



# Frühe Hasso Hohmann Brücken

Zug- oder Druckbeanspruchte  
Konstruktionen, kreative, innovative  
und interessante Brücken.





Hasso Hohmann  
Früh e

Brücken

Zug- oder druckbeanspruchte  
Konstruktionen, kreative, innovative  
und interessante Brücken.

Abbildung auf der Frontseite:

Der Pont du Gard im heutigen Frankreich wurde um 18 v. Chr. als Aquaedukt für das römische Nemausus, das heutige Nîmes und zugleich als Straßenbrücke über den Gard errichtet. Das Aquaedukt erreicht eine Höhe von fast 50 m.

Foto: Andreas Scheucher, St. Stefan ob Stainz, 2004

Abbildung auf der Rückseite:

Die Q'eswachaka Brücke ist etwa 28 m weit über den Río Apurimac in Peru gespannt. Die Brücke besteht aus den zwei aus Stein gemauerten Ankerstellen für die sichere Befestigung der tragenden Seile der ausschließlich aus Ichu-Gras (Jarava Ichu) bestehenden eigentlichen Hängebrücke, die früher spätestens jedes zweite Jahr erneuert wurde, heute aber jedes Jahr erneuert wird, was in Kooperation mehrerer naher Dörfer geschieht. Am Ende der harten Arbeit gibt es ein gemeinschaftliches großes Brückenfest.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2002

Impressum

Herausgeber:

Hasso Hohmann

© Verlag der Technischen Universität Graz 2021

[www.tugraz-verlag.at](http://www.tugraz-verlag.at)

ISBN print 978-3-85125-832-5

ISBN e-book 978-3-85125-833-2

DOI 10.3217/978-3-85125-832-5



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Academic Publishers Graz

Joh.-Loserthgasse 16, A-8010 Graz

ISBN 978-3-85125-832-5

Gestaltung und Layout: Julian Lança Gil in Zusammenarbeit mit Hasso Hohmann

Druck: Medienfabrik Graz GmbH, Austria.

Zusammenstellung und Text: Hasso Hohmann

Fotos: Die Bildautoren sind jeweils unter den Bildtexten mit ihrem Namen, Wohnort und dem Aufnahme datum verzeichnet

Urhebernachweis: Sofern nicht anders angegeben, liegen alle Bild- und Textrechte beim Autor.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de> abrufbar.

Veröffentlichung mit Unterstützung der Fakultät für Architektur der Technischen Universität Graz und der Allgemeinen Baugesellschaft – A. PORR-AG



## WIDMUNG

Mögen Brücken halten, was sie versprechen, rechtzeitig Schwachstellen preisgeben, und niemandem der Preis für deren Behebung zu hoch sein. Mögen Brücken über Hindernisse auch Brücken mentaler Art werden.



9	<b>VORBEMERKUNG</b>
14	Gliederung der im Folgenden besprochenen Brücken
15	Wasser und andere Grenzen in der Frühzeit des Menschen
16	Erste Balkenbrücken
16	Schwimmkörperbrücken
21	Schifffahrt seit mehr als 130.000 Jahren
23	Städte zum Schutz von Brücken
25	<b>ZUGBEANSPRUCHE BRÜCKENKONSTRUKTIONEN</b>
27	<b>Hängebrücken in der Neuen Welt</b>
29	Brücken als Bestandteile vorkolumbischer Straßennetze in Amerika
34	Brücke bei Penipe in Ecuador
35	Brücke über den Río Pachachaca in Peru
36	Brücke über den Río Urubamba in Peru
39	Brücke von San Luis Rey über den Río Apurimac in Peru
44	Q'eswachaka Brücke über den Apurimac in Peru
44	Konstruktion der Q'eswachaka Brücke in Peru
54	Sepulturas Brücke von Copan in Honduras
61	Sesemil Brücke bei Copan in Honduras
62	Brückenhypothese zur steinernen "Hamaca" in Copan in Honduras
66	Hängebrücken als Teil des Denkens neuweltlicher Kulturen in zugbeanspruchten Konstruktionen
71	<b>Frühe Hängebrücken in der Alten Welt in Eurasien und Afrika</b>
71	Brücke von Shaor in Nordindien
76	Brücke über den Tsarap-Fluss im Zanskar-Tal in Nordindien
78	Einfache Reispflanzerbrücke in Myanmar
79	Rotang-Brücken in Südostasien
80	Hängebrücke über den Baliem Fluss in
80	West-Papua, Indonesien
82	Hängebrücke in Zentral-Kamerun in Afrika
83	<b>Lebende Brücken</b>
84	Lebende Brücken in Nordost-Indien
90	Bau einer Lebenden Brücke
98	Halblebende Brücken in Japan
100	<b>Hängebrücken mit Metalltragwerken</b>
100	Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen auch in der Himalaya Region
103	Han-zeitliche Kettenbrücke bei Kintany in China

		Jahr
105	Chushul Chagsam Kettenbrücke nahe Lhasa in Tibet	67
110	Menai Kettenbrücke zwischen Anglesey und Wales in England	1430
112	“Grosse-Hängebrücke“ in Freiburg in der Schweiz	1826
114	Galtern-Hängebrücke in Freiburg in der Schweiz	1834
116	Széchenyi-Kettenbrücke in Budapest in Ungarn	1840
118	Greig-Street Brücke in Inverness in Schottland	1849
119	Fußgänger- und Radfahrerbrücke in Frohnleiten in Österreich	1880
122	Donaustadt-Brücke in Wien in Österreich	1993
		1997
123	<b>Große Stahlseilbrücken</b>	
123	Brooklyn Bridge in New York City in den USA	1883
127	George Washington Bridge in New York City in den USA	1931
129	Golden Gate Bridge bei San Francisco in den USA	1937
132	Großer-Belt-Brücke bei Nyborg in Dänemark	1998
134	Öresund-Brücke bei Kopenhagen in Dänemark	2000
138	Millau Schrägseilbrücke in Frankreich	2004
143	<b>MOMENTEBELASTETE BRÜCKEN UND MISCHFORMEN</b>	
144	<b>Brücken mit Kragkonstruktionen</b>	
144	Kragsteinbrücke bei Eleutherna auf Kreta in Griechenland	
145	Kragsteinbrücke in Palenque in Mexiko	
146	Kragsteinbrücke bei Tantamayo in Peru	
148	Zweifache Kragbalkenbrücke im Osten von Afghanistan	
149	Dreifache Kragbalkenbrücke im Osten von Afghanistan	
150	Nord-Ostsee-Kanal-Brücke mit Schwebefähre in Deutschland	1913
151	Swing Bridge bei Newcastle in England	1876
153	Brücke über den Firth of Forth in Schottland	1889
156	General Rafael Urdaneta Brücke beim Maracaibo See in Venezuela	1962
158	Tabiaat Brücke in Teheran im Iran	2014
159	<b>Balkenbrücken</b>	
160	Steinbalkenbrücke auf den Orkneys in Schottland	
161	Nabeshima Samurai Clan-Brücke in Okawachiyama in Japan	
163	Kapellbrücke in Luzern in der Schweiz	1333
165	Erich-Edegger-Steg bei den Grazer Minoriten in Österreich	1991
166	Augarten-Steg in Graz in Österreich	1998
167	Bambusbrücke von Tierradentro in Südkolumbien	
170	High Trestle Trail Bridge in den USA	2011
171	<b>Fachwerk- und Klappbrücken</b>	
171	Neue-Elbbrücke bei Hamburg in Deutschland	
174	Malviya-Brücke in Varanasi in Indien	1885
175	Gohteik-Eisenbahnbrücke in Myanmar	1887
177	Tower Bridge in London in England	1899

		Jahr
183	Holländerklappbrücken in Europa	1894
185	<b>DRUCKBEANSPRUCHE BRÜCKENKONSTRUKTIONEN</b>	
187	<b>Hölzerne Druckbogenbrücken</b>	
187	Die Trajans-Brücke zwischen Serbien und Rumänien	105
190	Hölzerne Segmentbogenbrücke in Khaiféng in China	1125
192	Kintai-Kyö Brücke in Japan	1673
196	Ströhberne Bruck'n in Edelschrott in Österreich	1816
202	Blosbrücke in Osttirol in Österreich	1943
205	<b>Steinbogenbrücken</b>	
207	Ponte Rotto in Rom in Italien	179 v. Chr.
209	Pont du Gard bei Nimes in Frankreich	18 v. Chr.
213	Römische Brücke in Avila in Spanien	30 n. Chr.
215	Aquaedukt von Segovia in Spanien	98
217	Anji-Brücke bei Zhaozhou in China	605
223	Rundbogenbrücken in Kunming, China	12.Jh.
224	Alte London Bridge in London in England	1209
228	Ponte della Maddalena bei Bagni di Lucca in Italien	1322
229	Ponte Vecchio in Florenz in Italien	1345
230	Die Brücke von Avignon in Frankreich	1355
232	Teufelsbrücke auf Torcello in Italien	15.Jh.
233	Die Brücke von Mostar in Bosnien-Herzegowina	1567
235	Ponte Rialto in Venedig in Italien	1591
241	Allahverdi-Khan-Brücke in Isfahan im Iran	1602
245	Seufzerbrücke in Venedig in Italien	1603
246	Pol-e Chadschu Brücke in Isfahan im Iran	1650
249	Wehrbrücke von Shahara im nördlichen Jemen	17.Jh
253	<b>Eisenbogenbrücken</b>	
253	Iron Bridge in Ironbridge, Shropshire in England	1779
257	High Level Bridge von Newcastle upon Tyne in England	1846
259	Eads Bridge in St. Louis in den USA	1874
260	Ponte Maria Pia in Porto in Portugal	1877
261	Ponte de Dom Luis I in Porto in Portugal	1886
262	Zollamtssteg in Wien in Österreich	1900
263	Die Gubernitzer Murbrücke in Knittelfeld in Österreich	1900
265	Die Schwebebahn in Wuppertal in Deutschland	1901
267	Alte Brücke im slowenischen Maribor	1913
269	Tyne-Bridge von Newcastle in England	1928
270	Puente Lusitania von Mérida in Spanien	1991
272	„Millennium Bridge“ zwischen Gateshead und Newcastle in England	2001

275	<b>NACHWORT</b>
282	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>
283	<b>SUMMARY</b>
287	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>
293	<b>GLOSSAR</b>
299	<b>LISTE DER BRÜCKEN NACH ORTEN GEORDNET</b>
301	<b>DANK DES AUTORS</b>
303	<b>DER AUTOR</b>

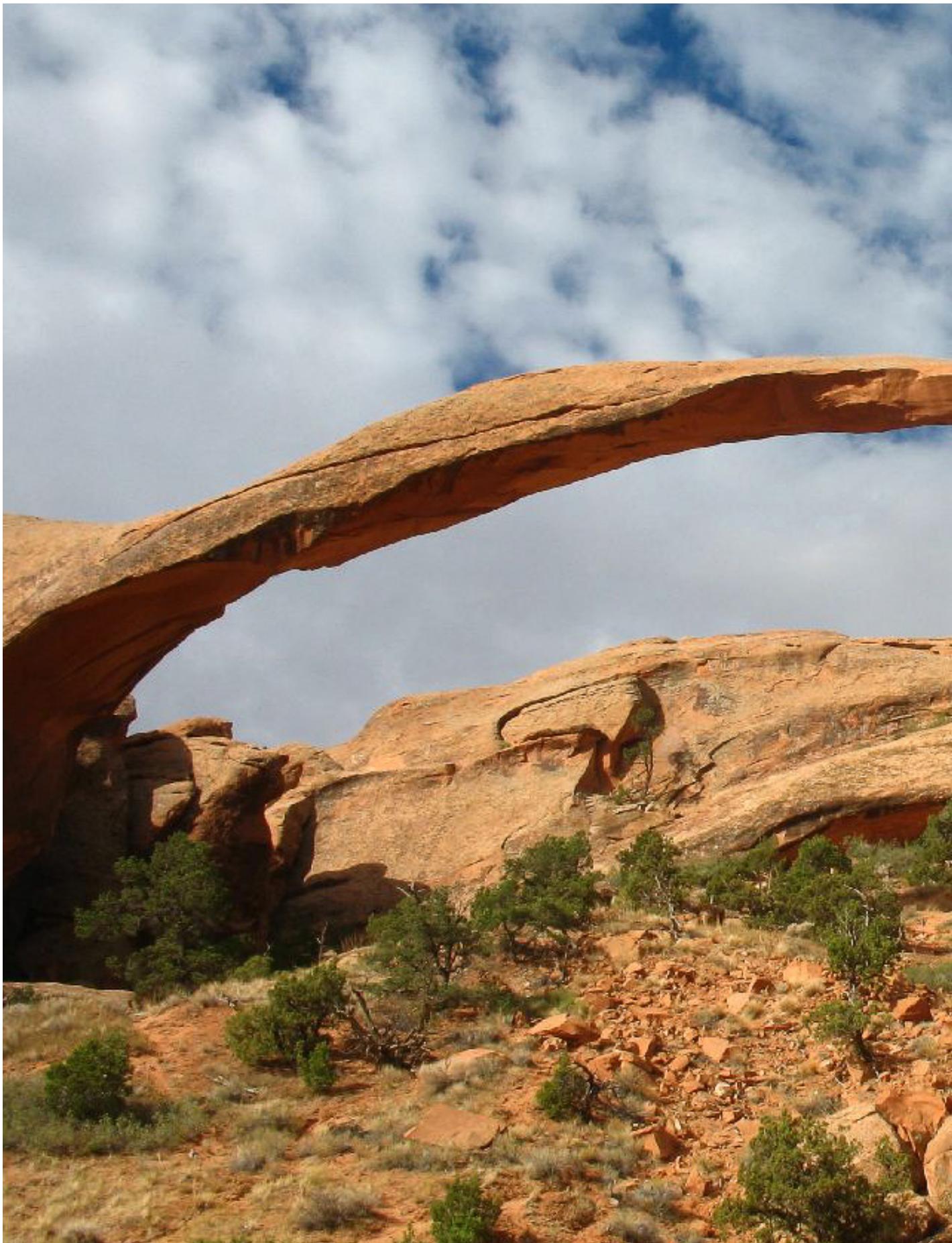
# Vorbemerkung

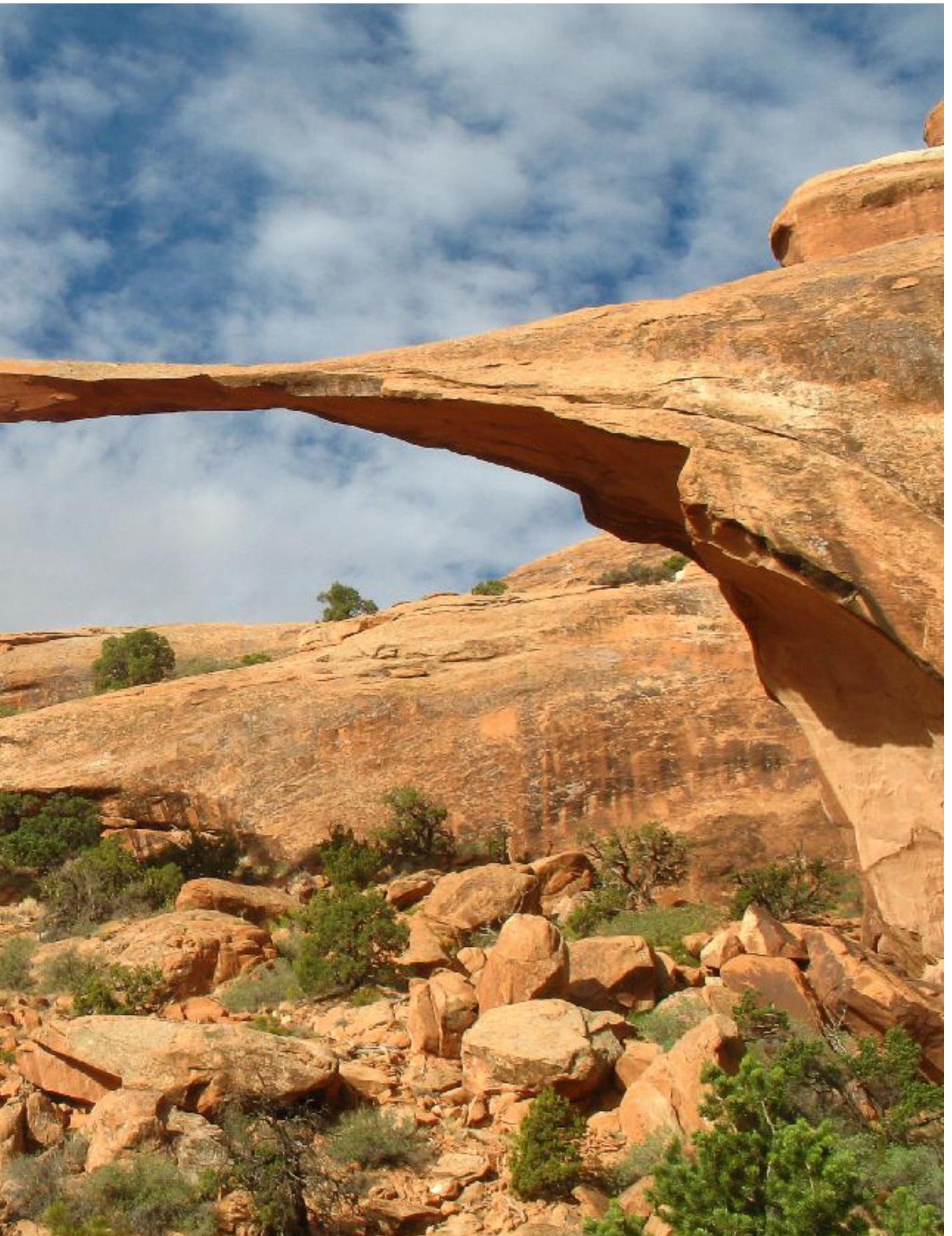
Noch bevor der Mensch begann, die Erde umzugestalten, Bauten zu errichten und auch Brücken zu konstruieren, hatte die Natur selbst schon zahlreiche Brücken durch die erodierende Kraft von Wind und Wasser, aber auch bei vulkanischen Eruptionen selbst modelliert und dadurch Vorbilder für später von Menschenhand geformte Brücken geschaffen. Die vielen Felsbrücken im Arches National Park in den Vereinigten Staaten von Amerika wurden vielfach publiziert, waren in zahlreichen Filmen zu sehen und sind dadurch weltbekannt geworden. Es gibt solche Naturbrücken natürlich auch in fast allen anderen Ländern weltweit.

Natürlich gab und gibt es auch kurzlebige Naturbrücken. Beispielsweise kann durch einen umgestürzten Baum, der quer über einem Bach zu liegen kommt, eine natürliche Brücke entstehen. In Zonen mit sehr dichter, hoher Vegetation gibt es immer wieder solche Beispiele von Naturbrücken über eingeschnittenen Bachläufen. Bei einem solchen Vorfall kann ein schlanker Baum Lianen und andere Klettergewächse mitreißen, die auch mit anderen Bäumen noch verbunden sind. Diese tragen dann wie die Kabel einer Schrägseilbrücke den liegenden Baum über dem Bach. So können auch komplexere Systeme von Naturbrücken mit Tragseilen in der Natur entstehen.

Auf Island gab es bis zum Winter 1992-1993 in der Eldgja Spalte eine beachtlich weit gespannte Naturbrücke aus vulkanischem Eruptivgestein, durch die hindurch ein Wasserfall in die Tiefe stürzte. Diese Brücke wurde über Jahre auch begangen. Hier hatte sich das Wasser den Weg durch eine Spalte im Material gebahnt. Später brach sie in sich zusammen.

Eine völlig andere Art von Naturbrücken wird durch kalkführende, meist warme Quellen neben Bächen gebildet. Das aussinternde Kalkmaterial lagert sich dann in Schichten bis zum Bach ab. Dort aber trägt das Wasser des Baches den ansetzenden Kalk gleich wieder mit sich fort. Dies geschieht so lange, bis die Ablagerungen neben dem Bach eine Höhe erreichen, dass das Bachwasser den sich absetzenden Kalk nicht mehr erreichen kann. Dann bildet sich langsam ein hoher, über den Bach wachsender Bogen, der irgendwann auch die andere Seite des Baches erreicht.





Vorhergehende Seiten:

Abb.: 1

Diese extrem schlanke und weitgespannte Sandstein-Naturbrücke mit einer Spannweite von 92 m und einer Stärke von minimal weniger als 3 m wurde durch Wasser- und Winderosion geformt und steht im Arches National Park in den USA. Ihre Stabilität ist bereits grenzwertig.

Foto: Bernhard W. Hohmann, Graz, 2012

Robert Kostka fotografierte eine solche Sinterbrücke am Aconcagua auf argentinischer Seite, die sogenannte "Puente del Inka" in der Nähe von Los Penitentes. Der Autor besuchte eine Naturbrücke in Guatemala bei Lanquin in der Provinz Alta Verapaz etwas nordöstlich von Cobán. Hier dauerte allerdings der Prozess bereits so lange, dass man eher von einem Naturtunnel als von einer Naturbrücke sprechen sollte.

All diese Naturbrücken konnten Vorbilder und Anreger für die frühen Menschen sein.

Abb.: 2

Dieser knapp 20 m hohe Sandsteinbogen findet sich ebenfalls im Arches National Park in den USA und wird "Delicate Arch" genannt.

Foto.: Andreas Scheucher,  
St.Stefan ob Stainz, 1995



Abb.: 3

Hier schufen Wind- und Wasser-Erosion gleich zwei Naturbrücken hintereinander im Arches National Park in den USA. Vorne der Turret Arch. Foto: Bernhard W. Hohmann, Graz, 2012

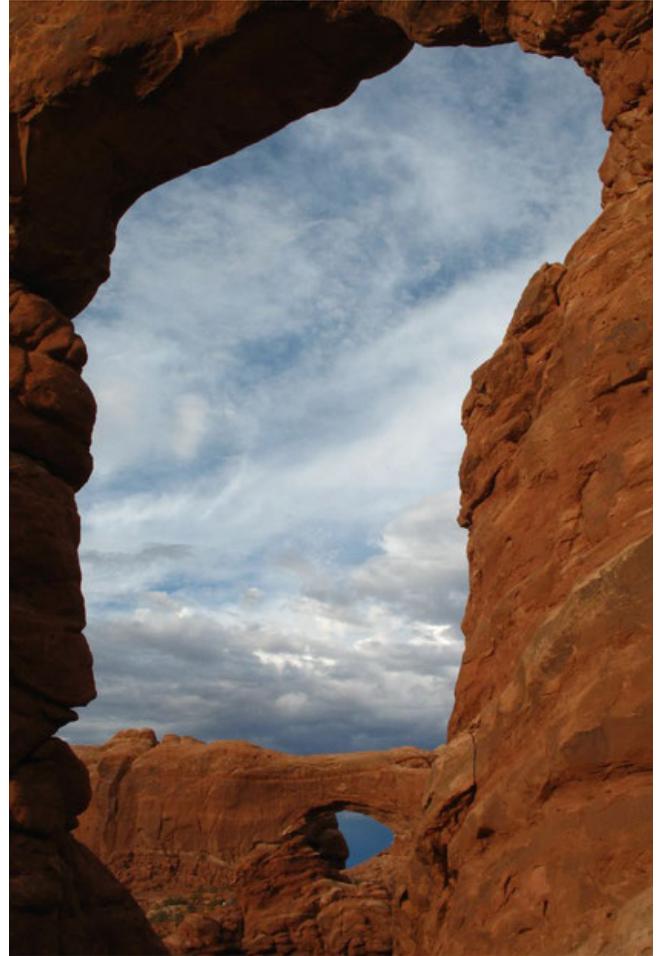


Abb.: 4

Den Pont d'Arc in der Ardèche-Schlucht drei Kilometer entfernt vom Städtchen Val-lon-Pont-d'Arc im Süden Frankreichs hat vor allem das Wasser aus dem Fels modelliert. Er ist erstaunliche 54 m hoch. Man beachte auch die kleinen Boote im Hintergrund. Foto.: Andreas Scheucher, St.Stefan ob Stainz, 2019





**Abb.: 5**  
**Dieser etwa 50 m hohe Naturbogen des Moonhill bei Yangshou in China trägt die Spitze des bekannten Kegelberges im Tal des Li-Flusses. Der gewaltige Bogen formt eine halbmondförmige Öffnung und ermöglicht es, auch bei Regen die faszinierende Landschaft vom Trockenen aus zu fotografieren.**  
**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1994**

### **Gliederung der im Folgenden besprochenen Brücken**

Man kann Brücken nach ihrem Alter reihen, nach ihrer Gesamtlänge, nach der größten Spannweite oder geographisch nach Standorten oder nach ihrer Funktion. Manche reihen sie nach den Anfangsbuchstaben der Standorte. In dieser Arbeit sollen die gezeigten Brücken nach konstruktiven Gesichtspunkten geordnet besprochen werden. Es geht hauptsächlich um das Innovative der jeweiligen Brücke. Was ist neu an ihrer

Konstruktion oder was ist das Besondere gerade bei einem bestimmten Brückenbauwerk? Innerhalb der einzelnen Gruppen sind sie nach ihrem dominant für die Konstruktion verwendeten Material und nach ihrer Errichtungszeit gereiht – so weit das überhaupt bekannt ist. Die Grasseilbrücken und ähnliche Brückenbauwerke, die jedes Jahr zu erneuern sind, werden an den Anfang gestellt, weil sie wohl schon sehr früh entwickelt wurden.

Natürlich gibt es unendlich viele Brücken auf unserem Globus. Die Auswahl für diese Publikation ist subjektiv und kann niemals auch nur annähernd alle interessanten Brücken umfassen und es wird auch sicher die eine oder andere innovative Brücke fehlen, die vielleicht hätte aufgenommen werden sollen. Aber Vollständigkeit ist weder möglich noch das Ziel dieser Arbeit. Im Laufe der Entwicklung von Brücken wurden immer wieder geniale Erfindungen gemacht, wie beispielsweise die des Schlussteinbogens, oder es wurden neue Materialien, die zu völlig neuen Konstruktionen führten, eingesetzt. Manche waren grundlegend, andere wieder betrafen nur ein kleines Detail. Viele der großen Schritte hängen

gerade mit neuen Materialien, wie dem Schmiedeeisen und den dadurch ermöglichten neuartigen Konstruktionen oder größeren Spannweiten zusammen.

In dieser Veröffentlichung werden die zugbeanspruchten Konstruktionen an den Anfang gestellt, weil vieles dafür spricht, dass neben den einfachen kurzen Balkenbrücken aus Holz und auch aus Stein und neben vereinzelt Steinbrücken, die dem archaischen Prinzip von Vorkraggewölben folgen, gerade größere Hindernisse, wie etwa tiefe, breitere Schluchten, nur mit Hilfe der vor allem in frühen Zeiten sehr kurzlebigen ganz einfachen Hängebrücken für eine gewisse Zeitspanne sicher überbrückt werden konnten. Außerdem wurde offenbar schon früher, als vielen Brückenhistorikern bewusst ist, bei den vorkolumbischen Brücken in Peru und auch den asiatischen Hängebrücken im Himalaya-Gebiet auch die Trennung von etwas stärker durchhängenden Tragseilen und angehängten weniger oder gar nicht mehr durchhängenden Laufflächen zumindest im Ansatz vollzogen (s. Abb. 16, S. 35 + Abb. 18 u. 19, S. 38 und S. 39 und Abb. 21, S. 43).

Betrachtet man die Konstruktionen der frühen Hängebrücken in der Alten und die in der Neuen Welt, so erkennt man schnell ihre erstaunliche konstruktive Ähnlichkeit. Allein das spricht dafür, dass diese Art von Brücken schon sehr früh entwickelt und erprobt wurde. Die frühen Einwanderer in die Neue Welt dürften sehr wahrscheinlich die Konstruktionsweise dieser frühen Hängebrücken in die beiden Teile Amerikas bereits mitgebracht haben. Bei ihnen handelt es sich um als Ganzes durchhängende Hängebrücken mit parallel durchhängenden Handlauf- und Laufflächentauen ohne Trennung in Tragseile und angehängte Laufflächen. Sie dürfte sehr früh bereits im Himalaya-Gebirge, in dem Gebirge mit den tiefsten Tälern und den höchsten Bergen erfunden worden sein, um die tiefen Einschnitte mit ihren schnell dahinschreitenden Flüssen, tosenden Gebirgsgewässern überbrücken zu können. Eine Überwindung solcher natürlicher Grenzen wäre sonst für lange Zeitphasen des Jahres oder gar nicht möglich gewesen.

## Wasser und andere Grenzen in der Frühzeit des Menschen

Schon zu Beginn der Menschheitsgeschichte stießen unsere frühen Vorfahren auf ihren Wanderungen zur Nahrungssuche in ihren damaligen Lebensräumen immer wieder auf Hindernisse und an Grenzen. Dazu gehörten in weiten Tälern oft auch breite mäandrierende Flüsse, in engen Tälern hingegen schmale reißende Gewässer, die sich tief ins Gestein einschnitten und mitunter Schluchten mit senkrechten seitlichen Felswänden geformt hatten. An den Küsten des Geburtskontinentes des frühen Homo Erectus und des Homo Sapiens, also auf der riesigen Landmasse Afrikas, stießen sie auch an das den Kontinent umgebende Meer als eine nächste noch schwerer zu überbrückende Grenze.

Die Überwindung einer solchen Grenze dürfte vielleicht schon sehr früh im Süden des Roten Meeres geschehen sein, wo es bei der Engstelle, dem "Bab al-Mandab Strait" in den Indischen Ozean übergeht. Dort sieht man in nur rund 20 km Entfernung bei klarer Sicht die Perim Insel und unmittelbar dahinter deutlich, dass es auf der gegenüberliegenden Seite dieser Meerenge wieder ein ausgedehntes Land gibt - die Arabische Halbinsel. Von der Perim Insel sind es nur noch weitere 3 km bis zur Küste des Jemen. Sehr wahrscheinlich wurde diese Distanz schon sehr früh mit Hilfe von Flößen überwunden, die mit Paddeln, Rudern, Riemen oder mit Skulls, vielleicht auch mit einem einfachen Segel aus Fellen bei entsprechendem Wind angetrieben wurden.

Dort, wo sich neue Ufer abzeichnen, hat es nicht nur Menschen, sondern auch andere Lebewesen auf unserem Globus dazu animiert, Grenzen und Distanzen zu überwinden. Als Kind konnte der Autor einmal **Ameisen** nach heftigen Regenfällen beobachten, wie sie als Kollektiv eine lebende Brücke über einen Bach hinweg bildeten. Sie wollten offensichtlich von einer Seite eines Baches auf die andere gelangen. Sie waren dazu auf einen Strauch geklettert, dem ein zweiter Strauch auf der gegenüberliegenden Seite über dem Wasser relativ nahe kam. Die Sträucher berührten sich jedoch nicht. Der Autor konnte beobachten, dass sich ein richtiger dreidimensionaler Ameisenpulk von hauptsächlich übereinander an mehreren Ästen des ersten Busches hängenden Ameisen gegenseitig so weit unten auf Druck und oben auf Zug quasi im Vorstreck dem

anderen gegenüberstehenden Busch näherten, bis die ersten Ameisen den zweiten Strauch berührten. Danach bildeten die Ameisen eine Art lebendige, bewegliche aus tausenden von Ameisen gebildete Brücke, über die alle zum gegenüber stehenden Busch gelangten. Zwischenzeitlich wurde die lebende Ameisenbrücke mitunter gefährlich schlank und hing manchmal regelrecht durch. Die letzten Ameisen mussten dann wieder eine Art Kragkonstruktion an der Zielpflanze bilden, um den letzten auf dem ersten Strauch noch den Übertritt zu ermöglichen. Danach bildete sich der vortretende Ameisenkopf sukzessive zurück. So konnte das gesamte Ameisenkollektiv über eine selbst gebildete, lebende Brücke die andere Bachseite ohne direkte Verbindung trocken erreichen.

## Erste Balkenbrücken

Wenn die frühen Menschen in prähistorischer Zeit an einen nicht zu breiten Fluss in einer bewaldeten Zone kamen, wuchsen oft an den Flussufern die gut mit Wasser versorgten Bäume besonders gut und hoch. Wollten Menschen den Fluss überqueren, konnten sie versuchen, einen dieser nahe am Wasser stehenden Bäume mit ihren Steinäxten möglichst so zu fällen, dass sein Stamm eine Art einfache Brücke über das Gewässer bildet. Flachte man den Baumstamm an seiner Oberseite noch etwas ab, so entstand ein schmaler Steg, der bereits als eine Art Balkenbrücke gelten kann und genutzt werden konnte. Mehrere Baumstämme nebeneinander hätten sogar schon eine frühe archaische Art Brücke formen können. Darauf hat man angesichts des großen Aufwandes beim Fällen jedes einzelnen Baumes sicher verzichtet, wenn es keine unbedingte Notwendigkeit dazu gab. Eine solche Baumbrücke, bei der an der Unterseite Zug- und an deren Oberseite Druckkräfte über die gesamte auflagefreie Strecke entstehen, kann man als eine "momentenbelastete" einfache Balkenbrücke bezeichnen.

## Schwimmkörperbrücken

Für die Durchquerung von breiteren Flüssen musste meist eine Furt an einer Stelle gefunden werden, an der das Flussbett wenig Gefälle hat, an der das Tal breit ist und der Flussquerschnitt im Zuge von Mäandrierungen eine besonders große Breite erreicht und daher eine geringe Tiefe aufweist. Dort ist auch die Fließgeschwindigkeit gering und in Kombination mit dem Querschnitt hoch genug, dass der Gesamtquerschnitt so viel Wasser pro Zeiteinheit durchlässt, wie an anderen Stellen bei geringerer Breite und größerer Flusstiefe nur mit wesentlich höherer Fließgeschwindigkeit.

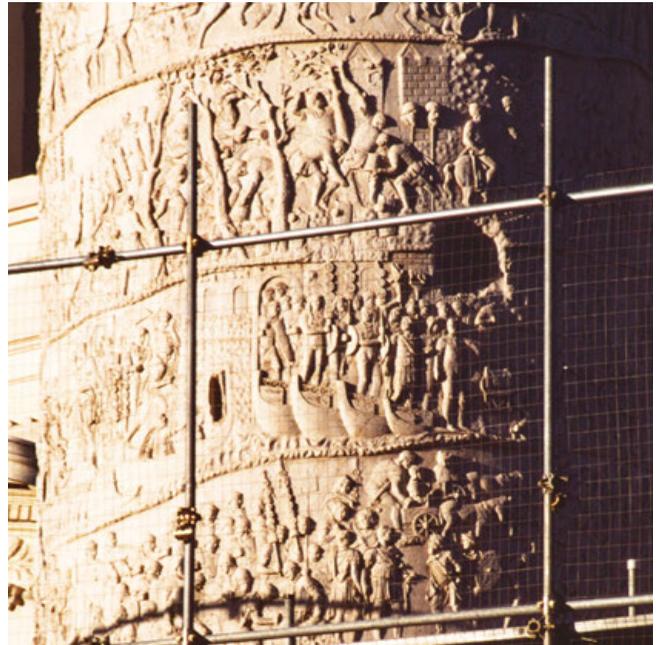
Bei tieferen und breiteren Flüssen wird man schon bald die Idee entwickelt haben, mehrere Holzstämme zu einem Floß zusammenzubinden, um auf einer solchen frei im Wasser schwimmenden Plattform das andere Ufer mit Hilfe von Rudern etc erreichen zu können. Die Erfindung von zugaufnahmefähigen Seilen vielleicht aus Darm oder aus pflanzlichen härteren Fasern war dafür Voraussetzung. Die Seilerei dürfte aber auch zu den ältesten Techniken in der Technikgeschichte des Menschen gehören, die im Laufe der Zeit erfunden wurden.

Natürlich konnten statt des Holzes auch aufgeblasene Tierbälge zur Herstellung von Flößen verwendet werden. Jäger dürften bereits früh die Möglichkeiten der Nutzung von Bälgen erkannt haben. Sie dürften aber auch schon sehr früh für den kurzfristigen Transport von Flüssigkeiten verwendet worden sein. Aufgeblasen schwimmen Bälge aber eben auch sehr gut. Eine größere Zahl luftgefüllter Bälge konnte man mit Stricken an einem leichten Stangengerüst, das aus einem Geflecht von bambusähnlichen Stäben bestehen konnte, anbinden. Mit den untergebundenen Bälgen konnte das eine halbwegs belastbare Plattform, ein Leichtfloß, ergeben, auf dem Personen und auch Güter über einen Fluss, einen See oder auch über das Meer übergesetzt werden konnten.

In ariden Zonen, in denen es keine Wälder entlang von Küsten gibt, mögen solche Balgflöße sogar in Doppelfunktion verwendet worden sein. Man konnte die Bälge zunächst mit dem in einer ariden Landschaft benötigten Wasser gefüllt transportieren und dann nach Verwendung des Wassers aus etlichen dieser Bälge und nach Erreichen eines zu überwindenden

Abb.: 6

**Auf der Siegessäule Trajans in Rom wird unter anderem eine römische Schiffsbrücke dargestellt. Die Säule wurde gerade 2001 restauriert und war daher eingerüstet, als der Autor sie fotografierte.  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2001**



Gewässers die zur Herstellung eines Floßes benötigte Anzahl an Bälgen aufblasen und an ein mitgebrachtes leichtes Stangengeflecht beispielsweise aus Bambus oder anderen ähnlichen Gräsern binden.

Mit mehreren aneinander gebundenen Flößen konnte man außerdem bereits eine erste mehr oder weniger stationäre Schwimmkörperbrücke über einen Fluss bilden. Flexibel gemachte, gegerbte Därme mögen in manchen Fällen als erste Mittel zum Zusammenbinden gedient haben. In anderen Fällen waren hierzu einfache Seile, also die Erfindung der Seilerei notwendig.

Eine Schwimmkörperbrücke musste spätestens unmittelbar nach starken Regenereignissen auf dem Wasser zur Seite geschwenkt werden können. Anderenfalls hätte Treibgut, vor allem aber hätten in den Fluss gestürzte Äste oder gar ganze Bäume die Floßbrücke zerstört oder mit sich reißen können. Ein Fährverkehr mit an Seilen geführten Flößen oder Booten über einen Fluss konnte wohl erst nach der Verfügbarkeit von langen, zugaufnahmefähigen, sicheren Seilen eingerichtet werden.

Vieles spricht dafür, dass die Erfindung des Seiles und der Seilerei schon sehr früh vor sich ging. Es ist relativ sicher, dass in den Höhlenmalereien der ostspanischen "Cueva de la Araña" bei den Honigsammlern auch Seile dargestellt wurden. Die Malereien werden auf ein Alter zwischen 10.000 und 6.000 v. Chr. datiert. Da die Natur uns aber viele Vorstufen zu gedrehten Seilen quasi in den Urwäldern servierte, wird man relativ sicher schon deutlich früher bereits Seile hergestellt haben.

Schon das persische, das griechische und natürlich auch das römische Militär verwendete bereits in der Antike Schwimmkörperbrücken für die Überquerung breiter Wasserstraßen bei großen Landtruppenbewegungen. Sie wurden bei der Überquerung des Bosphorus, der Dardanellen und bei breiteren Flüssen wie dem Rhein oder bei der Donau verwendet. Hierbei waren die

Schwimmkörper meist offene Holzboote. Diese wurden miteinander verbunden und über diese hölzerne Laufstege gelegt. Bei sehr breiten Flüssen und bei starker Strömung mussten die Boote am Ufer gegen die Strömung gut gesichert werden. Mit Hilfe von solchen Schwimmkörperbrücken konnten Truppenbewegungen über Flüsse ohne feste Brücke meist sehr effektiv organisiert und durchgeführt werden. Solche Brücken wurden gewöhnlich als Provisorium nur temporär verwendet und die Boote nach ihrer Verwendung samt den Laufstegen

**Folgende Seite:**

Abb.: 7

**Dieses Detail zeigt eine weitere Schiffsbrücke auf der Siegessäule Trajans in Rom, bei der eine Reihe von kleinen nebeneinander schwimmenden Holzbooten mit darüber montierten Fachwerkh Holzstegen zu sehen ist, über die eine Legion Trajans und andere Menschen gerade marschieren.**

**Foto: Rabax63, 2015, CC O 2.0**

**(siehe Glossar, Abkürzungen 1)**

Abb.: 8

**Diese moderne Schwimmkörperbrücke fand der Autor im Lago Petén Itzá in der Provinz Petén im Norden Guatemalas zwischen zwei kleinen Inseln. Die Schwimmkörper sind hier geleerte Teerfässer, auf denen die Holzkonstruktion relativ wackelig montiert wurde.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1987**



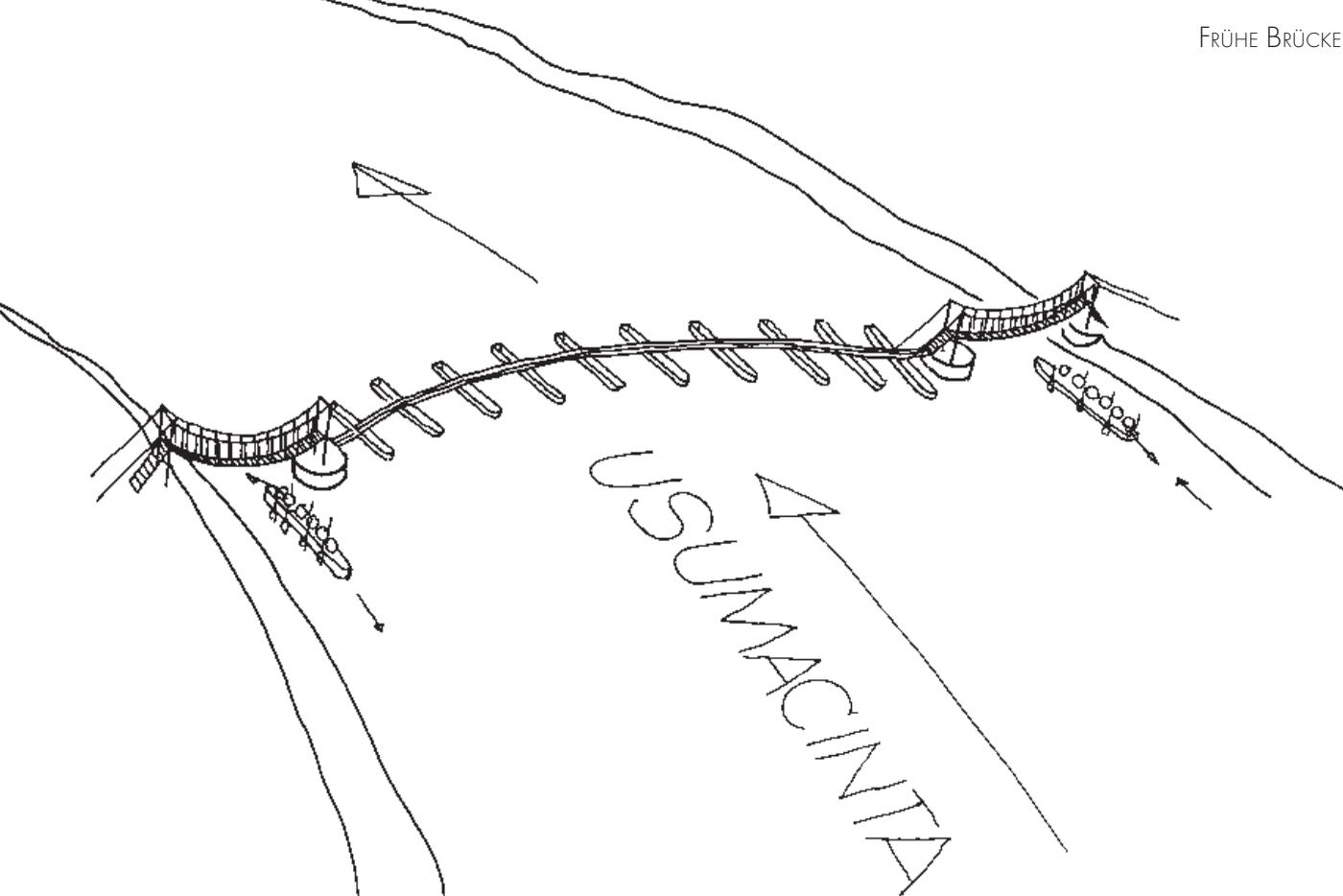


Abb.: 9

Die Galata-Brücke führt in Istanbul vom Stadtteil Eminönü über einen Seitenarm des Bosphorus, das sogenannte "Goldene Horn", zum Stadtteil Karaköy unterhalb des namensgebenden Galata-Turmes. Nachdem schon an dieser Stelle 1836 eine erste hölzerne Brücke errichtet worden war, die 1845 durch eine erste Schwimmkörperbrücke ersetzt wurde und bereits 1863 wieder erneuert werden musste, entstand um 1875 eine neue Eisenbrücke auf noch größeren Pontons. Nach weiteren 37 Jahren wurde auch diese Brücke von Grund auf noch größer und für den inzwischen motorisierten Verkehr erneuert.

