

Fliegende Balken : Hebelstabbrücken in China

Autor(en): **Thönnissen, Udo**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Werk, Bauen + Wohnen**

Band (Jahr): **106 (2019)**

Heft 5: **Fügen in Holz : neue Freiheit im Knoten**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-869662>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

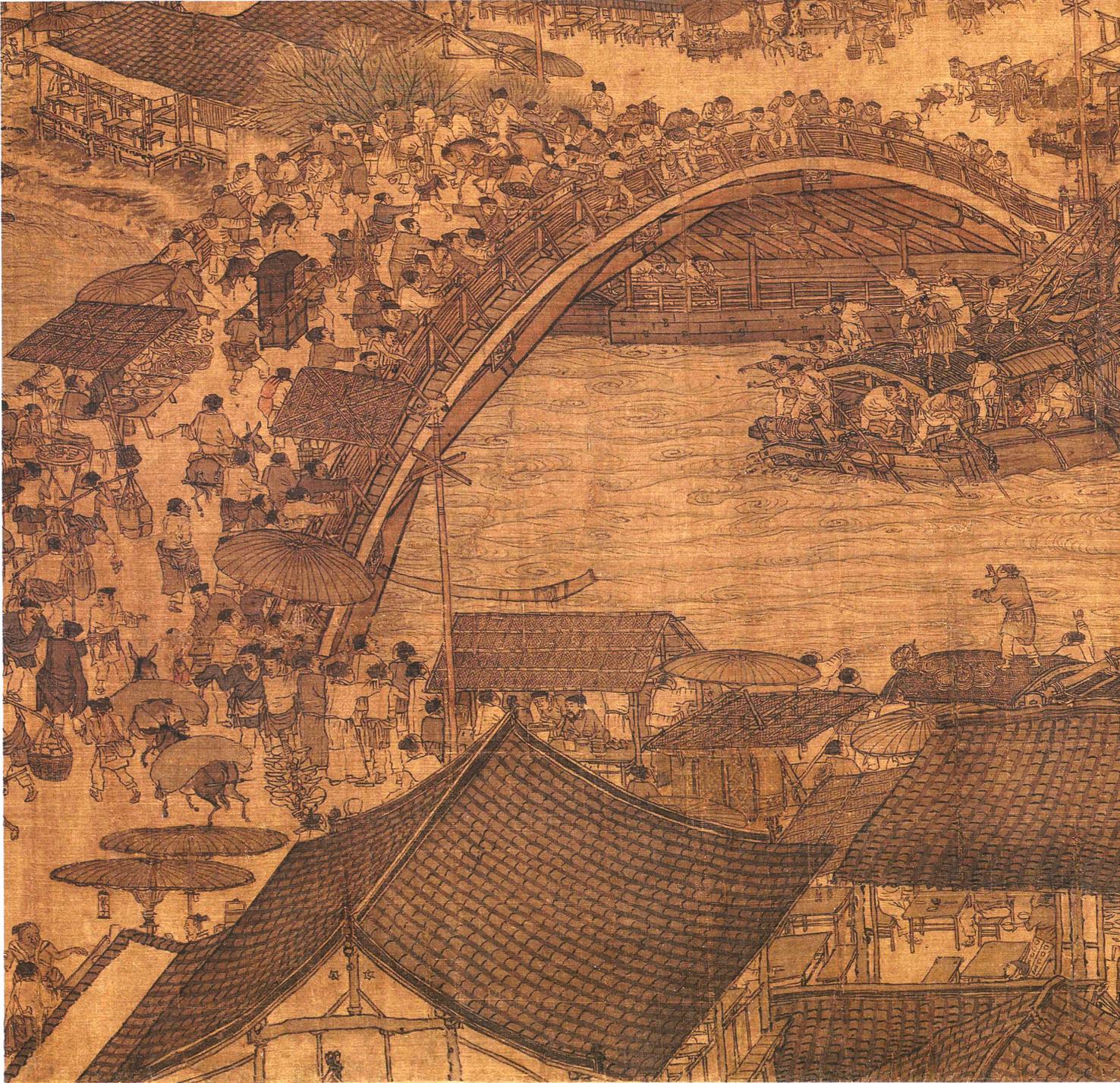
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Fliegende Balken



