so verbreitet wie der Reis zum Essen“.¹

Eine weitere für den Brückenbau verwendete Holzart ist *Cryptomeria japonica* aus der Familie der Zypressengewächse (*Cupressaceae*). Diese Holzart wird im MZ-Gebiet auch *Wenmu* 榿木 oder *Liushan* 柳杉, (wörtlich „Weidetanne“) genannt. Seltener wird die Holzart auch als *Shuishan* 水杉 bezeichnet, was wörtlich „Wassertanne“ bedeutet. Die Hölzer dieser Baumart wachsen länger, größer und gerader als *Shanmu* und werden vor allem verwendet, wenn große *Shanmu* knapp sind. Allerdings ist *Wenmu* weniger dicht als *Shanmu* und wird deshalb als von geringerer Qualität angesehen.

Keteleeria fortunei zählt zur Familie der Kieferngewächse (*Pinaceae*). Der chinesische Name dieses Holzes lautet *Youshan* 油杉, was wörtlich mit „Öltanne“ übersetzt werden kann. Dieses Holz wird als stärker angesehen als *Shanmu*. Es hat einen höheren Ölgehalt, weshalb es schwerer zu trocken ist.

In Shengshuitang sind die Balken aus *Shanmu* gefertigt, während die wichtigeren „Feldherrensäulen“ (die einzigen Bauelemente, die die untere Bogenkonstruktion und den Korridor durchlaufen; siehe Abschn. IV.3.(3)) aus *Youshan* gefertigt sind. In Dongtang war das vorhandene *Shanmu* nicht ausreichend, weshalb dieses Holz nur für die „Feldherrensäulen“ verwendet wurde, während andere Balken aus *Wenmu* hergestellt worden sind.

1 Aussage eines Zimmermanns aus dem Landkreis Shouning während des Bauprojekts der Dongtang-Brücke, Dez. 2013.

2) Querbalken / stärkeres Holz

Die Querbalken des gewebten Bogens sind die wichtigsten Bauteile der Holzbogenbrücken. In diese Balken werden viele Zapfenlöcher eingearbeitet, und damit werden die Längsbalken verbunden.

Kiefernholz ist für gewöhnlich in Querbalken in alten Brücken zu finden. Die Hölzer müssen bestenfalls mindestens 100 Jahre alt und sehr stark sein sowie über einen höheren Ölanteil verfügen. Sie sind weitgehend wasserfest und gegen Termiten resistent.

Kiefernholz wird bei den Holzbogenbrücken auch für das Fundament der Pfeiler verwendet, um die Erde unter Wasser zu verstärken. Nachdem die Yuqing-Brücke (Abb. 53) in Wuyishan, Fujian, eine große Holzbogenbrücke mit drei Spannen, vom Brand zerstört worden war, sind auch ihre Pfeiler zusammengebrochen. Der Brückenbaumeister Zheng Duoxiong teilte dem Autor mit, dass sich unter den Pfeilern viele vertikale Kiefernposten befunden hatten.²

Neben Kiefernholz wird auch Hartholz häufig für die Querbalken benutzt. Für das Brückenbauprojekt in Shengshuitang aber wählten die Anwohner Kastanienholz, obwohl es vor Ort alte Kiefernholz gibt. Sie glauben, das Kastanienholz sei besser geeignet. Darunter befindet sich die Art *Zhuili* 锥栗, *Castanea henryi*, das gefälligste Holz, das in dieser Region auch für Hausfundamente genutzt wird. Es ist stärker und unter Wasser haltbarer. Die Art *Maoli* 毛栗, *Castanea seguinii*, wird auch als geeignet betrachtet.

Für die Querbalken allerdings wird *Shanmu* als die beste Holzart angesehen. Brückenbaumeister, die andere Holzarten für die Querbalken benutzen, glauben, *Shanmu* mit einem entsprechend großen Durchmesser sei schwer zu finden. Meister Huang Chuncai aus dem Landkreis Pingnan, der heute als Landkreis mit der besten Holzlieferung des *Shanmus* in Südostchina bekannt ist, besteht darauf, dass die Querbalken und weitere Bauteile aus *Shanmu* gefertigt werden müssen.³

2. Holzbearbeitung

1) Die Zeit des Holzeinschlags

Wie in den meisten deutschsprachigen Gebieten wird Winterholz auch in den meisten Gebieten Südchinas als bestes Holz angesehen.⁴ Zimmermänner in Südchina verarbeiten am liebsten im Winter oder Frühjahr geschlagenes Holz. In diesem Zeitraum ist der Wasseranteil gering. Dies ist nicht nur von Bedeutung für eine geringere Fäulnisanfälligkeit, sondern auch von Vorteil bei der Bearbeitung, weil die Hölzer viel leichter sind. Die Arbeitersparnis ist für viele Zimmermänner wichtiger als andere Aspekte.

Für die Konstruktion des Holzbogens allerdings wählen Brückenbaumänner zu einer anderen Jahreszeit geschlagenes Holz, weil im Frühling geschlagenes Holz, so meinen sie, zu wenig Öl enthält. Ohne einen ausreichenden Ölanteil wird Holz trocken und splitteranfällig.

Die Brückenbaumänner im MZ-Gebiet verarbeiten vorzugsweise das im August oder September gefällte Holz. Es besitzt ein membranartiges Kambium, das zwischen der Rinde und dem Splintholz liegt. Damit ist die Rinde einfacher zu entfernen, und das Kambium, die „dünne Haut“, schützt das Holz vor dem Splintern in der Trockenheit. Auf der Baustelle der Dongtang-Brücke sagte ein Zimmermann: „Mit dieser Haut ist das Holz glatt, wie Hautpflegecreme auf dem Gesicht.“

2) Trockenes und feuchtes Holz

Nachdem die Hölzer geliefert sind, müssen sie getrocknet werden. Theoretisch sind sie umso besser, je trockener sie sind. Dies gilt besonders für die Balken des Holzbogens, die großer Biegebelastung ausgesetzt sein werden. Trockenholz ist stabiler als feuchtes Holz, das zwar biegsamer ist, aber deshalb

² Meister Zheng Duoxiong im Interview mit dem Autor am 5. Nov. 2014 an der Baustelle des Wiederaufbaus der Yuqing-Brücke, Wuyishan, Fujian.

³ Meister Huang Chuncai im Interview mit dem Autor am 18. Dez. 2013 in Pingnan, Landkreis Pingnan, Fujian.

⁴ Im deutschsprachigen Raum liegt der optimale Fällungszeitpunkt für Nadelholz zwischen September und Dezember, für Buchenholz zwischen Januar und Februar. (Mooslechner. 1997)

unter größerer Belastung nachgeben würde. Zwei gleiche Holzbalken, einer trocken und einer feucht, stellen zwei völlig verschiedene Materialien für die Zimmermänner dar.

Früher wurden Hölzer für ein Brückenbauprojekt ein Jahr vor Baubeginn vorbereitet. Heute ist dies fast unmöglich. In einem kürzeren Zeitraum werden Hölzer vorbereitet und getrocknet, so sind sie deshalb feuchter. Hölzer für Pfosten und Balken können zu Beginn des Bauprojekts gefällt werden. Sie haben dann nur wenige Wochen für die Trocknung.

Weil die Hölzer heute weniger lang lagern und daher nicht durchgetrocknet sind, benutzt ein Baumeister nun im Durchmesser größere Hölzer. Beispielsweise werden Trockenhölzer mit 20 cm Durchmesser heute durch feuchtere Hölzer mit 24 cm Durchmesser ersetzt. Dies ist einer der Gründe, weshalb die Brückenbalken heute oft sichtbar größer sind als die Balken in älteren Brücken.

Ein anderer Grund für Benutzung des Trockenholzes, um Splintern und Schrumpfen zu vermeiden. Holzbau in Südchina ist eine Art von Fachwerkbau, aber ohne Streben. Die strukturelle Stabilität beruht auf der Festigkeit der Holzverbindungen. Deshalb ist es besser, die Zapfen und Zapfenlöcher in Trockenholz zu fertigen, denn zum Zeitpunkt der Verarbeitung feuchtes Holz würde später trocknen und schrumpfen, wodurch sich die Holzverbindungen lösen würden. Die heute mit nicht durchgetrocknetem Holz hergestellten Konstruktionen werden später Probleme verursachen.

3) Entrinden

Wenn die Hölzer an der Baustelle ankommen, werden sie erst entrindet und dann an der Luft getrocknet. Zwei Arten von Werkzeugen werden für das Entrinden benutzt: ein gekrümmtes Messer mit Handgriffen an beiden Enden oder ein Spatenmesser mit langer Stange. Das Spatenmesser ist leichter und kann ohne Gefahr, die Kleidung mit Holzöl zu verschmutzen, benutzt werden.

An sonnenreichen Standorten gewachsene Baumstämme sind stärker. Die sonnenbeschienene Seite eines Stamms hat mehr Knorren, ist dichter und schwerer zu entrinden. Meist wird das Entrinden mit einer Axt oder mit dem gekrümmten Messer durchgeführt. Baumrinden der Schattenseiten können einfach mit dem Spatenmesser entfernt werden.

Das oben erwähnte Kambium, die dünne „Haut“ zwischen Rinde und Splintholzzone, ist wichtig für den Schutz vor Fäulnis. Besonders für die Bogenbalken ist es wichtig, diese „Haut“ zu erhalten. Erfahrene Brückenbaumänner wissen das in seiner natürlichen Form gewachsene Holz für die Bogenbalken gut zu nutzen. Gekrümmtes Holz wird als schräge Balken des Gewebebogens benutzt (während die liegenden Balken des Gewebebogens gerade sein müssen). Die konvexe Seite der schrägen Balken wird nach oben gelegt, was für die Dynamik des Holzbogens günstiger ist. Erfahrenen Brückenbaumännern gelingt es, die schrägen Balken bzw. gekrümmte Längsbalken mit den darauf liegenden Querbalken zu verbinden, ohne Teile des Holzes entfernen zu müssen (Abb. 32).



Abb. 2 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Entrinden von Baumstämmen mit dem Spatenmesser.



Abb. 3 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Ein Zimmermann beim Entrinden eines Baumstammes mit einem gekrümmten Messer.

4) Entfernen der Knorren

Nach dem Entrinden werden die Knorren entfernt. Die Zimmermänner sagen, dass die Knorren des *Shanmus* sehr stark und schwerer zu entfernen sind als die Knorren anderer Holzarten, eben vieler Hartholzarten. Früher wurden diese Verdickungen mit der Axt entfernt. Sie sollen nicht mit Stemmeisen oder Hobel bearbeitet werden, denn sie könnten die Werkzeuge beschädigen. Heute werden die Knorren meist mit einer elektrischen Säge abgenommen.

5) Die Richtung des Holzes

In vielen Gebiete Südchinas, einschließlich dem Holzbogenbrückengebiet, gibt es Regeln für die Lage des Holzes im Gebäude. Im Haus- und Tempelbau wie auch für die Korridore der Brücken gilt, dass das Wurzelende eines für Säulen verwendeten Holzes nach unten zeigt, und dass das Wurzelende eines für Balken verwendeten Holzes ins Zentrum des Gebäudes zeigt, wo sich die Götterskulpturen befinden. Im Zentrum eines Gebäudes werden die Wurzelenden links der Götter gelegt.

Auch nach dem Zuschnitt und der Bearbeitung des Holzes können die Zimmermänner noch die Wurzel- und Wipfelenden unterscheiden, nämlich anhand des Faserverlaufs, der Farbe des Holzes und der Richtung der Knorren.

Für den Brückenbau (außer für deren Korridore) gelten andere Regeln. Die Wurzelenden der Hölzer müssen entgegen der Richtung des fließenden Wassers gelegt werden, also in Richtung des Oberlaufs zeigen.

3. Werkzeuge zur Holzbearbeitung

1) Messwerkzeuge

Das Lubanswinkel (Zimmermannswinkel)

Das vorherrschende Zimmermannslineal in China ist das sogenannte „Luban-Lineal“ (鲁班尺), benannt nach dem legendären Vorfahr des Holzarbeiters Gongshu Ban (auch „Lu Ban“ genannt, ca. 5. Jh.v.Chr). Es ist ein Winkellineal mit einer Seitenlänge von 1 x 2 Chi (1 Chi beträgt ungefähr 30 cm, siehe unten). Die kürzere Seite ist aus dickem quadratischem Holz gefertigt und in 10 Cun (1 Chi = 10 Cun) eingeteilt, wobei jeder Cun noch einmal in 10 Abschnitte unterteilt ist. Die längere Seite des Luban-Lineals ist meist aus Bambus gefertigt. Darauf sind 20 Cun markiert.

Die Länge eines Chi, des traditionellen „Chinesischen Fußes“, bemaß während der letzten Dynastie (1644–1912) offiziell 32 cm und wurde erst im Jahr 1919 auf genau 1/3 m Länge festgelegt. Doch noch heute gibt es in den MZ-Bergen keine einheitliche Länge für das Chi. Der Autor hat bereits Lineale mit Längen von 27,4 cm, 28 cm, 30 cm und 33 cm gesammelt. Wenn Zimmermänner aus verschiedenen Landkreisen zusammen an einem Projekt arbeiten, entscheidet der Baumeister über die zu verwendende Länge des Chi.



Abb. 4 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Lubanswinkel, Axt und Tintenschnur.



Abb. 5 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Ein Zimmermann trägt eine Markierung auf einem Balken mit dem Lubanswinkel auf.

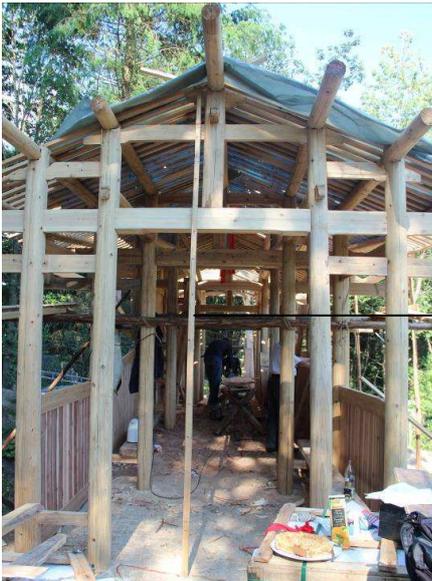
Maßlatte

Die Maßlatte, wörtlich „Zhang-Stange“ (*Zhanggan*, 丈杆, 1 Zhang = 10 Chi), ist eine Kombination aus dem Lineal, dem Bauriss und der Schablone. Es ist ein beherrschendes Werkzeug im Hausbau in Südchina. Dieses Werkzeug im MZ-Gebiet ist eine lange Holzstange, im Querschnitt quadratisch, auf die beim Bau Tintenzeichen auf drei Seiten eingetragen werden. Auf der ersten Seite sind Markierungen in Chi aufgetragen, und jede Zahl des Chi wird häufig mit einem Wort des Glücks (beispielsweise Reichtum, Fröhlichkeit, Glück, Prosperität) zusammengeschieden. Auf den anderen zwei Seiten sind Markierungen an den Stellen der Zapfenlöcher und in der Höhe der Säulen eingetragen sowie entsprechende Markierungen für die Zapfenlöcher in Längsrichtung und in Querrichtung des Korridors. Für einfache Bauten können die Zimmermänner im Kopf rechnen und die Markierungen auftragen. Wenn die Bauform kompliziert ist, wird zunächst ein einfacher Plan des Bauprojekts auf Papier oder Holzbrett gezeichnet, und danach werden die Markierungen auf der Stange eingetragen.



Die Maßlatte wird nach Abschluss des Bauprojekts in das Dach des Gebäudes (hier Brückenkorridor) gelegt, um Glück zu bringen.

Abb. 6 Dan-Brücke, Xiaodong, Landkreis Shouning, Fujian.



Die Maßlatte muss mindestens so hoch wie der Pfette sein. Auf dem Lineal werden die Stellen der Bauelemente markiert.

Abb. 8 Baustelle der Regensburg-China-Brücke Wiesent, Bayern, Deutschland. Juli, 2015.



Abb. 7 Modell des für den Bau der Dongtang-Brücke verwendeter Maßlatte, Maßstab 1:10, mit Markierungen auf drei Seiten (auf der vierten Seite des Modells befinden sich Informationen zum Brückenbau). Angefertigt durch den Autor während des Projekts im Dez. 2013.

Schablonen

In den Bauteilen des Holzbogens einer Brücke gibt es viele Zapfen und Zapfenlöcher mit verschiedenen Winkeln und Größen. Dafür benutzen die Brückenbaumänner entsprechende Schablonen,

nach denen sie die Bauelemente einheitlich bearbeiten und die Bearbeitung prüfen. Manche Schablonen werden der Entwurfszeichnung entsprechend vor Baubeginn gezeichnet, andere vor Ort während der Bearbeitung der Bauteile. Die Schablonen sind oft aus vor Ort verfügbaren Holztafeln, Hartpapieren oder Bambus gefertigt (siehe Abschn. III.3).

Bambuslineal

Für Messungen großer Abstände auf der Baustelle werden Bambusstreifen verwendet. Wie die Schablonen sind sie Messwerkzeuge aus Bambus hergestellt, einem Material, das reichlich vorhanden ist in diesem Gebiet.



Abb. 9 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Ein Zimmermann misst die lichte Höhe des Gerüstrahmens mit zwei Bambusstreifen.

2) Zeichenwerkzeuge

Die Werkzeuge zur Markierung sind die Tintenschlagschnur und der Bambusstift.

Die Tintenschlagschnur wird benutzt, um eine gerade Tintenlinie auf dem Holz zu zeichnen bzw. niederzuschlagen. Jeder Zimmermann stellt seine eigene Tintenschlagschnur her. Sie besteht aus einer hölzernen Dose, mit Baumwolle und Tinte darin, und einer Rolle Schnur. Die Schnur führt durch die Dose, durch ein paar Löcher, und an ihrem Ende ist ein Stück Holz oder Knochen in Form einer Nadel befestigt, womit das Schnurende an einer bestimmten Stelle im Holz befestigt wird (Abb. 11).

Mit dem Bambusstift wird auch Tinte zum Zeichnen genutzt. Er wird oft vor Ort aus einem Stück Bambus gefertigt, hat ein flaches und ein breiteres Ende und ist scharf geschnitten, um mit Hilfe eines Lineals oder einer Schablone Linien zeichnen zu können.

Wenn eine Linie auf dem Balken falsch gezeichnet, einen Kreuzen Zeichen „X“ wird auf der richtigen neu gezeichneten Linie markiert. Obwohl das Zeichen „X“ ist in westlichen Kulturen für Anwahl üblich genutzt, ist es in China als „falsch“ gesehen und deshalb ungünstig. Nur in der Holzarbeit ist das Zeichen „X“ als „gewählt“ benutzt.

Die Schriften auf Holz werden mit einem feinen Pinsel aufgetragen.



Abb. 10 Baustelle einer Holzbogenbrücke in Ganzhushan, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Nov. 2013. Eine Tintenschlagschnur und ein Bambusstift.



a. Das Schnurende wird im Holz befestigt.



b. Tintenlinien werden auf einen Balken geschlagen

Abb. 11 Bearbeitungsplatz für die Bauelemente der Regensburg-China-Brücke in Ninde, Fujian, China. Okt. 2014.

3) Richtwaage

Um die horizontale Ausrichtung von Bauteilen zu prüfen, benutzen die Brückenbaumänner heute einen durchsichtigen Gummischlauch. In früherer Zeit wurde ein Bambus dafür verwendet. Es wurde in Längsrichtung geöffnet, die Wände der Bambusknoten wurden entfernt, und dann wurde das Bambusrohr mit Wasser gefüllt.

Auf Baustelle mit günstiger Wasserebene, werden Positionen der Bauelemente vor Ort abwärts von Wasserebenen gemessen, um die gleichen Höhen zu prüfen.

Die vertikale Ausrichtung der Brücke wird während ihrem Bau mit der Tintenschlagschnur geprüft.



Abb. 12 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Prüfung der waagerechten Ausrichtung mit einem durchsichtigen Gummischlauch.



Abb. 13 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Die vertikale Ausrichtung wird mit der Tintenschlagschnur geprüft.

4) Werkzeuge zur Holzbearbeitung

Die Axt ist das universellste Werkzeug für Zimmermänner in China. Sie wird eingesetzt, um Holz zu schlagen, zu spalten, um Zapfenlöcher zu hacken und um Oberflächen zu glätten. Erst im Anschluss kommen andere Werkzeuge zur weiteren Holzbearbeitung zum Einsatz.

Die Art und Weise, mit einer Axt umzugehen, ist in China eine grundlegende Zimmermannskunst. Wenn in früherer Zeit ein Projektleiter Zimmermänner suchte, ließ er sich zunächst ihre Fertigkeiten, mit der Axt umzugehen, demonstrieren. Der junge Brückenbaumeister Zeng Jiakuai aus Taishun ist für seine Fertigkeiten berühmt; angeblich kann er eine Eierschale mit einer Axt entfernen.

Für die Bearbeitung der Zapfen und Zapfenlöcher werden Stemmeisen benutzt. Vier verschieden große

Stemmeisen sind den Zimmermännern in Südchina in der Regel ausreichend. Die kleineren, dickeren werden für das Ausarbeiten von Zapfenlöchern verwendet. Die größeren, schmaleren werden verwendet, um die Ober- oder Innenfläche der Zapfen und Zapfenlöcher zu glätten.

Die in China verwendeten Hobel und Gestellsägen ähneln europäischen Werkzeugen (Abb. 14, Abb. 15).

Heute werden häufig Elektrowerkzeuge benutzt, womit sich die Zimmermänner die Arbeit erleichtern. Holzplatten werden in einem Sägewerk mit elektrischen Bandsägen zugeschnitten. Im Landkreis Qingyuan traf der Autor auf verschiedenen Baustellen einen Holzsäger mit seinem zur Bandsäge umgestalteten Traktor (Abb. 16). Mit diesem Werkzeug reist er nach Bedarf durch den gesamten Landkreis und wird für seine Arbeit mit 200 Yuan pro Stunde bezahlt; dies entspricht dem Tageslohn eines normalen Zimmermanns.



Abb. 14 Typische chinesische Stemmeisen eines Zimmermanns im MZ-Gebiet. Die Sammlung des Autors.



Abb. 15 Typische Werkzeuge eines Zimmermanns. Hexi, Landkreis Zhouning, Fujian: Bohrer, Hobel, Stemmeisen, Winkel und Sägen.



Abb. 16 Baustelle der Sheshuitang-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Der zur Bandsäge umgestaltete Traktor.

III. Entwurf des Holzbogens und Bauteilbearbeitung

1. Grundlegendes Prinzip

Die Besonderheit der MZ-Brücken ist ihre „gewebte“ Bogenkonstruktion, die sich aus zwei Bogensystemen zusammensetzt, nämlich einem dreiseitigen Bogen und einem fünfseitigen Bogen. Die größte Schwierigkeit beim Entwurf liegt in der richtigen Bestimmung der Länge jedes einzelnen Balkens, um die zwei Systeme fest miteinander zu verbinden. Fehler im Entwurf würden zu einer sofortigen Verformung oder eben einem Zusammenbruch der Brückenkonstruktion führen. Allerdings treten bei Brücken auch durch Alterung Schäden auf, die sich durch Holzschwind aufgrund von Feuchtigkeitsverlust erklären lassen und dazu führen können, dass sich die zwei Bogensysteme trennen und deformieren (Abb. 17). Bei vielen alten Brücken haben sich die zwei Bögen mehr oder weniger getrennt, sind meist aber noch strukturell stabil. Die Wenxing-Brücke in Taishun, Zhejiang, ist berühmt für ihre Verformung (siehe Kap. V, Abschn.III.3.).



Abb. 17 Lanxi-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Nach dem Umbauen und der Reparatur der Brücke sind die Abstände zwischen den O-S-Balken(2) und den Q-Balken(1) heute mit Holzabschnitten gefüllt.

Exakte Berechnungen der Größenverhältnisse und ständige Kontrollen der entstehenden Konstruktion des fünfseitigen Bogens sind die für eine stabile Brückenkonstruktion entscheidenden Arbeiten während des Baus eines Holzbogens. Jede Brückenbaufamilie hat ihre eigenen Lösungen. Sie verfügen über bewährte Verhältnisregeln und kluge Konstruktionsmethoden.

Heute benutzen nur noch zwei Familien des Holzbogenbrücken-Gebiets die traditionelle Entwurfsmethode. Sie sind die Nachkommen der Xiaodong-Meister und der Xiajian-Meister. Beide Familien blicken auf eine mehr als zwei Jahrhunderte währende Tradition zurück, und sie sind die einzigen zwei Familien im MZ-Gebiet, die länger als drei Generationen in dem Beruf als Zimmermänner der Holzbogenbrücken arbeiten. In der traditionellen Entwurfsmethode werden die Konstruktion und ihre groben Maßangaben mit einer Tintenschnur am Boden oder auf einer Tafel, beispielsweise einer Türblatt, gezeichnet, meist im Maßstab 1:10, und dann grob berechnet.

Die übliche Spannweite einer Holzbogenbrücke liegt zwischen 20 m und 35 m. Traditionsreiche Brückenbaumänner benutzen eine Gruppe fester Verhältnisse, die in allen Fällen anzuwenden sind und nur nach Bedarf angepasst werden.

Die Entwurfsmethodik gehört zu den komplexesten Bereichen in der Kunst des Holzbogenbrückenbaus und ist das Kerngeheimnis einer jeden Brückenbaufamilie. Die wichtigsten Größenverhältnisse der Bauteile einer Brücke werden mit ihren Entwurfszeichnungen aufbewahrt und innerhalb einer Familie überliefert. Als Meister Wu Dagen (Nachkomme der Xiaodong-Meister) dem Autor seine Entwurfsmethodik vorführte (Abb. 20), hielt er sich von anderen Zimmermännern entfernt.

Die Maßangaben im traditionellen Entwurf sind grundsätzlich ungenau. Die realen Maße vieler Bauelemente werden während der Konstruktion der im Bau befindlichen Brücke vor Ort angepasst.

In jüngerer Zeit kommen unter neuen Bedürfnissen moderne Zeichenwerkzeuge zum Einsatz, und die meisten Entwürfe erscheinen in Form moderner Zeichnungen (Abb. 18). Die Maße vieler Bauteile werden

viel genauer berechnet, und ein Entwurf ist mit modernem Mittel viel einfacher anzulegen. So ergreifen auch immer mehr Zimmermänner den Beruf des Brückenbauers. Doch auch diese „modernen“ Brückenbauer haben keine festen Größenverhältnisse in ihrem Entwurf für den Bogen einer Brücke.

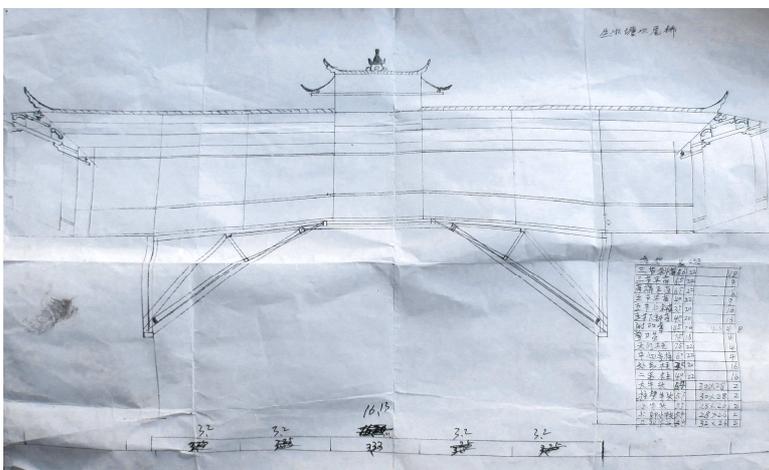


Abb. 18 „Moderne“ Entwurfszeichnung einer Brücke von Meister Wu Fuyong. Kombination von Schnitt und Ansicht.

Natürlich gewachsene Hölzer haben unterschiedliche Durchmesser und können mehr oder weniger gebogen sein. Sie lassen sich im Holzbogenbrückenbau nicht als gleichartige Bauteile bearbeiten. Deshalb sind die Erfahrungen eines Brückenbauers wichtig. Der gegenwärtig fachlich beste Brückenbauer ist der Beobachtung des Autors zufolge Meister Wu Fuyong. Er passt beispielsweise vor Ort manchmal die Stelle der Zapfenlöcher an, um natürlich gebogenes Holz als Balken zu nutzen.



Abb. 19 Shunde-Brücke, Yangshun, Landkreis Longquan, Zhejiang. Nutzung der natürlich gewachsenen Hölzer.

2. Traditionelle Entwurfsmethode

Der Entwurf der Bogenkonstruktion umfasst die Abmessungen aller Bauelemente und die Maß- und Winkelangaben ihrer Holzverbindungen. Darunter sind die Angaben zur Länge der Längsbalken und zur Neigung der Zapfenlöcher in den Querbalken von großer Bedeutung.

Einen traditionellen Entwurf zeichnet der Brückenbauer mit Tintenschlagschnur und Bambusstift auf dem harten Boden, oder, früher, auf Holzbrettern in Form einer Skizze, um die Längen der Längsbalken zu berechnen.



Abb. 20 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Entwurfszeichnung der Holzbogenbrücke auf dem Boden. Waagrechte Linie werden durch senkrechte Linien dreigeteilt. Die schrägen Linien sind die Achsenlinien der S-Balken(1), die von beiden Uferseiten zur Mitte der Brücke gehen (siehe Abb. 21). Meister Wu Dagen wird nach dieser Zeichnung die Schablone für die S-Balken(1) anfertigen.

Für den Entwurf des Holzbogens wird zuerst eine waagrechte Linie gezogen (Abb. 21, Strecke AB). Sie bildet die Ebene für die Bogenfüße. Auf den Punkten der Bogenfüße werden die Stellen des Ufers markiert (Abb. 21, die senkrechten Linien durch die Punkte A und B). Im Anschluss wird über die genaue Ausführung des ersten Bogensystems entschieden.

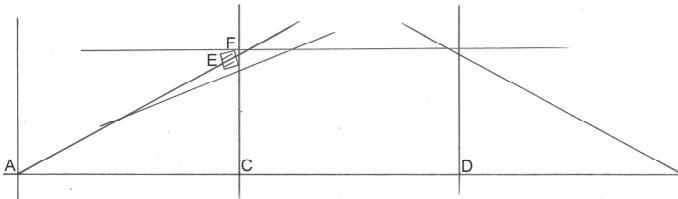


Abb. 21 Entwurf des Holzbogens.

1) Erstes Bogensystem: Länge und Steigung

Das erste Bogensystem einer Holzbogenbrücke setzt sich zusammen aus einem Paar Querbalken, einem Paar Fußbalken (verzichtbar im Fall mit steinernen Bogenunterlatern), mittleren liegenden Balken (L-Balken(1)) und seitlichen schrägen Balken (S-Balken(1)). Die Längsbalken (S-Balken und L-Balken) werden hier immer in einer ungeraden Anzahl eingebaut: seltener werden elf, häufig neun oder bei kleineren Brücken sieben Längsbalken eingesetzt. In der chinesischen Kultur sind ungerade Zahlen beliebt.

In Holzbogenbrücken mit großer Spannweite sind die S-Balken(1) die längsten Bauteile. Um die volle Länge der Hölzer auszunutzen, haben die L-Balken(1) und die S-Balken(1) fast die gleich Länge.

Nach den Methoden der Xiaodong- und Xiajian-Meister unterteilen die Brückenbaumänner die Spannweite einer Brücke in drei gleiche Abstände (Abb. 21, senkrechte Linien durch die Punkte C und D). Nach der Unterteilung setzen sie die Querbalken auf die Außenseiten der Teilungsmarkierungen. Deshalb sind die S-Balken und die L-Balken ungefähr gleich lang.

Meister Huang Chuncai aus Pingnan (Changqiao-Meister) macht es anders. In seinen Entwürfen und Umsetzungen sind die mittleren L-Balken länger. Bei einer Brücke mit einer Spannweite von beispielsweise 20 m ist ein mittlerer Balken etwa 8 m lang.

Nach der Dreiteilung der Spannweite wird die Höhe des Bogens berechnet. Sie ist vom Steigungswinkel der S-Balken (Abb. 21, Strecke AE) abhängig. Der Winkel wird angegeben als „Z(Zahl)-Zehntel-Wasser“ (Z fen 分 shui 水, hier Wasser besteht für Wasserstand). Wenn die horizontale Projektion (Ankathete) des S-Balkens (Abstand A-C) 10 m beträgt, so ist die Höhe ihrer senkrechten Projektion (Gegenkathete) (Abstand C-F) gleich Z.

Die übliche Steigung der S-Balken im Kerngebiet der Holzbogenbrücken beträgt 5- bis 6-Zehntel-Wasser, kann davon aber etwas abweichen. Holzbogenbrücken im Landkreis Taishun sind steiler.

Als die Vorfahren der Xiaodong-Meister die Xuezhai-Brücke in Taishun bauten (siehe Kap. V, Abschn. III.3.), konstruierten sie sie auch steiler als ihre anderen Brücken in anderen Landkreisen.

Die Xiajian-Meister verwenden in der Regel 5-Zehntel-Wasser, was allerdings etwas variabel ist. Die Xiaodong-Meister verwenden 6-Zehntel-Wasser für Holzbogenbrücken mit 15 bis 30 m Spannweite. Kleinere Brücken müssen steiler und ihre Mittelbalken dafür länger sein. Die Bögen größerer Brücken sind ebener. Ihre Steigung kann maximal 5-Zehntel-Wasser betragen, anderenfalls wären zu lange Hölzer nötig.

Holzbogenbrücken sind heute sehr beliebt (nachdem ihre Bautechnik in der Liste der UNESCO immateriellen Kulturerbe eingetragen wurde) und werden auch anstelle anderer üblicher Brücken gebaut, also auch anstelle von kleinen Brücken. Ein Beispiel war das Brückenbauprojekt in Regensburg. Die Brückenspannweite beträgt nur 7,5 m. Meister Zhang Changzhi versuchte zunächst, eine Steigung von 6-Zehntel-Wasser anzulegen, was aber nicht umgesetzt werden konnte. Um dieses Problem zu lösen, entwarf der Autor mit AutoCAD eine Bogenbrücke am Computer. Der entstandene Brückenbogen hat ein außergewöhnliches Verhältnis mit 3,8 m langen Mittelbalken und einer steilen Steigung von 7,5-Zehntel-Wasser (Abb. 84b).

Die Zapfenlöcher in den Querbalken sind kompliziert. Die Neigung der einzuarbeitenden Zapfenlöcher ist zugleich abhängig von der Steigung der Zapfen der Längsbalken und von der Neigung des Querbalkens. Die Neigung des Querbalkens wird vom zweiten System beeinflusst, das wiederum der Konstruktion des ersten Systems folgt. Im Entwurf mit AutoCAD sind alle Elemente mehrfach anzupassen.

Xiaodong-Meister und Xiajian-Meister, die beide in langer Familientradition arbeiten, haben für die Ausarbeitung der Zapfenlöcher der Q-Balken(1) jeweils eine Methode mit fester Proportion.

Der Xiaodong-Meister arbeitet für die Querbalken der von ihm konstruierten Holzbogenbrücken immer mit derselben Neigung: 3-Zehntel-Wasser, die unabhängig vom Steigungswinkel der Brücken ist (Abb. 22, Abb. 23).



a. Der Q-Balken(1) wird in eine Neigung von 3-Zehntel-Wasser gebracht, was seiner Lage in der aufgebauten Konstruktion entspricht. Dann werden die senkrechten und waagerechten Grundlinien darauf gezeichnet, womit die Linien für die Zapfenlöcher definiert werden.

b. Nach den Grundlinien werden die Achsenlinien der Zapfenlöcher in der Steigung der S-Balken(1) auf dem Querbalken angezeichnet. Parallel zu den Achsenlinien werden die Kantenlinien der Zapfenlöcher gezeichnet.

Abb. 22 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Ein Xiaodong-Meister Wu Dagen. Ermittlung der Zapfenlöcher des Querbalkens(1).

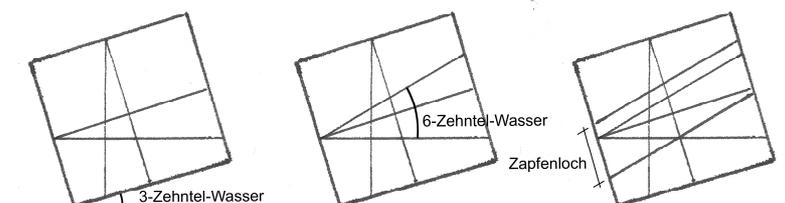


Abb. 23 Methode des Meisters Wu Dagen (Xiaodong-Meister) für die Ermittlung der Neigung der Zapfenlöcher der S-Balken(1) im Q-Balken(1).

Abb. 24 Baustelle der Dongtang -Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Der Querbalken an seiner Stelle.

Die Xiajian-Meister arbeiten mit einem festen Winkel für die Zapfenlöcher: die Kantenlänge des Querbalkens ist immer 1,2 Chi. Sie zeichnen zuerst die waagerechte Mittelachse des Querbalkens. Danach tragen sie die geneigte Mittelachse der Zapfenlöcher auf dem Querbalken auf. Die beiden Enden dieser Mittelachse der Zapfenlöcher sind jeweils 1,5 Cun (ca. 4,5 cm) nach oben bzw. nach unten von der Mittelachse des Querbalkens entfernt. Die Zapfenlöcher sind immer 4 Cun (ca. 12 cm) breit (Abb. 25).

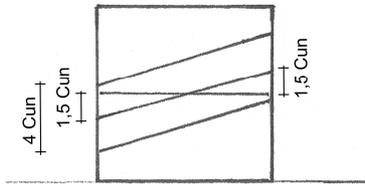


Abb. 25 Methode der Xiajian-Meister für die Ausarbeitung der Neigung der Zapfenlöcher der S-Balken(1) im Q-Balken(1).



Abb. 26 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Das „Kinn“ des Querbalkens drückt auf die unteren S-Balken.

Diesbezüglich tritt die Frage auf, warum mit dem festen Neigungsverhältnis der Zapfenlöcher die Querbalken nicht zu den darunter laufenden Längsbalken passen könnten. Nach allgemeinem Verständnis sollte die Unterseite des Querbalkens mit den Oberseiten der Längsbalken zusammentreffen, wenn ein Querbalken auf einer Gruppe von Längsbalken liegt. In der Tat ist es für die Brückenbaumänner besonders wichtig, dass die näher an der Bogenmitte liegende untere Ecke des Q-Balkens(1), bezeichnet als „Kinn“, dicht an die S-Balken(2) drücken muss (Abb. 26). Deshalb ist die Neigung der Querbalken, die überall als ein festes Verhältnis von den Brückenbaumännern anerkannt wird, immer flacher als die der darunter laufenden S-Balken(2).

2) Das zweite Bogensystem

Das zweite System setzt sich zusammen aus zwei Paar Querbalken (Q-Balken(2)), einem Paar Fußbalken, einer Gruppe von mittleren liegenden Balken (L-Balken(2)) und zwei Gruppen von schrägen Balken (S-Balken(2)). Die S-Balken(2) liegen zwischen den S-Balken(1). Die Lage der Querbalken bestimmt die Struktur des gesamten Systems.

Beide traditionellen Brückenbaufamilien, die Xiaodong-Meister und die Xiajian-Meister, beginnen den Entwurf des zweiten Systems mit den U-Querbalken. Danach wird über Lage und Abmessungen der O-S-Balken entschieden, die zwischen den mittleren L-Balken(1) durchlaufen, sowie über Lage und Abmessungen der O-Querbalken, deren Enden die O-S-Balken bilden und die auf den L-Balken(1) liegen.



Abb. 27 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Methode der Xiaodong-Meister. Der U-Querbalken wird zeitlich durch Dübel oder Eisenklammern positioniert. Dann werden mit Hilfe einer langen Stange der Verlauf des O-S-Balkens und die Lage des O-Querbalkens geprüft.

Die Festlegung des Abstandes zwischen den Querbalken der zwei Systeme (O-Q-Balken(2) und Q-Balken(1)) ist wichtig. Die Q-Balken(2) dürfen nicht zu nah mit einander bleiben, sonst wäre das

Biegemoment der L-Balken(1) zu groß. Andererseits muss zwischen den O-Q-Balken(2) und den Q-Balken(1) ein Mindestabstand eingehalten werden, um den wichtigen Arbeitsschritt des Querbalkenschlags (siehe Abschn. IV.3.(4)) zu ermöglichen. Dabei werden die O-Q-Balken(2) so kräftig wie möglich an die Q-Balken(1) geschlagen, um das „gewebte“ System konstruktiv zu verdichten.

Laut Meister Wu Dagen (ein Xiaodong-Meister) misst die Länge der L-Balken(2) genau die Hälfte der Länge der L-Balken(1). So liegen die O-Q-Balken(2) am ersten Viertelpunkt der Länge der L-Balken(1) auf den L-Balken(1). Im Falle der Dongkeng-Brücke beträgt der Abstand zwischen den O-Querbalken der zwei Bogensysteme genau 1,5 m.