Die Firma MAN in Gustavsburg errichtete 1912 die inzwischen zweigeschossige neue Ponton-Brücke. 1967 war der Autor das erste Mal in Istanbul. Damals war diese Brücke eine der Hauptverkehrsadern der Stadt Istanbul. Unter der breiten Fahrbahn gab es damals wie heute eine ausgedehnte Geschäftsebene, zu der Treppen

auf beiden Seiten der Fahrbahn hinunterführten, die quasi den Bazar aus der Altstadt fortsetzte. Die gesamte zweigeschossige Konstruktion wurde von gewaltigen Schwimmkörpern getragen. Die Galata-Brücke war sicher eine der prominentesten, größten und bekanntesten Schwimmkörperbrücken überhaupt, obwohl sich viele der Autofahrer auf der Brücke kaum ihrer Konstruktionsweise bewusst gewesen sein dürften. Als Fußgänger merkte man manchmal beim Passieren eines besonders schwer beladenen Lastkraftwagens ein leichtes Schwanken, wenn man darauf achtete. Nach 80 Jahren Bestand wurde diese Brückenkonstruktion 1992 durch einen verheerenden Brand zerstört und schon bald danach von einer auf vielen Stützen fest im Untergrund des Goldenen Horns gegründeten Brücke abgelöst, in deren Zentrum eine Klappbrücke seitdem auch das Passieren größerer Schiffe in das Goldene Horn ermöglicht. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1967



schnell wieder auf die sichere Seite des betroffenen Gewässers gebracht. So konnten solche Brücken vom Feind nicht gegen die operierenden Perser, Griechen oder Römer verwendet werden.

Grundsätzlich wurden Schiffbrücken von Seilen zusammengehalten und entlang des Flusses in der benötigten Länge vorbereitet und dann mit dem fließenden Wasser seitlich in den Fluss um 90° geklappt, wo sie dann mit Seilen gegen die Strömung gehalten werden mussten. Lässt man die Halteseile locker, kommt die Schiffsbrücke bei fließenden Gewässern wieder zurück. Bei schnell fließenden Gewässern beschreibt eine solche Brücke im Fluss, wenn sie nur an beiden Ufern gehalten wird, eine Art seitlichen parabolischen Bogen, weil das Wasser bestrebt ist, die Boote mitzunehmen. Dann werden die Seile auf Zug stark beansprucht - es entsteht quasi eine Art zur Seite verformte, auf Zug beanspruchte "Hängebrücke".

**Abb.: 10**

**Die hypothetisch rekonstruierte Brücke über den Río Usumacinta, den heutigen Grenzfluss zwischen Mexiko und Guatemala, bei den mexikanischen Ruinen der Maya-Stadt Yaxchilán aus der Zeit der Maya-Spätclassik um etwa 800 n.Chr. geht von einer Schwimmkörperbrücke im zentralen Teil zwischen den gemauerten "Piers" (Maler 1903:105) aus, mit der auf beiden Seiten ufernah zwei kurze Hängebrücken hypothetisch kombiniert wurden, damit Boote entlang des Ufers unterhalb passieren können. Bei einer Flussbreite von etwa 200 m und einem Abstand zwischen den zwei "Piers" von immer noch etwa 100 m wären wohl mit Agavenfasertauen bei einer angenommenen Hängebrücke über die gesamte zentrale Distanz eine konstruktive Machbarkeitsgrenze überschritten worden. Reste des linksseitigen gemauerten "Piers" sind bei Niedrigwasser noch immer gut erkennbar. Vom zweiten "Pier" sind nur noch sehr geringe Reste auf der anderen der guatemalteckischen Flussseite zu sehen (Hohmann 1995:314).  
Zeichnung: Hasso Hohmann, Graz, 1995**



Abb.: 11

Diese Darstellung zeigt eine Schwimmkörperbrücke über den Titikaka-See an einer Engstelle nahe beim Abfluss des Sees. Sie lag auf 3812 m Seehöhe und bestand aus einer Serie von traditionellen Booten mit einer überbrückenden Auflage von Totora. Die Boote der Brücke, wie auch die Boote im Hintergrund der Grafik, werden heute noch wie auch die Brücke selbst aus Totora hergestellt, einem sehr hoch wachsenden binsenähnlichen Material, das im Bereich des riesigen Titikaka-Sees in großen Mengen in Flachzonen wächst und schwimmfähig ist. Aus diesem Material bestehen auch die schwimmenden Inseln im Titikaka-See, die heute noch von Aymara bewohnt werden (Squier 1877/1883).  
Grafik: Ephraim George Squier, 1877

### Schifffahrt seit mehr als 130.000 Jahren

Auf Kreta hat man an der Südküste bei archäologischen Grabungen in der Nähe von Plakias in tieferen Schichten mehr als 130.000 Jahre alte Steinwerkzeuge unserer frühen Vorfahren archäologisch freigelegt (Runnels et al. 2014:152). Darauf machte Estella Krejci-Weiss aufmerksam, die einen der Archäologen kennt, der dort gegraben hat. Es dürfte sich bei den damaligen Siedlern auf Kreta nicht um Neandertaler gehandelt haben. Wahrscheinlich waren es die aus Afrika nach Europa gerade erst eingewanderten oder einwandernden frühen Menschen des Typs "Homo sapiens", die vielleicht doch schon früher, als bislang angenommen, in Europa eintrafen. Wie überbrückten diese frühen Vorfahren die Meerenge über das Rote Meer nach Arabien oder das Mittelmeer nach Europa?

Fest steht, dass Kreta auch zur damaligen Zeit eine vom Festland weit entfernt gelegene Insel im Mittelmeer war. Daher können diese frühen Bewohner die Insel Kreta nur mit Holzflößen, Balgflößen oder mit richtigen Booten erreicht haben. Da Bälge an rauen Küsten leicht leck schlagen, scheint die Benutzung solcher Boote

eher unwahrscheinlich. Balgflöße wurden wohl eher auf Binnenseen bei wenig Wind oder an Ausgleichsküsten am Meer oder auf langsam fließenden Flüssen eingesetzt.

Vielleicht kamen die ersten auf Kreta eintreffenden Menschen vom griechischen Festland auf die Insel oder sogar von Nordafrika aus der Kyrenaika. Vom Peloponnes aus hatten die frühen Seefahrer zunächst eine Sichtverbindung zu den vorgelagerten Inseln nordwestlich von Kreta. Die Distanzen lagen maximal um 32 km. Von den Bergen auf den Zwischeninseln mit mehr als 300 m Höhe gab es jeweils eine Sichtverbindung zur nächsten Insel. So war am Ende auch Kreta ein konkretes Ziel.

Von Nordafrika aus hatte man hingegen trotz einer Randgebirgshöhe von etwa 400 m in der Kyrenaika und einer Gebirgshöhe auf Kreta von mehr als 1000 m an der Südküste bei einer Entfernung von 288 km keine Chance einer Sichtverbindung. Sollten die ersten Kreta-Besucher also von Nordafrika aus gekommen sein, so könnte es sich um eine unbeabsichtigte Verschlagung von Fischern aus der Kyrenaika gehandelt haben. Jedenfalls muss es sich aber gegebenenfalls um eine gemischtgeschlechtliche Gruppe gehandelt haben, da die Besiedlung der Insel wohl länger andauerte. Der Fundort Plakias auf Kreta liegt auf der Nordafrika zugewandten Seite, wodurch die Nordafrikahypothese unterstützt wird.

Die sehr frühe Besiedlung Kretas beweist aber jedenfalls, dass die Schifffahrt eine wesentlich weiter in die Vergangenheit zurückreichende geschichtliche Vergangenheit und Entwicklung hinter sich haben muss, als sich die meisten Experten bislang vorstellen konnten. So war wohl auch die frühe Überwindung der Meerenge beim südlichen Ausgang des Roten Meeres zwischen dem heutigen Djibouti und dem heutigen Jemen keine Frage des "Ob", sondern nur des "Wann", "Womit" und "Von Wem".

Natürlich erst viel später zur Zeit des Königreichs der Königin von Saba reichte auch ihr Reich weit nach Afrika bis hinauf ins Hochland von Äthiopien – ähnlich, wie das Himiaritische und auch das Aksumitische Reich in weiterer Folge. In Äthiopien findet sich auch der besterhaltene altsabäische Tempel in Yeha in der Provinz

Tigray nahe der nördlichen Grenze zu Eritrea. 2008 legte man etwas südlich von Wukro, ebenfalls in Tigray gelegen, in den Resten eines altsabäischen Tempels einen sehr gut erhaltenen Altar in Form eines Tempelmodells aus Marmor mit rundumlaufender Inschrift aus der Zeit um 700 v. Chr. frei (Hohmann 2019:63-65), der eine unglaubliche Ähnlichkeit mit derartigen Modellen in Marib im Jemen hat. Die Meerenge war offenbar nur für die ersten sehr frühen Menschen und da nur für wohl recht kurze Zeit eine wirkliche Barriere.

Die Probleme, denen sich der frühe Mensch in vergleichbaren Klimazonen gegenüber sah, waren rund um den Globus ähnlich. Man könnte daher vermuten, dass er unabhängig von technischem Wissenstransfer immer wieder unabhängig voneinander zu ähnlichen Lösungen fand. Allerdings, wenn die Lösung bis ins Detail übereinstimmt, darf man vielleicht doch vermuten, dass es einen echten Techniktransfer gegeben hat. Um die Dinge gut vergleichen zu können, ist es also wichtig, auch bei den Brücken die unterschiedlichen Brückentypen und ihre Konstruktionsweisen möglichst genau zu untersuchen, zu besprechen und zu dokumentieren.

Sobald der Mensch über einfache Flöße aus Holz oder über Balgflöße und später über widerstandsfähigere Boote verfügte, konnte er Wassergrenzen überwinden. Flüsse boten zudem die Möglichkeit, schwere Transporte auf dem Wasser leichter durchzuführen. Frühe Siedlungen dürften daher und auch wegen des hier verfügbaren Wassers als Trinkwasser bevorzugt an Flussläufen entstanden sein. In flachen Schwemmebenen konnten Siedlungen auch zum Schutz mit einem Wassergraben umgeben und so gegen feindliche Angriffe besser gesichert werden. Hier war Wasser nicht nur Grenze, sondern auch Ressource und zugleich die Chance als Handelsweg, den man über Land oftmals erst mühsam durch Busch- oder Hochwälder schlagen und freihalten musste, sowie auch die Möglichkeit, damit eine effektive Wehranlage zu errichten.

In topographisch bewegten Zonen waren aber auch abgeflachte Bergkuppen für die Anlage befestigter Siedlungen günstig, da ein Kampf von oben nach unten gewöhnlich vorteilhafter, als ein Kampf von unten nach oben, ist. Daher haben manche Völker bevorzugt ihre Siedlungen auf Bergkuppen angelegt. Beispielsweise die Kelten haben in zahlreichen Fällen ihre Wohnbauten

in oft aufwändig befestigten Höhengiedlungen errichtet. Der in Österreich liegende Ringkogel nördlich von Hartberg in der Oststeiermark ist hierfür ein gutes Beispiel. Hier finden sich die Reste von zwei konzentrisch zueinander liegenden keltischen Wehranlagen, die um die Bergspitze ringförmig verlaufen und die sich heute noch markant auf den überwaldeten Hängen des niedrigen Hausberges von Hartberg abzeichnen und ihm den Namen gaben. Bei solchen Siedlungen musste allerdings das Wasser auf andere Weise beschafft werden. Aber auch der Transport schwerer Baumaterialien, wie der von Natursteinen als beständigem Baustoff musste mühsamer bewerkstelligt werden als das auf dem Wasserweg sonst oft möglich war.

## Städte zum Schutz von Brücken

Da Flüsse in der Frühphase der Menschheitsgeschichte eine oft nur schwer überwindliche Barriere bildeten und das Übersetzen mit Hilfe eines Bootes meist mit einem gewissen Zeitaufwand verbunden war und ist, wurde bei Siedlungen an Flüssen nach Möglichkeiten, die Flüsse zu überbrücken, gesucht. Um solche Brücken vor Zerstörung zu schützen, wurden vielfach eigens Siedlungen oder Städte zum Schutz wichtiger Brückenbauwerke angelegt. So bauten beispielsweise die Russen bei der wichtigen Eisenbahnbrücke auf der ursprünglichen Bahntrasse der transsibirischen Eisenbahn über den breiten Songhua Fluss im Nordosten Chinas 1898 die Stadt Harbin. Harbin war im Osten die letzte große Station vor der Endstation in der Hafenstadt Wladiwostok. Harbin wurde dabei nach dem Vorbild von Moskau angelegt.

In anderen Fällen konnten aber auch die Bewohner einer solchen Stadt zur Gefahr für den Bestand einer Brücke werden. So hat angeblich Gegenpapst Clemens VII im 14. Jh. zu seiner persönlichen Sicherheit mehrere Bögen der berühmten Brücke von Avignon zerstören lassen.

Die Römer bauten das antike Castrum Divitia, das heutige Deutz, gegenüber vom damaligen Colonia, dem heutigen Köln, zum Schutz der 310 n.Chr. errichteten 420 m langen Brücke über den Rhein, den damaligen

„Fluvius Rhenus“. Die Brücke hatte 19 gemauerte Brückenpfeiler über Pfahlgründungen im Flussbett und 20 hölzerne Brückenelemente.

Auch das römische Flavia Solva etwa 35 km südlich von Graz im steirischen Wagner im Süden Österreichs wurde zum Schutz der Brücke über den Fluss Mur, den „Fluvius Murius“, errichtet. Flavia Solva entwickelte sich damals zu einer Art römerzeitlichen Landeshauptstadt der mittleren Steiermark, hatte eine Ausdehnung und Bevölkerungszahl, die mit der von Graz um 1650 etwa vergleichbar war, und verfügte sogar über ein Amphitheater. Bei der Murbrücke bei Flavia Solva handelte es sich um eine wohl ausschließlich hölzerne Konstruktion mit mehreren Brückenpfeilern, die im Flussboden nachgewiesen werden konnten. Zwischen diesen spannte sich wohl eine Holzbalken-Fachwerkkonstruktion. Die heutige Breite der Mur auf Höhe von Wagner liegt bei 75 m.

Das römische Relief der Trajans-Brücke über die deutlich breitere Donau zwischen dem heutigen Rumänien und Serbien kann eine Vorstellung davon geben, wie das Denken der Römer in druckbeanspruchten Konstruktionen allgemein, das sich beispielsweise in der häufigen Verwendung von Schlusssteinbögen aus Stein niederschlägt, auch auf römerzeitliche Brückenkonstruktionen aus Holz niedergeschlagen hat, wie ihre Holzbrücken oft ausgesehen haben. (siehe Abb. 153 S. 188).

Eine etwas einfachere Konstruktion wird man sich bei den viel geringeren Spannweiten der Murbrücke zwischen den Brückenpfeilern bei Flavia Solva vorzustellen haben.



# Zugbeanspruchte Brückenkonstruktionen

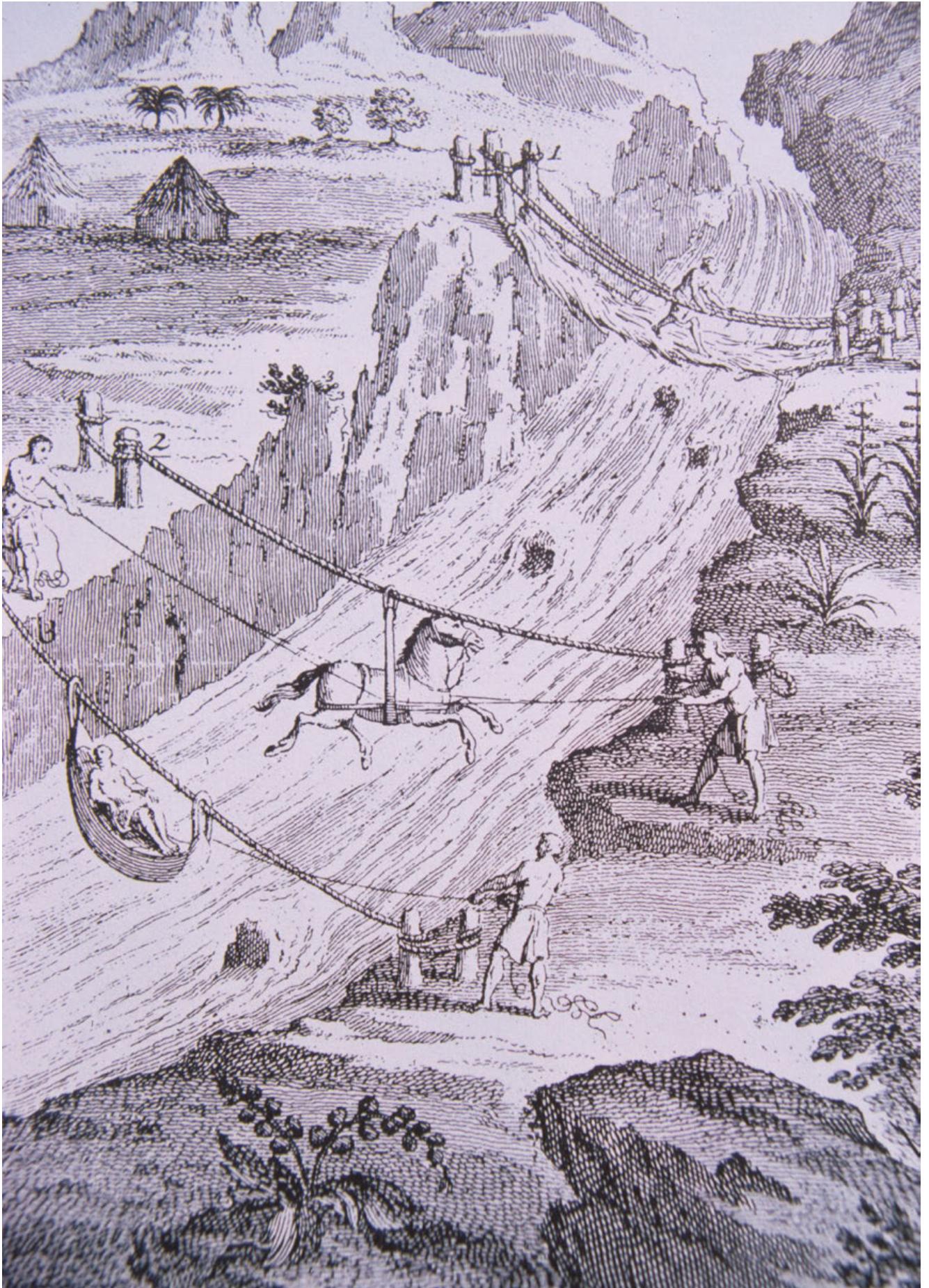


Abb.: 12

Diese Graphik eines spanischen Kupferstechers des 18. Jh. zeigt unterschiedliche Angebote dafür, wie man eine Person oder ein Pferd an einem Tragseil und mit Hilfe von jeweils einer Serviceperson auf jeder Seite einer Schlucht mit Hilfe von Zugseilen über eine Schlucht bringen konnte. Sie zeigt im Hintergrund auch den Typus einer Hängebrücke, der noch bis zur Mitte des 20. Jh. in ganz Meso- und Südamerika fast überall anzutreffen war. Derartige Brücken gab es auch nachweislich bereits in präkolumbischer Zeit. Dazu gibt es zahlreiche Berichte und auch frühe Darstellungen solcher präkolumbischer Brücken. Sie waren nicht nur in Südamerika, sondern zumindest auch in ganz Mesoamerika in vorkolumbischer Zeit gebräuchlich und ähnlich konstruiert. Man darf aber wohl vermuten, dass es solche Brücken auch in Nordamerika bereits vor der europäischen Invasion gab (Juan und Ulloa 1746; Deutsche Verlagsanstalt 1967:357, 358; vergleiche Hagen 1945:32a).

## Hängebrücken in der Neuen Welt

Musste eine tiefe Schlucht immer wieder von Personen überwunden werden, so wird irgendwann jemand auf die Idee gekommen sein, die Verbindung mit einem auf beiden Seiten gut verankerten, gespannten Tragseil herzustellen. Danach konnte ein "Passagier" in einem Korb sitzend oder liegend mit zwei stabil konstruierten, auf dem Tragseil breit und gleitend gelagerten Halterungen von jeweils einer Person auf der Zielseite der Schlucht mit Hilfe eines am Korb befestigten Seils hinübergezogen werden. Bei einer solchen Konstruktion mussten wohl die am Korb befestigten, auf dem Seil aufliegenden Halterungen und auch das Tragseil selbst gut eingefettet sein, damit die Reibung an den Halterungen und auch der Abrieb am Tragseil minimiert wurde. Das die Reibung minimierende Felgenreifenrad, das auf einem Seil laufen kann, wurde jedenfalls erst sehr viel später erfunden und stand daher zu Beginn von Seilverbindungen über Hindernisse hinweg nicht zur Verfügung. Man musste auch das gespannte Seil und auch die Korbbalterungen in relativ kurzen zeitlichen Abständen aus Sicherheitsgründen immer wieder erneuern.



Abb.: 13

Diese Darstellung einer typischen Hängebrücke in Peru zeigt auf der Brücke eine indigene Frau mit Kleinkind im Tragetuch. Die Hängebrücke besteht aus zwei parallel geführten Tauen und den Schnüren zwischen ihnen. Die Person links vorne stellt einen Brückenaufseher dar.

Grafik: Felipe Huamán Poma de Ayala, Peru, ca. 1565

Sehr wahrscheinlich dürften bereits bald nach den Ein-Seil-Konstruktionen auch erste Hängebrücken über die vielen Schluchten im gebirgigen Asien vor allem im Himalaya-Gebirge und seinem Umraum angesichts der vielen topographischen Barrieren gespannt worden sein. Konstruktiv sehr ähnliche Hängebrücken, wie die in der Graphik dargestellte, gab es im alten Amerika wie auch in Asien weit verbreitet bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts vereinzelt auch im Himalaya Gebirge. In Asien gab es daneben auch weit verbreitet Kettenbrücken für Fußgänger und Reiter. Die Kettenglieder dieser Brücken waren aus Eisen geschmiedet und lassen sich zumindest bis zum Beginn unserer Zeitrechnung nachweisen.

Bei den archaischen Hängebrücken gab es im Gegensatz zu modernen heutigen Hängebrücken noch keine Trennung zwischen Tragseilen und Lauffläche. Die traditionellen asiatischen Hängebrücken aus pflanzlichen Tauen ähnelten in ihrer Konstruktionsweise den Brücken in der Neuen Welt weitgehend. Die Ähnlichkeit betrifft die Art der Herstellung der Stricke, aus denen dicke Kordeln gedreht wurden. Aus mehreren dieser Kordeln stellte man im nächsten Arbeitsgang starke Tawe her. Auch in der Art der Verankerungen der Tawe an den beiden Brückenenden ähnelten die traditionellen Hängebrücken einander bis ans Ende des 20. Jh. sehr. Angesichts der großen Ähnlichkeiten ist ein Ideen- und Techniktransfer zwischen der Alten Welt und der Neuen Welt in schon sehr früher Zeit sehr wahrscheinlich. Dabei wird die Erfindung weitgehend sicher in der Alten Welt gemacht worden sein und wurde von einigen frühen Einwanderern in die Neue Welt als konstruktives Wissen mitgenommen.

Da die Hängebrücken aus vergänglichen Materialien periodisch ausgewechselt werden müssen und mussten, gibt es keine Belege für die Existenz solcher Brücken schon vor Jahrtausenden. Es gibt nur Indizien. Zu den Indizien gehört die Hängebrücke von Kintany in China aus dem Jahr 67 n.Chr., bei der geschmiedete Ketten verwendet wurden. Eine solche Brücke braucht konstruktive Vorgängerbrücken, die gewöhnlich aus einem einfacheren direkt aus der Natur zu entnehmenden Baustoff bestehen. Die Ketten waren nur ein langlebigeres Material, damit die Brücken dieser Konstruktionsart langlebiger werden. Man darf daher davon ausgehen, dass es bereits in einer Zeit lange vor Beginn unserer

Zeitrechnung in Asien Hängebrücken aus vergänglichem Material, aus denen dann die beständigeren Kettenbrücken entwickelt wurden, gegeben hat.

Als Beispiel für die Herstellung eines wichtigen technischen Architekturelementes, das zunächst aus Holz hergestellt und erst später aus Metall nachgebaut wurde, mögen die hölzernen Verschlusselemente an Türen in der Antike dienen. Die aus Holz hergestellten Fallenschlösser wurden offenbar am nördlichen Rande des nördlichen Wüstengürtels in ganz Nordafrika, in Arabien und im Raum entlang des Roten Meeres bis nach Äthiopien schon vor Beginn unserer Zeitrechnung verwendet und überlebten in manchen entlegenen Gebieten bis ans Ende des 20. Jh.

Um den Beginn unserer Zeitrechnung wurden sie parallel dazu von den Römern übernommen und in Metall nachgebaut, als die Bürger des Imperium Romanum immer mehr wertvolle Dinge sicher zu verwahren hatten. Natürlich wurden die Schlösser durch den Wechsel des Materials stabiler und auch kleiner, als die hölzernen, bruchanfälligen Fallenschlösser bei den Berbern oder Arabern (Hohmann 2019:93-101). Römische Häuser wurden seitdem oft mit Fallenschlössern aus Metall sicher verschlossen. Sie waren aber keine römische Erfindung und gingen auf die hölzernen Fallenschlösser zurück, die es schon vorher gab.

In den Randzonen des Imperium Romanum in Gebieten, in denen man sich die Schlösser aus Metall nicht leisten konnte, wurden auch weiterhin die Schlösser aus Holz verwendet. Sie überlebten auch das römische Reich, das Mittelalter und die Neuzeit. In entlegenen Gebieten Nordafrikas und auch im Jemen, im Oman und auf mehreren Mittelmeerinseln wurden solche Schlösser bis zum Beginn des 21. Jh. verwendet. Heute werden sie wohl nicht mehr nachgebaut und die letzten alten Holzschlösser zerfallen. Aus den römischen Metallschlössern entwickelten sich hingegen unsere modernen Fallenschlösser.

Die große konstruktive Ähnlichkeit der Hängebrücken in den Hochgebirgszonen Asiens und in Lateinamerika ist auch ein weiteres, sehr starkes Indiz auch dafür, dass die Hängebrücken aus der Alten Welt bereits sehr früh in die Neue Welt als Idee mitgenommen wurden. Spätestens vor 8.000 v.Chr. schmolz das Eis der letzten

Eiszeit und damit die Eisbrücke über die Beringstraße. Die Erfindung und Entwicklung von Hängebrücken dürfte daher vor 8000 v.Chr. in Asien gemacht worden sein. Natürlich hätten auch spätere Einwanderer die Idee per Boot nach Amerika bringen können. Die großen Einwanderungswellen fanden aber wohl vor dieser Zeit einer direkten Verbindung statt.

Auf Grund der konstruktiven Ähnlichkeit der Hängebrücken in Asien und in ganz Amerika dürfte die Erfindung dieses Brückentyps noch weiter zurück liegen. Auf Grund der Notwendigkeit von Brücken gerade im Himalaya und den angrenzenden Gebieten über die oft tief eingeschnittenen Schluchten darf man aber vermuten, dass solche Hängebrücken noch viel früher entwickelt wurden.

### **Brücken als Bestandteile vorkolumbischer Straßennetze in Amerika**

In Nordamerika gab es spätestens Anfang des 2.Jt. v. Chr. zumindest im Süden der Vereinigten Staaten von Amerika eine archäologische Zone mit der heutigen Bezeichnung Poverty Point am Bayou Macon Fluss im Nordosten Louisiana, die planmäßig mit konzentrischen und radialen Erschließungswegen und mit einer effektiven Wehranlage ausgestattet war. Im Umraum fand man geradlinig angelegte Dammstraßen, die zu weiteren Siedlungen dieser Zeit führten.

In Mesoamerika wurden bei den Maya im Peten in Guatemala an der Grenze zu Mexiko geradlinige Straßen in und um El Mirador aus der Zeit des gesamten 1. Jt. v. Chr. gefunden. Auch in und um die archäologische Zone von Aguada Fénix im mexikanischen Bundesstaat Tabasco fand man 2017 ein riesiges von Straßen durchzogenes Zentrum. Auf diesen Ort führten offenbar damals bereits geradlinig angelegte Straßen zu. Der Anfang des Zentrums konnte mit etwa 1500 v. Chr. ins 2. Jt. v.Chr. datiert werden.

Zur Zeit der Maya-Klassik im 1. Jt. n. Chr. gab es dann bei den Maya ein sehr dichtes Straßennetz, bei dem die sogenannten Sacbeob, meist geradlinig angelegte Straßen auf Dämmen, geführt wurden, die oft mit einer Rollierung als Unterbau und einem harten Stuckmaterial an der Oberfläche solide konstruiert waren.

In Südamerika gab es ebenfalls schon sehr früh zahlreiche Straßen. Schon die Chavin-Kultur hatte in Vorchristlicher Zeit ein großes Verbreitungsgebiet. Die Moche und die Nasca hatten ausgedehnte Städte, die durch Straßen zusammengeschlossen waren. Am Ende bauten die Inka dieses Straßennetz noch weiter aus, schlossen die Netzwerke besser zusammen und perfektionierten das Kommunikationsnetz. Viele dieser Straßen waren Dammstraßen – vor allem dann, wenn sie durch von Überflutungen bedrohte Zonen angelegt wurden. Wo es möglich war, wurden die Straßen mit Steinplatten befestigt. In den Sandwüsten wurden sie gegen Sandverwehungen mit zum Teil hohen flankierenden Mauern ausgestattet.

Im Inka Reich wurde das weit gespannte Netz der Dammstraßen "Qhapaq Ñan" genannt. Hier konnten Stafetten-Läufer mit dem Hilfsmittel der Quipus auch komplexe Informationen sehr schnell transportieren. Da die Straßen auf Befahrbarkeit keine Rücksicht zu nehmen hatten, konnten in diese auch steile Treppenabschnitte, schmale Tunnels und auch enge schwankende Hängebrücken eingebaut werden. Niemand kennt alle Inka-zeitlichen Straßen und daher ist es auch kaum möglich, die Länge des gesamten Straßennetzes der Inka zu beziffern.

Es werden daher auch immer wieder neue Angaben hierzu gemacht. Zur Zeit werden 30.000 bis 40.000 km kolportiert. Mitunter führt auch heute noch die Verfolgung neu entdeckter, wo möglich geradliniger, überwachsener Inkastraßen zu noch nicht bekannten archäologischen Orten, die auf diese Weise entdeckt werden. Jedenfalls handelt es sich um ein sehr ausgedehntes Verkehrsnetz von vielen Zehntausenden von Kilometern Länge, über das Truppenbewegungen erfolgen, Nahrungsmittel und andere Handelsgüter sowie Tributzahlungen in Naturalien transportiert und Informationen sehr schnell und effektiv verbreitet werden konnten.

Die präkolumbischen "Straßen" unterscheiden sich grundlegend von Straßen in der Alten Welt. Das liegt daran, dass es in der Neuen Welt keine Fahrzeuge gab und dies wieder lag offenbar daran, dass es keine Zugtiere gab. Im Gegensatz zu vielen Falschmeldungen war das Prinzip des Rades und auch die Funktionsweise eines Fahrzeuges bekannt. Archäologen fanden



**Abb.: 14**  
**Im mexikanischen Tabasco in Villahermosa im Museo Carlos Pellicer steht diese Tierdarstellung auf Rädern aus Keramik aus der Zeit der Maya-Spätklassik um ca. 800 n. Chr. Es ist nur ein Beispiel für zahlreiche kleine Fahrzeuge auf Rädern aus vorkolumbischer Zeit. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1985**

alleine in Mesoamerika in mehreren Kulturen Räder und ganze Fahrzeuge, die zweifelsfrei aus vorkolumbischer Zeit stammen. Alleine in Mesoamerika konnten an mehr als hundert Fundplätzen Fahrzeuge im Spielzeugformat aus unterschiedlichen Kulturen aus vorkolumbischer Zeit dokumentiert werden (Boggs 2012; Bibliothèque Nationale 1976:105, No. 145). Bei diesen Fahrzeugen gibt es unterschiedliche Versionen. Die meisten hatten zwei durchgehende Achsen mit jeweils zwei Führungen für jeweils zwei Räder.

Ohne Zugtiere hätten die vorspanischen Bewohner ihre Fahrzeuge selber schieben müsse. Daher wurden Fahrzeuge in der Neuen Welt kein Erfolgsmodell

und alle präkolumbischen Kulturen fanden Alternativen für den Transport von Gütern und Personen. Aber sie nutzten auch die andersartigen Möglichkeiten für eine völlig andersartige "Straßen"-Gestaltung. Außerdem bemühte man sich angesichts des sehr hohen Transportwiderstandes, durch entsprechend angelegte Siedlungsräume und Landwirtschaftsformen stärker als in den Kulturen der Alten Welt nach Möglichkeit um die Vermeidung von schweren Transporten.

Die neuweltlichen Straßen kennen kaum ein Limit für eine maximale Steigung. Bei Bedarf bauten sie extrem steile Abschnitte mit anspruchsvollen Stufen, um nahezu geradlinig über die Gebirgsketten zu gelangen. Die trainierten Stafettenläufer konnten angeblich bis zu 270 km pro Tag auch in den Anden zurücklegen. Ihre Botschaften gingen per Quipu zu ihren Zielorten. Quipus, auch Kipus, Khipus oder "Qvivos" (Bockh 1722:178 und folgende) genannt, sind die bekannten komplexen Schnur-systeme bestehend aus unterschiedlichsten Schnüren mit verschiedenartigen Knoten in unterschiedlichen Farben und Knüpftchniken, mit denen weit über 1000 unterschiedliche Zeichen produziert werden konnten. Quipu

bedeutet auf Quechua "Knoten". Es handelte sich offenbar um ein sehr viel komplexeres Informationssystem, als vielfach kolportiert wird. Mit den Quipus konnten wohl sehr viel differenziertere Inhalte weitergeleitet werden (Bockh 1722:178). Es soll bereits seit etwa 5000 Jahren Quipus in Peru geben. So fand beispielweise Ruth Shady in Caral einen Quipu aus vorkeramischer Zeit.

Das in der Alten Welt zumindest seit der Mitte des 3. Jt. v. Chr. bekannte Rad (Treue 1965:27) war also auch in der Neuen Welt spätestens seit dem 4. Jh. n.Chr. bekannt (Boggs 1973:12). Es wurde dort aber nur dann technisch genutzt, wenn es um die Überwindung der Gleitreibung beim Transport von megalithischen Steinformaten mit Hilfe von untergeschoben liegenden Zylindern ging.

**Folgende Seiten:**

**Abb.: 15**

**Die Hängebrücke bei Penipe überspannt den Río Chambo, der über den Río Pastaza in den Amazonas entwässert.**

**Darstellung: Alexander von Humboldt, 1802**





## Brücke bei Penipe in Ecuador

Als Alexander von Humboldt auf seiner Reise durch Südamerika in Ecuador 1802 den Chimborazo zu besteigen versuchte, der damals noch trotz seiner nur 6263 m Höhe als der höchste Berg der Erde galt, dokumentierte er unter anderem auch im rund 40 km östlich gelegenen Penipe eine Hängebrücke über den Río Chambo (Humboldt 2004:282, Tafel XXXIII). Penipe wird auch als Peripe (Humboldt 1943:368B) angegeben, was offenbar auf einen Setzfehler zurückgeht. Der Río Chamba ist ein Nebenfluss des Río Pastaza, der selbst einer der Hauptnebenflüsse des Amazonas ist.

Die Hängebrücke wurde laut Beschreibung aus Seilen und Holzstämmen zusammengebunden. Die Seile erzeugte man "aus dem faserigen Teil der Agavenwurzeln", vielleicht auch aus den harten Fasern der Agavenblätter, deren Fasern bis hinunter in die Wurzeln reichen. Sie hatten nach Humboldts Angaben 7,5 – 10 cm Stärke und wurden Pita-Seile genannt. Die graphische Darstellung zeigt geflochtene dicke Tawe und Stricke unter der Brücke, die wie eine Hängematte über dem Fluss durchhängend über jeweils zwei kräftige Baumgabeln an den zwei Ufern gespannt wurden und auf beiden Seiten relativ steil zu den Ankerpunkten abgespannt waren. Solche Hängebrücken wurden in der Quechuasprache, die zur Inka-Zeit auch in Ecuador gesprochen wurde, "cimpachaca" genannt (Humboldt 2004:281).

In die Brücke sind quer zur Laufrichtung und auf beiden Seiten auch in die Abspannungen seitlich gleichmäßig vortretende Bambusstäbe integriert, welche die Oberfläche der Brücke bildeten und bei den steilen Abspannungen auch eine Art Treppe formten. Alle Bambusstäbe waren mit den Laufflächentauen sorgfältig verbunden. Rechts und links stehen die Stäbe seitlich gleichmäßig über. Hier verlaufen auch entlang der gesamten Brücke niedrige, sich selbst tragende Handlauftawe zur seitlichen Sicherung der Brücke. Unter den Aufgängen und der Hängebrücke finden sich vier die Lauffläche tragende Laufflächentawe.

Die Länge der Brücke wird mit 36,58 m, ihre Breite mit 2,44 m angegeben (Humboldt 1943:368b). Ob Humboldt mit der Länge die Gesamtlänge inklusive Aufstiege oder nur die freie Spannweite gemeint hat, ist

nicht sicher. Vermutlich meinte er nur die freie Spannweite, die gewöhnlich angegeben wird.



Abb.: 16

Man erkennt gut die oberen und die unteren Tawe der Hängebrücke über den Río Pachachaca in der Provinz Apurimac in Peru. Deutlich erkennt man auch die insgesamt vier Türme an den zwei Enden der Brücke, die paarweise zu Portalen geformt waren, über die man die zwei "Handlauftawe" gespannt hatte (Wiener 1880:599). Offensichtlich wurden bei dieser Brücke bereits die "Handlauftawe" nicht mehr parallel zu den "Laufflächentauen" geführt. Sie können hier bereits einen Teil der Lauffläche über seitliche Abspannungen mitgetragen haben. Bei dieser Brücke sollten daher die Handlauftawe tragfähiger ausgebildet worden sein als die "Laufflächentawe".  
Stich: D. Lancelot 1880

### Brücke über den Río Pachachaca in Peru

Charles Wiener dokumentierte vor 1880 eine Hängebrücke über eine Schlucht des Río Pachachaca in der peruanischen Provinz Abancay (Wiener 1880: 599-600). Der Río Pachachaca ist einer der Hauptnebenflüsse des Río Apurimac.

Die Tragetaue der Hängebrücke bestanden laut Wieners Beschreibung aus den harten Fasern der Maguey-Pflanze, einer Agavenart. Die Länge der Brücke gab Wiener mit 42 m an. Der Tiefpunkt der Brücke lag seinen Angaben zufolge 49 m über dem Wasser des Flusses. Auf beiden Seiten der Brücke stand jeweils rechts und links des Brückenantrittes ein nach unten gestuft stärker werdender gemauerter Turm mit vielleicht 3 m Höhe, wenn man davon ausgeht, dass die zwei in

dem Stich dargestellten Personen links der Brücke Indijenas sind, die meist eine Körpergröße von nur etwa 1,5 m haben. Die vier Türme waren auf beiden Seiten des Flusses paarweise jeweils mit einem aufliegenden Holzbalken zu einem Portal zusammengebunden. Über diese Portale waren die zwei "Handlauftaue" rechts und links gespannt. Diese wieder waren über vertikale Seile mit der Lauffläche verbunden.

An dieser Brücke ist interessant, dass die begehbare Fläche der Brücke nicht parallel zu den "Handlauftauen" verläuft, sondern bei den Ankerstellen der Brücke über etwa 3 m hohe Portale gespannt wurden und nur über eine kurze Strecke nahe der Brückenmitte etwa Handlaufhöhe erreichten. Es handelt sich bei dieser Brücke also um eine Übergangsform zu den Hängebrücken moderner Bauart. Durch das stärkere Durchhängen kann durch die "Handlauftaue" auch mehr Last aufgenommen werden, als wenn sie flacher geführt wären. Hier übernahmen die "Handlauftaue" offenbar einen Teil der Tragfunktion der Laufflächentau. Die Verbindungsseile zwischen den jeweiligen oberen und unteren Seilen sind hier nicht mehr allein eine seitliche Absturzsicherung.