«Wie ein schillernder Regenbogen»: Eine Hebelstabbücke in Kaifeng / Henan im 12. Jh. Ausschnitt aus der Zang-Zeduan-Bildrolle, mit freundlicher Genehmigung des Palastmuseums Beijing

Rechts: Versuchsweiser Neubau einer Regenbogenbrücke. Der Hauptbogen aus drei Segmenten wird zuerst errichtet. Bild: Udo Thönissen

Hebelstabbrücken in China

Hebelstabwerke erlauben trotz kurzer Bauelemente ansehnliche Spannweiten. Die gewölbte Konstruktion steift sich dabei selber aus, das System ersetzt gewissermassen das Fügen, und Verbindungen sind auf ein Minimum reduziert. In China erlebt die mehr als 1000 Jahre alte Technik ein Revival, in Europa finden Entwürfe Leonardo Da Vincis wieder Interesse.

Udo Thönnissen

1 Brigitte Kölla, *Der Traum von Hua in der Östlichen Hauptstadt: Meng Yuanlaos Erinnerungen an die Hauptstadt Kaifeng*, Einführung und Übersetzung Buch 1–3, Schweizer Asiatische Studien, Band 24, Bern 1996, S.108.

2 Siehe dazu folio 899 v des *Codex Atlanticus* 1478–1518.

3 Zhang Zeduan, Bildrolle *Qing Ming shanghe tu* (Am Fluss während des Klar- und Heiterfestes), 1125, Palastmuseum Beijing.

«Die Brücke sieben Meilen ausserhalb des Ost-Wassertors heisst Regenbogenbrücke. Diese Brücke hat keine Pfeiler. Sie ist ganz in Fachwerkbauweise aus grossen Balken konstruiert, mit zinnberroter Lackfarbe gestrichen, und sie wölbt sich auf wie ein fliegender Regenbogen.» Dies berichtet der Stadtwanderer Meng Yuanlao über die Song-Hauptstadt Kaifeng im Jahre 1127.¹