Wenn die Brückenbaumeister die Stelle bestimmen, wo der U-Q-Balken(2) auf den S-Balken(1) ruht, so beziehen sie sich immer auf den Abstand zwischen dem U-Q-Balken(2) und dem Fußbalken(1) im Verhältnis zur gesamten Länge eines S-Balkens(1). Dieses Verhältnis beträgt bei den Xiajian-Meistern $\frac{2}{3}$ (nach Zhang Changzhi) oder $\frac{6}{10}$ (nach Peng Fodang). Bei den Xiajian-Meistern liegen die U-Q-Balken(2) jedoch auf der oberen Hälfte der S-Balken(1). Die Meister begründen dies damit, dass die oberen Teile der S-Balken(1) dünner und biegsamer seien und der Arbeitsschritt „Querbalkenschlag“ (siehe Abschn. IV.3.(4)) deswegen leichter erfolgen könnte, weil sie dabei die Längsbalken (S-Balken(1), O-S-Balken(2) und L-Balken(1)) verbiegen möchten.

Bei den Xiaodong-Meistern ist die Stelle der U-Q-Balken(2) viel niedriger (d.h. die U-S-Balken(2) sind viel kürzer). Das oben erwähnte Verhältnis beträgt bei Wu Dagen $\frac{1}{3}$. In einem Modell, das Meister Zheng Duoxiong bei sich zu Hause aufbewahrt, beträgt das Verhältnis $\frac{3,6}{10}$ (Abb. 28, Verhältnis AB/AC).

Für die Xiaodong-Meister sollen die U-Q-Balken(2) auf der unteren Hälfte der S-Balken(1) liegen. Dann rücken die O-Q-Balken(2) und -(1) näher zueinander (vgl. deren Abstand in den Brücken der Xiajian-Meister), um in den L-Balken(1) ein kleineres Biegemoment zu erzeugen.



Abb. 28 Brückenmodell von Meister Zheng Duoxiong. Der U-Q-Balken(2) ist sehr niedrig (der U-S-Balken sehr kurz).

Wenn wir die historischen Brücken vergleichen, die die beiden Brückenbaufamilien Xiajian und Xiaodong in den vergangenen zwei Jahrhunderten gebaut haben (siehe Kap. V), fällt auf, dass die Brücken der Xiajian-Meister üblicherweise eine höhere Lage des U-Querbalkens aufweisen als die Brücken der Xiaodong-Meister. Das oben beschriebene Verhältnis der Positionierung der U-Q-Balken(2) in den Brücken der Xiajian-Meister liegt meist bei $\frac{2}{3}$, während es in den Brücken der Xiaodong-Meister meist zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{2}{3}$ liegt.⁵ Dieser Unterschied wird helfen, die Genealogie der Bautechnik der verschiedenen Brückenbaufamilien der MZ-Holzbogenbrücken zu beschreiben (siehe Kap. V. Abschn. III).

Die Länge des L-Balkens(2) kann nicht vor der Herstellung des Gewebebogens bestimmt werden. Erst nachdem die O-Q-Balken(2) fertig sind, d.h. nach dem „Querbalkenschlag“, werden die Abstände zwischen die O-Q-Balken(1), also die erforderliche Länge für die L-Balken(2), vor Ort gemessen.

Dieses Vorgehen ist in beiden traditionellen Brückenbaufamilien gleich. Aber moderne Brückenbaumänner wie beispielsweise Meister Wu Fuyong und Meister Huang Chuncai zeichnen heute genaue Pläne vor der Errichtung der Brücken und können die Maße aller Bauelemente vorher bestimmen.

Im Entwurf des zweiten Bogensystems ist ein Problem beachtenswert. Am günstigsten ist es, die

5 Das Verhältnis $\frac{1}{3}$, das die Xiaodong-Meister heutzutage pflegen, ist in der Geschichte selten zu finden.

seitlichen liegenden Balken (kurz „SL-Balken“) über Schwalbenschwanzverbindungen mit den O-Q-Balken(2) zu verbinden. In den Brücken mit höheren Bögen, die weit über die Höhe der Pfeiler reichen, würden die Q-Balken(1) den SL-Balken im Wege stehen. In diesem Fall müssten gegebenenfalls Kerben in die SL-Balken gehackt werden (Abb. 29), was denselben schaden würde.



Abb. 29 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Eine Kerbe ist in den SL-Balken gehackt worden, weil der Q-Balken(1) ihm im Wege steht.

Vor diesem Hintergrund werden bei Holzbogenbrücken in Taishun, wo eine Vorliebe für hohe und steife Bögen herrscht, die SL-Balken auf die Q-Balken(1) aufgesetzt; also nicht mit Schwalbenschwanzverbindungen verbunden, sondern ohne konstruktive Verbindung einfach daraufgelegt (Abb. 30). Diese Lösung birgt aber die Gefahr, dass die Konstruktion leicht deformierbar ist, wenn der Gewebobogen wegen Alterung locker wird, da die Einschränkung durch die SL-Balken ausfällt, die sonst in den typischen Konstruktionen die Q-Balken(1) überkreuzen und auf denselben liegen (Abb. 29). Die Wenxing-Brücke ist ein extremes Beispiel dafür (Abb. 30, auch siehe Kap. V, Abschn. III.3.).



Q-Balken(1)

O-Q-Balken(2)

Abb. 30 Wenxing-Brücke, Landkreis Taishun, Zhejiang. 2009, bevor Reparatur. Die SL-Balken liegen einfach auf dem Q-Balken(1), und der Gewebobogen ist deformiert, so dass die beiden Bogensysteme einen großen Abstand voneinander haben.

In Gebieten mit flachen Brücken fertigt Meister Huang Chuncai (Changqiao-Meister) die O-Q-Balken(2) als die größten bzw. höchsten Querbalken, noch größer als die O-Querbalken des ersten Bogensystems. Einer der Gründe ist um den SL-Balken mehr Raum zu geben, so dass sie die Q-Balken(1) nicht behindern.

3. Bearbeitung der Holzbogenelemente

1) Bogenaufleger

Am Fuß des dreiseitigen Bogens befinden sich Holz- oder Steinauflager. Wenn die Auflager aus Holz gefertigt sind, werden zuvor Zapfenlöcher für die Säulen in die Balken eingearbeitet. Die Holzart der Auflager und die Holzart der Querbalken sind identisch.

2) Schräge Balken des ersten Bogensystems (S-Balken(1))

Die S-Balken(1) erhalten „Entenschnäbel“ an ihren unteren Enden (Abb. 31a), mit denen sie auf dem Auflager bzw. den Fußbalken sitzen. An ihren oberen Enden erhalten sie Zapfen, über die sie mit dem Q-Balken(1) verbunden werden (Abb. 31b).

Die Länge der S-Balken ist definiert durch die Länge der seitlichen Achse des Hauptteils des Balkens,

nämlich von der Innenecke des „Entenschnabels“ bis zum Mittelpunkt der „Schulter“ (Abb. 31b, auch siehe Abschn. V.1.(6)) des Zapfens (Abb. 21 AE, Abb. 32b L).

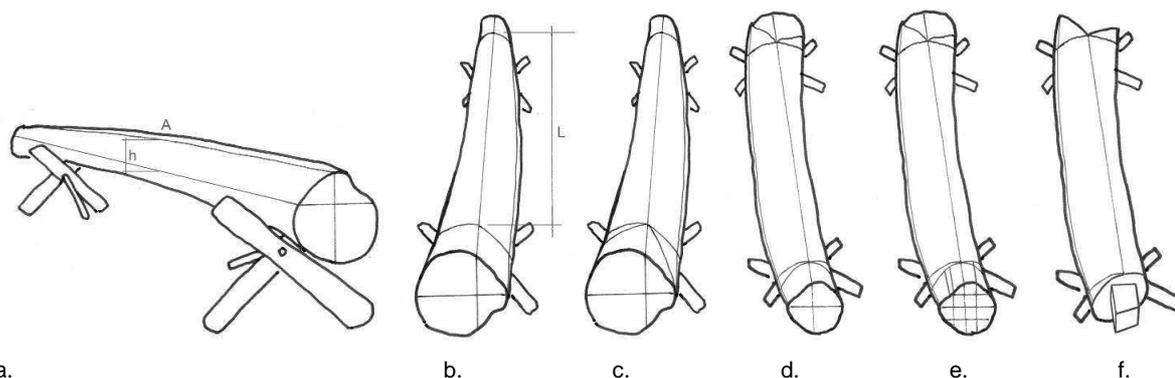
Die Formen der Zapfen und der Entenschnäbel werden anhand von Schablonen bestimmt. Die Schablonen werden nach der Entwurfszeichnung angefertigt (Abb. 20), um die wichtigsten Winkel der Verbindungen festzulegen.



a. „Entenschnabel“ am unteren Ende der S-Balken(1).

b. Zapfen und ihre „Schultern“ an den oberen Enden der S-Balken(1). Die Balkenschulter ist der „Ring“ am Anfang des Zapfens (siehe Abschn. V.1.(6)).

Abb. 31 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Verbindungen an beiden Enden der S-Balken(1)



a.

b.

c.

d.

e.

f.

Abb. 32 Prozess der Bearbeitung eines S-Balkens(1) aus gebogenem Holz.

Bearbeitung der Balken (Abb. 32):

a. Für die Bearbeitung wird der Stamm zunächst auf die Werkstütze, das „Holzpfert“ gelegt (siehe Abschn. IV.1.(1)). Mit der Tintenschlagschnur und dem Zimmermannswinkel wird auf beiden Stammenden jeweils ein rechtwinkliges Kreuz aufgetragen. Dann werden die Enden der Kreuze mit der Tintenlinien verbunden. So entstehen die Achsenlinien auf jeder der vier Seiten des zukünftigen Balkens.

Das Kreuz muss nicht im Zentrum des Querschnitts liegen. Auf jeden Fall muss an der Stelle A (vgl. Einführung Abb.6 A), wo der U-Q-Balken(2) auf den S-Balken liegt, der Abstand (h) zwischen dem Scheitelpunkt des Querschnitts eines S-Balkens und der seitlichen Achsenlinie bei jedem S-Balken gleich groß sein. Nur so kann der U-Querbalcken mit allen Längsbalken wirklich verbunden werden. Die Kraft wird gleichmäßig auf die Längsbalken verteilt. Gebogenem Holz gilt besondere Vorsicht.

b. Die Länge des Balkens (Abb. 21 AE) wird durch zwei Umrisslinien an den Enden des Stammes gekennzeichnet. Die Umrisslinien stehen senkrecht auf den vier Achsenlinien. An den beiden Enden muss außerhalb der Markierung für die Balkenlänge noch ausreichender Platz für die Ausarbeitung der Entenschnäbel bzw. Zapfen bleiben.

c. Dann wird am großen Ende des Stammes der Entenschnabel mit der Schablone aufgezeichnet.

d. Am kleinen Ende wird die Neigung der Zapfenschulter mit der Schablone aufgetragen.

e. Das Maß der Zapfen wird mit dem Zimmermannswinkel markiert.

f. Zuletzt werden der Entenschnäbel und die Zapfen ausgesägt, und mit dem Stemmeisen wird nachgebessert.

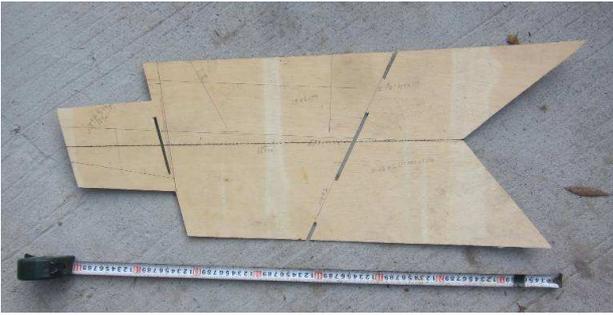


Abb. 33 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Schablone für den S-Balken(1) bei Meister Wu Fuyong. Auf der Schablone sind Informationen zum Winkel des Entenschnabels und zum Winkel des Zapfens aufgetragen.

3) Die Liegenden Balken des ersten Bogensystems (L-Balken(1))

Die L-Balken(1) erhalten Schwalbenschwanzverbindungen an ihren beiden Enden. Aufgrund der Neigung der Q-Balken(1), sind die Schwalbenschwanzverbindungen nicht rechtwinklig. Normalerweise werden die Zapfen am Balken schräg angearbeitet, während die Zapfenlöcher im Querbalken rechtwinklig sind. Denn schräge Zapfen zu sägen ist viel einfacher, als die Zapfenlöcher auszustemmen. Außerdem sind die schrägen Zapfen in der Seitenansicht trapezförmig, d.h. die L-Balken sind länger am oberen und kürzer am unteren Ende (Abb. 34). Somit drängen die L-Balken die Querbalken noch weiter zur Seite hin und machen die Verbindungen noch dichter, wenn die Zapfen in die Zapfenlöcher eingedrückt werden.



Abb. 34 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Die Enden der liegenden Balken sind trapezförmig.

4) Fußbalken des zweiten Bogensystems (Fußbalken(2))

Die Fußbalken(2) können aus kleineren Hölzern gefertigt werden. Sie sind im Querschnitt meist quadratisch, aber um kleinere Holzstücke auch auszunutzen, können die unteren Teile der Fußbalken unregelmäßig sein.

Nach den Xiajian-Meistern werden die Fußbalken „Halbmond“ genannt. Üblicherweise werden sie als im Querschnitt halbrundes Bauteil gefertigt (Abb. 35). Auf der flachen Längsseite werden die Zapfenlöcher für die S-Balken(2) eingearbeitet. Die im Querschnitt abgerundete untere Hälfte passt sich in den Winkel zwischen dem Bogenfuß und den seitlichen Säulen ein.



Abb. 35 Regensburg-China-Brücke, Wiesent, Bayern, Deutschland. Gebaut durch einer Xiajian-Meister Zhang Changzhi. Der Fußbalken in der Form „Halbmond“, die mit den Winkel zwischen dem Bogenfuß und den seitlichen Säulen gut einpasst.

5) Untere Schräge Balken des zweiten Bogensystems (U-S-Balken(2))

Die U-S-Balken(2) haben Zapfen an den oberen Enden. Die unteren Enden der U-S-Balken(2) können entweder als Schwalbenschwänze oder als Zapfen ausgearbeitet sein. Die Xiajian-Meister verwenden immer die Schwalbenschwänze und die Xiadong-Meister immer die Zapfen. Dieser Unterschied ist in allen ihrer historischen Bauwerke belegt und trifft auch auf die jüngeren Konstruktionen beider Brückenbaufamilien zu (Siehe Abschn. V.2.(1)).

Die einzige Ausnahme sind Holzbogenbrücken von Meister Wu Fuyong. Er benutzt Schwalbenschwänze an beiden Enden der U-S-Balken(2), um seinen außergewöhnlichen Konstruktionsprozess umsetzen zu können (siehe Abschn. V.1.(5)).



Abb. 36 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Ein Fußbalken(2) mit eingearbeiteten Zapfenlöchern. In den Fußbalken sind zwei Kerben eingearbeitet, womit sich der Balken an die zwei Feldherrensäulen anpasst.



Abb. 37 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Schablone des S-Balkens(2) bei Meister Wu Fuyong.

6) Oberer Schräger Balken des zweiten Bogensystems (O-S-Balken(2))

Die unteren Enden der O-S-Balken(2) sind meist Schwalbenschwänze (mit der Ausnahme von Bauten von Meister Wu Fuyong). Die oberen Enden der O-S-Balken(2) sind immer Zapfen. Bei von Brückenbaumännern aus traditionellen Brückenbaufamilien gefertigten Konstruktionen gehen die oberen Zapfen durch die Querbalken hindurch und noch darüber hinaus. Die Einstellung des O-Querbalkens(2) auf die Zapfen ist der wichtigste Schritt in der Konstruktion eines dicht gewebten Brückenbogens. Deshalb müssen die oberen Zapfen vor Ort gefertigt werden, um die Zapfenschultern den Querbalken so dicht wie möglich anzupassen.

Aus dem gleichen Grund fertigen die Xiaodong-Meister keine Balkenschulter für die O-S-Balken(2). Die Zapfen müssen lang genug sein, um durch die Querbalken hindurch zu gehen (Abb. 38).

Ähnlich wie bei den S-Balken(1) müssen die Stellen auf dem O-S-Balken(2), auf denen der Q-Balken(1) positioniert wird, sorgfältig ausgearbeitet sein (Einführung Abb.6 B). Die Stellen müssen flach und eben sein. Wenn es beispielsweise Knorren an dieser Stelle gibt, werden sie nicht mit der Axt abgeschlagen, wegen der Gefahr, dass das Holz entlang der Knorrenfaser bricht. Stattdessen werden sie mit dem Hobel entfernt.



Abb. 38 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Die oberen Zapfen der O-S-Balken(2) gehen durch die O-Querbalke hindurch. Sie haben keine Balkenschulter. Dies ist eine typische Holzverbindung der Xiaodong-Meister.

7) Querbalken des ersten Bogensystems (Q-Balken(1))

In den Q-Balken(1) sind zwei Arten von Öffnungen zu finden: Zapfenlöcher für die S-Balken(1) und Schwalbenschwanzöffnungen für die L-Balken(1). Die beiden Arten von Öffnungen sind eigentlich miteinander verbunden und durchdringen die Querbalken schließlich (Abb. 64). Die Ausarbeitungen werden zuerst mit einer elektrischen Säge ausgeschnitten, dann mit einer Axt gehackt und abschließend mit Stemmeisen präzisiert. Die Zapfenlöcher sind schräg ins Holz geschnitten, weshalb hier viel Sorgfalt erforderlich ist. Meister Wu Fuyong zum Beispiel benutzt dafür einen Winkel aus zwei langen Brettern als Werkzeug (Abb. 42), womit die Zimmermänner immer ihre Bearbeitung kontrollieren können. Meister Wu Dagen legt den Querbalken genau in eine entsprechende Neigung, so dass die Zapfenlöcher senkrecht eingearbeitet werden können (Abb. 39). Schablonen werden für die Kontrolle benutzt (Abb. 40).

Die Q-Balken(1) müssen an ihren Enden mit Eisendraht oder -band umwickelt werden, um ein Spalten zu vermeiden (Abb. 41).



Abb. 39 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Meister Wu Dagen legt den Querbalken in eine entsprechende Neigung, so dass die Zapfenlöcher senkrecht ausgearbeitet werden können.

Abb. 40 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Die Zapfenlöcher werden mit Schablonen kontrolliert.



Abb. 41 Baustelle der Dongtang-Brücke. Die Querbalken werden mit Eisendraht umwickelt.



8) Querbalken des zweiten Bogensystems (Q-Balken(2))

U-Q-Balken(2) sind den Q-Balken(1) ähnlich. Beide haben Schwalbenschwänze auf der Oberseite und Zapfenlöcher auf der Unterseite. Die Zapfenlöcher sind gerade.

O-Q-Balken(2) haben durchgehend schräge Zapfenlöcher für die O-S-Balken(2) sowie Schwalbenschwanzlöcher auf zwei Längsseiten für die L-Balken(2) und die SL-Balken (Abb. 43).

Die Ausarbeitung der schrägen Zapfenlöcher in den O-Q-Balken(2) erfolgt durch die Brückenbaumänner verschieden: Die Xiajian-Meister fertigen sie genauso wie die Q-Balken(1) (Abb. 25). Die Xiaodong-Meister legen die Neigung der O-S-Balken(2) auf 4-Zehntel-Wasser fest (Abb. 43), und danach wird die Zapfenneigung auf dem O-Q-Balken(2) berechnet und gezeichnet



Abb. 42 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Meister Wu Fuyong benutzt für Anzeichnung und Kontrolle der Ausarbeitung der schrägen Zapfenlöcher zwei in einem bestimmten Winkel miteinander verbundene Bretter.



Abb. 43 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. O-Q-Balken(2) mit Tintenlinien auf der Stirnseite. Die Linien geben die Neigung der Zapfenlöcher mit 4-Zehntel-Wasser an.

9) Liegende Balken des zweiten Bogensystems (L-Balken(2)) und seitlich liegende Balken (SL-Balken)

L-Balken(2) sind vergleichbar mit den L-Balken(1), aber kürzer. Die SL-Balken haben Schwalbenschwänze an ihren inneren kleinen Enden. Ihre äußeren Enden werden einfach auf dem Rahmenbalken abgelegt, ihrer Größe entsprechend mit oder ohne Kerbe.

Wegen vieler Unbestimmtheiten zu Beginn und noch während der Konstruktion, werden die Abmessungen der L- und der SL-Balken nicht vorher genau berechnet. Ihre Länge wird nach der Einstellung der O-Querbalken vor Ort auf der Konstruktion gemessen, und entsprechend werden sie gefertigt.

IV. Herstellung des Holzbogens

1. Rituale

In einem Bauprojekt gibt es viele Rituale. Abhängig von den lokalen Bräuchen und der Großzügigkeit der Besitzer können sie aufwendiger oder einfacher gefeiert werden. Grund für die Rituale ist die Hoffnung auf Glück und ein gutes Gelingen. Die Feste sind auch Gelegenheiten für die Zimmermänner, Belohnungen in Form von Sonderzahlungen vom Projektleiter/Eigentümer zu erhalten. Die Sonderzahlungen bedeuten wörtlich übersetzt „rote Papierverpackung“ (*Hongbao* 红包), weil das Geld in einer roten Papierverpackung übergeben wird. Die Sonderbelohnung ist immer ein Betrag mit einer Zahl, die eine Glücksziffer in der chinesischen Kultur enthält (6 oder 8).

Im Folgenden werden die Rituale in zeitlicher Reihenfolge vorgestellt. Manche werden immer als Feste gefeiert, andere werden viel einfacher oder gar nicht gefeiert. Dies ist abhängig von lokalen Gegebenheiten. Das wichtigste und in jedem Fall stattfindende Fest ist das Richtfest (*Dong-Fest*, siehe unten), bei dem auch die Zimmermänner ihre größte Sonderzahlung erhalten.

1) Errichten des „Holzpferts“

Ein sogenanntes Holzpferd besteht aus ein Paar Kreuzbalken und eine zusätzliche Stütze.. Zwei Holzpferde dienen als eine Werkbank. Sie werden immer an der Baustelle vor Ort hergestellt (Abb. 44, Abb. 45.).



Abb. 44 Bearbeitungsplatz der Regensburg-China-Brücke, Stadt Ningde, Fujian. Fertigung eines Holzpferts.



Abb. 45 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Die Holzpferde dienen als Werkbank. Das farbige Stück Stoff wurden für das Ritual angefügt und soll Glück bringen.

2) Markieren der Maßlatte

Das Markieren der Maßlatte (vgl. „Maßlatte“ in Abschn. II.3.(1)) stellt ein Zeichen für den Beginn der Zimmererarbeiten dar. Zuerst werden auf eine Seite des Lineals die Einheiten Chi (chinesische Füße) und Zeichen für Glück aufgetragen. Danach werden die Maße der Bauelemente und ihre Verbindungen auf den anderen zwei Seiten markiert. Die Markierungen für die Bauelemente können auch später nach Bedarf aufgetragen werden.



Abb. 46 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Das obere Ende der Maßlattewird für Glück mit rotem Stoff verbunden.

3) Aufstellung der ersten Bauelemente

Von großer Bedeutung ist der Tag der Aufstellung des ersten Bauelements für die Holzkonstruktion. Das chinesische Zeichen für den Beginn der Konstruktion lautet *Xiatu* 下土, wörtlich „auf den Boden“. Anlässlich der Aufstellung des ersten Bauelements wird der Baumeister den Erdgott (Gott jedes Bereiches / Dorfs / Platzes), den Flussgott und Lu Ban, den Vorfahren der Holzarbeiter, anbeten. Der Tag für dieses Ritual, wie andere, wird gewählt nach dem chinesischen Lunarkalender. Auch die Uhrzeit spielt hier eine Rolle. In den Projekten der Shengshuitang-Brücke und der Dongtang-Brücke beginnen die Arbeitstage im Zeitraum *Maoshi* 卯时, nämlich früh zwischen 5 und 7 Uhr und damit früher als die normalen Werktage.

Für eine Holzbogenbrücke ist das erste Bauelement normalerweise ein mittlerer schräger Längsbalken für das erste System. Im Brückenbauprojekt in Shengshuitang war das Gerüst nicht rechtzeitig fertig, und so wurden zuerst die Feldherrensäulen eingestellt.

Im Projekt in Dongtang war es wegen des rutschigen Raureifs am Morgen im Winter gefährlich, im frühen Morgen auf dem Gerüst zu arbeiten. Deshalb wurde der erste Balken am Vortag an seine Stelle gesetzt. Allerdings hatte man darauf geachtet, dass der Balken nicht den Boden berührt, und legte, um dies zu vermeiden, ein kleines Holzstück unter den Balkenfuß (Abb. 47). Während des Rituals am nächsten Morgen wurde dieses Stück Holz einfach herausgenommen und der Balken eingepasst.



Abb. 47 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Für das *Xiatu* am kommenden Morgen wurde der mittlere S-Balken(1) am Abend zuvor an seine Stelle gesetzt, und mit einem kleinen Holzstück wurde verhindert, dass er den Boden berührt.

4) Schließen des ersten Systems

Helong 合龙, wörtlich „den Drachen schließen“, bedeutet die Fertigstellung des ersten Systems, nämlich die Einstellung der ersten mittleren liegenden Balken und die Verbindung beider Seiten der Konstruktion. *Helong* ist ein Symbol dafür, dass die gefährlichsten Arbeiten beendet sind.



Abb. 48 Baustelle der Demonstration-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. 2001. Ein Brückenbauprojekt für den Dokumentarfilm „Suche nach der Regenbogenbrücke“ von Meister Zheng Duojin. „Den Drachen schließen“. (Foto von Gong Difa).

5) Schlagen des Baums für das Bauelement von „Dong“

Dong 栋 lautet die Bezeichnung für den mittleren oberen Balken eines Gebäudes. Entsprechend den verschiedenen Bräuchen in den Gebieten Südchinas kann es sich dabei um die Dachpfette oder um den Balken darunter handeln (Liu, 2016). In der chinesischen Kultur wird dieses Bauelement nahezu verehrt. Das *Dong* stellt ein festes Symbol eines Gebäudes dar.

Der Baum für das *Dong* wird sorgsam ausgesucht, geschlagen und bearbeitet. Für das Schlagen des Holzes gibt es auch ein spezielles Ritual.



Abb. 49 Baustelle einer Holzbogenbrücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Nov. 2013. Während der gesamten Konstruktionszeit lag der Baumstamm für das *Dong* am Ufer des Flusses und war mit rotem Stoff bedeckt.

6) Richtfest bzw. *Dong*-Fest

Die Aufstellung des *Dong* ist das wichtigste Fest für ein Bauprojekt in China. Es werden Essen und Wein angeboten, eine religiöse Zeremonie wird abgehalten, Musik wird gespielt, und es werden Feuerwerkskörper geschossen. Das *Dong*-Fest symbolisiert den Abschluss der Holzarbeiten und ist auch ein Fest für das Glück für das Gebäude und seine Besitzer und Benutzer. In früher Zeit, als der Baumeister noch wie alle anderen Zimmermänner nach Werktagen bezahlt wurde, erhielt er am Ende des *Dong*-Fests einen besonderen Geldbetrag in einer roten Papierverpackung.



Abb. 50 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. *Dong*-Fest für die Brücke. Das *Dong* (in dieser Brücke ist es die Dachpfette) wird vor dem Fest mit rotem Stoff abgedeckt. Das Fest wird neben der Brücke gefeiert.



Abb. 51. Regensburg-China-Brücke, Wiesent, Bayern, Deutschland. Auf dem *Dong* (in dieser Brücke ist es der Balken unter der Dachpfette) ist immer den Informationen (bes. Datum und manchmal Namen der Zimmermann) Bauprojekt zu finden. Im Fall der Regensburg-China-Brücke, werden Namen des Architekten (des Autors) und der Baumeister darauf aufgenommen.

2. Pfeiler

Vor Beginn der Holzarbeiten sind die Entscheidungen für eine geeignete Stelle am Ufer und das Steinwerk wesentlich. Naturfels ist immer die beste Wahl. Wenn das Ufer zu weich ist, wird Kiefernholz als Pfahlgründung in die Erde eingeschlagen. Brückenpfeiler werden aus Stein gefertigt, aus natürlichem Kieselstein oder Quaderstein. Die Pfeiler werden in Form äußerer Steinmauern mit mit Bruchstein gefüllt in Innen (Abb. 52 b–d und Abb. 53).

Die Pfeiler werden unter Anleitung der Brückenbaumeister gebaut. Vor Baubeginn erkundigt sich der Meister nach dem jährlich höchsten Wasserstand. Die Bogenfüße müssen darüber gesetzt werden.



a. Shunde-Brücke, Landkreis Longquan, Zhejiang. Eine auf einem natürlichen Felsen gebaute Holzbogenbrücke.



b. Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Pfeiler gebaut aus unverarbeiteten Steinen.



c. Yangxitou-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian.
Pfeiler gebaut aus Bruchsteinen.



d. Dachikeng-Brücke, Landkreis Jingning, Fujian.
Pfeiler gebaut aus Werksteinen.

Abb. 52 Pfeilerarten für MZ-Holzbogenbrücken.



Abb. 53 Yuqing-Brücke, Wuyishan, Fujian.
Abgebrochener Pfeiler. Der Raum zwischen den
Steinmauern ist mit Bruchstein gefüllt.

In der Regel stellen die Brückenbaumeister die Pfeiler vor Beginn der Holzarbeiten fertig. Die Xiaodong-Meister machen es anders. Zur Erleichterung der Arbeit an der Konstruktion des Holzbogens errichten sie die Pfeiler zunächst in halber Höhe. Erst nach Fertigstellung des Gewebebogens werden die Pfeiler vollständig aufgebaut (Abb. 54).



Abb. 54 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis
Jingning, Zhejiang. Während der Konstruktion dieser
Brücke werden die Pfeiler zunächst nur in halber
Höhe errichtet.

3. Herstellung der unteren Konstruktion

Ein typischer heutiger Bauprozess:

Gerüst

Erstes System:

Fußbalken

Schräge Balken (S-Balken(1))

Querbalken (Q-Balken(1))

Liegende Balken (L-Balken(1))

Feldherrensäulen

Zweites System:

Fußbalken

Untere schräge Balken (U-S-Balken(2))

Untere Querbalken (U-Q-Balken(2))

Obere schräge Balken (O-S-Balken(2))

Obere Querbalken (O-Q-Balken(2))

Liegende Balken (L-Balken(2))

Äußeres Paar der seitlichen liegenden Balken (äußere SL-Balken / Kantenbalken)

X-förmige Stütze

Nebelstütze

Seitlich liegende Balken (SL-Balken)

1) Das Gerüst

Das Plattform-Gerüst

In schmalen und seichten Flüssen ist ein Gerüst aus Pfosten und Balken in Form einer Plattform eine sichere Konstruktionshilfe. Darauf arbeiten die Zimmermänner für die Konstruktion der Holzbogenbrücke.

Höhe und Stelle der Plattform werden sorgsam bestimmt. Während der Konstruktion der Brücke stützt die Plattform die S-Balken(1) und darf dabei die Längsbalken(2) nicht behindern. Die Höhe der Plattform ist richtig, wenn die oberen Ränder des Gerüsts unter dem Oberteil der S-Balken(1) liegen und damit ein bisschen unter der Stelle, wo sich die O-S-Balken(2) mit den S-Balken(1) überkreuzen. Die Plattform kann ein bisschen niedriger sein, denn die richtige Lage der Längsbalken kann mit Holzstücken erreicht werden.

Im Dongtang-Projekt haben die Ränder des Gerüsts einen Abstand von 1,5 m zu den Q-Balken(1). Ihre Höhe wird nach der Steigung der S-Balken(1) berechnet.



Abb. 55 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Stahlrohrgerüst an der Baustelle. Das Seil, das beide Uferseiten verbindet, dient als Richtwaage, um die Höhe des Gerüsts zu kontrollieren.



Abb. 56 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Der seitliche Rand des Gerüsts befindet sich 1,5 m von den Q-Balken(1) entfernt. Höhe und Positionierung des seitlichen Rands des Gerüsts dürfen die O-S-Balken(2) nicht behindern. In der Abbildung prüft ein Zimmermann die Positionierung des O-S-Balkens mit der Maßlatte.

Das Pfahlrahmen-Gerüst

Wenn Brücken auf einem Kliff oder über tiefem Wasser aufzubauen sind, ist ein Gerüst aus dichten Pfosten und Balken fast unmöglich. Um Material zu sparen, errichteten die Brückenbaumänner in früher Zeit ein ausgeklügeltes, aber gefährliches Gerüst – das Pfahlrahmen-Gerüst. Es wird auf vier großen Pfählen aufgebaut. Zusammen mit ein paar Balken bilden sie einen Rahmen. Die Pfähle stehen auf dem Grund des Flusses und sind etwa 2 m höher als die Bogenkonstruktion. Um die notwendige Höhe zu erreichen, werden manchmal zwei oder drei Baumstämme miteinander verbunden.

Für die Aufstellung des Pfahlrahmen-Gerüsts, wenn das Flussbett tief und breit ist, werden die Pfähle mit einen paar Bambusflöße auf das Wasser gebracht. Ein Ende der Pfähle wird dann mit Steinen verbunden und unter Wasser gesenkt.

Die beide Pfahlrahmen des Gerüsts können auch mit Seilen vom Ufer aus errichtet werden (Abb. 58).

Die unteren Balken des Pfahlrahmens dienen, ähnlich wie die Randbalken des Plattform-Gerüsts, der Unterstützung der S-Balken(1) und lassen die O-S-Balken(2) zwischen den S-Balken(1) durchgehen. Die oberen Balken des Pfahlrahmens dienen als eine Art „Seilrolle“: Anders als beim Plattform-Gerüst, gibt es im Pfahlrahmen-Gerüst keine Plattform, die als Arbeitsplatz über dem Fluss dient. Deshalb werden die mittleren Bauelemente des Gewebebogens zuerst zur Flussmitte transportiert und dann mit Seilen nach oben gezogen.

Die Konstruktion einer Brücke mit einem Pfahlrahmen-Gerüst erfordert viel Geschick und ist lebensgefährlich; selbst für erfahrene Brückenbaumänner ist die Arbeit auf einem Pfahlrahmen-Gerüst nicht leicht. Der Brückenbaumeister Dong Zhiji berichtete vom Bau der Yangmeizhou-Brücke (Abb. 1) im Landkreis Shouning, der 1937 stattfand. Der Brückenbaumeister war Wu Daqing aus Xiaodong, ein Kollege der berühmten Xiaodong-Meister. Wu Daqing konnte Holzbogenbrücken bauen, wagte aber keine Konstruktion über tiefem Wasser. Deshalb beauftragten die Besitzer der Brücke die Xiajian-Meister mit dem

Bau des Gewebebogens. Hier ist anzumerken, dass die Xiajian-Meister viel weiter von der Baustelle entfernt wohnten als die Xiaodong-Meister, und dies weist darauf hin, dass die Xiajian-Meister eine bessere Technik und Reputation haben mochten als die Xiaodong-Meister. Ein alter Xiajian-Meister kam mit zwei Gruppen von Brückenbaumännern: Eine Gruppe konnte gut schwimmen und im Wasser arbeitend das Pfahlrahmen-Gerüst aufbauen. Die andere Gruppe arbeitete auf dem Gerüst. Nach der Fertigstellung des Gerüsts kehrten die Brückenbaumänner, die im Wasser gearbeitet hatten, nach Hause zurück. Der Xiajian-Meister verließ die Baustelle mit den anderen Brückenbaumännern nach Fertigstellung des Gewebebogens.

Doch auch für die erfahrenen Xiajian-Meister ist die Konstruktion auf dem Pfahlrahmen-Gerüst lebensgefährlich. Der Meister Zhang Changzhi erlebte in seiner Jugend einen tödlichen Unfall, als ein Brückenmann vom Gerüst fiel.



Abb. 57 Shijin-Brücke, Landkreis Pingnan, Fujian. Konstruktion mit dem Pfahlrahmen-Gerüst. Ein Demonstrationsprojekt für die UNESCO. Bauleiter ist Meister Huang Chuncai. (aus: Pingnan, 2009)



Abb. 58 Baustelle der Demonstration-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. 2001. Errichtung der Pfahlrahmen mit Seilen und Hebevorrichtung. (aus: CCTV, 2001)

2) Erstes Bogensystem – Der dreiseitige Bogen

Bauausführung mit Hilfe eines Plattform-Gerüsts

Beim Errichten einer Brücke über ein Plattform-Gerüst werden zuerst die Q-Balken(1) auf die Plattform bewegt. Dafür werden Rundhölzer über den Fluss gelegt, die die Pfeiler und die Plattform verbinden. Sie dienen als Weg für die Arbeiter und als Gleise für den Transport der Bauteile. Nachdem die schweren Querbalken auf die Plattform gebracht sind, werden die S-Balken eingesetzt. Die S-Balken müssen von beiden Seiten abwechselnd eingesetzt werden, um das Gerüst im Gleichgewicht zu halten.



Abb. 59 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Die Q-Balken(1) werden mit Seilen und Holzstangen über ein Gleis in Richtung der mittleren Plattform bewegt.



Abb. 60 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Die Q-Balken(1) werden über ein Gleis auf die Plattform gerollt.



a. Das Holz am oberen Rand des steinernen Pfeilers dient als Drehachse. Dort lässt eine Gruppe Arbeiter über Seile den S-Balken nach unten, so dass sein Balkenfuß auf dem Auflager aufsetzt.



b. Dann wird der Balken mit den Seilen langsam zur Gerüstplattform bewegt. Sein Zapfen wird gegen das Zapfenloch des Querbalkens gelegt.

Abb. 61 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Aufstellung der S-Balken.



a. Der S-Balken wird auf das Gerüst bewegt.



b. Dann wird ein Ende des S-Balkens mit Seilen auf das Auflager herabgelassen.

Abb. 62 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Aufstellung der S-Balken.

Wenn die S-Balken an die richtige Stelle gebracht sind, werden die Querbalken auf ihre Zapfen gesteckt (Abb. 63).



- a Vor dem Aufsetzen des Querbalkens kontrollieren die Brückenbaumänner die Höhe der Zapfen mit einer Schnur.
 b. Der Querbalken wird auf die Zapfen der S-Balken aufgesetzt und mit Baumstämmen angedrückt.
 c. Für die strukturelle Stabilität werden die Querbalken vor Ort genau angepasst (siehe Abschn. V.1.(6)).

Abb. 63 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Aufstellung der Q-Balken(1).

Die Zapfen reichen zum Teil in die Aussparungen für die Schwalbenschwanzverbindungen hinein. Sie werden dann der Form der Aussparungen entsprechend abgearbeitet.



Abb. 64 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Die Ecke des Zapfens wird der Form der Aussparungen im Querbalken entsprechend abgearbeitet.

Nachdem S-Balken und Querbalken verbunden sind, kommen die L-Balken. Sie haben Schwalbenschwänze an beiden Enden. Sie werden von oben in ihren Zapfenlöchern in den Querbalken eingedrückt. Der Abstand zwischen den Querbalken wird durch Holzkeile angepasst.

Das äußere Paar von L-Balken wird zuerst eingesetzt. Danach folgt der mittlere L-Balken. Andere sind die letzten.



Abb. 65 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Einstellung der L-Balken(1). Zuerst wird das Paar der seitlichen L-Balken eingestellt.



Abb. 66 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Wenn die Aussparungen in den Querbalken zu eng sind, wie es oft der Fall ist, werden sie vor Ort angepasst.

Nachdem das erste Bogensystem fertiggestellt ist, muss der Meister Höhe und Ausrichtung des Bogens kontrollieren.

Zugunsten der strukturellen Stabilität der Brücke müssen die S-Balken zur mittleren Längsachse der Brücke hin geneigt gesetzt sein, d.h. an den oberen Enden sind die Abstände zwischen den S-Balken geringer als an den unteren Enden, und die gesamte Breite in der Mitte des dreiseitigen Bogens ist ca. 30 cm schmaler als die Breite an den Bogenfüßen. Dieser Unterschied in der Breite entspricht einem Durchmesser der Feldherrensäule. An den Bogenfüßen stehen die S-Balken(1) außerhalb der Feldherrensäulen, ihre oberen Enden befinden sich aber in derselben vertikalen Ebene der Feldherrensäulen. Demgemäß lässt sich die Ausrichtung der Konstruktion kontrollieren (Abb. 67)

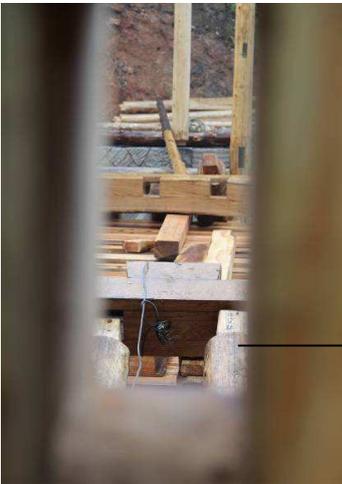


Abb. 67 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Meister Wu Fuyongs Methode, die Ausrichtung des dreiseitigen Bogens zu prüfen: Er blickt durch das Zapfenloch einer Feldherrensäule in Richtung des gegenüberliegenden Zapfenlochs in der Feldherrensäule am anderen Ufer. Die beiden Zapfenlöcher sollen eine virtuelle Linie bilden, mit der die Tintenlinien auf den oberen Balkenenden(1) zusammenfallen sollen.