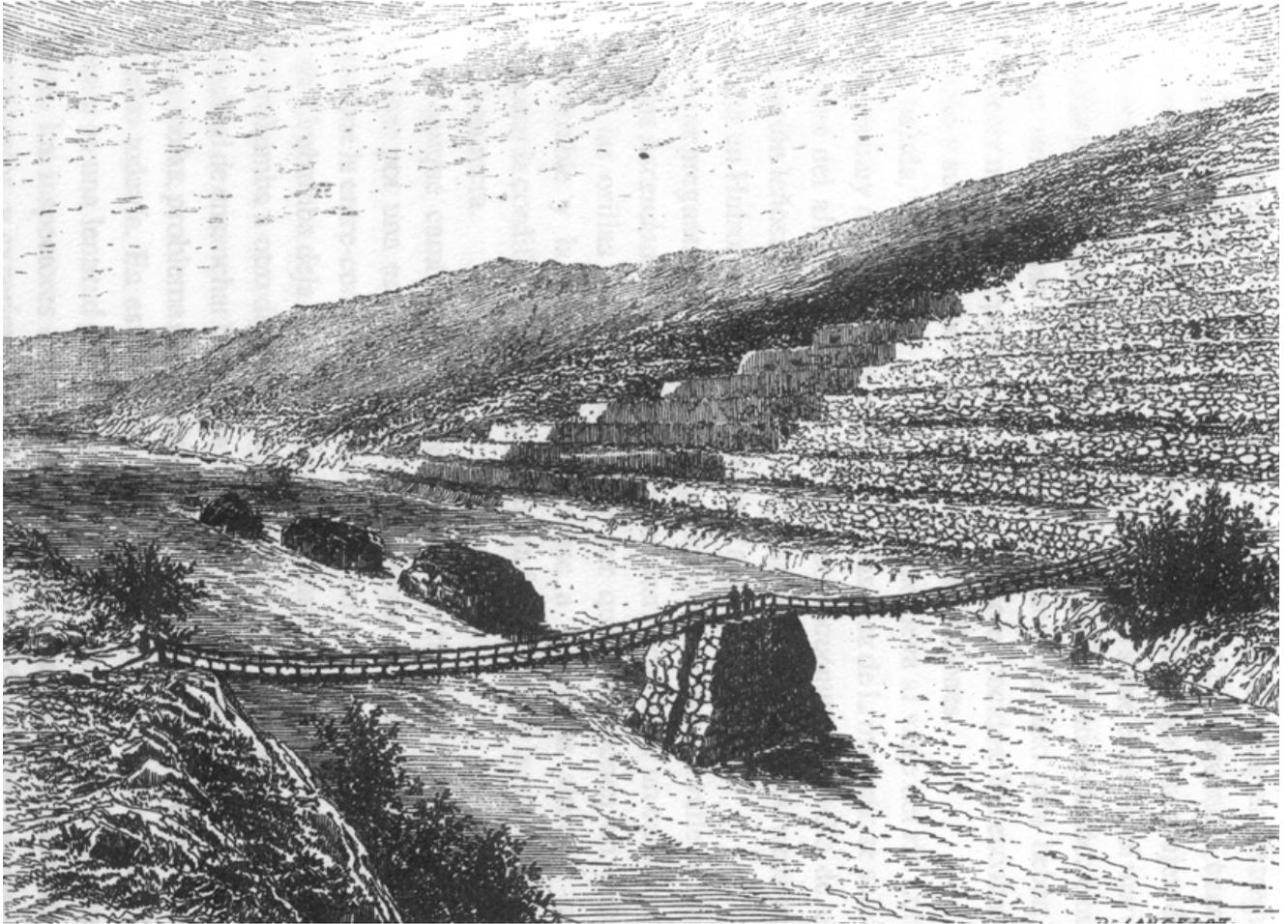
Seit wann an dieser Stelle derartige Brücken errichtet und immer wieder erneuert wurden, ist nicht bekannt. Aber auch bei Agavenfasertauen wird man die Brücken nicht allzu viele Jahre haben benützen können, ohne sie zu erneuern. Natürlich gab es zu dieser Zeit auch in Europa schon frühe Hängebrücken mit "Tragseilen" aus geschmiedeten Eisendrähten ("Große Brücke" in Freiburg in der Schweiz) oder mit Eisenketten (siehe Kettenbrücke in Budapest). Diese Brücken und ihre Konstruktionsweise könnten einen Einfluss auf die Form und die Trennung von Handlauf- und Laufflächentauen in Peru in Nachkolumbischer Zeit gehabt haben. Das ist aber in einem so entlegenen Tal in Peru eher unwahrscheinlich.

## Brücke über den Río Urubamba in Peru

Bei Ollataytambo in Peru, einer der befestigten Inkazeitlichen Städte im Urubambatal, gab es eine Brückenanlage über den Río Urubamba, die aus zwei Hängebrücken traditioneller Bauart hintereinander bestand. Charles Wiener berichtete über diese Brücke detailliert (Wiener 1880:599) und veröffentlichte auch einen Stich (Wiener 1880:363). Die Gesamtbreite des Flusses wird hier von Wiener mit 104 m angegeben. Aus der Erinnerung kam dem Autor diese Angabe der Flussbreite zu hoch vor. Eine Messung im Google-Earth ergab eine Gesamtdistanz für beide Brücken zusammen von ca. 51 m. Es gibt auch heute an dieser Stelle eine inzwischen moderne zweigeteilte Hängebrücke, die ebenfalls den Sockel im Fluss nutzt. Die nordwestliche der zwei Brücken misst etwa 30 m, die südöstliche Brücke hat nur eine Länge von ca. 17 m. Die Frage, wie es zu den unterschiedlichen Abmessungen gekommen ist, kann heute wohl kaum noch beantwortet werden. Der im Flussbett stehende, etwas außermittig liegende gewaltige Brückenpfeiler misst ca. 15 m Länge, 12 m Breite und 9 m Höhe. Er diente allen Hängebrücken als Überleitungszone für die Brückentau.

Auf dem Pfeiler im Fluss mussten nur Auflager in den zwei Höhen der Tauen für das Überleiten der Zugkräfte von der einen zur zweiten Hängebrücke errichtet werden. An den zwei Enden der Gesamtbrückenanlage wurden die Seile jeweils über zwei Pfosten geleitet und weiter außerhalb im Boden festgemacht.

Der Mittelpfeiler ist bis weit hinauf aus unglaublich mächtigen Natursteinblöcken relativ roh zusammengesetzt, bei denen ohne genaue Untersuchung nur schwer zu beurteilen ist, ob sie zufällig im Fluss stehenblieben oder von Menschen künstlich zusammengefügt wurden und dann erodiert sind. Nur in der obersten Zone erkennt man ein etwas zurückweichendes Mauerwerk aus vergleichsweise kleinen Natursteinen, das den Höhenunterschied zu den Brückenenden am Ufer ausgleicht. Angesichts der asymmetrischen Lage werden jedenfalls einige der großen Blöcke schon im Fluss gelegen haben, die man zu einem Zwischenpfeiler umfunktionierte. Man ging wohl davon aus, dass oben die Kraft des Flusses auch bei Hochwasser so gering ist, dass das kleinteilige Mauerwerk oben einem Hochwasserdruck widersteht. Die heutige moderne



Stahlseil-Hängebrücke ist weder gut gestaltet noch von der Konstruktion irgendwie interessant.

**Abb.: 17**  
Der Stich gibt die zwei traditionellen Hängebrücken über den Río Uribamba südöstlich des Städtchens Ollantaytambo in der Zeit vor 1880 wieder. Hier verlaufen die Handlauf- und die Laufflächentaue parallel zueinander und folgen so der klassischen Hängebrückentradition im präkolumbischen Amerika (Wiener 1880:363).  
Stich: D. Lancelot vor 1880

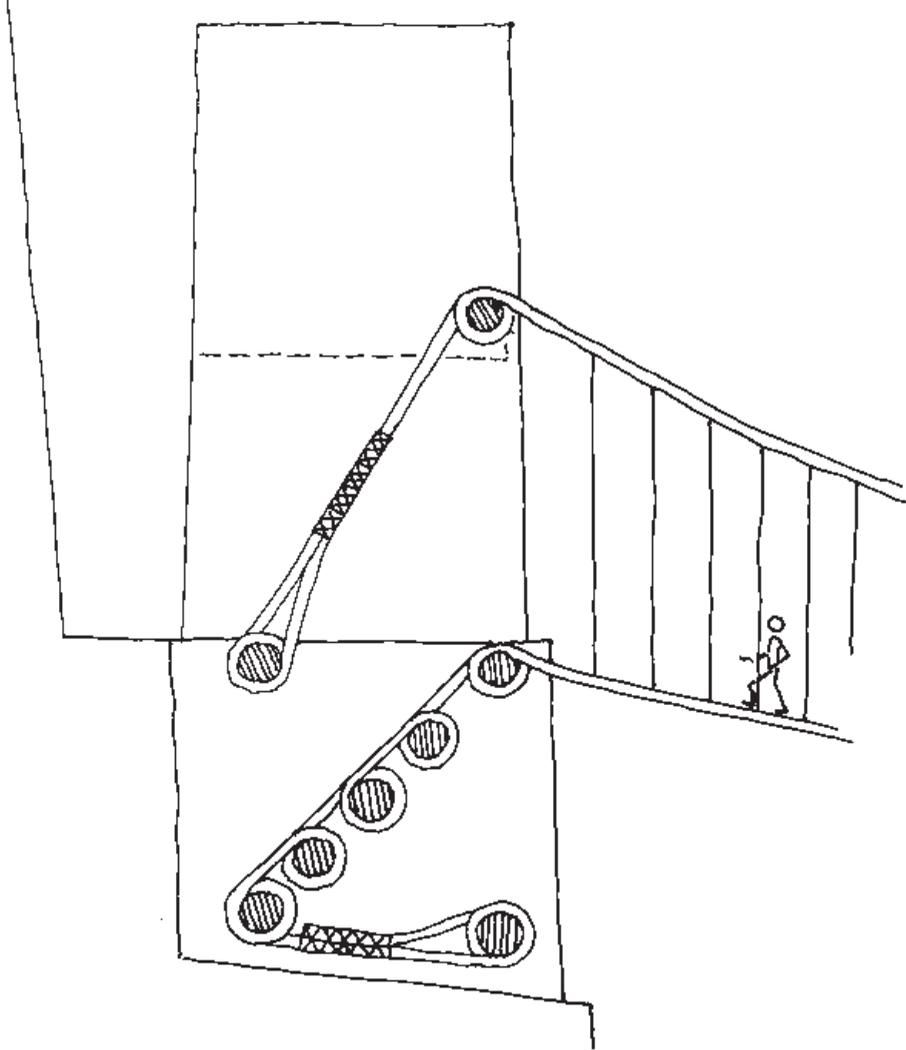


Abb.: 18

Seitenansicht der hypothetischen Rekonstruktion des südlichen Ankers der Brücke von San Luis Rey. So könnte der gemauerte Portalturm und seine ebenfalls gemauerte Plattform ausgesehen haben. Alle Querbalken, die im Turm und die in der Plattform, standen rechts und links über. Der Querbalken zum Überspannen mit den zwei "Handlauftauen" ist über dem Durchgang vorne eingemauert und der Querbalken zum Verankern dieser zwei Tawe liegt gut beschwert knapp unter der Plattform hinten.

Die aus der ebenfalls gemauerten Plattform unterhalb beidseitig vorstehenden, mächtigen, getrepp angeordneten liegenden Querbalken hatten die Laufflächentawe zu tragen. Sie müssen weiter vorgestanden haben, damit gleich zwei oder drei Tawe um sie jeweils geschlungen werden konnten,

bevor sie unten verankert wurden. Der Autor geht von jeweils zwei oder drei Tauen pro Seite für die Lauffläche aus. Im Bericht wird von zwei oberen und nur drei unteren Tauen gesprochen. Entweder meinte der Chronist drei pro Seite oder er vergaß ein Tau, da es sich jedenfalls um eine gradzahlige Anzahl von Tauen auch unten handeln muss, damit die Belastung nicht asymmetrisch wird.

Auf die dargestellte Weise würden die Tragseile um jeden der Querbalken einmal gewunden sein, wie im Originaltext beschrieben, und erst ganz unten ihren Anker finden. Die Tawe müssen dafür vor dem mittig stehenden Portalturm unter der Lauffläche geteilt worden sein. Der Portalturm selbst hatte offenbar den Zweck, auf die quer liegenden Balken unterhalb ausreichend Druck auszuüben, damit diese in ihrer Lage gut fixiert waren.

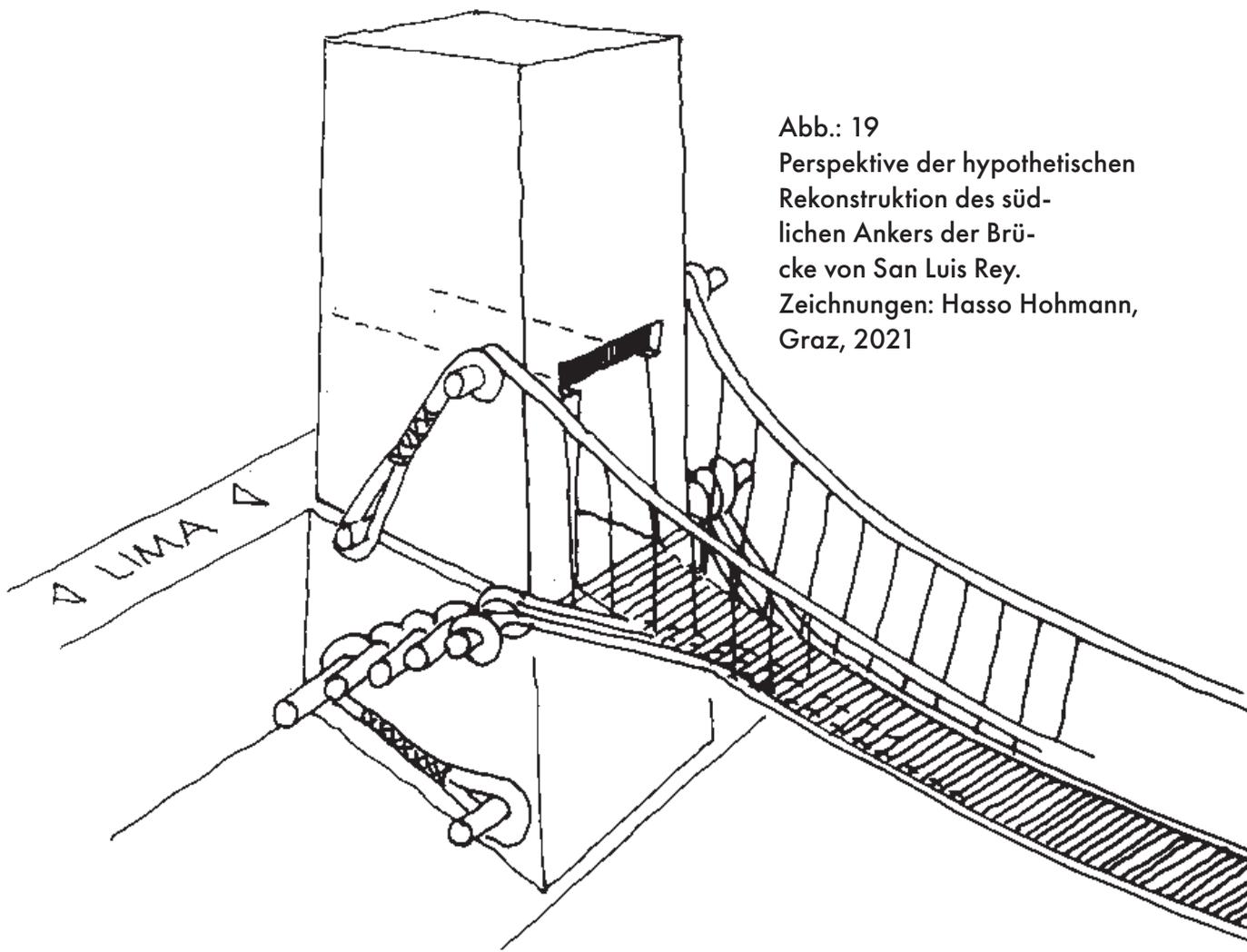


Abb.: 19  
 Perspektive der hypothetischen  
 Rekonstruktion des süd-  
 lichen Ankers der Brücke  
 von San Luis Rey.  
 Zeichnungen: Hasso Hohmann,  
 Graz, 2021

## Brücke von San Luis Rey über den Río Apurimac in Peru

Zwischen Cusco, der Hauptstadt des Inka-Reiches hoch in den Anden, und Lima unten nahe der Pazifik-Küste gab es spätestens seit etwa 1350 n. Chr. eine der inkazeitlichen "Straßen", die auch in nachkolumbischer Zeit noch als Pilgerstrecke genutzt wurde. Sie führte über mehrere hohe Gebirgspässe und dazwischen durch tiefe Täler und über dort verlaufende Flüsse. So musste auf dieser Strecke auch der längste der Quellflüsse des Amazonas, der Río Apurimac überbrückt werden.

Diese Inka-Straße war zum Teil sehr aufwendig gebaut und verfügte nahe dieser Apurimac-Brücke parallel zum Fluss und zur fast senkrecht abfallenden Felswand auch über einen Tunnel von 229m Länge, der von der Seite durch mehrere Öffnungen mit Licht und Luft versorgt wurde. Danach ging es nach einer

Richtungsänderung und Überwindung einer Treppenanlage auf die Hängebrücke mit einer Länge von 61 m Spannweite.

Die Brücke wurde auch "Apurimac chaca" oder auch "Huaca chaca", was "Heilige Brücke" bedeutet (Jurecka 1979:22), genannt. Chroniken berichten, dass die Brücke vom Inka Roca, einem der Fürsten des damaligen Inkareiches, der für die Region nordöstlich des Río Apurimac zuständig war, erbaut worden sei. Die Seile der Brücke sollen unglaublich dick und schwer gewesen sein und wurden selbst von den Spaniern als bemerkenswerte Leistung der Inka-Techniker bestaunt. Der Historiker Garcilaso de la Vega mit dem Beinamen der "Inka" beschrieb die Brücke wie folgt:

"Die Apurimac-Brücke, die auf der Königsstraße von Cusco nach Lima liegt, hat ihren 'Steigbügel' auf der Seite von Cusco". Hierzu merkt der Autor an, dass

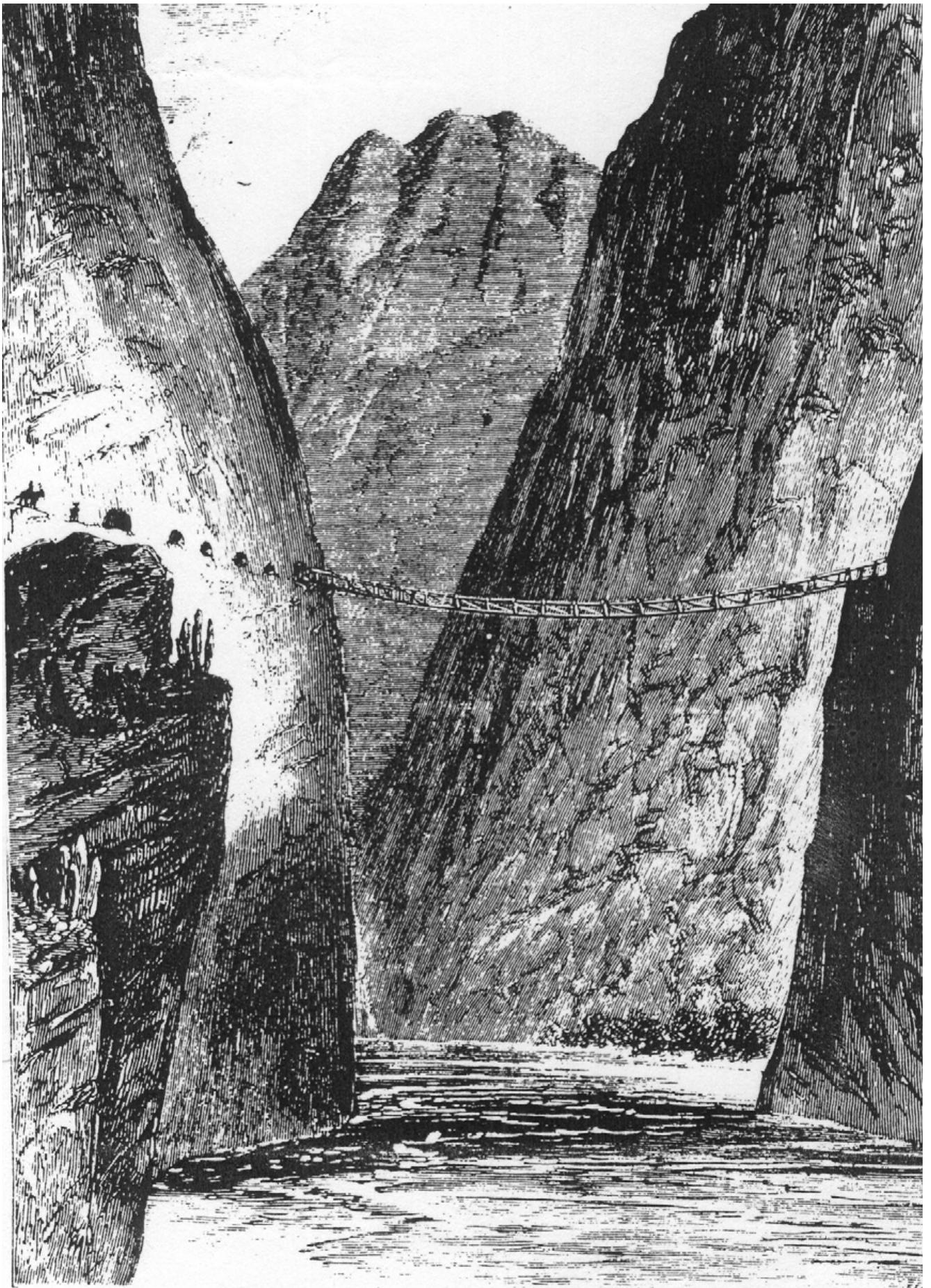


Abb.: 20

Die hier in einer Grafik dargestellte Brücke dürfte die oben besprochene Brücke von San Luis Rey zeigen. Sie soll um 1350 errichtet worden sein. Man sieht den Tunnelleingang links mit einem Reiter und die seitlichen Licht- und Luftöffnungen, die Hängebrücke und die Schlucht mit dem Río Apurimac. Allerdings ist in dieser Darstellung der Tunnel gleich hoch wie der Brückenantritt angeordnet. Das widerspricht der Beschreibung von einem sehr großen Höhenunterschied zwischen Tunnel und Brückenantritt in der Beschreibung von Pedro de Cieza de Leon und anderen. Möglicherweise war der Darsteller nie vor Ort und die Beschreibung, nach der er den Stich anfertigte, unvollständig. Es ist höchst unwahrscheinlich, dass es in der Nähe des Nevado Marcani eine zweite derart riesige Hängebrücke über den Apurimac damals gegeben hat. Stich: Anonymus, Botschaft Peru (auch Jurecka 1979/23, Fig. 3)

Hängebrücken eigentlich keine Auflager haben, wie dies bei Bogen- oder Fachwerk-Brücken der Fall ist, auf denen das Gewicht der Brücke ruhen und wo der horizontale Schub nach außen abgegeben werden kann, sondern eine Art von Ankerstellen auf beiden Seiten, an denen die starken horizontalen Zugkräfte sicher übernommen werden können.

Da die frühen Hängebrücken aus relativ schnell vergänglichem Material bestanden, das vergleichsweise wenig wiegt und gewöhnlich relativ flach gespannt wurde, ist die vertikale Komponente des Zuges auf die Anker und des Drucks auf die Portale oder Türme am Ende solcher Brücken wesentlich geringer als die horizontale Komponente. Der Autor verwendet auch in der vorliegenden Arbeit bei Hängebrücken statt Auflager daher "Ankerstelle".

Der Historiker Garcilaso de la Vega, auch der Inka genannt, beschreibt den nördlichen Brückenanker folgendermaßen: "Die Apurimac Brücke ... hat ihre Steigbügel auf der Seite von Cusco im gewachsenen Felsen". Mit Steigbügel meint der Historiker offenbar eine Konstruktion, zu der die zwei oberen Tawe der Hängebrücke zunächst aufsteigen, um von dort zu gut fixierten Tauhaltern aus Stein am Boden abgespannt und sicher befestigt zu werden. Der Begriff "Bügel" dürfte sich auf die rechts und links aus dem Fels vortretenden Auflager und einen Holzbalken beziehen, der daraus ein Portal machte, über das die zwei oberen Tawe gezogen werden konnten. Über die Abspannung schreibt Garcilaso de la Vega nichts weiter. Auch über die Befestigung der Laufebenen-Tawe macht er keine Angaben.

Über den Brückenanker auf der Seite nach Lima im Süden schreibt er: "Auf der anderen Seite war der gemauerte Steinturm. Unter der Plattform, die den Turm trug, waren fünf oder sechs große Holzbalken, so dick wie Ochsen, eingezogen, sie reichten von einer Seite bis zur anderen. Sie waren übereinander angebracht wie Stufen. Um jeden dieser Balken ist jeder Hängegurt einmal gewunden, so dass die Brücke straff bleibt und nicht durch ihr Gewicht, das sehr groß ist, durchhängt" (Garcilaso de la Vega – der Inka 1609: Buch 3). Die Dicke der Seile gibt Garcilaso als dicker als den Körper eines Mannes an. Sie sollen aus einer besonders dünnen und zähen Art von Korbweiden geflochten worden sein. Er beschreibt auch, wie das zweite Ende dieser

dennoch extrem schweren Trageile von einer zur anderen Seite des Apurimac mit Hilfe leichterer und dünnerer Hanfseile gespannt wurden (Jurecka 1979: 22)

Die oben erwähnte Plattform hatte wohl das Niveau, auf dem die Lauffläche der Brücke im Süden tangierte. Offenbar war auch die Basis dieser Plattform künstlich aus schweren Steinen aufgemauert, da aus ihr mächtige Baumstämme auf beiden Seite vorstanden, die quer zur Brückenrichtung gestuft im Mauerwerk angeordnet waren. An diesen wurden beidseitig die schweren Laufflächentawe befestigt. Der Turm auf der Plattform hingegen dürfte ein Portalbauwerk gewesen sein, das den südlichen Querbalken getragen hat, über den die zwei oberen Tawe gezogen wurden. Diese mussten auf der Rückseite nach unten verankert werden.

Victor W. von Hagen schreibt, man könne auf der südlichen Seite die schneebedeckten Gipfel des Nevado Marcani durch die seitlichen Öffnungen des Tunnels sehen, der den Zugang zur Brücke ermöglichte. Der Nevado Marcani erhebt sich tatsächlich nicht weit von der einstigen Apurimac Brücke auf der Nordseite unweit der Schlucht.

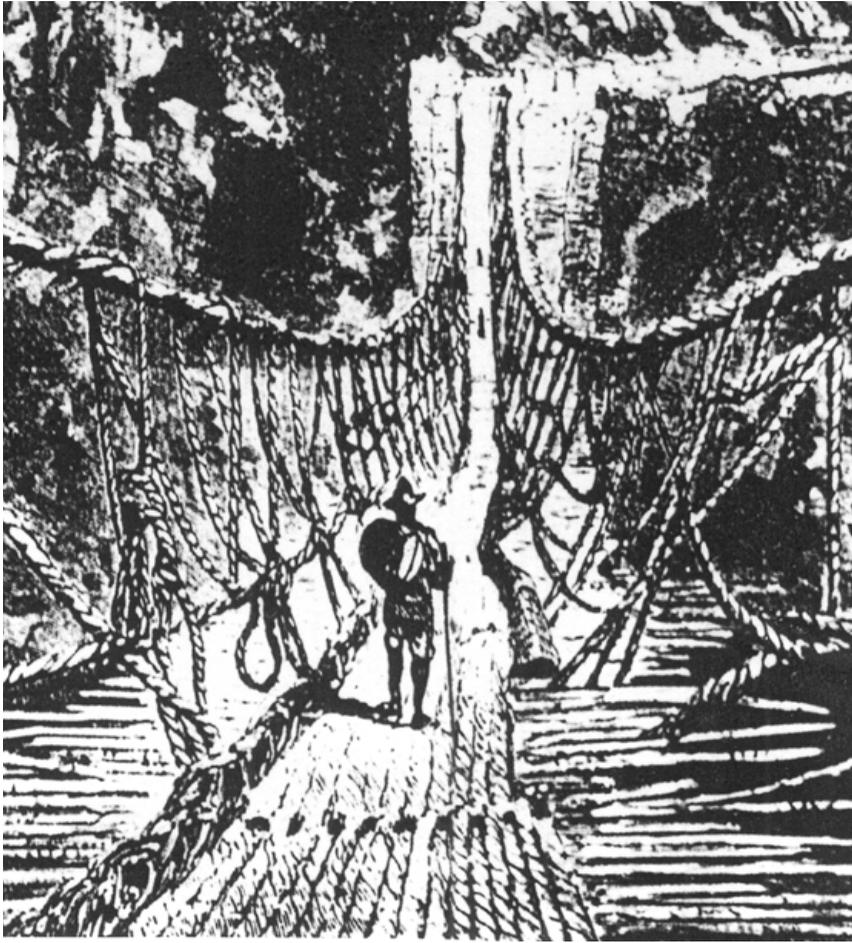


Abb.: 21

Bei dieser Darstellung dürfte es sich möglicherweise ebenfalls um die Brücke von San Luis Rey handeln, wie Victor W. von Hagen vermutet, der als Direktor der Inka-Straßen-Expedition für die Amerikanische Geographische Gesellschaft in Washington mehrere der Inka-Poststraßen vom Beginn bis zum Ende untersuchte. Auch bei dieser gewaltigen Hängebrücke sind die "Handlauftaue" fast doppelt so hoch, wie die auf ihr dargestellte Person groß ist. Sie konnten also kaum als Handläufe dienen. Auch zwei weiter hinten dargestellte Personen sind wesentlich kleiner. Sie muss also überdimensional groß gewesen sein oder übertrieben groß dargestellt worden sein. Zum Zeitpunkt dieser Darstellung war sie offenbar schon in einem sehr desolaten Zustand, wenn die Zeichnung den damaligen Zustand naturalistisch wiedergibt. Interessant ist die dargestellte Konstruktion, die offenbar von der der meisten anderen peruanischen Hängebrücken abweicht. Man sieht die dichte Lage unzähliger Rundhölzer, die seitlich

weit überstehen und nochmals überlagert sind von längs angeordneten, relativ dicht nebeneinander gelegten Seilen, welche die eigentliche Lauffläche bilden; links davon erkennt man ein wirklich dickes Randtau. Mehrere Tauen dürften auch unter der Lage von Rundhölzern der Laufflächen angeordnet und mit den Seilen an der Oberfläche vernäht gewesen sein; laut Beschreibung durch Garcilasco waren es drei. Das rechte dicke Tau endet weiter hinten und scheint nicht mehr zu tragen. Rechts und links gibt es ein grobes unvollständiges Geflecht von Seilen, die wohl als seitliche Absturzsicherung gedacht waren und von den oberen "Handlauftauen" herunter hängen; über dem rechten schadhaften Randtau neben der Lauffläche wölbt sich die seitliche Sicherung steif nach innen. Der dargestellte Zustand der Brücke schaut eher desolat aus. Die Brücke war zum Zeitpunkt ihrer grafischen Aufnahme offensichtlich dringend reparatur- oder erneuerungsbedürftig. Zeichnung: Anonymus, Botschaft Peru (auch Jurecka 1979/18 Abb. 7)

## **Q'eswachaka Brücke über den Apurimac in Peru**

2002 besuchte der Autor die Q'eswachaka Brücke über den Apurimac in Begleitung von Adele Drexler. Die Brücke wurde mit einem in Combapata gemieteten geländegängigen Taxi auf eher schlechten Schotterstraßen erreicht. Zu dieser Zeit war die Brücke noch nicht sehr bekannt. Erst 2009 wurde sie von Peru zum Nationalen Kulturerbe ausgerufen und schon dadurch bekannt. 2013 erhielt die Brücke dann auch den Status eines immateriellen Weltkulturerbes der UNESCO und kam auf die UNESCO-Liste. Das war danach eine Empfehlung an alle internationalen Touristikmanager und so ist die Brücke heute bereits fast jedem Schulkind als etwas Besonderes bekannt und sie dürfte vielleicht inzwischen auch die letzte Brücke aus diesem sehr schnell vergänglichen Ichu-Gras, die noch periodisch erneuert wird, in ganz Peru sein.

Sie wird heute alljährlich vollständig ausgetauscht, weil das Material sehr schnell an Lastaufnahmefähigkeit einbüßt. Die Erneuerung geschieht in einer großen kollektiven Kraftanstrengung und in gemeinschaftlicher Produktion, die am Ende mit einem großen Brückenfest und einer Segnung durch den örtlichen Priester endet. Herstellung und Fest richten die beteiligten fünf Dörfer Ccolana, Chaupibanda, Chocchayhua, Quehue und Huinchiri in der Umgebung aus. Eine zunehmende Zahl an Besuchern auch aus dem Ausland kommt zu diesem jährlichen Brückenbau und Brückenfest. Die Erneuerung der Brücke erfolgt gewöhnlich im Juli. Für die Arbeiten werden ca. 700 Personen aus den fünf Dörfern für etwa eine Woche freigestellt. Untersuchungen der Belastbarkeit der Ichu-Gras-Taue haben ergeben, dass die Brücke neu errichtet bis zu zwei Tonnen Gewicht an Nutzlast tragen kann.

### **Konstruktion der Q'eswachaka Brücke in Peru**

Für den Austausch der Q'eswachaka Brücke müssen unglaubliche Mengen von Ichu-Gras aus dem steppenartigen Altiplano zusammengetragen und verarbeitet werden. Das harte Gras wird zunächst weichgeklopft und dann von Indigenas zu Stricken geflochten. Die Stricke sind etwa 1 cm dick und werden später zum Teil direkt für die seitliche Absturzsicherung der Brücke

verwendet. Die meisten Stricke werden aber in sehr großer Länge hergestellt und in großer Zahl zu jeweils einem sehr festen etwa 4 cm dicken Kabel weiterverarbeitet. Für die zwei Handlauftaue werden danach jeweils zwei dieser Kabel verwendet, die zu einem noch dickeren Tau mit einem Durchmesser von etwa 7 cm miteinander verdreht werden. Für die Laufflächentau werden hingegen drei solche Kabel zu einem noch tragfähigeren Tau mit einem Durchmesser von etwa 9 cm weiterverarbeitet.

Die Brücke hängt auf einer Seehöhe von etwas mehr als 3600 m in der Schlucht des Apurimac. Sie ist in Luftlinie gemessen fast genau 28 m lang. Sie hing in der Mitte nur etwa 3 Meter durch und hatte hier etwa eine Höhe 27 m über dem Río Apurimac. Auf beiden Seiten endet sie über fast senkrecht abfallenden Felswänden über dem Fluss jeweils auf einem gemauerten Podest, das auf dem natürlichen Felsen errichtet und von starken Brüstungsmauern auf drei Seiten eingefasst ist. Die Mauern werden zum Brückenantritt immer höher – nach außen nehmen sie an Höhe deutlich ab.

Beim westlichen Brückenantritt erlaubt eine 80 cm breite und 102 cm hohe Öffnung in der Mauer den Zutritt auf die Hängebrücke. Auf dieser Seite finden sich etwa symmetrisch ausgebildet die westlichen Ankerstellen für die sechs Taue der Brücke. Jeweils drei der Taue sind rechts und drei links des Weges, der mittig über das Podest führt, an mächtigen steinernen Tauhaltern unter dem Wegniveau befestigt. Diese Vertiefungen verfügen auch über je einen Ablauf an der tiefsten Stelle, bei dem Regenwasser gegebenenfalls abfließen kann. Die Laufflächentau verlaufen direkt über den Boden des Podestes bis zu den Tauhaltern, die jeweils aus Steinbalken in einer künstlichen Vertiefung bestehen. Um den ersten Steinbalken sind die Laufflächentau auf jeder Seite einmal geschlungen und weitergezogen zum zweiten Steinbalken. Um diesen ist jedes der Taue dann nochmals geschlungen und der Rücklauf durch Vernähung mit dem hereinkommenden Teil endgültig gesichert. Die über die Brüstung geführten Handlauftaue hingegen sind 4,34 m beziehungsweise 3,60 m frei zu ihren Steinankern im Boden weiter nach außen gespannt. Der nördliche Anker ist ein annähernd rechteckiger, eingespannter Steinbalken mit abgerundeten Ecken, der südliche hingegen scheint aus dem gewachsenen Fels modelliert



worden zu sein; diese Steinbalken übernehmen den Zug der Handlauftaue.

Die Laufflächentäue werden direkt auf dem Boden geführt und werden unmittelbar auf der Ankerplattform aufgefächert und in der Mitte auseinandergespreizt, damit die Benutzer der Brücke sie möglichst nicht durch Betreten abnutzen und dadurch ihre Tragfähigkeit schwächen. Diese sind außerdem stärker als die Handlauftaue mit jeweils drei Kabeln ausgestattet, weil sie die eigentliche Last der Brückenbenutzer tragen müssen. Die Handlauftaue bestehen aus nur zwei Kabeln, weil sie allenfalls über die seitlichen Stricke mit der Lauffläche der Brücke verbunden sind und etwas mittragen, falls einmal die Laufflächentäue überlastet sind.

Beim östlichen Ankerplatz der Brücke steht ein massiver Fels der Konstruktion im Weg. Daher musste hier die für die Westseite beschriebene Konstruktion zur Seite nach Norden hin verzogen werden. Dafür wurden sowohl auf den Mauern für die Handlauftaue wie auch auf dem Boden der Plattform Bodensteine so geformt, dass sie die Richtungsumleitung der Täue etwas gestaffelt in der Höhe ermöglichen. Konstruktiver Unterschied ist, dass die Laufflächentäue und die Handlauftaue an

**Abb.: 22**  
**Die Q'eswachaka Brücke vom Treppenabgang im Südwesten aus gesehen.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2002**

jeder Seite nur an einem gemeinsamen hinteren mächtigen Steinbalken fixiert sind. Hier hängen also an einem Steinbalken jeweils gleich drei Täue.

Die Brücke selbst besteht aus vier Laufflächentäuen, die mit geringem Abstand zueinander nebeneinander unter der eigentlichen Lauffläche angeordnet sind. Unmittelbar darüber folgt dann die Lauffläche, die aus dünnen widerstandsfähigen rötlichbräunlichen, dünnen, elastischen Zweigen besteht, die in mindestens zwei Schichten dicht aneinander gedrängt gut mit den Laufflächentäuen vernäht sind. Die feste begehbare Schicht ist eine druckausgleichende Fläche über den Täuen, auf der nicht nur Menschen, sondern auch Lastenlamas mit ihren verhältnismäßig kleinen Hufen gehen können, ohne durchzubrechen.

Zugleich wird dabei auch darauf geachtet, dass die Laufflächentäue nicht zu dicht nebeneinanderhängen. Die Trocknung nach den zwar sehr seltenen, aber doch

vorkommenden Regen- oder Schneefällen und auch nach Taubildung, besonders in den frühen Morgenstunden über dem Río Apurimac muss möglichst effektiv und schnell vor sich gehen, damit keine Fäulnis im Tau entstehen kann.

Der große Vorteil in einer Höhe von mehr als 3600 m Seehöhe im Apurimac-Tal und einer Umgebung, die nochmals etwa 400m und mehr höher liegt, ist, dass es im Altiplano gewöhnlich in der Nacht bei einer Luftfeuchtigkeit von meist nur 2% extrem kalt wird und leicht einmal  $-20^{\circ}$  oder weniger erreicht werden. Die meiste Zeit im Jahr ist daher Feuchtigkeit kein Problem für die Tawe der Brücke. Aber es kann bei El Niño auch mitunter zu sogar heftigen Regenfällen kommen. Damit mussten und müssen die Brückenbauer rechnen.

**Abb.: 23**  
**Blick längs der Hängebrücke. Am Boden sieht man die dünnen rötlichen, angenähten Äste, die auch das Durchbrechen der Lamahufe verhindern sollen.**  
**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2002**





Abb.: 24  
Detail der Q'eswachaka Brücke von der Seite, das auch die annähernd vertikalen seitlichen Stricke als Absturzsicherung zeigt.



Abb.: 25  
Detail der Q'eswachaka Brücke, das einzelne der rötlichen Zweige außen überstehend zeigt. Der Rest der zum Vernähen verwendeten Ichu-Gras-Stricke hängt frei unter der Brücke herab.

Abb.: 26  
Die Q'eswachaka Brücke von Nordwesten aus gesehen.

Abb.: 27  
Die Q'eswachaka Brücke von Nordosten aus erhöhter Position gesehen.

Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 2002





Abb.: 28  
 Der "Anker" der Q'eswachaka Brücke, an dem die Handlauftaue und auch die Lauffächentaue an mächtigen Steinquerbalken neben dem eigentlichen Durchgang angebunden sind.

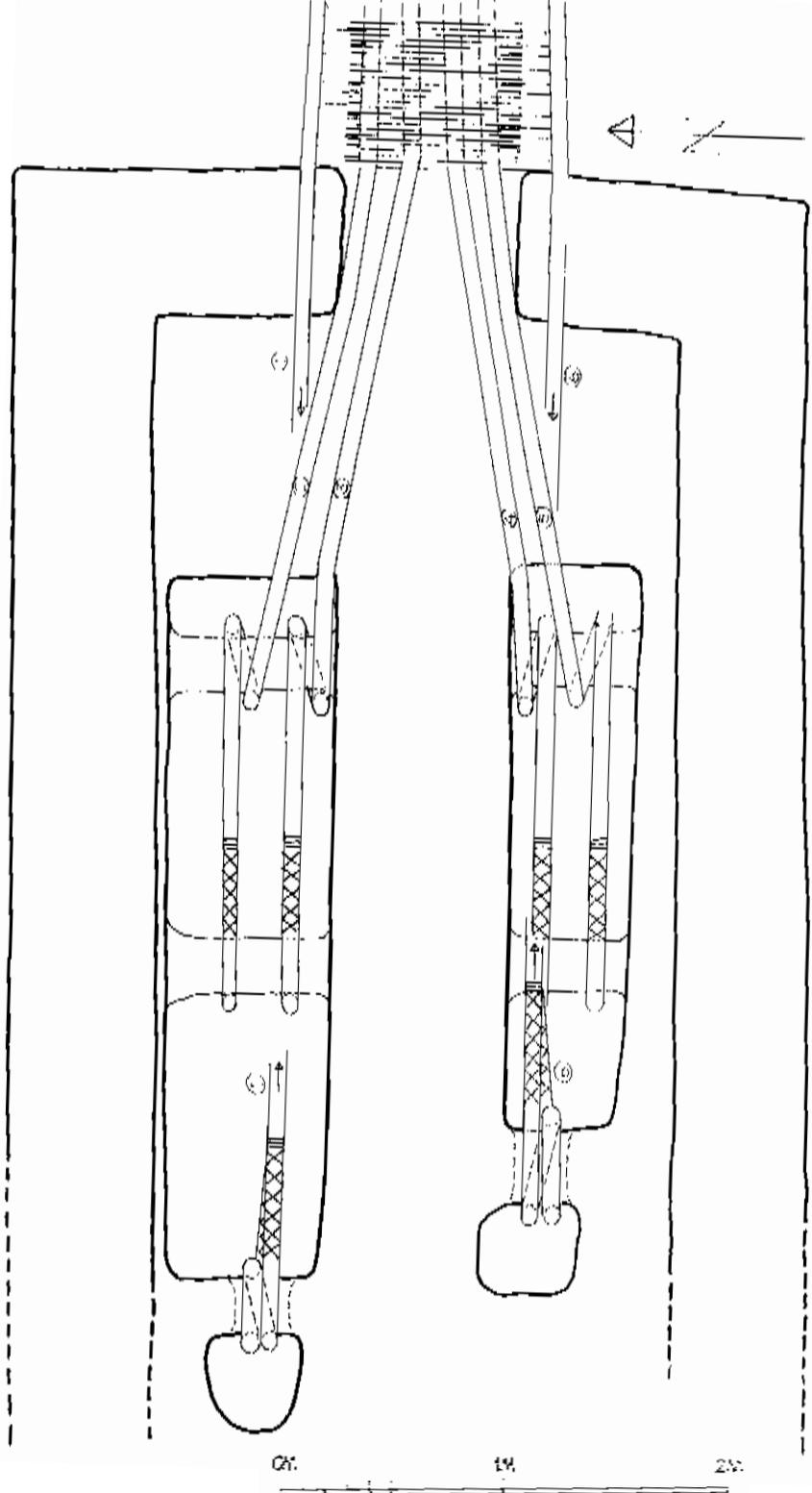


Abb.: 29  
 Grundriss der westlichen Ankerstelle für die Q'eswachaka Brücke über den Apurimac. ① und ⑥ sind die Handlauftaue, die aus jeweils zwei gedrehten Kabeln zu etwa 4,5 cm Durchmesser zu einem Tau von etwa 7 cm Durchmesser nochmals neuerlich verarbeitet werden. ②, ③, ④ und ⑤ sind die Lauffächentaue, die jeweils aus drei gedrehten Kabeln zu etwa 4,5 cm Durchmesser zu einem Tau mit etwa 9 cm Durchmesser weiterverarbeitet werden.