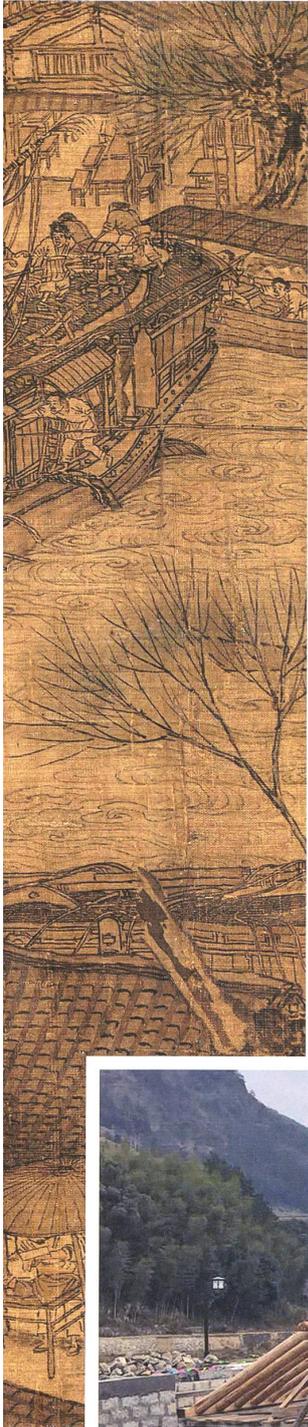
Mit Balken weben

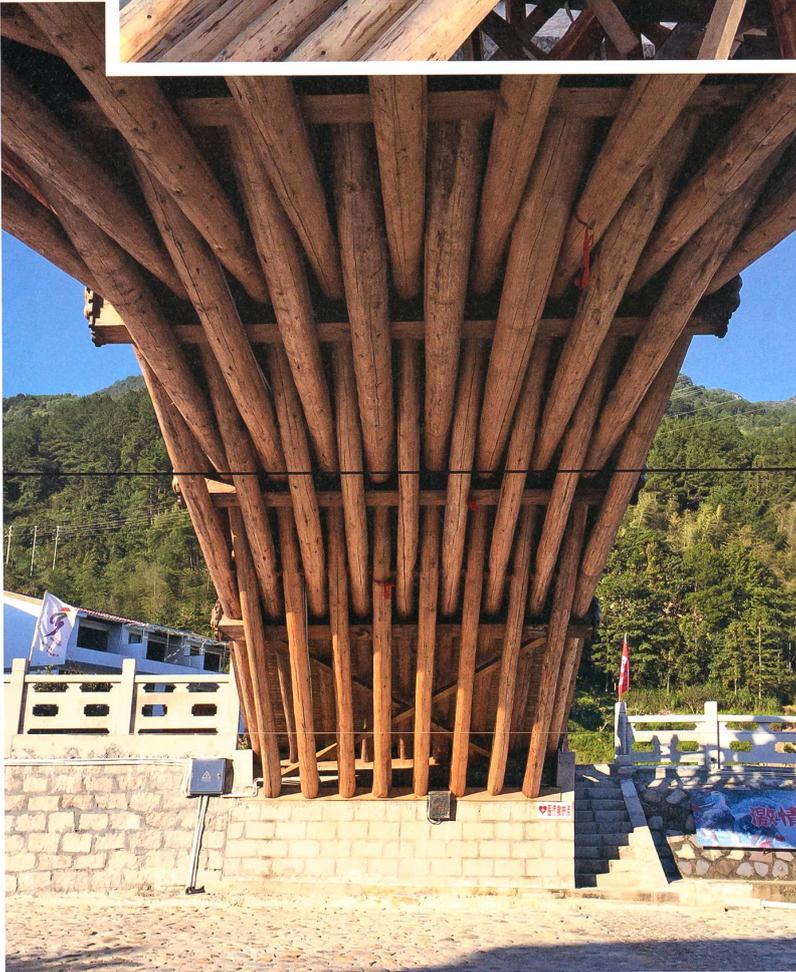
Für die wirtschaftliche Entwicklung Chinas war es unerlässlich, ein dichtes Netz von Kanälen zwischen dem Gelben Fluss und dem Jangtse zu bauen. Um die Kanäle vor dem Versanden zu schützen, wurden die Fahrrinnen im Winter ausgeschaufelt und häufig begradigt. Durch die stärkere Strömung zerschellten jedoch viele Schiffe an Brückenpfeilern. Aus diesem Grund ersann man Bogenbrücken aus Holz, die ausreichend Höhe für die grossen Lastkähne boten, schnell errichtet werden und den Kanal ohne Pfeiler überspannen konnten. So wie es chinesische Zimmerleute schafften, mittels kurzer gerader Rofen genannter Sparren ein konkav gewölbtes Tempeldach zu bauen, schufen sie auch diese Bogenbrücken. Dabei wurden Längs- und Querbalken miteinander verwoben, weshalb sie auch Gewebebogenbrücken genannt werden. Im Volksmund entstand der Name «Regenbogenbrücke» wegen der sich in die Tiefe stappenden Bögen.

In Europa ersannen Julius Cäsar und Leonardo da Vinci ähnliche Brücken, um als militärische Pionierbauwerke ein rasches Überqueren von Flüssen zu ermöglichen.² Sie folgen dem Prinzip des Hebelstabwerks, bei dem wie bei einem Mikado-Spiel Längs- und Querhölzer miteinander verkeilt und mit Seilknoten gesichert werden, so dass sich eine stabile, bogenartige Konstruktion ergibt. (vgl. S. 21)

Die Bogen wölben

Da in China keine Regenbogenbrücke mehr existiert und nur eine einzige bildnerische Darstellung einer solchen auf einer Bildrolle des Hofmalers Zhang Zeduan erscheint,³ sind in den letzten Jahren aus Forschungsinteresse Versuchsbauten in kleinerem Massstab errichtet worden. Im Norden der Provinz Fujian wurde im letzten Frühjahr erstmals der Versuch unternommen, eine Regenbogenbrücke mit der aus der historischen Bildrolle abgemessenen Spannweite von 19 Metern zu errichten. Der Architekt der





«Regenbogenbrücke»

Typischerweise überspannten diese Brücken Kanäle, deren Schiffbarkeit nicht durch Pfeiler beeinträchtigt werden sollte. Beim Bau wurden gerade Längs- und Querbalken miteinander verweben. Im Volksmund entstand der Name «Regenbogenbrücke» wegen der sich in die Tiefe staffelnden Bögen.