Abb. 68 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Meister Wu Dagen (links) prüft die waagerechte Ausrichtung des Bogens.

Bauausführung mit dem Pfahlrahmen-Gerüst

Die Brückenkonstruktion mit Hilfe eines Pfahlrahmen-Gerüsts ist eine besondere Technik der Xiajian-Meister. Wie oben beschrieben, wagte der Xiaodong-Meister Wu Daqing, ein Cousin des heutigen Meisters Wu Dagen, die Errichtung der Yangmeizhou-Brücke über tiefem Wasser nicht. Somit beauftragten die Besitzer der Brücke einen Xiajian-Meister aus einem entfernten Ort mit dem Bau des Gewebebogens. Dieser Meister führte eine systemisch und professionell organisierte Arbeitsgruppe.

Wu Dagen sagte dem Autor, er habe diese Bautechnik des Pfahlrahmen-Gerüsts nicht ererbt.

Die durch den Autor untersuchten Brücken in Südostchina, die über tiefe Flussbetten führen, wurden meist durch die Zhang-Familie der Xiajian-Meister errichtet. Dazu gehören u.a. die Jielong-Brücke (Einführung, Abb.3), die Yangmeizhou-Brücke (Abb. 1), und die Houlong-Brücke (Abb. 69).

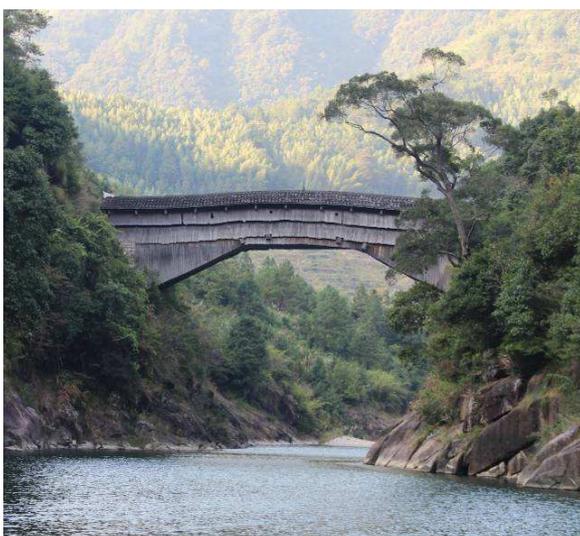
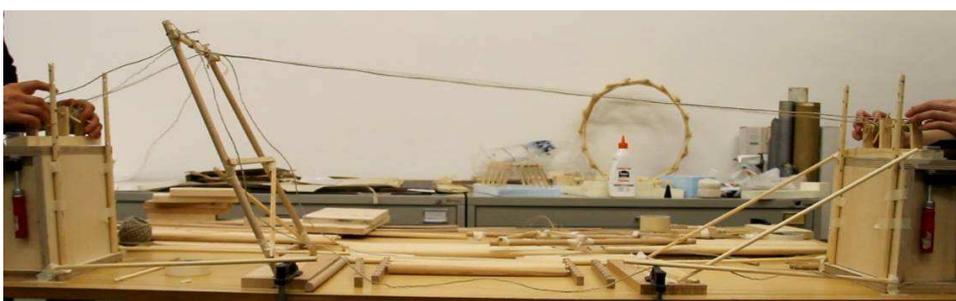
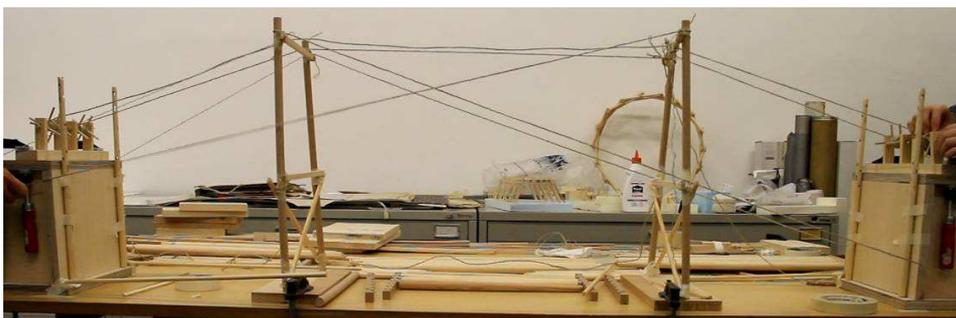


Abb. 69 Houlong-Brücke, Landkreis Zhouning, Fujian.

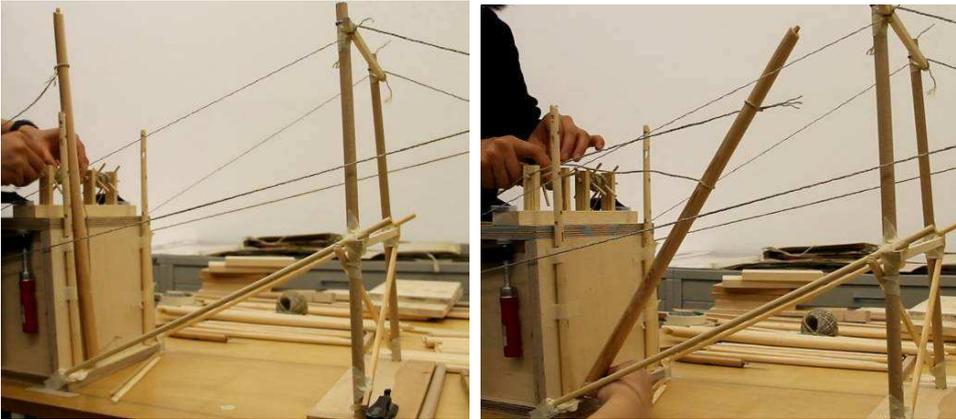
Nach Beschreibungen von Meister Zhang Changzhi, der am Bau der Houlong-Brücke beteiligt war, und von Meister Dong Zhiji, der die Konstruktion der Yangmeizhou-Brücke bezeugte, konnte der Autor den Bauprozess einer Holzbogenbrücke im Modell nachvollziehen und hier anhand von Abbildungen demonstrieren:



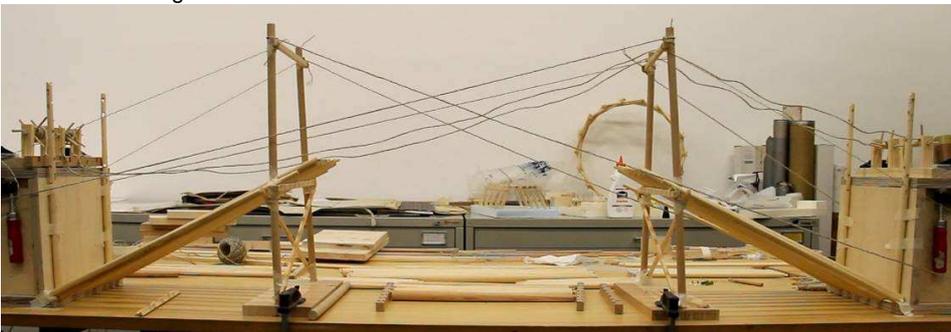
a. Der Pfahlrahmen für das Baugerüst kann entweder, wie oben beschrieben, mit Bambusflöße auf das Wasser gebracht und abgeseht werden, oder mit Seilen vom Ufer an den entsprechenden Ort gezogen werden.



b. Die Pfahlrahmen werden mit Seilen am Ufer befestigt.



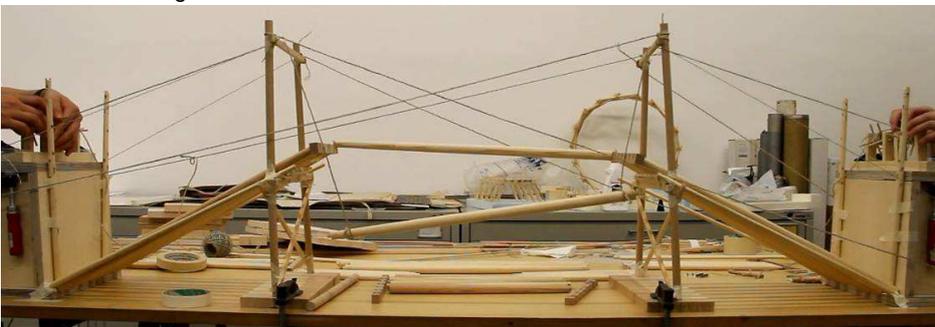
c. Der S-Balken wird über den Pfeiler geschwenkt und auf dem Boden abgestellt. Dann wird sein oberes Ende mit Hilfe von Seilen herabgelassen.



d. Wenn die S-Balken in Position gebracht sind, werden auf dem Wasser mit Flöße die Balken des mittlern Teils des Bogens zur Mitte des Flusses transportiert.



e. Die Querbalke werden mit Seilen von der Wasseroberfläche abgehoben. Die Brückenbaumänner stehen auf dem Gerüst und bewegen die Querbalke an ihre Stellen.



f. Die L-Balken werden ebenfalls nach oben gezogen und durch die Brückenbaumänner eingesetzt.

Abb. 70 Modell für eine chinesische Holzbogenbrücke. Konstruktion des dreiseitigen Bogens mit dem Pfahlrahmen-Gerüst.



Bambusdübel

Bambusdübel

Abb. 71 Rote-Armee-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. In die S-Balken(1) geschlagene Bambusdübel erleichtern den Brückenbaumännern den Auf- und Abstieg.

3) Feldherrensäulen

Bevor mit dem Bau des zweiten Bogensystems begonnen werden kann, müssen die Rahmen der Feldherrensäulen errichtet sein. Die Fußbalken(2) kommen darauf zu liegen.

Die Feldherrensäulen sind die einzigen Bauelemente einer Holzbogenbrücke, die die untere Konstruktion mit dem Korridor verbinden. Deshalb sind sie für die Stabilität der Konstruktion von großer Bedeutung. Es gibt auch Fälle, in denen diese Säulen nicht lang genug sind, um den Korridor zu erreichen. In solchen Fällen enden die „Halbfeldherrensäulen“, die an denselben Stellen der Feldherrensäulen stehen, aber nur halb so hoch sind, unter dem seitlichen SL-Balken (vgl. Feldherrensäulen in Abb. 72 und Halbfeldherrensäulen in Abb. 73).



Abb. 72 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Die Fußbalken(2) an den Bogenfüßen liegen auf den Feldherrensäulen.



Abb. 73 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Halbfeldherrensäulen. An den oberen Enden befinden sich Zapfen, womit die seitlichen SL-Balken verbunden werden.

Drei Gründe gibt es für den Einsatz bzw. die Verwendung von Halbfeldherrensäulen. Ein Grund ist die Arbeitsteilung zwischen den Brückenbaumännern, die nur die untere Konstruktion errichten und oft von außen für das Projekt ankommen, und den Zimmermännern, die den Korridor aufbauen und in der Regel lokale Dörfler sind. Diese Arbeitsteilung muss aber nicht unbedingt zur Verwendung von Halbfeldherrensäulen führen. Die oben (in der Einführung) erwähnte Jielong-Brücke besitzt durchgehende Feldherrensäulen, obwohl die untere Konstruktion und der Korridor von zwei verschiedenen Arbeitsgruppen errichtet worden sind. Ein weiterer Grund für die Verwendung von Halbfeldherrensäulen ist ein Mangel an entsprechend langen Hölzern, wie beispielsweise beim Bau der Dongtang-Brücke. Für die Feldherrensäulen wird immer das qualitativ hochwertigste Holz benutzt. Ein dritter Grund ist ein späterer Umbau, wie das

Beispiel der Rulong-Brücke im kommenden Kapitel zeigen wird.

Nachdem die Rahmen der Feldherrensäulen mit ihre Binderbalken inzwischen errichtet sind, werden die die kleineren Säulen dazwischen eingestellt.

4) Zweites Bogensystem – Der fünfseitige Bogen

Fast alle Brückenbaumeister (mit der Meister Wu Fuyong als die einzige Ausnahme) errichten den fünfseitigen Brückenbogen von unten nach oben, d.h. zuerst die Fußbalken, dann die U-Querbalken und die U-S-Balken, die O-Querbalken und die O-S-Balken und abschließend die L-Balken. Meister Wu Fuyong hingegen stellt zuerst die O-S-Balken (und die entsprechenden Querbalken) und danach die U-S-Balken ein (siehe Abschn. V.1.(5)).

Beim Errichten des zweiten Bogensystems einer Holzbogenbrücke gibt es einen sehr wichtigen Arbeitsschritt: das *Choudu* 抽度, wie ihn die Xiajian-Meister nennen, oder auch „Querbalkenschlag“ bzw. *Niutou Zhuang* 牛头撞, wie ihn die Changqiao-Meister bezeichnen. Hierzu später mehr. Im Folgenden wird der typische Prozess der Konstruktion eines fünfseitigen Bogens vorgestellt.



a. Wenn die Fußbalken quadratisch sind, müssen sie den Feldherrensäulen angepasst werden.



b. Dann werden die U-Querbalken mit Bambusdübeln auf den S-Balken(1) befestigt. Die U-Querbalken befinden sich jetzt noch etwas höher als in ihrer endgültigen Position.



c. Nachdem die U-Querbalken befestigt sind, werden die U-S-Balken eingestellt. Bei den Brücken der Xiaodong-Meister haben die U-S-Balken an beiden Enden Zapfen, die in die Zapfenlöcher in den Fußbalken und den U-Querbalken eingesetzt werden. Bevor der Querbalken auf den U-S-Balken gesetzt wird, werden die oberen der S-Balken mit kleinen Hölzern unterstützt.



d. Nachdem die U-S-Balken in Position gebracht sind, wird der Querbalken auf die Zapfen der U-S-Balken gesetzt.



e. Die Verbindung zwischen U-S-Balken und Querbalken wird mit einer Eisenstange verdichtet.



f. Für die Verfestigung der Verbindung zwischen U-S-Balken und Querbalken wird auch der Hammer verwendet.



g. Sobald die Unterkonstruktion des fünfseitigen Bogens fertig ist, wird die genaue Länge der O-S-Balken bestimmt. Sie werden vor Ort eingepasst.



Tintenmarkierung

h. Die Position der O-Querbalke wird auf dem L-Balken markiert. In der späteren Bauphase wird die Lage der Querbalke danach kontrolliert.



i. Einsetzen der O-S-Balken. Die Zinken an ihren unteren Enden werden in die Ausarbeitungen (Schwalbenschwänze) in dem U-Q-Balken(2) eingesetzt. Ihre oberen Enden werden mit kleinen Hölzern unterstützt.



j. Nach Einsetzen der O-S-Balken, werden die O-Querbalke auf die Zapfen aufgesetzt und andrückt. Das Festdrücken der Verbindungen ist die Stufe „Querbalkeenschlag“ bzw. das Choudu. Ein Baumstamm wird dafür als Hammer benutzt. Eine Eisenstange dient dem gleichen Zweck.



k. Nachdem die Querbalke eingesetzt sind, wird vor Ort die Länge der L-Balken und SL-Balken bestimmt.



l. Die Länge jedes einzelnen L-Balkens wird vor Ort bestimmt. Danach werden die L-Balken kontrolliert und angepasst.



m. Einstellen der L-Balken. Ihre Zinken werden mit einem Baumstamm in die Schwalbenschwänze eingedrückt. Wenn die Arbeit mit den L-Balken beendet ist, ist der gesamte Gewebebogen geschlossen.



n. Nach Fertigstellung des Gewebebogens wird das Gerüst teilweise abgebaut. Es darf nun nicht mehr den Bogen der Brücke berühren. So wird vermieden, dass im Falle einer Beschädigung des Gerüsts durch Wasser auch der Brückenbogen beschädigt wird.

Abb. 74 Baustelle der Dongtang-Brücke. Konstruktion des fünfseitigen Bogens.

Der Querbalkenschlag der Changqiao-Meister

Für den Querbalkenschlag, bei dem die Brückenbaumänner den Querbalken mit einem großen Baumstamm gegen die O-S-Balken schlagen, verwendet Meister Huang Chuncai eine besondere Prüfungsmethode: Zwischen die S-Balken(1) und die stützenden Balken des Gerüsts legt er Holzkeile, die dazu dienen, die Höhe der S-Balken anzupassen. Während des Querbalkenschlags wird der Gewebebogen der Brücke so dicht zusammen gedrückt, dass die Konstruktion höher bzw. der Bogen steiler wird. Dabei trennt sich der Brückenbogen vom stützenden Gerüst und die Holzkeile fallen ins Wasser. Der Fall dieser Keile ist ein Zeichen dafür, dass die Querbalken ihre richtigen Positionen erreicht haben.

Der Querbalkenschlag ist bei den Chanqiao-Meistern so kräftig, dass die Zapfenlöcher auf den O-Q-Balken(2) erst im Anschluss des Querbalkenschlags ausgearbeitet werden. Andernfalls besteht die Gefahr, die Querbalken, in die zahlreich Löcher eingearbeitet sind, durch den Schlag zu beschädigen.



Holzkeile

Abb. 75 Baustelle der Shijin-Brücke, Landkreis Pingnan. Konstruktion durch Meister Huang Chuncai. (aus: Pingnan. 2009.)

5) Die äußeren SL-Balken bzw. Kantenbalken

Die vier **äußeren** SL-Balken werden bei den Xiajian-Meistern wörtlich als „Kantenbalken“ bezeichnet. Sie können gleichzeitig mit oder kurz nach den L-Balken eingestellt werden, auf jeden Fall aber vor Aufrichtung der mittleren Stützen. Bei Brücken mit Feldherrensäulen laufen die Kantenbalken durch die Feldherrensäulen hindurch. Bei Brücken mit Halbfeldherrensäulen liegen sie auf diesen Säulen.



Abb. 76 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Die Kantenbalken und die Feldherrensäulen sind verbunden durch durchgehende Zapfen an den Enden der Kantenbalken.



Abb. 77 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Ein SL-Balken liegt auf einer Halbfeldherrensäule. Die Länge des Balkens wird vor Ort mit einer Säge angepasst.

6) X-förmige Stützen

Die X-förmigen Stützen werden als „Schere-Stützen“ 剪刀撑 in Chinesischen bezeichnet. Sie verbinden die Feldherrensäulen und die Querbalken des Gewebebogens. Sie dienen der Stabilität der Rahmen der Feldherrensäulen. In größeren Brücken werden meistens zwei Paar X-förmiger Stützen benutzt, um die Q-Balken(1) und die U-Q-Balken(2) zu verbinden. Bei kleinen Brücken ist ein Paar X-förmiger Stützen ausreichend, wie die Beispiele der Shengshuitang-Brücke und der Dongtang-Brücke zeigen. Bei sehr großen Brücken werden drei Paar Stützen verwendet (Abb. 78).

Die Ausrichtung der X-förmigen Stützen muss mit Sorgfalt bestimmt werden, so dass sie sich nicht gegenseitig oder die Querbalken des Bogens behindern. Deshalb arbeiten viele Brückenbaumänner ihre Zapfenlöcher nur vor Ort aus.



Abb. 78 Fushou-Brücke. Landkreis Shouning, Fujian. Drei Paar X-förmiger Stützen.



a. Das untere Ende des Balkens einer X-förmigen Stütze wird durch ein Zapfen mit dem Halfeldherrenbalken verbunden.



b. Das obere Ende des Balkens einer X-förmigen Stütze wird durch eine einfache Kerbe mit dem Querbalken verbunden, die Verbindung wird später durch eiserne Nagel feststellt.

Abb. 79 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Verbindungen der X-förmigen Stützen werden vor Ort ausgearbeitet.

7) Liegende Balken (L-Balken)

Nach der Einstellung der X-förmigen Stützen werden die übrigen L-Balken eingesetzt. Die Brücke ist jetzt geschlossen



Abb. 80 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Mit Baumstämmen als Hammer werden die Zinken der SL-Balken in ihre Schwalbenschwänze eingeschlagen.



a. Shengshuitang-Brücke

b. Dongtang-Brücke

Abb. 81 Wenn die SL-Balken fertig sind, ist die untere Konstruktion der Brücke geschlossen.

8) „Froschschenkel-Konstruktion“

Nach dem Einsetzen der SL-Balken werden die mittleren Stützen der SL-Balken aufgebaut. Sie werden ihrer gefalteten Form entsprechend als „Froschschenkel“-Konstruktion oder „Pferdebein“-Konstruktion bezeichnet. Die Froschschenkel-Konstruktion ist häufig zusammengesetzt aus einem oberen Querbalken, einer Gruppe von vertikalen Stützen, die auf dem U-Q-Balken(2) stehen, einer Gruppen von schrägen Stützen („Unterschenkel“), die auf den Pfeiler drücken sowie einer Gruppe von flachen schrägen Stützen („Oberschenkel“), die mit den Querbalken verbunden sind (Abb. 79). Bei kleineren Brücken, deren SL-Balken kurz sind, braucht man nicht die vollständige „Froschschenkel-Konstruktion“ zu errichten. Die eine oder die andere Stützengruppe ist entbehrlich. Zum Beispiel gibt es in der Rulong-Brücke (siehe Kap. VI) die Gruppe von vertikalen Stützen nicht. Im Fall der Shengshuitang-Brücke (Abb. 83 a) fehlt sogar die komplette „Froschschenkel-Konstruktion“



a. Nachdem die SL-Balken in Position gebracht sind, werden die oberen Balken der „Froschschenkel“-Konstruktion seitlich an den SL-Balken befestigt. Die genaue Länge der Stützen wird vor Ort bestimmt.



b. Die fertiggestellte „Froschschenkel“-Konstruktion“ mit oberem Querbalken, vertikalen Stützen auf dem U-Q-Balken(2), schrägen Stützen auf dem Pfeiler (die „Unterschenkel“) und schrägen Stützen auf dem Q-Balken(1) (die „Oberschenkel“).

Abb. 82 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Aufstellung der „Froschschenkel-Konstruktion“.



a. Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Diese Brücke hat keine „Froschschenkel“-Konstruktion



b. Baustelle der Dongtang-Brücke

Abb. 83 Nachdem die „Froschschenkel“-Konstruktion fertig ist, wird die untere Konstruktion der Holzbogenbrücke fertiggestellt.

4. Herstellung des Brückenkorridders

Zuletzt wird der Brückenkorrridor errichtet. Die Konstruktion des Korridors ist mit den Konstruktionen der südchinesischen Häuser identisch. Es handelt sich dabei um eine Art Fachwerk ohne Streben. Die Balken gehen durch die Säulen hindurch. Sie werden als „Band“ (tie/tie beam, 穿) bezeichnet. Die Rahmen in der Querrichtung werden auf dem Boden zusammengebaut. Danach werden sie nacheinander aufgerichtet und mit längslaufenden Bandbalken zusammengebunden.



a. Der Rahmen des Fachwerks wird auf dem Boden zusammengebunden.



b. Errichtung eines Rahmens.



c. Nach Aufrichtung der Rahmen für den Korridor werden sie über Längsbalken miteinander verbunden.

Abb. 84 Regensburg-China-Brücke, Wiesent, Bayern, Deutschland. Errichten des Brückenkorridors.



a. Konstruktion der oberen Struktur.

b. Holzkonstruktion am *Dong-Fest*.

Abb. 85 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Konstruktion des Brückenkorridors

V. Die Gedanken der Brückenbaumänner

1. Strukturelles Verständnis der Brückenbaumänner

1) Ist die Brückenkonstruktion ein Bogen?

In den Schilderungen der heutigen Brückenbaumänner wird die untere Konstruktion einer Holzbogenbrücke als „unterer Bogen“ (*Xiagong* 下拱) bezeichnet. Die Zimmermänner, die 1909 für die Tingxia-Holzbogenbrücke im Landkreis Gutian, Fujian den Korridor errichteten, wurden „Meister des Bogen-Pavillons“ (*Gongtingshi* 拱亭师) genannt (Ningde, 2006, S.62).

2) Beziehung zwischen dem ersten und dem zweiten Bogensystem

Für die Brückenbaumänner ist das erste Bogensystem einer Brücke das Hauptsystem und das zweite System das Sekundärsystem. In der Sprache der Xiajian-Meister werden das Hauptsystem als Hauptbogen (*Zhenggong*, 正拱) und das Sekundärsystem als Sekundärbogen (*Fugong* 副拱) bezeichnet.

Nach Berichten traditioneller Brückenbaumänner liegt die strukturelle Funktion des dreiseitigen Bogens im Abstützen (*ding* 顶). Beim fünfseitigen Bogen ist das anders. „Im fünfseitigen Bogen gibt es keine Kraft. Es gibt keine Druckkraft, nur eine Biegekraft (*ao* 拗)“,⁶ sagt Meister Dong Zhiji. Meister Zhang Changzhi sagt: „Die Kraft ist nur im Hauptbogen zu finden. Die Funktion des Sekundärbogens ist es, den Hauptbogen festzuhalten.“⁷ Und Meister Zheng Duoxiong meint: „Der fünfseitige Bogen kann auch dem dreiseitigen Bogen helfen. Wenn es zum Beispiel eine Kraft von 100 Tonnen gibt, dann trägt der fünfseitige Bogen 30 Tonnen davon.“⁸

3) Der Querbalkenschlag bzw. *Choudu*

Die strukturelle Funktion des zweiten Bogensystems beschreiben die Xiajian-Meister mit einem besonderen Verb: *chou* 抽, und den Arbeitsschritt „Querbalkenschlag“ bezeichnen sie als *Choudu* 抽度. Wenn Meister Zhang Changzhi davon spricht, macht er mit seinen Armen eine Bewegung, als würde er etwas auseinanderziehen und biegen.

Wenn wir das Verb *chou* im Folgenden verwenden, werden wir es wie ein deutsches Verb konjugieren.

Chou kann man als „ziehen“ übersetzen, aber es ist etwas komplizierter. *Chou* bedeutet, ein Objekt aus einem umringenden Umfeld herauszuziehen, wobei das Umfeld Druck oder Reibung auf das Objekt ausübt. Im Chinesischen sagt man beispielsweise: Das Schwert wird aus der Scheide *gechout* (ausgezogen), der Gürtel wird enger um die Taille *gechout* (enger machen), der Spross einer Pflanze *chout* (entwachsen). Und im Korbflechten wird das längslaufende Gras *gechout*, während die querlaufenden Gräser dagegen drücken, um das Gewebe zu verdichten (ziehen und verdichten).

Während die Xiajian-Meister ihre Behandlung auf den O-S-Balken(2) als *Chou* bezeichnen, werden sie von anderen Brückenbaumännern häufig *ao* 拗 genannt. Es kann als „biegen“ übersetzt werden, wobei allerdings die Biegebewegung am Ende eines Balkens wirken muss.

4) Beziehung der O- und U-S-Balken(2)

Die O-S-Balken(2) gehören zu den wichtigsten Bauteilen des zweiten Bogensystems. Die U-S-Balken(2) hingegen spielen keine so bedeutende Rolle. Meister Peng Fodang (ein Xiajian-Meister) sagt über die Funktion dieser Balken: „Auf die U-S-Balken und die U-Querbalken wirkt kaum eine bzw. nur eine geringe Kraft ein. Man kann weniger U-S-Balken(2) verwenden. Wenn sie verrottet oder kaputt sind, können die

⁶ Meister Dong Zhiji im Interview mit dem Autor im Dez. 2013.

⁷ Meister Zhang Changzhi im Interview mit dem Autor im Dez.2013.

⁸ Meister Zheng Duoxiong im Interview mit dem Autor an der Baustelle der Dongtanb-Brücke, Dez. 2013.

U-S-Balken(2) alle entnommen werden, was der Konstruktion nicht schadet, um sie im Anschluss zu ersetzen.“⁹

5) Wu Fuyongs Methode

Anders als alle anderen Brückenbaumänner errichtet Meister Wu Fuyong das zweite Bogensystem mit einer speziellen Reihenfolge: Zuerst stellt er die O-S-Balken(2) und die entsprechenden Querbalken ein. Darauf folgen die L-Balken(2). Die U-S-Balken(2) werden zuletzt eingesetzt. Nachdem die O-S-Balken(2) und ihre entsprechenden Querbalken in Stelle gebracht sind, verhält sich die Konstruktion fest selbstständig (Abb. 86).

Bei den Brücken von Meister Wu Fuyong haben die U-S-Balken(2) an beiden Enden Schwalbenschwänze. Dies ist bei historischen Brücken nicht zu finden und also eine Innovation des Meisters Wu Fuyong.

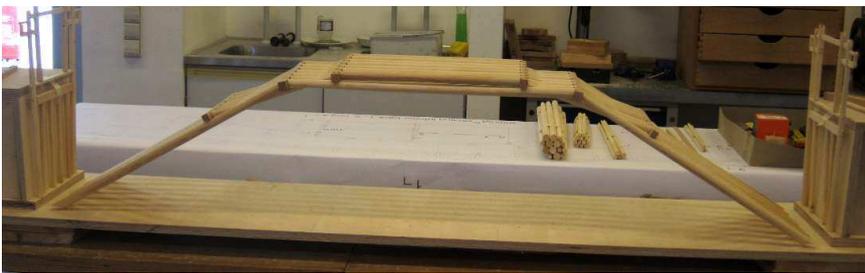


Abb. 86 Modell eines Holzbogens. Nachdem die O-S-Balken positioniert und damit „eingewebt“ sind, wird die Konstruktion im Modell so selbstständig, dass der Bogen steiler wird und dass sich die Bogenfüße von den Unterlagern weg ziehen.



a. Zuerst werden die O-S-Balken in den Bogen gewebt. Um die O-S-Balken dicht an der Konstruktion zu drücken, werden Stahlseile benutzt.



b. Die U-S-Balken werden zuletzt eingesetzt. Sie haben Schwalbenschwanzverbindungen an beiden Enden.

Abb. 87 Baustelle der Shengshuitang-Brücke. Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Bauprozess bei Meister Wu Fuyong.

6) Balkenschulter und strukturelle Stabilität

Die „Schulter“ eines Balkens (Abb. 88, siehe auch Abschn. III.3.(2)) ist auf den Längsbalken(1) zu finden. Sie ist die „übrige“ Form am Ende der Zapfen. In der chinesischen Sprache wird der Zapfen wörtlich als „Zapfen-Kopf“ (*Suntou* 榫头) bezeichnet, und damit kann der übrige Teil am Zapfenende seiner Form

⁹ Meister Peng Fodang im Interview mit dem Autor im Dez. 2013.

entsprechend als die „Schulter“ angesehen werden. Wie die Schulter im menschlichen Körper, ist die Balkenschulter ein kräftiges Bauteil in der Konstruktion einer Holzbogenbrücke. Aber ihre strukturelle Funktion wurde bisher von Wissenschaftlern übersehen. Möglicherweise liegt dies darin begründet, dass die Schulter nur der „übrige“ Teil nach dem Schneiden eines Zapfens ist.



Abb. 88 Baustelle der Dongtang-Brücke. Landkreis Jingning, Zhejiang. Balkenschulter eines L-Balkens(1)

Die Längsbalken sind an ihren oberen Enden leicht nach innen gerückt. Die Balkenschultern müssen dicht an die Querbalken drücken, um deren Bewegung zu beschränken. Deshalb sind die Balkenschultern wesentliche Maßnahmen für die Stabilität des Brückenbogens. Anders als viele Wissenschaftler glauben, erhält der Bogen seine seitliche Stabilität nicht durch die X-förmigen Stützen, sondern durch die Balkenschultern. Die X-förmigen Stützen dienen nur der seitlichen Stabilität der oberen Konstruktion, nämlich der Stabilität der Rahmen der Feldherrensäulen und der SL-Balken, die auf den Rahmen der Feldherrensäulen liegen. „Die X-förmigen Stützen haben nur den Zweck, dass eine Brücke nicht schwingt oder wackelt, wenn Menschen darüber laufen“¹⁰, sagt Meister Huang Chuncai. Weiter meint er: „In einer Brücke gibt es viele Balkenschultern, die alle im Zusammenwirken funktionieren. Aber es gibt nur wenige X-förmige Stützen. Sobald die Stützen verrotten sind, funktionieren sie nicht mehr.“¹¹ Meister Wu Dagen wählt die größten Hölzer für die L-Balken(1), weil sie somit die größten Schultern bieten können, um eine seitliche Verformung zu vermeiden.

Die von den Schultern gebotene Stabilität ist so groß, dass die Holzstruktur der Holzbogenbrücken „hat kein Furcht vor der Flut. Die echte Bedrohung der Flut ist ihr Schaden auf den Pfeilern. Die zwei von der Flut (im Jahr 1952) zerstörten Brückenfeldern der Wan’an-Brücke brachen zusammen, nur nachdem ihre Pfeilern durch den mit der Flut kam große Hölzer zerstört wurden“, sagt Huang Chuncai. Diese ist gleich für die 2016 durch der Flut zerstört Xuezhai-Brücke.

7) Funktion des Querbalkens(1)

In den früheren statischen Berechnungen wurde immer angenommen, dass die Querbalken, insbesondere diejenigen des ersten Bogensystems, stark beansprucht wären. Dieses Verständnis geht davon aus, dass die Querbalken, die die Längsbalken verbinden, die Axialkräfte des Bogens aufnehmen. Traditionelle Brückenbaumänner erklären hingegen, dass auf die Querbalken des ersten Bogensystems nur eine geringe Druckkraft ausgeübt wird. Die Längsbalken des Bogens treffen mit ihren Enden in den Zapfenlöchern, also innerhalb der Querbalken aufeinander, und deshalb werden die Axialkräfte direkt von den L-Balken auf die S-Balken durch ihre miteinander verbundenen Zapfen übertragen. „Die Querbalken funktionieren als Klebstoff, sie halten die L- und S-Balken zusammen“,¹² sagt Meister Wu Dagen. „Die einzige Sorge ist, dass sich die Querbalken spalten, weshalb sie mit Eisen gebunden werden“. Von dem gleichen Verständnis der Funktion des Querbalkens wurde dem Autor auch von einem Xiajian-Meister, Meister Peng Fodang, berichtet.¹³

Die Aussagen anderer Brückenbaumänner können diese Theorie bestätigen und verbessern. Auf die

¹⁰ Meister Huang Chuncai im Interview mit dem Autor im Dez. 2013 in Pingnan, Landkreis Pingnan, Fujian.

¹¹ Ebd.

¹² Meister Wu Dagen im Interview mit dem Autor auf der Baustelle der Dongtang-Brücke. Dez. 2013.

¹³ Meister Peng Fodang im Interview mit dem Autor in Zhouning. Dez. 2013.

Q-Balken(1) wird auch eine Druckkraft ausgeübt, da die Druckkraft nicht nur über die Balkenzapfen geleitet wird, sondern auch über die Balkenschultern, die direkt an die Querbalken drücken. „Die unteren Hälften der Balkenschultern (auch „Kinn“ genannt, vergleichen Abb. 26) sind besonders dicht an den Querbalken zu pressen“,¹⁴ sagt Meister Dong Zhiji. „Die Kinne nehmen die Hälfte der Kräfte auf und verteilen die Druckkraft auf die Balkenzapfen, um die Balkenzapfen zu schützen, die sonst leichter gespalten würden“,¹⁵ sagt Meister Zheng Duoxiong.

2. Wahl der Verbindungsart

Wenn Bauwissenschaftler über die Wahl einer Holzverbindung diskutieren, denken sie normalerweise an ihre mechanischen Eigenschaften. Ein Schwalbenschwanz beispielsweise kann Zugspannung aufnehmen, während ein gerader Zapfen dies nicht kann.

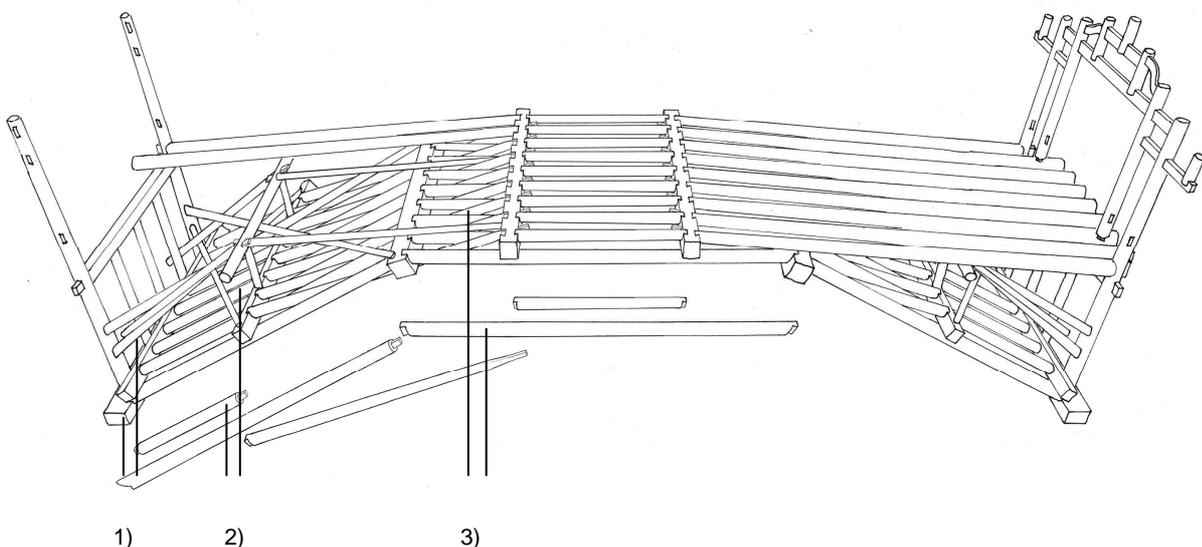
Bei den Brückenbaumännern in Südostchina hingegen wird die Entscheidung über eine Art von Holzverbindung eigentlich immer zugunsten einer leichteren Materialbearbeitung und Bauausführung getroffen. Für sie besteht der Hauptunterschied zwischen dem geraden Zapfen und dem Schwalbenschwanz in der Art und Weise der auszuführenden Verbindung: Der Zapfen ist entlang der Balkenachse ins Zapfenloch hinein zu schieben, während der Schwalbenschwanz von oben in die Öffnung geschlagen wird. Die Wahl der Verbindungsart ist eigentlich die Wahl der Ausführungsweise.

Die uns bekannten Fachtermini „Zapfen“ und „Schwalbenschwanz“ werden bei den Xiajian-Meistern nicht verwendet. Sie bezeichnen „Zapfen“ und „Schwalbenschwanz“ jeweils einfach als „die Eingesteckten“ und „die Untergedrückten“.

In der Zeit, als es noch keine elektrischen Werkzeuge gab, wurden alle Zapfenlöcher mit Stemmeisen ausgearbeitet. Deshalb ließen sich die Zapfenverbindungen viel leichter ausführen als die Schwalbenschwanzverbindungen und wurden von Zimmermännern bevorzugt.

Für die meisten Verbindungen im Gewebebogen, einschließlich aller Verbindungen im ersten System und der Schwalbenschwanzverbindungen für die L-Balken, bieten sich keine praktikablen alternativen Lösungen an, höchstens Alternativen, die Theorie bleiben. Die Verbindungsarten, die von den chinesischen Brückenbaumännern seit langem gepflegt werden, sind fast immer diejenigen, die am leichtesten auszuführen sind. Ausnahmen sind selten. Allerdings erlaubt die Ausführung einiger Verbindungen (Abb. 89) im zweiten System den Brückenbaufamilien gewisse Spielräume.

Die Verbindungsart, die die jeweilige Brückenbaufamilie bevorzugt, hängt immer mit der über Generationen tradierten Ausführungsweise derselben zusammen, und dadurch lässt sich die Genealogie der Bautechnik dieser Familien nachvollziehen (darauf mehr siehe Kap. V).



¹⁴ Meister Dong Zhiji im Interview mit dem Autor im Dez. 2013.

¹⁵ Meister Zheng Duoxiong im Interview mit dem Autor auf der Baustelle der Dongtang-Brücke, Dez. 2013.

Abb. 89 Betreffende Verbindungen

1) Verbindung an den Bogenfüßen(2)

An die unteren Enden der U-S-Balken(2) arbeiten die Xiajian-Meister Schwalbenschwänze an und die Xiaodong-Meister und die Changqiao-Meister gerade Zapfen. Diese technische Eigenschaft ist allen in den letzten zwei Jahrhunderten errichteten Bauwerken der Brückenbaufamilien gemeinsam (Abb. 90, Abb. 91).



a. Xian'gong-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. 1767 gebaut. Erste bekannte Brücke der Xiajian-Meister-Familie.

b. Regensburg-China-Brücke, Wisent, Deutschland. 2015 durch Meister Zhang Changzhi errichtet.