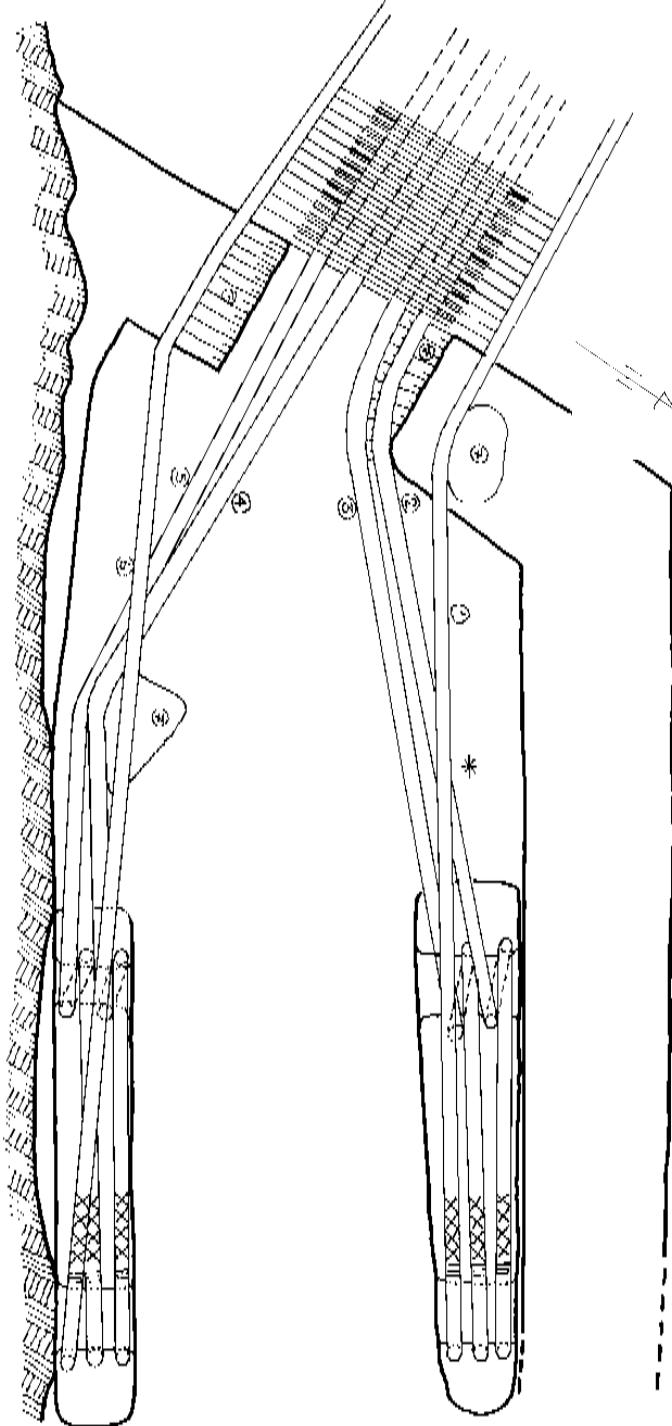


Abb.: 30

Grundriss des östlichen Ankerplatzes für die Q'eswachaka Brücke über den Río Apurímac. Dieser Ankerplatz zeigt die Verziehung der Tawe nach Norden, weil ein massiver Fels mit Überhang hier der Brücke im Wege steht. Dieser Ankerplatz kann leichte Ungenauigkeiten aufweisen, da es hier schwer war, ohne Stereophotogrammetrie ein genaues Aufmaß durchzuführen. Die prinzipielle Anbindung der Brücke entspricht aber jedenfalls auch auf dieser Seite ebenfalls den Gegebenheiten. Die Bezeichnungen der Seile entsprechen jenen der anderen Abbildungen zur Brücke. Die Ziffer 7 findet sich in dieser Zeichnung mehrfach und gibt die Steine an, durch welche die Umleitung der Seile am Boden zum Teil gestuft auch unter dem Felsüberhang und auch oben auf den Brüstungsmauern geführt wird. Zeichnungen: Hasso Hohmann, Graz, 2020



Abb.: 31

Die Brücke von Nordosten gesehen. Hier stand ein mächtiger Felsen im Weg, so dass die Verankerungen der Brücke zur Seite verzogen werden mussten. Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 2002

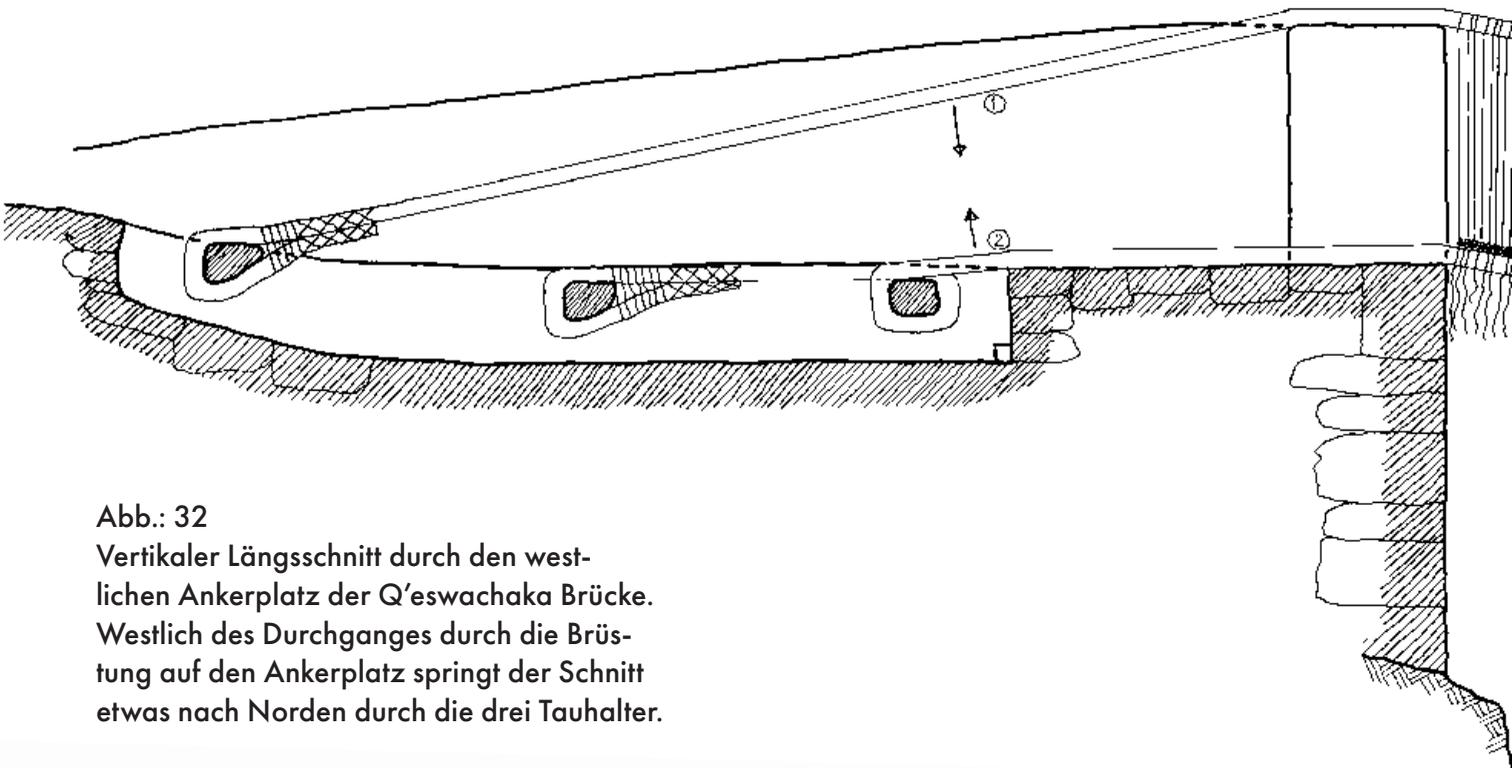


Abb.: 32

Vertikaler Längsschnitt durch den westlichen Ankerplatz der Q'eswachaca Brücke. Westlich des Durchganges durch die Brüstung auf den Ankerplatz springt der Schnitt etwas nach Norden durch die drei Tauhalter.

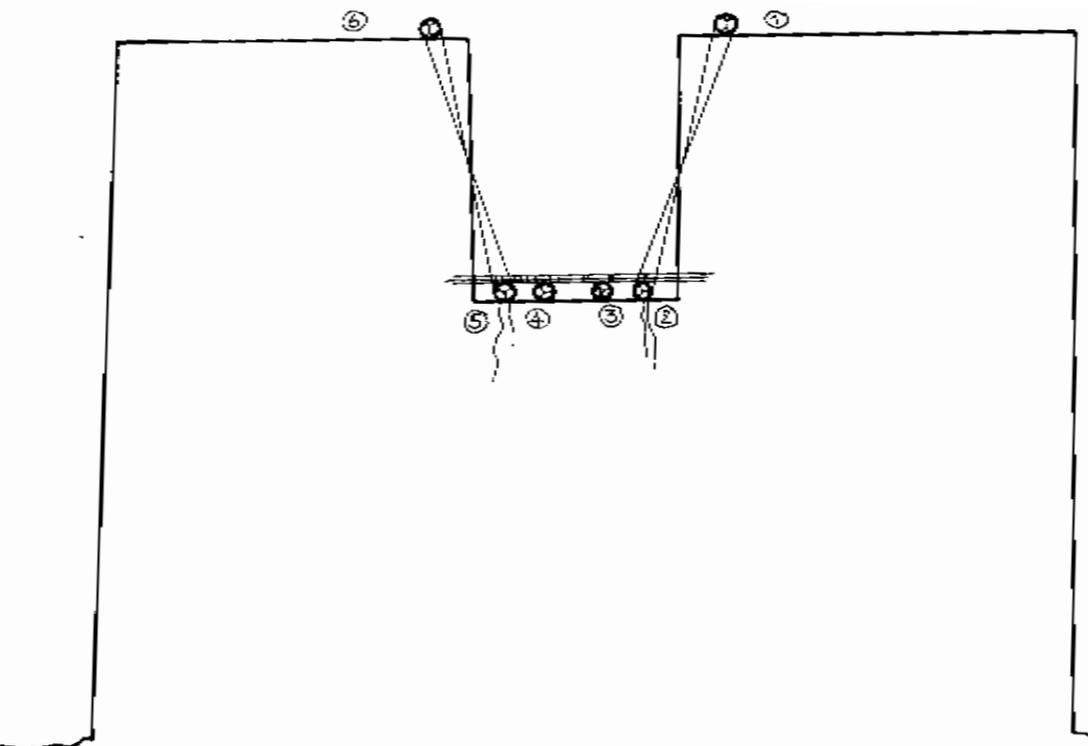
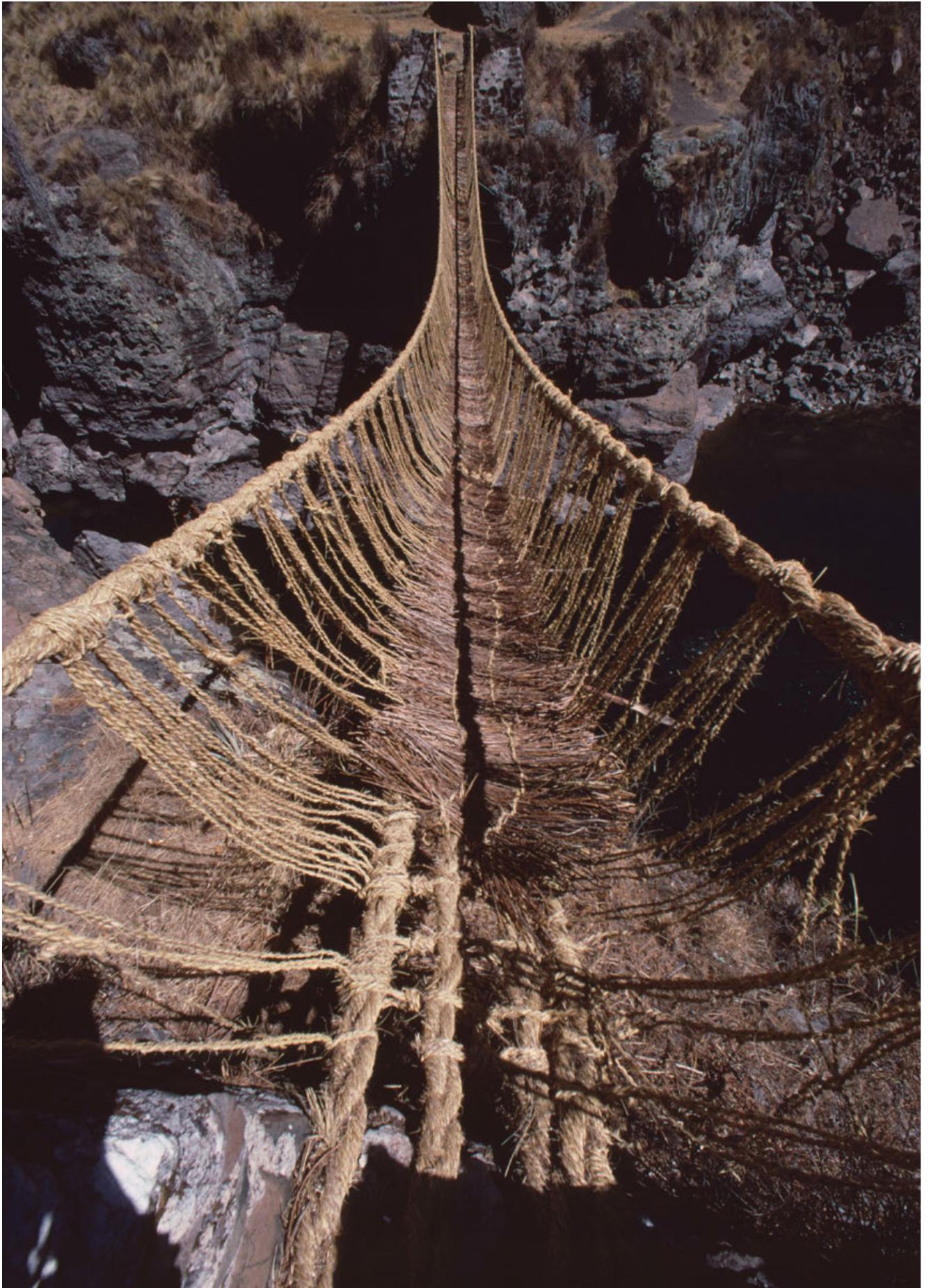


Abb.: 33

Profilschnitt durch die Brücke unmittelbar östlich des Brüstungsdurchganges und Ansicht des Ankerplatzes. Die Seile zwischen den Handlauf-tauen und den äußeren Laufflächentauen dienen der seitlichen Sicherung beim Begehen der Brücke und sind nur maximal 1 cm stark. Zeichnungen: Hasso Hohmann, Graz, 2020

Abb.: 34

Der östliche Brückenantritt verfügt schon über keinen Laufflächen-Belag mehr, so dass Lamas zwischen den Laufflächentauen einbrechen können. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2002



## Sepulturas Brücke von Copan in Honduras

Diese Hängebrücke liegt im Westen von Honduras nahe der Grenze zu Guatemala. Sie überspannt dort den Copán-Fluss bei der Sepulturas-Region von Copan mehr als einen Kilometer östlich des Hauptzentrums dieser bedeutenden Maya Stadt. Die Brücke hatte horizontal gemessen eine Länge von fast genau 38 m und wurde bereits 1970, als der Autor sie zum ersten Mal beging und fotografierte, von vier Stahlkabeln getragen, die man einfach um die jeweils zwei mächtigen Astgabeln zweier am Ufer des Copán-Flusses sich gegenüberstehender gewaltiger Baumriesen gebunden hatte. Der Autor besuchte die Brücke auch 1977, 1985 und 1987. Bereits wenige Jahre später hatten sich die Stahlkabel erwartungsgemäß tief in die Baumrinden eingeschnitten und zu erheblichen Baumschäden geführt. Für eine Überwachung waren hier die Schäden von Anfang an zu gravierend.

**Abb.: 35**

**Schrägsicht der Sepulturas-Brücke von Südwesten.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1977**

**Abb.: 36**

**Aufgang zur Sepulturas-Brücke im Westen.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1977**

**Abb.: 37**

**Blick von den Gruppen 9N-8A und 9N-8B vom Bauwerk Str9N-110C aus in der Sepulturas Region auf die Brücke über den Copán-Fluss zwischen den Bäumen hindurch. Man erkennt mehrere Personen in beiden Richtungen auf der Brücke und die längs gelegten Bretter, sowie den Brückenaufgang im Westen**

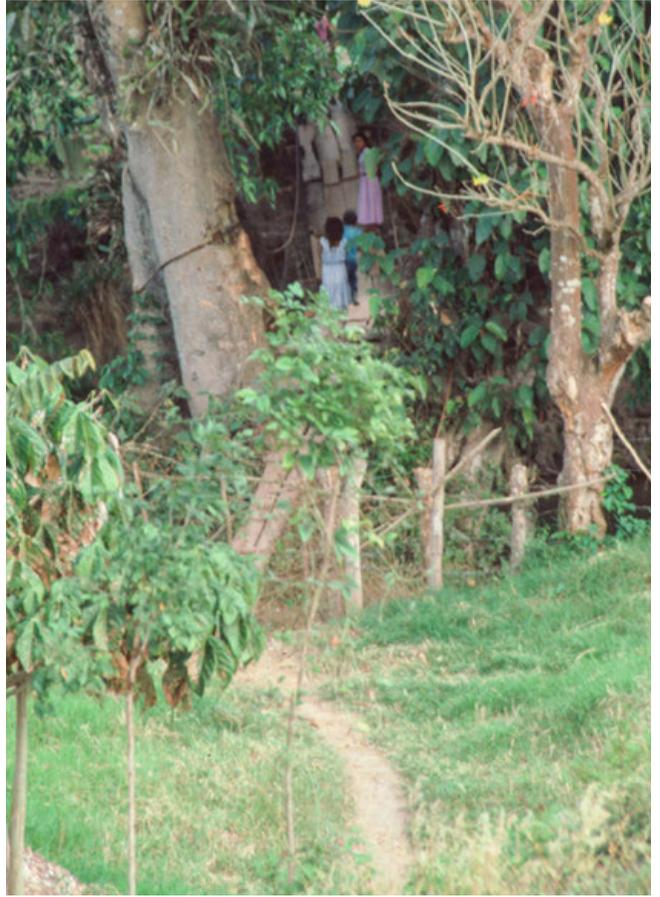
**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1985.**

**Abb.: 38**

**Schrägsicht der Sepulturas-Brücke mit östlicher Baumgabel.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1987**





1970 konnte man noch Reste von mindestens zwei Brückentauen aus pflanzlichen Fasern in der Rinde des westlichen tragenden Baumes erkennen. Es dürfte sich um Sisaltaue gehandelt haben. Das war ein deutliches Zeichen dafür, dass es hier bereits Vorgängerbrücken aus vergänglichem Material gegeben hatte.

Im Rahmen des von 1977 an laufenden "Proyecto Arqueológico Copán" (PAC) wurden in der gesamten Zone westlich der Brücke die Reste von mehr als 100 Wohnbauten aus der Zeit der Maya-Klassik im Kontext exemplarisch freigelegt, konsolidiert, vermessen und so weit als möglich auch rekonstruiert (Hohmann 1995). Durch diesen Siedlungsbereich führte ein gepflasterter alter Weg von der breiten, befestigten Dammstraße, die aus dem Hauptzentrum von Copan kommt.

**Abb.: 39**  
**Östlicher Aufgang zur Sepulturas-Brücke in Copan. Man sieht deutlich rechts oben, dass ein Teil des Stahlkabels eingewachsen ist. Hier ist das Kabel noch zu einem zweiten Baum gespannt und umschlingt daher den tragenden Baum nicht vollständig.**



Der schmale Weg führte über zwei Treppenanlagen durch die freigelegte Zone. Im Osten verlief der Weg vertieft zwischen Bauten geradlinig auf den westlichen Brückenbaum und die Hängebrücke zu. 1970 wurde die Hängebrücke von der örtlichen Bevölkerung noch stark benutzt. Wahrscheinlich existierte auch der Weg durch die Ruinen schon seit sehr langer Zeit, vielleicht schon zur Zeit der Hochblüte der Maya Stadt um 800n. Chr.

Erst durch die touristische Nutzung der Sepulturas-Region von Copan und die damit verbundene großräumige Umzäunung der archäologischen Zone wurde der alte Weg blockiert und die Hängebrücke von einer sinnvollen Nutzung abgeschnitten. Die ehemaligen Nutzer mussten sich danach einen neuen Weg über den Copán-Fluss suchen.

**Abb.: 40**  
**Draufsicht auf die Sepulturas-Brücke mit Längsbrettern und Querstäben als Sicherung gegen das Ausrutschen bei Regen.**



Abb.: 42  
Die Sepulturas-Brücke mit Längsbrettern  
und Querstäben als Rutschsicherung.  
Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1987



Abb.: 41  
Untersicht der Sepulturas-Brücke



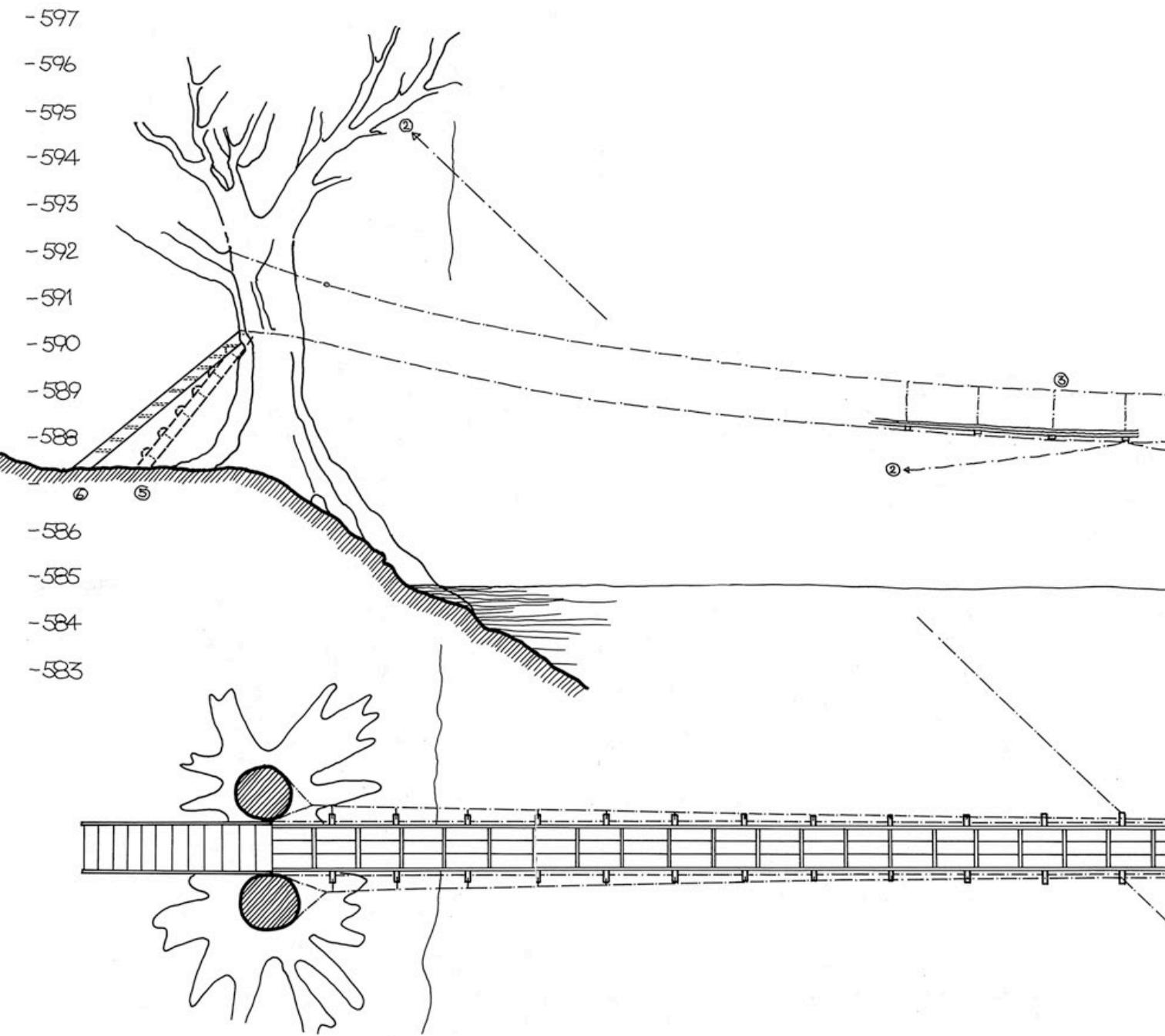


Abb.: 43  
 Seitenansicht der modernen Stahlkabelbrücke  
 über den Copán-Fluss nahe der Sepulturas Re-  
 gion von Copan (Hohmann 1995:316-317).

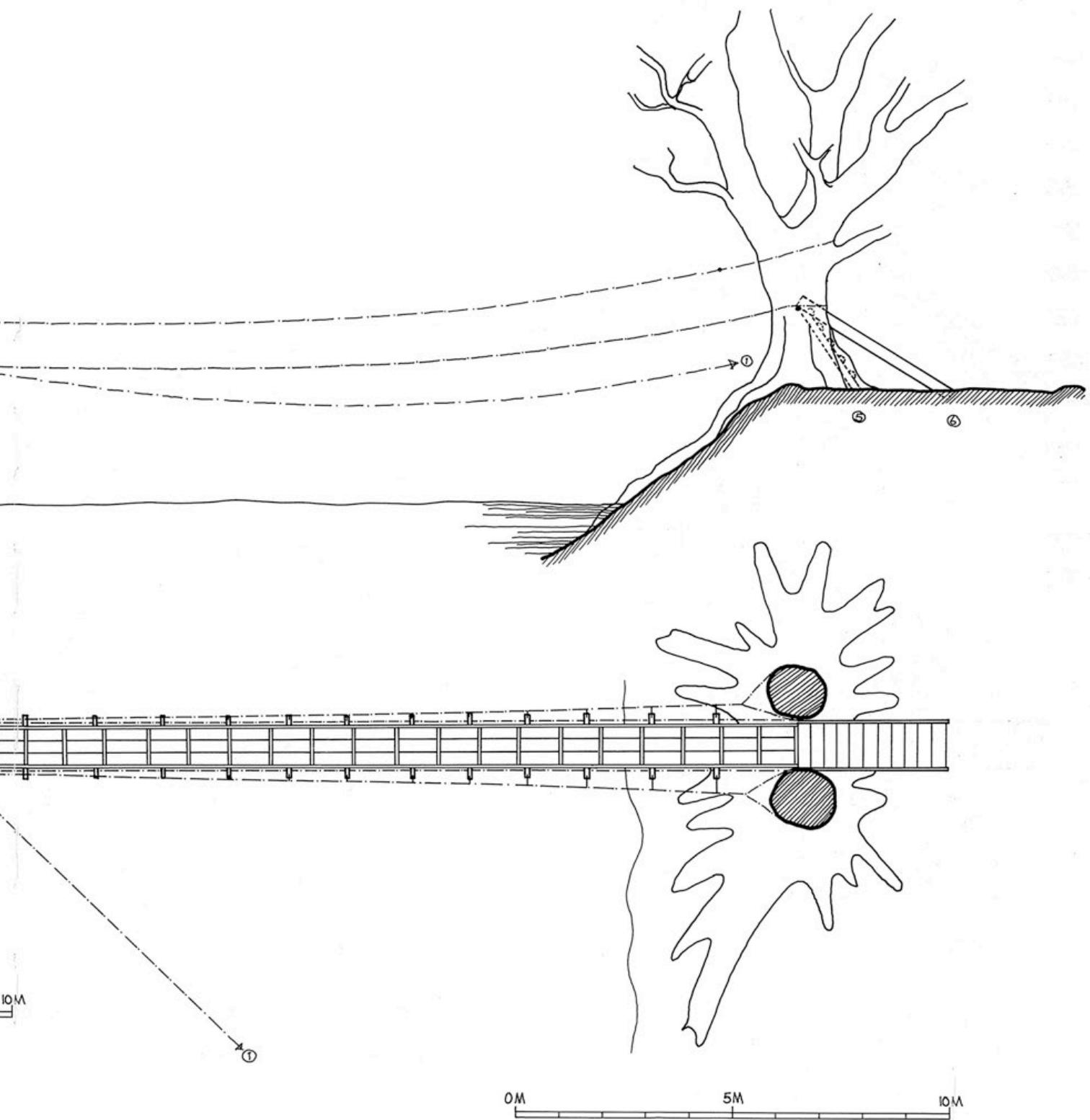


Abb.: 44

Grundriss der modernen Stahlkabelbrücke über den Copán-Fluss. Die jeweils zwei mächtigen Hauptstämme der tragenden Bäume, über die schon die Vorgängerbrücken aus

vergänglichem Material gespannt waren, sind hier geschnitten dargestellt (Hohmann 1995:316-317)

Zeichnungen: Hasso Hohmann, Graz, 1995

Abb.: 45

Das Detail der Draufsicht zeigt seitlich jeweils außen die Handlaufkabel und weiter innen die zwei Laufflächen-Stahlkabel, auf denen Querbalken liegen, die rechts und links jeweils mit einem dünnen Draht angebunden sind, der dann noch nach oben zum Handlaufkabel führt (Hohmann 1995:316-317).

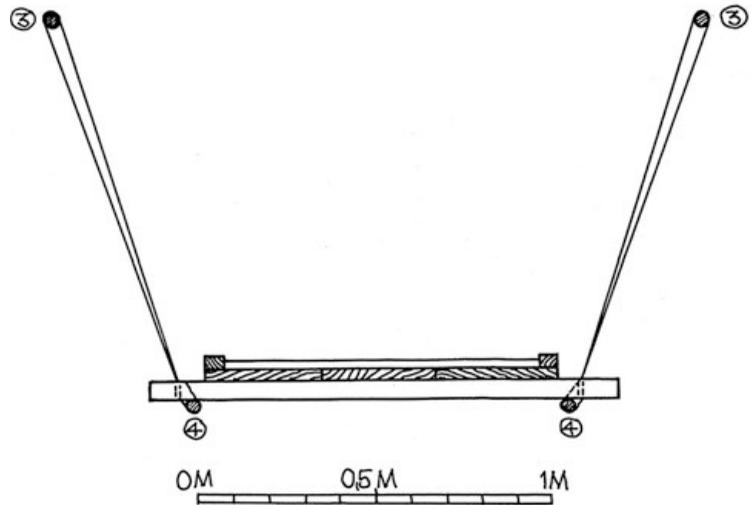
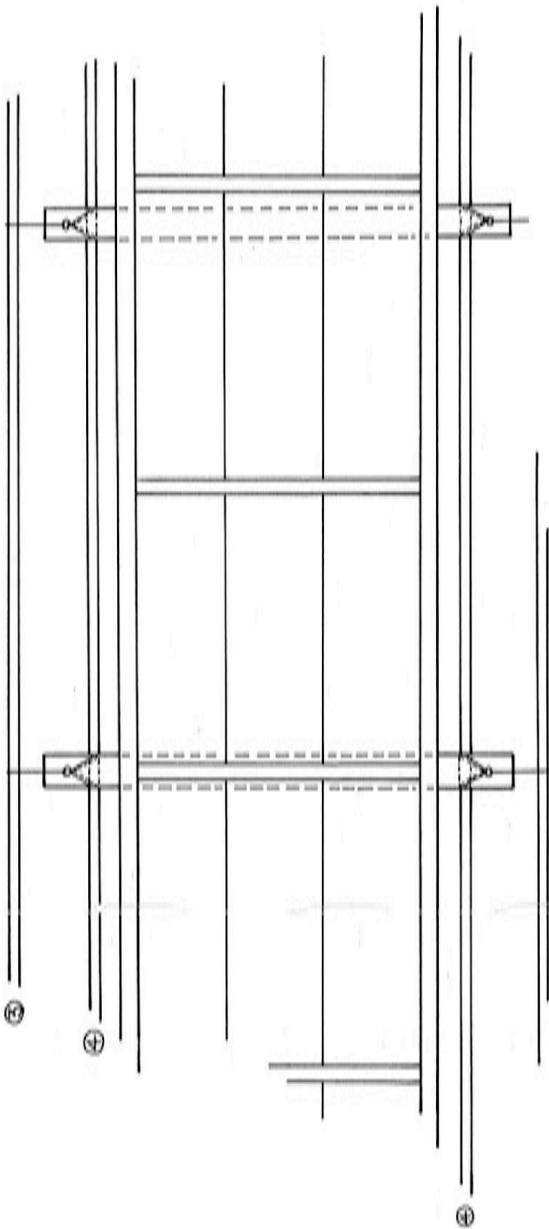


Abb.: 46

Profilschnitt durch die Sepulturas-Hängebrücke. Die seitlichen Hölzer und auch die quer aufgenagelten Holzstäbe sollen Passanten bei Regen und glatter Holzoberfläche vor allem in den ansteigenden Abschnitten Halt geben (Hohmann 1995:316).

Zeichnungen: Hasso Hohmann, Graz, 1995

## Sesesmil Brücke bei Copan in Honduras

Die Quebrada Sesesmil ist eines der Seitentäler rechts des Copán-Flusses nördlich des kleinen Städtchens Copan-Ruinas. 1985 entdeckte der Autor hier zusammen mit mehreren Begleitern zufällig eine ca. 22 m lange nur 60 cm breite Hängebrücke, die auch bereits von Stahlseilen getragen wurde. Interessant an ihr war die Lauffläche, die über drei Stahlseilen verlief und aus kleinen Brettchen bestand, die im Gegensatz zur Sepulturas Brücke quer zur Laufrichtung lagen. Jedes Brettchen hatte zwei Einkerbungen vor beiden Enden, die genau über den zwei äußeren Stahlseilen lagen. Die Brettchen waren hier mit einem dünnen Eisendraht an die Stahlseile angebunden. So konnten sie nicht verrutschen oder kippen. So etwa wird man sich die Steinstäbe auf der vermuteten Hängebrücke im Zentrum von Copan vorzustellen haben, aus denen die Lauffläche der "steinerne Hängebrücke" bestanden haben muss.



**Abb.: 47**  
Die Untersicht unter die Sesesmil-Brücke zeigt die drei tragenden Kabel.



**Abb.: 48**  
Draufsicht auf die Sesesmil-Brücke zeigt die eingekerbten Holzbrettchen.  
Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1985

## Brückenhypothese zur steinernen "Hamaca" in Copan in Honduras

Als sich Stephens und Catherwood 1839 entschlossen, auch die Maya Ruinen in Copan in Honduras zu besuchen, war es vor allem ein Bericht von Fuentes und Guzman aus dem Jahr 1689, der die zwei bekannten Mayaforscher dorthin lockte (Stephens 1841:II, 269). In dem Bericht wird eine angeblich "steinernen Hängematte" in Copan beschrieben, die man trotz ihres großen Gewichtes angeblich mit einer Hand in Schwingung versetzen könne. In der den beiden zugänglichen Übersetzung war der Begriff "la hamaca" aus dem Originalbericht (Fuentes y Guzman 1689) mit "Hängematte" übersetzt worden. Es sollte also in Copan eine steinerne Hängematte in den Ruinen geben – so etwas Kurioses und Unvorstellbares wollten die zwei sich selbst ansehen und untersuchen.

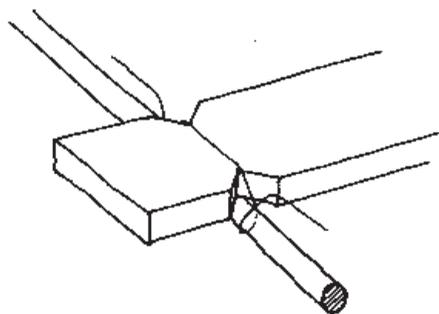


Abb.: 49  
Detail der Brücke über die Quebrada Sesesmil, das die Art der Anbindung mit Hilfe eines dünnen Drahtes zeigt (Hohmann 1995:312, Abb. 626).

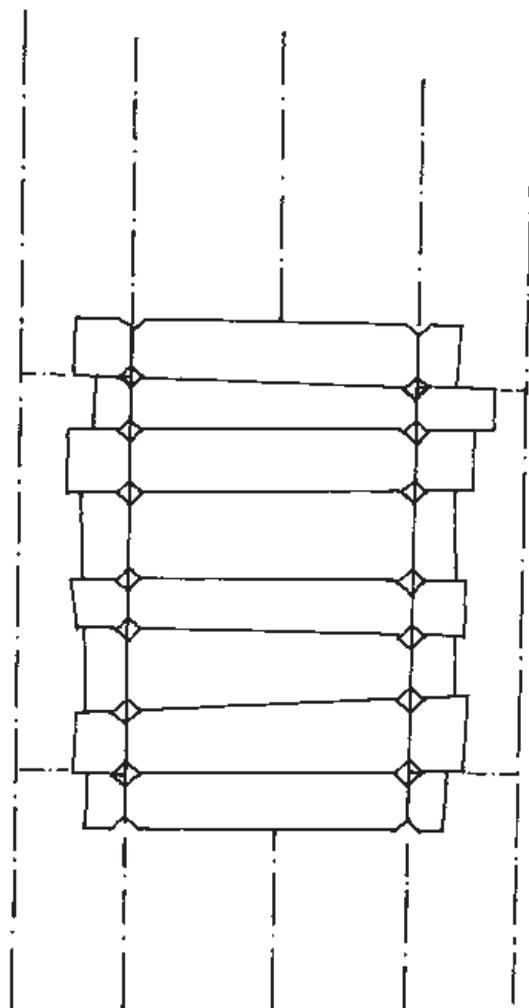
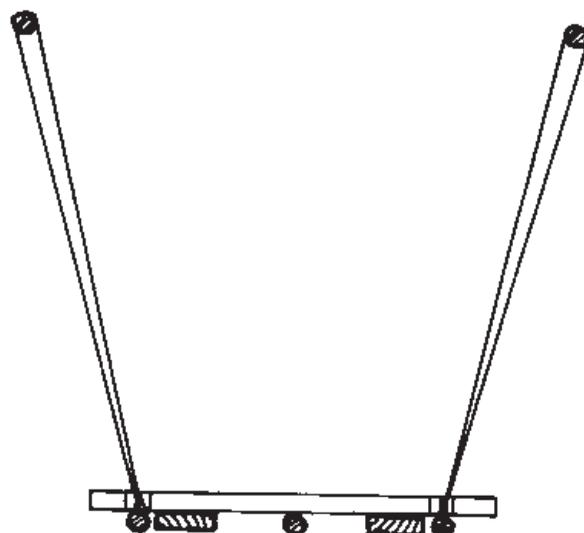


Abb.: 50  
Draufsicht auf ein kurzes Stück der Brücke über die Quebrada Sesesmil (Hohmann 1995:312, Abb. 625).

Abb.: 51  
Profilschnitt durch die Brücke über die Quebrada Sesesmil. Man erkennt die drei Stahlkabel unten mit den aufgelegten Querbrettern und zwei untergelegten Längsbrettern, die das seitliche Verschieben der kurzen Brettchen verhindern sollen, wenn der dünne Draht einmal durchgerostet sein sollte (Hohmann 1995:312, Abb. 624).  
Zeichnungen: Hasso Hohmann, Graz, 1995



In einem Bericht über das Innere von Honduras benutzte John Cockburn als Bezeichnung für Hängebrücke im Englischen den Ausdruck "hammock-bridge" (Cockburn 1803/1735:44-45), was Hängematten-Brücke in deutscher Sprache bedeutet. Stephens selbst schreibt in einem späteren Bericht (Stephens 1841:II, 241), dass die Indios eine über die Astgabeln zweier Bäume rechts und links eines Flusses in der Nähe von Huehuetenango in Guatemala gespannte Hängebrücke, die dort angeblich bereits seit "Menschengedenken" bestanden habe, als "La Hamaca" bezeichneten.

Etwas weiter hinten liest man bei Stephens, dass bei einer bestimmten Art von Sänften der Sitz längs an eine Stange angebunden wird und wie eine Hängematte aussieht. Mit Hilfe der Stange wird eine solche Sänfte von zwei Personen getragen. Im Raum um Ocosingo in Mexiko seien solche Sänften für den Transport von wichtigen Persönlichkeiten und Personen wie beispielsweise "Padres", gebräuchlich. Derartige Sänften wurden ebenfalls "hamaca" genannt.

Der Mayaforscher Karl Herbert Mayer sah und fotografierte auf einer seiner zahlreichen Mesoamerika-Fahrten 2001 im Peten in Guatemala in der Chiquibul Region bei Altigracia eine moderne Hängebrücke über den Río Chiquibul, bei der ein Schild auf die "puente hamaca" hinwies. Das alles belegt, dass der Begriff "hamaca" allgemein auf hängemattenähnliche, zugbeanspruchte Objekte angewandt wurde und wird.

Daher ist sehr wahrscheinlich, dass der in mehreren Punkten etwas zweifelhafte Bericht von Fuentes und Guzman über Copan aus dem Jahr 1689, der offensichtlich nicht aus eigener Anschauung geschrieben wurde, bezüglich der "steinernen Hängematte" zutrifft und nur falsch übersetzt wurde. Im Originaltext wird der Begriff "hamaca" verwendet. Es dürfte sich daher nicht um eine Hängematte, sondern um eine Hängebrücke und wohl um eine über den Copán-Fluss gespannte gehandelt haben, bei der die Lauffläche nicht aus Holzbrettchen, sondern aus eher dünnen kurzen Steinstäben des örtlichen Tuffits bestand (Hohmann 1984:3).

Natürlich ist von dieser Brücke nichts erhalten geblieben und daher kennt man nicht einmal ihre gesicherte Position. Es gab aber auf der östlichen Seite des Río Copan einen ausgedehnten Siedlungsraum und auch

landwirtschaftlich genutzte Flächen. Außerdem lagen auf der Ostseite des Flusses die Stele 12 hoch über dem Talraum sowie ein wohl relativ frühes Krötenheiligtum. Um all das zu erreichen, war eine Brücke über den Fluss sinnvoll und notwendig. Am stärksten wurde so eine Brücke im Zentrum von Copan gebraucht.

