Holzbaukunst

Autor(en): **Kübler, Wolfram**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **136 (2010)**

Heft 38: **Bauen in Bhutan**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-130716

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

HOLZBAUKUNST

Das «Land der friedvollen Drachen», Bhutan, ist stark vom Buddhismus geprägt, und die weltliche Geschichte lässt sich von der religiösen kaum trennen. Dies gilt auch beim Bau einer Brücke. Nach dem Vorbild der seit Jahrhunderten im Himalaya üblichen Brückenarchitektur wurde eine zerstörte Brücke rekonstruiert – allerdings mit grösserer Spannweite und fortschrittlicher Bautechnik. Sie ist quasi ein Prototyp einer Hybridkonstruktion aus traditioneller und moderner Bauweise.

Der Ort Punakha liegt auf etwa 1200 m Höhe, dort, wo sich die Flüsse Po Chu und Mo Chu (Vater- und Mutterfluss) treffen. Sie werden von den Gletschern des Himalaya gespeist. Die Klosterburg von Punakha, der sogenannte Dzong mit seinen bis zu 500 Mönchen, war seit seiner Erbauung 1637/38 während 300 Jahren Regierungssitz des Landes. Noch heute ist er als Winterresidenz des obersten Abts Bhutans und als Sitz des Distrikt-Gouverneurs eines der wichtigsten Klöster des Landes; hier werden seit 1907 alle Könige des Landes gekrönt. Eine 35 m lange hölzerne Kragbrücke aus dem 17. Jh. führte von Punakha über den Mochhu zum Dzong. Eine verheerende Flutwelle, die durch das Bersten des natürlichen Dammes eines Gletschersees im Hochgebirge verursacht wurde, zerstörte 1968 das Tragwerk und einen der beiden Brückentürme. Zudem verbreiterte sich das Flussbett durch dieses Ereignis um 20 m. Verloren ging die Brücke selbst und mit ihr ein wichtiger architektonischer und funktionaler Teil des Gebäudeensembles «Dzong»: Bei vielen religiösen Festen gab es prächtige Prozessionen über die Brücke – diese kulturelle Tradition war jäh abgebrochen.

TRAGWERK ALS KOMBINATION AUS KRAG- UND BOGENBRÜCKE

Vorerst galt es die Bauweise eines traditionellen «Bazaam» – so der bhutanische Ausdruck für eine überdachte Holz-Kragbrücke – zu studieren, vor allem eines «Bazaam» mit einer so grossen freien Spannweite. Infolge der Flussbettverbreiterung betrug die Kragbrückenspannweite neu 55 m statt 35 m wie bei der Originalbrücke. Der seit mehr als 15 Jahren vor Ort tätige Schweizer Architekt Fritz Baumgartner entwarf nach eingehenden Studien alter Brücken und den wenigen Überlieferungen in einem mehrstufigen Entwicklungsprozess zusammen mit dem Ingenieurbüro Walt + Galmarini die letztlich realisierte Variante.
Ursprünglich war eine einfache traditionelle Kragbrücke vorgesehen. Die typische Gestalt mit zwei Kragarmen und einem verbindenden Mittelstück hat ihren Ursprung in Baumstämmen, die an Flussufern oder an Schluchten mit Steinen beschwert wurden und von dort ins Freie ragten. Je grösser die Spannweiten, desto mehr Gegengewicht war nötig. Daraus entwickelten sich die Auflagertürme, die immer grösser wurden und bei wichtigen Brücken zur Kontrolle auch bewohnt waren. Die verfügbaren Balkengrössen setzten allerdings natürliche Grenzen: Maximal 30 m konnten mit dieser Technik überspannt werden.
Erste einfache Handrechnungen ergaben, dass der Bauzustand mit 20 m Auskragung selbst mit vernünftiger Schubverschraubung der Balkenlagen untereinander extrem grosse und gut wahrnehmbare Verformungen zur Folge gehabt hätte und auch die Tragfähigkeit im Bauzustand bereits überschritten worden wäre. Das traditionelle Konstruktionsprinzip solcher Kragbrücken konnte darum zwar für das neue Tragwerk weitgehend übernommen werden, das statische System musste aber für die Bauzustände angepasst werden. Zusätzliche Randbedingungen für das Tragwerk waren ein setzungsunempfindliches System im Endzustand, aus Kostengründen ein minimierter Verbrauch von Beton und Bewehrung, das Erreichen einer hohen Dauerhaftigkeit mit konstruktiven Holzschutz und die Auflage, Stahlteile wenn, dann nur nach eingehender Begründung und auf jeden Fall nicht sichtbar einzusetzen.