Abb. 90 Holzbogenbrücken bei der Xiajian-Meister. Schwalbenschwanzverbindungen an den Bogenfüßen

Nach dem Bericht von Meister Wu Dagen (ein Xiaodong-Meister), liegt der Grund seiner Wahl von geraden Zapfen an den unteren Enden der U-S-Balken(2) in der Leichtigkeit der Bearbeitung dieser Holzverbindungen.¹⁶ Auf die Frage, warum andere Brückenbaumänner an den unteren Enden der U-S-Balken(2) Schwalbenschwanzverbindungen benutzten, antwortete Meister Wu Dagen, dass in großen Brücken, bei denen die U-S-Balken lang und schwer wären, die Zinken einfach von oben in die Schwalbenschwänze eingesetzt werden könnten.¹⁷ Die Wahl der Schwalbenschwanzverbindungen sei also mit einer Arbeitserleichterung zu erklären. Es ist bemerkenswert, dass die U-S-Balken(2) der Xiaodong-Meister sind vergleichsweise kürzer als die der Xiajian-Meister durch die Jahrhunderte (siehe oben Abschn. III.2.(2)).



a. Xiaodong-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. Erste bekannte Brücke der Xiaodong-Meister-Familie. 1801 gebaut. Die Brücke wurde umgebaut. Die alten Zapfenlöcher befinden sich am Boden der heutigen Fußbalken.

b. Dongtang-Brücke, Landkreis Jingning, Zhejiang. 2013 durch Meister Zheng Duoxiong und Meister Wu Dagen gebaut.

Abb. 91 Holzbogenbrücken bei der Xiaodong-Meister. Zapfen an den Bogenfüßen.

¹⁶ Meister Wu Dagen im Interview mit dem Autor auf der Dongtang-Baustelle im Dez. 2013.

¹⁷ Ebd.

Meister Huang Chuncai (Changqiao-Meister) hingegen meint, dass die unteren Enden der U-S-Balken(2) immer als Zapfen ausgearbeitet sein müssten.¹⁸ Während des Querbalkenschlags werden bei den Changqiao-Meistern die O-Querbalken sehr kräftig mit einem großen Baumstamm gegen die S-Balken(1) geschlagen, um die Struktur zu verdichten (siehe Abschn. IV.3.(4)). Würden Schwalbenschwanz an den Bogenfüßen angewandt, dann würden deren Zinken unter der Schlagkraft aus den Schwalbenschwänzen herauspringen.¹⁹

Für den Arbeitsschritt des Querbalkenschlags verwenden die Xiajian-Meister nicht nur die Methode des Schlagens mit einem Baumstamm oder Hammer, sondern sie biegen die Hölzer auch mit Stangen (siehe Abschn. V.1.(3)). So haben sie mit den Schwalbenschwanzverbindungen an den Bogenfüßen nicht das Problem, auf das Meister Huang Chuncai verweist.

2) Balkenfuß (unter Ende) der O-S-Balken(2)

An den Balkenfüßen der O-S-Balken(2) befindet sich für gewöhnlich ein Schwalbenschwanz, mit Ausnahme der Brücken von Meister Wu Fuyong (siehe Abschn. V.1.(5)).

Dass Meister Wu Dagen hier keine Zapfen verwendet, begründet er mit der Einfachheit und Sicherheit der Ausführung:²⁰ Mit dem Schwalbenschwanz werden die Balkenenden einfach von oben in die Zapfenlöcher eingesetzt. Zapfen aber müssen von der Seite des Querbalkens eingeschoben werden, und dafür muss zuvor das Balkenende in der Luft hängen. Dies birgt die Gefahr, dass der Balken herunterfällt und die gesamte Konstruktion beschädigt. Außerdem werden die oberen Zapfen der O-S-Balken(2) oft vor Ort bearbeitet und angepasst. Während der Bearbeitung besteht die Gefahr, dass die geraden Zapfen an den unteren Balkenenden außer ihren Zapfenlöchern herausgezogen werden. Mit dem Schwalbenschwanz gibt es kein solches Problem.

3) Balkenkopf (ober Ende) der O-S-Balken(2)

Mitglieder aller drei traditionellen Brückenbaufamilien (Xiajian-Meister, Xiaodong-Meister, Changqiao-Meister) betonen, dass die oberen Zapfen des O-S-Balkens(2) durch den Querbalken hindurchgehen müssen. Während dem Querbalkenschlag bzw. *Choudu* werden die Zapfen so weit wie möglich in den Querbalken geschlagen. Damit die Zapfen weitmöglich in den Querbalken hineinragen, verzichten die Xiaodong-Meister auf die Balkenschulter am Ende der Zapfen; sie hacken sie glatt (Abb. 38). Die Xiajian-Meister arbeiten mit Balkenschulter, passen sie aber immer vor Ort mit Stemmeisen und Sägen an.

¹⁸ Meister Huang Chuncai im Interview mit dem Autor im Dez. 2013.

¹⁹ Ebd.

²⁰ Meister Wu Dagen im Interview mit dem Autor auf der Dongtang-Baustelle im Dez. 2013.

Kapitel V

Familienstammbaum der Brückenbauleute und Verbreitung der Bautechnik

I. Brückenbaufamilien und ihr Einfluss

Zwei Arten von Quellen liefern uns Informationen über die Baumeister der Brücken: Eine wichtige Quelle sind die Inschriften auf dem Korridorbalke der Brücken. Dort sind zwischen den Namen der Sponsoren oft die Namen und Heimatlandkreise der Brückenbaumeister wie auch anderer Handwerker mit Tinte festgehalten. Aber häufig sind jedoch nur die Informationen zu den Sponsoren zu finden. Manchmal sind alle Tinteninschriften im Laufe eines Umbaus oder einer Renovierung entfernt worden.

Eine andere wichtige Quelle sind die Brückenbauverträge, die zwischen dem Baumeister und den Projektdirektoren geschlossen werden. Die Brückenbaufamilien bewahren diese Verträge meist auf. Besonders viele Brückenbauverträge wurden in der Familie der Xiajian-Meister aufbewahrt. Die Zhang-Familie sammelte etwa dreißig Brückenbauverträge. Ein lokaler Kulturarbeiter, Gong Difa aus dem Landkreis Shouning, hatte sich in den MZ-Gebieten nach solchen Verträgen erkundigt und die entsprechenden Unterlagen zusammengetragen. Sie werden jetzt im Shouning-Museum aufbewahrt.

Informationen über die Brückenmänner aus diesen zwei Quellen und aus Umfragen wurden durch lokale Kulturarbeiter zusammengetragen und in dem Buch „Untersuchung der Holzbogenbrücken im Ningde Gebiet“ (Ningde, 2006) veröffentlicht. Gong Difa war dabei ein wichtiger Co-Autor. Eine noch umfassendere Sammlung von Informationen über die Brückenmänner veröffentlichte Gong Difa später in einem eigenen Buch (Gong, 2013).

Das Ningde-Gebiet ist eine bezirksfreie Stadt in Fujian, einer Region, die sich aus einem Stadtbezirk, sechs Landkreisen und zwei kreisfreien Städten zusammensetzt. Dies Gebiet kann als das Kerngebiet der Holzbogenbrücken in Fujian bezeichnet werden. Alle drei heute bekannten, traditionellen Brückenbaufamilien wohnen in diesem Gebiet. Die genannte Veröffentlichung von *Ningde Municipal Culture & Publication Bureau* aus dem Jahr 2006 ist eine umfassende Informationsquelle über diese Familien in Fujian und ihre Tradition. Der Autor wird in dieser Arbeit weitere Informationen über die Brückenmänner in der Fujian mit seinen während der Feldarbeit gesammelten Erfahrungen und Entdeckungen ergänzen. Informationen über die Brücken in Zhejiang (Zhe) sammelte der Autor selbst während seiner Felduntersuchungen.

Hier werden nun die Arbeitsgebiete der wichtigsten Brückenbaufamilien vorgestellt (Abb. 1).

Wie in Kapitel IV erwähnt, gibt es heute nur noch drei Familien, die ihre Berufstradition länger als drei Generationen erhalten haben. Dies sind:

Die Xiajian-Meister aus dem Dorf Xiukeng (dieser Bereich wurde früher als „Xiajian“ 下荐 bezeichnet), Landkreis Zhouning. Ihre soweit bekannt erste Brücke wurde im Jahr 1767 gebaut. Bis in die 1970er Jahre errichtete die Familie 55 Brücken.

Die Xiaodong-Meister aus dem Dorf Xiaodong 小东, Landkreis Shouning. Ihre soweit bekannt erste Brücke wurde im Jahr 1801 errichtet. Bis in die 1960er Jahre bauten sie 22 Brücken.

Die Changqiao-Meister aus der Stadt Changqiao 长桥, Landkreis Pingnan. Die soweit bekannt erste Brücke wurde im Jahr 1904 gebaut. Die Familie errichtete 7 Brücken bis in die 1960er Jahre.

Die Xiajian-Meister und die Xiaodong-Meister sind die wichtigsten Vertreter des Holzbogenbrückenbaus vor dem 20. Jahrhundert. Ihr Arbeitsgebiet umfasst nahezu alle Gebiete, in denen Holzbogenbrücken in Südostchina gebaut werden.

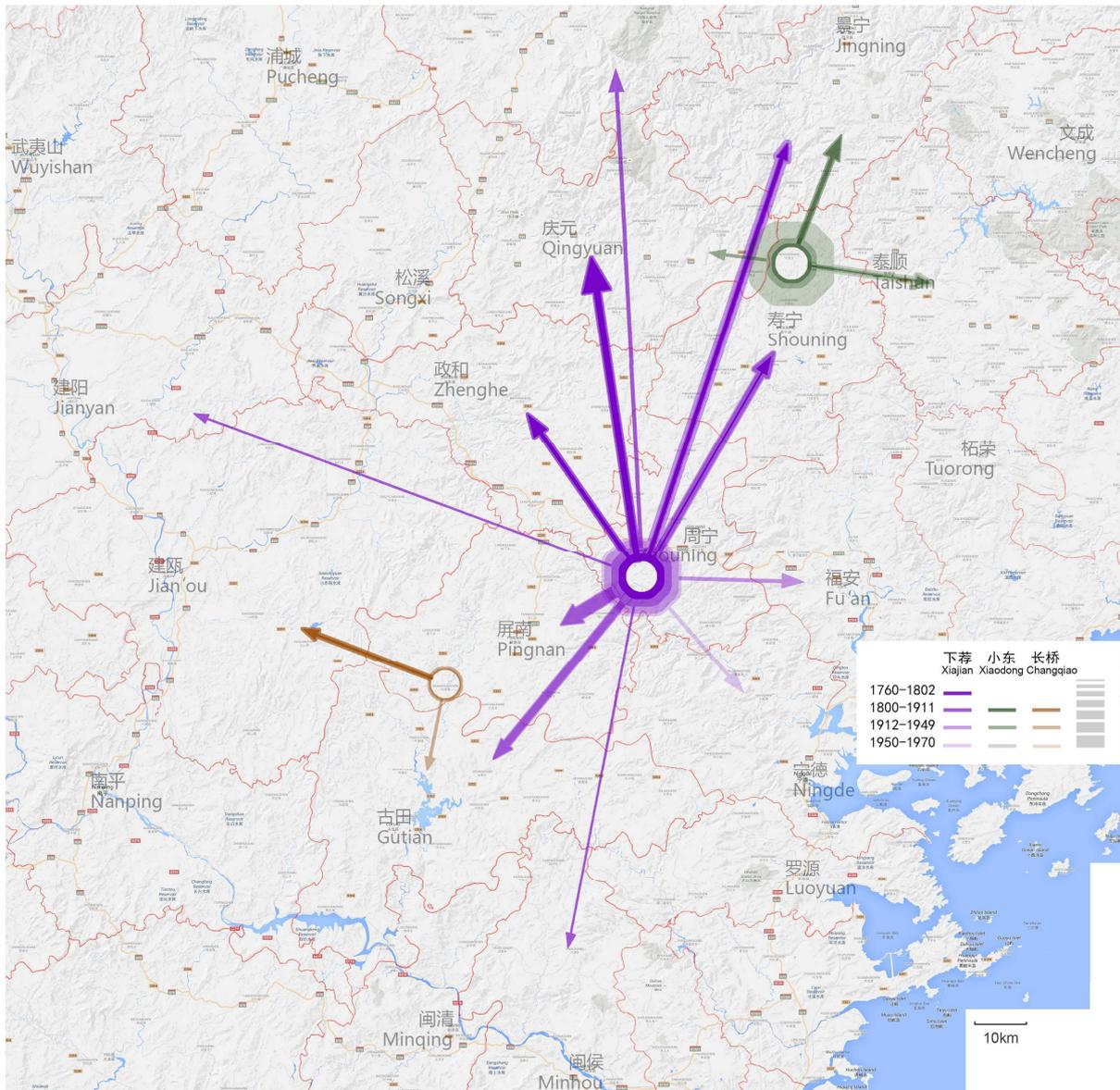


Abb. 1 Südostchina, topografische Karte. Praxisbereich der drei Brückenbaufamilien (Xiajian, Xiaodong und Changqiao). Die Kreise geben Bauprojekte in den Heimatlandkreisen der Brückenmänner wieder. Die Richtungspfeile zeigen Bauprojekte in anderen Landkreisen an. Die Dicke einer Linie entspricht der Anzahl an Bauprojekten. (Auf dem Google-Map gearbeitet.)

Es gibt noch weitere Brückenbaufamilien oder Brückenmänner, die nur kurz in diesem Beruf tätig waren oder nur als Namen auf Brückenbalken auftreten. Ihre Geschichte hat sich in der Vergangenheit verloren.

Die Karte in Abb. 1 veranschaulicht, dass die Xiajian-Meister bis in die 1970er Jahre (nämlich vor den modernen Holzbogenbrücken) die tatkräftigsten Brückenmänner im gesamten Holzbogenbrückengebiet waren. Die Xiajian-Meister könnten im Arbeitsgebiet der Xiaodong-Meister einen Auftrag für einen Brückenbau bekommen haben; andersrum war dies nicht möglich. Denn die Xiaodong-Meister gingen niemals nach Süden.

Die Veranschaulichung des Arbeitsgebiets der Xiajian-Meister in Abb. 1 zeigt auch, dass diese Brückenmänner vor Errichtung der Volksrepublik China im Jahr 1949 niemals nach Osten gegangen sind. Besonders interessant ist der Landkreis Taishun (rechts vom grünen Kreis in Abb. 1). Hierher sind die Xiajian-Meister nie gekommen, aber zu Beginn des 19. Jahrhunderts entstanden in diesem Gebiet mit anspruchsvoller Technik errichtete Holzbogenbrücken. Daran anschließend wurden innerhalb von 50 Jahren im Landkreis Taishun vier große Holzbogenbrücken gebaut. Sie alle besitzen verschiedene technische Eigenschaften, die sich von den Brückenbauten der Xiajian-Meister und der Xiaodong-Meister unterscheiden (siehe Abschn. III.3). Dies weist darauf hin, dass es im östlichen Gebiet

(Jiaochen-Fu'an-Taishun) im 19. Jahrhundert fähige Brückenmänner oder wenigstens eine Brückenbaufamilie gegeben haben muss. Sie beherrschten den östlichen Brückenbaumarkt. Leider ist ihre Geschichte verloren. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts sind identische technischen Eigenschaften verschwunden. Dazu später mehr.

II. Verbreitungsweg der Brückenbautechnik

1. Familien und Familienverband

Aufgrund der Besonderheit der Brückenbautechnik schützen die Brückenbauleute ihre Kunst sorgsam als Familiengeheimnis. Eine Familie organisiert sich oft mit anderen Familien zu einer Gruppe von Brückenmännern. Die Zhang-Familie der Xiajian-Meister arbeitet heute in der achten Generation in diesem Beruf, also in einer Tradition über etwa zwei Jahrhunderte. Seit dem letzten Jahrhundert arbeiten sie mit mehreren Familien aus den umliegenden Dörfern zusammen und bilden so eine große Arbeitsgruppe, die durch eine klare Arbeitsteilung organisiert ist.

Die Meister einer solchen Gruppe von Brückenmännern stammen immer aus einer traditionsreichen Familie. In Xiaodong wurde die Brückenbautechnik in der Xu-Familie über vier Generationen überliefert, und im Anschluss daran wurde die Brückenbautechnik durch Eheschließung in der Zheng-Familie für weitere zwei Generation überliefert. Die heute als Brückenmänner tätigen Meister Zheng Duoxiong und Wu Dagen sind die Ehemänner zweier Schwestern aus dem gleichen Dorf.

Ein ältere Dorfmann in Nanping, Fujian, erinnerte sich im Interview mit dem Autor, dass die vor etwa 50 Jahren für ein Projekt von außerhalb angereisten Brückenmänner die Zuschauer vertrieben, um ihr Geheimnis zu schützen. Als Meister Wu Dagen dem Autor seine Entwurfsmethode für das Brückenbauprojekt Dongtang vorstellte, hielt er sich von anderen Zimmermännern fern.

Die Errichtung einer Holzbogenbrücke ist immer wieder ein kompliziertes Projekt, wofür die Arbeit mehrerer Zimmermänner notwendig ist. Die traditionsreichen Brückenbaufamilien arbeiten meist mit Zimmermännern aus ihrem Dorf oder aus benachbarten Dörfern zusammen. Deshalb kann sich in einem bestimmten Gebiet eine Gruppe von fähigen Brückenmännern formen, die zwar mit der Konstruktion von Holzbogenbrücken vertraut sind, aber das Geheimnis eines Entwurfs nicht kennen. Manchmal, wenn es notwendig ist, können sich begabte Zimmermänner auch um kleinere Brückenbauprojekte selbst kümmern. Dieser Technikverbreitungsweg ist mit dem nächsten Verbreitungsweg ähnlich.

2. Ausrichtung und Zusammenarbeit

Für Brückenbauprojekte in Gebieten ohne eine entsprechende Tradition werden Brückenbaumeister aus anderen Gebieten eingeladen, die mit lokalen Zimmermännern zusammenarbeiteten. Dies ist eine gewöhnliche Vorgehensweise im MZ-Gebiet. In solchen Fällen können talentierte Zimmermänner in der Zusammenarbeit mit einem Brückenbaumeister viel lernen und die grundlegenden Techniken selbst anwenden.

Einige Begebenheiten sind in die lokale Geschichte eingegangen oder entstammen den Erzählungen der Brückenmänner. Beispielsweise wurden Brückenbauprojekte durch ortsansässige Zimmermänner übernommen, die dann aber auf so große strukturelle Probleme stießen, dass erfahrene Brückenmeister von außerhalb eingeladen werden mussten, um die Konstruktion zu korrigieren. Der ortsansässige Baumeister kann auch die Brückentechnik von dem erfahrenen Brückenmeister lernen. Solche Geschichten, die von den Nachkommen beider Seiten erzählt werden, sind oft unterschiedlich oder gar gegensätzlich.

Es gibt auch die Möglichkeit, dass ein Zimmermann an einem Brückenbauprojekt in einem anderen Gebiet teilnimmt, dort die Brückenbautechnik erlernt und in seine Heimat bringt. Zum Beispiel nahm ein Zimmermann aus Chunchi, dem nördlichen Teil des Landkreises Zhouning, im Jahr 1831 an einem Brückenbauprojekt in Shouning teil. Der Brückenbaumeister dieses Projekts kam aus Jiaocheng, Ninde, was sich südöstlich von Zhouning befindet (Ningde, 2006, S. 50-51, 62). Danach wurde die Brückenbautradition

in Chunchi verwurzelt und hat bis heute überlebt. Die Chunchi-Meister sind aber nur zum Bau kleiner Holzbogenbrücken fähig.

3. Selbstlernen

In früherer Zeit waren manchmal Brückenmänner anzutreffen, die sich eine Brückenbautechnik selbst beibrachten. Sie lernten durch die Beobachtung entstehender Holzbogenbrücken, beispielsweise während der Errichtung der Huilan-Brücke im Jahr 1964 in Nanyang, Landkreis Shouning (Abb. 5). Heute gibt es aufgrund der zur Verfügung stehenden modernen Werkzeuge zahlreiche Brückenmänner ohne Familientradition.

III. Technikentwicklung innerhalb der Brückenbaufamilien

1. Unterschiedliche technische Eigenschaften der Brückenkonstruktionen von Brückenmännern mit und ohne Familientradition

In der Konstruktionsgeschichte der MZ-Holzbogenbrücken, die seit der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts durch erhaltene Beispiele und seit der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts durch die bis heute überlebende Brückenbautradition bezeugt ist, treten immer mehr Brückenmänner ohne ererbte Familientradition auf. Die Brückenmänner ohne Berufstradition allerdings sind meist nur zum Bau kleinerer Brücken über seichte Flüsse fähig. Die komplexeren Brückenbauprojekte, z.B. Brücken mit großer Spannweite, Brücken über tiefe Flussbetten oder hohe Kliffs, übernehmen allein begrenzte traditionelle Brückenbaufamilien. Den Gewebebogen einer Holzbogenbrücke besonders dicht zu konstruieren und damit eine stabile und sichere Konstruktion zu formen, ist das echte Geheimnis der traditionellen Brückenbaufamilien, und die Arbeit mit einfachsten Gerüsten in einem gefährlichen Umfeld ist ihre höchste Niveau der Technik.



Abb. 2 Qiongdai-Lingjiao-Brücke, Landkreis Jingning, Zhejiang. Gebaut 1870 durch einen Xiaodong-Meister. Auffallend saubere Konstruktion des durch einen erfahrenen Brückenbaumeister errichteten Holzbogens.



Im vorangegangenen Kapitel wurde bereits erwähnt, dass die Bearbeitung des oberen Endes des O-S-Balkens(2) ein Symbol für die Reife der Brückentechnik ist. Der entsprechende Bauabschnitt ist der Querbalkenschlag bzw. *Choudu* – der für die Dichtigkeit des Gewebebogens wichtigste Bauabschnitt. Das Aussehen des Gewebebogens einer Holzbogenbrücke ermöglicht uns heute, die historischen Brücken zu prüfen:

Bei Brücken, die einschließlich des Querbalkenschlags bzw. *Choudu* errichtet wurden, müssen die O-S-Balken(2) durch den O-Querbalken(2) hindurchgehen. Deshalb liegen die L-Balken(2) gerade obenauf den L-Balken(1), weshalb entsprechen sie in Anzahl und Positionierung nicht mit den S-Balken ihres einzigen Bogensystems (die L-Balken(2) haben ein Balken mehr als die S-Balken(2)), sondern mit den ersten System. Diese Form wird im Folgenden kurz als „Durchgangsform“ bezeichnet. Sie ist ausschließlich bei Brücken traditioneller Brückenmänner zu finden.

Entsprechen die Anzahl und die Positionierung der L-Balken jenen der S-Balken des gleichen Bogensystems, ist dies eine direkte Lösung des Konstruktionsformwurfs, denn der fünfseitige Bogen bildet ein selbstkonsistentes System mit der gleichen Anzahl und entsprechenden Positionierungen aller Längsbalken. Folglich ist dies die (intuitive) Bauweise der unerfahrenen Anfänger. Bei dieser Art und Weise, einen Gewebebogen zu errichten, treffen die Zapfen der S-Balken und die Schwalbenschwänze der L-Balken in die Querbalken. Diese Form wird im Folgenden als „Treffensform“ bezeichnet.

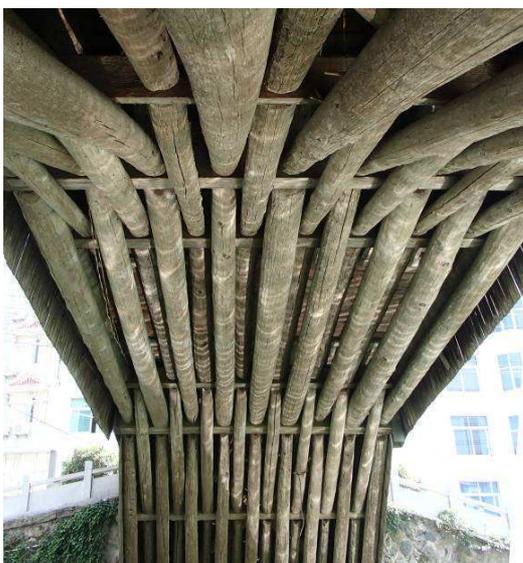


Abb. 3 Xian'gong-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. 1767 gebaut. „Treffensform“. Die soweit bekannt früheste Brücke der Xiajian-Meister.



Abb. 4 Tongle-Brücke, Landkreis Taishun, Zhejiang, errichtet 2004 durch Meister Dong Zhiji¹. „Treffensform“.



Abb. 5 Huilan-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. „Untreffensform“. Die Brücke wurde 1964 durch einen ortsansässigen selbsterlernten Zimmermann gebaut. Er sagte, dass er eine alte Holzbogenbrücke in seinem Dorf studiert hatte (1979 abgebrannt). (Ningde, 2006, S. 60)

Alle Brückenmänner beginnen mit dieser „unreifen“ Form. Sie lässt sich in allen Bauwerken der Brückenmänner finden, die sich selbst unterrichteten (Abb. 4), und zwar in historischen Gebäuden sowie in neuen Bauten. Auch die ersten Generationen der Xiajian-Meister bauten einige ihrer frühesten Brücken in dieser Art und Weise (Abb. 3).

¹ Im Jahr 1937 beobachtete der damals 13 Jahre alte Dong Zhiji das Bauprojekt der Yangmeizhou-Brücke an der Grenze zwischen Shouning und Taishun, und lernte davon. Die Tongle-Brücke ist seine erste Holzbogenbrücke.

Es gibt auch Fälle, in denen die selbsterlernten Brückenmeister die reife Konstruktionsform kopieren, ohne aber den Arbeitsschritt des Querbalkeneinschlags bzw. Choudus zu kennen. Dann errichteten sie Brücken, bei denen die gleiche Anzahl an L-Balken(2) und L-Balken(1) verwendet wird, bei denen diese L-Balken(2) an die gleichen Positionierung einer Balken in „Durchgangsform“ eingesetzt werden, aber bei denen die durchgehenden Zapfen der O-S-Balken(2) fehlen (Abb. 5). Diese Form wird im Folgenden kurz als „Untreffensform“ bezeichnet, weil sich die L-Balken(2) und die S-Balken(2) nicht treffen.

2. Die Entwicklung der Choudu-Methode der Xiajian-Meister

Zur ersten Generation der Xiajian-Meister gehört nach Aussage der Nachkommen, z.B. nach einer Erzählung von Meister Zhang Changzhi, der Meister Zhang Xinyou 张新祐. Sein soweit bekannt erstes Projekt war die oben erwähnte Xian'gong-Brücke in Shouning (1767). Anschließend errichtete er zusammen mit seinem Sohn wenigstens sechs Brücken in den Landkreisen Zhouning, Zhenghe, Qingyuan und Jingning. Sein letztes Projekt fand im Jahr 1803 statt.



Abb. 6 Xian'gong-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. 1767 errichtet. Tinteninschrift auf einem Balken. Die obere Inschrift besagt: „Baumeister Li Xiuyi spendete Geld in Höhe von 100 Wen.“ Die untere Inschrift besagt: „Baumeister: Wu Shenggui, Zhang Xinyou“.



Abb. 7 Xian'gong-Brücke in Luoyang, Landkreis Shouning, Fujian. Seitenansicht und Detail des Brückenkorridders. 1767 errichtet, reich verziert.

Nach den Forschungsergebnissen des Autors ist Zhang Xinyou aber nicht der erste Brückenbaumeister dieser Familie. Die Tintenschriften auf der Xian'gong-Brücke geben drei Namen von Brückenbaumeistern wieder: Auf einem Balken sind nebeneinander die Namen „Zhang Xinyou“ und „Wu Shenggui 吴圣贵“ als „Baumeister“ zu lesen, und am anderen Ende des Balkens ist der einzige Name „Li Xiuyi 李秀壹“ auch als Baumeister eingetragen. Die Schreibweise führt zu der Vermutung, dass der Meister Li Xiuyi wahrscheinlich der verantwortliche Baumeister war, während Zhang Xinyou und Wu Shenggui die sekundären

Shouning noch keine fähigen Brückenmänner gab.

Als das einzige bekannte Bauwerk des oben erwähnten Meisters Li Xiuyi, der früheste bekannte Baumeister der Xiajian-Meister, wurde die Xian'gong-Brücke in der „Treffensform“ gebaut, eine „unreife“ Form, wie oben diskutiert. Wahrscheinlich hatten der Brückenbaumeister und seine Kollegen noch keine ausreichenden Erfahrungen gesammelt. Den für die Konstruktion entscheidenden Arbeitsschritt des *Choudu* (betrachtet beziehungsweise durch die „Durchgangsform“ der Brücken) hatte Zhang Xinyou in einem Brückenbauprojekt im Jahr 1794 bereits angewendet (Lanxi-Brücke im Landkreis Qingyuan, Zusammenarbeit mit Li Zhengman). Alle von Zhang Xinyou im Anschluss gebauten Brücken weisen die mit dem *Choudu* in Zusammenhang stehenden Konstruktionseigenschaften auf.

Nach Informationen der Verträge der Zhang-Familie (Ningde, 2006, S. 52-53; Gong, 2013, S.10-16), seit 1799 arbeitete Zhang Xinyou mit einigen Söhnen und Neffen zusammen. Die jüngere Generation hat den gleichen Zwischennamen „*Cheng* (成)“. Seit Anfang des 19. Jahrhunderts arbeiteten die Söhne und Neffen selbständig. Sie arbeiteten manchmal selbst als Meister, manchmal zusammen mit Brüdern. Einige bauten nach der „richtigen“ Methode, nämlich in der „Durchgangsform“, wie beispielsweise Meister Zhang Chengjun 张成君 im Jahr 1806 im Fall der Gongxin-Brücke im Landkreis Gutian. Aber zwei Brüder, Zhang Chengde 张成德 (Zhang Yinyous zweiter Sohn) und Zhang Chenglai 张成来 (Zhang Yinyous vierter Sohn), die immer zusammen arbeiteten, machten einen Rückschritt. In der 1820 gebauten Qiancheng-Brücke (Abb. 9 a) behielten sie die „richtige“ Form bei, aber mit falschen (nicht durchgehenden) Zapfen, nämlich in der „Untreffensform“. Dies weist darauf hin, dass sie ihrem Vater zwar folgten, aber das Konstruktionsprinzip vergessen hatten. In der 1827 gebauten Zhangkeng-Brücke machten sie noch einem Rückschritt mit der „Treffensform“ (Abb. 9 b).



a. Qiancheng-Brücke (1820), Landkreis Pingnan. Fujian. „Untreffensform“: Die L-Balken(2) entsprechen den L-Balken(1) in Anzahl und Position, aber die O-S-Balken(2) gehen nicht durch den O-Querbalken(2) hindurch.

b. Zhangkeng-Brücke (1827), Landkreis Shouning, Fujian. „Treffensform“: Die L-Balken(2) entsprechen den S-Balken(2).

Abb. 9 Brückenbauprojekte von Zhang Xinyous Söhnen, Zhang Chengde und Zhang Chenglai.

1836 kamen sie mit der Denglong-Brücke im Landkreis Zhouning zur „richtigen“ Konstruktionsform zurück. Seither wird diese „Durchgangsform“ in der Konstruktion bei allen bekannten Brückenbauten dieser Familie beibehalten. Alle späteren Nachkommen der Xiajian-Meister, bis zum heutigen Meister Zhang Changzhi, haben die „reife“ Form mit der entsprechenden Methode des *Choudu* beibehalten.

3. Technische Eigenschaften der Holzbogenbrücken in Taishun

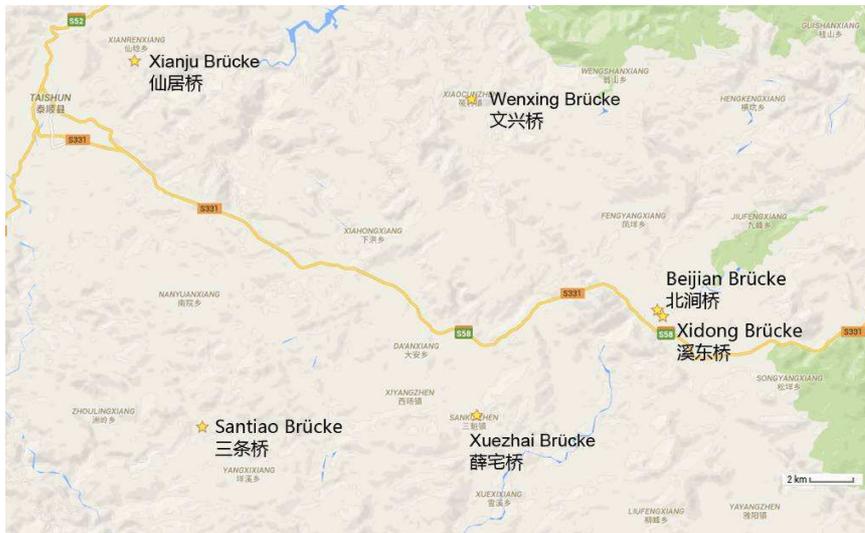


Abb. 10 Topografische Karte der Holzbogenbrücken im Landkreis Taishun, Zhejiang. (Auf dem Google-Map gearbeitet.)

Im Jahr 1857 wurden zwei Brücken im Landkreis Taishun gleichzeitig fertiggestellt.

Der Hintergrund der Xuezhai-Brücke 薛宅桥 (wörtlich „Brücke des Xue-Familienhauses“) ist in der Ahnentafel der Xue-Familie zu finden. Die Brücke wurde als ein Projekt der anliegenden Ortschaft geplant. Anfang 1856 übernahm Brückenmeister Wu Guangqian 吴光谦 dieses Projekt. Der Bau wurde aber durch einen Dorfbewohner aus der Zhang-Familie gestört, weil er glaubte, dass die Brücke dem Fengshui (und damit dem Glück) seiner Familie schaden würde. Im August war die untere Konstruktion fertiggestellt. Während das Gerüst abgebaut wurde, brach die Brücke zusammen: „Die Brücke wurde zu einem Drachen auf den Wellen“ 不料已时拆架，桥化长龙卧波也。 Die Dorfbewohner beschuldigten erst den Baumeister Wu Guangqian für seinen falschen Entwurf. Später änderten sie ihre Meinung und glaubten, dass die Schuld bei Zhang liege, denn nur durch seine Unruhe wurde das Projekt in großer Eile durchgeführt. Je wütender die Dorfbewohner auf Zhang waren, desto williger waren sie, die Brücke wieder aufzubauen. Diesmal beauftragten sie den Xiaodong-Meister Xu Yuanliang 徐元良. Die wieder aufgebaute Holzbogenbrücke befindet sich in gutem Zustand (Abb. 11) bis September 2016 wenn sie durch die Flut zerstört wurde.



Abb. 11 Xuezhai-Brücke, Sankui, Landkreis Taishun. Sie wurde 1857 durch den Xiaodong-Meister Xu Yuanliang in ausgereifter Technik errichtet und befandete sich in gutem Zustand zur Zeit des Fotos in 2012.



Xu Yuanliang ist ein Vorfahre der heutigen Xiaodong-Meister und der erste bekannt Brückenbaumeister dieser Familie. Entsprechend ist die Xuezhai-Brücke das erste bekannte Brückenbauwerk dieser

Xu-Zheng-Familie.

In der Literatur gibt es keine Hinweise auf den Brückenbaumeister Wu Guangqian. Aber den Befund des Autors entsprechend ist es möglich, dass er auch ein Xiaodong-Meister gewesen ist.

In der Ortschaft Xiaodong, der Heimat der Xiaodong-Meister, wurde im Jahr 1801 eine kleine Holzbogenbrücke fertiggestellt, die Xiaodong-Brücke. Die Baumeister waren der Tinteninschrift auf dem Brückenbalken folgend Xu Zhaoyu 徐兆裕 und Wu Guangfu 吴光福 (Abb. 13). Xu Zhaoyu ist in dem Stammbaum der Xu-Zheng Familie nicht zu finden, war aber wahrscheinlich entfernt verwandt mit der Xu-Familie, die Vorfahr der heutigen Xiaodong-Meister ist. Wu Guangfu kann ein Bruder oder Cousin von Wu Guangqiang gewesen sein, worauf sein Zwischenname Guang 光 hindeutet. Die Tatsache, dass das durch Wu Guangqiang begonnene Bauprojekt der Xuezhai-Brücke durch den Xiaodong-Meister Xu Yuanliang weitergeführt worden war (s.o.), lässt vermuten, dass Xu Yuanliang ein Kollege von Wu Guangqiang gewesen ist.

Obwohl sie klein und ihre Form einfach gestaltet ist, besitzt die Xiaodong-Brücke elegante Verzierungen (Abb. 12). Ihre untere Konstruktion wurde im Jahr 1939 umgebaut, einige Bauelemente wurden verändert. Beispielsweise haben die U-S-Balken des fünfseitigen Bogens Entenschnäbel an ihren unteren Enden und sind dadurch mit den Fußbalken verbunden. In den Fußbalken aber gibt es regelmäßig angeordnete Zapfenlöcher (Kap. IV, Abb. 91a). Dies zeigt, dass die U-S-Balken nach dem Umbau wiederverwendet worden sind; in der originalen Konstruktion müssen Zapfen in den Zapfenlöchern gesessen haben. Bei Beobachtung der heutigen Konstruktion fällt auf, dass die Brücke ursprünglich in reifer „Durchgangsform“ gebaut worden war, und auch weitere technische Eigenschaften der ursprünglichen Konstruktion weisen auf die Bautradition der Xu-Zheng-Familie hin.

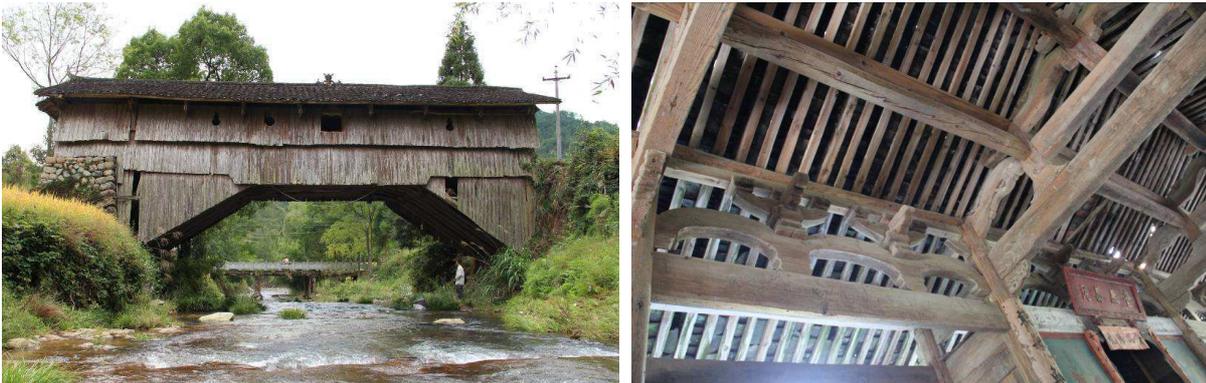


Abb. 12 Xiaodong-Brücke, Ortschaft Xiaodong, Landkreis Shouning, Fujian Provinz. 1801 durch die zwei Meister Xu Zhaoyu und Wu Guangfu gebaut; mit reichen Verzierungen.



Abb. 13 Xiaodong-Brücke, Ortschaft Xiaodong, Landkreis Shouning, Fujian Provinz. Tinteninschrift mit der Information über die Brückenbaumeister (traditionell wird im Chinesischen von rechts nach links geschrieben):

oben: Sekundär 副, Haupt 都; mittlere: Baumeister 绳墨;
darunter links von oben nach unten Wu 吴, Guang 光 Fu 福;
daneben von oben nach unten: Xu 徐, Zhao 兆, Yu 裕.

1857 wurde 15 km südlich von der Xuezhai-Brücke eine weitere Holzbogenbrücke fertiggestellt: die früher in dieser Arbeit erwähnte Wenxing-Brücke, die heute für ihre Verformung bekannt ist (Abb. 14).

Der strukturelle Fehler dieser Brücke liegt im falschen Verhältnis der Längsbalken der zwei Bogensysteme. Die technischen Eigenschaften der Brücke, besonders die Holzverbindungen, unterscheiden sich sowohl von anderen Brücken in Taishun als auch von den Baumethoden der Xiaodong-Meister und der Xiajian-Meister. Bei beiden Brückenbaufamilien beispielsweise haben die Zapfenlöcher in den Querbalken des Gewebebogens immer eine quadratische Form, während sie bei der Wenxing-Brücke die Form querformatiger Rechtecke haben und ungenau gearbeitet sind. (Abb. 15). Die Wenxing-Brücke wurde von einem unbekanntem Zimmermann gebaut, der wahrscheinlich keine Erfahrungen in dem Entwurf sowie in der Konstruktion von Holzbogenbrücken hatte.