Rekonstruktion einer Regenbogenbrücke in Baiyu. Bild: Udo Thönnissen

In einer Regenbogenbrücke verweben sich acht Balken des Haupt- und neun Balken des Nebenbogens. Bild unten: Su Xudong

Brücke, Su Xudong, der auch als Kulturbeauftragter der Region Pingnan tätig ist, rief dazu den bekannten Brückenbauer Huang Chuncai und seine Zimmerleute zu Hilfe. Huang ist ein Meister in dritter Generation aus einer Brückenbauerfamilie, die ihr Wissen von Generation zu Generation weitergegeben hat. Brückenbauer wie ihn gibt es nur noch sehr wenige, denn obwohl die Regierung in Peking seit zwei Jahren die Entwicklung der ländlichen Gebiete grosszünftig fördert, gibt es zu wenige entsprechende Aufträge, um den Nachwuchs heranzubilden.

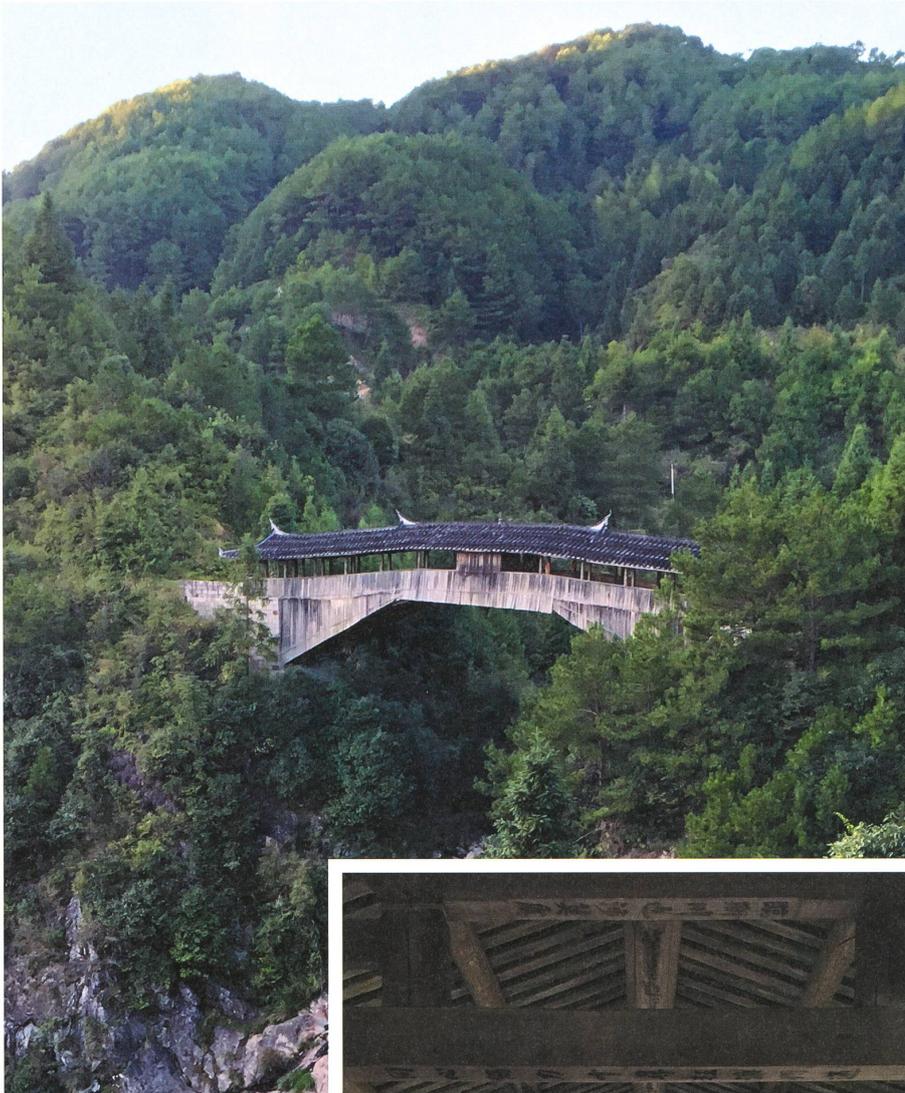
Die Art der Verbindungen und des Aufbaus einer Regenbogenbrücke ist Gegenstand lebhafter Diskussionen. In der akademischen Welt nimmt man an, dass die ursprünglichen Brücken mit Seilen oder Nägeln verbunden wurden. Die Brückenbauer aus Pingnan aber sind der Ansicht, dass eine Brücke dieser Grösse nur mit Zimmermannsverbindungen dauerhaft stabil genug sei.