AM BAU BETEILIGTE

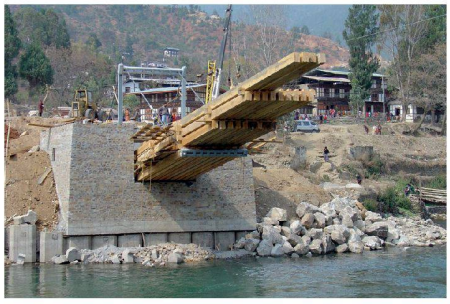
Bauherrschaft: Royal Government of Bhutan, Ministry of Home and Cultural Affairs
Finanzierung und Gesamtleitung: Pro Bhutan e.V., Lörrach (D)
Tragwerksplanung: Walt+Galmarini AG, Zürich
Projekt- und Oberbauleiter in Bhutan: Fritz Baumgartner, Thimphu, Bhutan
Lokale Bauleitung: Padam Bdr. Chuwan, Thimphu, Bhutan, padam.chuwan@gmail.com
Lieferung Verbindungsmittel: SFS unimarket, Rotkreuz
Flussverbauung: Prof. Juerg Speerli, IBU, HSR Rapperswil
Bauunternehmer: Jabab Construction, Thimphu, Bhutan
Holzlieferung und Unterstützung beim Holzeinbau: Chimi Dorji, Bajo, Wangdiphodrang; Bhutan
Stahlbau: Weiss Metallverarbeitung, Unterschwarzach (D)

ZEITLICHER BAUABLAUF

Herbst/Winter 2006: Fällen der Bäume und Transport nach Punakha
Frühjahr 2007: Fundation im Fluss und Bau Turmbodenplatte
Monsun 2007: Keine Arbeiten am Turm möglich
Herbst/Winter 2007: Betonarbeiten am neuen Turm, Abbrucharbeiten auf Turmrückseite, Vorfabrikation der Portaltore, Fenster, Geländer und Dachbauteile
Januar 2008: Montage der Stahlbauteile und Seilbahn
Februar bis Ende April 2008: Montage Holzbau und Mauerwerk neuer Turm inkl. Erneuerung des alten Turmdaches
Mai 2008: Fertigstellung
Effektive Gesamtbauzeit: ca. 9 Monate (ohne Bäume fällen); davon reine Montage Holzbau (inkl. Dach): 3 Monate
Es waren teilweise 50 Personen gleichzeitig auf der Baustelle beschäftigt; gearbeitet wurde 6½ Tage in der Woche



01



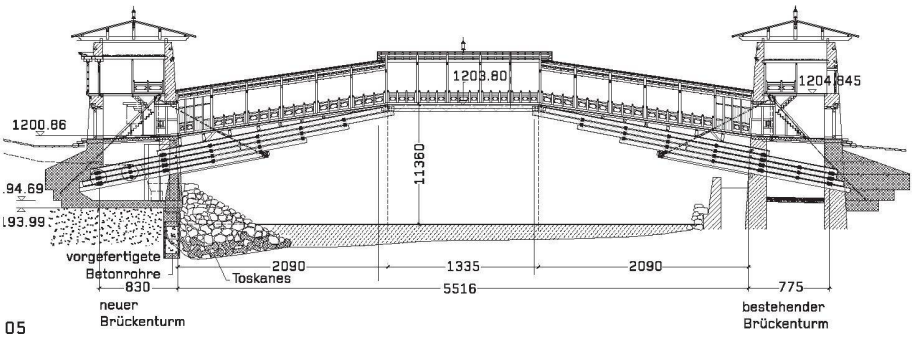
02



03



04



05

01 Nach der Trocknung wurden die Balken auf den endgültigen Querschnitt zugehauen (Fotos: Fritz Baumgartner)
02 Einbau der vierten Balkenlage
03 Vierte Balkenlage mit Längsstoss: Die verzahnten Querbalken dienen der horizontalen Stabilisierung. Die Gewindestangen sind links und rechts des Balkenpakets sichtbar
04 Blick von der Bazam-Brücke Richtung Punakha Dzong
05 Längsschnitt: Links der neue Turm, dessen Bodenplatte auf vorgefertigten Betonrohren steht; rechts der alte Turm mit neuem Fundament ausserhalb der bestehenden Turmstruktur (Plan: Fritz Baumgartner)
06 Die neue «Pro Bhutan»-Brücke ersetzte 2007 die alte Stahlbrücke, die fast 40 Jahre als Provisorium bestand