Die Xuezhai-Brücke und die Wenxing-Brücke sind die letzten Holzbogenbrücken, die im Landkreis Taishun errichtet worden sind, bevor die Volksrepublik China im Jahr 1949 gegründet wurde. Sie beide wurden durch die Flut in September 2016 gleichzeitig zerstört.



a b
c



a. Die Wenxing-Brücke ist bekannt für ihre Verformung. (Foto: Zhou Miao)
b. Westliche Seite. Die O-S-Balken(2) haben sich von dem Querbalken(1) gelöst.
c. Östliche Seite. Die Brücke ist in „Treffensform“ gebaut.

Abb. 14: Wenxing-Brücke, Ortschaft Xiaocun, Landkreis Taishun, Zhejiang. 2009, vor ihrer Reparatur.



Abb. 15 Wenxing-Brücke, Ortschaft Xiaocun, Landkreis Taishun, Zhejiang. Detail der inneren Konstruktion. Die Zapfenlöcher der beiden Bogensysteme haben die Form querformatiger Rechtecke. Die vielen (mit weißen Kreisen markierten) Zapfenlöcher sind größer als die Zapfen, was erfahrene Zimmermänner vermeiden.

Die großen Holzbogenbrücken, die vor 1949 im Landkreis Taishun errichtet worden sind, haben von den Brücken andernorts verschiedene technische Eigenschaften.

Die Xidong-Brücke und die Beijian-Brücke sind „Schwester-Brücken“. Beide befinden sich in der kleinen Stadt Sixi, nahe nebeneinander, und beide wurden in den 1840er Jahren umgebaut. Ihre Eigenschaften sind identisch. Beide Brücken besitzen die ausgereifte „Durchgangsform“. Sie beide haben Entenschnäbel an den unteren Enden der U-S-Balken(2) (Abb. 16).

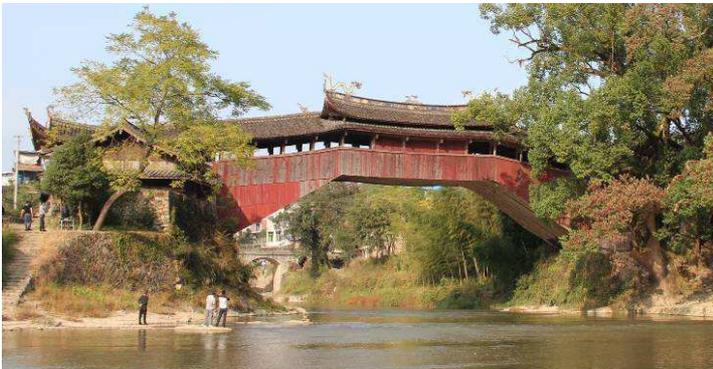
Dieses Element ist auch in einer anderen Brücke in Taishun zu finden, nämlich bei der Santiao-Brücke, aber nicht außerhalb von Taishun. Die Xidong-Brücke und die Beijian-Brücke haben recht lange U-S-Balken(2) und vergleichsweise kurze O-S-Balken(2), weshalb ihre U-Querbalken(2) für die mittleren Stützen der „Froschschenkel-Konstruktion“ zu hoch sind, die meist auf dem U-Querbalken(2) stehen. So stehen die vertikalen Stützen in diesen Brücken auf zusätzlichen Balken (Abb. 18). Ähnliche Situation findet sich auch bei einer früheren Brücke in diesem Landkreis, die Xianju-Brücke (Abb. 19).



Abb. 16 Beijian-Brücke, Sixi, Landkreis Taishun, Zhejiang. Entenschnäbel am Bogenfuß(2).



a. Xidong-Brücke



b. Beijian-Brücke

Abb. 17 Schwester-Brücken Beijian und Xidong, Sixi, Landkreis Taishun, Zhejiang



Abb. 18 Beijian-Brücke, Sixi, Landkreis Taishun, Zhejiang. Sie besitzt recht lange U-S-Balken(2). Weil die U-Querbalken sehr hoch sind, stehen die mittleren Stützen nicht auf dem Querbalken, sondern auf einem zusätzlichen kleinen Balken. Vgl. mit der Xuezhai-Brücke der Xiaodong-Meister (Abb. 11).

Die 1806 errichtete Xianju-Brücke besitzt eine Spannweite von 34,5 m. Obwohl sie die „Treffensform“ aufweist, die auf eine „unreife“ Technik hinweist, ist ihre Konstruktion stabil. Die Brücke wurde im Jahr 2001 repariert (abgebaut, einige Bauelemente verändert), allerdings wurde die Konstruktion kunstfertig behandelt.



Abb. 19 Xianju-Brücke, Ortschaft Xianren, Landkreis Taishun, Zhejiang. Nach der Reparatur. Die U-Querbalken liegen sehr hoch. Damit sind die O-S-Balken viel kürzer als die U-S-Balken.

Tabelle 1 Technische Eigenschaften der Holzbogenbrücken im Landkreis Taishun

Brücken	Jahr des letzten Umbaus	Spannweite(m)	Beziehung der L- und S-Balken(2)	Längenverhältnis U-S-Balken(2) / S-Balken(1)	Form der Verbindungen am Bogenfuß(2)	Form des Zapfenlochs
Xianju Brücke 仙居桥	1806	34,5	Treffensform	8,6/11,7 0,74	Schwalben-schwanz	Quadrat
Xidong Brücke 溪东桥	1745(?)* 1827	25,4	Durchgangsform	6,2/8,6 0,72	Entenschnabel	Quadrat
Santiao Brücke 三条桥	1843	21,6	Durchgangsform	5,7/9,0 0,63	Entenschnabel	Quadrat
Beijian Brücke 北涧桥	1803(?) ⁶ 1849	31,5	Durchgangsform	7,5/10,7 0,70	Entenschnabel	Quadrat
Wenxing Brücke 文兴桥	1857	30,8	Treffensform	5,7/11,1 0,51	Zapfen	querformatiges Rechteck
Xuezhai Brücke 薛宅桥	1857	27,5	Durchgangsform	6,3/10,4 0,61	Zapfen	Quadrat

Holzbogenbrücken im Landkreis Taishun sind im Allgemeinen steif und hoch. Damit weicht ihre Konstruktion von der typischen Gestaltung der Holzbogenbrücken ab. Wie im letzten Kapitel beschrieben, müssen die SL-Balken aufgrund des hohen Bogens der Brücken in Taishun auf den Querbalken(1) liegen, während sie in typischen Holzbogenbrücken auf den O-Querbalken(2) liegen.

Diese abweichende Konstruktionseigenschaft der Brücken in diesem Landkreis ist auf den lokalen Geschmack zurückzuführen. Die Xuezhai-Brücke, die durch Xiaodong-Meister im Landkreis Taishun errichtet worden ist, besitzt eine steife Konstruktion, während andere Brückenbauprojekte dieser Familie außerhalb von Taishun wesentlich flacher gestaltet sind. Die 1878 gebaute Dabao-Brücke (Abb. 20) stellt hier eine Ausnahme dar. Ihr Baumeister war Xu Bingui 徐斌桂, Xu Yuanliangs Sohn. Diese Brücke befindet sich im Heimatdorf der Xiaodong-Meister. Die Dabao-Brücke ist der Xuezhai-Brücke sehr ähnlich. Xu Bingui hatte am Projekt der Xuezhai-Brücke als sekundärer Brückenbaumeister teilgenommen. Andere seiner Brücken zeigen keine so steifen Konstruktionen wie diese zwei Brücken.

⁶ Die „Schwester-Brücken“, d.h. die Xidong-Brücke und die Beijian-Brücke, wurden mehrfach umgebaut. Die historischen Aufzeichnungen erklären nicht deutlich, ob es sich um Reparaturen oder Umbauten handelte. Brücken von dieser Art wurden häufig beschädigt und umgebaut. In der vorliegenden Forschungsarbeit werden alle Brückenkonstruktionen nach ihrem jüngsten dokumentierten Umbau/Reparatur datiert.

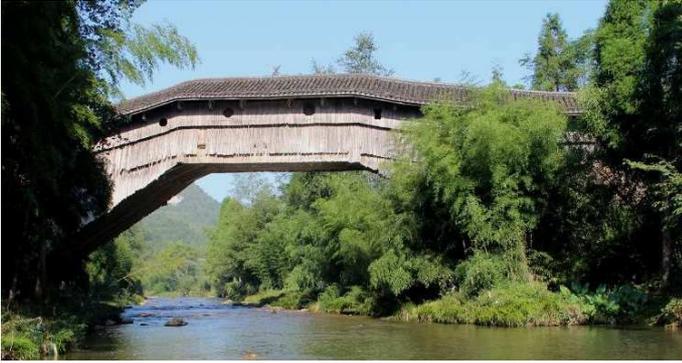


Abb. 20 Dabao-Brücke, Ortschaft Xiaodong, Landkreis Shouning. 1878 errichtet durch Meister Xu Bingui.

Der Vergleich der Konstruktionseigenschaften der Brücken in Taishun mit der Techniktradition der Xiaodong-Meister lässt vermuten, dass im frühen 19. Jahrhundert in Taishun eine oder mehrere Gruppen von fähigen Brückenbaumännern existierten. Sie benutzten kürzere O-S-Balken(2), um den Gewebobogen zu verdichten. Die Höhe der U-Querbalken ihrer Brücken ist unter allen MZ-Brücken auffallend.

Die technischen Eigenschaften der Holzbogenbrücken im Landkreis Taishun waren noch in der Erprobung und in der Entwicklung. Ihre Baumeister entwickelten sie von der „Treffensform“ zur „Durchgangsform“ und haben deshalb die konstruktive Technik des Choudu bzw. Querbalkenschlags im Rahmen dieser Projekte entwickelt. Die Unterschiede in der Zapfenform zeigen zwei Möglichkeiten auf: entweder gab es eine Gruppe von Brückenbaumännern, die unterschiedliche Formen ausprobierten, oder es gab mehrere Gruppen von Brückenbaumännern, die zueinander Beziehungen hatten.

Aus irgendwelchen Gründen sind diese Gruppen von unbekanntem Brückenbaumännern seit den 1850er Jahren verschwunden. Nach Taishun werden Brückenbaumeister nur von außerhalb eingeladen, wenn es keinen lokalen erfahrenen Brückenbaumeister gibt. Deshalb bekamen die Xiaodong-Meister im Jahr 1857 das Bauprojekt der Xuezhai-Brücke, und einem unfähigen Zimmermann wurde Gelegenheit für den Bau der Wenxing-Brücke gegeben. Danach wurden bis zum Jahr der Gründung der Volksrepublik China, soweit bekannt, keine neuen Holzbogenbrücken in Taishun gebaut, während in den benachbarten Landkreisen zahlreiche neue Brücken errichtet worden sind.

4. Beziehung zwischen den Xiajian-Meistern und den Xiaodong-Meistern

Die aus dem 18. und 19. Jh. überlieferten Bautechniken, nämlich die Traditionen der Xiajian-Meister und der Xiaodong-Meister, sind sich sehr ähnlich. Sie sind im letzten Kapitel dieser Arbeit beschrieben. Die Prinzipien ihrer Entwurfsmethoden sind identisch, die Unterschiede liegen nur im Detail. Ihre Konstruktionsmethoden sind fast gleich.

Wie oben erwähnt, hatte die Tradition der Xiaodong-Meister wahrscheinlich noch nicht begonnen, als die Xiajian-Meister die Xian'gong-Brücke im Jahr 1767 im Landkreis Shouning errichteten. Etwa dreißig Jahre später wurde die ausgefeilte Technik der Xiaodong-Meister von Meister Xu Zhaoyu und Meister Wu Guangfu mit der kleinen Konstruktion der Xiaodong-Brücke geschaffen.

Für das Bauprojekt der Xian'gong-Brücke unter den Xiajian-Meistern, gab es neben dem Meister Li Xiuyi und seinem Schwiegersohn Zhang Xinyou einen weiteren, sekundären Meister, Wu Shenggui. Kann Wu Shenggui einer Verwandter der Wu-Familie der Xiaodong-Meister sein? In diesem Bereich bedarf es noch weiterer Forschung über die lokalen Stammbäume.

Die wahrscheinlich erste ausgereifte Brückenkonstruktion der Xiajian-Meister wurde im Jahr 1794 fertiggestellt, die der Xiaodong-Meister im Jahr 1801. Das früheste bestehende Beispiel für eine solche Brückenkonstruktion in Taishun ist die im Jahr 1827 umgebaute Xidong-Brücke.⁷ Um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert war die Bautechnik der MZ-Brücken in den Brückenbaufamilien verschiedener Landkreise so weit entwickelt, dass sie danach in jeder Familie ohne wesentliche Veränderungen festgehalten und

⁷ Wegen der Unklarheit der historischen Aufzeichnungen ist es möglich, dass die im Jahr 1803 umgebaute Beijian-Brücke ursprünglich in ausgereifter Struktur errichtet worden ist. Die Beijian Brücke wurde später (im Jahr 1849) durch einen anderen Umbau (oder einer anderen Reparatur) verändert, und daher ist unklar, auf wann genau die heutige Struktur datiert werden soll.

weitergeführt worden ist. Es ist wahrscheinlich, dass sich die Brückenmänner gegenseitig beeinflussten.

IV. Untypische Holzbogenbrücken

Bei den bislang in dieser Arbeit diskutierten Brücken handelt es sich um „typische Holzbogenbrücken“, nämlich die aus einem dreiseitigen und einem fünfseitigen Bogen zusammengesetzten Gewebobogenbrücken (die „3x5-Brücken“). Der Herstellung entsprechend und den Überlegungen der Brückenbaumänner die Konstruktion betreffend folgend, ist das Hauptssystem des Gewebobogens der dreiseitige Bogen. Er ist in einer Holzbogenbrücke unersetzlich. Daraus ergeben sich die theoretisch möglichen Formen der Holzbogenbrücken: 3x2-, 3x3-, 3x4- und 3x5-Brücken.

Zwar existieren von der Theorie abweichende Formen von Holzbogenbrücken im MZ-Gebiet (der Berglandschaft zwischen den Provinzen Zhejiang und Fujian), treten aber nur am Rande des Holzbogenbrücken-Gebiets auf (Abb. 21).

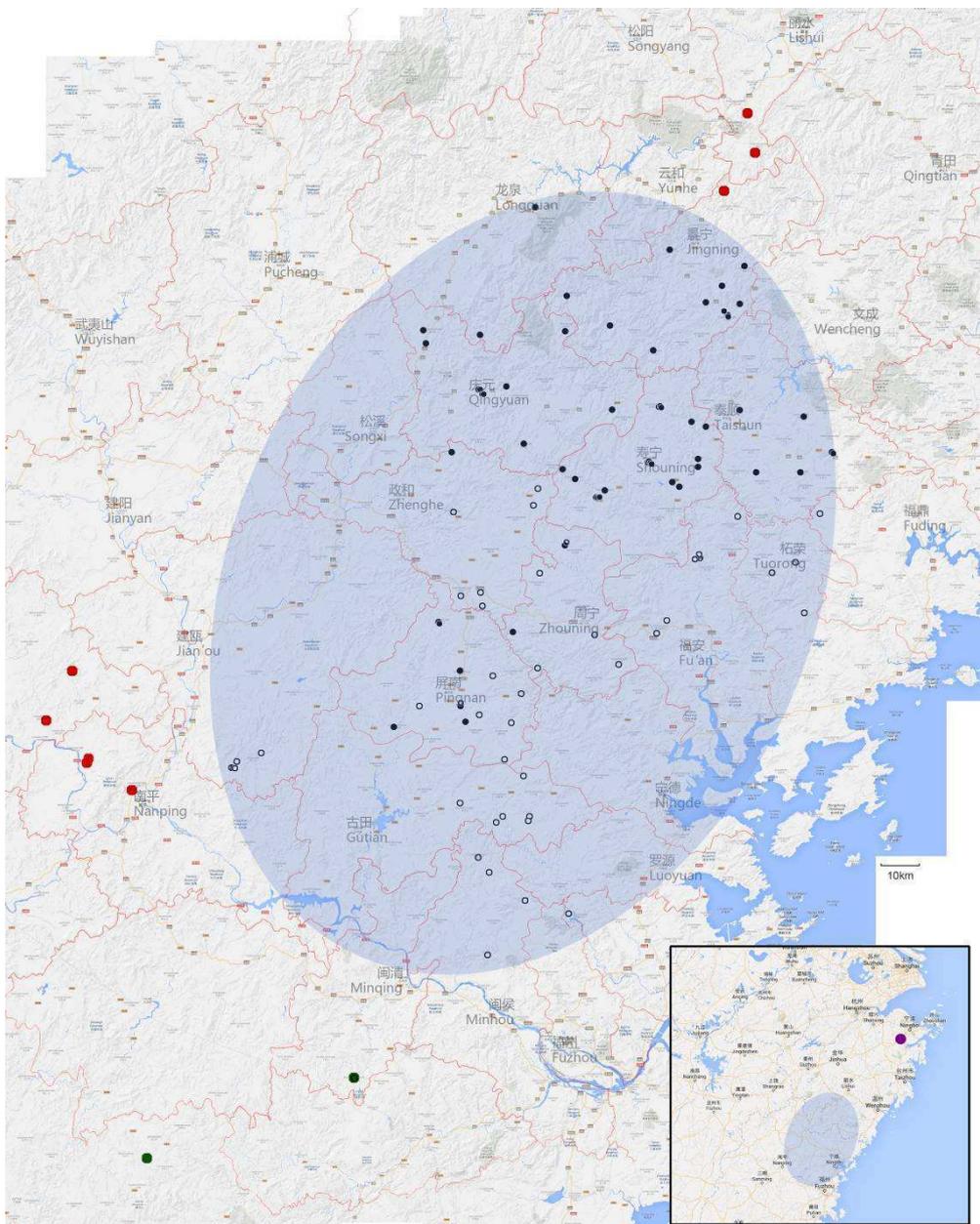


Abb. 21: Topografische Karte des Holzbogenbrücken-Gebiets in Südostchina. Das blau durchscheinende Oval markiert das Gebiet der typischen Holzbogenbrücken bzw. das Kerngebiet der Holzbogenbrücken. Von typischen Holzbogenbrücken abweichende Formen sind markiert mit rot (3x3-Brücken), grün (3x4-Brücken) und violett (3x2-Brücken). (Auf Basis von Google-Map gearbeitet.)

3x3-Brücken als Abweichung von den 3x5-Brücken

Die 3x3-Brücken sind am nördlichen und am westsüdlichen Ende des Holzbogenbrücken-Gebiets zu finden. Sie liegen außerhalb des Bereich der typischen Holzbogenbrücken. Alle 3x3-Brücken sind späte Konstruktion. Die erste stehende Brücke dieser Art wurde in den 1870er Jahren gebaut, die meisten stammen aus den 1930er und 1940er Jahren (Su und Liu, 2010).



a. Yongzhen-Brücke, Landkreis Jingning, Zhejiang. Die Brücke befindet sich am nördlichen Rand des MZ-Gebiets.

b. Yuanyue-Brücke, Landkreis Yanping, Fujian. Die Brücke befindet sich am südlichen Rand des MZ-Gebiets.

Abb. 22 3x3-Brücken sind am nördlichen und südlichen Rand des MZ-Gebiets zu finden.

3x3-Brücken können sich aus den 3x5-Brücken entwickelt haben. Nehmen wir an, dass die S-Balken(1) von den U-Querbalken(2) geschnitten werden, oder dass die U-Querbalken(2) in Richtung der Bogenfüße bewegt werden, so würde sich aus einer 3x5-Brücke eine 3x3-Brücke entwickeln. Theoretisch bietet eine 3x3-Brücke eine optimale Wahl für eine kleine Holzbogenbrücke. Die stehende 3x3-Brücken haben Spannweiten von 15 bis 23 m. Die größte 3x3-Brücke ist die Yongzhen-Brücke mit einer Spannweite von 22,5 m (Abb. 22 a).

Im Entwurf der Regensburg-China-Brücke für den Nepal-Himalaya-Pavillon in Wiesent, Deutschland (siehe Kapitel IV) war die Spannweite mit 7,5 m zu klein für eine 3x5-Brücke. Deshalb entwarf der Autor eine 3x3-Brücke (Abb. 23).



Abb. 23
Regensburg-China-Brücke,
Nepal-Himalaya-Pavillon, Wiesent,
Bayern, Deutschland. Es handelt
sich um eine 3x3-Brücke.

3x2-Brücken als „einfachste“ gewebte Bögen

Meister Dong Zhiji aus Taishun fertigte ein Modell der theoretischen „einfachsten“ Holzbogenbrücke an (Abb. 24). Der Hauptträger ist noch ein dreiseitiger Bogen. Das zweite System besteht aus einem Paar X-förmiger Balken, die mit den Querbalken verwebt sind.



Abb. 24: Holzbogenbrückenmodell bei Meister Dong Zhiji aus dem Landkreis Taishun, Zhejiang.

Obwohl es sich eigentlich um nicht mehr als ein Gedankenmodell der Baumeister handelt, so existiert doch tatsächlich eine Holzbogenbrücke in ähnlicher 3x2-Konstruktionform. Es handelt sich um die 1921 errichtete Wodu-Brücke. Sie befindet sich in den Bergen des Fenghua-Gebiets, im Norden der Zhejiang, also etwa 200 km außerhalb des Holzbogenbrücken-Gebiets.

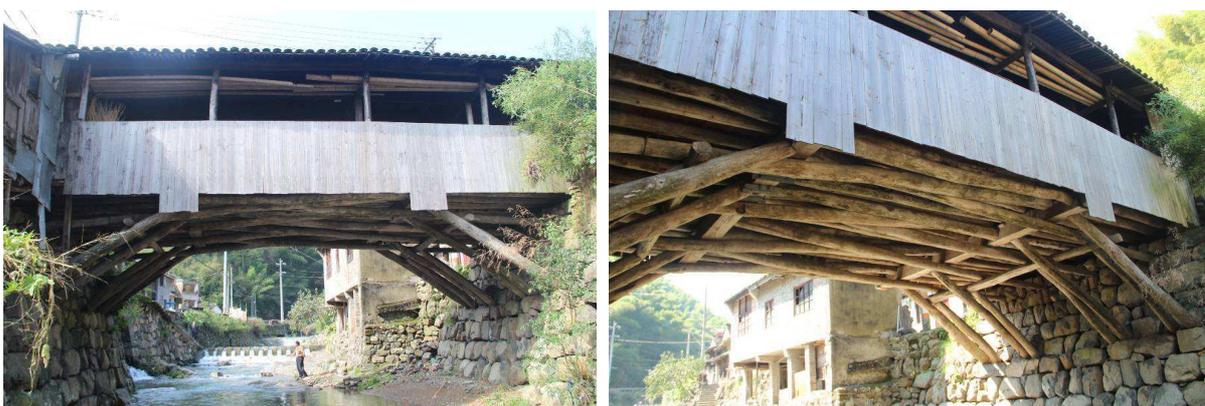


Abb. 25 Wodu-Brücke, Ortschaft Yuanjia'ao, Fenghua, Ningbo, Zhejiang.

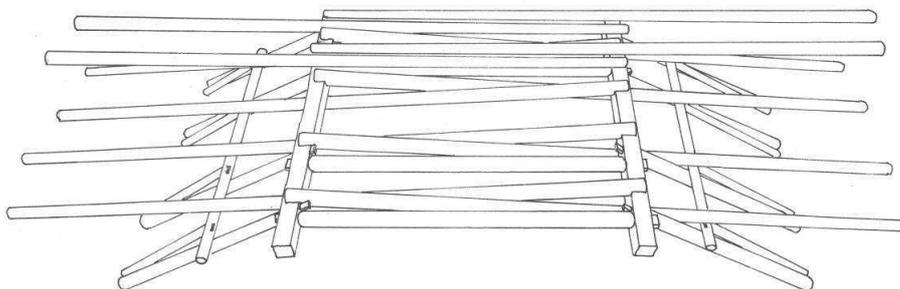


Abb. 26 Grafische Darstellung der Unterkonstruktion der Wodu Brücke.

3x2-Brücken als ungünstige Abweichung von den 3x5-Brücken

Anders als bei den 3x3-Brücken, bei denen das zweite Bogensystem aus einem dreiseitigen Bogen besteht, sind Brücken mit einem geradzahligem zweiten Bogensystem instabil. Wie in Kapitel IV beschrieben, werden die Längen der mittleren L-Balken immer während des Brückenbaus vor Ort bestimmt. Die Anpassung der Länge der mittleren Balken vor Ort ermöglicht es, die gewebte Konstruktion besonders dicht

zu konstruieren. Deshalb ist es ohne die L-Balken in der Mitte des zweiten Systems schwierig für die MZ-Brückenbauleute, die zwei Bogensysteme dicht miteinander zu verbinden und zu kontrollieren.

Für eine 3x2-Brücke konnte der Autor daher auch nur einziges Beispiel finden. Die Brücke befand sich im Aufbau durch einen unerfahrenen, ortsansässigen Zimmermann im Landkreis Jingning, Zhejiang (Abb. 27). Das zweite Bogensystem dieser „falsch“⁸ entworfenen Holzbogenbrücke besitzt eigentlich die Form eines dreiseitigen Bogens, die fehlen aber die mittleren L-Balken. Anstelle dessen besitzt der „zweiseitige“ Bogen des zweiten Bogensystems einen zusätzlichen mittleren Querbalken und damit zwei nebeneinander liegenden Querbalken in der Mitte.

Der Brücke wurde von einem lokalen Zimmermann, der kein Brücke zuvor gebaut hatte, gebaut.



Zwei nebeneinanderliegende Querbalken im zweiten Bogensystem.

Abb. 27 Dongkeng, Landkreis Jingning, Zhejiang. Eine 3x2-Brücke unter Konstruktion.

3x4-Brücken als Sonderform der MZ-Brücken

Wie oben erwähnt, Brücken mit einem geradzahligem zweiten Bogensystem als ungünstigere Bogenform der MZ-Brücken anzusehen sind. Es gibt nur zwei bekannte 3x4-Brücken in Südostchina. Beide befinden sich am südlichen Rand des MZ-Holzbogenbrücken-Gebiets.

Die Helong-Brücke

Eine der Brücken ist die Helong-Brücke (markiert in der Karte in Abb. 21 durch den oberen grünen Punkt) in Shenghuang Zhen, Landkreis Minqing. 1927 gebaut. Sie ist eine doppelbogige Brücke. Das größere Brückenfeld ist durch einen typischen 3x5-Gewebebogen überspannt. Das kleinere Brückenfeld besitzt eine 3x4-Gewebebogen-Konstruktion. Im Beispiel der Helong-Brücke ist das Prinzip des 3x4-Gewebebogens wahrscheinlich eine Abweichung vom 3x5-Gewebebogen.

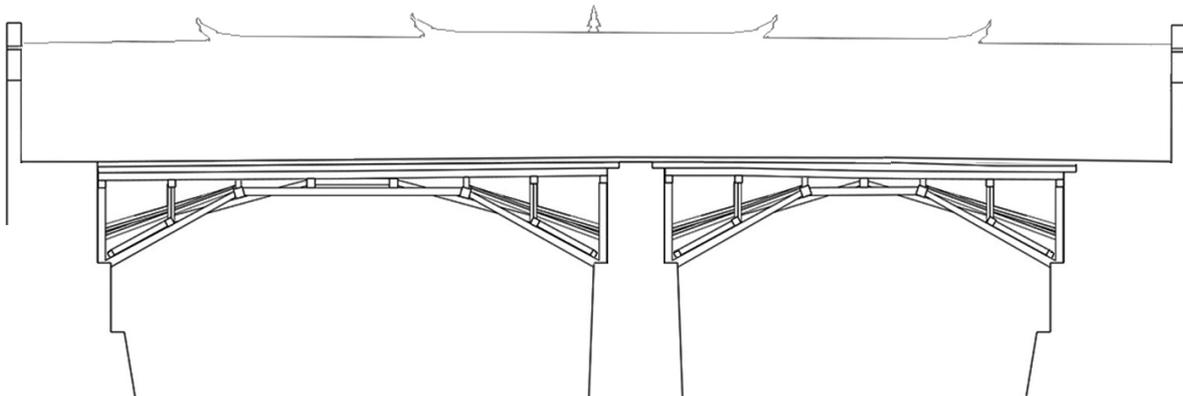


Abb. 28 Helong-Brücke, Landkreis Minqing, Fujian. Querschnitt.

⁸ Kritisiert von dem Xiaodong-Master Wu Dagen vor Ort der Stelle der Konstruktion, wenn er und der Autor auf dieser Brücke stoßen in Dez. 2013.

In beide Bögen, haben die ersten Systeme 8 Gruppe von Längsbalken, und die zweiten System 7 Gruppe, während in ein typische Holzbogenbrücke hat das erste System immer ungerade Zahl von Längsbalken.

Ihre Verbindungensystem deut es hin, dass sie wurde durch einen Bauprozess, der anders als den typischen MZ-Brücken aufgebaut: In beiden Bögen, haben die O-S-Balken(2) Zapfen an oberen Enden und Schwalbenschwanz an unteren, dagegen haben die U-S-Balken(2) Schwalbenschwanz an den oberen Enden, und Zapfen am Unten. Diese weist es hin, dass die unteren U-S-Balken wurden nach den O-S-Balken einstellt, während nach der typischen Methode, wir das Bogensystem immer von unter nach oben hergestellt. Eigentlich in einem 3x4-Bogen, ist es unmöglich, die U-S-Balken bevor die O-S-Balken einzustellen.



Abb. 29 Helong-Brücke, Landkreis Minqing, Fujian. Querschnitt. Die U-S-Balken(2) müssen nach O-S-Balken einstellt werden. An den Bogenfuß des 2. Systems, werden zwei Stücke von Fußbalken zusammen gesetzt. Die äußeren Stücke sollen zuletzt eingesetzt werden. Durch dem Einsieben des zweiten (äußeren) Fußbalkens, würde der Gewebebogen dicht gedrückt.

Die Yongge-Brücke

Die Yongge-Brücke ist eine 3x4-Brücke und ein sehr ungewöhnliche Sonderfall der Holzbogenbrücken in Südostchina (Abb. 31). Sie befindet sich am südlichen Ende des MZ-Brückengebiets in der Ortschaft Shancha im Landkreis Dehua, Fujian (markiert in der Karte der Abb. 21 durch den unteren grünen Punkt). Sie wurde im Jahr 1948 gebaut, mit einer Spannweite von ca. 20 m.

Der Erbauer dieser Brücke war Huang Yizhu, ein ortsansässiger Zimmermann. Nach seiner eigenen Erzählung hat er vor diesem Bauprojekt niemals Holzbogenbrücken gesehen. Der Projektdirektor war Guo Zhenhua, der zuvor als Beamter im Landkreis Shouning, dem Kerngebiet der MZ-Brücken, gedient hatte. Für den Bau der Yongge-Brücke wählte Guo den Baumeister und lehrte ihn, eine Holzbogenbrücke zu errichten (Su, 2010).



Abb. 30 Yongge-Brücke, Shangyong Zhen. Landkreis Dehua, Fujian. Die untere Konstruktion und die Eisenbolzen.

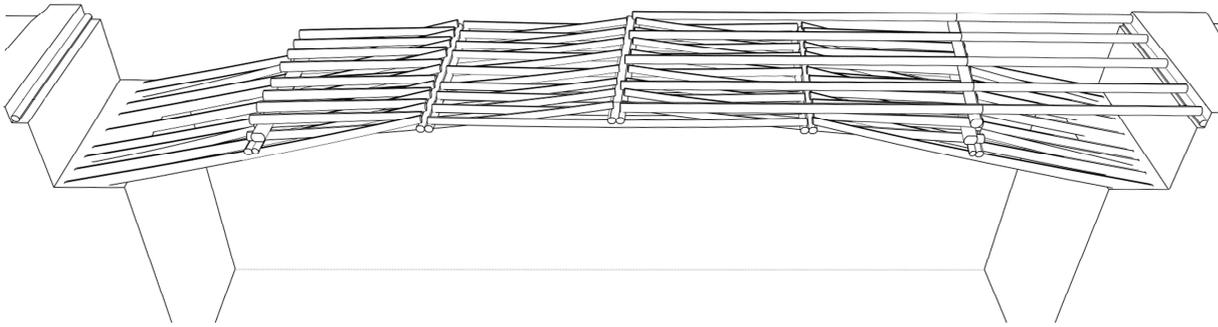


Abb. 31 Yongge-Brücke, Shangyong Zhen. Landkreis Dehua, Fujian. Skizze der unteren Konstruktion.

Aber wie kann ein Beamter einen Zimmermann lehren, ein Brücke zu bauen? Die Brückenkonstruktion kann uns diese Frage antworten.

Der Unterbogen der Yongge-Brücke ist ein 3x4-Bogen. Die Längs- und Querbalken sind nicht über Holzverbindungen miteinander verbunden, sondern durch Eisenbolzen. So kann der gewebte Bogen der Brücke wie eine vergrößerte „Essstäbchenbrücke“ betrachtet werden. (siehe Kap. III, Abschn. I.4.) Stellen wir uns vor, dass ein Beamter einem Zimmermann mit etwa 15 Essstäbchen die Konstruktion einer Holzbogenbrücke erklärt. Dies ist durchaus möglich. Der Zimmermann in Shancha deshalb die Brücke nach dem Prinzip des Essstäbchenspiels errichtete, ohne jemals einen Blick auf eine echte Holzbogenbrücke geworfen zu haben. Dies mag auch der Grund dafür sein, dass anstelle traditioneller Holzverbindungen in der Yongge-Brücke Eisenbolzen eingesetzt sind, die erst seit Anfang des 20. Jahrhunderts in China importiert werden.

Kapitel VI

Bauforschung zur Rulong-Brücke

I. Die Rulong-Brücke als Bauforschungsprojekt

Die Rulong-Brücke 如龙桥 (wörtlich „Drachenförmige Brücke“) befindet sich an dem Abwärtsstrom des Juxi Fluss im Dorf Yueshan 月山村 (wörtlich: Mondsichel-Hügel Dorf), ein kleines Dorf an der südlichen Grenze des Landkreises Qingyuan, Provinz Zhejiang. Das Dorf ist nach einem mondsichelförmigen Hügel benannt. Die Rulong-Brücke wurde auf dem mondsichelförmigen Hügel als "Drachenkopf", wie er nach *Fengshui* bezeichnet werden würde. (Abb. 1).



Abb. 1 Umgriff der Rulong-Brücke, Ortschaft Yueshan, Landkreis Qingyuan, Zhejiang.



Abb. 2 Rulong-Brücke, Ortschaft Yueshan, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Von Osten

Mit einem Glockenturm am Nordende, zwei mit reichen *Dugong* verzierten Pavillons in der Mitte und am Süden, wird Rulong-Brücke als eine der schönsten Holzbrücken erachtet (Abb. 2). Die Gestaltung entspricht einem Drachen: Ein erhobener Kopf (Glockenturm), ein gebogener Körper und ein aufgerichteter Drachenschwanz.

Auf dem mittleren oberen Balken (*Dong*) des Mittelpavillons ist die Datierung der Fertigstellung des

Bauwerks in Tinte zu sehen. Demnach wurde die Holzkonstruktion der Brücke im fünften Jahr der Tianqi Regierungsperiode in der Ming Dynastie (1625) fertiggestellt. Damit ist die Rulong-Brücke die älteste bewusste Holzbogenbrücke im MZ-Gebiet.



Abb. 3 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Auf dem mittleren Balken wurde die Bauzeit der Brücke mit Tinte geschrieben.



Abb. 4 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Die untere Konstruktion, Blick von Norden nach Süden.

Konstruktive Eigenschaften

Die Spannweite der Rulong-Brücke beträgt nur 20m, was fast die kleinste Spannweite einer typischen Holzbogenbrücke darstellt. Wenn die Spannweite kleiner als 20m ist, kann diese mit einer einfachen Sprengwerkbrücke (bestehend aus einer dreiseitigen Bogenkonstruktion aus Holzbalken, Abb. 5) überspannt werden.



Abb. 5 Shengxian-Brücke, Landkreis Shouning, Fujian. Ansicht und die untere Konstruktion einer typischen Sprengwerkbrücke.

Deshalb besitzt die Rulong-Brücke verschiedene, konstruktive Eigenschaften als typische Holzbogenbrücke, die in der Einführung des Teils II und dem Kapitel IV schon beschrieben worden sind. Die untere Konstruktion einer Holzbogenbrücke in MZ-Gebieten besteht aus einem dreiseitigen Bogen (Hauptträger), einem fünfseitigen Bogen (Nebenträger), seitlichen liegenden Balken (SL-Balken) und mittleren Stützen. Die SL-Balken spannen vom Pfeiler bis zum O-Querbalken(2) und sind durch Schwalbenschwanzanschlüsse mit den Querbalken verbunden. Die SL-Balken und die L-Balken(2) tragen die Brückendecke und funktionieren folglich als Deckenbalken.

Die Rulong-Brücke besitzt wegen ihrer kleinen Spannweite durchlaufende Deckenbalken. Fünf von sieben liegenden Balken wurden jeweils aus einem einzigen 20m langen Stück gefertigt und überspannen die komplette Weite zwischen den beiden Pfeilern (Abb. 6. Vergl. Abb. 4 in Einführung des Teils II). Die Deckenbalken werden von einem Gewebebogen unterstützt. Dieser Bogen ist als „Treffensform“ (siehe Kapitel V) konstruiert: Die Anzahl und Positionierung der L-Balken(2) entspricht der der S-Balken(2).

Deshalb existieren bei der Rulong-Brücke in der Mitte drei Ebenen mit liegenden Balken, während bei einer typischen Brücke nur zwei Ebenen verwendet werden.

Im Vergleich zu üblichen MZ-Holzbogenbrücken wurde diese Brücke als kleine und niedrige Konstruktion konzipiert, die ihre Proportion des Gewebebogens bestimmt hat. Zudem besetzt die Rulong-Brücke keine Feldherrensäulen die von Bogenfüße bis zu der Dachkonstruktion des Brückenkorridors reichen, wie typischer Konstruktion, sondern Halfeldherrensäulen, die von den Bogenfüßen bis zu den Deckenbalken reichen.

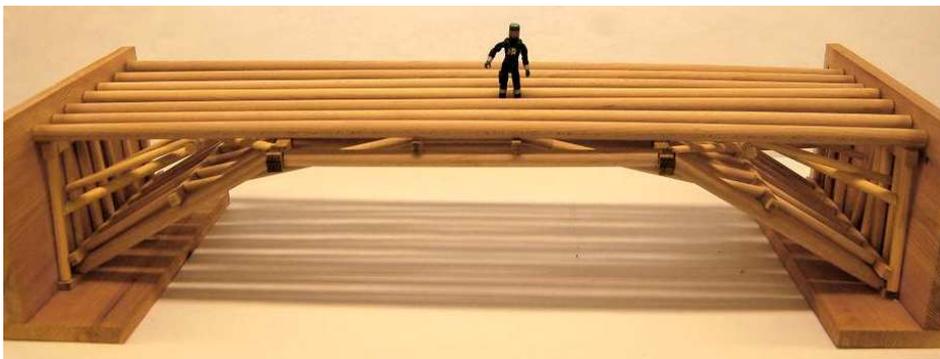


Abb. 6 Modell der unteren Konstruktion der Rulong-Brücke. (Modell und Foto von Yu Yannan.)

Das Bauforschungsprojekt

Um 1970 verlief eine Wasserleitung, die Teil des Bewässerungssystems für das Dorf ist/war, unter der südlichen Brückenkonstruktion. Das auslaufende Wasser versickerte im Laufe der Jahre am südlichen Bogenfuß. Als die Wasserleitung später entfernt wurde, beseitigten die Dorfbewohner auch die verrotteten Auflager und schnitten die geschädigten Balkenfüße der S-Balken(1) zurück. Der verkürzte S-Balken(1) wurde einfach auf dem Steinfundament gesetzt. Deshalb senkte sich der Gewebebogen ab und wurde von dem oberen Deckenbalken getrennt, so dass eine beträchtliche Klaffung zwischen dem Gewebebogen und dem Deckenbalken entstand, deswegen wurden Holzstücke eingesetzt (Abb. 7).