Holzverbindungen besitzen in China seit jeher eine besondere Bedeutung, da es kein Fachwerk gibt, welches das Tragwerk geometrisch aussteift. Die Brückenbauer unterscheiden diese Verbindungen jedoch nicht nach der Art der Belastung, sondern nach ihrer Funktion im Bauprozess. Die Zapfenverbindung wird verwendet, wenn der Balken in das Querholz gesteckt wird. Die Schwalbenschwanzverbindung dagegen wird zum Einführen des Balkens von oben benutzt. Nur in einer klar definierten Reihenfolge lassen sich die Balkensysteme miteinander verweben. Der Hauptbogen aus drei Segmenten wird zuerst errichtet und dient dann als Plattform, auf der die weiteren Arbeitsschritte stattfinden. Der Nebenbogen aus vier Segmenten wird zwischen die Balken des ersten geschoben und stabilisiert diesen.

Brücken-Topografien und -Räume

Nicht zufällig wurde die neue Brücke in der Provinz Fujian errichtet. In dieser weitgehend unerschlossenen, sehr gebirgigen Landschaft im Südosten Chinas existiert ein sehr ähnlicher Brückentyp, die Fu-Zhe-Brücke. Wie der Name andeutet, finden sich diese Bauwerke nur im Süden der Provinz Zhejiang und im Norden der Provinz Fujian. Ganze 100 Exemplare sind heute noch erhalten.

Der Ursprung dieser Brücken und ihre Beziehung zu den Regenbogenbrücken der Song-Dynastie ist ungewiss. Neuere Konstruktionsforschungen kommen zum Schluss, dass es sich um eine eigen-

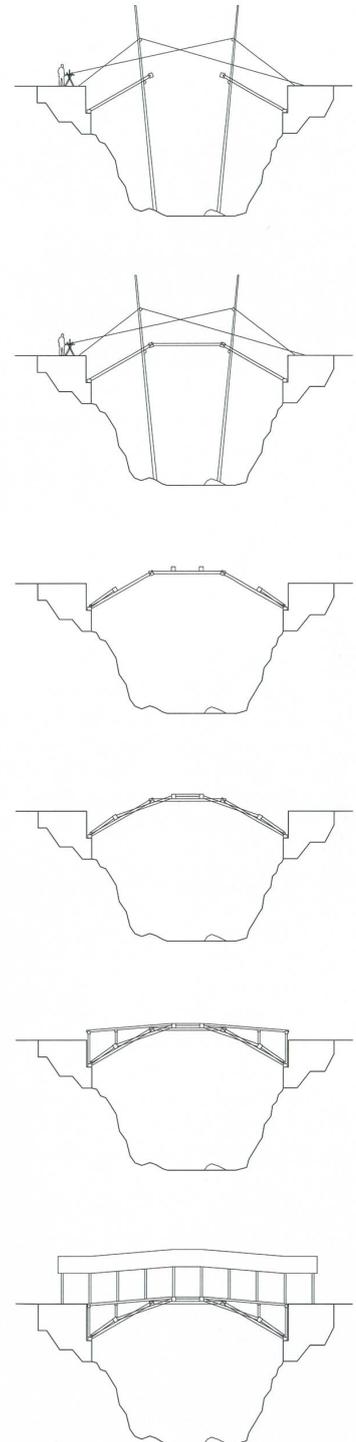


Jinzao-Brücke in Jitou (Fujian) über einer engen und für die Montage gefährlichen Schlucht. Die Brücken dieses Typs sind eigentliche Sinnbilder des Übergangs. Bilder: Udo Thönissen



Sogenannte «Fu-Zhe-Brücke»

Wie der Name andeutet, finden sich solche Bauwerke im Süden der Provinz Zhejiang und im Norden der Provinz Fujian. Ihre Kragbauweise ist eine Antwort auf die dort vorhandenen steilen Schluchten. Konstruktiv zur Beschwerung krönt sie oft auf der ganzen Länge ein Brückenhaus inklusive Tempel. Den Dorfbewohnern dienen die Aufbauten als beliebte Treffpunkte.