Da die meisten der Bewohner von Copan im 9. Jh. die Stadt aus welchen Gründen auch immer verlassen haben dürften, konnte der Copán-Fluss in der Zeit danach ungehindert sein Bett verändern und sich spätestens im 19. Jh. über eine Strecke von mehr als 150m in die Akropolis durch Unterwaschungen, Abbrüche, Erdbeben und Erosion eingraben. Dadurch entstand zumindest einer der weltweit längsten und höchsten natürlich entstandenen fast vertikalen Schnitte durch eine archäologische Zone. Seine Höhe erreichte bis zu etwa 34 m. Zur Zeit der Maya-Klassik verlief der Copán-Fluss an der Ostseite der Akropolis wohl etwa 45 m weiter östlich in einem wohl künstlich gefassten Flussbett in Nord-Süd-Richtung. Schon die großformatigen Fotos von Alfred Percival Maudslay aus der Zeit knapp vor 1900 zeigen auf der Ostseite des Flusses nicht einmal mehr Hügel.

Eine sinnvolle Position für die Brücke ist die Südostecke der Akropolis von Copan. Hier lag der westliche Antritt der Brücke vor dem in der Regenzeit mitunter Hochwasser führenden Copán-Fluss hoch genug und man brauchte sie nur an gut im Mauerwerk der Akropolis verankerten Seilhaltern zu befestigen. Von hier dürfte sie zu einem Bauwerk auf der gegenüberliegenden Seite des Copán-Flusses gespannt gewesen sein. Das vermutete gegenüberliegende Bauwerk ist offensichtlich durch die Erosionstätigkeit des Copán-Flusses und auch durch die künstliche Flussverlegung nach Osten im frühen 20. Jh. verloren gegangen.

Die Flussverlegung erfolgte nach einem verheerenden Erdbeben 1934, bei dem gleich mehrere Maya-Bauten über dem Copán-Fluss in Kombination mit vorherigen Unterwaschungen verloren gingen. Die Verlegung hatte das Ziel, die Akropolis gegen weitere Erosion zu schützen. Damals wurde der Río Copán weiter nach Südosten in ein neu ausgegrabenes Flussbett verlegt. Als man später erkannte, dass ein Teil des Siedlungsraumes der Maya-Stadt Copan weiter südlich durch den Fluss immer noch gefährdet war, wurde 1970 eine

zusätzliche Uferbefestigung, die deutlich weiter nach Süden reicht (Hohmann und Vogrin 1982:60) im Rahmen eines UNESCO-Projektes errichtet. Auch infolge der Schutzmaßnahmen im 20. Jh. werden leider wohl kaum noch Fundamentreste des vermuteten Gebäudes, an dem die angenommene Hängebrücke von Copan einst auf der Ostseite hing, noch nachzuweisen sein.

Wahrscheinlich lag ihr westlicher Antritt unmittelbar südlich von Bauwerk STR10L-18 an der Südostecke der Akropolis. Hier hätte die Brücke unmittelbar südlich des Tores zum Osthof ihren westlichen Anker gehabt haben können und dieser hätte dann im öffentlich zugänglichen Bereich der Akropolis gelegen. Bei einer geschätzten Einwohnerzahl von 25.000 in Copan wird man mit dieser Brücke allein wohl nicht ausgekommen sein. Aber die Brücke im Zentrum wird die wichtigste von ihnen gewesen sein. Angesichts der vielen prächtigen Steinbauten, Paläste und Tempel in unmittelbarer Umgebung hatte sie hier wohl auch für Prozessionen zum Krötenheiligtum und zur Stele 12 eine rituelle Bedeutung und daher eine besondere Ausstattung. Vermutlich wurde deshalb die Lauffläche nicht von Holzbrettchen oder angebundenen Rundhölzern gebildet, sondern von Steinplatten, so wie auch die Bauten im Zentrum nicht aus Bajareque bestanden, sondern aus Stein.

Im Bericht von Fuentes y Guzman wird die "steinerne Hamaca" auch rudimentär beschrieben. Sie soll umgerechnet 9,24 m hoch und 1,40 m breit gewesen sein. Bei der Höhe kann es sich weder um die Distanz zwischen Handlauftauen und Laufflächentauen noch um die Durchhängung der Brücke handeln. Daher kann wohl nur mit dieser Angabe die Höhe der Brückenmitte über Normalwasser des Copán-Flusses gemeint gewesen sein.

Bei der Brücke über den Pachachaca gibt Charles Wiener ebenfalls die Höhe der dortigen Hängebrücke mit dem Abstand der Brückenmitte zum Wasser bei Normalstand an. Angesichts der Höhe des Bodens am Fuß von Bauwerk STR10L-18 auf der Akropolis mit ca. 16 m über dem Fluss-Niveau bei Normalwasser könnte auch hier die Distanz zwischen Fluss und Brückenmitte gemeint gewesen sein. Bei einer Brückenlänge von geschätzten 30 m darf man mit einem Durchhang von etwa 3 m rechnen. Da die Tauen auf der Westseite

der Brücke im Sockel der Akropolis fixiert worden sein müssen, dürften die Handlauftaue unter dem Bodenniveau von West- und Osthof verankert worden sein. Die Laufflächentauen müssen dann etwa 1 m tiefer angesetzt haben. Daher dürfte es hier einen kleinen Treppenabgang zum Beginn der Hängebrücke mit einer Höhendistanz von 3,50 m in Richtung Fluss gegeben haben.

Die Breite der Hängebrücken über die Quebrada Sesmil betrug nur 60 cm. Die Breite der Sepulturas-Brücke war mit genau einem Meter um 40 cm breiter. Die Länge der "Steinernen Hamaca", der vermuteten Hängebrücke im Zentrum von Copan, wird bei Fuentes y Guzman nicht angegeben; aber er gibt die Breite der Brücke mit 1,40 m an. Sie wäre also nochmals 40 cm breiter gewesen als die zwei anderen Hängebrücken, die der Autor 1985 im Umfeld von Copan mit anderen vermessen hatte.

Nach dem Bericht von Fuentes und Guzman sollen rechts und links der Brückenmitte zwei Steinskulpturen unterschiedlichen Geschlechts an der tiefsten Stelle der "Hamaca" angebracht gewesen sein. Der mittlere Steinstab der Lauffläche auf der Brücke könnte daher auf beiden Seiten um etwa 30 cm übergestanden haben. Dann hätte man hier auf beiden Seiten auf den überstehenden Partien des etwa 2 m langen Steinstabes die zwei Skulpturen sturzsicher mittels je eines Steinzapfens und je einer Bohrung an den Enden des Steinstabes auf den Seiten der Brücke montieren können.

Es wird beschrieben, dass die "steinerne Hamaca" mit nur einer Hand in Schwingung versetzt werden konnte. Auch das spricht für eine Hängebrückenkonstruktion der beschriebenen Art. Hängebrücken – auch die zwei oben beschriebenen bewegen sich schon bei leichtem Wind. Bei der längeren Sepulturas-Brücke wurden zwei Spannseile unter etwa 45° abgewinkelt zur Brückenrichtung von der Brückenmitte diagonal zu den zwei Ufern gespannt, um genau dieses Schwingen bei Sturm zu vermeiden. Auch Alexander von Humboldt schreibt von exakt der gleichen Art von Schwingungsbremsen bei Hängebrücken in Südamerika (Humboldt 2004:282).

Die tragenden Tauen der Brücke werden ähnlich, wie bei der Q'eswachaka Brücke über den Apurimac in

Peru hergestellt worden sein – hier allerdings nicht aus Ichu-Gras, sondern aus den harten Fasern von Agavenblättern bis hinunter zu den Agavenwurzeln, die eine deutlich höhere Zugfestigkeit haben. Als eine Art Handlauf hätte man noch je ein etwas schwächeres Tau rechts und links parallel zur Lauffläche führen müssen. Vertikale Stricke werden auch hier die seitliche Sicherung gewährleistet und zugleich eine Verbindung zur Lauffläche hergestellt haben.

Eine Überschlagsrechnung der Belastbarkeit solcher Tawe hat ergeben, dass es bei einer Hängebrücke mit einer angenommenen horizontalen Länge von 40 m mit rechts und links fixierten Steinplatten aus dem örtlichen Tuffit kein statisches Problem mit dem Eigengewicht in Kombination mit anzunehmenden Nutzlasten gegeben hätte. Hierzu hätte man nur einige Seile mehr als sonst unter den Laufflächensteinen anbringen müssen, als bei den üblichen traditionellen Brücken, was bei der größeren Breite auch notwendig war.

Die etwas größere Brückenbreite wäre sicher bei einer Stadt mit einer für damalige Verhältnisse großen Einwohnerzahl nicht übertrieben gewesen. Natürlich hätten die Tragseile einer solchen Brücke relativ oft erneuert werden müssen. Das mussten aber alle Hängebrücken älterer Bauart in ganz Amerika.

Wenn man davon ausgeht, dass der Copan-Fluss zur Zeit der Maya-Klassik östlich neben der Akropolis in einem eingeschnürten Flussbett geführt wurde, so hätten sich die statischen Erfordernisse noch wesentlich günstiger gestalten lassen. Die hohen Mauerzonen, die man am "Schnitte" etwas weiter westlich im älteren Bestand angetroffen hat, könnten einen Hinweis darauf geben, dass auch weiter östlich die Wasserfront der Akropolis steiler ausgebildet war als bei frei stehenden Pyramiden, was die Spannweite der Brücke deutlich – wohl auf etwa 30 m – verringert hätte.

## Hängebrücken als Teil des Denkens neuweltlicher Kulturen in zugbeanspruchten Konstruktionen

Wie wir am Beispiel der "hamaca" in Copan und den unterschiedlichen Bedeutungen dieses Begriffes sehen können, gibt es in der Neuen Welt zahlreiche zugbeanspruchte Konstruktionen. "hamaca" bedeutet Hängematte, Hängebrücke und auch Hängesänfte. Der Begriff lässt sich vielleicht generell als Hängekonstruktion übersetzen. Das sind gleich drei typische zugbeanspruchte Objekte aus der Mayakultur. Schaut man sich aber in anderen Bereichen der Maya-Kultur und auch in anderen Kulturen des präkolumbischen Amerikas um, so finden sich zahlreiche weitere zugbeanspruchte Konstruktionen, wie beispielsweise die vorkolumbischen Türen, die als reißfeste Verschlüsse an Seilhaltern angebunden und über die Türöffnungen gespannt wurden.

Die Dachstühle der Maya-Häuser aus vergänglichem Material werden selbst heute noch sehr oft von der indigenen Bevölkerung nicht von Nägeln zusammengehalten, sondern mit Hilfe von Lianen, die auf Zug

beansprucht die Balken miteinander verbinden, miteinander verknotet. So entstehen echte Knotenverbindungen bei Dachstühlen und auch bei den Wänden. Lianen ziehen sich beim Trocknen zusammen und schnüren so solche Knoten noch fester zusammen.

**Abb.: 52**  
1987 wurde in der Nähe des Lago Yaxha in der nordguatemaltekischen Provinz Peten ein neues Haus errichtet. Das Skelett dieses Hauses kennt keine Nägel, sondern nur Holzstämmе und Lianen, mit denen die Knotenverbindungen hergestellt werden. Das sind typisch zugbeanspruchte Konstruktionen.



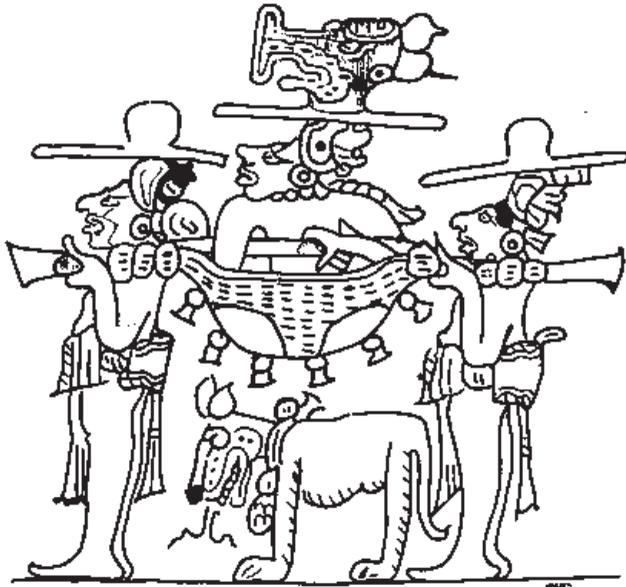
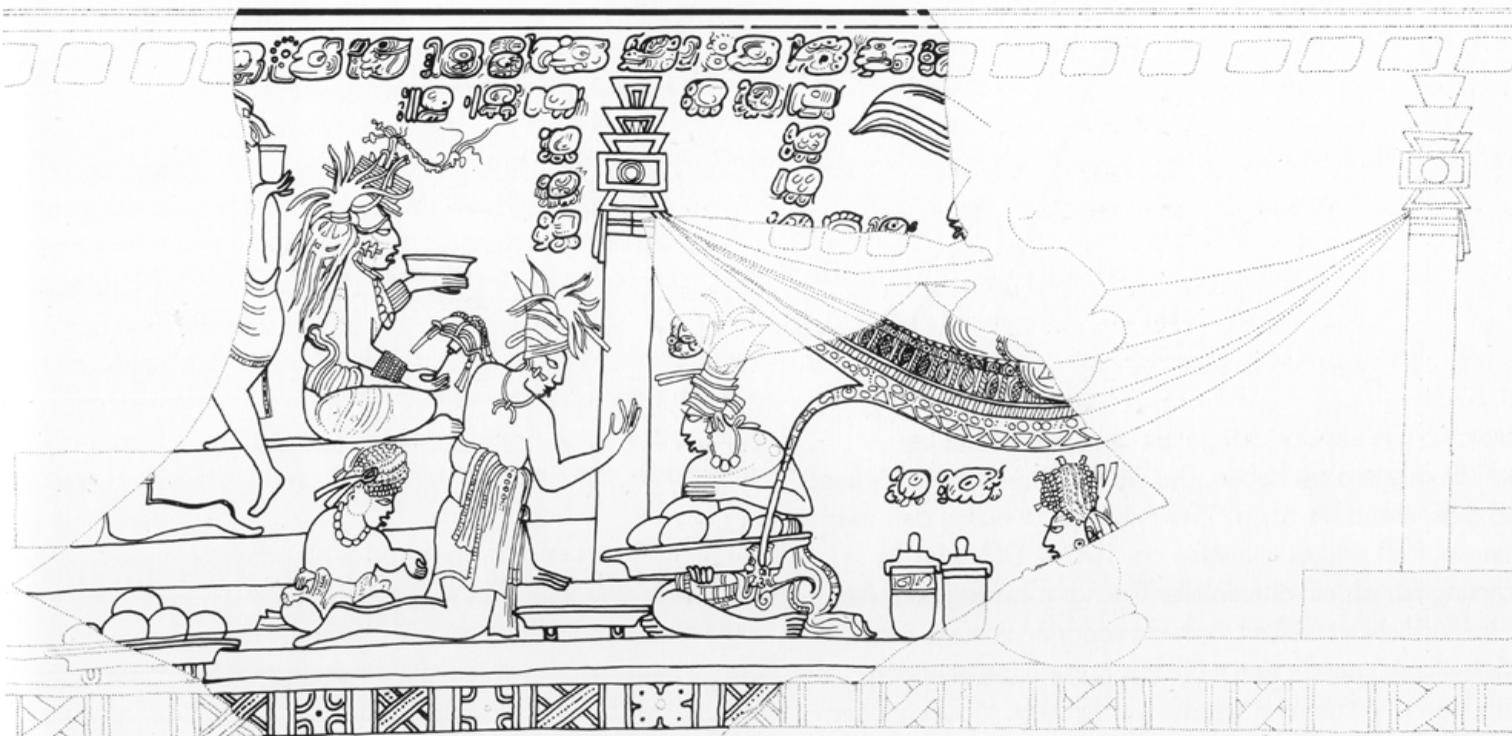


Abb.: 53  
Es gibt zahlreiche Darstellungen von Hängesänften auf Mayavasen (Hohmann 1984). Dies ist nicht die schönste der Hängesänftendarstellungen. Sie zeigt aber am besten, wie der Hängesitz, der Ähnlichkeit mit einer Hängematte hat, an der Stange befestigt wurde.

Abb.: 54  
Knotenverbindungen im Dachgebälk.  
Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1987

Abb.: 55  
Auf der leider nicht vollständigen, aber sehr qualitätvollen zylindrischen Vase von Tabasco aus der Maya-Spätklassik, heute im Museo de Antropología Carlos Pellicer in Villahermosa, wird eine Hängematte dargestellt, die zwischen zwei Pfosten auf einem Markt aufgespannt ist und eine Person trägt, die vielleicht einen Marktaufseher darstellt.  
Zeichnungen: Hasso Hohmann, Graz, 1984



Auch viele Dinge des täglichen Lebens abseits von Architektur, die alle zugbeansprucht sind, lassen bald die Vermutung aufkommen, dass es in zumindest vielen vorkolumbischen Kulturen so etwas wie ein Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen gegeben hat. Sind es im Mittelmeerraum beispielsweise eher Techniken, die man als druckbeansprucht charakterisieren kann, so sind in der Neuen Welt die zugbeanspruchten dominant.

Wurden schwere Wasserkrüge beispielsweise im Mittelmeerraum meist auf dem Kopf mit Hilfe eines

textilen Druckausgleichsringes balanciert, so tragen auch heute noch die indigenen Bewohner in fast allen lateinamerikanischen Staaten schwere Güter mit Hilfe eines Stirnlastbandes auf dem Rücken. Dass dies auch in vorkolumbischer Zeit so war, belegen zahlreiche Darstellungen. Auch andere schwere Lasten wie Brennholz werden fast ausschließlich mit einem solchen Band über die Stirn auf dem Rücken getragen. So hatte man auch die Hände frei.

Aber auch Kleinkinder werden bislang in den indigenen Kulturen Amerikas gewöhnlich nicht auf dem Arm

#### Abb.: 56

Dieses Trinkgefäß aus der Nasca Kultur stammt aus dem Süden Perus und datiert etwa in die Zeit um 100 n. Chr. Es stellt einen Wasserkrugträger dar. Auf seiner Stirn erkennt man eine rechteckige Fläche unter dem Stirnlastband auf der Stirn des Trägers – wohl zum Druckausgleich. Die Keramik belegt, dass Stirnlastbänder auch in Südamerika und auch zumindest bereits vor fast 2000 Jahren verwendet wurden, um schwere Krüge zu transportieren (Das Gefäß wurde mit dem Thermolumineszenz-Verfahren getestet).  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2020



#### Abb.: 57

Mutter und Sohn tragen im mexikanischen Palenque schwere Feldfrüchte mit Hilfe des Stirnlastbandes auf dem Rücken  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1985



getragen oder in einem Kinderwagen transportiert, sondern mit Hilfe von Tragtüchern um den Hals und über die Schulter geschlungen auf dem Rücken getragen. Ziehen die Frauen das Tuch etwas im Kreis können Babys auch leicht zum Trinken zur Brust vorgezogen werden. Durch den steten Körperkontakt hört man in den indigenen Gesellschaften dieser Länder daher auch nur sehr selten Kleinkinder schreien.

In Mayasteinbauten mit Kraggewölben wurden Feldfrüchte in luftigen Netzen an den Gewölbebalken aufgehängt. Bei Hütten aus vergänglichem Material

wurden und werden solche Netze ins Dachgebälk gehängt, damit möglichst nichts schimmelt. Die Netze sind ebenfalls zugbeansprucht – im Gegensatz zur Lagerung bei uns in Schränken oder auf Regalen.

**Abb.: 58**

Dieser Indio aus Xul in Mexiko kommt aus dem Wald mit Brennholz, das er mit dem Stirnlastband auf dem Rücken trägt.  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1999



**Abb.: 59**

In der Semana Santa (Osterwoche) wird das Kind von seiner indigenen Mutter während der Umzüge im guatemaltekischen Antigua in einem typischen Tragetuch transportiert.  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1977





# Frühe Hängebrücken in der Alten Welt in Eurasien und Afrika

## **Brücke von Shaor in Nordindien**

Die traditionell konstruierte Hängebrücke von Shaor in Himachal Pradesh, westlich von Keylong im indischen Abschnitt des Himalaya, wurde über den Chanab Fluss zwischen den zwei ca. 50 m voneinander entfernten Ankerpunkten gespannt. Für die Brücke wurden jeweils fünf relativ dicke Astfaserkabel leicht miteinander zu einem dicken Tau verdreht. Nur drei derartige Tawe insgesamt bildeten die Tragkonstruktion dieser Brücke über die Schlucht mit dem wild unterhalb dahintossenden Wasser des Chanab Flusses. Bei den Stricken wurden die zugaufnahmefähigen harten Fasern von weich geklopften frischen Zweigen von Birken und Weiden zunächst zu festen Kordeln gedreht. Die wieder aus ihnen hergestellten gedrehten Tawe bilden rechts und links je eine hier verhältnismäßig niedrige Art von "Handlauf" und unten das dritte Tau bildete die extrem reduzierte "Lauffläche" der Brücke. Zwischen den "Handlauf-tauen" und dem unteren "Laufftau" sind rechts und links zahlreiche Stricke gespannt, die eine innige Verbindung unter den drei Tauen herstellen und die Lauffläche mit Hilfe von angebundenen Querstäben verbreitern helfen und auch beim Reißen eines der drei Tawe eine Verbindung zu den zwei anderen Tauen herstellen.

**Abb.: 60**

**Das Mädchen trägt die Waschschüssel mit gewaschener Wäsche in Copan auf dem Kopf, wie noch vor 50 Jahren beispielsweise genauso in Süditalien. Hier wird der europäische Einfluss sichtbar. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1985**



**Abb.: 61**

Das Foto zeigt den nordöstlichen Brückenanker zum Teil, bei dem die zwei oberen "Handlauf-taue" rechts und links über einen Querbalken gespannt werden. Das tieferliegende "Lauf-tau" sieht man zwischen den zwei Holzbalken. Auf der anderen Seite des Chanab Flusses liegt der südwestliche Brückenanker über einer steil aufsteigenden Felswand. Er besteht aus aufgeschichteten Steinen, zwischen denen seitlich vortretende Balken eingeklemmt sind.

**Abb.: 62**

Dieses Foto zeigt nur einen Teil des nordöstlichen Brückenankers. Rechts sieht man einen entrindeten Baumstamm, der im Steinsockel unterhalb offenbar gut verankert war. Um diesen windet sich das rechte "Handlauftau", das über eine gewisse Strecke quer vernäht ist; links sieht man den linken Baumstamm nur im Ansatz, um den sich hier das linke "Handlauftau" windet, das natürlich auch vernäht wurde. Das mittlere tieferliegende "Lauftau" erkennt man wieder zwischen den zwei Holzbalken, die Teil des Antritts für Benutzer der Brücke sind. Das "Lauftau" dürfte um einen liegenden Holzstamm gewickelt und vernäht worden sein. Wenn man genau hinsieht, erkennt man durch ihre Färbung gut getarnt auf beiden Seiten in den Tauen relativ dünne Stahlseile, die man in diese Tawe offenbar aus Sicherheitsgründen eingeflochten hat.

Folgende Seite:

**Abb.63:**

Dieses Foto zeigt nur einen Ausschnitt der Hängebrücke von Shaor. Links sieht man das südwestliche Ufer des Chanab Flusses. Auf der Brücke gehen drei Personen nach links, zwei von ihnen tragen schwere Lasten, ein wohl jüngerer schiebt den vorderen Träger an.

Fotos: Hans Weihreter, Augsburg, 1985





## Abb.: 64

Traditionelle Hängebrücke über den Tsarap-Fluss im Zanskar-Tal in der Nähe des Bardan Klosters. Sie lag etwas versteckt und war zur Zeit der Aufnahme wohl nicht mehr begehbar. Die Brücke hing nur noch an den Handlauf-Tauen. Die Handlauf-taue waren mit buddhistischen Gebetsfähnchen in den fünf Farben der fünf Dhyani-Buddhas und dem Abbild des Windpferdes geschmückt. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2008



### Brücke über den Tsarap-Fluss im Zanskar-Tal in Nordindien

Nachdem dem Autor in Keylong auf Nachfragen sehr vage Auskünfte über den Zustand der Brücke von Shaor gegeben wurden, versuchte er vergeblich, von Keylong aus entlang des Chanab-Flusses mit einem gemieteten Jeep nach Shaor zu gelangen. Die Straße war zwischen Udaipur und Shaor durch einen Wasserfall infolge von Starkregen in einem Abschnitt mit fast senkrecht aufsteigenden Felswänden auf einer kurzen Strecke so stark abgetragen worden, dass sie unpassierbar war. Selbst ein LKW, dessen Fahrer versucht hatte, durchzufahren, musste von anderen wieder aus seiner misslichen Lage befreit werden. Erst nach der Rückkehr erfuhr der Autor verlässlich, dass die Brücke von Shaor schon einige Jahre vorher gegen eine reine Stahlseilbrücke ausgewechselt worden war.

Da im Chanab-Tal offenbar auch die letzten traditionellen Brücken bereits gegen moderne Hängebrücken ausgetauscht waren, fuhr der Autor später über Kargil ins Zanskar-Tal. Er hoffte, dort noch eventuell letzte traditionellen Brücken aus vergänglichem Material zu finden. Leider waren aber auch dort schon alle traditionellen Brücken ausgewechselt worden. Erst am letzten Nachmittag glaubte er während der Fahrt mit einem von mehreren Personen gemieteten Jeep aus dem Augwinkel für den Bruchteil eines Augenblicks eine traditionelle Hängebrücke in einem engen Talabschnitt des Tsarap-Flusses wahrgenommen zu haben. Er bat daher alle Mitfahrenden und den Fahrer, kurz anzuhalten zu dürfen, um die Brücke zu checken und gegebenenfalls fotografieren zu können. Er sprang aus dem Jeep und rannte um einen flachen Hügel und um eine Felsnase, von wo aus er die Brücke etwas besser sehen konnte. Sie sah von weitem so aus, wie die aus Naturfasern hergestellten Brücken. Sie war immer noch weit entfernt. Dann holte er die Brücke mit dem 210 mm Zoom so nah als möglich heran und fotografierte sie.

Sie war 2008 offensichtlich nicht mehr begehbar. In der Mitte fehlte zumindest ein Teil von einem der "Lauf-taue". Alles hing nur noch an den "Handlauf-tauen". Die Handlauf-taue waren mit buddhistischen Gebetsfähnchen in den fünf Farben der fünf Dhyani-Buddhas mit dem aufgedruckten Abbild des Windpferdes "rlung rta" (Weihreter 2019:88), der Schutzgöttin Tara, geschmückt.

Sie soll so auch für Sicherheit sorgen und den Lebenswind des Benutzers der Brücke beschützen. Bei dieser Brücke wurden rechts und links je ein Handlauftau und unten weitere zwei Lauftau eingesetzt. Möglicherweise waren auch hier die Handlauftaue mit dünnen, jeweils in das Tau eingeflochtenen Stahlseilen verstärkt oder abschnittsweise repariert worden, wie dies bei der Brücke von Shaor über den Chanab Fluss bereits im Jahr 1985 und noch massiver bei der von Harrer publizierten "Brücke über den Sangskar-Fluss" (Harrer 1978:18) zu beobachten war. Normalerweise waren in der Vergangenheit die Handlauftaue weniger stark als die Lauftau ausgebildet; dennoch waren hier diese zuerst zerrissen und mussten verstärkt werden.

Für derartige Brücken wurden Taue hergestellt, für die man die zugaufnahmefähigen harten Fasern von weich geklopften frischen Zweigen von Weiden und Birken zunächst zu halbwegs dünnen Stricken verarbeitete. Mehrere von diesen Stricken wurden dann zu dickeren Kabeln gedreht. Am Ende wurden zwei oder drei Kabel nochmals zu einem dicken tragfähigen Tau verdreht. Meist wurden für die unteren Taue mehr und festere Stricke für die aus ihnen hergestellten Kabel verwendet, weil sie höhere Lasten aufnehmen mussten, wenn beispielsweise zu gleicher Zeit mehrere Lastenträger die Brücke passierten.

Heinrich Harrer zeigt in seinem Buch über Ladakh (1978:18+19) das Foto einer Hängebrücke aus vergänglichem Material über den Zanskar-Fluss, bei der die zwei Handlauftaue an zusätzlichen Stahlseilen hängen. Man muss schon genau hinsehen, damit man die farblich kaum auffallenden dünnen Stahlseile wahrnimmt. Ohne eine solche Verstärkung sind solche Brücken nach einer Alterung von einigen Jahren nicht mehr sicher. Dann helfen solche Verstärkungen. Möglicherweise war auch die Brücke, die der Autor leider nur von weitem fotografieren konnte, schon in den Handläufen derart verstärkt worden, so dass die Handlauftaue noch nicht schadhafte waren. Unter anderen Umständen hätte er die Brücke gerne genauer untersucht.



### Einfache Reispflanzerbrücke in Myanmar

Diese sehr einfache Brückenkonstruktion findet man vor allem in weiten Teilen Asiens. Das gezeigte Beispiel wurde in Myanmar auf etwa halber Strecke zwischen Rangun und Pathein aufgenommen. Es besteht aus schließlich aus Bambusstäben unterschiedlicher Stärke. Die Tragkonstruktion besteht aus paarweise in den Untergrund gerammten dickeren Bambusstäben, die jeweils ein hochgezogenes X ergeben. Sie sind so in bis zu etwa 3,5 m Abständen hintereinander angeordnet, dass ihre Schnittpunkte vom Beginn der Brücke zur Brückenmitte ansteigen und danach wieder zum Ende der Brücke bis fast zum Boden abfallen. Die Schnittpunkte werden danach mit Stricken oder anderen Materialien gut verknotet. Über die Schnittpunkte werden danach tragfähige Bambusstangen überlappend gelegt, die miteinander verbunden werden. Bei den größten Spannweiten werden meist zwei Stangen parallel gelegt und miteinander verbunden, was die Tragfähigkeit erhöht. Da die Brücke zunächst ansteigt und dann wieder abfällt, sind die Stangen zum Teil bogenförmig gespannt. Das Gleiche gilt für die Handläufe auf beiden Seiten der Brücke. Manche dieser Brücken haben auch nur einen Handlauf. Dann hat man aber Probleme bei gleichzeitiger Benutzung in beiden Richtungen.

Abb.: 65

Die Bambusbrücke nahe Pathein in Myanmar von der Seite gesehen.

Abb.: 66

Die Bambusbrücke nahe Pathein fast im Profil gezeigt. Im Hintergrund sieht man einige Reispflanzer. Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 2006



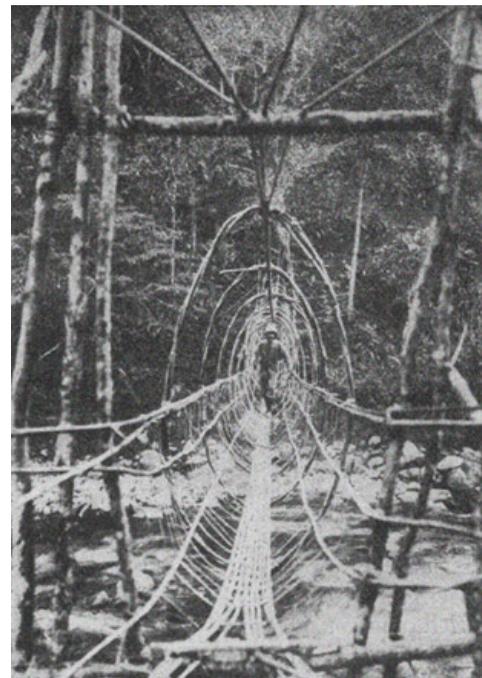
## Rotang-Brücken in Südostasien

Die abgebildete Rotang-Hängebrücke ist über den Salu Manio Fluss im Takalekadja Gebirge gespannt (Neudeck 1923:394). Rotang (auch "Calamus rotang" oder auch als Rattan bekannt) wächst auch in Ostindien, in Myanmar, mehreren Teilen Indonesiens und auf Borneo. Calamus rotang ist ein Rankengewächs von besonders hoher Zugfestigkeit, Zähigkeit und Elastizität, das in Sumatra bis zu über 300m Länge erreichen kann (Horner 1839:227). Daher ist es unter anderem für die Konstruktion sehr leicht gebauter Hängebrücken prädestiniert.

Im vorliegenden Fall könnte es sich eventuell um eine Kombination von Rotang und längs aufgeschnittenen Bambusstangen handeln, die sich vor allem für die Gehflächen solcher Brücken sehr gut eignen, weil sie leicht, elastisch und zugleich auch eine hohe Stabilität aufweisen. Daher wird Flachbambus auch gerne für Fußböden in Wohnhäusern als Geflecht verwendet. Werden solche aufgeschnittenen und flachgepressten Bambusbretter auch noch miteinander verflochten, so sind sie sehr tragfähig und zugleich elastisch. Im Foto sieht es so aus, als ob die Rotang-Ellipsen und Halbellipsen mit dem vermuteten Bambus verflochten wurden.

Bei dieser Brücke besticht besonders die Ästhetik ihrer Formgebung. Mit ihrem stehend-elliptischen Profil für den Brückengang, bei dem jeweils die untere Hälfte auch gegen seitliches von der Gehfläche Kippen gesichert ist, wirkt die Form streng und mit der perspektivischen Wirkung in der Längsachse fast wie ein von der Seite betrachtetes Spinnennetz.

Mehrere Autoren berichten davon, dass die Rotang-Hängebrücken bei der Begehung stark schwanken und auf Grund ihrer Leichtigkeit auch schon bei leichtem Wind zu schwingen beginnen. Gegen zu starkes Schwingen wurden sie meist durch seitliche, etwa horizontal geführte Zugseile unter 45° zur Mitte hin am Ufer gesichert.



**Abb.: 67**

**Die Aufnahme zeigt eine Person auf einer Rotangbrücke mit elliptischen, stehenden Ringen, die aufgrund des Materials von unglaublicher Zartheit sind.**

**Foto: Deutsches Museum in München, Anonymus, vor 1923 (Neudeck 1923:394, Abb.: 470)**

## Hängebrücke über den Baliem Fluss in West-Papua, Indonesien

Im nordwestlichen Baliem Tal in der Provinz Irian Jaya in West-Papua-Neuguinea, das seit 1962 zu Indonesien gehört, gibt es noch mehrere traditionell konstruierte Lianen-Hängebrücken über den Baliem Fluss. Das Gebiet um die Brücke gehört zum Dani Klan.

Die hier gezeigte Hängebrücke über den breitesten Fluss der Region besteht noch weitgehend aus Lianen, knorrigen Holzstäben und elastischen Ranken, die größtenteils noch mit Lianen miteinander verbunden sind. Offensichtlich hat aber jemand aus der Ersten Welt einen aus Plastik hergestellten Strick dort zurückgelassen, mit dem auch bereits etliche deutlich glitzernde Verknotungen durch die Brückenbauer oder -sanierer eingeflochten wurden. So ist auch in diesem entlegenen Raum von West-Papua-Neuguinea bereits das Plastikzeitalter angebrochen.

Die Brücke hat eine grob gemessene Spannweite von 25 m. Die Brückenantritte liegen etwa 3,5 m hoch über dem Wasser; die Portale darüber erheben sich nochmals weitere ca. 4 m.

### Abb.: 68

Die Brücke über den Baliem-Fluss in West-Papua. Man erkennt deutlich auf beiden Seiten die Aufstiegsrampen zur eigentlichen Hängebrücke, die auf beiden Seiten jeweils über eine Art einfaches hochgezontes Portal verfügt, über das die Ranken und Lianen so gespannt sind, dass das Profil der Brücke zur Mitte hin in der Höhe abnimmt. Die Zug-beanspruchten Lianen und Ranken sind am Fuß der Brückenrampen zwischen Steinen festgemacht. Von den langgezogenen tragenden "Seilen", die in unterschiedlichen Höhen durchhängend verlaufen, hängen wieder entlang der Hängebrücke quer ebenfalls aus Ranken geformte Gurte, die jeweils mehrfach verbunden sind. Die Lauffläche der Brücke lastet auf den in geringen Abständen angebrachten Gurten und besteht größtenteils aus jeweils drei knorrigen Ästen, die an die Gurte angebunden sind. In einem Bereich liegt auch ein gesägtes Brett stattdessen auf den Gurten. Foto: Ingrid Schmiederer, Wien, 1998

### Abb.: 69

Die Hängebrücke über den Baliem-Fluss von der Seite vom Ufer aus gesehen. Foto: Anton Mauer, Wien, 1998





### Hängebrücke in Zentral-Kamerun in Afrika

Bei dieser Brücke in Zentral-Kamerun muss man mehrfach hinsehen, um sie als solche überhaupt zu erkennen. Sie ist minimalistisch konstruiert und hat so eine gewisse Verwandtschaft mit den Rotangbrücken. Im Gegensatz zu den Brücken in Südostasien kann man bei der in Afrika allerdings nicht den geringsten gestalterischen Willen ihrer Konstrukteure erkennen. Sie sieht fast wie eine zufällig entstandene Brücke aus. Aber selbst diese Brücke verfügt auch über diagonale Verspannungen gegen das Schaukeln bei Wind oder Sturm.

Alexander von Humboldt schreibt davon, dass es auch im Inneren Afrikas bereits Kettenbrücken gab (Humboldt 2004:281,282). Das müssen Kettenbrücken mit einem Baujahr vor 1800 gewesen sein.

Abb.: 70

Diese sehr einfache Hängebrücke, die wohl nur dann verwendet wurde, wenn der Mabe-Fluß in Zentral-Kamerun Hochwasser hatte und daher nicht durchwatet werden konnte, wurde von Hugo Bernatzik (1930:53 Abb.) fotografiert. Sie scheint nur aus vier elastischen, aber tragfähigen Lianen für die zwei "Handläufe" und zwei für den Laufweg sowie einigen noch dünneren Verknüpfungen zwischen diesen vier Hängebrücken-Seilen zu bestehen. Über das Material gibt Bernatzik keine Auskunft. Foto: Hugo Bernatzik, Wien, vor 1930

## Lebende Brücken

Lebende Brücken sind aus lebenden, pflanzlichen Organismen quasi "gebaute" Brücken. Die auf das Ziel einer künftigen Brücke ausgelegte Führung des pflanzlichen Wachstums wird hierbei bewusst von örtlichen Bewohnern betrieben. Diese Brücken sind eine Sonderform der zugbeanspruchten und auch der momentenbelasteten Brücken. Einerseits werden sie in manchen Fällen von starken, verwachsenen Luftwurzeln, die von Ästen eines Gummibaumes herabhängen und auch mit der Brücke zusammengewachsen sind, getragen. Dabei wirken die Luftwurzeln wie die Tragseile bei Schrägseilbrücken. Andererseits gibt es oft auch neben der Lauffläche an Fachwerkträger erinnernde Verwachsungen von vielfach miteinander verwachsenen Luftwurzeln, die im Bereich der seitlichen "Handläufe" so miteinander verwobenen und zusammengewachsen sind, dass sie statisch wie ein Fachwerk wirken können.

Von unten können diese Brücken kaum gestützt werden, da der Flussraum unter diesen Brücken möglichst freigehalten werden soll, damit bei extremen Regenereignissen die zu erwartenden Wassermassen in der Monsunzeit unter der Brücke möglichst ungehindert passieren können und möglichst nichts hängen bleibt, das sich zu einer Barriere aufbauen könnte.

Der Gummibaum, der "Ficus Elastica", aus dem alle Brücken im Nordosten Indiens in der Provinz Meghalaya bestehen, hat natürlich auch eine begrenzte Lebenszeit, auch wenn er mehrere hundert Jahre alt werden kann. Durch das ständige Weiterflechten bei den lebenden Brücken und das Verwachsen der alten mit den jungen Luftwurzeln kommt es wohl zu einer dauernden "Frischzellenzufuhr", die sich vielleicht auch lebensverlängernd auf das lebende Baumaterial der Brücken auswirkt. Abgestorbene Brücken aber verrotten und zerfallen relativ schnell. Daher ist später nur schwer nachweisbar, seit wann es die ersten lebenden Brücken gibt.

Vielleicht können archäologische Grabungen oder andere Techniken der Nachweise erbringen, seit wann die jeweilige Zone besiedelt ist. So könnte zumindest eine zeitliche Grenze angegeben werden, vor der mit Sicherheit keine lebenden Brücken hier errichtet wurden. Die geografisch relativ begrenzte Verbreitung der lebenden Brücken ist wohl ein Zeichen für eine zeitlich nicht sehr weit zurückreichende Bautradition.

## Lebende Brücken in Nordost-Indien

Im Nordosten Indiens, nördlich von Bangladesch in der Provinz Meghalaya liegt ein stark durch Erosion zerklüftetes Plateau mit der Bezeichnung Shillong-Plateau, dessen höchste Erhebungen bis etwa 1800 m hinaufreichen. Auf dem Kalkstein des Shillong-Plateaus wachsen subtropische Regenwälder. Zwischen 60 und 1200 m Seehöhe gedeihen hier in der regenreichsten Zone Indiens auch Gummibäume. Es handelt sich dabei um den Indischen Kautschukbaum, den "Ficus Elastica". Das Klima in diesem Raum ist feuchtwarm und über lange Zeitphasen des Jahres vom Monsun geprägt. In der trockenen Jahreszeit sind die Bäche fast ohne Wasser. In der Regenzeit können diese Rinnsale aber zu reißenden Flüssen anschwellen (Ludwig et al. 2019:1).

Holz von gefällten Bäumen als Baumaterial für gezimmerte Brücken würde in diesem Klima ohne massiven Einsatz von Imprägnierungs- und auch anderen Konservierungsstoffe für Holz sehr schnell vergehen. Das Holz würde schimmeln und faulen, würde aber zusätzlich auch von Käfern und vor allem von Termiten befallen und unter normalen Voraussetzungen schnell vernichtet. Totes verarbeitetes Holz ist also kein nachhaltiger Baustoff für freistehende Brücken in der Region des Shillong-Plateaus.

Die Idee, totes Holz durch lebendes pflanzliches "Baumaterial" zu ersetzen, war daher eine geniale, kreative Erfindung der Khasi und Jaintia, die in dieser Region Indiens seit Jahrhunderten leben. Die Idee dazu könnte sich durch einen Zufall ergeben haben. Heute gibt es nördlich von Bangladesch in den Tälern des Shillong-Plateaus in den East Khasi und West Jaintia Hills eine relativ große Zahl von lebenden Brücken (Ludwig et al. 2020:74).

Bislang wurden 74 lebende Brücken von Wilfrid Middleton und Kollegen an der Professur für "Green Technologies in Landscape Architecture" an der Technischen Universität München unter Ferdinand Ludwig in Kooperation mit dem Institut für Biologie II; Arbeitsgruppe "Botanik – Funktionelle Morphologie und Bionik" an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg im Breisgau unter Thomas Speck im nordostindischen Gebiet des Shillong-Plateaus fotografiert, aufgenommen und dokumentiert.

Solange das pflanzliche Material lebt, verrottet es nicht. Brücken aus diesem lebenden Material sind also langlebig und nachhaltig. Sie können mehrere Jahrhunderte bestehen und der Witterung widerstehen. Die örtliche Würgefeigenart ist eine höchst widerstandsfähige Pflanze, die in dem warmen Klima sehr gut gedeiht. Sie ist semiepiphytisch und braucht nicht immer einen Wirtsbaum oder ein Bauwerk. Sie kann auch direkt vom Boden wie ein Baum erstaunliche Höhen erreichen. Meist aber keimt ein im Kot eines Tieres, meist eines Vogels, eingebetteter Samen in einer Astgabel eines hohen Baumes oder in einer erhöht gelegenen Vertiefung oder Ritze eines aufragenden Mauerwerks. Dort ist die Würgefeige im Wald dem Licht näher und wächst gleich in zwei Richtungen, einerseits nach oben weiter zum Licht und zugleich mit ihren Luftwurzeln nach unten, um im Boden wurzeln zu können und so auch von dort Nahrung zu beziehen.