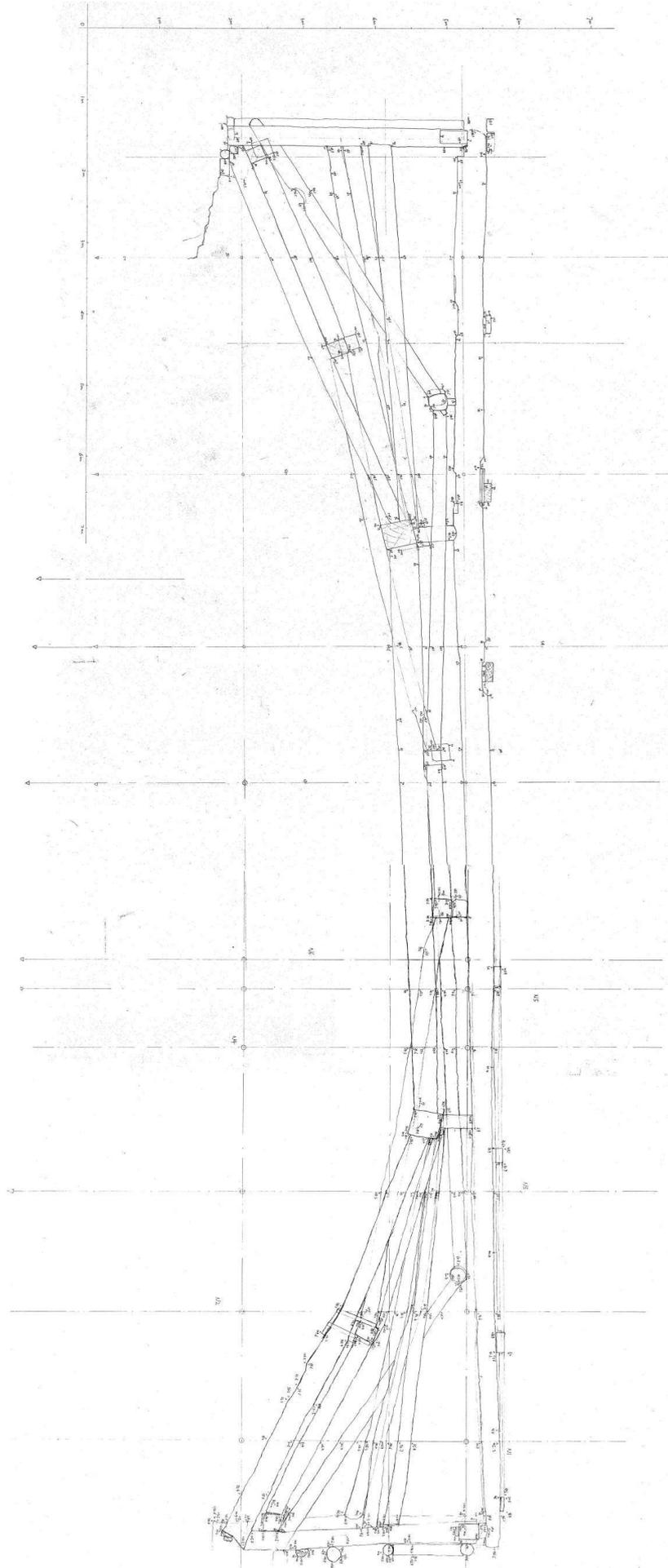
Diese Klaffung ist so groß, dass Menschen hindurchgehen können. Deshalb ist die Rulong-Brücke das einzige Beispiel, an dem der obere Teil des Gewebebogens betrachtet werden kann. Aus diesem Grund entschied sich der Autor 2012, als er auf der Suche nach einer geeigneten Holzbogenbrücke war, die Rulong-Brücke zum Gegenstand seines Bauforschungsprojekts zu machen und eine ausführliche Bauaufnahme (ohne Tachymeter) davon anzufertigen.



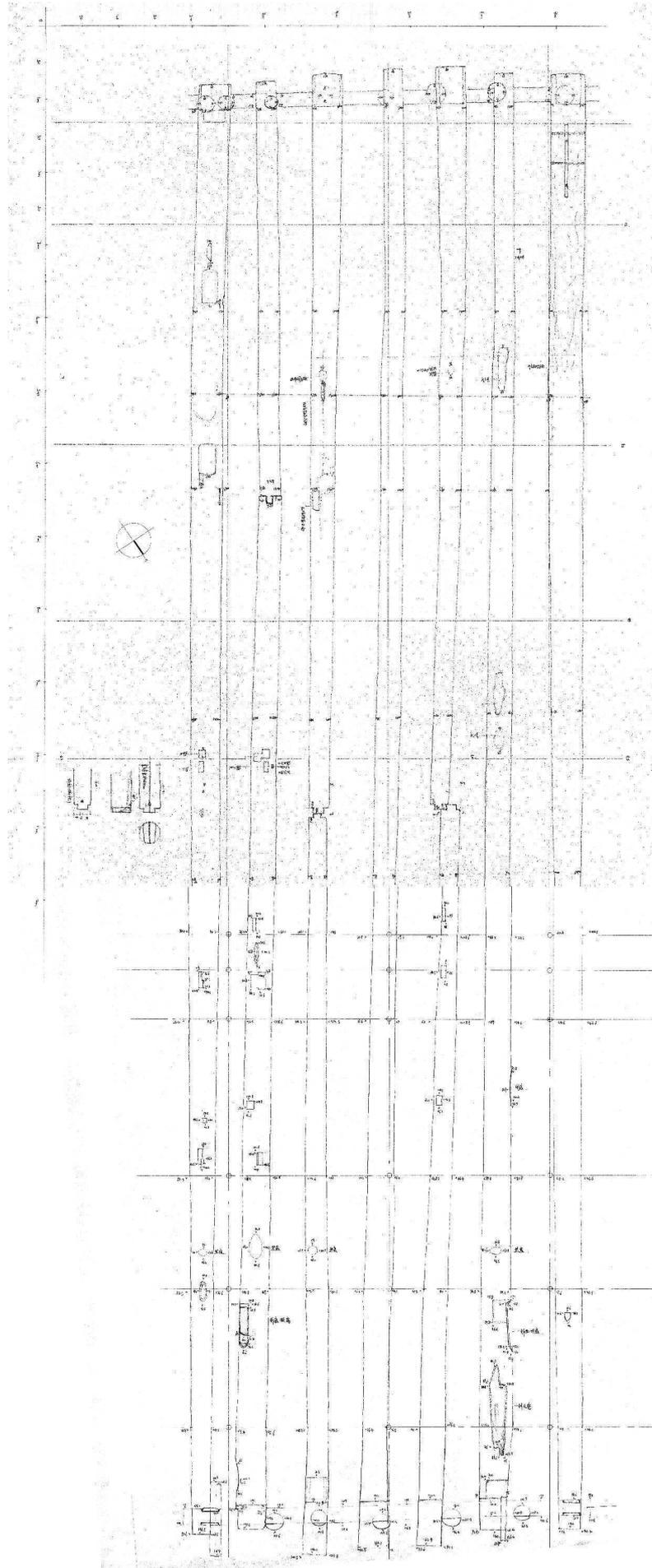
Abb. 7 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Klaffung zwischen dem Gewebebogen und den oberen Deckenbalken.

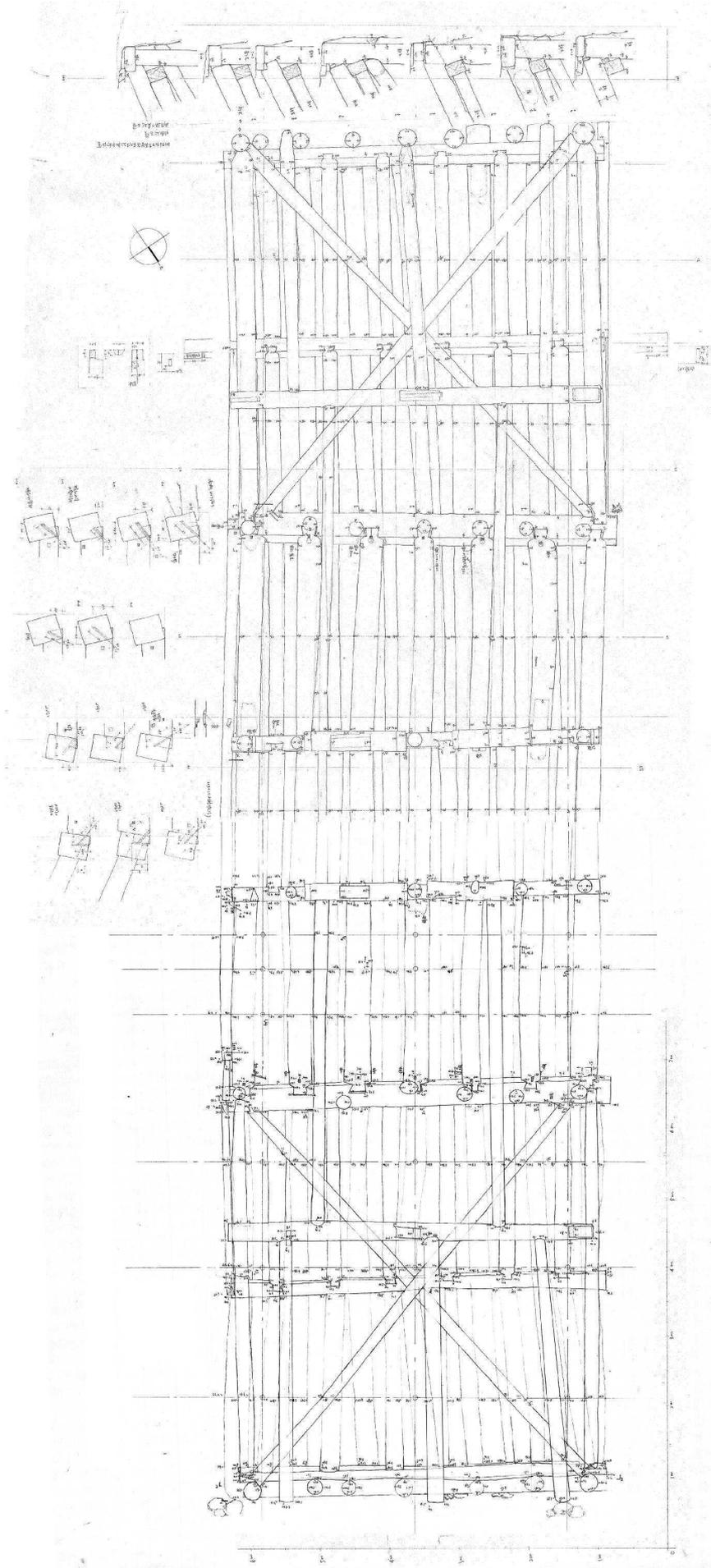
Die Bauaufnahme der unteren Konstruktion wurden von zwei Bauforschern, dem Autor und einer damaligen Studentin eines Magisterstudiengangs an der Hochschule Neubrandenburg, Frau Yu Yannan, in 26 Tagen durchgeführt. Der südliche Teil wurde von dem Autor aufgemessen und gezeichnet, die Arbeit der nördlichen Hälfte wurde von Yu Yannan angefertigt. Die endgültigen Zeichnungen wurden durch Visualisierungsprogramm (Photoshop) in Computer zusammengefügt (Abb. 8).

a. Seitenansicht von Osten



b. Unteransicht der Deckenbalken





c. Grundriss der Konstruktion unter den Deckenbalken.
Abb. 8 Pläne der Rulong, Landkreis Qingyuan, Zhejiang.

II. Das Rätsel der Rekonstruktion

Erster Hinweise und erste Entwurf der Rekonstruktion

Beim Untersuchen der Brücke vor Ort bemerkte der Autor sofort einige Hackspuren von einer Axt auf den Deckenbalken. Diese befinden sich immer an der gleichen Stelle eines jeden Balkens: Jeweils im dickeren Bereich des Baumstamms, gespiegelt an beiden Seite der Brücke (Abb. 11). Einigen Spuren sind nicht an den Unterseiten der Balken, da sie nach oben gedreht wurden.



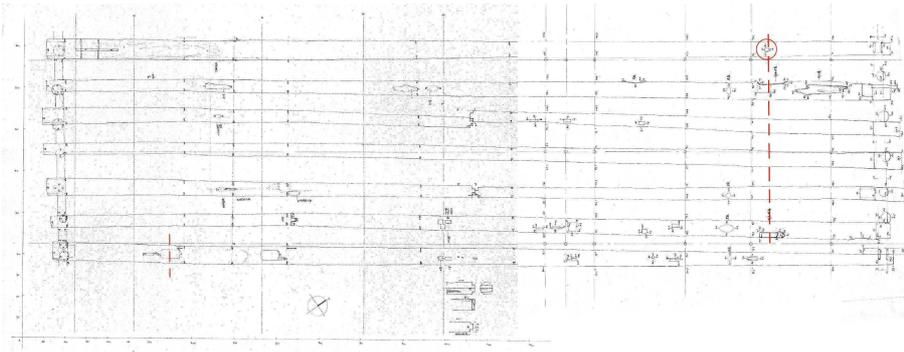
Abb. 9 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Hackspuren auf den Deckenbalken. Wahrscheinlich von einer Axt.



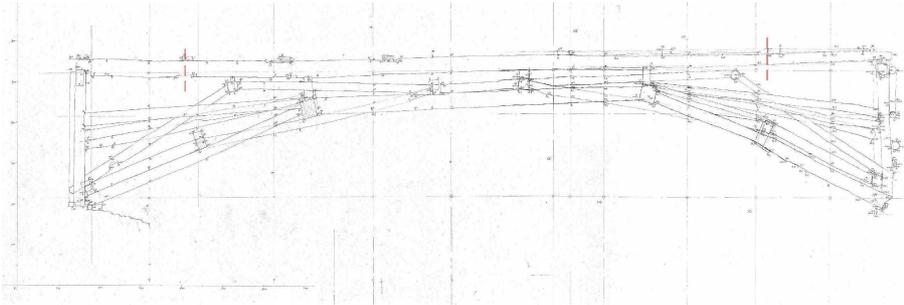
Abb. 10 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. „Froschschenkel“-Konstruktion, Nordseite.

Die Hackspuren sind der Hinweis dafür, dass die Konstruktion wahrscheinlich irgendwann in der Geschichte umgebaut wurde. In der ursprünglichen Konstruktion muss ein Querbalke an diesen Stellen senkrecht unter den Deckenbalken gewesen sein. An den Stellen, wo die Deckenbalken zu groß waren, wurde der Querschnitt durch Hacken reduziert, um die Querbalke einfügen zu können.

Die Stellen der Hackspuren sind fast lotrecht über U-Querbalke(2). Darauf stehen bei den typischen Holzbogenbrücken normalerweise die vertikalen Stützen der sogenannten „Froschschenkel“-Konstruktion, die einen oberen Querbalke haben, um die Deckenbalken in der Mitte zu unterstützen. Bei der Rulong-Brücke ist dem nicht so: Die mittleren Stützen des „Froschschenkels“ fehlen und die obere Balkenlage wird nur durch „Unterschenkel“ (schräge Balken, die sich auf dem Pfeiler stützen) und „Oberschenkel“ (schräge Balken, die sich auf dem O-Querbalke(2) stützen) getragen (Abb. 10). Die heutigen oberen Querbalke befinden sich nicht über den U-Querbalke(2), sondern liegen etwas nach innen zur Brückenachse versetzt.



a. Hackspuren an der Unteransicht.



b. Hackspuren an der Seitenansicht.

Abb. 11 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Pläne der Rulong-Brücke mit Stellen von Hackspuren.

Mit diesen Grundinformationen konnte der Autor einen Rekonstruktionsentwurf zur ursprünglichen Konstruktion anfertigen. An den Stellen der Hackspuren waren, wie vermutet, die oberen Querbalken des „Froschschenkels“. Darunter befanden sich die mittleren Stützen, die auf den U-Querbalken(2) stehen (Abb. 12).

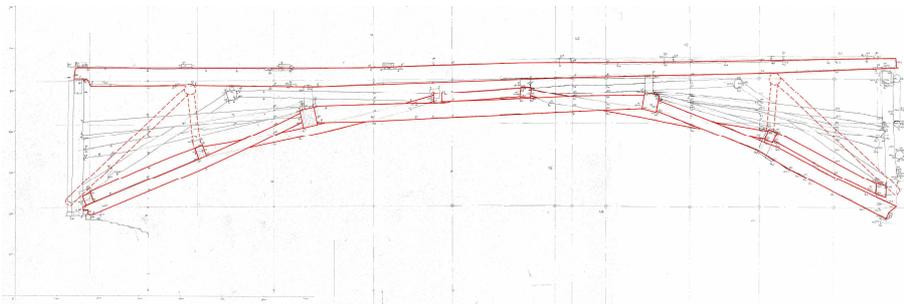


Abb. 12 Rekonstruktion der ursprünglichen unteren Konstruktion der Rulong-Brücke, Entwurf I.

Diese Vermutung konnte durch einen Fund am seitlichen Deckenbalken (Abb. 13 in dem Plan (Abb. 11 a) mit einem Kreis markiert). wiederlegt werden. An der Stelle, die normalerweise immer mit Hackspuren versehen ist, wurde eine Druckspur vorgefunden, die durch einen eckigen Gegenstand verursacht wurde.



Abb. 13 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Druckspur am Deckenbalken

Die Querbalken des „Froschschenkels“ sind immer kleine runden Hölzer, die wahrscheinlich mit der Druckspur nicht zusammenpassen. Bei dieser Brückenart werden quadratische Balken aus hartem Holz gewöhnlich nur für die Querbalken des Gewebebogens eingesetzt. Wenn man einen derartigen Querbalken auf diesen Stellen einsetzt, ergibt sich eine Sprengwerkbrücke mit einzigem dreiseitigen Bogen (Abb. 14). Es wird die Vermutung aufgestellt, dass die mittleren liegenden Balken ziemlich lang (ca. 14 m) gewesen sein müssen. Dies müssen weitere Beweise belegen.

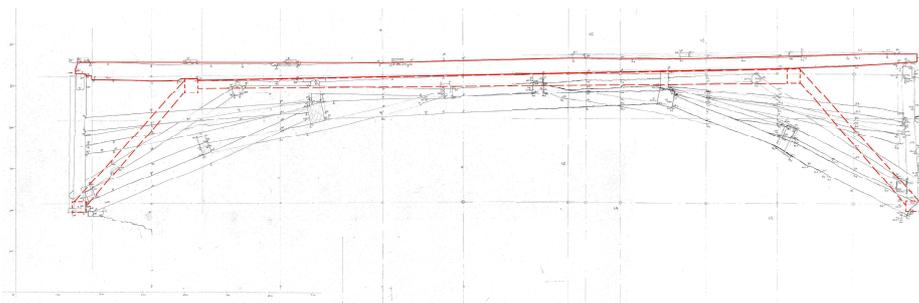


Abb. 14 Rekonstruktion der ursprünglichen unteren Konstruktion der Rulong-Brücke, Entwurf II.

Zweiter Beweis und Rekonstruktion der Baumethode

Einen wichtigen Fund, der eine entscheidende Rolle für die Rekonstruktion spielte, entdeckte der Autor bei der Bauaufnahme: Nach dem Entfernen der Staubschicht konnten Detailmaße der Schwalbenschwanzverbindungen am Ende der L-Balken(1) aufgenommen werden. Hierbei bemerkte der Autor eine kleine Vertiefung auf der Oberfläche am Balkenkopf. Nach dem Säubern dieser Stelle, zeigte sich ein tiefes Loch, dessen Ausrichtung geneigt zum angeschlossenen Querbalken war. Jedoch war das Loch durch den über die Jahrhunderte angesammelten Staub vollständig verfüllt und bedeckt.

Nach diesem Fund überprüfte der Autor die komplette untere Konstruktion und, fand Löcher dieser Art ausschließlich an beiden Enden der L-Balken(1). Die Löcherform variiert von leicht quadratisch bis rund und besitzen einen Durchmesser bzw. eine Seitenlänge von ca. 2 cm. Die Bearbeitungsspuren zeigen, dass sie wahrscheinlich mit einem Stemmeisen ausgearbeitet worden sind.

Der Staub wurde mit einer dünnen, hohlen Bambusstange entfernt. Tiefe und Neigung der Löcher wurden durch ein Einführen eines Stahllineals gemessen (Abb. 15). Alle Löcher hatten eine unterschiedliche Neigung (Abb. 16). Sie gehen so tief, dass sie von der Ober- bis zur Vorderseite des Schwalbenschwanzzapfens reichen, aber nicht bis in den anschließenden Zapfen des S-Balkens(1) reichen, während die Zapfenlöcher des Schwalbenschwanzes mit den Zapfenlöchern der S-Balken(1) in den Querbalken verbunden werden. Deshalb treffen die Zapfen des Schwalbenschwanzes der L-Balken mit den Zapfen der S-Balken zusammen (siehe Kapitel IV Abb. 65). Dies beweist, dass die Löcher sicher kein Nägellocher waren. Sie müssen zur Montage der S-Balken(1) dienen, bevor die Schwalbenschwanzzapfen in die Zapfenlöcher der Querbalken eingesetzt wurden.

Nach diesen Erkenntnissen und den vorliegenden Informationen stellt der Autor die Behauptung auf, dass die Löcher für die Durchführung von Seilen dienten und so ein Ziehen der Balken entlang seiner eigenen Achsen als Ziel hatte. Wenn die Balken in andere Richtungen (bzw. senkrecht zur Balkenachse) befördert werden sollten, musste man kein Loch in den Balken stemmen, sondern die Seile einfach um den Balken knoten.

Diese These erwies sich als richtig, als man zwei geschädigte Balkenköpfe vorfand, deren Löcher sich zu einem senkrechten Schnitt an der vorderen Zapfenseite aufgeweitet haben. (Abb. 15c). Dies zeigt, dass die Balken unter großer Zugkraftbeanspruchung standen.

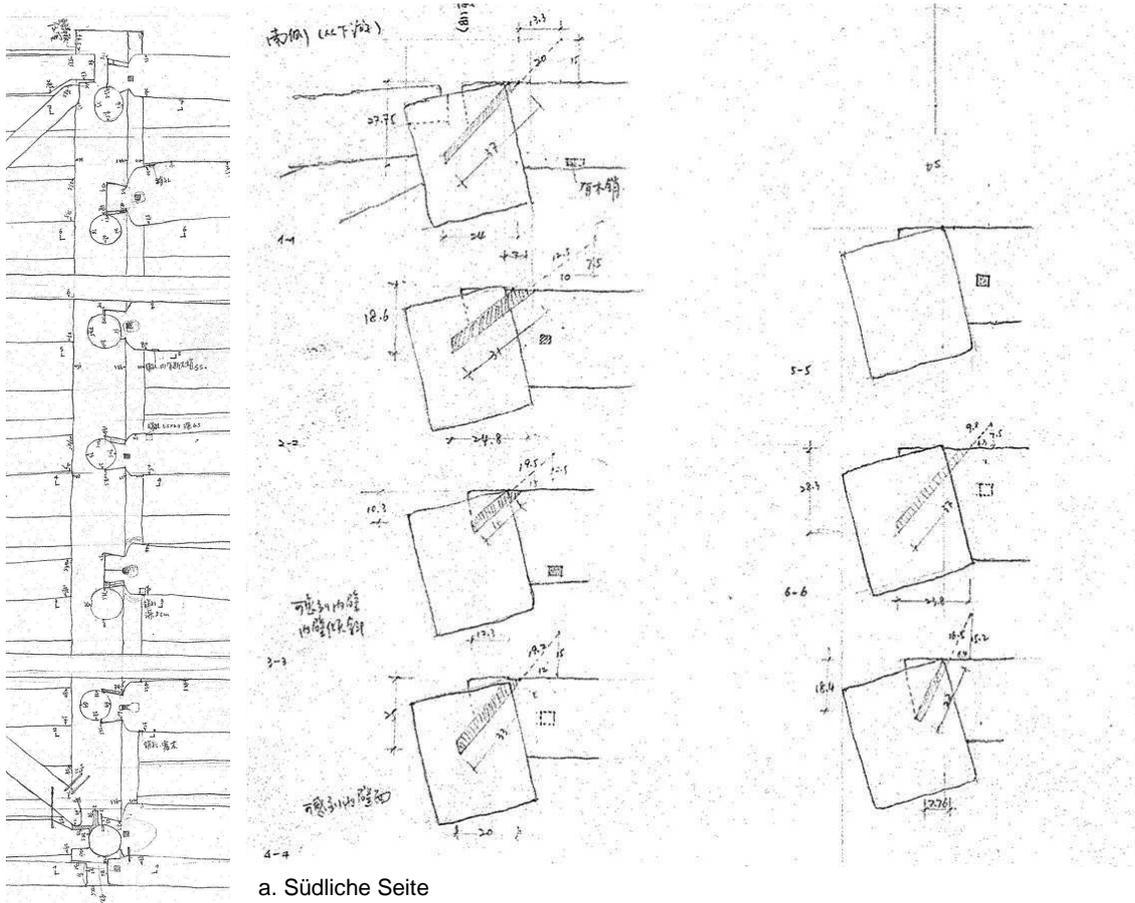


a.

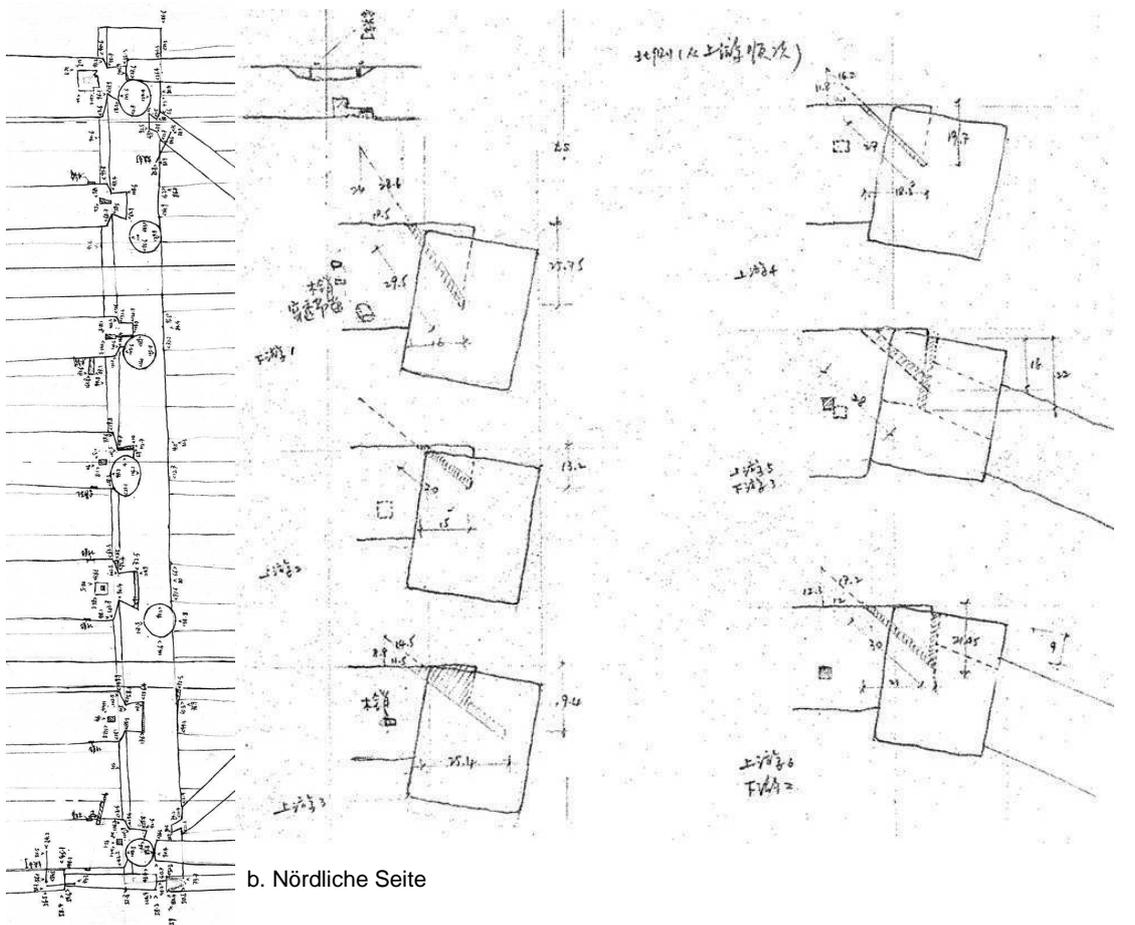
b.

c.

Abb. 15 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Löcher am Ende der liegenden Balken des dreiseitigen Bogens.



a. Südliche Seite



b. Nördliche Seite

Abb. 16 Details der Löcher an L-Balken(1) der Rulong-Brücken. (oben: südliche Seite, unter: nördliche Seite)

Dennoch ist diese logische Behauptung irritierend. Früher wurden bei dem Bau einer Holzbogenbrücke, wie in Kapitel IV beschrieben, die L-Balken entweder von den Brückenbauleuten zum mittleren Gerüst von Hand gereicht, oder - im Fall eines Pfahlrahmen-Gerüsts - mit Seilen von unten zum Einbauort gezogen (siehe Kap. IV, Abschn. IV.3). Im letzten Fall wurden Seile verwendet, die direkt um die Balkenenden geknotet wurden und aufwärts ziehen (Kap. IV, Abb. 48, Abb. 70c). Löcher wären nur dann notwendig, wenn die Balken vom Ufer waagrecht zur Flussmitte gezogen wurden (Abb. 17).

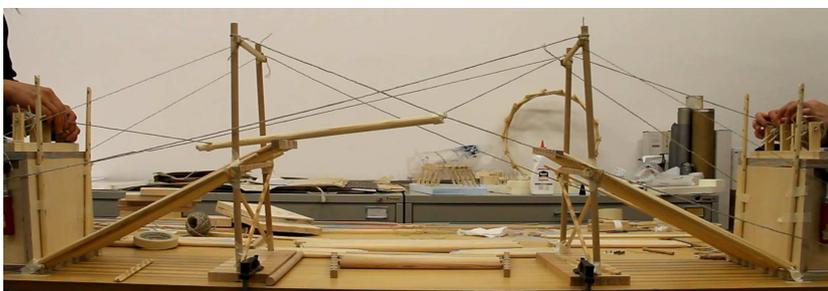


Abb. 17 Modelldemonstration: L-Balken(1) werden mit Seilen vom Ufer zur Flussmitte gezogen.

Die Vermutung zu diesem Bauablauf wird betätigt durch die Lage der Bambusdübel oder deren Löcher seitlich an den jeweiligen Balkenköpfen (Abb. 18). So konnten die Brückenbauleute, die an den Querbalken arbeiteten (Kapitel IV, Abb. 48), die Balken waagrecht an ihren Einbauort ziehen.



a. Bambusdübel

b. Löcher des fehlenden Bambusdübels

Abb. 18 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Bambusdübel oder deren Löcher seitlich an den Balkenköpfen.

Aber warum benutzten die Brückenbauleute diese ermüdende, problematische Baumethode, mit der die Löcher mühsam zu stemmen und die Zapfen leicht dabei zu beschädigen waren?

Dritter Beweis und die finale Rekonstruktion

Wie oben bereits erwähnt wurde, sind die Deckenbalken der Rulong-Brücke die einzigen Balken, die von einem Pfeiler bis zum anderem reichen. Dies gilt für fünf von insgesamt sieben Deckenbalken. Während jeweils der dritte Balken (flussaufwärts bzw. flussabwärts gezählt), aus zwei einzelnen Deckenbalken

konstruiert wurde. Die Balken werden mit den kleineren Balkenenden (Balkenköpfe in Deutsch¹) nach innen gerichtet und treffen genau in der Mitte der Spannweite zusammen. An den Enden der Balkenköpfe gibt es Schwalbenschwanzzapfen (Abb. 19). Dieser Anschluss ist in der heutigen Brücke nicht mehr funktionsfähig. Zwei von den vier halblangen Deckenbalken haben kleine Löcher in den Zapfen, die durch den ganzen Balken verlaufen.



a. Dritte Balkenlage von Westen



b. Dritte Balkenlage von Osten

Abb. 19 Rulong-Brücke, Landkreis Qingyuan, Zhejiang. Schwalbenschwanzzapfen an den Balkenköpfen der halblangen Deckenbalken in der Mitte der Brücke. Zwei von den vier Anschlüssen sind gestoßen.

Diese vier Balken sind wahrscheinlich Teil der ursprünglichen Konstruktion, die auch in der umgebauten Brücke weiterverwendet wurde.

Die einzigen Bauelemente einer MZ-Holzbogenbrücke, die Schwalbenschwanzzapfen an beiden Enden haben, sind die L-Balken des dreiseitigen und fünfseitigen Bogens. Gemäß der oben angeführten Rekonstruktion der Sprengwerkbrücke sind die entsprechenden L-Balken 14 m lang (Abb. 14). Die Länge der halb lang Deckbalken der heutigen Brücke beträgt je ca. 10 m, da der bestehende Balken angepasst werden musste. So wurden die Balken von 14 m auf 10 m zurückgeschnitten und das 4 m lange Restholz wurde entfernt und anderweitig wiederverwendet.

Die Anzahl der Balken in der heutigen Brücke stimmt mit der vermutlich ursprünglichen Konstruktion überein. Es gibt fünf 20 m und vier 10m lange Deckenbalken. Es besteht die Möglichkeit zur Annahme, dass diese Deckenbalken alle von der ursprünglichen Konstruktion sind und alle waagrechten Balken beim Umbau weitgehend weiterverwendet wurden. Dann hätte die ursprüngliche Konstruktion aus fünf Deckenbalken und fünf (oder vier) L-Balken für den Unterbogen bestanden (Abb. 20). Vier von den insgesamt fünf (oder vier) Bogenbalken wurden von 14 m auf 10 m gekürzt und jeweils paarweise zwischen die Deckenbalken gesetzt.

Die Löcher weisen darauf hin, dass diesen Balken auch mit Seilen gezogen wurden. An der Baustelle einer kleinen Brücke über einem seichten Flussbett (Abb. 2) wäre es sinnlos die riesigen mittleren Balken von unten hereinzubringen, so wie es beim Brückenbauprozess normalerweise üblich ist. Es ist viel einfacher, die schweren Balken gerade von einem Ufer (hier wahrscheinlich vom südliche Ufer, dessen Ebene sich gut als Bearbeitungsplatz eignet) waagrecht zur Flussmitte zu ziehen. Die Löcher waren nur an zwei Balken zu finden, weil diese nur vom schmaleren Balkenkopf aus bewegt werden konnten. Die Balken wurden mit abwechselnden Ausrichtungen versetzt, d.h. wenn der erste Balken mit dem Balkenkopfnach Norden verlegt wurde, wurde der zweite Balken mit dem Balkenfuß nach Norden angeordnet. Deshalb haben zwei Balken Löcher jeweils am Balkenkopf, während sich die Löcher der anderen zwei jeweils am Balkenfuß befinden. Im Umbau wurden die Balken vom Fußende her um 4 m zurückgeschnitten, deshalb finden wir heute nur zwei Löcher in den vier Balkenköpfen. Zwei Balken haben keine Löcher, da diese sich jeweils an den abgeschnittenen Balkenfüßen befanden.

¹ Allerdings wird im Chinesischen das Balkenende mit dem kleineren Durchmesser als „Schwanzende“ bezeichnet (siehe Kapitel IV, „Die Wahl des Holzes“ im Abschnitt II). In diesem Kapitel werden sie nach deutsche Gewohnheit der Terminologie bezeichnet.

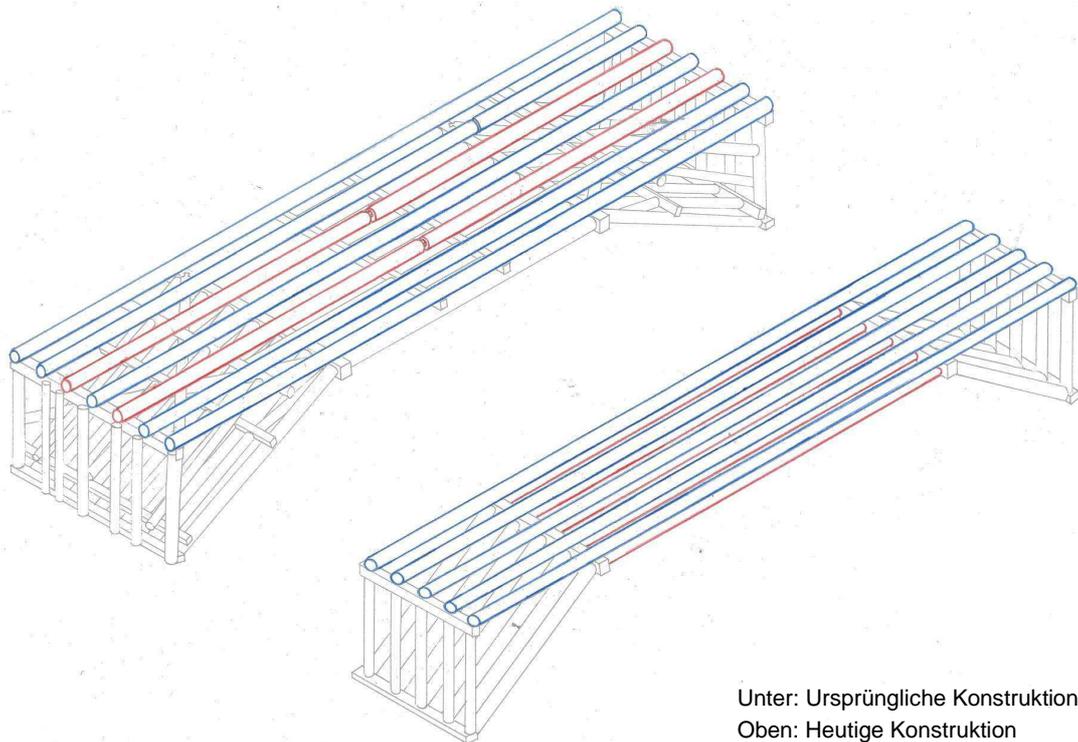


Abb. 20 Rekonstruktion des Umbaus der Rulong-Brücke mit Weiterverwendung bestehender Balken (gezeichnet von Yu Yannan)

III. Schlussfolgerungen

Nach allen Behauptungen und Beweise können nun folgende Schlüsse gezogen werden:

Die Rulong-Brücke wurde von einer Sprengwerkbrücke mit einzigem dreiseitigen Bogen zu einer Holzbogenbrücke umgebaut, die aus einem Gewebebogen mit einem dreiseitigen und einem fünfseitigen Bogen besteht. Die ursprüngliche Konstruktion hatte fünf Gruppen von ca. 20 m langen, durchlaufenden Deckenbalken. Der dreiseitige Bogen hat fünf oder vier Gruppe von Längsbalken, die ca. 14m lang waren. Alle Deckenbalken, einschließlich der vier liegenden Balken des Bogens wurden im Umbau wiederbenutzt. Die L-Balken des Bogens wurden auf 10 m zugeschnitten und paarweise als Deckenbalken eingesetzt.

Der Grund des Umbaus besteht vielleicht darin, die Konstruktion zu verstärken. Die Tragfähigkeit der ursprünglichen Konstruktion wäre für eine Brücke mit 20 m Spannweite bedenklich.

Sowohl bei der ursprünglichen, als auch bei der heutigen Konstruktion wurden die L-Balken des dreiseitigen Bogens mit Seilen vom südlichen Ufer zur Flussmitte gezogen. Dafür wurden Löcher in die Balkenköpfe gestemmt, um die Seile durchführen zu können.

Dieser Bauablauf ist plausibel für das erste Projekt, weil die 14 m langen, mittigen Balken zu groß und schwer waren für einen händischen Transport. Jedoch war diese Methode ungünstig für die Konstruktion des Umbaus, wenn die mittleren Balken nur 10 m lang waren. Das Stemmen der Löcher war mühsam und es bestand die Gefahr, die Balken zu beschädigen. Folglich wäre es schlüssig, wenn diese Methode aus der ersten Bauphase hervorgehen würde. In diesem Fall wären die beiden Konstruktionen innerhalb einer Zimmermannsgeneration ausgeführt worden, was einem Zeitraum von etwa 50 Jahren entspricht.

Der Umbau zeigt, dass die Brücke von fünf auf sieben Deckenbalken erweitert wurde. So ist es sehr wahrscheinlich, dass der Brückenkorridor im Umbau neugebaut wurde, und dass das Datum, das auf dem Dachbalken in Tinte angebracht wurde, der Bauzeit des Brückenkorridors entspricht - so war das Jahr 1625 die Zeit des Umbaus.

Wegen des schlechten Zustands der Bauhölzer konnten nur wenige dendrochronologische Proben bei Balken mit ausreichendem Durchmesser gemacht werden. Die Daten bieten keine eindeutigen Ergebnisse,

konnten aber zur Überprüfung der Theorie angewendet werden. Da die chinesische Datenbank zur Dendrochronologie unvollständig ist, auf den eingeschränkte Proben beruht das Ergebnis auf relative Daten. So wird angenommen, dass das späteste verbaute Holz aus dem Jahr 1625 ist.