Montage einer Fu-Zhe-Brücke über einer Schlucht mithilfe schwenkbarer Rahmen (schräge Stäbe in der Mitte). Erst die zweite Lage Balken fixiert die Brücke und steift sie aus. Illustration: Udo Thönissen

Geöffnete Knoten

Mkombozi Primary School in Tansania,
Udo Thönnissen und APC Architects

Sobald nicht wie bei den Regenbogenbrücken die Querbalken in einer Ebene liegen, wölbt sich ein Hebelstabwerk in zwei Richtungen. Der Unterschied von Hebelstabwerken gegenüber anderen stabförmigen Tragwerken wie der Gitterschale besteht im «geöffneten» Knoten. Aufgrund dieser Öffnung treffen nur je zwei Elemente aufeinander und der konstruktive Aufwand für die Verbindung wird reduziert. Mindestens drei Stäbe lagern so aufeinander, dass sie sich gegenseitig unterstützen und eine drehende Grundfigur ergeben. Flache Hebelstabwerke wurden im 17. und 18. Jahrhundert in vielen Deckentragwerken in Europa verwendet, weil man auf diese Weise mit kurzen Elementen grössere Spannweiten überbrücken konnte.¹ Hebelstabwerke eignen sich für Gegenden, in denen hochentwickelte Zimmermannstechniken und Ingenieurbauholz fehlen und wo grosse Holzlängen schon aus Gründen des Transports schwer erhältlich sind.

An der ETH Zürich wurde in den vergangenen Jahren an Lösungen für ihren Einsatz im heutigen Bauen geforscht. Die Erkenntnisse dieser Arbeit sind in die Entwicklung einer überdachten Promenade in Dar es Salaam in Tansania eingeflossen. Sie bildet das Rückgrat der Mkombozi Primary School, einer Grundschule in kirchlicher Trägerschaft, und verbindet die verschiedenen Schulgebäude und Aussenbereiche. Zudem bietet sie auch Raum für vielfältige Aktivitäten wie Unterricht, Pausenspiel und Mittagessen.

Da die Klassenräume mit Ziegelgewölben überspannt sind, wurde versucht, auch die Promenade mit einem gewölbten Dach vor Sonne und Regen zu schützen. In Kontrast zur massiven Konstruktion der Schulgebäude wurde das Dach als filigrane Stahl-Holzkonstruktion entworfen. Die Unterkonstruktion des Gewölbes wurde aus statischen Gründen und zum Schutz vor Termiten als Stahlkonstruktion konzipiert, das Gewölbe selbst bildet ein Hebelstabwerk aus Holz.

Im Dach wurden die Balken zu Drei- und Sechsecken kombiniert, die das Gewölbe in seiner Fläche aussteifen und gelenkige Verbindungen ermöglichen. Zwei Balken werden durch einen Stahlbolzen und einen Keil verbunden, der die axiale Verdrehung der Balken ausgleicht. Die Balken wurden lediglich auf Mass geschnitten und mit je vier Langlöchern versehen. Zu Beginn der Montagearbeiten wurde ein Lehrgerüst erstellt, welches die Form des Gewölbes vorgab; anschliessend wurden alle weiteren Balken im freien Vorschub auf einer mobilen Bühne eingehängt. — Udo Thönnissen



Mkombozi Primary School Promenade Roof

Chamazi, Dar es Salaam, Tansania

Bauherrschaft

Sisters of the Holy Redeemer, Chamazi

Architektur

Udo Thönnissen, Zürich, mit APC

Architects, Dar es Salaam

Fachplaner

Tragwerk: Neven Kostic, Zürich

Planung und Realisation

Bauleitung: APC Architects, Dar es Salaam

GU: Klavs Winther, Dar es Salaam

Bausumme total (inkl. MWSt.)

CHF 100 000.–

Abmessungen

94.24 × 7.4 × 6.00 m

Chronologie

Planungsbeginn: 2016

Bauzeit: 2017–18

Bezug: 2018

¹ Jean-Baptiste Rondelet erwähnt in seinen Traktaten vor allem Lagergebäude mit solchen Flachdecken, z.B. ein Mehlmagazin in Corbeille in Frankreich. Vgl. Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Band 3, Paris 1814, S. 66.

Ähnlich wie bei Hebelstabbrücken besteht das Promenadendach aus zwei Systemen. Die filigrane Stahlkonstruktion beschwert das darunterliegende Hebelstabwerk aus Holz.

ständige Entwicklung handeln muss, die sich aus der lokalen Geschichte der Holzbrücken und den topografischen Notwendigkeiten ergab. Zum einen wurden in vielen Regionen im Süden Chinas Holzbrücken in Kragbauweise erstellt, bei denen die Balken in Form von übereinanderliegenden, auskragenden Balken den Fluss überspannen und so die freitragende Spannweite verringern.