Das Tragwerkskonzept sieht ein Mischsystem aus zwei Kragbalken mit Einhängeträger und gewisser Bogenwirkung im Endzustand vor. Die Kragarmspitze der untersten Balkenlagen wurden mit einem Querbalken und Zugstangen aus Stahl nach dem Prinzip einer Schrägkabelbrücke zur Montage der weiteren Lagen unterstützt (Abb. 2). Diese Abspannungen verbessern zudem das Tragverhalten bei asymmetrischen Lasten sowie unterschiedlichen Setzungen und verringern die Verformungen während der Montage im Freivorbau.
Um in Querrichtung eine ausreichende Steifigkeit zu erhalten, wurde der Übergang von den Kragarmspitzen zum Mittelbalken so ausgebildet, dass Normalkräfte übertragen werden können. So ergab sich im horizontalen System ein beidseitig eingespannter Balken. Die horizontalen Auslenkungen infolge Windeinwirkungen konnten auf diese Weise begrenzt werden. Durch eine diagonal verlaufende und genagelte Bretterschalung auf der obersten Balkenlage wird die erforderliche Scheibenwirkung erzielt.
Der Gesamtquerschnitt der Kragbalken besteht bei den Einspannungen in den Türmen aus neun nebeneinander liegenden Stapeln aus je fünf Balken mit Längen bis zu 22 m in der fünften bzw. obersten Lage. In der traditionellen Bauweise wurden die Balken der Kragbrücken einfach aufeinander gestapelt, sodass für das Trägheitsmoment des Gesamtquerschnittes nur die Summen der Einzelquerschnitte aktiviert und die resultierenden Schubkräfte allein über Reibung abgetragen wurden. Die Erfahrung hatte gezeigt, dass damit Brücken bis etwa 35 m Spannweite, mit steilen Kragträgern und ohne Überdachung auf höchstens 50 m hätten verlängert werden können. Bei der neuen Brücke wurden die Balken bei der Montage untereinander zweilagenweise über 1.50 m lange Gewindestäbe mit 16 mm Durchmesser zu einem nachgiebigen Verbundträger verschraubt. Diese Gewindestäbe ermöglichen erst die Herstellung dieses überdimensionalen Verbundträgers mit einer Breite von fast 3.50 m und einer Höhe von 2.50 m an den Einspannstellen. Die oberste Balkenlage reicht nur bis zur Turmvorderwand. Ihre Normalkräfte werden ebenfalls durch die Gewindestangen in die vierte Balkenlage eingeleitet. Diese überträgt die Kräfte dann in das Betonfundament.

WIDERLAGER

Die Widerlager bestehen aus einem Betonbauteil und dem typischen Turm aus Bruchsteintrockenmauerwerk, der mit seinem Eigengewicht die Einspannung der Kragbalken bei traditionellen Brücken sicherstellte. Der auf der linken Uferseite noch von der alten Kragbrücke vorhandene mittelalterliche Brückenturm sollte aus denkmalpflegerischen Gründen erhalten bleiben. Er konnte jedoch wegen seines Zustandes nur optisch in das neue Bauwerk integriert werden. Es wurde auf der Rückseite ein 10 m hoher Wandschlitz bis zur Fundamentsohle in das bis 1.50 m dicke Mauerwerk gebrochen und ein neues Fundament mit Flügelwänden ins Innere des Turmes integriert. Die Gründung der vorderen Turmwand des neuen Turmes erfolgt direkt ins Flussbett. Dazu wurden vorgefertigte, 3.5 m lange und 8 t schwere Betonrohre ins fliessende Wasser des Gebirgsflusses abgestellt, ausgefüllt und flussseitig mit etwa 700 sogenannten Toskanes und einem Blockwurf als Kolkschutz versehen. Diese so erstellte halbrunde «Pfahlwand» dient gleichzeitig als Auflage für die Fundamentplatte des neuen Brückenturms. Bereits ein Jahr nach der Eröffnung der Brücke wurde im Mai 2009 ein hundertjähriges Hochwasser innerhalb von zwei Tagen Regenfall erreicht und prüfte die Schutzkonstruktion – es wurde «lediglich» der massive Blockwurf mitgerissen. Die Konzepte haben sich also prinzipiell bewährt.