Die Holzproben ergaben, dass die Bäume in folgenden Zeiträumen gefällt worden sind:

Holzproben von den Bauelementen des dreiseitigen Bogens

3. L-Balken	1600-1618
5. S-Balken	1609-1623
3. S-Balken	1466-1503
nördliche Querbalken	1434-1600
südliche Querbalken	1427- 1625

Holzproben von den Deckenbalken

1. Deckenbalken	1502-1531
4. Deckenbalken	1500- 1578

(Längsbalken sind von flussaufwärts gezählt)

Nach dieser aufgestellten Theorie sind die Längsbalken der ursprünglichen Konstruktion erhalten und zumindest teilweise als Bauelemente für den Umbau zur Gewebebogenbrücke verwendet worden. So können die Längsbalken (L- und S-Balken) des Gewebebogens auch von der ursprünglichen Konstruktion stammen. Im Gegensatz zu den Querbalken, die als neue Bauelemente für den Gewebebogen angefertigt wurden.

Die gewonnenen Ergebnisse unterstreichen die zuvor erklärte Theorie, dass die Brücke im Zeitraum von ca. 50 Jahren umgebaut worden war. Beide Holzproben der Deckenbalken sind aus dem 16. Jahrhundert. Die späteste Holzprobe ist aus dem Jahr 1578 (relatives Datum). Alle Holzproben des Gewebebogens – bis auf eine einzige Ausnahme – sind aus dem 17. Jahrhundert, die späteste Probe führt auf das Jahr 1625 zurück (relatives Datum). Das Datum des dritten S-Balkens, flussaufwärts gezählt, passt zu der ursprünglichen Konstruktion. Deswegen ist es sehr wahrscheinlich, dass dieser Teil der ersten Brückenkonstruktion war.

Schlussbetrachtung

Schlussbetrachtung:

Überdenken der Geschichten der Gewebebogenbrücken

I Gedanken zu den drei Gewebebogenbrücken-Bautraditionen

Der Gewebebogen ist eine außerordentliche Erfindung in der Holzkonstruktion. Aufgrund seiner „gewebten“ Konstruktionen vergleichbaren Eigenschaften ist die formale Ähnlichkeit zwischen den da Vinci Brücken, der Mondbrücke, der Regenbogenbrücke und den MZ-Brücken auffallend (Abb. 1). Diese Eigenschaft ist so ungewöhnlich, dass einerseits sowohl die chinesischen Brücken als auch die Huntington Brücke als einzigartige Konstruktionen fest in lokalen Studien verankert sind (Tang, 1957; Tang, 2010; Hirahara, 2013), und dass andererseits bis heute in der westlichen akademischen Welt angenommen wird, da Vinci wäre beim Entwurf seiner Gewebebogenbrücken durch den Orient und die Idee der Regenbogenbrücke in China inspiriert worden, da sie sich so ähnlich sind (Thönnissen, 2015. S. 46).

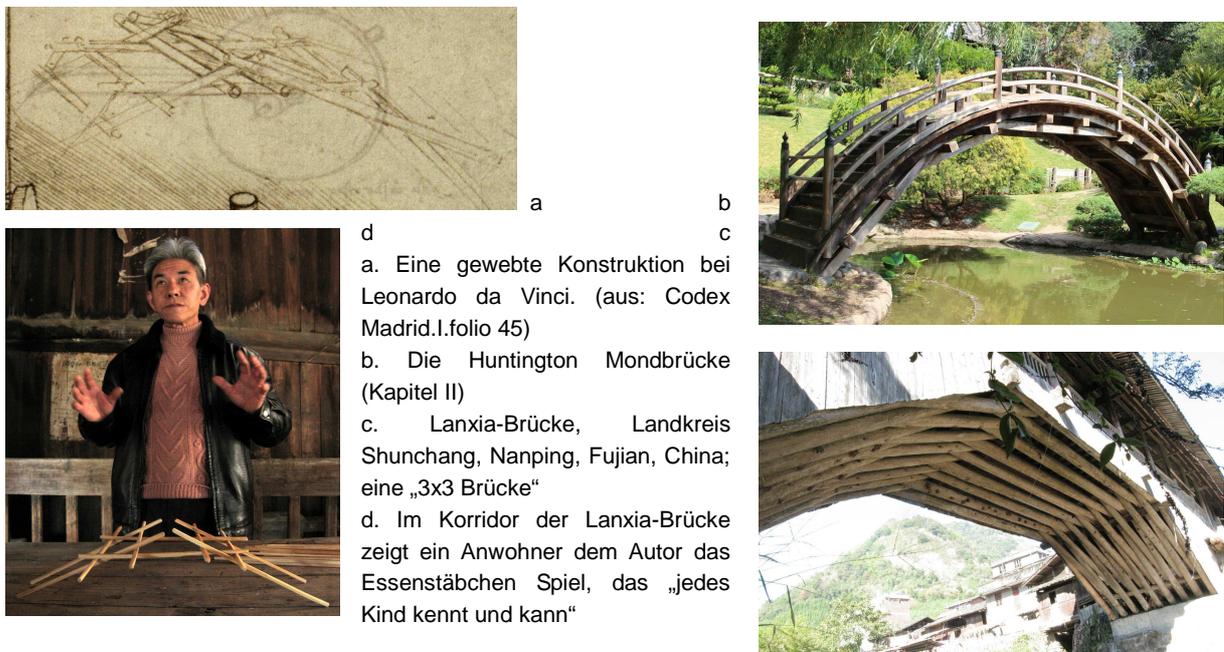


Abb. 1 Identische Form der Gewebebogenbrücken unterschiedlicher Kulturen.

Diese beiden weit verbreiteten Annahmen, d.h. die Einzigartigkeit bzw. der asiatische Einfluss, sind falsch. Gewebebogenkonstruktionen sind immer ein isoliertes bauliches Phänomen in ihrem Kulturkreis, treten aber in mehreren Kulturen parallel auf.

Der Einfluss der ältesten bekannten Gewebebogenkonstruktion, nämlich der chinesischen Regenbogenbrücke über den Bian Fluss, reichte nicht weit. Außer der in Kapitel III zitierten historischen Literatur aus dem 11. und 12. Jahrhundert und einer Malerei aus dieser Zeit (dazu später mehr) gibt es keinen Hinweis darauf, dass eine solche Art von Brücke außerhalb des nordchinesischen Kulturraums (nach Osten bis Shandong, nach Westen bis Gansu) verbreitet war oder in spätere Dynastien überliefert worden ist. Deshalb reichte ihr Einfluss unmöglich bis in da Vincis Zeit und auch nicht bis nach Europa. Es ist auch zweifelhaft, ob die Regenbogenbrücke unmittelbaren Einfluss auf die MZ-Brücken hatte.

Außer den bereits genannten Beispielen tauchen weitere Beispiele vergleichbarer Konstruktionen in der Geschichte verschiedener Kulturen auf. Manche können Beziehungen zueinander haben. Alle Beispiele haben gemeinsame Eigenschaften, obwohl sie in ihren jeweiligen Kulturen verwurzelt und unter verschiedenen Bedingungen entstanden sind.

Montage: Der wichtigste Unterschied zwischen der da Vinci- und der Regenbogenbrücke

Während seinem Dienst für Cesare Borgia als Kriegingenieur war da Vincis Fähigkeit des Brückenbaus nützlich. Dies gibt u.a. ein Bericht seines Freundes, des Mathematikers Luca Pacioli, wieder:

“One day Cesare Valentino, Duke of Romagna and present Lord of Piombino, found himself and his army at a river which was 24 paces wide, and could find no bridge, nor any material to make one except for a stack of wood all cut to length of 16 paces. And from this wood, using neither iron nor rope nor any other construction, his noble engineer [Leonardo] made a bridge sufficiently strong for the army to pass over.”

Nach dieser Beschreibung ist unklar, wie eine solche Brücke genau konstruiert war. Eine einfach gewebte Brücke (Kapitel I, Abb.18 b) mag hier gut funktionieren.

In jedem Fall handelt es sich bei da Vincis Entwurf dieser Gewebebogenbrücken um vorübergehendes Kriegsgerät. Deshalb wurden die Brücken an Land zusammengebaut und über dem Wasser gelegt, wie seine Skizzen des Bauprozesses zeigen (Abb. 2, Abb. 3). Demzufolge muss sie kleinen Konstruktionen gewesen sein, die eine Gruppe von Soldaten tragen konnte. Sie muss nicht sorgfältig ausgearbeitete Verbindungen besitzen. Seile sind für die Konstruktion unvermeidlich.

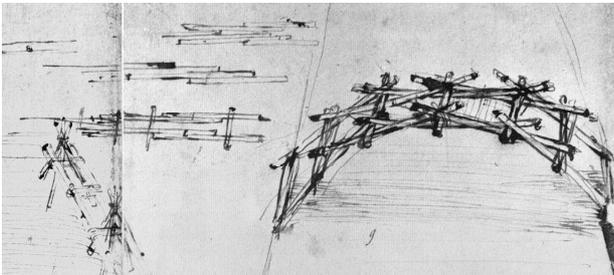


Abb. 2 Leonardo da Vinci. Skizzen. Detail des Bauprozesses der Gewebebogen-Konstruktion. (aus: Folio 57 und Folio 69, Codex Atlanticus.)

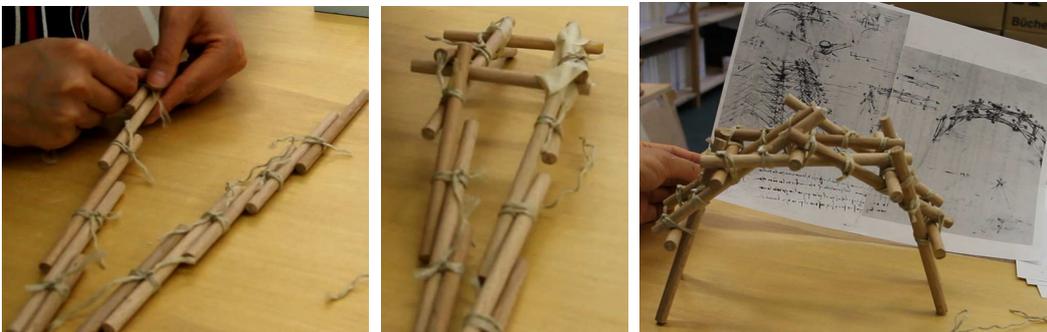


Abb. 3 Modell: Aufbau von da Vincis Gewebebrücke. Die Längsbalken werden zuerst aneinandergelknüpft, dann werden die Querbalken dazwischen eingeschoben.

Die Regenbogenbrücke ist für die Nutzung in einer Stadt konstruiert und stellt damit ganz andere Anforderungen als da Vincis Bogenbrücken. Sie war als ein nachhaltiges Bauwerk geplant und errichtet worden. Die Konstruktion muss Festigkeit, Dauerhaftigkeit und auch Schönheit aufweisen. Sie war entworfen worden, um einen breiten Fluss ohne Pfeiler zu überspannen. Als ein schweres Bauwerk musste sie vor Ort über dem Wasser aufgebaut werden.

Eine „ländliche“ Regenbogenbrücke

Die Regenbogenbrücke in dem Qingming-Rollbild (Kap. III Abb. 1) ist nicht die einzige Darstellung ihrer Art in der Song Zeit. Vor einigen Jahren entdeckten Architekturhistoriker eine andere, fast gleichzeitig entstandene Gewebebogenbrücke.¹ Es handelt sich dabei um eine kleine ländliche Brücke, die am Ende

¹ Der Autor wurde durch Dr. Liu Diyu (Tongji Universität, Shanghai, China), einem Experten der Qingming-Bildrolle, auf diese neue Quelle aufmerksam.

der „Bildrolle der Landschaft im Herbst“ dargestellt ist (*Jianshan Qiuse Tu* 江山秋色图, kurz „Landschaft-Bildrolle“, Abb. 4). Die Bildrolle stammt von Zhao Boju 赵伯驹 (1120-1182), ein Maler der Südlichen Song Dynastie (1127–1279), während die Qingming-Bildrolle (Anfang 12. Jh.) aus der späten Nördlichen Song Dynastie stammt. Beide Maler dienten als offiziellen Künstler am Hof der Song Regierung. Die Malerei ist nur einige Jahrzehnte nach der Qingming-Bildrolle entstanden. Bei Betrachtung der dargestellten Aussicht auf Berge im Herbst und die Form der abgebildeten Bauwerke scheint naheliegend, dass sich der Maler dieser Bildrolle auf die Landschaft in Nordchina bezog. Damit ist es möglich, dass die Bildrolle das gleiche Gebiet wie das der Regenbogenbrücke über den Bian-Fluss (kurz „Bian-Brücke“) darstellt, nämlich den nordchinesischen Kulturraum.



Abb. 4 Bildrolle *Jianshan Qiuse Tu* und die ländliche Regenbogenbrücke. (aus: Palast Museum, Peking, China)

Die Bian-Brücke und die Jahrzehnten später entstandene Abbildung einer ländlichen Brücke sind sich sehr ähnlich. Beide Brücken besitzen zwei Gruppen von Längsbalken: eine Gruppe hat drei Längsbalken (erste Gruppe), die andere Gruppe hat eine gerade Anzahl an Längsbalken (zweite Gruppe). Die Bauweise ist identisch. Querbalken sind wie einem Textil zwischen den Längsbalken eingeklemmt, ohne Holzverbindungen. Alle Balken haben quadratischen Querschnitt.

Die ländliche Brücke ist eine kleine und einfache Konstruktion. Im Folgenden wird zuerst die Konstruktionsmethode solcher kleinen Brücke diskutiert, bevor wir auf die Regenbogenbrücke zurückkommen.

In der ländlichen Brücke sind die seitlichen schrägen Balken der drei-Balken-Gruppen außerordentlich kurz. Wenn sie länger wären und zusätzlich über seitliche Balken in der zweiten Gruppe verfügten, würde die Brückenform der Form der Bian-Brücke entsprechen. Die schrägen Balken der ersten Gruppe in der ländlichen Brücke sind aber keine „gewebten“ Elemente. Sie tragen keinen Querbalken. Die zwei Längsbalken der zweiten Gruppe liegen unmittelbar auf den Felsen an den Ufer auf. Die schrägen Balken der ersten Gruppe stützen sich einfach auf das untere Paar Querbalken, um die Abwärtsbewegung der Querbalken zu beschränken. Wenn diese „unwichtigen“ schrägen Balken entfernt werden würden und das untere Paar Querbalken an ihrer Stelle festgestellt werden würde, wäre die entstandene Konstruktion eine „reine“ Form und nahezu eine exakte Kopie des vergrößerten Esstübchen-Spiels (Abb. 5).

Die Analysen der ländlichen Regenbogenbrücke und der Bian-Brücke durch den Autor,

beziehungsweise der Nachbau von Tang Huangcheng in Jinze (Kap. III, Abschn. II), belegen, dass die grundlegende Konstruktionsidee der Regenbogenbrücke nicht die Zweiteilung von Bogensystemen ist, d.h. die Unterscheidung in einen primären dreiseitigen Bogen und einen sekundären Bogen, den entweder aus drei, vier oder fünf Längsbalken gebildet wird, sondern die Verwebung von zwei Reihen von Längsbalken und eingeklemmten Querbalken. In der Herstellung ist die Fertigstellung der Esstübchenspiel-förmigen Einheit die erste Stufe der Konstruktion.

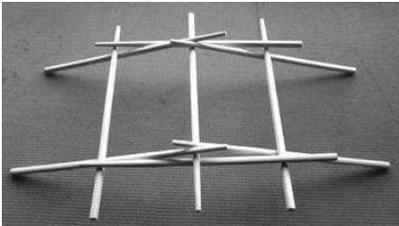


Abb. 5 Grundlegende Konstruktionsidee der ländlichen Regenbogenbrücke.

Vergleich der Regenbogenbrücke mit den MZ-Brücken

Die grundlegenden Unterschiede zwischen der Regenbogenbrücke und den MZ-Brücken sind bereits in Kapitel III an den Beispielen von Tang Huangchengs Rekonstruktionen (Hanyang und Jinze-Brücke) diskutiert worden (Kap. III, Abschn. II). Im Folgenden werden sie systemisch zusammengefasst.

a. Konstruktionsidee

Der Gewebebogen der MZ-Brücken besitzen im Wesentlichen zwei Tragsysteme, nämlich einen primären Hauptbogen und einen sekundären Nebenbogen. Die Funktion des Nebenbogens liegt in der Verstärkung des Hauptbogens. In der Konstruktion wird der Hauptbogen (das erste System) zuerst aufgebaut. Er verhält sich nahezu selbstständig und dient als das Gerüst bzw. Plattform für die weitere Konstruktion.

In den Regenbogenbrücken lassen sich keine zwei voneinander unterscheidbaren Systeme finden, obwohl die Längsbalken in zwei alternierenden Gruppen organisiert sind. Diese Gruppen lassen sich aber nicht eindeutig funktional voneinander trennen, sondern bilden zusammen eine gewebte Einheit. Dementsprechend sind die drei Balkengruppen nicht selbständig. Erst nach der Fertigstellung mindestens zweier vollständiger Reihen von Längsbalken ist ein Rahmen stabil, weshalb die gewebte Einheit in der Konstruktion zuerst aufgebaut wird.

b. Bauliche Rolle der Querbalken

In den MZ-Brücken sind die Querbalken deutlich einem System zuzuordnet. Sie werden über Holzverbindungen mit dem Längsbalken des entsprechenden Bogens verbunden und sind Elemente des entsprechenden Bogens.

In den Regenbogenbrücken lassen sich die Querbalken keiner Gruppe von Längsbalken zuordnen. Die Querbalken werden zwischen zwei Gruppen von Längsbalken eingeklemmt und funktionieren ähnlich dem Schussfaden eines Textils. Sie haben keine Holzverbindungen (Zapfen und Löcher) sondern werden durch Nägel mit den Längsbalken verbunden. Deshalb entspricht die Konstruktion der Regenbogenbrücke einem gewebtes Textil.

c. Konstruktionsprozess

Die Entwurfsidee und die regelmäßigen Kontrollen während der Konstruktion der MZ-Brücken ermöglichen es, die Länge der Längsbalken vor Ort zu bestimmen. Nach traditioneller Methode werden die Bauelemente der MZ-Brücken nicht genau vorgefertigt; u.a. ist deshalb die Länge der oberen Balken des zweiten Systems (L-Balken(2)) variabel. Ihre Position und Länge werden erst vor Ort ausgemessen, bestimmt und die Balken dementsprechend zugeschnitten, um die Gewebebogen dicht zu verweben. Demzufolge sind die 3x2- und 3x4- Brücken „falsche“ oder ungünstige Formen und selten im MZ-Gebiet verwendet (siehe Kap. V. Abschn. II).

Die Regenbogenbrücken, betrachtet mit dem Verständnis von MZ-Brücken, wären ihrer Form zufolge 3x2- oder 3x4-Brücken. Sie müssten vor dem Bau entworfen und an Land zusammengebaut werden, um die

richtige Länge und die Winkel jedes einzelnen Elements bestimmen zu können.

Außerdem werden die Bauelemente bei den MZ-Brücken von unten nach oben eingestellt (in der Reihenfolge U-S-Balken, O-S-Balken, L-Balken). Bei den Regenbogenbrücken hingegen ist es einfacher, den Aufbauprozess von oben zu beginnen und nach unten fortzuführen (für die Bogengruppe mit vier Balken werden die in der Mitte aufeinander treffenden Balken zuerst an ihre Positionen gestellt, danach kommen die seitlichen Balken).

d. Arbeitsschritt, um den Balken zu biegen

Bei den MZ-Brücken durch den Arbeitsschritt Querbalkenschlag bzw. *Choudu* (siehe Kap. IV. Abschn. IV.3.(4) und Abschn. V.1.(3)), treten in den Längsbalken (besonders in den S-Balken(1), O-S-Balken(2), L-Balken(1)) große Biegekräfte, eine Art von Vorspannkraft, auf. Das Biegen der Balken ist für die erfolgreiche Umsetzung des Bauwerks von Bedeutung.

Die Form der Regenbogenbrücken gibt es keine Möglichkeit solches Arbeitsschritt des Balkenbiegens.

e. Seitliche Stabilität

Die seitliche Stabilität der Regenbogenbrücken ist durch den quadratischen Querschnitt der Balken gegeben, die eng aneinander liegen und somit eine fast steife Hülle bilden (siehe Kap. III. Abschn. II.2.A).

Bei den MZ-Brücken, bei denen die Längsbalken in der Regel rund sind und ohne sich zu berühren nebeneinander liegen, ist die seitliche Stabilität durch die Balkenschultern der Längsbalken gegeben, die auf die Querbalken Druck ausüben (siehe Kap. IV, Abschn. V.1.(6)).

II Gedanken zur Definition Gewebter Konstruktionen als „Bögen“

Obwohl die in der vorliegenden Arbeit diskutierten Konstruktionen ihren Formen entsprechend als „Bögen“ bezeichnet werden, und obwohl auch die MZ-Brückenbauleute ihre Konstruktionen „Bögen“ nennen (siehe Kap. IV, Abschn. V.1.(1)), müssen wir noch einmal darüber nachdenken, ob es wirklich „Bögen“ im bautechnischen Sinne sind.

Laut Definition tritt in einem echten Bogen ausschließlich Druckkraft auf. Biegekraft und Spannung sollten in einem Bogen vermieden werden. Schubkräfte von seitlichen Auflagern (Ufer) sind immer notwendig. In den Gewebebogenbrücken verhält es sich umgekehrt. Theoretisch brauchen sie keine Schubkräfte, und im Fall der Esststäbchenbrücke können an den Bogenfüßen auftretende Schubkräfte die Konstruktion sogar zerstören.

Die Esststäbchenbrücke ist ein Extrembeispiel für eine gewebte Holzbogenbrücke. Ihre Längsbalken treffen einander nicht. Sie liegen einfach nebeneinander auf den Querbalken. Deshalb üben sie keine Druckkräfte aufeinander aus, müssen hingegen aber große Biegekräfte aufnehmen. Normalkräfte (Druckkräfte) entlang der Stützlinie werden nur durch Reibung erzeugt.

Bei den Regenbogenbrücken und den MZ-Brücken treffen die Längsbalken mit ihren Enden aufeinander, und die Pfeiler an beiden Enden nehmen Schubkräfte auf. Damit funktionieren diese Brücken als „Bögen“ im bautechnischen Sinne, denn sie nehmen große Druckkräfte auf. Eben in jedem Fall, unter Berücksichtigung der inneren Kräfte (der großen Biegemoment) ist eine gewebte Holzkonstruktion ist mehr als ein gekrümmter Balken stattdessen ein echter Bogen bezeichnet werden.

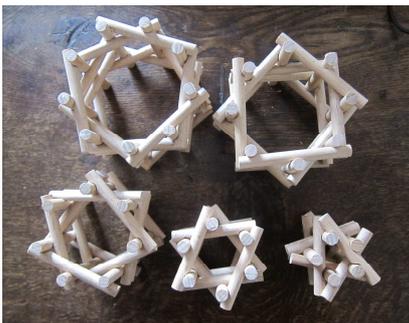


Abb. 6 Gewebte Kreise. In solchen Konstruktionen sind die Biegemomente sehr groß, so dass während der Autor die Modelle baute, einmal ein Balken gebrochen ist.

Wenn exakt miteinander durch Kerben verbunden, können die Bauelemente einer Esstabchenbrucke einen Kreis bilden. Der kleinste „Kreis“ besteht aus fünf Gruppen von Längsbalken (Abb. 6). Solcher Konstruktion ist unmöglich für einen „echter“ Bogen.

Bei den MZ-Brücken sind die inneren auftretenden Kräfte komplexer. Der dreiseitige Bogen trägt große Druckkräfte. Im Arbeitsschritt des „Choudu“ bzw. des Querbalkenschlags treten in den Balken große Biegekräfte auf. Sie wirken wie eine Art von Vorspannkraft, die die Druckkräfte an den Pfeilern verringert. Während der Alterung wird die gewebte Konstruktion lockerer. In vielen Brücken trennt sich der fünfseitige Bogen vom dreiseitigen Bogen. Im diesen Fall deformieren sich die Brücken. Die Deformation ist meist einseitig, weil die zwei Tragsysteme (dreiseitiger und funfseitiger Bogen) nur auf einer Seite des Bogens auseinanderklaffen, während sie auf der anderen Seite eng aufeinander drücken. Damit treten im nun getrennten Teil des gewebten Bogens in den Balken keine Biegekräfte mehr auf, sondern fast nur noch reine Druckkräfte, während auf der gegenüberliegenden Seite der Querbalken(1) oft kräftiger auf die O-S-Balken(2) drückt, wodurch sich die O-S-Balken(2) stärker biegen (siehe Kap. V, Abb. 15).

In den Brücken, die ohne den Arbeitsschritt des „Choudu“ bzw. Querbalkenschlags errichtet werden, sind die auftretenden Biegekräfte viel geringer. Die zwei Tragsysteme dieser Brücken lockern sich im Alter leichter.

Die verschiedenen innerhalb der Konstruktionen auftretenden und stetig wechselnden Kräfte sind eine der Schwierigkeiten für die Bauingenieure und Wissenschaftler, Holzbogenbrücken exakt zu berechnen und zu analysieren.

III Typologie der gewebten Konstruktionen

Mit den in dieser Arbeit behandelten und einigen ergänzenden, bisher nicht besprochenen, gewebten Holzbrücken soll hier eine Typologie der Gewebebogenkonstruktion in unterschiedlichen Kulturen erstellt werden. Gewebebogenbrücken lassen sich für gewöhnlich in zwei Gruppen einteilen:

a. Reine gewebte Konstruktionen, mit dem Extrembeispiel der Esstabchenbrucken

Brücken dieser Gruppe können als die Verwirklichung des Spiels der Esstabchenbrucke betrachtet werden. Dazu gehören die Regenbogenbrücken und die Mondbrücke der Huntington Bibliothek sowie die Brücken von da Vinci.

b. Durch gewebte Konstruktionen modifiziert Konstruktionen

Die Brücken dieser Gruppe befinden sich fast ausschließlich in China. Die Idee der gewebten Balken wird hier mit lokalen Bruckentypen verschiedentlich kombiniert.

A. Vergrößerte Esstabchenbrucke

Außer den in dieser Arbeit besprochenen Brücken (Regenbogenbrücken, Mondbrücke, da Vincis Brücken), gibt es einige weitere Beispiele von Holzbogenbrücken, die diesem Typus zugeordnet werden können.

a. Die „sogenannte kaukasische Brücke“

In dem 1895 erschienenen Zimmermannsbuch von Franz Sales Meyer wird in einem Abschnitt über Brücken aus Naturholz in Gärten und Parkanlagen eine „sogen. kaukasische Brücke“ erwähnt:

Eine Stegkonstruktion, bekannt unter dem Namen 'Kaukasische Brücke'. Die Konstruktion ist gut, sieht gefällig und leicht aus und hat etwas Außergewöhnliches. Notwendige Voraussetzung ist ein unbedingt festes Widerlager, da die Belastung auf ein sogenannt Knie wirkt und fast ganz als Horizontalschub zu

Geltung kommt. So wie der Steg gezeichnet ist, könnte er etwa eine Breite von 4 m überspannen. Die Längshölzer des Sprengwerkes sind mit den Querhölzern möglichst solid zu verbinden und unter sich zu verbolzen. Der Beleg ist ein Dielenbeleg, der zweimal gebrochen ist. Auf der Bruchstelle oder besser unter derselben dürfte ein schützender Blechstreif sehr angezeigt sein. Die äußersten Geländerpfosten sind in den Boden gerammt, die drei mittleren finden ihren, allerdings nicht bedeutenden, Halt durch Befestigung an den Trägerhölzern. Da die Träger nicht wesentlich verstärkt werden können, ohne die Konstruktion überhaupt unmöglich zu machen (weil der Mittelteil zu sehr erhöht würde), so muss auf möglichst leistungsfähiges Holz gesehen werden.

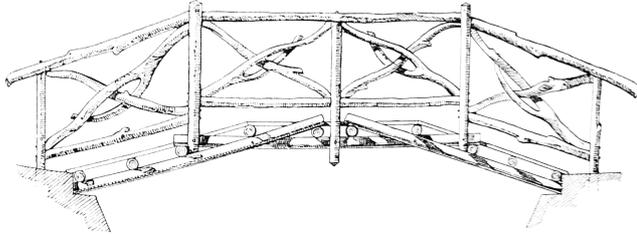


Abb. 7 Die „sogen.kaukasische Brücke“ aus dem Zimmermannsbuch von Franz Sales Meyer. (aus: Meyer, 1895)

b. Die Garyu-Brücke

Ein anderes Beispiel einer Essstäbchenbrücke ist in Japan zu finden. Dabei handelt es sich um eine gebaute Brücke, die aber nur in historischen Aufzeichnungen erhalten ist. Die Garyu-Brücke (臥竜橋, wörtlich: Liegender-Drache Brücke) befindet sich in Shiraiwa, Sagae, Yamagata, Japan. Sie wurde 1744 das erste Mal erwähnt, aber durch Wasser zerstört und erst 1827 an einer neuen Stelle wieder aufgebaut. Diese neue Brücke war etwa 40 m lang. Es existieren eine Gruppe von Zeichnungen und eine Materialliste in einer lokalen Privatsammlung.

Zeichnungen der 1827 neu errichteten Brücke stellen eine Holzbrücke dar, die sich aus einem seitlichen Ausleger und einem mittleren gewebten Bogen zusammensetzt. Das Zeichnungsblatt ist 90 cm breit, 2,1 m lang, und stellt einen Übersichtsplan, eine Ansicht und eine Perspektive dar (Abb. 8). Bei den Zeichnungen handelt es sich wahrscheinlich um Entwurfszeichnungen, die u.a. der Materialvorbereitung gedient haben könnten. Nach dem Aufbau erlitt die Brücke mehrere Wasserschäden und wurde immer wieder repariert. 1858 wurde sie zu einer einfachen Kragbrücke umgebaut. (Sagae, 1985)



Abb. 8 Historische Zeichnungen der Garyu-Brücke, gebaut 1827. (aus: Nitto, 2004)

Anhand der Zeichnungen konnte der Autor ein Modell entwerfen und umsetzen. Anhand dieses Modells werden einige Strukturmerkmale offensichtlich: Bei dem Mittelteil der 1827 gebauten Garyu-Brücke handelt es sich um die Struktur einer Esststäbchenbrücke, mit nach innen geneigten Längsbalken (Abb. 9). Wahrscheinlich existierten keine Holzverbindungen zwischen den Längsbalken und den Querbalken. Die Querbalken besitzen den Winkeln der Längsbalken entsprechend einen fünfkantigen Querschnitt. Da im traditionellen japanischen Brückenbau Eisenelemente verwendet werden, ist es möglich, dass der Gewebebogen der Garyu-Brücke mit Eisennägeln verbunden gewesen ist.

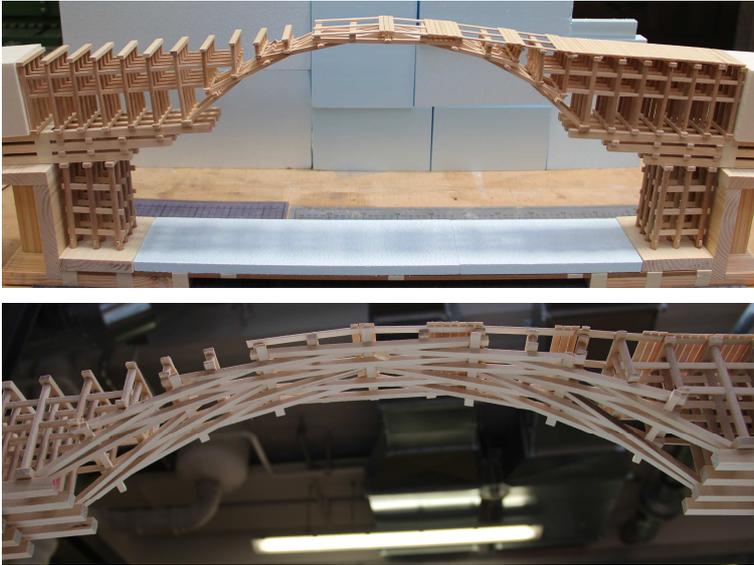


Abb. 9 Holzmodell der Garyu-Brücke. Gefertigt vom Autor.

B. Händedruckbrücken: verbesserte Kragbrücken

Von Wissenschaftlern außerhalb Chinas werden die gewebten Holzbogenbrücken manchmal als einer Art von Kragbrücke angesehen. Bei normalen Kragbrücken sind die Kragarme von beiden Uferseiten aus überlagerten Balken geformt und in der Mitte der Brücken durch langen Balken verbunden.

Joseph Needham beschreibt die Regenbogenbrücke als „mehrwinkliger steigender Ausleger“ („multi-angular soaring cantilever“) (Needham. 1971, S.163, Abb. 10). Japanische Wissenschaftler bezeichnen die Garyu Brücke auch als Typus Kragbrücke 勿橋 (Nitto, 2004).

Ein möglicher Grund, dass Gewebebogenbrücken sowohl von westlichen als japanischen Wissenschaftlern als Kragbrücke angesehen werden, ist, dass Kragbrücken mit mehrlagigen parallelen Balken nur in Asien zu finden sind. Sie wurde erstmals in der chinesischen Literatur des 6. Jahrhunderts erwähnt (Shazhou Ji 沙州记 von Duan Guo 段国), als eine Erfindung der Tuyuhun 吐谷浑, ein nomadisches Volk im heutigen Nordwestchina, genau das Gebiets der in diesem Abschnitt diskutierten Händedruckbrücken. Brücken von dieser Art sind heute von der Türkei bis nach Japan zu finden. In China sind sie die einzige Art von Holzbrücken, außer den Holzbogenbrücken, die eine Spannweite größer als etwas 30 m erreichen können. Auslegerbalken werden auch in europäischen Brücken benutzt, aber nur als Hilfe des Sprengwerks oder Fachwerks. Auffällig ist die Beziehung zwischen Kragbrücken und Gewebebogenbrücken, denn beide sind nur in Asien mit mehrlagigen Balken zu finden.

Es gibt noch eine Art von Gewebebalkenbrücken in China, die eine eng Beziehung mit der Kragbrücke haben. Dazu gehören die Qunce Brücke in Chongqing in Südwestchina (siehe Kap. III Abschn.II.3) und zwei Wo-Brücken, nämlich die „Liegend-Brücke“ 卧桥 in Weiyuan (Abb. 11) und die „Händedruckbrücke“ 握桥 in Lanzhou, beide in der Provinz Gansu, Nordwestchina (trotz unterschiedlicher chinesischer Schriftzeichen werden die beiden Brückennamen gleich ausgesprochen). In diesem Gebiet und in dem Gebiet weiter südlich bis nach Tibet gibt es viele gedeckte sowie auch ungedeckte Kragbrücken mit großer Spannweite. Der Name „Händedruckbrücke“ ist bildlich gemeint: Die von beiden Uferseiten herausragenden Brückenbalken reichen sich in der Mitte der Brücke die Hände, wo sie mit gewebten Balken verbunden sind.

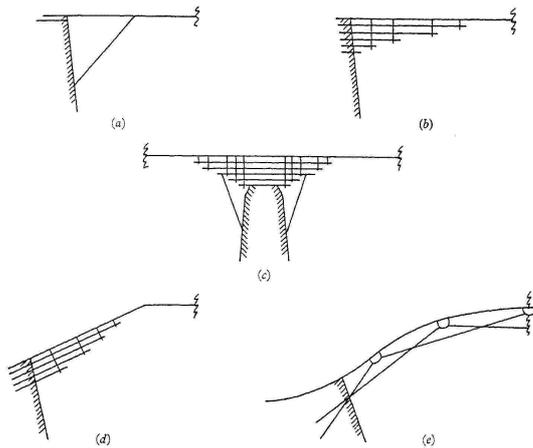


Abb. 10 Typen der chinesischen Kragbrücken bei Needham (Needham, 1971, S. 163)

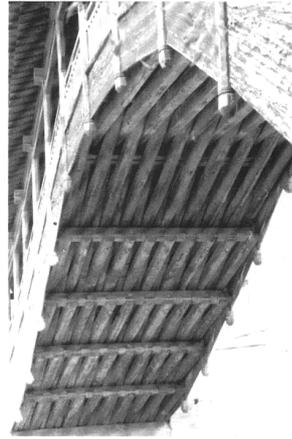


Abb. 11 Wo-Brücke in Weiyuan, Provinz Gansu, Nordwestchina. (Tang, 2000, S.492)

C. MZ-Brücken: verbesserte Sprengwerkbrücke mit dreiseitigem Bogen

Überdenken wir noch einmal, wie und warum die Gewebebogenbrücken im MZ-Gebiet in Erscheinung traten. Außer der Holzbogenbrücke gibt es noch zwei weitere Arten von Holzbrücken in den MZ-Bergen: die Kragbrücken mit mehrlagigen waagrechten Balken, und die Sprengwerkbrücken mit dreiseitigen Bogen und anderen Stützenformen.

Die maximale Spannweite einer Balkenbrücke (Brücke mit durchlaufenden liegenden Balken) ist 10 m und die der Brücke mit einem dreiseitigen Bogen ist 20 m, wie das Beispiel der Rulong-Brücke beweist (Kap. VI). Eine größere Spannweite führt bei Sprengwerkbrücken mit dreiseitigem Bogen zu zwei Problemen: der Festigkeit des Bogens, und der Verwendung lang genug Hölzer für die Deckenbalken.

Holzverbindungen, insbesondere die Schwalbenschwanzverbindung, sind keine steifen Verbindungen, sondern halbsteife, teilweise drehbare Knotenpunkte. Ein einzelner dreiseitiger Bogen ist deshalb verformbar. Mit durchlaufenden Deckenbalken, die darauf aufliegen und von einem Pfeiler bis zum gegenüberliegenden Pfeiler reichen, ist die Verformung des dreiseitigen Bogens beschränkt. Wenn die Spannweite noch größer ist, sind die Deckenbalken nicht lang genug und können nicht die ganze Breite überbrücken, weshalb sie aus zwei oder mehreren Teilen bestehen und nacheinander gesetzt werden müssen. Das erhöht die Gefahr, dass die mehrteiligen Deckbalken die Verformung des dreiseitigen Bogens nicht beschränken können und sich die Brücke später verformt.

Alle Gewebebogenbrücken in MZ-Gebiete, egal ob 3x2, 3x3, 3x4, 3x5-Brücken, haben das gleiche Ziel, nämlich den dreiseitigen Bogen zu versteifen, die Bewegung der Querbalken zu verhindern, und die Verformung der Brücke zu vermeiden. Darunter ist die 3x5 Brücke die bautechnisch günstigste Konstruktionsform. Sie hat die größte maximale Spannweite, und ihr Entwurf und ihre Konstruktion sind am anpassungsfähigsten. Deshalb ist das die typische oder häufigste Brückenform im MZ-Gebiet. Andere Formen sind nur vereinzelt am Rand des Holzbogenbrückengebiets zu finden.

IV Spielen die Konstruktion

Vom Spiel bis zur Konstruktion

Als die Idee des Esstäbchenbrücke-Spiels, dass ineinandergreifende Holzbalken eine selbstständige steife Konstruktion formen können, ins MZ-Gebiet kam oder hier entstand, verschmolz sie mit der vorhandenen dreiseitigen Bogenkonstruktion vor Ort. Deshalb ähneln die Gewebebogenbrücken im MZ-Gebiet diesen Bogenkonstruktionen im reifen Zustand.

Am Anfang verwendeten die Brückenbauleute für das neue zweite System eine genaue Kopie des dreiseitigen Bogens. Die erste Generation der Brückenbaumänner verwendete L-Balken(2), die den

S-Balken des gleichen Bogensystems in Anzahl und Aufstellung entsprachen. Die frühen Brücken in Taishun haben auch Entenschnäbel an den Bogenfüßen des zweiten Systems, genauso wie die des ersten Bogensystems (siehe Kap. V). Diese Eigenschaft, dass das zweite System eine Kopie des ersten Systems ist, ist noch bis heute oft zu finden, vor allem in Brücken, die von Zimmermännern, die ohne Familientradition und ohne Zusammenarbeit mit den erfahrenden Brückenbaumeister, gebaut wurden, da sie die unterschiedlichen konstruktiven Aufgaben der zwei Systeme nicht erfasst haben. Die gewebten Balken der Brücken im MZ-Gebiet sind nicht einfach ineinandergreifend, wie die Gewebebogen in anderen Teile Chinas, sondern kräftig miteinander zusammengedrückt (durch den Arbeitsschritt „Querbalkenschlagen“ / Choudou) (siehe Kap. IV, Abschn. V.1.(3)). Das ist allerdings eine spätere technische Errungenschaft (siehe Kap. V, Abschn. III).

Dies ist auch der Grund, warum sich die historischen Brücken im MZ-Gebiet, was ihre technischen Eigenschaften betrifft, nicht chronologisch einordnen lassen. In später Zeit gibt es immer wieder Brücken mit „primitiven“ Konstruktionen, sofern die Brücken durch unerfahrene Zimmermänner gebaut wurden. Anstatt einer umfassenden Chronologie der MZ-Brücken in diesem Gebiet, lässt sich die Entwicklung der Form nur innerhalb Brückenbaufamilien verfolgen.