Andererseits mag die extreme Topografie der beiden Provinzen mit ihren tiefen Schluchten und steilen Hängen eine besondere Art des Brückenbaus erfordert haben. Um die Probleme zu meistern, werden noch heute auf beiden Seiten einer Schlucht Rahmen aufgestellt und mit Seilen vor dem Kippen gesichert. Auf diese Rahmen werden die Schrägbalken des ersten Bogensystems gelegt und anschließend mit dem dritten, liegenden Balken verbunden. In diesen ersten werden die fünf Segmente des zweiten Bogens «eingewoben». Diese Methode des Aufbaus über einer tiefen Schlucht ist sehr gefährlich und wird heute nur von wenigen professionellen Brückenbauern beherrscht.

Im Unterschied zur Regenbogenbrücke besitzen die Fu-Zhe-Brücken ein Brückenhaus oberhalb des Bogens. Dieses schützt vor Verwitterung der Tragkonstruktion und übt bei Windsog ein stabilisierendes Gewicht auf die Tragbalken aus. Die Dorfbewohner der Region berichten, dass sie bei Stürmen mit ihren Möbeln und Habseligkeiten die Brücken beschwerten und sie so vor Zerstörung bewahrten.

Weitaus wichtiger als der Wetterschutz jedoch ist der kollektive Raum für die Dorfbewohner, den jede Brücke schafft. In heißen Sommern bieten die Brückenhäuser einen schattigen Ort für die Bevölkerung, der vom kühlenden Wind des Flusses durchströmt wird. Während die Brücke in Europa ein Transitraum par excellence und nur ein Ort der flüchtigen Begegnung ist, laden hier Bänke an beiden Seiten der Brücke zum Verweilen ein. In der Mitte einer jeden Brücke befindet sich, entgegen der Flussrichtung ausgerichtet, ein Tempel. —

Udo Thönnissen (1972) ist selbständiger Architekt in Zürich. Im Rahmen eines Forschungsprojekts über Hebelstabwerke an der ETH Zürich veröffentlichte er 2015 das Buch *Hebelstabwerke. Tradition und Innovation*. Von 2017–18 war er Gastprofessor an der Nanjing University in China.

Résumé

Des poutres volantes Des ponts en structure réciproque en Chine

Des ouvrages en structure réciproque permettent de construire des longueurs de portée considérables avec de courts éléments de construction. On emboîte des poutrelles entre elles comme dans un jeu de mikado, et il suffit d'assurer les joints avec des cordes ou des chevilles. En Chine, des constructions de ce type se sont développées probablement indépendamment les unes des autres dans deux endroits. Leur construction se fait au moyen d'un cintre pour les ponts appelés ponts arc-en-ciel ou en avance libre à partir des appuis pour les ponts «Fu-Zhe». Dans les deux méthodes, on entrelace un arc secondaire et un arc primaire et les poutrelles transversales jouent le rôle de renforts. Aucun pont en arc-en-ciel n'a subsisté, les expériences actuelles se basent sur une représentation illustrée datant de 1125 ap. J.-C. Le second type est encore répandu dans la province de Fujian grâce à une topographie difficile. En plus de son rôle de pont, il fait aussi office de point de rencontre villageois, doté de bancs et d'un petit temple.

Summary

Flying Beams Reciprocal frame bridges in China

Thanks to the short building elements used reciprocal frameworks can have remarkable spans. Like in the game of Mikado the rods are wedged together, the connections must only be secured with ropes or bolts. Julius Caesar and later Leonardo da Vinci recommended constructions of this kind for military purposes. In China constructions for bridges built using reciprocal frames developed at two places, probably independently of each other. They were erected either using falsework, as with the so-called rainbow bridges, or, in the case of the “Fu-Zhe bridges”, by extending outwards from the abutments. In both methods a secondary and a primary arch are woven together, and the bracing is provided by transverse members. Unfortunately, there are no surviving rainbow bridges, the experiments made today are based on a handed-down drawing dating from 1125 AD by court painter Zhang Zeduan. Due to the difficult topography there, the second kind of bridge is still widespread in the province of Fujian. Besides serving as bridge it is also a village meeting point, with bench seats and a little temple.