Manche der aus den Luftwurzeln dieser Würgefeigen bestehenden lebenden Brücken erreichen erstaunliche Spannweiten. Eine von den 74 bislang untersuchten übersteigt sogar die Länge von 50 m. Wenn dann die Bäche in den Tälern dieser Region in der Regenzeit zu wilden reißenden Gewässern anschwellen, sind die aus lebendem Baumaterial bestehenden und vielfach vernetzten Brücken oft die einzige Möglichkeit, diese echten Wassergrenzen sicher zu überqueren.

Bei der lebenden Brücke beim Dorf Nongriat sind gleich zwei Brücken übereinander "gebaut" worden. Die untere kürzere Brücke ist die ältere, die obere längere ist die jüngere, die auch wesentlich mehr Zeit für ihre Herstellung brauchte. So hat das Dorf eine Brücke auf der gewünschten Höhe und quasi eine Notbrücke für den Fall, dass bei der zweiten ein Problem entsteht. Von weiter oben führt auch eine lange einläufige Freitreppe an den Zutritten der zwei Brücken vorbei bis zum Flussbett hinab, wo gestaffelt niedrige Wasserbarrieren errichtet wurden, hinter denen in der Trockenzeit etwas Wasser zurückgehalten wird. Auch auf der Gegenseite führt eine Treppe von oben hinab, hier allerdings nur bis zur unteren lebenden Brücke

Beide Brücken beziehen ihre "Bausubstanz" von nur einer Würgefeige. Die untere Brücke hängt erstaunlich wenig durch und kommt fast ohne "Zuganker" von oben aus. Diese beschränken sich wohl auf die zwei

Randzonen. Die obere Brücke hingegen verfügt über mehrere schräg verlaufende "Zuganker".

**Folgende Seite:**

**Abb.: 71**

**Die zwei lebenden Brücken beim Dorf Nongriat queren das Tal übereinander, wobei die untere die kürzere und ältere ist. Ganz vorne erkennt man eine Barriere durch das Flussbett, die zur Zeit der Aufnahme nur wenig Wasser aufhalten konnte. Ganz im Hintergrund sieht man eine zweite niedrige Wassersperre. Links sieht man eine lange Treppenanlage, die bis zum Flussbett hinabreicht. Die Becken unten dienen wohl der Wasserbeschaffung während der Trockenzeit. Die Brücken sind vielleicht 200 Jahre alt. Foto: Wilfrid Middleton, München, 2019**







Abb.: 72  
Die lebende Brücke beim Dorf Nongbareh soll so alt sein wie das Dorf selbst. Ihr Alter dürfte daher mehrere hundert Jahre betragen.  
Foto: Wilfrid Middleton, München, 2019

Abb.: 73  
Die Brücke beim Dorf Nongbareh von unten gesehen.  
Foto: Wilfrid Middleton, München, 2019

Abb.: 74  
Ein junger Mann begeht die lebende Brücke.  
Fotos: Wilfrid Middleton, München, 2018

Abb.: 75  
Die Brücke beim Dorf Nongbareh mit einem Fußgänger auf der Brücke.  
Foto: Ferdinand Ludwig, Professur für "Green Technologies in Landscape Architecture", Technische Universität München, 2019



## Bau einer Lebenden Brücke

Wenn die Bewohner eines Ortes eine neue lebende Brücke planen (Ludwig et al. 2020:74), so ist das ein Langzeitprojekt und nicht eine Brücke, die es bereits im darauf folgenden Jahr geben wird. Zuerst wird ein Gummibaum an einem der Ufer des Flusses oder neben der zu überwindenden Schlucht gepflanzt. Wenn die Brückenbauer Glück haben, wächst bereits ein Gummibaum an einer geeigneten Stelle. Dieser bildet nach einiger Zeit neben seinen Wurzeln im Erdreich zusätzliche Luftwurzeln, die von den Ästen gewöhnlich bis zum Boden senkrecht hinunterwachsen, um dort selbst wieder zu wurzeln. Das verleiht einem solchen Baum auch eine erhöhte Standfestigkeit.

Die örtlichen Brückenbauer hindern aber die Luftwurzeln daran, vertikal nach unten zu wachsen, und leiten sie stattdessen horizontal über eine eher kurzlebige, leichte aus Bambus oder aus den dünnen Stämmen von Areca-Palmen konstruierte Brücke. Diese Brücke wird parallel zur Aufzucht des Gummibaumes gleich daneben errichtet und über den Geländeeinschnitt und Fluss gespannt. Die Luftwurzeln werden nun während ihres Weiterwachsens um die dünnen Stangen der Brücke gewunden, bis sie ihr anderes Ende erreicht haben. Hier werden sie in fruchtbare Erde geführt, damit sie nun tatsächlich wurzeln können. In weiterer Folge entstehen dann Tochterluftwurzeln, die ebenso ans Ufer gelenkt werden und dort auch wieder im Erdreich wurzeln (Ludwig et al. 2020:74).

Bei dem oben beschriebenen Vorgang versucht man die ersten Luftwurzeln mit den zweiten zu einer Art Gitter auf die Weise zu verflechten, dass die Luftwurzeln durch künstlich herbeigeführte Verletzungen und Aneinanderführungen zur Kallusbildung gebracht werden. Durch ein leichtes Aneinanderpressen zweier Wurzeln kann es auch zu Verwachsungen kommen. Auf diese Weise bemüht man sich darum, dass die Luftwurzeln zu einem gemeinsamen zusammenhängenden gitterartigen Pflanzenkörper zusammenwachsen. So entsteht mit der Zeit, oft erst nach Jahrzehnten, langsam ein tragfähiges lebendes Naturgitter, das eine Überquerung der Brücke ohne zusätzliche Abstützungen unterhalb zulässt. Dann ist die primäre provisorische Konstruktion aus toten pflanzlichen Baustoffen meist längst vermorscht und verrottet. Nur bei genauer Betrachtung



der lebenden Brücken erkennt man an manchen Stellen noch ihre Reste.

Zur weiteren Sicherung bemüht man sich über die gesamte Länge der Brücke darum, Luftwurzeln von höheren tragfähigen Ästen des Gummibaumes als lebende Zugelemente zur Brücke hinunter zu ziehen, dass sie mit den Luftwurzeln der Brücke verwachsen. So können quasi pflanzliche "Hänger" entstehen, die wie schräg gespannte Seile zwischen tragenden Kabeln einer Hängebrücke und der Laufebene wirken.

In der Provinz Meghalaya im Nordosten Indiens, wo über weite Perioden des Jahres das Wetter extrem feucht ist, sind die lebenden Brücken jeder Art von



Brücken aus pflanzlichem totem Material unvergleichlich überlegen. Für die Herstellung der lebenden Brücken werden vielleicht in manchen Fällen mehr als hundert Jahre benötigt. Solange aber das Material einer solchen Brücke lebendig bleibt, wird dieses lebende Baumaterial weder von Termiten, noch von Schimmel, anderen Pilzen oder auch von Holzkäfern befallen. Bedauerlicherweise ist der Gummibaum in der trockenen Jahreszeit leicht entflammbar (Middleton et al. 2020:17 Fig 13c) und daher sind auch die aus ihm hergestellten Brücken in der Trockenzeit stark durch Feuer bedroht.

**Abb.: 76**

**Eine lebende Brücke in der Provinz Meghalaya nordöstlich von Bangladesch. Sie spannt sich fast wie eine Hängebrücke über das Tal. Foto: Ferdinand Ludwig, Professur für "Green Technologies in Landscape Architecture", Technische Universität München, 2019**

**Folgende Seite:**

**Abb.: 77**

**Manche der Brücken überwinden ihr Tal in schwindelnder Höhe.**

**Foto: Ferdinand Ludwig, Professur für "Green Technologies in Landscape Architecture", Technische Universität München, 2019**







Lebende Brücken gibt es auch auf Sumatra, Java und in einer weiteren Provinz Nordostindiens, im Nagaland (persönliche Information von Wilfrid Middleton 2021). Angesichts der geografischen Nähe zum Nagaland dürfte es hier zu einem Informationsaustausch gekommen sein. Da immer wieder Wissen durch Handel auch über den Seeweg verbreitet wird, gab es vielleicht auch einen Techniktransfer bis nach Indonesien.



Abb.: 78

Detail einer lebenden Brücke mit einem Netz aus miteinander verwachsenen Luftwurzeln der Würgefeige. Sie bilden ein extrem gut miteinander verbundenes, sehr widerstandsfähiges, stabiles Geflecht, fast wie bei einer Fachwerkbrücke. Foto: Ferdinand Ludwig, Institut für "Green Technologies in Landscape Architecture", Technische Universität München



Abb.: 79

Bei den meisten niedrigen lebenden Brücken ist der Raum unter der Brücke relativ sorgfältig freigeschnitten, damit bei starken Regenereignissen keine Staufahren unter diesen Brücken entstehen. Bei dieser Brücke erkennt man auch einige der Stangen, die ursprünglich als Gerüst für die Führung der Luftwurzeln dienen. Wenn die Wurzeln ausreichend miteinander verwachsen sind und bereits selbst ein stabiles Gerüst formen, wird das ursprüngliche Stangengerüst nicht mehr gebraucht und kann langsam wegmorschen. Bündel von Luftwurzeln, die von oben kommen, tragen die Brücke auch zugbeansprucht.



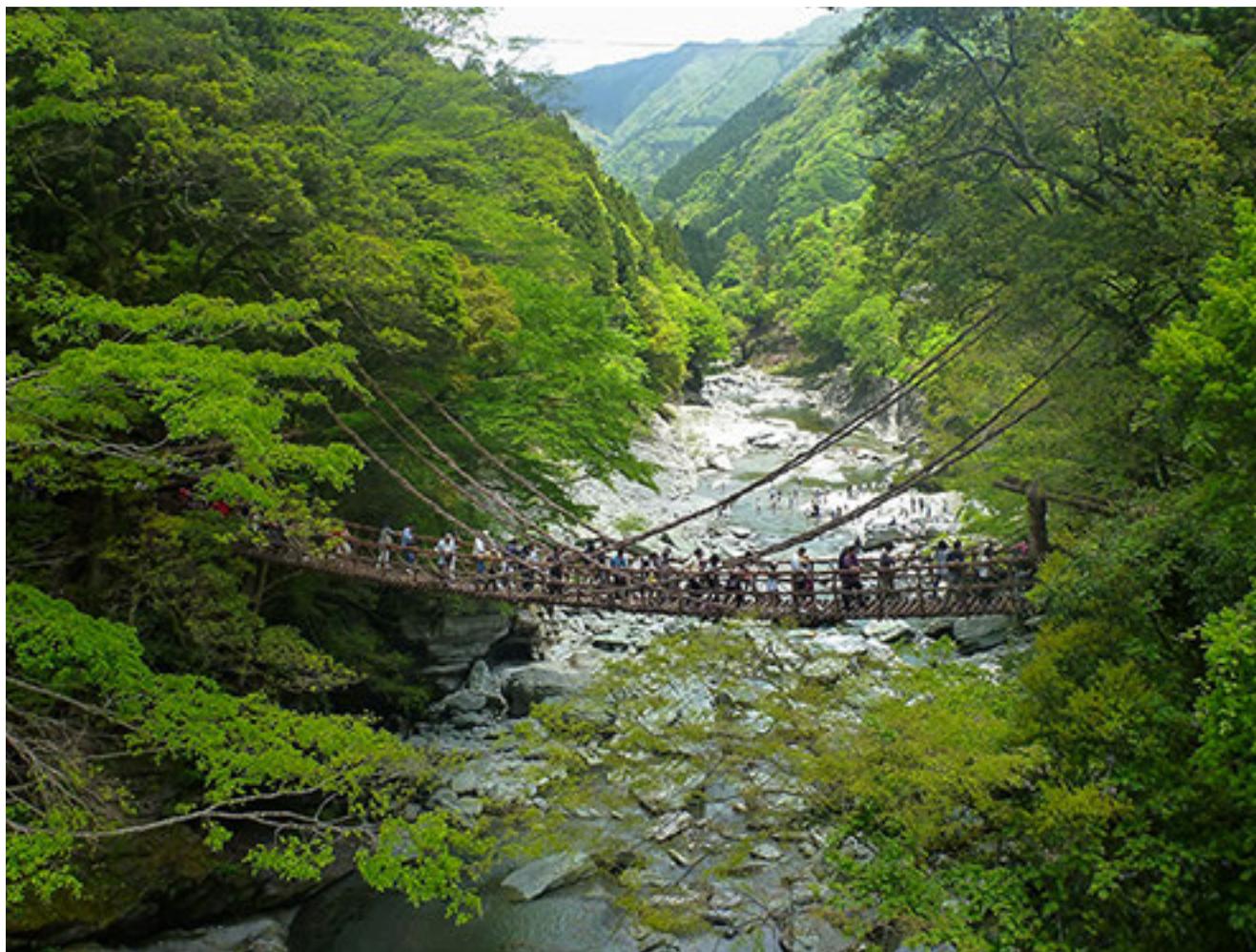
Abb.: 80

Durch eine derartige Umschlingung beispielsweise kann man eine Kallusbildung und Überwallung zwischen zwei Luftwurzeln des "Ficus Elastica" laut Thomas Speck aus Freiburg provozieren (Ludwig 2020:74). Es gibt zahlreiche Techniken, die von den örtlichen Brückenbauerinnen und Brückenbauern in Erfahrung gebracht werden konnten (Ludwig et al. 2019).



Abb.: 81

Auch bei dieser Brücke ist der Durchlass für das Wasser völlig ausgeräumt. Es wird darüber berichtet, dass die Bäche in den Monsunmonaten zu reißenden Strömen werden können(Ludwig et al.2019:1).  
Fotos: Ferdinand Ludwig, Institut für "Green Technologies in Landscape Architecture", Technische Universität München



## Halblebende Brücken in Japan

Auf der kleinsten der vier großen Inseln Japans, auf der Insel Shikoku, im zur Präfektur Tokushima gehörigen, recht engen Iya Tal gibt es eine seit etwa 800 Jahren gepflegte Tradition von halblebenden Hängebrücken über den gleichnamigen Iya Fluss. Die Laufflächen dieser Brücken bestanden und bestehen gewöhnlich aus nicht mehr lebenden rektangulierten Holzstäben oder Rundhölzern. Diese wurden früher angeblich von lebenden Weinranken, heute jedenfalls nur von geernteten Weinranken, die zu regelrechten Tauen verflochten werden, getragen. Die Brücken hängen samt Handläufen etwas durch. Damit das Durchhängen nicht zu stark wird, werden die Brücken von weiteren mächtigen Tauen getragen, die wieder aus zahlreichen weiteren miteinander verflochtenen geernteten Weinranken bestehen und rechts und links der Brücke über die Astgabeln von hohen Bäumen an beiden Ufern geschlungen getragen werden. Diese Tauen wirken wie bei einer Schrägseilbrücke und tragen die Brücke mit.

Abb.: 82

Die halblebende Kazurabashi Brücke über den Iya Fluss, dessen Tal zur Präfektur Tokushima gehört und auf der Insel Shikoku in Japan liegt. Die Brücke wird von an beiden Ufern stehenden hohen Bäumen und von miteinander verflochtenen geernteten Weinranken, die über hohe Baumgabeln dieser Bäume gespannt sind, mitgetragen. Die Lauffläche wird von nicht mehr lebenden Rundhölzern oder Holzstäben gebildet, die mit Hilfe von ebenfalls geernteten Weinranken an die Tragkonstruktion angebunden sind. Die Tragkonstruktion besteht allerdings wieder aus Tauen, in die aus Sicherheitsgründen heute kaum sichtbare Stahlkabel eingeflochten sind. Heute bestehen die aus bereits abgeschnittenen Weinranken geflochtenen Kabel aus einem Material, das immer wieder neu beschafft werden muss. Nur die tragenden Bäume sind ein lebendes Baumaterial bei diesen halblebenden Brücken.  
Foto: Kzaral (Wikipedia upload, CC AT 2.0)

Von den ursprünglich dreizehn im Iya-Tal existierenden Brücken ist die Kazurabashi-Hängebrücke die bekannteste und wohl auch eine der letzten, die überlebt hat.

Die Kazurabashi-Brücke ist 45 m lang und überspannt, an der Brückenmitte gemessen, den Iya-Fluss in gut 10 m Höhe über dem Fluss. Sie wird, wie schon beschrieben, vor allem durch mehrere Bündel gedrehter, nicht mehr lebender Weinranken auf beiden Seiten des Flusses getragen. Damit die tragenden Bäume durch diese Last nicht langsam in den Fluss gezogen werden, gibt es ein ganzes System von ausgeklügelten Abspannungen auf beiden Ufern. So werden auch die Bäume selbst zum Hang des Tales wieder zurückgezogen, quasi zurückgehalten. Diese Bäume sind an diesen halblebenden Brücken heute das einzig wirklich Lebende.

Heute sind aus Sicherheitsgründen unter den Gehflächen und in den über die Bäume gespannten Weinrebentauern außerdem zusätzlich dünne Stahlseile so eingeflochten, dass sie von den Weinrebentauern zugleich gut kaschiert sind. Durch die Befestigungen der Hölzer mit den Ranken auf ihren tragenden Stahlkabeln sind die Stahlseile unter der Gehfläche kaum wahrnehmbar. Aber auch die seit längerem ebenfalls aus Sicherheitsgründen in die Weinrankentaue eingeschlossenen Stahlkabel sind quasi unsichtbar. - Ähnliche Sicherheitsmaßnahmen wurde auch bei vielen Brücken in Nordwestindien in der Himalaya Region Kaschmir schon vor rund 50 Jahren eingeführt.

Der wesentliche Unterschied zu den lebenden Brücken in Nordostindien liegt im Konzept. Die japanischen halblebenden Brücken waren von Beginn an so konzipiert, dass schon vor rund 800 Jahren ihre Laufflächen aus Holzstäben bestanden, also aus einem nicht mehr lebenden Baumaterial errichtet wurden. Dadurch läuft in diesem Architekturdetail die Alterungsur jeder dieser Brücken. Die Lafebene müssen also immer wieder erneuert werden. Auch die über die seitlichen Bäume gespannten tragenden Weinrankentaue der Brücken müssen immer wieder neu aus geernteten Weinranken gedreht werden. Nur die seitlich stehenden, die Weinrankenkabel tragenden Bäume sind lebende Architekturelemente dieser japanischen Brücken. Das unterscheidet sie wesentlich von den reinen, lebenden Brücken nördlich von Bangladesch im Shillong-Plateau, denn hier sind gewöhnlich ausnahmslos alle

Bauelemente lebend und unterliegen daher über lange Zeiträume nicht oder kaum der Alterung und Zersetzung.

Auch heute gibt es immer noch einige der japanischen "Weinbrücken", die auf Grund ihrer besonderen Konstruktionsweise vor einigen Jahren zum bedeutenden Volksgut Japans erklärt wurden.

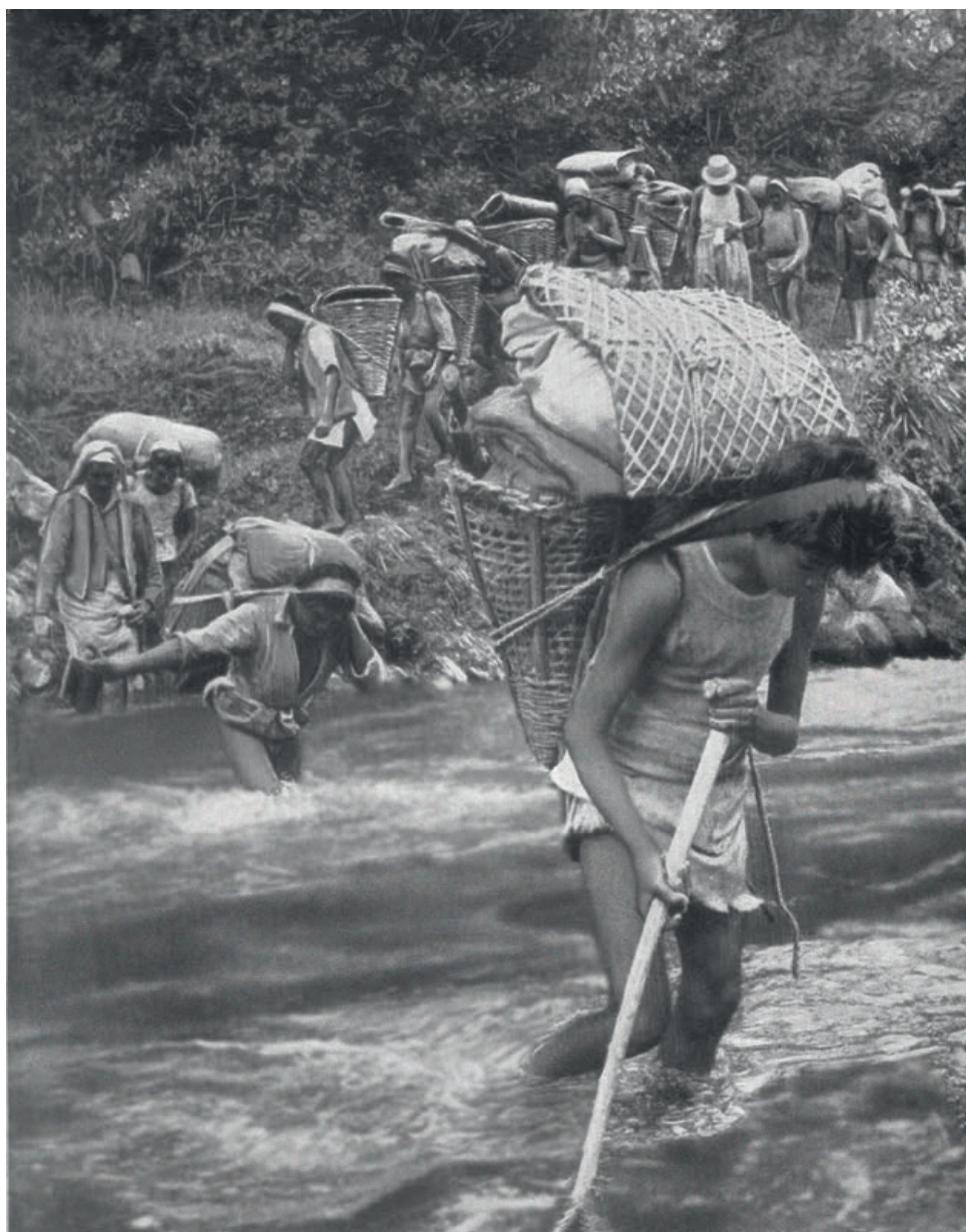
## Hängebrücken mit Metalltragwerken

In China war die Technik des Schmiedens spätestens zu Beginn des 1. Jt. v. Chr. bereits bekannt. In der Han-Dynastie wurden offenbar schon im 1. Jh. n. Chr. auch Kettenbrücken über Hindernisse gespannt. Obwohl es von dieser vielleicht frühesten Kettenbrücke keine materiellen Reste mehr gibt, kann es sich hierbei wohl nur um geschmiedete Kettenglieder gehandelt haben, da gegossene Eisenelemente viel zu bruchanfällig gewesen wären und wohl nur ein Schmiedevorgang das Schließen jedes zweiten Kettengliedes ermöglichen konnte.

## Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen auch in der Himalaya Region

Es gab offenbar im Himalaya Gebirge und auch in dessen Randzonen mit den vielen, tief eingeschnittenen Tälern wohl schon sehr früh Hängebrücken zur Überwindung der vielen topographischen Hindernisse, ähnlich, wie auch in der Neuen Welt in den Anden.

Das ging offenbar mit einem ausgeprägten grundsätzlichen Denken in überwiegend zugbeanspruchten Konstruktionen einher. Man kann wohl alle unterschiedlichen Kulturen nach ihrem konstruktiven Denken in zwei unterschiedliche Gruppen teilen. Die einen denken eher



**Abb.: 83**  
Offenbar sind die Träger auf diesem Foto noch in einer wärmeren Klimazone unterwegs und durchqueren relativ leicht bekleidet gerade ein schnell fließendes Gewässer in Nordostnepal. Die Lasten tragen sie ausnahmslos mit Hilfe von Stirnlastbändern auf dem Rücken (Tichy 1955:8a).

in zugbeanspruchten und die anderen vorwiegend in druckbeanspruchten Konstruktionen. Diese unterschiedlichen Denkmuster beschränken sich nicht allein auf die Konstruktion von Brücken oder allgemeiner auf das Bauen, sondern durchziehen quasi alle Lebensbereiche.

Wie bei den Maya und anderen Kulturen des frühen Amerika brachte auch dieses spezifische Denkmuster viele weitere zugbeanspruchte Konstruktionen und Techniken im täglichen Leben hervor. Angesichts der Han-zeitlichen Kettenhängebrücke von Kintany in China aus dem Jahr 67 n. Chr. mit einem Tragsystem aus geschmiedetem Eisen muss man davon ausgehen, dass es schon lange vorher Hängebrücken aus vergänglichem Material als Vorbilder dazu gegeben hatte.

Eine Kettenbrücke aus Eisen wird nicht plötzlich ohne entsprechendes Umfeld aus dem Nichts erfunden. Da die Han-Dynastie auch die südwestliche Provinz des heutigen China Yunnan schon Ende des 2. Jh. v.Chr. unter ihren Einfluss brachte, kamen die damaligen Han-Chinesen zwangsläufig auch mit den dort vermuteten Hängebrücken der Himalaya Region in Berührung. Durch die Provinz Yunnan fließen gleich mehrere Oberläufe von großen südostasiatischen Flüssen, wie vom Jangtsekiang, oder der Daying Fluss, der Oberlauf des Irrawaddy in Myanmar oder der Lancang Fluss, der Oberlauf des Mekong in Kambodscha und Vietnam.

Diese Flüsse teilen Yunnan in viele langgezogenen Gebirgsstreifen. Es handelt sich bei Yunnan in großen Teilen

**Abb.: 84**

**Auf ihrem Weg zum Fuß des Cho Oyu Berges in Nepal mussten Herbert Tichy und seine Begleiter 1954 auch zumindest eine Kettenbrücke überqueren, die offenbar dem Typus entsprach, den schon Thangtong Gyalpo in der ersten Hälfte des 15. Jh. schmiedete - vielleicht stammte die Brücke noch von ihm selbst oder einem seiner Schüler, möglicherweise aber auch von einem seiner Vorgänger. Jedenfalls sind die einzelnen sichtbaren Kettenglieder alle etwas unterschiedlich geformt – also sicher kein Industrieprodukt. Es handelte sich mit Sicherheit bei den zwei im Bild sichtbaren tragenden Ketten der Brücke um handgeschmiedete Kettenglieder. Außerdem hängen auch bei dieser Brücke die Ketten und die Lauffläche etwa parallel zueinander durch wie bei der Chushul Chagsam Kettenbrücke bei Lhasa.**

**Ein Foto der von Thangtong Gyalpo 1430 geschmiedeten, 137 m langen, im 19. Jh. funktionslos gewordenen Brücke bei Lhasa von 1904 zeigt nur noch die zwei langen durchhängenden Ketten ohne die ursprünglich angehängte Lauffläche aus vergänglichem Material. Die rund 33 cm langen Kettenglieder hatten eine ganz ähnliche Form und Proportion wie die Kettenglieder der Brücke im Nordosten Nepals; die Glieder in Nepal hatten geschätzte ca. 20 - 25 cm Länge (Tichy 1955:8b). Fotos: Herbert Tichy, 1954**





**Abb.: 85**  
**Bei dieser Frau in Menghun in Yunnan in China am Oberlauf des Mekong und auch bei fast allen anderen Trägerinnen wurde mit dieser Spezialkonstruktion ein Teil der Last von der Stirne mit einem in das Stirnlastband integrierten Schulterbrett mit Halsausschnitt auf die Schultern übertragen.**  
**Foto: Hasso Hohmann, 1994**

um eine Gebirgsregion, in die sich die genannten und viele andere Flüsse tief eingeschnitten haben. Man kann davon ausgehen, dass es hier schon wesentlich früher Hängebrücken aus vergänglichem Material gab. Sonst hätte man sich in dieser topographisch so stark gegliederten Zone kaum überregional bewegen können. Von hier und dem angrenzenden Tibet und Nepal dürften die Hängebrücken ins damalige China gelangt sein. Die Suche im technisch schon sehr viel weiter entwickelten Han-zeitlichen China nach einem Material mit deutlich höherer Beständigkeit führte offenbar zum Schmiedeeisen und zur Hängebrücke von Kintany und anderen Eisenkettenbrücken.

In Yunnan hatte sich aber parallel zur Entwicklung von Hängebrücken auch ein viel umfassenderes Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen entwickelt. Dem Autor fielen unterschiedliche Varianten von Hilfsmitteln zum Tragen schwerer Transportgüter auf, die praktisch alle auf dem Rücken getragen werden. Viele, vor allem Frauen, nutzten hier Stirnlastbänder. Als sich Herbert Tichy 1954 im Nordosten Nepals zum Cho Oyu, einen Berg mit 8188 m Höhe, als Erstbesteiger aufmachte, fotografierte er seine Trägergruppe, die ausnahmslos mit den klassischen Stirnlastbändern die schweren Lasten für die Bergbesteigung auf dem Rücken trugen. Das Foto hätte man auch irgendwo im 20. Jh. in Lateinamerika machen können.

In der gesamten Region um Menghun trugen Frauen zum Teil erhebliche Lasten mit Hilfe von Stirnlastbändern, bei denen eine Spezialkonstruktion mit einem in das Band integrierten Schulterbrett mit Halsausschnitt einen Teil der Last von der Stirne auf die Schultern übertrug. Frauen mit Kleinkindern trugen diese in Tragetüchern, die ähnlich wie bei den Indígenas in Lateinamerika gehandhabt werden können. Wollen die Kleinkinder trinken, verdrehen die Mütter das Tragetuch um den Hals und über die Schulter und das Kind dabei nach vorne. Die Stirnlastbänder und auch die Tragetücher sind zugbeanspruchte Objekte aus dem täglichen Leben.

Bei wohl allen Wohnhäusern aus vergänglichem Material bestanden die Holz- bzw. Bambusverbindungen, auch die in den Dachstühlen, aus langen Bambusspanen oder aus Stricken aus anderen pflanzlichen harten Fasern, die oft kunstvoll zu echten Knotenverbindungen verarbeitet wurden. Auch die Palmblattdeckungen wurden Blatt für Blatt einzeln an die Dachlattung angeknüpft, so dass sie bei Sturm sicher mit den Latten auf dem Dach des Hauses verbunden blieben. Das sind alles zugbeanspruchte Verbindungen. Darüber hinaus gab es sehr viele andere zugbeanspruchte Dinge des täglichen Lebens, wie beispielsweise auch hier um den Hals und über die Schultern geschlungene Tragtücher für Kleinkinder. Man kann sicher zu Recht sagen, dass es – ähnlich wie in der Neuen Welt – auch in der Himalaya-Region und seiner Umgebung zumindest in der Vergangenheit zu einem gut erkennbaren Denken in überwiegend zugbeanspruchten Konstruktionen gekommen ist.

## Han-zeitliche Kettenbrücke bei Kintany in China

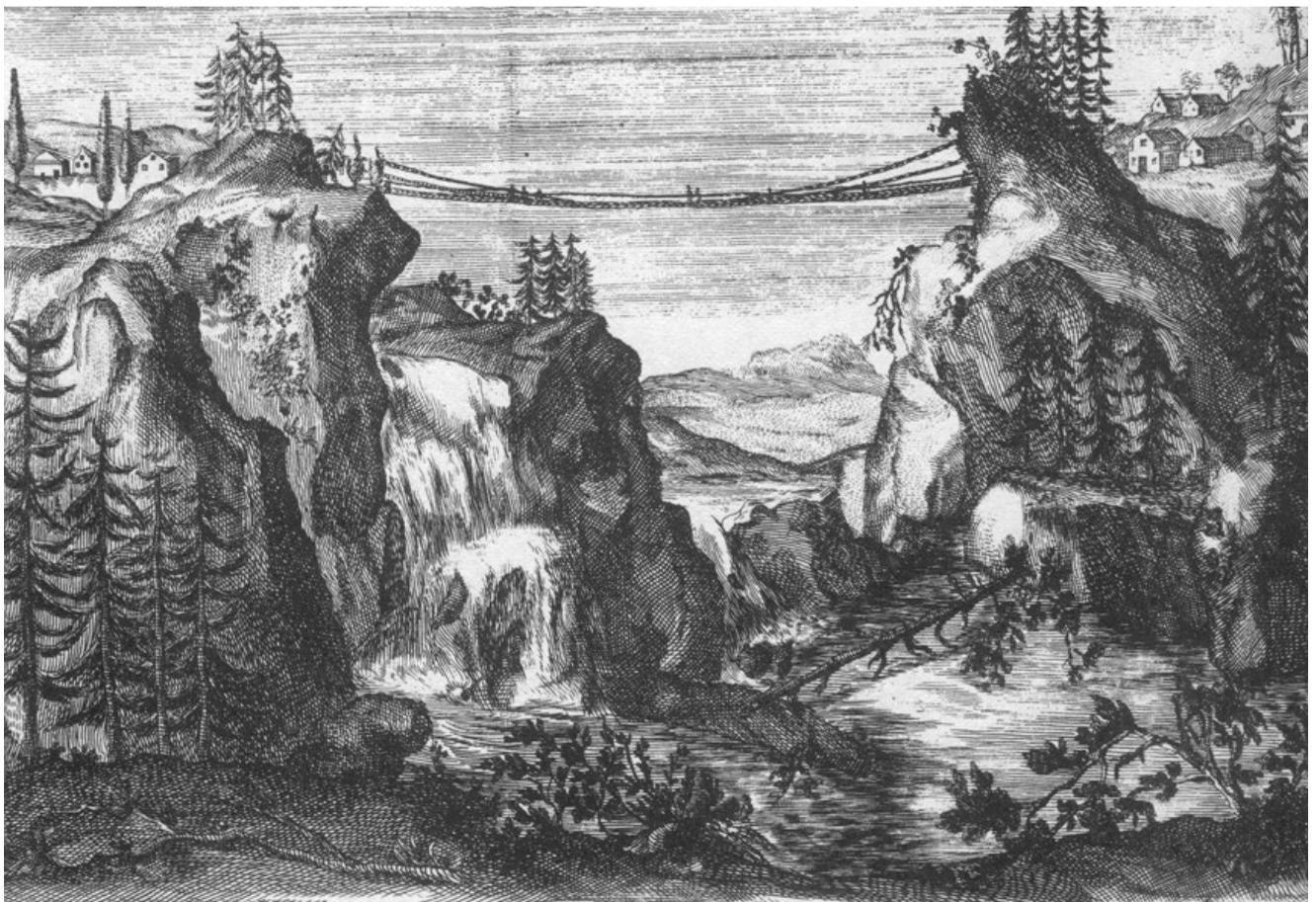
Zu den großen Innovationen Chinas - früher in Europa auch "Sina" genannt - in der Technikgeschichte gehört nicht nur die Erfindung von kleinen Raketen vor dem 13. Jh., sondern auch die von Kettenbrücken und das bereits um oder vielleicht schon vor dem Beginn unserer Zeitrechnung.

Über eine Kettenbrücke in der Gegend von Kintany - auch King-tung oder Kingtung-fu genannt - wurde bereits aus dem Jahr 67 n. Chr. berichtet, also schon zur Han-Zeit unter Kaiser Ming-ti (Martini 1655:160).

Martini beschreibt die Brücke folgendermaßen: "An der Abendseite der Stadt liegt eine große Brücke über einem sehr tieffem Thal .. dergleichen wie oben beschrieben .. auß lauter eysern Ketten zusammengeheftet: Der Ketten sind zwanzig .. jede zwölf Meßruthen lang: wann etwan viel Leut hinüber gehn .. wanket und zittert die Brück .. nicht ohne grausen der durchgehenden .. wegen der stürtzigen Felsen unter" (Martini 1655:161).

### Abb.: 86

Die hier gezeigte Kettenbrücke bei Kintany in China aus dem Jahr 67 n.Chr. ist eine hypothetische Rekonstruktion von Fischer v. Erlach, die kaum verändert neu gestochen wurde ((Leupold 1726:Tab.LVII). Die Brücke überspannte ein enges tiefes Tal mit einem Fluss an einem Talengpass und hatte eine Länge von 54,2 m. Sie ist leicht durchhängend von einem Felsvorsprung zu einem zweiten Felsvorsprung auf der gegenüberliegenden Seite des Tales gespannt und verband so zwei Siedlungsräume einer Stadt und ergab auch eine wichtige Straßenverbindung in gehobener Lage. Nach Taper hatten ihre Ketten eine Länge von gut 54 m (Jurecka 1979:44). Das dürfte auch ihrer Länge entsprechen. Die dargestellten Häuser auf beiden Seiten sehen sehr europäisch aus, da die Kupferstecher offenbar keine chinesischen Häuser kannten. Kupferstich: Greite Sc , vor 1726



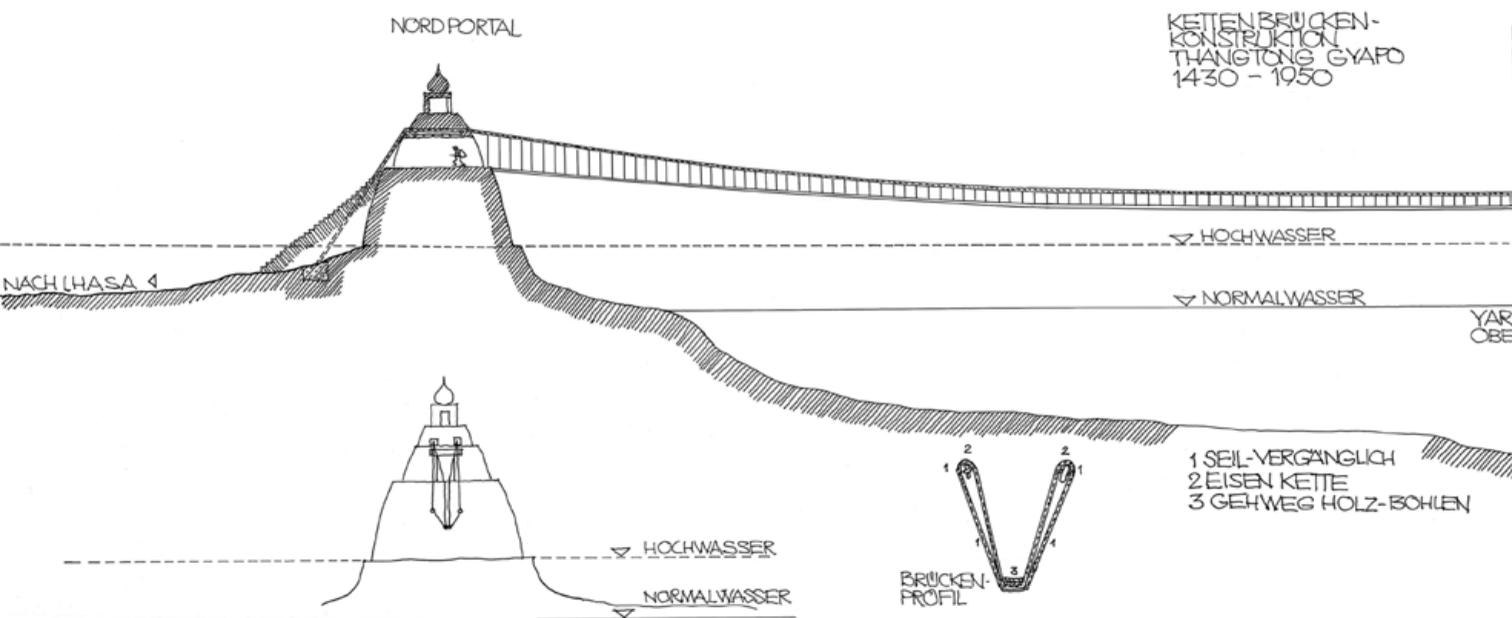
In anderen Berichten über die Brücke wird die nahe liegende Stadt als groß bezeichnet und ihr Name mit Muchoa (Jurecka 1979:44) angegeben. Auch A. Kircher (1672), O. Taper (1675), Faustus Verantius (1694), Schramm (1735), A. G. Meyer (1907, P. Zucker (1921), F. M. Feldhaus (1931) und andere berichten über diese und andere ähnliche frühe Brücken aus Eisen in der Region.

Wenn die Kettenlänge die Länge der Kettenbrücke vorgibt, war die Brücke King-tung-fu nach Martini also knapp 54,2 m lang und etwas weniger als 3 m breit. Sie bestand laut Beschreibung aus 20 gleich langen Ketten. Da die Brücke quasi die Hängebrücken aus vergänglichem Material in einem beständigeren Material nachgeformt haben dürfte, vermutet der Autor, dass sie ebenfalls etwas durchhing, wenn auch nicht ganz so stark, wie bei den Hängebrücken aus vergänglichem Material, aber die Form traditioneller Bauart hatte. Dann hätten zwei der Ketten die Handlauftrave quasi rechts und links ersetzt, die anderen 18 Ketten hätten parallel zueinander unter den Querbrettern der Brückenlauffläche die Tragseile ersetzt. Über diese Brücke hätte man bereits mit einem Fuhrwerk und Zugtieren fahren können.

Fischer von Erlach (1721) fertigte wohl als erster eine hypothetische Rekonstruktionsdarstellung zu der Brücke von Kintany aus dem Jahr 67 n. Chr. für seine "Historia Architectura" an und knapp danach auch der Kupferstecher Sc Greite für Jacob Leupold (1726) eine kaum veränderte Kopie der Grafik von Fischer von Erlach für sein Buch über Brücken und deren Konstruktionen.

Beide Rekonstruktionen sehen eine Brücke von etwa 54,2 m Länge vor. Bei beiden Versionen werden offenbar 14 Ketten unter der Lafebene eingesetzt, die etwas durchhängen, und außerdem auf beiden Seiten jeweils drei Ketten, die etwas höher am Felsen ansetzen und daher stärker durchhängen können. Diese wurden wohl zur Entlastung der Brücke und zugleich als seitliche Handläufe jeweils in bestimmten Partien verwendet. Die Brücke war mit Brettern quer belegt (Schramm 1735). Das zumindest leichte Durchhängen der Brücke war notwendig, damit auch die Ketten unter der Nutzfläche mittragen konnten.

Es gibt mehrere weitere unterschiedliche graphische Versuche einer Rekonstruktion dieser Brücke an Hand der Beschreibung (Jurecka 1979:44,45).