Wie lange ist diese Tradition zurückzudatieren?

Die früheste noch lebende Brückenbaufamilie ist bis zur zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts (1767 Xiangong-Brücke, Xiajian Meister, siehe Kap. V) zurück zu verfolgen. Ihre frühen Brücken sind experimentell und entsprechen noch nicht dem, was wir heute als reife Form bezeichnen. Danach verbesserte die Familie ihre Technik, die ihren Höhepunkt nach drei Generationen erreichte (Kap. V). Ab dann stagnierte die Entwicklung der Bautechnik und die Familie änderte ihre Technik nur selten. Der technische Reifungsprozess und die erfolgreich verbesserte Bautechnik war kein Geheimnis unter den Brückenbauleuten. Dieser Entwicklungsschritt ist daher nicht nur in einer Brückenbaufamilie zu finden sondern passierte fast gleichzeitig in drei Familien / Gruppen von Brückenbauleute.

Holzbogenbrücken wurden in diesem Gebiet bereits vor dem Erscheinen dieser bekannten Familien gebaut. Zwei Brücken aus dem 17. Jahrhundert,² in unreifer Form, bezeugen die frühe Tradition des Brückenbaus, aber sie enthalten keine Information über die Brückenbauleute.

Die früheste datierbare MZ-Holzbogenbrücke, die Rulong Brücke (Kap. VI), ist der Versuch eines nicht erfahrenen Baumeisters, den Gewebebogen aus den vorhandenen dreiseitigen Bogen zu bauen.

Deswegen ist es zweifelhaft, ob Holzbogenbrücken entgegen der landläufigen Meinung, in diesem Gebiet eine lange Tradition haben. Eher ist es möglich, dass die bestehenden frühen Brücken vereinzelte Versuche darstellen, diese neue Technik zu entwickeln und meistern, und wegweisenden Charaktere haben.

Spiel als der Ursprung oder das Medium der Bautechnik

Es ist offensichtlich, dass die Konstruktion des Gewebebogens in allen Kulturen eine Beziehung zum Modellbau hat und eine spielerische Komponente besitzt.

Da Vinci studierte seinen Entwürfe anhand von Modellen, die auf seinen Skizzen beruhen. Die Regenbogenbrücken orientieren sich stark an dem Spiel der Essenstäbchenbrücke und weist viele gleiche Eigenschaften auf. Die japanischen Beispiele, die Mondbrücke, die in den USA durch einen japanischen Zimmermann gebaut wurde, und die Garyu-Brücke in Japan entsprechen genau einer vergrößerter Essenstäbchenbrücke in ihrer Form, und der Erbauer der Mondbrücke fertigte zu Hause ein Modell für sie an. Die Bewohner und die Zimmermänner im MZ-Gebiet glauben daran, dass ihre Brücken eine enge Beziehung zum Essenstäbchen-Spiel besitzen. Ein Beamter konnte dem Zimmermann Brückenbau lehren, wahrscheinlich mit Hilfe durch etwas wie dem Essenstäbchen-Spiel (siehe Kap. V, Abschn. „3x4-Brücken“). Andere Gebiete in China, wo die Gewebebogenbrücken aufweisen, haben ebenfalls eine Spieltradition. Auch wenn moderne Wissenschaftler das Konstruktionsprinzip vorführen, wenden sie Streichholz-/

² Die Rulong-Brücke (1625), Landkreis Qingyuan, Provinz Zhejiang, siehe Kap. VI, und die Unter-Dongkeng-Brücke (1689), Landkreis Jingning, Provinz Zhejiang.

Essenstäbchenmodell an.

Nicht jeder Versuch führte zu einer reifen Brückentechnik. Die Brücken in Form „vergrößerter Essenstäbchenbrücken“ hatten keine überlebende Tradition geformt und verschwanden in der Geschichte. Um eine lebende Tradition zu formen, muss man die Verbindungs- und Konstruktionsprobleme mit ausgereifter Zimmermannstechnik lösen. Die Lösung der Konstruktionsprobleme, insbesondere der Verbindungen der Bauelemente, ist der entscheidende Faktor, der eine Wendung vom experimentellen Spiel zu einer echten Bauform auslöst.

Es gibt heute keine Hinweise dafür, ob andere Gewebobogenbrücken im Zeitraum zwischen den Regenbogenbrücken (11.-12. Jahrhundert) und den frühesten überlebenden MZ-Brücken (17. Jahrhundert) existierten aber mittlerweile verschwunden sind. Dies ist in Zuge dieser Diskussion auch unwichtig. Solang es das Spiel noch gibt, besteht die Möglichkeit, dass die eine oder andere Art von Gewebobogenbrücken durch die Kreativität eines mutigen Zimmermann weiter verbessert und entwickelt wird.

V Strukturelle Gedanken: die Spannweite herausfordern

Fachwerkkonstruktion in der westlichen Baukultur

Obwohl Palladio eine gewebte Brücke (Cäsars Rheinbrücke) studierte, widmetet er sich danach, im Gegensatz zu Leonardo da Vinci, nicht weiter diesem Thema sondern konzentrierte sich in seinem Buch *quattro libri dell'architettura* auf ein neues Thema, hölzerne Fachwerkbrücken. Er entwarf vier Arten von Fachwerkbrücken, eine davon war die Inspiration aus Deutschland gekommen. Als ein Pionier der Fachwerkbrückenforschung reichte Palladios Einfluss bis zur Zeit der modernen Eisenbrücken und des Bauingenieurwesens.

Fachwerkbrücken haben eine lang Tradition in der europäischen Baukultur, die bis zur römischen Kaiserzeit zurückreicht, beispielsweise die berühmte Trajanbrücke (um 105 n.Ch. gebaut) über die Donau, die auf der Trajanssäule in Rom dargestellt ist.

Ein Fachwerk ist eine aus gelenkig miteinander verbundenen Stäben bestehende Konstruktion. In einem idealen Fachwerk im moderne Sinne der Bauingenieurwissenschaft gibt es keine Biegemomente, und die Stäben übernehmen nur Zug- und Druckspannungen.

Die Zugfestigkeit des Holzes parallel zur seiner Faserrichtung ist in allen Holzarten zwei- bis dreimal so groß wie seine Druckfestigkeit. Die Verwendung hölzerner Bauelemente, um Zugkräfte aufzunehmen, ist eine der wichtigsten frühen Errungenschaften der Geschichte der Mechanik.

Echte Fachwerkkonstruktionen, in ihrer frühesten Form als Giebelfachwerk mit mittlerer Hängesäule (*king post truss*), haben Bauelemente, die nur auf Zugspannung belastet sind. Hängesäulen im Dachfachwerk wurden schon in der römischen Kaiserzeit in der Dachkonstruktion verwendet (Taylor, 2003).

Die Entwicklung des Fachwerks ist sowohl für den Dach- als auch den Brückenbau wichtig. Zu mindestens eine von Palladios Fachwerkbrücken ist wahrscheinlich aus der Praxis des Dachstuhlbaus entstanden (Tampone und Funis, 2003).

Das Fachwerk, die wichtigste Bauwerksform in der Geschichte der westlichen Holzkonstruktion, ist strukturell sehr effizient. Die Trajanbrücke und die Palladio Brücken haben jeweils eine Spannweite von etwa 30 m. Hölzernen Fachwerkbrücken mit einer Spannweite bis zum etwa 60 m sind im deutschen Sprachraum häufig in der jüngeren Baugeschichte zu finden, beispielsweise die Bauten der Schweizer Baumeisterfamilie Grubenmann aus dem 18. Jahrhundert. Wie im Vorwort dieser Doktorarbeit erwähnt können die hölzernen Fachwerkmodelle des studentischen Tragwerkentwurf Wettbewerbs an der Tsinghua Universität, nach richtiger Berechnung, über 1 m Spannweite haben und dynamische Belastungen von 15 kg aufnehmen, und das bei nur etwa 50 g Eigengewicht.

In der Entwicklung der Bauingenieurwissenschaft ist die Fachwerkkonstruktion ein wichtiger Meilenstein und bis heute ein beliebtes Forschungsobjekt, besonders das „ideale Fachwerk“, das eine klar Struktur bzw. einen „reinen“ Spannungszustand aufweist, was für die wissenschaftliche Analyse und theoretische Berechnung am günstigsten ist.

Fehlen der Fachwerkkonstruktion in der östlichen Baukulturen

In der ostasiatischen Baukulturen hat das Fachwerk nicht Tradition. Die Idee, Hölzer unter Zugspannung zu verwenden, existiert in der traditionellen chinesischen und japanischen Architektur nicht. In China wurde Holz als Bauelement niemals so verwendet, dass es Zugkräfte aufnehmen musste. Falls dennoch gewisse Zugkräfte vorhanden waren, waren das nur Nebenkräfte; beispielsweise mussten manche Balken einer chinesischen Holzkonstruktion bestimmte Zugkräfte ertragen um eine vorläufige strukturelle Stabilität zu erreichen, sofern sie tatsächlich Biegemoment unter statischen Belastung aufnahmen.

Das Fehlen der Fachwerktradition in China hat mehrere Gründe. Die Idee, dass Holz Zugkräfte aufnehmen kann, ist eine indirekte strukturelle Lösung und deshalb für den traditionellen Chinesen nicht nachvollziehbar. In der chinesischen Baukultur sind Holzelemente entweder Säulen / Stützen, die Druckkräfte tragen, oder Balken, die ein Biegemomente aufnehmen: ihre strukturellen / mechanischen Funktionen kann man direkt von der Natur lernen.

Außerdem, um die großen Zugkräfte einer Fachwerkkonstruktion zu tragen, sind die üblichen Holzverbindungen nicht stark genug. Seit der römischen Kaiserzeit werden in Europa deshalb Eisenbauelemente in der Holzkonstruktion verwendet, während Eisenelemente in China vermieden wurden. Wie im japanischen Beispiel (siehe Kapitel II) bereits erwähnt, in Ostasien werden jene Konstruktionen bewundert (Fähigkeit des Zimmermanns), die Holzverbindungen „ohne Nägel“ besitzen. Zimmermänner glauben, dass Eisennägeln allzu schnell verrotten, und zwar schneller als Holz, weshalb Holzkonstruktionen daher nicht sicher seien. Eisenbolzen sind in China nicht zu finden (oder wurden hier gar nicht erfunden).

Auch behinderten einige kulturelle Vorlieben das mögliche Erscheinung und die Ausbreitung der Fachwerkkonstruktion. Zum Beispiel ist in der chinesischen Kultur die waagrechten und senkrechten Ausrichtungen beliebt. Schräge Elemente sind in der sichtbaren Konstruktion eines Gebäudes stets vermieden. In mehrgeschossigen Gebäuden, beispielsweise dem Guanyin Pavillon des Dule Tempels und der Sakya Pagode des Fogong Tempels (Abb. 12a), beide aus der Liao Dynastie (916-1125), sind schräge Stützen nur in den Zwischengeschossen zu finden. X-förmige Konstruktionen, wie die Streben in deutschen Fachwerkbau, sind besonders ungünstig und unpassend, weil ein Kreuz (X) in der chinesischen Kultur „falsch“ bedeutet. Schräge Elemente sind aber unabkömmlich, da sich die Konstruktion, sonst verformt (Abb. 12b).



a. Die schräge Balken sind nur in den Zwischengeschossen, zwischen den sichtbaren Vollgeschossen, zu finden. b. Verformung in der Pagode.

Abb. 12 Sakya Pagode des Fogong Tempels, Landkreis Ying, Provinz Shanxi, Nordchina.

Eine andere Vorliebe der Chinesen ist die Würdigung des *Dong* (der obere mittlere Balken der Dachkonstruktion, siehe Kap. IV, Abschn.V.1.(6)). Feste für den Abschluss der Holzkonstruktion, wie das Richtfest im deutschen Sprachenraum, sind in unterschiedlichen Baukulturen zu finden. Nur in China wird anlässlich der Balkensetzung ein Fest gefeiert, wobei der *Dong* eine fast religiöse Rolle in der Baukultur einnimmt. Der *Dong* ist ein Symbol des Gebäudes und für das Glück der Besitzer / Benutzer. Es wird in den frühesten chinesischen Literaturen (*I Ging*) darauf bezeugt, dass er seit prähistorischer Zeit das Symbol eines Gebäude worden ist 上古穴居而野处, 后世圣人易之以宫室, 上栋下宇, 以待风雨, 盖取诸大壮. Zuzolge der anthropologischen Studie des Autors dieser Doktorarbeit (Liu, 2016), entwickelte sich die bedeutende

Rolle des *Dong* aus seiner konstruktiven Wichtigkeit, obwohl diese später abnahm, ist ihre einstige Größe fest in der chinesischen Baukultur verankert. Der *Dong* ist deshalb ein unentbehrliches Bauelement in der ganzen Geschichte der chinesischen Architektur. Der *Dong* jedoch lässt sich nicht in einen Fachwerkdachstuhl eingliedern. Dreieckige Dachkonstruktion wurden zwar in der frühen Geschichte der chinesischen Architektur verwendet (bis zum 10.Jh. in architektonischen Malereien und Skulpturen zu finden), wobei der dreieckige Dachstuhl auch den *Dong* stützt. Diese Art von Dachstuhl, obwohl dem einfachsten Fachwerk ähnlich, hatte keine Hängesäulen und war deshalb strenggenommen kein „echtes Fachwerk“. Diese Form verschwand zuletzt in der Geschichte. Dürfen wir es sagen, Das *Dong* hatte die erste Möglichkeit der Entwicklung nach dem Fachwerkdach abgeschlossen.

Japan: Verfolgen der ästhetischen Form

Beeinflusst von der chinesischen Kultur und Technik, ist die japanische Bautradition eng mit der chinesischen verbunden. Diese Doktorarbeit behandelt nicht Ähnlichkeiten und Unterscheiden der beiden; es fällt aber dennoch eine Eigenschaft der japanischen Baukultur im Vergleich mit der chinesischen auf: In japanischen sowie in chinesischen Architekturen ist die strukturelle Effizienz nicht die Hauptsorge. Für Japaner ist die ästhetische Form viel wichtiger. Im Verfolgen des ästhetischen und kulturellen Geschmacks, beispielsweise der gebogenen Form der Gewebegewölbebrücken, wird die konstruktive Vernunft zugunsten der Form abgelegt.

China: Spannweite durch Auskragen

Die chinesische Lösung für die Maximierung der Spannweite liegt in der Auskragung. Wie oben erwähnt ist die Kragbrücke mit mehrlagigen parallelen Balken von beiden Brückenseiten eine weit verbreitete Konstruktionsform der Holzbrücken in Asien.

Die Auskragung ist das beherrschende Strukturprinzip in der chinesischen Baukultur. Diese Methode wird auch im Haus- und Tempelbau angewendet, in Form von auskragenden Konsolen, die ineinandergreifend aufeinander aufgeschichtet sind (*Dougong*) und die ausladende Traufe tragen, um die Spannweite der Dachbalken verkleinern. Sie sind ein Symbol und Merkmal der ostasiatischen Architektur.

Die Auskragung wird sogar noch in der Dachstruktur angewandt. Das chinesische Wort für Auskragung ist „*Die Se*“ 疊澁. Dieser Begriff kommt aus dem Mauerbau bzw. Ziegel- und Steinbau, und umfasst sowohl die positive Auskragung als auch die umgekehrte negative Auskragung, das Zurückspringen. Zusammen stellen die beiden chinesischen Zeichen (*Die* und *Se* 疊澁) das Bild des Rückschritts im Ziegelwerk dar. Zurückspringung ist tatsächlich das Gestaltungsprinzip der chinesischen Dachkonstruktion (offizielle Bauweise, Abb. 13), in der waagrechte Balken aufeinander mit Hilfe von Stützen geschichtet liegen und unmittelbar die Dachpfetten tragen. Mit dieser Bauweise wird der Biegemoment im Balken verkleinert. Diese Dachkonstruktion beherrscht die offizielle Bauweise seit der Tang Dynastie (618-907) bis zur modernen Zeit in ganzem China.

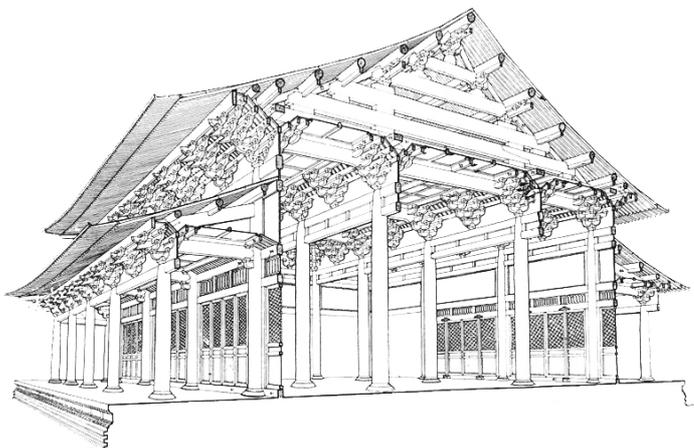


Abb. 13 Schema eines hochrangigen Gebäudes nach den Bauregeln des *Yingzao Fashi* aus der Song Dynastie (aus: Liang, 2001, S. 122)

Mit anderen Worten, alle Holzkonstruktionen in China, die das Spannweite Problem berührt, teilen den strukturellen Gedanken der Auskrägung (und ihrer umgekehrten Form), mit einer einzigen Ausnahme – den Gewebebogen.

Reife Gewebebogenkonstruktion: Warum nur in Südostchina?

Die vorherigen Abschnitte untersuchten, warum die Gewebebogenkonstruktion, obwohl sie in vielen Baukulturen der Welt existiert, nur in Südostchina voll ausgereift ist. Die strukturell effizientere Fachwerkkonstruktion machte es für europäischen Bauleute unnötig, die konstruktive Möglichkeit der Gewebebogenkonstruktion auszuprobieren. Im Gegensatz dazu, in China, wo es keine traditionelle Fachwerkkonstruktion gab, nutzten die Zimmermänner die Möglichkeiten des Gewebebogens voll aus, um die Spannweite zu vergrößern.

Nicht jede Versuche einer Gewebebogenkonstruktion in China war jedoch erfolgreich und überlebte. Die Regenbogenbrücken verschwanden, und die Technik des Gewebebogens ist nur durch die MZ-Brücken überliefert. Richtige Behandlung der Verbindungen und wirtschaftliche Baumethode entschieden dabei über Erfolg und Misserfolg.

In der westlichen Baukulturen ist der Tragwerksentwurf größtenteils ein geometrisches Problem. Der geometrische Entwurf ist der chinesischen Baukultur, wo waagrechte und senkrechte Bauelemente fast allen Arten von Architektur dominieren und Neigungen ungünstig sind, jedoch fremd. Deshalb ist es in China unmöglich, die bauliche Stabilität durch das Prinzip der Dreiecke zu erreichen.

Die bauliche Stabilität ist in China kein Problem des Entwurfs, sondern ein Problem der Verbindungen. Chinesische Konstruktionen sind von der Qualität der Holzverbindungen abhängt. Wie im Kapitel IV betont, müssen die Holzverbindungen genau vorgefertigt und immer vor Ort angepasst werden.

In der chinesischen Baukultur ist die größte Herausforderung die Behandlung der konstruktiven Verbindungen. Deshalb ist das erfolgreiche Überleben der Holzbogenbrücken in den MZ-Bergen tatsächlich ein Erfolg ihres Verbindungssystems, das auf der lokalen Bautradition der Sprengwerkbrücke basiert. Das ist auch die Ursache, warum die Entwicklung der Bautechnik der Holzbogenbrücken mit Anfang des 19. Jahrhunderts stagniert: die geschickte Lösung des Querbalkenschlags / *Choudu* machte eine weitere Entwicklung der Bautechnik, besonders der Holzverbindungen, unnötig.

Literatur

Alberti, Leon Battista. *De re aedificatoria*. Florenz. 1485.

Alberti, Leon Battista. Cosimo Bartoli. *De re aedificatoria*. Firenze. 1550.

Alexander, Jonathan JG. *Medieval illuminators and their methods of work*. Yale University Press, 1992.

Bennette, Shelley M.. "The Art of Wealth: The Huntingtons in the Gilded Age". Huntington Library Press, 2013.

Bertin, Vito. *Leverworks: one principle, many forms*, China Architecture & Building Press, 2012.

Bi, Sheng

毕胜, 木拱桥——一种中国建构文化的研究[硕士学位论文]. 南京大学建筑学院, 2003.

Bowie, Theodore Robert, ed. *The Sketchbook of Villard de Honnecourt*. Indiana University Press, 1959. 74.

Bundgard, J. A. "CÄSAR BRIDGES OVER THE RHINE." *Acta Archaeologica* 36 (1965): 87-103.

Carpò, Mario, et al. *Leon Battista Alberti's Delineation of the City of Rome (Descriptio Urbis Romæ)*. Vol. 335. Arizona Center for Medieval and Renaissance Studies (ACMRS), 2007.

Cäsar, Gaius Iulius. *Commentarii de bello gallico*:

Auteur du texte. *Illustrations de Commentarii de bello gallino*. 1485.

Giocondo, Giovanni. *Venetiae*. 1513

della Porta, Agostino Ortica. *Vitali*, 1517.

Giocondo, Fra Giovanni. *Venetia*. 1519.

Aldus Manutius, *Lugdunum*. 1571/1574.

Manuzio, Aldo. *Venetiis*. 1575.

Palladio, Andrea. *Venedig*. 1575.

Gussano. *Lugdunum*. 1588

Philipp Reclam jun. 1980. 195-198.

CCTV

CCTV, Dokumentarfilm „Suche nach der Regenbogenbrücke“ 虹桥寻踪, CCTV, 2001

Cohausen, August. *Cäsar's Rheinbrücken philologisch, militärisch und technisch untersucht*, etc. 1867.

Coluccio Salutati (1331-1406) was the first to realize that Cäsar himself as the author of the commentaries, instead of Julius Celsus, the common sense of the Middle Ages..

Conder, Josiah. *Landscape gardening in Japan*. Kelly and Walsh, limited, 1893.

Da Vinci, Leonardo. *Codex Atlanticus* (von Biblioteca Ambrosiana)

Da Vinci, Leonardo. *Codex* (von Biblioteca Nacional de España)

De Hamel, Christopher. *The British Library guide to manuscript illumination: history and techniques*. University of Toronto Press, 2001.

De Hamel, Christopher. *Scribes and illuminators*. University of Toronto Press, 1992.

Drachmann, Aage Gerhardt. Cäsars bro over Rhinen. 1965.

Edwards, Henry J. ed. The Gallic war. Dover Publ. 2006. 62

Fang, Yong

方拥. 虹桥考. 建筑学报,1995(11). 55-60

Frank, Tenney. Catullus and Horace. Holt, 1928. 157-159.

Giorgione, Claudio. Leonardo da Vinci: The models collection. Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci. 2009. 122-123

Griffin, Miriam, ed. A companion to Julius Cäsar. John Wiley & Sons, 2009. 317-334, 350-358.

Gong, Difa

龚迪发. 福建木拱桥调查报告. 科学出版社. 2013

Gundolf, Friedrich. Cäsar in der deutschen Literatur. No. 33-37. Mayer & Müller, 1904.

Hertrich, William. "The Huntington Botanical Gardens 1905-1949: personal recollections of William Hertrich." San Marino, Calif.: Henry E. Huntington Library and Art Gallery xii, 165p.-illus.. 1988.

Hirahara, Naomi. From Japan to America: The Garden and the Japanese American Community. aus: Li, T. June. One Hundred Years in the Huntington's Japanese Garden: Harmony with Nature. Huntington Library Press. 2013. 94-107.

Kemp, Martin, and Margaret Walker, eds. Leonardo on Painting: An anthology of writings by Leonardo da Vinci, with a Selection of Documents Relating to his Career as an Artist. Yale University Press, 2001. 251.

Larsen, Olga Popovic. Reciprocal frame architecture. Routledge, 2008.

Liang, Sicheng

梁思成. 梁思成全集第七卷. 中国建筑工业出版社. 2001.

Liu, Yan

刘妍. "栋梁之材"与人类学视角下的中国建筑结构史. 建筑学报, 2016(01): 48-53.

Liu, Yan. The Invention of Da Vinci's Woben Structures, Proceedings of the Fifth International Congress on Construction History. June 2015, Chicago. Vol.2. 481-489

刘妍. 浙闽木拱桥类型学研究—以桥板苗系统为视角. 东南大学学报(自然科学版), 2011(03): 430-436.

刘妍, 杨军. 独乐寺辽代建筑结构分析及计算模型简化. 东南大学学报(自然科学版), 2007(05): 887-891.

Marinoni, Augusto. Il codice atlantico della Biblioteca Ambrosiana di Milano. Volume Secondo. Giunti-Barbèra. 1974. 116.

McDermott, W. C. "MAMURRA," EQUES FORMIANUS." Rheinisches Museum für Philologie.1983. 292-307.

Menge, R., Ein beitrag zur construction von Cäsars Rheinbrücke, Caes. BGall. IV, 17 ,

Mereschkowski, Dmitri Sergejewitsch. Leonardo da Vinci. BoD – Books on Demand, 2013. 352.

Meyer, Franz Sales. Zimmermannsbuch. Weltbild. 1895. 358-359.

Mooslechner, Walter. Winterholz. Verlag Anton Pustet. 1997.

Moulin, François du and Albert Pigge. Commentaires de la Guerre Gallique. France, Central (Paris or Blois). 1519.

Napoléon III, Louis. Histoire de Jules César. Vol. 2. H. Plon, 1866. Planche 15

Needham, Joseph. Science and Civilisation in China, Vol. 4: Physics and Physical Technology, Part 3: Civil Engineering and Nautics. Cambridge University Press. 1971. 162-165

Ningde

宁德市文化与出版局. 宁德市虹梁式木构廊桥屋桥考古调查与研究. 科学出版社. 2006.

Nitto, Kazuhiko

日塔和彦. 日本の歴史の木造橋(刎橋を中心に). aus: 木の建築フォーラム / 岩国. 現代に生きる伝統技術. 2004: 75-91.

Palladio, Andrea. Quattro libri dell'architettura. Venedig. 1570.

Pingnan

Dokumentarfilm „Heim der Holzbogenbrücken“ 木拱廊桥之乡, Landkreis Pingnan. 2009.

Puppi, Lionello. Andrea Palladio: das Gesamtwerk. Dt. Verl.-Anst. 2000. 197-198.

Rheinhard, August. C. Jul. Cäsar's Rhein-Brücke: eine technische-kritische Studie. P. Neff, 1883.

Ringmann, Matthias: Julius der erst römisch Keyser von seinem Kriege, Straßburg 1507

Ruffel, Pierre, and Jean Soubiran. Vitruve ou Mamurra?: Pierre Ruffel et J. Soubiran. Faculté des Lettres, 1962.

Ren, Congcong

任叢叢. 岩国錦帶橋技術に関する調査(その1 設計過程). 日本建築学会大会学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集. 巻 2013 ページ: ROMBUNNO.22254

Rykwert, Joseph. "Theory as rhetoric: Leon Battista Alberti in theory and in practice." Paper Palaces: The Rise of the Renaissance Architectural Treatise (1998): 33-50.

Schleussinger, August. Studie zu Cäsars Rheinbrücke. Lindauer, 1884.

Schramm, Erwin. Cäsars Rheinbrücke 55 v. Chr. Gruyter, 1922.

Saatmann, Karl, Emil Jüngst, and Paul Thielscher. Cäsars Rheinbrücke. Weidmann, 1939. Philologus, 44 (1885) p.279-290

Sagae

寒河江市教育委員会. 白岩臥竜橋関係資料: 工藤善兵衛家資料・鈴木修助家資料・渡辺半右衛門家資料. 1985.

Su, Xudong

苏旭东, aus: 周芬芳, 陆则起, 苏旭东. 中国木拱桥传统营造技艺. 浙江人民出版社. 89-126.

苏旭东, 刘妍. “双三节苗”木拱桥——木拱桥发展体系中的重要形式. 华中建筑, 2010(10), 39-42

苏旭东. 闽清合龙桥结构分析. Unveröffentlicht

苏旭东, 陆则起. 永革桥的结构和技艺流播. 2010 年古桥研究与保护国际学术研讨会, 2010.

Tampone, Gennaro. "Palladio's timber bridges." *Proceedings of the First International Congress on Construction History: Madrid, 20th-24th January 2003*. Instituto Juan de Herrera, 2003.

Tang, Huancheng

唐寰澄. 中国木拱桥. 中国建筑工业出版社. 2010.

唐寰澄. 中国科学技术史·桥梁卷. 科学出版社, 2000: 461-492.

唐寰澄. 中国古代桥梁. 文物出版社. 1987: 64-77

唐寰澄, aus: 茅以升. 中国古桥技术史. 北京出版社. 1986: 102-109, 206-207.

唐寰澄. 中国古代桥梁. 文物出版社. 1957: 27-29.

Taylor, Rabun. Roman Builders - A Study in Architectural Process. Cambridge University Press. 2003. 180-181

Thielscher, Paul. "Vitruvius," Paulys Real-encyclopädie der classischen Altertumswissenschaft 17.2 (1961).

Thönnissen, Udo. Hebelstabwerke: Tradition und Innovation. gta Verlag. 2015.

Vasari, Giorgio. Gaston du C. de Vere. Lives of the most Eminent Painters Sculptors and Architects. Vol. 06 (of 10) Fra Giocondo to Niccolo Soggi. Gutenberg EBook. 2009.

Vasari, Giorgio. The lives of the most excellent painters, sculptors, and architects. Macmillan and co. Id. & the Medici Society. Id. 1912-14

Warner, Torsten. Deutsche Architektur in China: Architekturtransfer. Wiley-VCH, 1994.

Watson, Rowan. Illuminated manuscripts and their makers. V&A, 2003.

Wolf, B., and A. Piercy. "George Turner Marsh and Japanese art in America." Orientations 29.4 (1998): 47-57.

Zhang, Jun

张俊. 泰顺木拱廊桥发展历史探讨. 小城镇建设, 2001(09). 51-54.

Zhao, Chen

Zhao, Chen and Feng Jinlong, Bisheng. Tectonic Studies on Wooden Arched Bridge. As the Case of Span in Chinese Wooden Construction Tradition. Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, May 2009.

赵辰. 对中国木构传统的重新诠释. aus: 赵辰. 立面的误会. 生活·读书·新知三联书店. 2007: 96-117.

赵辰, 冯金龙, 冷天, 毕胜. 木拱桥. 作为山地人居文化遗产的重新评价. aus: 山地人居与生态环境可持续发展国际学术研讨会论文集. 中国建筑工业出版社. 2001: 406-412.

Zimmerhaeckel, F., C. Julius Cäsars Rheinbrücke. Comm. de bell. gall. IV. 17. Ein Rekonstruktionsversuch. Leipzig, B. G. Teubner, 1899.

Index

A

Alberti 10-11, 12
Aldus Manutius der Jüngere 13

B

Balkenschulter 95, 97, 125
Bogenaufleger 94
Brückenbaumänner / Brückenbauleute 55-56
Brückenbaufamilie 55-56
Brückenbaumeister / Zhumo / Shengmo 79

C

Cäsar 7-8
Changqiao-Meister 77, 117-118, 129-130
Chi 83
Choudu 114, 116, 123, 132-136, 142, 169-170, 174, 178
Commentarii 7-13
Cun 35-37, 83

D

Da Vinci Brücke 16-24, 165-166, 170, 174
Deckenbalken 75, 150-162
Dong 102-103, 176-177
Dongtang-Brücke 77, 80, 104-110, 113-121, 125, 127
Dong Zhiji 77, 106, 111, 123, 126, 133, 145-146

E

Essstäbchenbrücke 54-55, 60, 66, 148, 165, 167-175

F

Fachwerk 82, 121-122, 175-178
Feldherrensäulen 74, 76, 112-113
fibula / fibulis 8, 11-14, 16
Froschschenkel-Konstruktion 75-76, 120, 155-156
Fußbalken 76, 96, 114

G

Garyu-Brücke 171-172
Gewebebogen 20-24, 30-31, 54, 66, 73-76, 165-175, 178
Gewebegehölbe 22-24
Giocondo, Giovanni 11

H

Händedruckbrücken 172
Hanyang-Brücke 56-58, 60

Hertrich, William 26, 29-30, 44
Holzpfend 95, 100
Huang Chuncai 77, 81, 90, 93, 94, 107, 117-118, 125, 128
Huntington Bibliothek 26-50
Huntington, Henry Edward 26

J

Japan 25-29, 35-36, 50, 171, 172, 174, 176, 177
Jianshan Qiuse Tu 168
Jielong-Brücke 74-77, 113, 115
Jinze-Brücke 57-60
Jochbrücke 8, 14

K

Kawai, Toichiro 26, 28-30, 36, 48-50
Kawai, T. Nobu 28, 49-50
Kinn 92
Kintai-Brücke 36
Klemmenbrücke 18-21
Kragbrücke 61, 173, 177
Krummbogen 30-31, 37-43

L

Längskonstruktion 17
L-Balken / liegender Balken 74-76, 96, 99, 117, 119, 157-161
Leonardo da Vinci 16-24, 166, 174-175
Luban-Lineal 83-84

M

Mamurra 8
Marsh, G.T. 25-26
Marsh, Victor 26, 29
MZ-Gebiet / Min-Zhe-Gebiet 53-54, 71-72
MZ-Brücken / MZ-Holzbogenbrücken 53-54, 62-68, 71-162, 168-170, 173-175, 178
Mitchell, Andrew 39, 47, 49
Mondbrücke 26

N

Nakatani Shinshichi 25
Nägcl 10, 37, 39-43, 47-48, 50, 53-54, 59, 168, 172, 178

P

Palladio 13-15, 175

- Peng Fodang 77, 123-125
 Plattform-Gerüst 105-106, 107-110
 Pfahlrahmen-Gerüst 106-107, 111-112, 159
- Q
 Qingming-Bildrolle / Qingming Rollbild / Qingming shanghe tu 1, 51-52
 Querbalken (der ZM-Brücken) 74-76, 80-81, 98-99
 Querbalkenschlag 114, 116-118, 123, 132, 142, 169-170, 174, 178
- R
 Regenbogenbrücke 1, 51-53, 56-60, 66-67, 165-170, 175
 Regensburg-China-Brücke 77, 84, 91, 96, 100, 103, 122, 127, 145
 Rheinbrücke 8-17
 Rulong-Brücke 103, 113, 120, 149-162, 173-174
- S
 S-Balken / Schräger Balken 73-76, 94-98, 114-116, 123-124
 Serlio, Sebastiano 23-24
 Schablone 83-86, 90, 95-98
 Shakkanhō-System 35-37
 Shaku 36
 Shanmu 80-81, 82
 Shengshuitang-Brücke 77-81, 96-99, 101-102, 1106, 108, 110, 113, 118, 120-122, 124
 SL-Balken / seitlicher liegender Balken 75-76, 99, 118
 Sprengwerkbrücke 53, 63-64, 150, 156-157, 160-161
 Stangenlineal 83-84, 100
 Streben 11
- T
 Tang Huancheng 51-54
 Tintenschlagschnur 85
 Torii 25, 26, 29-30, 48-49
 Trommelbrücke 25-28, 30, 35, 45
- V
 Villard de Honnecourt 23-24
 Vitruv 8, 14
 Vollmondbrücke 26, 30, 35
- W
 Wengxing-Brücke 88, 94, 139-140, 143
 Wo-Brücke 61, 172-173
 Wu Dageng 77, 88, 90, 91, 93, 98, 110, 111, 125, 127, 128, 131
 Wu Fuyong 77, 78, 79, 89, 93, 96-98, 110, 114, 124-128
- X
 X-förmige Ständer 17-20, 118-119
 X-förmige Stütze 17, 74, 76, 176
 Xiajian-Meister 56, 77, 129-130, 134-136, 143
 Xiaodong-Meister 55-56, 77, 129-130, 137-139, 143
- Y
 Yangmeizhou-Brücke 79, 106, 110, 133
- Z
 -Zehntel-Wasser 90-92
 Zeng Jiakuan 77, 86
 Zhang Chanzhi 77, 91, 107, 123, 127
 Zhanggan 83-84, 100
 Zhao Chen 1, 55, 63-68
 Zheng Duojin 77, 101
 Zheng Duoxiong 77, 81, 93, 123, 126, 127, 131
- 3
 3x2-, 3x3-, 3x4-, 3x5-Brücken 143-148

Dank

Mein Dank gilt in erster Linie meinen Betreuern Professor Manfred Schuller und Professor Zhao Chen, die mich mit akademischem Rat auf meinem Weg begleitet und mit Anregungen, gezielten Nachfragen und sachlichen Hinweisen unterstützt haben.

Für den fachlichen Rat bezüglich Methodologie der Bauforschung und Holzbrückenkonstruktion, gilt mein Dank Professor Philip Caston. Des Weiteren möchte ich mich für die Beratung auf dem Gebiet Holzbrücken und westlichen Konstruktionen bei Professor Tom Peters und Professor Terry Miller bedanken, was meinen Wissenshorizont Verständnis für Holzkonstruktionen wesentlich erweitert hat. Hinsichtlich der westlichen und östlichen Holzkonstruktionen danke ich besonders Professor Klaus Zwerger. Unsere häufigen Diskussionen haben meine Arbeit nachhaltig beeinflusst.

Für die Unterstützung bei der Quellenarbeit im Bereich der japanischen Literatur bedanke ich mich besonders bei Dr. Ren Congcong.

Des Weiteren gilt mein Dank meiner Alma Mater, dem Institut für Architekturgeschichte der Universität Südost in China, und meinen ehemaligen Kollegen Hu Shi und Chen Jiangang für ihre Hilfe und Unterstützung bei meinen Felduntersuchungen.

Besonderer Dank ist den Baumeistern und Brückenbaumännern auszusprechen, die im Kapitel IV und Kapitel V genannt werden. V.a. Meister Wu Fuyong, Meister Wu Dagen und Zheng Duoxiong und Meister Zhang Changzhi haben mir offen und ausführlich das Geheimnis ihrer Bautechnik erläutert, die über Generationen hinweg in ihren Familien überliefert war. Die Kenntnisse, die ich von ihnen gewinnen konnte, bildeten sowohl die Verständnisgrundlage, als auch den Hauptbeitrag dieser Dissertation.

Zudem bedanke ich mich bei Herrn Heribert Wirth, der mir den Aufbau einer kleinen Holzbogenbrücke in seinem Nepal-Himalaya-Pavillon in Wiesent zusammen mit den chinesischen Baumeister ermöglicht hat.

Bezüglich der Hilfestellung beim Japanischen Garten in Huntington Bibliothek, USA, möchte ich mich bei dem Kurator Herr David MacLaren und dem Architekt Andrew Mitchell bedanken.

Für Hilfe und Informationen bei der Felduntersuchung im Min-Zhe Gebiete, danke ich dem Kulturarbeiter vom Landkreis Qingyuan, Taishun, Jingning, Longquan, Lianduqu in der Provinz Zhejiang, und dem zuständigen des Landkreises Pingnan, Shouning, Zhouning, Zhehe in der Provinz Fujian. Dabei möchte ich mich besonders die Unterstützung von Su Xudong aus dem Landkreis Pingnan, Zhengyong aus dem Landkreis Zhounin, Gong Difa und Gong Jian aus dem Landkreis Shouning und dem Ingenieur Yao Hongfeng von Quanzhou, Fujian bedanken.

All jenen, durch deren Hilfe ich meine Feldarbeit durchführen konnte und die ich nicht namentlich erwähnt habe, gilt mein Dank in gleicher Weise.

Ein besonderer Dank gilt meiner Mentorin Dr. Nora Eibisch, die mir in vielen Aspekten der Doktorarbeit geholfen hat, und die im Jahr 2011 mir die Gelegenheit gab, ein Praktikum als Schreiner am Deutschen Museum zu absolvieren, wo ich meine ersten Erfahrungen in der Holzarbeitsweise sammeln konnte.

Für die Korrektur der deutschen Ausarbeitung danke ich Dr. Nora Eibisch, Dr. Alexandra Harrer, Barbara Berger und Wei Shaochen, die durch ihre kritische Durchsicht von Inhalt und Form einen wesentlichen Beitrag zur Arbeit geleistet haben.

Besonderer Dank gilt der Studienstiftung des Laura Bassi-Preis (2015-16) der Technischen Universität München, des Doktorand Reisemittels der TUM Graduate School (2013), und der Forschungsfinanzierung (2012-14) von dem „Key Laboratory of Urban and Architectural Heritage Conservation of Ministry of Education“, Südost Universität, China, die die Durchführung dieser Arbeit erst ermöglicht haben.

Schließlich möchte ich den größten Dank meinen Eltern und meinem Exmann aussprechen, die mich durch ihre Geduld und ihr Verständnis bei meiner Forschungsarbeit unterstützt haben.