06

MATERIALISIERUNG

Die Auswahl der geeigneten Holzart fiel nach einigen Diskussionen über örtliche Erfahrungen, die Verfügbarkeit, einem Vergleich mit in Europa üblichen Holzarten und einer Versuchsreiche von Proben an der HSB in Biel auf Chir Pine, die den bekannten Föhrenarten entspricht. Obwohl die Dauerhaftigkeit der ebenfalls untersuchten Himalaya Cedar wesentlich besser ist und diese traditionell im Tempelbau eingesetzt wird, wurde unter Rücksichtnahme des Artenschutzes auf diese gefährdete Holzart verzichtet.
Für den Brückenbau wurden in der Region Bäume gesucht, aus denen ein Brückenquerschnitt aus maximal 5 × 9 Balken mit einem Querschnitt von 25 × 40 cm bei einer maximalen Länge von 22 m erstellt werden konnte. Es wurden mehr als 160 Bäume mit einem Durchmesser von 60 cm und einer Höhe von 25 m gefällt. Direkt im Wald erfolgte ein Grobzuschnitt mit Kettensägen. Die Rundholzstämme wurden von Hand mit Bambusseilen die Steilhänge hinunter transportiert, dann im Fluss geflösst oder wo möglich mit Lastwagen auf Schotterstrassen nach Punakha gefahren – teilweise mit mehrmaligem Auf- und Abladen wegen der engen Kurven. Die Bäume wurden mehr als 16 Monate vor dem Einbau gefällt sowie in einem Zwischenlager bei der Klosterburg mit einem Entlastungsschnitt bis ins Mark versehen, um unkontrollierte Schwindrisse zu minimieren, und dann überdacht auf die spätere in der Brücke zu erwartende Ausgleichsfeuchte getrocknet. Anschliessend wurden sie von Hand mit Messern zu den erforderlichen Balkenquerschnitten zugehauen (Abb. 1).

ASTROLOGIE LEGT DEN BAUABLAUF FEST

Geplant war der Bau im Jahr 2007, doch das galt aus religiöser Sicht als ungünstig, sodass das Vorhaben auf 2008 verschoben wurde. Jedem Baubeginn geht in Bhutan eine buddhistische Zeremonie voraus. Ein Astrologe legt den günstigsten Zeitpunkt für die wichtigen Bauabschnitte fest. Die Bäume durften so erst am 27. September 2006 gefällt werden, dem ersten Tag nach dem «Blessed Rainy Day», der als Abschluss des Monsun gefeiert wird. Nach einer effektiven Bauzeit von etwa zwölf Monaten, inklusive drei Monate Unterbrechung wegen starken Monsunregens, wurde die Brücke am 10. Mai 2008 mit einer buddhistischen Zeremonie und einem grossen Volksfest eingeweiht.

Wolfram Kübler, Dipl. Ing., Walt+Galmarini AG Zürich, Wolfram.Kuebler@waltgalmarini.ch

Literatur
– Harald N. Nestroy: Bhutan. Bildband. Edition Panorama
– «Die Krönung von S.M. Jigme Khesar Namgyel Wangchuk, 5. König von Bhutan», Pro Bhutan e.V., Lörrach; Stand 1.12.2008
– «Tradition neu gedacht», Susanne Jacob-Freitag und Wolfram Kübler; in: mikado, Ausgabe 12-2008
– Bericht «Punakha-Bridge, Kolkschutzmassnahmen», Prof. Dr. Jürg Speerli, Remo Solèr, IBU Institut für Bau und Umwelt, Fachstelle Wasserbau, HSR Hochschule für Technik, Rapperswil
– «Bestimmung von mechanischen Eigenschaften von Chir Pine und Himalayan Cedar», Prüfbericht, Roger Schärli und Dr. Chritophe Sigrist, Hochschule für Architektur, Bau und Holz HSB Burgdorf, Biel
– «Eine Brücke für den Drachenkönig», Wolfram Kübler, Tagungsband Internationales Holzbau-Forum Garmisch 2009