## Chushul Chagsam Kettenbrücke nahe Lhasa in Tibet

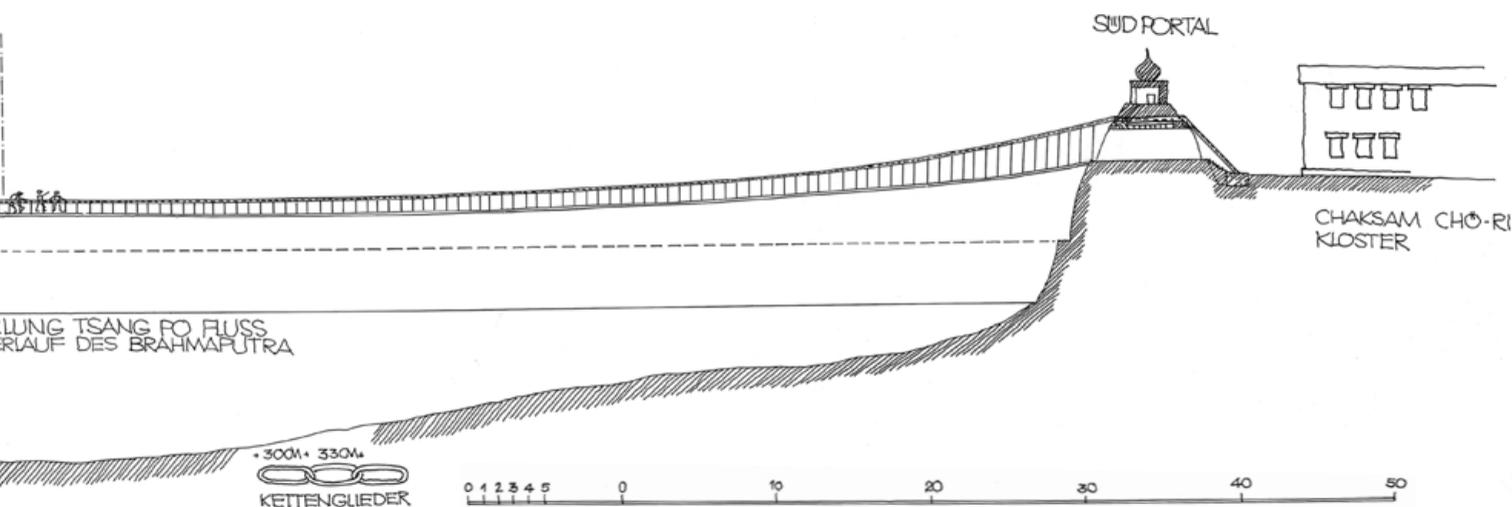
Thangtong Gyalpo wird als Buddhist, Mahasiddha, Philosoph, Architekt, Bauingenieur, Schmied und Brückenbauer beschrieben. Er wurde in Tibet wohl um das Jahr 1385 geboren. Er wirkte, lebte und schmiedete zumindest wohl bis 1464 hier wie auch in Bhutan mehrere Kettenbrücken und ließ zumindest auch ein Kloster bei der Chushul Chagsam Brücke errichten. Um 1430 baute und schmiedete er eine Kettenbrücke nahe Lhasa mit zwei Brückenportalen. Seine geschmiedeten Ketten sollen aus nichtrostendem Schmiedeeisen bestanden haben. Insgesamt soll er bis zu 58 derartige Brücken in Tibet und Bhutan geschmiedet haben.

Eine dieser Kettenbrücken war die Chushul Chagsam (übersetzt: Eisen-Brücke) über den Yarlung Tsangpo Fluss, den Oberlauf des Brahmaputra im Landkreis Qixü. Sie lag rund 55 km südwestlich von Lhasa etwas oberhalb der Einmündung des Lhasa Flusses in den Yarlung Tsangpo Fluss. Die Kettenbrücke wurde 1430 gebaut und geschmiedet und hatte nach Angaben von Wadell eine Spannweite von 137 m. Nahe dem südlichen der zwei Brückenportale baute Thangtong Gyalpo 1444 das Kloster Chagsam Chöri (auch Chakzam Chuwori genannt, übersetzt: Brücken Kloster) für rund 100 buddhistische Mönche.

1860 wurde die Brücke von einem Reisenden als sehr auffällig beschrieben. Die Auffälligkeit bezog sich offensichtlich auf die Lauffläche und ihre Anbindungen an die zwei Ketten. Die Ketten hingegen sollen bis 1950 fast keine Roststellen aufgewiesen haben. 1878

### Abb.: 87

Die 1430 n.Chr. geschmiedete Chaushul Chagsam Brücke über den Yarlung Tsangpo Fluss, den Oberlauf des Brahmaputra, 55 km südwestlich von Lhasa. Die Zeichnung zeigt die westliche Seitenansicht der Brücke samt den zwei Brückenportalen, deren Unterbauten und die zwei Schreine oberhalb. Neben dem Südportal ist das Chagsam Chö-ri Kloster rechts angedeutet. Die Niveaus von Normalwasser und Hochwasser sind angegeben. Die Südansicht des Nordturms wird mit dem Durchgang von der Brücke aus gesehen dargestellt. Ein Detail der Ketten und der Brückenquerschnitt ergänzen die Zeichnung. Zeichnung: Hasso Hohmann (unter Verwendung der Informationen aus dem Wadell-Foto und der Pundit-Zeichnung) 2020



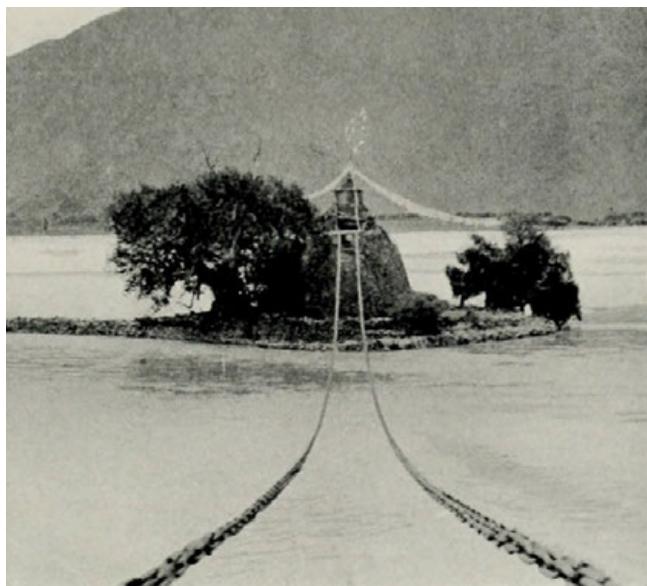
fertigte ein im Auftrag Großbritanniens in Tibet reisender Pundit A.K. alias Kishen Singh eine detaillierte Zeichnung der Brücke an und unternahm offenbar auch ein Grobaufmaß.

Danach handelte es sich bei dieser Brücke um eine Konstruktion, bei der die Lauffläche vollständig von den durchhängenden Eisenketten getragen wurde, bei der die Lauffläche selbst angeblich horizontal verlief, was aber angesichts des Durchhanges der zwei Eisenketten auf einer Schwarzweiß-Aufnahme aus dem Jahr 1904 eindeutig nicht zutreffend gewesen sein kann. Die Brücke zeigte jedenfalls eine klare Trennung von Tragketten und Lauffläche und damit eine sehr frühe Konstruktion, die der Konzeption heutiger moderner Hängebrücken weitgehend entspricht. Die Lauffläche muss aber ebenfalls etwas, aber geringfügig weniger stark als die Ketten durchgehungen haben.

Das ist ein Beleg dafür, dass fast zeitgleich in den Anden und im Himalaya für größere Hängebrücken eine Trennung zwischen stark durchhängenden reinen Tragtauen bzw. Tragketten und angehängten, nicht tragenden oder zumindest deutlich weniger tragenden, aber immer noch etwas durchhängenden und in manchen Fällen fast schon horizontal verlaufenden Laufflächen vollzogen wurde. Ursprünglich waren die oberen Handlaufataue hauptsächlich sich selbst tragend und übernahmen keine tragende Funktion für die Lauffläche der Brücken. Sie waren deshalb auch meist schlanker dimensioniert und dienten nur der seitlichen Absturzsicherung.

Bei der Chushuk Chagzam Brücke wurden zwei relativ hohe Brückenportale errichtet, über die man die zwei Ketten spannen konnte, um sie dann auf der jeweiligen Rückseite der Portale zum Boden hinunter zu spannen und im Boden gut zu verankern. Wie dieser Spannvorgang mit damaligen Mitteln bei dem doch erheblichen Gesamtgewicht jeder dieser Ketten bewerkstelligt wurde, ist leider nicht bekannt. Wahrscheinlich brauchte man lange zugfähige Seile aus vergänglichem Material und viele kräftige Personen, um jeweils eines der Enden der fertigen zwei Ketten durch den Fluss auf die zweite Seite zu ziehen und dann noch mehr Personen auf beiden Seiten, um die zwei Kettenenden über die Brückenportale zu spannen. Wie im Detail der Spannvorgang vor sich ging, wird man heute nur mehr schwer rekonstruieren können. Es wäre interessant gewesen, die Reste der alten Brücke auf Spuren dieses Vorganges zu untersuchen.

Der von Pundit gezeichnete Brückenquerschnitt zeigt auch etwas, das Wadell 1904 nicht mehr fotografieren konnte, den Laufsteg und dessen Befestigung an den Ketten. Der Brückensteg war, wie bei vielen dieser Brücken, sehr schmal und bestand aus nur etwa 30 cm breiten Brettern, die längs hintereinander gelegt die Lauffläche bildeten. Diese Bretter wurden von Seilen getragen, die aus Yak-Haar hergestellt und die in Abständen von etwas weniger als einem Meter an die zwei Ketten rechts und links angebunden waren. Möglicherweise waren die langen Bretter ursprünglich überlappend verlegt und bei den Überlappungen miteinander verbunden.



**Abb.: 88**

**Das Foto zeigt die Chaushul Chagsam Brücke über den Yarlung Tsangpo Fluss bei Hochwasser, die zwei geschmiedeten Ketten und den Nordturm mit Portal, den Turmdurchgang, sowie den kleinen Schrein mit aufgesetzter Flammenskulptur an der Spitze. Von dieser gehen noch drei durchhängende fahnenbestückte Stricke zu den zwei Bäumen rechts und links im Bild und zur Brücke hinunter, an denen vielleicht auch buddhistische Gebetsfähnchen in den fünf Farben der fünf Dhyani-Buddhas und mit dem Abbild des Windpferdes damals noch hingen. Foto: Wadell/Edmund Candler, 1904, Wikimedia CC-BY 3.0 AT (siehe Glossar, Abkürzungen 1)**

Da der mäandrierende Fluss wohl im 19. Jh. seinen Hauptlauf grundlegend änderte, wurde die Brücke funktionslos. Ab da mussten sich wieder alle Reisenden dem nicht ganz ungefährlichen Fährverkehr anvertrauen. Als die Brücke noch intakt war und der Fluss noch in seinem alten Bett floss, schien die sehr luftig gebaute, an den Ketten schwingende Brücke ohne seitlichen Absturzschutz vielen Reisenden nicht sicher genug. Daher zogen auch in den 500 Jahren, in denen die Brücke bestand, viele den Fährverkehr der Brücke vor.

Nachdem sich der mäandrierende Fluss ein neues Bett gesucht hatte und die Brücke dadurch funktionslos geworden war, wurden die schnell vergänglichen Teile der Brücke, die Seile und die Bretter des Laufsteges nicht mehr repariert oder ersetzt. Der Steg verfiel in wenigen Jahrzehnten vollständig und löste sich am Ende völlig von den Ketten der Brücke. Als Herr Wadell 1904 die Brücke fotografierte – es ist wohl das einzige Fotodokument dieser einzigartigen Kettenbrücke – war die Lauffläche bereits vollständig verschwunden. Die Brücke bestand nur noch aus den zwei parallel hängenden mächtigen Ketten und den zwei Brückenportalen. Eine Erhaltung und Restaurierung sowie die Rekonstruktion der angehängten Lauffläche wäre heute ein einzigartiges Dokument vergangener Brückenbaukunst in Tibet.

Das nördliche der zwei Brückenportale ist zwischen den zwei funktionslos gewordenen frei über dem Fluss hängenden Ketten im Schwarzweiß-Foto von Wadell zu sehen und bestand aus einem hohen massigen Unterbau, dem Portal und einem kleineren Aufbau für die Überspannung mit den zwei Ketten sowie aus einem kleinen Schrein an der Spitze, auf dessen Dach eine stilisierte Flamme aufragte. Der Fotograf Wadell machte außerdem eine grobe Vermessung.

Leider zeigen die Abmessungen der Brückenlänge von Pundit und Wadell keine Übereinstimmung. Bei Pundit wird die Spannweite mit 300 paces, Schritten, angegeben. Schritte werden gewöhnlich mit 75 cm gerechnet. Nach Pundit hätte die Spannweite der Brücke somit 225 m betragen. Da die Brücke damals schon in sehr schlechtem Zustand war, könnte Pundit vielleicht deutlich kürzere Schritte gemacht haben oder die Schrittzahl überhaupt nur geschätzt haben. Wadell gibt die Brückenspannweite mit 137 m an. Danach

hätte das Schrittmaß von Pundit durchschnittlich nur 46 cm betragen.

Selbst eine Spannweite von 137 m ist aber für eine Kettenbrücke aus dem Jahr 1430 mehr als beachtlich und weist sie als die längste zu ihrer Zeit und auch wohl für eine längere Zeitspanne danach noch aus. Das Foto von Wadell zeigt neben dem nördlichen Brückenturm auch eine großflächig von Wasser umgebene zugehörige kleine Insel. Das Foto muss also bei Hochwasser des Yarlung Tsangpo Flusses aufgenommen worden sein. Da die Brücke nicht mehr begehbar war, musste Wadell für sein Längenmaß wohl eine alternative Messmethode wählen.

Er konnte das Längenmaß der Brücke mit Hilfe eines Seiles bestimmen, dessen eines Ende mit einem Boot zum Nordportal hinüber gebracht werden musste. Er konnte dieses Seil zwischen den zwei Portaltürmen über das Wasser hinweg spannen und so ihre Distanz und damit die freie Spannweite ermitteln.

Die Alternative wäre gewesen, am Ufer des Flusses eine selbst gewählte Strecke unter den zwei Ketten des Südportals zu markieren, ihre Länge zu messen und von den zwei Endpunkten dieser Messstrecke die zwei Winkel in Richtung des Nordportals der Brücke auf der Insel zu ermitteln. So etwas kann man relativ genau sogar ohne spezielles Winkelmessgerät zeichnerisch auf einem Papier festhalten und daraus das Längenmaß zwischen den zwei Türmen zeichnerisch maßstäblich ermitteln.

Wadell war zusammen mit den Militärs des Britischen Tibet-Feldzugs (1903-1904) unterwegs. Die Truppe dürfte vermutlich auch einen Geodäten mitgeführt haben, für den eine solche Messung sicher das geringste Problem auf einer solchen Unternehmung dargestellt hätte.

Im Google Earth fand der Autor etwa sieben Kilometer westsüdwestlich von Qüxü bei Geizhongjiang, zwei knapp nebeneinander liegende neuere Brücken über den Yarlung Tsangpo Fluss, den Oberlauf des Brahmaputra und gleich nordöstlich daneben nahe beim Südostufer zwei markante Erhebungen, eine im Fluss auf einer Schotterbank und eine direkt am Ufer. Eine Messung der Distanz zwischen den zwei punktuellen Erhebungen ergab etwas über 130 m Entfernung.

Es handelt sich also offensichtlich um die Reste der zwei 1430 von Thangtong Gyalpo errichteten Brückenportale. Beim südöstlichen Portal sind auch oberhalb der Straße die Ruinen des von ihm 1444 errichteten Klosters Chagsam Chöri zu erkennen. Diese und die Portale der Brücke sollten möglichst genau untersucht, dokumentiert und die beiden Bauwerke zumindest zeichnerisch detailliert rekonstruiert werden. Ein Teil des südöstlichen Portals ist bereits durch eine zwischen Kloster und Portal verlaufende Straße zerstört worden, sodass man hier die südöstlichen Anker der zwei Ketten nicht mehr finden wird. Die Messung aus dem Google Earth zeigt zugleich, dass die Längenangabe von Wadell zutrifft, nicht aber die von Pundit. Die Koordinaten des Brückenportals auf der Sandbank werden in Google-Earth mit 29°19'52.66"N und 90°41'26.57"O angegeben; die Höhe beträgt 3595 m.

Das vom Autor in der planlichen Darstellung (Abb. 87) auch quasi als Maßstab rechts neben der Brücke zeichnerisch angedeutete Kloster Chagsam Chöri müsste nach der Identifizierung der Reste der Brücke und des Klosters im Google Earth leicht zur Seite nach rechts und nach oben verschoben werden. Das Kloster lag auf einem eingeebneten Plateau rund 30 m höher und fast 50 m weiter südöstlich des südöstlichen Brückenportals. Sollte man einmal die Reste des Klosters freilegen und konsolidieren, sollte auch nach allfälligen Überresten der einstigen Schmiede für die Ketten gesucht werden.

Die Kette bestand nach Angaben von Pundit aus etwa 33 cm langen und geschätzten 6 – 8 cm breiten Kettengliedern. Die Stäbe, aus denen die jeweiligen Kettenglieder durch Schmieden hergestellt wurden, hatten einen Querschnitt von 1 cm auf 2,5 cm und eine Länge von geschätzten 80 cm. Danach hätte jedes Kettenglied etwa 1,57 kg gewogen. Thangtong Gyalpo dürfte daher wohl die gesamte Kette an Ort und Stelle aus vorbereiteten Eisenstäben in einer dafür errichteten temporären Schmiede direkt bei der Brücke hergestellt haben.

Eine Alternative wäre gewesen, gewisse Kettenabschnitte in Lhasa zu produzieren und diese dann mit einem Yak-Karren zur Brücke bringen zu lassen, wo sie dann endgültig hätten zusammengeschmiedet werden müssen. Dazu wäre aber trotzdem eine funktionsfähige Schmiede bei der Brücke zusätzlich notwendig

gewesen. Vielleicht wurde aus dem Gebäude, in dem Thangtong Gyalpo bei der Brücke während ihres Baues die Kette schmiedete und in dem er auch wohnte, der erste Abschnitt des späteren Klosters Chagsam Chöri.

Bei einer Spannweite von 137 m und einem Durchhang von etwa 5 m sowie 4 m für die Abspannungen auf der Südseite und 9 m für die Abspannungen auf der Nordseite kommt man auf eine Gesamtkettlänge pro Seite von etwa 161 m. Da die Kettenglieder ohne Überlappung 30 cm lang sind, ergibt das 537 einzelne Kettenglieder für eine Seite der Brücke. Man kann also mit etwa 1074 Kettengliedern für beide Ketten rechnen. Das bedeutet, dass mindestens 1686 kg an Eisenstangen direkt zur Brücke zu Thangtong Gyalpo's Schmiede oder an geschmiedeten oder halbgeschmiedeten Kettengliedern aus einer Schmiede in Lhasa über 65 km mit von Yaks gezogenen Fuhrwerken auf zweifelhaften Wegen zur Brücke transportiert werden mussten. Außerdem mussten die zwei hohen Unterbauten für den hoch gelegenen Brückenantritt und die zwei Brückenportale errichtet werden. Der Unterbau unter den Portalen reichte nach Angaben von Pundit etwa 7,50 m über Normalwasserstand des Flusses. Mit Hilfe der Brücke konnte man allerdings nur bei Normalwasserstand über die Brücke nach Lhasa gelangen, denn bei Hochwasser war eine Strecke von etwas mehr als einem halben Kilometer vom Fluss zusätzlich hoch überflutet. In diesen Zeitabschnitten dürfte es jährlich für die Brückenbenutzer einen zusätzlichen Fährverkehr gegeben haben.

Woher Thangtong Gyalpo sein Roheisen im frühen 15. Jh. für seine Schmiedearbeiten bezog, ist wohl nicht bekannt. Da berichtet wird, dass seine Schmiedeeisenketten nicht rosteten, wäre die Herkunft des Materials vielleicht auch heute noch von Interesse. Damals gab es noch keine Lastkraftwagen und somit einen erheblichen Transportwiderstand. Die schweren Roheisenluppen mussten möglicherweise über große Strecken auf engen Pfaden und über unsichere Hängebrücken im gebirgigen Gelände transportiert werden.

1950 trugen die Chinesen die Reste der alten Kettenbrücke, sowie die zwei langen Ketten ab. Stattdessen errichteten sie eine neue Stahlbetonbrücke, die deutlich länger und hochwassersicher sein dürfte und vor allem auch mit Kraftfahrzeugen befahren werden kann. 1966

wurde sie eröffnet. Einige der geschmiedeten Kettenbrücken von Thangtong Gyalpo sollen angeblich bis ins 21. Jh. überlebt haben. Die Chaushul Chagsam Kettenbrücke südlich von Lhasa war zum Zeitpunkt ihrer Abtragung bereits 520 Jahre alt.

Von mehreren Jesuiten und vielen Reisenden gibt es etliche Beschreibungen und Berichte auch (Jurecka 1979:44) von verschiedenen anderen chinesischen Kettenbrücken. Es dürfte sich in der Regel um Ketten aus geschmiedeten Kettengliedern gehandelt haben.

Das Bestechende an Ketten ist, dass sich jedes Glied genau so in der Kette ausrichtet, wie seine optimale Richtung in Abhängigkeit vom sich leicht ändernden Kraftangriff durch bewegliche Nutzlasten in Form von Passanten, Lastenträgern, Reitern und durch das Eigengewicht von ihm gefordert wird.

Es gab auch immer wieder in der Vergangenheit, besonders seit dem 16. Jh., Pläne zur Errichtung von Kettenbrücken in Europa. Dies ging offenbar auf vermehrte Berichte über derartige Brücken in Asien zurück. Errichtet wurde eine solche Kettenbrücke wohl aber erst 1741 in Winch in Nordengland über den Grenzfluss Tees zwischen den Grafschaften Durham und York. Diese hatte eine Länge von 24,5 m und eine Breite von 70 cm (Hutchinson 1799:279). Bei dieser Breite muss man wohl auch bei ihr eher von einem Kettenbrückensteg sprechen. Man sieht daran, wie auch bei uns das Denken in dominierend druckbeanspruchten Konstruktionen die Einführung einer zugbeanspruchten Brückenkonstruktion lange verhindert hat, obwohl es bereits Jahrhunderte vorher bei uns Projekte zur Errichtung von Kettenbrücken gab.

Die meisten tibetischen Kettenbrücken dürften ähnlich wie die wohl erste Kettenbrücke in England ebenfalls nur schmale Brückenstege gewesen sein. Sie konnten in der Regel nur zu Fuß oder vielleicht auch mit einem Reittier überquert werden und brauchten daher auch nicht breiter zu sein. Fahrzeuge konnten auf der Chaushul Chagsam Brücke über den Yarlung Tsangpo Fluss jedenfalls nicht passieren. Solche mussten mit einer in der Nähe der Brücke vorhandenen Fähre übergesetzt werden oder man musste die zu transportierenden Güter über die Brücke tragen und von einem anderen Fahrzeug auf der Gegenseite des Flusses abholen

lassen. Die chinesische Kintany Brücke von 67 n.Chr. hingegen konnte angesichts der zahlreichen Ketten unter der Nutzfläche höchstwahrscheinlich auch mit einem Pferdewagen oder Eselkarren überquert werden. Da es damals wohl noch keine Trennung zwischen tragenden Ketten und davon getrennter Fahrbahn gab, war bei einer solchen Brücke durch das Nachgeben der Ketten unter der punktuellen Last eines Fahrzeuges eine sich am Ende der Brücke vergrößernde Steigung zu überwinden.

## **Menai Kettenbrücke zwischen Anglesey und Wales in England**

Am Nordwestende der Halbinsel Wales liegt die vorgelagerte Insel Anglesey, aus deren Hafen Holyhead viele Güter aus England zur irischen Hauptstadt Dublin verschifft wurden und werden. Die Insel Anglesey konnte man 1800, als sie an England angeschlossen wurde, nur bei Ebbe durch viele Wasserlöcher auf dem Landweg erreichen. Man überlegte daher, wie man diese Insel über eine Brücke dauerhaft mit Wales verbinden könnte und entschied sich bald für den Bau einer Kettenbrücke.

Anfang des 19. Jh. bemühten sich die Eisenproduzenten in England und bald auch in Deutschland und anderen Teilen Europas um die Verbesserung der Eisenqualität. Es gab latente Berichte über weitgespannte Kettenbrücken im fernen Asien. In England hing seit 1741 Europas wohl erste Kettenbrücke in Winch über den Fluss Tees. Das und die höhere Eisenqualität in Europa führten vielleicht dazu, dass man plötzlich in ganz Europa fast gleichzeitig Hängebrücken plante und konstruierte. So gab es bereits in Wien 1825 die Rotunden-Kettenbrücke. Im selben Jahr wurde auch in Köln eine Kettenbrücke auf Höhe von Deutz eröffnet. Die Kettenbrücke in Ozimek – Malapane - in Schlesien wurde 1827 fertig. Die Stadt Graz kam erst 1833 zu ihrer ersten von zwei Kettenbrücken.

Zwischen den Ortschaften Parc Menai in Wales und Menai Bridge auf der Insel Anglesey wurde die dort dringend notwendige Brücke nach acht Jahren Bauzeit 1826 eröffnet. Damit lag sie quasi in der ersten Runde der Kettenbrückenbauten in Europa. Da man die neue Konstruktionsweise zu Beginn der Kettenbrücken-Welle noch nicht voll ausgereizt hatte, fiel die Menai-Kettenbrücke vor allem durch ihre Größe und Spannweite auf. Sie überspannte eine stützenfreie Distanz von 177 m bei einer Gesamtlänge von 521 m und 30m Höhe. Heute gehört die Menai-Brücke zum "UNESCO-Weltkulturerbe der Menschheit". Als "Ketten" wurden sogenannte "Augenstäbe" geschmiedet, die mit Leinöl gegen Korrosion eingefettet wurden. Für die zwischen den Auflagern verwendeten 16 Kettenkabel wurden 935 dieser Augenstäbe hergestellt. Die Fahrbahn bestand ursprünglich aus Holz.

Ähnlich, wie bei der Acoma-Narrows-Hängebrücke in den USA mehr als hundert Jahre später, gab es auch hier bereits bei der Menai Hängebrücke im relativ kleinen Maßstab gleich zu Beginn Probleme mit der Aerodynamik. Nach erheblichen Windschäden wurden 1839 zunächst die hölzernen Brückenträger durch solche aus Eisen und später aus Stahl ersetzt. Auch der zunehmend schwerer werdende Verkehr erforderte zahlreiche Verstärkungsmaßnahmen.

**Abb.: 89**

**Die Menai Kettenbrücke von Westen aus gesehen. Im Hintergrund sind die hohen Berge von Nordwales zu sehen. Links erkennt man die gemauerten Bögen der Zubringerrampe auf Anglesey.**

**Foto: Bencherlite, 2009, CC-By SA 3.0 (siehe Abkürzungen)**

**Abb.: 90**

**Dieser Stahlstich zeigt die Menai-Kettenbrücke von Nordosten gesehen. Die Darstellung wurde bereits 1837 im nur vierbändigen Brockhaus abgedruckt (Brockhaus 1837, Band I:328, Abb. oben).  
Stahlstich: Anonymus 1837**



## “Grosse-Hängebrücke“ in Freiburg in der Schweiz

Freiburg im Kanton Freiburg in der Westschweiz ist eine typische Stadt in den Alpen mit starken Höhenunterschieden. Daher war und ist Freiburg auch heute noch eine Stadt vieler Brücken. Im 19. Jh. war in Freiburg vor allem der französische Konstrukteur Joseph Chaley für zwei innovativ konstruierte spektakuläre Brücken verantwortlich, die wohl auch für die späteren Stahlseilbrücken in aller Welt ein Vorbild wurden. Zu einer Zeit, als in ganz Europa Hängebrücken gerade erst mit Ketten konstruiert wurden, dachte Chaley darüber nach, wie man die Herstellung extrem vieler Kettenglieder und auch das mühsame Zusammenschmieden von ihnen umgehen kann. So experimentierte er mit geschmiedeten Drähten und wie man diese verarbeiten kann. Die Brücken mussten zunächst noch keine besonders großen Lasten tragen und konnten daher noch sehr leicht konstruiert werden. Die Hängebrücken des 19. Jh. in Freiburg wirkten daher trotz ihrer zum Teil erheblichen Spannweiten wie horizontale Striche in der Landschaft.

Die Grosse-Hängebrücke von Freiburg, der Grand Pont Suspendu über den Fluss Saane hatte eine Gesamtlänge von 379 m und eine stützenfreie Spannweite von 273 m. Sie war damit fast 100 m länger als die Menai-Kettenbrücke in England, die nur acht Jahre vorher fertiggestellt worden war. Die Brücke in der Schweiz verwendete bereits zwei jeweils gesplittete Kabel mit jeweils über 1000 Schmiedeeisendrähten und nutzte so eine wegweisende neue Technik. Erfinder der Drahtseil-Hängebrücken war aber sein Lehrer, der Franzose Marc Seguin.

Charley hatte 1829 bei Marc Seguin gearbeitet und war bei ihm an der Planung von zwei Brücken auch beteiligt. Marc Seguin hatte bereits 1823 mit der Passerelle de Saint-Antoine in Genf die ersten zwei Drahtseil-Hängebrücken der Welt errichtet, die zur Querung der Gräben der Festungsanlage von Genf als Fußgängerbrücken geplant waren und noch vergleichsweise bescheidene 33 m freie Spannweite hatten. Als die Festung von Genf 1849 abgerissen wurde, gingen auch die zwei Brücken nach nur 26 Jahren wieder verloren.

Die Kabel der Grossen-Brücke in Freiburg wurden über zwei mächtige gemauerte Portale mit jeweils 22,2 m

Höhe und 14 m Breite gespannt, für die mehrere Altstadthäuser abgetragen werden mussten, und war 1834 mit Abstand die längste Hängebrücke auf unserem Globus. Die Fahrbahn und auch die zwei Gehsteige waren durch die lichte Portalbreite von 5,86 m definiert und bestanden aus Holz wie auch die seitlichen Geländer. Dieses Material war recht leicht, musste aber über die Jahre immer wieder überprüft und gegebenenfalls ausgetauscht werden. Die Konstruktionsweise der zwei tragenden Kabel der Brücke erlaubte außerdem, dass ihre Tragkraft sukzessive nachgerüstet werden konnte, was im Laufe der Zeit auch immer wieder mit der Zunahme des Verkehrs und der Erhöhung des Gewichtes der einzelnen Fahrzeuge, insbesondere nach Einführung von Personen- und Lastkraftwagen, notwendig wurde.

Statt der sonst meist üblichen Ketten bei den vielen Hängebrücken des 19. Jh. wurden hier Tragseile aus durchgehenden, langen geschmiedeten Eisendrähten verwendet. Der Bau der Brücke dauerte von 1832 bis 1834. Für jede Seite der Brücke wurden zunächst 1056 durchlaufend geschmiedete Eisendrähte von nur 3 mm Durchmesser und etwa 400 m Länge zu zwei gewaltigen Schmiedeeisenkabeln nach einem ausgeklügelten System hergestellt und über jeweils drei 80 cm breite Rollen auf der rechten und der linken Seite auf jedem der Dächer der zwei Brückenportale geführt. Die zwei mächtigen Portale konnten direkt auf gewachsenem Fels gegründet werden und hatten so eine solide Basis.

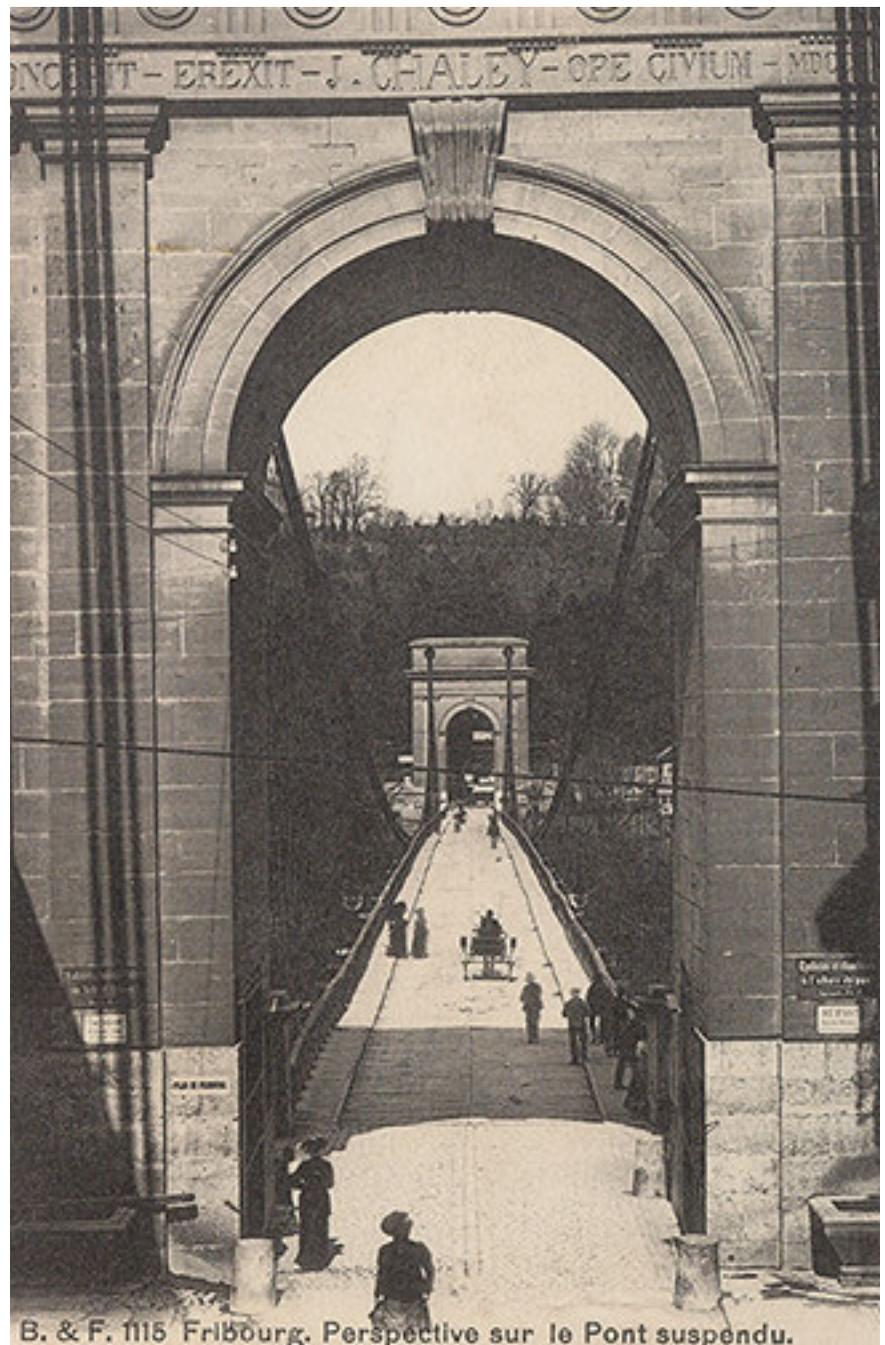
Die Verankerung der Taue erfolgte an vier Stellen nach einem speziellen System im gewachsenen Fels auf beiden Seiten der Brücke. Dem potenziellen Problem der Korrosion wurde auf doppelte Weise begegnet. Um auch bereits die ersten Ansätze von Korrosion entdecken zu können, ließ Joseph Chaley alle Brückenelemente aus Eisen weiß einfärben. Andererseits waren die tragenden Kabel so geführt und verankert, dass man gewisse Teile austauschen und auch verstärken konnte. Die Brücke verrichtete immerhin von 1834 bis 1923 ihren Dienst. Zu dieser Zeit war sie bereits fast 90 Jahre im Einsatz. Danach bevorzugte man statt einer weiteren Verstärkung der alten Brücke den Bau einer druckbeanspruchten Betonbogenbrücke knapp daneben, die allerdings ein echter Raumteiler im Tal wurde und nichts von der Leichtigkeit der Brücken von Joseph Chaleys mehr zeigt.

Als die Brücke 1834 fertig war, gab es angesichts der relativ feinen Konstruktion viel Skepsis hinsichtlich ihrer Haltbarkeit und Tragfähigkeit. Daher versuchte man die Freiburger von der Stabilität ihrer neuen Brücke dadurch zu überzeugen, dass man 15 der schwersten Geschütze von 50 Pferden auf die Brücke ziehen ließ und dazu noch weitere 300 Soldaten auf die Brücke brachte. Dann bei der Einweihungsfeier sollen 2000 Menschen im Gleichschritt zur Musik einer Militärkapelle auf der Brücke marschiert sein. Das wurde durchaus von manchen Statikern wohl zu Recht als Gefährdung der Brücke gesehen. Aber sie hielt auch das aus! Danach

durfte der gewöhnliche Verkehr mit Pferdefuhrwerken über die Brücke rollen.

**Abb.: 91**  
 Die 1834 errichtete "Grosse Hängebrücke" von Freiburg/Fribourg in der Schweiz überspannte den Saane Fluss im Zentrum der Stadt und erreichte mit ihren zwei mal 1056 nur 3 mm starken Schmiedeeisen-Drähten, die zu zwei gesplitteten Kabeln zusammengefasst wurden, eine stützenfreie Spannweite von 273 m und war damit damals die weitest gespannte Hängebrücke.

Foto: Sammlung Pro-Fribourg-Bourgarel, 1905 (KUB, siehe Glossar; Postkarte, Editor: Briquet & Fils in Genf)



B. & F. 1115 Fribourg. Perspective sur le Pont suspendu.

## Galtern-Hängebrücke in Freiburg in der Schweiz

Das Besondere an der Galtern-Hängebrücke in Freiburg ist, dass sie ohne Portale auskommt. Selbst die alt-amerikanischen Hängebrücken benutzten gewöhnlich für ihre Handlaufbaue seitliche Mauern oder gut gelagerte Türme, und in manchen Fällen bereits auch Portale, um darüber die oberen Tawe zu führen. Die Galtern-Hängebrücke hingegen verzichtete aus Kostengründen auf diese Art der Seilführung.

Es war eher eine pragmatische Entscheidung des Planers und Konstrukteurs Joseph Chaley, als die Auftraggeber den angekündigten, aber noch nicht erteilten Auftrag zur Errichtung der Galtern-Hängebrücke aus Kostengründen zurückziehen wollten. Chaley überlegte daher, wie man die Kosten der Brücke entscheidend senken könnte. Dann schlug er eine neue Konstruktionsweise vor, bei der die Brücke an eine Stelle verschoben werden sollte, wo die natürliche Topographie eine Verankerung der geschmiedeten Eisenseile im seitlichen steilen felsigen Gelände auf beiden Seiten direkt ermöglicht. Daraufhin wurde der Auftrag erteilt.

Die 1840 errichtete Galtern-Hängebrücke wurde französisch auch *Gottéron Pont Suspendu* genannt, so wie auch die Nachfolgerbrücke. Die 1840 errichtete Brücke erreichte zwischen den Brückenauffahrten bei weitem nicht die Spannweite der deutlich längeren "Grosen-Hängebrücke" im Zentrum der Stadt Freiburg über die Saane. Sie ist aber vielleicht die erste Hängebrücke ohne Portale oder Türme an ihren Enden, über welche die tragenden Tawe gewöhnlich geführt werden. Die Brücke hatte eine Spannweite von 151 m, eine Fahrbahnbreite von 4,8 m und eine lichte Höhe über dem Galtern-Fluss von 76 m. Sie wurde erst 1960 durch eine große druckbeanspruchte Bogenbrücke ersetzt und hatte zu dieser Zeit bereits ein Alter von 120 Jahren.

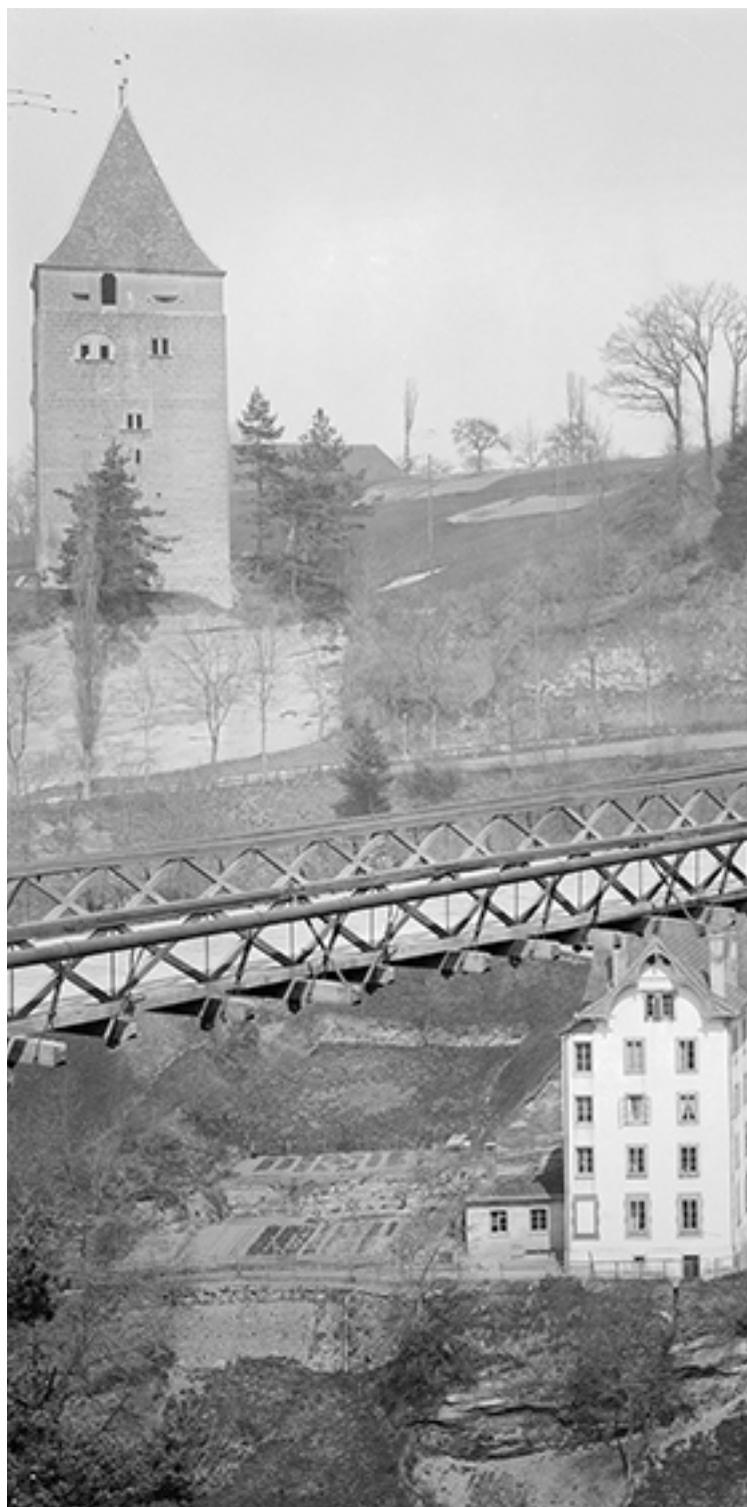




Abb.: 92

Die Abbildung zeigt die Galtern-Hängebrücke von der Seite mit Blick auf den Roten Turm. Die tragenden Schmiedeeisen-Seile wurden direkt im Fels oberhalb auf beiden Seiten verankert. Alle vier Ankerstellen waren mit kleinen schützenden Hütten überbaut, die vor allem hier die zu befürchtende Korrosion minimieren helfen sollten.

Foto: Prosper Macherel, zw. 1900 u. 1920; Freiburger Fotosammlungen, (KUB-siehe Glossar, Abkürzungen)



## **Széchenyi-Kettenbrücke in Budapest in Ungarn**

Die Széchenyi-Kettenbrücke über die Donau in Budapest wurde zwischen 1839 und 1849 nach Plänen des englischen Brückenkonstruktors William Tierney Clark errichtet und trägt den Namen ihres Initiators,

des ungarischen Reformers Graf István Széchenyi. Ihre Spannweite zwischen den zwei Brückenportalen beträgt 202 m, ihre Gesamtlänge liegt bei 375 m und die Breite misst 12,5 m.



Abb.: 93

Diese Nachtaufnahme der Budapester Széchenyi-Kettenbrücke, die seit dem Jahr 1849 die Donau in der ungarischen Hauptstadt überspannt, zeigt ganz links auch das Parlamentsgebäude, das erst 1904 fertiggestellt wurde. Foto: Wilfredor, CCO 1.0 (siehe Glossar, Abkürzungen)

## Greig-Street Brücke in Inverness in Schottland

In Inverness in Schottland wurde 1880 bis 1881 eine relativ kleine Hängebrücke für Fußgänger aus Eisen über den Fluss Ness gespannt. Sie ist quasi eine Verlängerung der südwestlich der Brücke verlaufenden Greig Street und nach ihr auch benannt. Die Greig Street Brücke wurde nach Plänen und Berechnungen von C. Manners in Zusammenarbeit mit der Rose Street Foundry konstruiert. Die Brücke hat eine Gesamtlänge von 112 m und im Mittelfeld eine maximale Spannweite von 61,3 m. Um 1880 wurde eine ganze Reihe von Brücken ähnlicher Bauart und Formgebung in Schottland errichtet, wie beispielsweise auch die Hängebrücke in Dumfries im Jahr 1875, bei der ebenfalls die zwei Portale am Beginn des Mittelfeldes in feine Fachwerkgerüste aufgelöst wurden und die daher ebenfalls sehr leicht wirken (Schulitz et al. 2000:29).

**Abb.: 94**  
Die Greig-Street Bridge in Inverness aus dem Jahr 1881 war 1984 schon 103 Jahre alt und ist ein gutes Beispiel für sehr leicht wirkende und verspielt gestaltete schottische Hängebrücken aus dem späten 19. Jh..  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1984





### **Fußgänger- und Radfahrerbrücke in Frohnleiten in Österreich**

Im Nahbereich der Schnellstraßenbrücken in Frohnleiten sollte ein Steg über die Mur für Bahnreisende, vor allem für in Graz arbeitende Pendler auf ihrem Weg zwischen Bahnhof und der Schönau-Siedlung als kurze Verbindung gebaut werden. Das 1992 eingereichte Projekt sah zwei parallel verlaufende, etwa zwei Meter hohe, massive Doppel-T-Träger im Abstand von rund 3 m über die Mur gelegt vor, zwischen denen auf halber Höhe der Verbindungssteg für Fußgänger und Radfahrer verlaufen sollte. Die zwei Träger hätten zugleich die etwa einen Meter hohen Brüstungen abgegeben. In der Gemeinde war man sich weitgehend einig, dass so eine Lösung dem Ortsbild von Frohnleiten nicht zuträglich sei. Daher wurde dieses Projekt auch von Seiten der Ortsbildpflege negativ begutachtet.

Danach gab es eine Art Brainstorming unter den Planern der Gemeinde. Es sollte nach einer neuen, besseren alternativen Lösung gesucht werden. Der Vorschlag des Autors war damals, eine Brücke unter der

**Abb.: 95**  
**Die Schnellstraßenbrücke in Frohnleiten über die Mur mit der darunter abgehängten Fußgänger- und Radfahrerbrücke von Westen aus gesehen in ganzer Länge.**  
**Foto: Adela Gonzalez, New Braunfels, USA, 1993**

westlichen der zwei Schnellstraßen-Brücken über die Mur anzuhängen. Dieser Steg sollte alle zwei Meter vertikal von dieser Brücke mit dünnen Stahlkabeln abgehängt sein. Vor Kopf sollte der Weg auf beiden Seiten der großen Schnellstraßenbrücke mittig durch die bestehenden Brückenpfeiler geführt werden. Das sollte auch den Vorteil haben, dass die Brücke konstruktiv wesentlich leichter gebaut werden kann und bei Regen und Schneefall relativ trocken bleibt, was gerade auch im Winter den Räum- und Streudienst erspart.

Dieser erste Entwurf wurde vom Referat Brückenbau und Instandsetzung der Steiermärkischen Landesregierung aber als undurchführbar abgelehnt. Daraufhin entstanden weitere alternative Entwürfe von Brücken;



Abb.: 96

Die Brücke unter der Brücke an vier Stäben abgehängt, die sich nach unten auf-fächern von Süden gesehen.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1993



Abb.: 97

Die Kombination der aus Stahl-elementen zusammengesetzten Fußgänger- und Radfahrer-brücke unter den zwei riesigen Stahlträgern der alten Um-fahrungsbrücke wirkte besser als die Kombination mit der neuen 2016 eröffneten Betonbrücke.

Foto: Adele Drexler, Trofaiach, 2020

einer von ihnen sollte beispielsweise den Raum unter der Umfahrungsbrücke diagonal queren.

Da für das periodische Abchecken der großen Brücke auf Korrosionsschäden oder auch für Sanierungsarbeiten wie einen Neuanstrich und andere Arbeiten an der Schnellstraßenbrücke unter der Brücke jeweils eine bestimmte Fahrstrecke für das Fahrzeug mit der Arbeitsplattform, die unter die Brücke geschwenkt werden kann, ohne Unterbrechung in einem Arbeitsgang frei von Abhängungen bleiben muss, war klar, dass eine Lösung mit vielen Abhängungen in Abständen von nur zwei Metern für die geplante Brücke unter der Brücke nicht möglich war.

Das Brückenreferat teilte aber mit, dass eine nur an zwei Stellen punktuell angehängte Brücke, deren Abhängungen in einem fix angegebenen Abstand zueinander liegen müssten, denkbar sei. So kam es zu dem neuen Entwurf des Autors, bei dem nur an zwei Stellen vertikale Spannstäbe unter der Brücke abgehängt werden sollten, von denen ab etwa der halben Höhe zwischen beiden Brückenebenen jeweils ein Fächer von Tragstäben ausgeht, der die untere Brücke nun auf diese Weise in gleichmässigen Abständen tragen sollte und so ebenfalls zu einer Reduktion der konstruktiven Dimensionierung und damit ihres Gewichtes führt. Der generelle Entwurf des Autors wurde nach langen Verhandlungen von der Gemeinde und dem Landesbrückenbauamt zusammen mit Hermann Pichler akzeptiert. Hermann Pichler übernahm die Detailplanung der Brücke in Absprache mit dem Autor und dem Land Steiermark.

Die Brücke erhielt eine leichte Wölbung, wodurch sich die mittige Durchfahrtshöhe für Schiffe auf der Mur auf etwa 3,5 m vergrößerte. Die Breite der Lauf- und Fahrfläche liegt bei ca. 2,50 m bei einer Gesamtlänge von etwa 84 m. Nachdem die Brücke fertiggestellt war, wurde der Autor von einem Mitarbeiter des steiermärkischen Landesbauamtes angesprochen und aufgefordert, die Brücke für die Verleihung des "Geramb Dankzeichens für gutes Bauen" einzureichen. Auch die Jury war der Meinung, dass die Brücke eine solche Auszeichnung verdient. Hierzu hatte auch wesentlich die Durchgestaltung von Hermann Pichler beigetragen.

2014 wurde die aus Stahl konstruierte Schnellstraßenbrücke, die aus den 1950er Jahren stammt, abgetragen und durch eine Stahlbetonkonstruktion mit einer Mittelstütze im Fluss ersetzt. Die untergehängte Brücke wurde ab 2014 für die Dauer der Erneuerung der Schnellstraßenbrücke abgehängt, deponiert und nach Errichtung der neuen Brücke Anfang 2016 wieder unter die neue Brücke gehängt. Durch die neue Form der Schnellstraßenbrücke mit den zwei Mittelstützen im Fluss und durch das neue Material hat sich leider auch der Charakter der angehängten Sekundärbrücke stark verändert.



### **Donaustadt-Brücke in Wien in Österreich**

Die Donaustadt-Brücke in Wien wurde als Straßenbrücke über die Donau gebaut und 1997 eröffnet. Seit 2010 dient die Brücke der Wiener U-Bahn-Linie U2 als Verbindung zur Seestadt Aspern in Wiens 22. Bezirk im Nordosten, wohin die U2-Linie verlängert wurde. Für ihre neue Funktion wurde die Brücke generalsaniert und adaptiert.

Es handelt sich bei der Donaustadt-Brücke in Wien um eine Schrägseilbrücke mit konzentrischen Spannseilen. Das Zentrum der Spannseile ist als massiver Block an der Spitze ihres A-Pylons ausgeformt. Für die Statik der Brücke zeichnet Alfred Pauser, für das architektonische Design Wilhelm Holzbauer verantwortlich. Die Gesamtlänge der Brücke liegt bei 741 m, die größte freie Spannweite erreicht 186 m. Der A-Pylon hat eine Höhe von 85 m.

**Abb.: 98**

**Die Donaustadt-Brücke in Wien Richtung Norden gesehen. Man erkennt gut die A-Form des Pylons und den massiven Verteilerblock für die konzentrisch angeordneten Spannseile.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2017**

# Große Stahlseilbrücken

## **Brooklyn Bridge in New York City in den USA**

Die Brooklyn Bridge zwischen Manhattan und Brooklyn in New York City wurde in den Jahren 1869 bis 1883 nach Plänen von John Augustus Roebling von der Firma "New York Bridge Company" über den East River gespannt. Das Interessante an dieser Brücke ist nicht nur ihr relativ frühes Errichtungsdatum, sondern auch die Konstruktionsweise. Sie stellt eine Kombination aus Hängebrücke und Schrägseilbrücke dar. Man darf sie also wohl als eine Art Hybridbrücke bezeichnen.

Der große Nachteil von Schrägseilbrücken liegt darin, dass bei dieser Art von Konstruktion bei großen Spannweiten die zum mittleren Bereich gespannten Seile sehr flach angreifen und im Verhältnis zu den in Kauf zu nehmenden Horizontalkräften nur noch geringe Vertikalkräfte übernehmen können. Die Horizontalkräfte müssen aber durch die horizontal verlaufende Fahrbahn aufgenommen werden. Daher werden bei der Brooklyn Bridge nur etwas mehr als jeweils ein Viertel der Fahrbahnlänge und das nur im Nahbereich der Brückenportale jeweils rechts und links über Schrägseile mitgetragen. An den Spannkabeln und Hängern der Hängebrücke hängt die Brücke zusätzlich über ihre gesamte Länge, dabei trägt sie die Mittelzone, die etwa die Hälfte der freien Spannweite ausmacht, ausschließlich.

Die Abmessungen der Brücke sind für die damalige Zeit beeindruckend. Die Brooklyn Bridge ist 25,91 m breit, die mittlere Spannweite zwischen den zwei Portalen misst 486 m. Die Gesamtlänge der Brücke liegt bei 1825 m. Der größte Teil der Brücke verläuft über Land. Die zwei neugotischen Portaltürme sind 82,9 m hoch.

### **Folgende Seiten:**

#### **Abb.: 99**

**Die Brooklyn Bridge von Osten aufgenommen mit "Lower Manhattan" im Hintergrund. Man kann gut die Spannkabel der Schrägseilkonstruktion und die sich damit kreuzenden senkrecht von den Tragkabeln der Hängebrücke abgespannten Seile erkennen.**

**Foto: Andreas Scheucher,  
St. Stefan ob Stainz, 2014**







Abb.: 100

Die fußläufige Verbindung über den East River verläuft zwischen den Fahrbahnen in der Symmetrieachse. Bei den zwei Doppelportalen wird dieser Weg rechts und links an den zwei Mittelpfeilern entlanggeführt. Man erkennt auch hier gut die sich kreuzenden Tragseile der Brücke, die zur Hälfte miteinander verbunden sind. Foto: Andreas Scheucher, St. Stefan ob Stainz, 2003

Abb.: 101

Detail der Brooklyn Bridge mit den Türmen von "Lower Manhattan" im Hintergrund. Im Foto ist der nordwestliche Portalturm zu sehen. Unter den Fahrbahnen werden Sanierungen durchgeführt. Man kann gut sehen, dass im mittleren Brückenbereich die Fahrbahn nur an vertikalen Abspannungen von den Hängebrückenkabeln hängt. Foto: Andreas Scheucher, St. Stefan ob Stainz, 2014

Abb.: 102

Der östliche Portalturm von unten.



## George Washington Bridge in New York City in den USA

Die George Washington Bridge über den Hudson River verbindet Newark in New Jersey im Westen mit den Hudson Heights und den Washington Heights auf der Ostseite im nördlichen Manhattan von New York City. Die Brücke wurde 1931 eröffnet und setzte mit einer freien Spannweite von 1067 m zwischen den Türmen dieser Hängebrücke damals neue Maßstäbe. Sie war gut einen halben Kilometer länger als die bis dahin existierenden längsten Hängebrücken. Allerdings folgte schon sechs Jahre später die Golden Gate Bridge mit einer Spannweite von 1280 m, die diesen Rekord nochmals toppte.

Abb.: 103

Der östliche 186 m hohe Portalturm und das östliche Wiederlager der George Washington Doppeldeckerhängebrücke über den Hudson River bei New York City; unten sieht man auch den kleinen Leuchtturm, der die Schiffe auch bei Nacht vom vortretenden Brückenportal fernhalten soll. Fotos: Walter Loske, Seiersberg bei Graz, 2000



Die George Washington Brücke wurde von Othmar Ammann, einem ehemaligen Mitarbeiter des bekannten Brückenkonstruktors Gustav Lindenthal, geplant. Seine Planung wurde vor allem deshalb umgesetzt, weil seine Brücke deutlich kostengünstiger, als alle alternativ vorgeschlagenen Brücken, war. So war sie zunächst nur mit einem Straßendeck geplant, war aber zugleich so in der Konstruktion dimensioniert, dass dieses Straßendeck später leicht erweitert werden konnte, ohne die Brücke sperren zu müssen, und außerdem konnte die Konstruktion auch noch ein zweites untergehängtes Straßendeck tragen, das auch tatsächlich 1962 in Betrieb genommen wurde. Auch bei diesem Ausbau konnte der Verkehr auf dem oberen Deck weiterlaufen. Othmar Ammann suchte außerdem nach einem kostensparenderen Standort, an dem die Distanz geringer war und die Grundstücke für die Zufahrten auf beiden Seiten leichter zu erhalten und günstiger zu haben waren.

Da die Ufer hier auf beiden Seiten durch den eingetieften Hudson River sehr hoch liegen, mussten keine weitgezogenen Rampen errichtet werden. Daher ist auch die Gesamtlänge der Brücke mit 1.451 m bei einer lichten Spannweite von 1067 weniger lang als bei

vergleichbaren Hängebrücken mit meist der doppelten Gesamtlänge. Ihre lichte Höhe über dem Fluss beträgt 64,6 m. Heute hat die Brücke zwei Straßendecks bei einer Breite von 36 m, einer Durchfahrthöhe von 4,27 m auf dem oberen Deck und von 4,11 m auf dem unteren Deck. Die Doppeldeckerhängebrücke wird heute von rund 275.000 Fahrzeugen pro Tag benützt. Der Portalturm auf der Westseite der Brücke misst 192 m, der Turm auf der Ostseite 186 m in der Höhe. Die gesamte Konstruktion wurde nicht verkleidet und wirkt dadurch recht filigran.

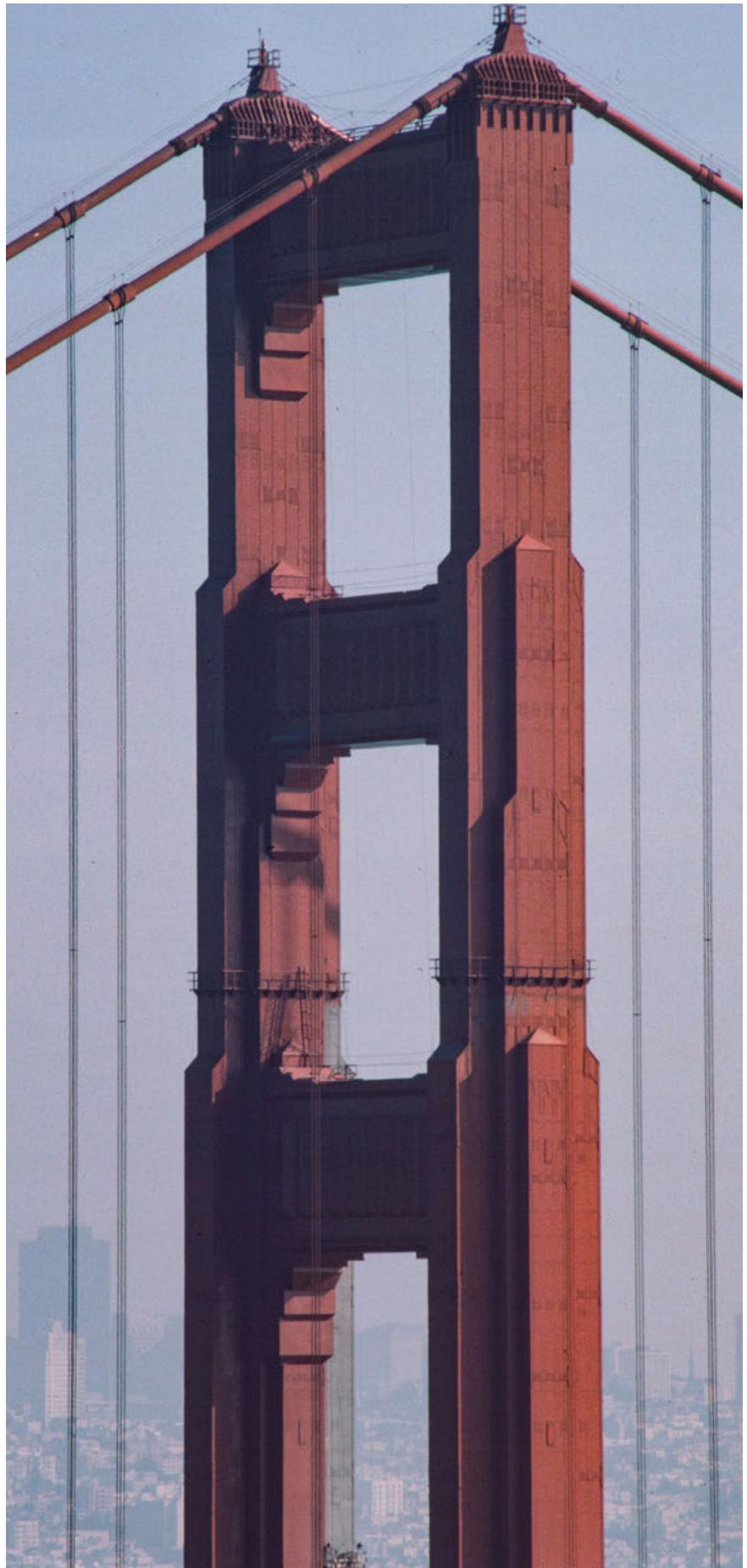


## Golden Gate Bridge bei San Francisco in den USA

Die Golden Gate Bridge bei San Francisco in Kalifornien ist eine der sehr frühen wirklich großen Hängebrücken. Mit einer Spannweite von 1280 m war die Brücke nach ihrer Fertigstellung für die nächsten 27 Jahre die Brücke mit der größten Distanz zwischen den Hauptstützen. Sie wurde 1933 bis 1937 nach Plänen von Joseph B. Strauss, Charles A. Ellis und Irving F. Morrow errichtet. Morrow war der Architekt und Gestalter der Pylone. Die zwei Pylone sind jeweils 227 m hoch. Die Gesamtlänge der Brückenanlage beträgt 2737 m, ihre Breite ist 27 m. Mit ihrer Spannweite von 1280 m überspannt sie in einem Schritt das Golden Gate der riesigen Bucht von San Francisco nach Marin County in Kalifornien.

### Abb.: 104

Einer der Pylone mit den seitlichen Hauptkabeln, ihren vertikalen Abspannungen und mit den Fahrbahnen der Brücke.



### Abb.: 105

Detail von einem der von Irving F. Morrow entworfenen Pylone der Golden Gate Brücke von San Francisco.  
Fotos: Hasso Hohmann,  
Graz, 1985





Abb.: 106  
Die Golden Gate Brücke in Kalifornien mit der City von San Francisco dahinter im morgendlichen Dunst. Links wird Marin County im Norden der Meerenge sichtbar.  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1985

## Großer-Belt-Brücke bei Nyborg in Dänemark

Eine Brückenverbindung über die dänischen Inseln Fünen und Seeland nach Schweden und so nach ganz Skandinavien war schon lange ein Wunschtraum vieler Europäer und insbesondere der Dänen, aber auch der Schweden, Norweger und Finnen.

Als man eine Realisierung anging, wurde das dänische Festland über den großen Belt zwischen Nyborg auf der Insel Fünen mit Korsør auf der Insel Seeland und damit auch mit Kopenhagen verbunden. Die Große-Belt-Brücke, die Storebæltsbroen, besteht eigentlich aus zwei Brücken, die sich über der kleinen Insel Sprogø auf halber Strecke im Großen Belt treffen. Die Westbrücke ist eine 6.611 m lange kombinierte Straßen- und Eisenbahnbrücke mit einer lichten Höhe über dem Wasser von mindestens 18 m. Hier fahren Kraftfahrzeuge und Eisenbahn nebeneinander.

Auf der kleinen Insel Sprogø taucht die Bahnlinie in einen 8024 m langen Tunnel, der unter dem Wasser des östlichen Teiles des Großen Belts verläuft und erst

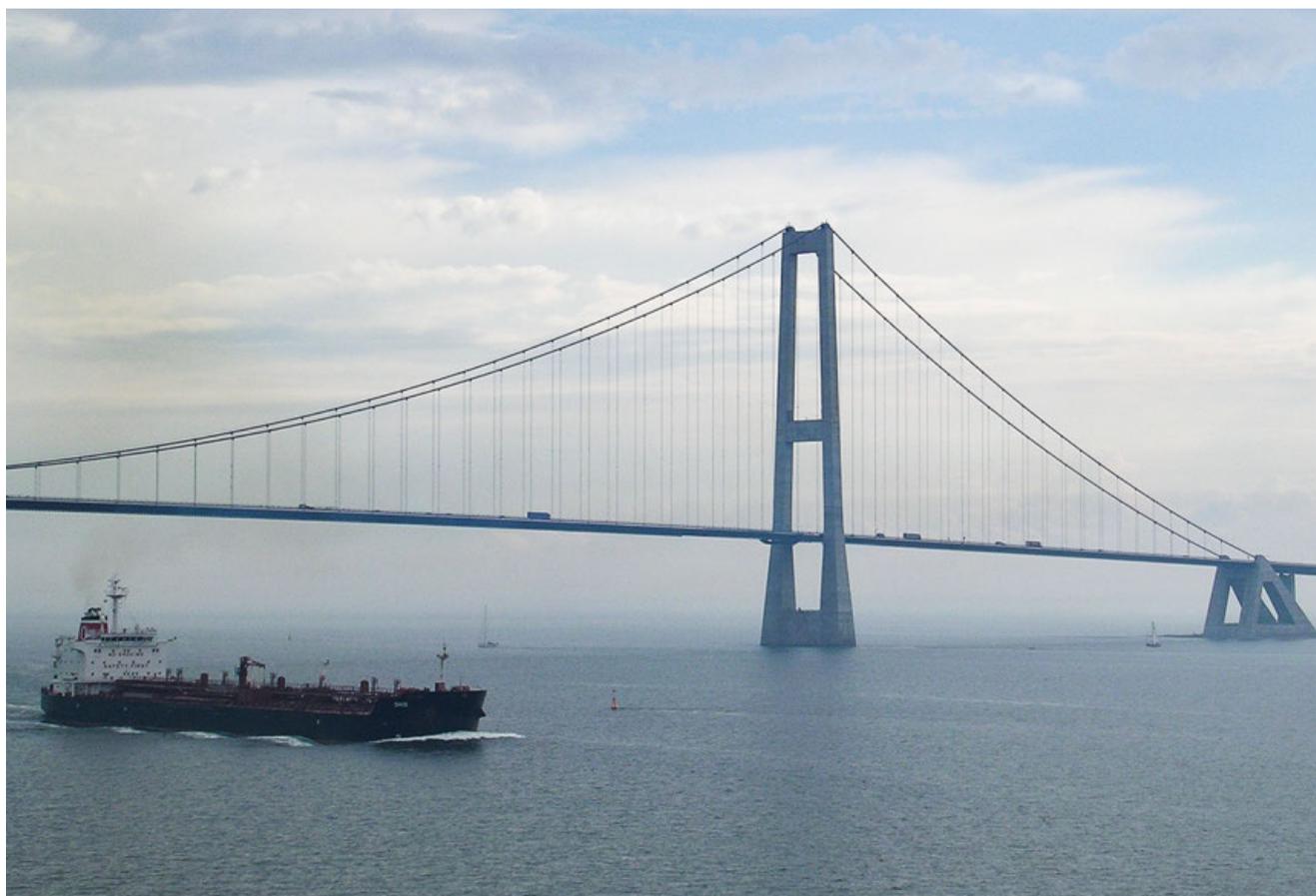
auf Seeland wieder an die Oberfläche gelangt, ab. Der Straßenverkehr hingegen wird über die 6.790 m lange Ostbrücke geführt. Deren Herzstück ist eine klassische Hängebrücke mit zwei 254 m hohen Stahlpylonen und mit einer freien Spannweite von 1624 m zwischen den zwei Riesenstützen mit einer lichten Höhe von 65 m über Wasser. Die größte Tiefe der Pylonen liegt bei 60 m. Mit diesen Dimensionen gehört sie zu den längsten und größten Hängebrücken der Erde. Die beiden Brücken über den Großen Belt wurden 1998 fertiggestellt.

Abb.: 108

**Die 1998 errichtete Große-Belt-Brücke zwischen Nyborg und Korsør in Dänemark Richtung Westen gesehen mit einer Spannweite von 1624 m zwischen den 254 m hohen Pylonen.**

Abb.: 107

**Der östliche Pylon der Große-Belt-Brücke in Dänemark ragt 254 m aus dem Wasser. Fotos: Bernhard W. Hohmann, Graz, 2003**







### **Öresund-Brücke bei Kopenhagen in Dänemark**

Die 2000 eröffnete Öresund-Brücke zwischen Kopenhagen auf der dänischen Insel Seeland und Malmö in Schweden ist eine kombinierte Straßen- und Eisenbahnbrücke von 7845 m Länge mit einer eingebauten Schrägseilbrücke mit zwei Pylonen. Die Schrägseilbrücke hat eine Spannweite von 490 m zwischen den zwei 85 m hohen Pylonen. Sie ist derzeit damit die längste Schrägseilbrücke mit einer Kombination aus Straßen- und Schienenverbindung. Ihre lichte Höhe über Wasser liegt bei 57 m. Die Seile der Schrägseilbrücke sind harfenartig parallel zueinander angeordnet. Am Westende der Öresund-Brücke verlaufen Straßen- und Schienenverbindung nebeneinander auf einer 4055 m langen künstlich angelegten Insel, bis Straße und Gleise in einem 3510 m langen Tunnel unter dem Wasser des westlichen Öresunds verschwinden.

**Abb.: 109**  
Die 2000 eröffnete Schrägseilbrücke als Teil der Öresund-Brücke - von Malmö aus gesehen.



Abb.: 110  
Bei der Auffahrt auf die Schrägseil-  
brücke der Öresund-Brücke aus dem fah-  
renden Camper aufgenommen.  
Fotos: Bernhard W. Hohmann, Graz, 2018



**Abb.: 111**  
**Fahrt über die Schrägseil-**  
**brücke der Öresund-Brücke.**  
**Foto: Bernhard W. Hohmann, Graz, 2018**

## Millau Schrägseilbrücke in Frankreich

Zu den spektakulärsten Brücken seit 2000 gehört die 2460 m lange Millau Schrägseilbrücke bei Millau zwischen Clermont Ferrand und Béziers im französischen Zentralmassiv. Sie stellt das Schlüsselstück in der Straßenverbindung der Städte Paris und Barcelona, der A75 und der Europastraße E11. 1993 war der Entwurf der Brücke das Ergebnis eines Wettbewerbes. Diesen Bewerb gewann Michel Virlogeux. Die Brücke ist das Ergebnis der architektonisch planerischen Umsetzung durch Norman Foster und sein Büro in den Jahren 2001 bis 2004. Der höchste ihrer sieben Pylonen erreicht eine Höhe von 343 m und ist damit deutlich höher als der Eiffelturm in Paris. Auf 270 m lichter Höhe, also nicht viel weniger als der Eiffelturm-Höhe, schneidet bei diesem Pylon die Fahrbahn, die von gestaffelten Schrägseilen beidseitig von den oberen Teilen der Pylone getragen wird.

Angesichts der enormen Dimensionen der Brücke sieht man von weitem die Spannseile fast nicht, so dass die Brücke wie ein von sieben vertikalen weißen Strichen durchdrungener horizontaler weißer Strich in der

Landschaft unglaublich leicht wirkt. Hierzu trägt natürlich auch die sehr feine Durchgestaltung der Brücke samt ihrer Weißfärbung stark bei.

### Abb.: 112

Links sieht man einen der Pylone, die durch ihre Aufspaltung von Weitem schlanker wirken. Beim höchsten der Pylone mit seinen 343 m Gesamthöhe schneidet die Fahrbahn auf 270 m Höhe – nicht viel weniger als die Höhe des Eiffelturmes in Paris.





**Abb.: 113**

Durch die leichte Krümmung der Milau Brücke wirkt sie für den Kraftfahrzeuglenker lebendiger und bei fast 2,5 Kilometern Länge auch nicht endlos.

Fotos: Ferdinand Skledar, Graz, 2017

Folgende Seiten:

**Abb.: 114**

Bei diesem Luftbild der 2004 eröffneten Milau Schrägseilbrücke steht die höchste Brückensstütze vorne rechts. Sie ist mit ihren 343 m Höhe deutlich höher, als der Eiffelturm.

Foto: Mike Lehmann, Schweiz, Luftbild 2005; Sammlung Andreas Scheucher, St. Stefan ob Stainz







# Momentebelastete Brücken und Mischformen



**Abb.: 115**  
**Hellenistische Kragsteinbrücke bei Eleutherna.**  
**Der Wasserdurchlass hat eine Breite von 3,95 m.**  
**Foto: Petr Novak, 2009, CC By-SA**  
**3.0 (s. Abkürzungen im Glossar)**

## Brücken mit Kragkonstruktionen

### **Kragsteinbrücke bei Eleutherna auf Kreta in Griechenland**

In der Nähe des antiken Eleutherna auf Kreta wurden 1853 von Thomas Abel Brimage Spratt zwei Kragsteinbrücken entdeckt, von denen eine leider bis spätestens 1893 zerstört wurde. Die zweite hat bis heute überlebt und steht inzwischen längst unter Schutz (Spratt 1865).

Die erhaltene Brücke überspannt einen kleinen Bach, der auch heute noch Wasser führt. Sie besteht aus zwei seitlichen Rampen und dem Durchlass an der tiefsten Stelle über den Bach. Über die gesamte Länge von 9,35 m besteht die Konstruktion aus sehr sorgfältig bearbeitetem und geglättetem Natursteinmauerwerk. Beim 3,95 m breiten und insgesamt 4,0 bis 4,2 m hohen Durchlass der Brücke sind die Kragsteine oben mit einer gleichmäßigen Schräge ausgestattet, so dass eine 1,84 m hohe quasi dreieckige Gewölbezone entsteht. Die Überdeckung an der Gewölbespitze macht nur etwa 12 cm Stein und nochmals etwa 12 cm Straßenaufbau aus. Der Straßendamm ist etwas mehr als 5 m breit.

Die ausschließlich horizontal geschichteten Steine des Gewölbes entsprechen einer sehr archaischen, aber in weiten Teile Europas damals verbreiteten Konstruktionsweise. Sie wurde erst nach den intensiven Kontakten der Griechen mit den Persern von den wesentlich effektiveren und belastbareren Schlusssteingewölben langsam abgelöst. Auf manchen schwerer erreichbaren oder weniger besuchten griechischen Inseln wie Tinos waren auch deutlich mehr als 2000 Jahre später selbst im 20. Jh. noch über 50 % der Steinhäuser mit Kragsteingewölben überwölbt.



### **Kragsteinbrücke in Palenque in Mexiko**

Die kleine Steinbrücke in der bekannten Maya-Stadt Palenque im mexikanischen Bundesstaat Chiapas aus der Zeit der Maya-Klassik vor etwa 1200 Jahren über den kleinen Bach Otolum ist nur eines von unzähligen Beispielen derartiger Scheingewölbe-Bauwerke bei den Maya.

**Abb.: 116**

**Diese kleine von den Maya vor 800 n. Chr. errichtete Kraggewölbebrücke überspannt in den Maya-Ruinen von Palenque im mexikanischen Bundesstaat Chiapas den kleinen Bach Otolum. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1987**

## Kragsteinbrücke bei Tantomayo in Peru

Tiefe Schluchten musste man zu Beginn einer Besiedlung meist wohl weiträumig umgehen. In Fällen, bei denen die oberen Enden einer solchen Schlucht an ihrer schmalsten Stelle nicht weit auseinander liegen, hat man durch das schrittweise Vorkragen großformatiger, horizontal übereinander geschichteter Steinplatten den Abstand der zwei Geländekanten so weit verringert, dass man am Ende eine letzte Zeile tragfähiger, aber möglichst dünner und somit weniger schwerer Steinplatten zur Überbrückung der reduzierten Distanz auflegen konnte. Das ist dann eine Brücke unter Verwendung des konstruktiven Prinzips eines Vorkraggewölbes, eine Kraggewölbebrücke. So ein Gewölbe wird auch mitunter als falsches Gewölbe oder als Scheingewölbe bezeichnet.

Ein sehr schönes Beispiel für eine solche Brücke unter Verwendung dieses archaischen Konstruktionsprinzips eines Kraggewölbes findet sich über der Schlucht zwischen Tantomayo und den Vorinkaruinen von Susupillo in der peruanischen Provinz Huánuco auf fast 4000 m Seehöhe.

Bei einer Brücke, wie der über die Schlucht bei Tantomayo, wird jede Steinplatte durch weitere versetzt angeordnete Steinplatten über dem seitlichen Auflager so belastet und eingespannt, dass immer wieder ein Teil der Platte der nächsthöheren Schicht über den Abgrund weiter vorkragen kann, ohne überzukippen und abzustürzen. Über der untersten Kragplatte tritt eine weitere Platte vor, die wieder ihrerseits mit Gegengewichten eingespannt werden muss, bis die Platten auf beiden Seiten der Brücke so weit Schicht für Schicht einander angenähert worden sind, dass die restliche Distanz mit einer letzten Platte direkt überbrückt werden kann. Bei all dem muss immer sehr darauf geachtet werden, dass alle Platten mit ausreichenden Gegengewichten nach hinten gesichert sind, damit sie nicht durch die nächsten, aufgelegten Platten Übergewicht bekommen können.

### Abb.: 117

**Die Kraggewölbebrücke nahe Susupillo mit ihren mächtigen Steinplatten aus geringerer Distanz. Interessant wäre zu wissen, wie die Erbauer die sehr schweren Steinplatten über dem Abgrund aufeinander geschoben haben, ohne dabei ihr Leben zu riskieren.**



Jede der Kragplatten wirkt im Gefüge einer solchen Brücke wie ein eingespannter Stab, der vor allem an seiner Vorderkante stark belastet wird und über die Länge der auskragenden Zone an seiner Oberseite zunehmend mit Zug- und an seiner Unterseite zunehmend mit Druck belastet wird. An der Stelle, an der eine solche Steinplatte frei auskragt, entsteht an der Oberseite die höchste Zugbelastung und an der Unterseite die höchste Druckbelastung. Insgesamt spricht man von der höchsten "Momentenbelastung". Bei den untersten Kragsteinen der Brücke entsteht an dieser Stelle die maximale Momentenbelastung. Das verwendete Steinmaterial muss daher hier die größte Steinstärke aufweisen, damit es hier nicht zum Bruch der verwendeten Platten kommt. Die Zugkraftaufnahmefähigkeit ist bei Stein relativ begrenzt. Wird diese überschritten, kommt es zum Bruch des Steines.

Victor W. v. Hagen fotografierte eine ganz ähnliche Kragsteinbrücke mit einer Spannweite von neun Metern im Gebiet von Carabaya in Peru (Hagen 1962:325). Auch diese Brücke bestand aus sehr großen vorkragenden Steinplatten. Hagen meint im begleitenden Text, dass mit einer solchen Spannweite bei diesem Konstruktionsprinzip wohl die Grenze des Machbaren erreicht sei, womit er sicher Recht hat.

Obwohl mehrere präkolumbische Kulturen in Mesoamerika und auch in Südamerika mehrfach das echte Schlusssteingewölbe ab etwa dem Beginn unserer Zeitrechnung verwendet haben, also das konstruktive Prinzip des Schusssteinbogens mindestens 1500 Jahre vor Kolumbus bereits kannten, wurde fast ausschließlich das Kraggewölbe vor allem als beständige Deckenkonstruktion bei Profan- und auch bei Sakralräumen verwendet. Bei den Vorkraggewölben der Maya werden der hohen Momentenbelastungen des Steinmaterials am Gewölbefuß wegen sehr oft die drei unteren Kragsteinscharen von jeweils zwei gleichweit auskragenden und gleich hoch ausgeformten Gewölbesteinen gebildet, wodurch viele Mayagewölbe von Weitem betrachtet unten etwas steiler und nach oben hin flacher werden und so eine leicht gerundet wirkende Form der Bogen- oder Gewölbeuntersicht erhalten. So sinkt vor allem die Gefahr des Brechens der Gewölbesteine.



**Abb.: 118**  
**Die Kraggewölbebrücke unterhalb von Supillo in der peruanischen Provinz Huánuco. Unten rechts sieht man die Gischt des schnell fließenden Baches tief unter der Brücke.**  
**Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1996**



### Zweifache Kragbalkenbrücke im Osten von Afghanistan

1970 wurden die meisten der Brücken im Osten Afghanistans noch aus Bruchsteinen und Holzstämmen gebaut. Die Bruchsteine dienten ausschließlich der Errichtung der zwei seitlichen Brückenauffahrten. Für die eigentlichen Brücken über ein Hindernis aber wurden auskragende Holzbalken zur Unterstützung und Holzbalken sowie auch Bretter für die Nutzfläche verwendet.

Während die mächtigen Widerlager aus trocken aufgeschichteten Bruchsteinen errichtet wurden, legte man auf beiden Seiten des zu überbrückenden Wasserdurchlasses nach einem fixen Konzept lange Holzstämmen in jeweils einer Lage oder bei längeren Brücken auch in mehreren Lagen jeweils mit etwas vertikalem Abstand übereinander in die Steinschichtungen des Widerlagers ein. Die Baumstämme standen von unten nach oben gestaffelt immer etwas weiter aus den zwei dem Fluss zugewandten Mauerwerken der Widerlager vor. Im Brückenwiderlager waren die vorkragenden Baumstämme zwischen den Bruchsteinen so eingespannt, dass sie zur jeweiligen Gegenseite leicht ansteigen und vertikale Lasten an ihrer frei vorkragenden Vorderkante aufnehmen können.

Abb.: 119

Die Lauf-, Reit- und Fahrfläche dieser relativ kurzen Brücke auf dem Weg von Kabul ins afghanische Hindukusch wird von einer durchgehenden Balkenlage gebildet. Die Balken werden auf beiden Seiten jeweils an zwei Stellen durch Querbalken der Unterkonstruktion getragen, die jeweils an das Ende der aus den seitlichen Brückenwiderlagern in zwei Ebenen schräg nach oben vortretenden Kragbalken befestigt sind. Auf den zwei steinernen Auflagern an den Enden der Brücke liegen die Enden der Brückenbalken auf. So werden die Brückenbalken insgesamt jeweils an sechs Stellen unterstützt.

Foto: Robert Kostka, Graz, 1970

Im Fall der kleinen Brücke auf der Strecke von Kabul ins afghanische Hindukusch Gebiet gibt es zwei Lagen Kragbalken auf jeder Seite. Bei dieser Brücke trägt auf jeder Seite die unterste Balkenlage an den erhöhten Endpunkten einen Querbalken, auf dem wieder die nächsten, ebenfalls ansteigenden, etwas weiter vorkragenden Balken aufliegen. Diese haben nun ihrerseits wieder einen Querbalken über ihren Endpunkten und einen weiteren über dem Querbalken der unteren Lage. Auf den zwei Querbalken näher an den Widerlagern stehen je zwei Abstandhalter, von denen wieder die Hauptträger getragen werden, auf denen die Bretter

der Nutzfläche befestigt sind. Die durchlaufenden langen Balken der hölzernen Fahr- und Laufebene sind also jeweils an insgesamt sechs Stellen unterstützt, den zwei Widerlagern und auf den insgesamt vier Querbalken der Kragkonstruktionen auf beiden Seiten.

Wie bei fast allen diesen Kragbalkenbrücken gab es offenbar ursprünglich auch bei dieser kein Geländer. Sekundär hat man hier aber wohl für kleine Jungtiere als Absturzschutz einen seitlichen sehr niedrig verlaufenden Draht gespannt.

### **Dreifache Kragbalkenbrücke im Osten von Afghanistan**

Bei dieser sehr weit gespannten Reit- und Fußgängerbrücke im Osten Afghanistans sind schräg nach oben vorkragende Balkenlagen in gleich drei Ebenen übereinander notwendig, um eine ausreichende Unterstützung vor allem des Brückenmitteiles zu garantieren. Bei dieser Konstruktionsweise werden die obersten Kragbalken von den zwei weiteren Lagen Kragbalken unterhalb und den jeweils zugehörigen Querbalken mitgetragen.

Bei der Brücke wird der weitgespannte Mittelteil der Nutzfläche von sehr langen durchlaufenden Baumstämmen, die nur an ihren Endpunkten auf den Außenkanten der zwei Kragkonstruktionen aufliegen, gebildet. Die zwei Restdistanzen zwischen den zwei gemauerten Brückenwiderlagern bis zum Mittelteil werden von kürzeren Balken gebildet, die mit jeweils einem Teil ihres Eigengewichtes und einem weiteren Teil der potentiellen Nutzlast auf der äußersten Kante der zwei Kragkonstruktionen auf beiden Seiten zusätzlich aufliegen. Erstaunlich ist bei dieser Brücke das durchlaufende Geländer, das fast einen Meter hoch ist. Allerdings lässt dieser Seitenschutz seitlich unter dem Handlauf weite, offene Felder.

**Abb.: 120**  
**Die weitgespannte Reit- und Fußgängerbrücke im Osten Afghanistans mit drei Lagen an Vorkragbalken auf jeder Seite.**  
**Foto: Walter Kuschel, Graz, 1970**



## Nord-Ostsee-Kanal-Brücke mit Schwebefähre in Deutschland

Der Nord-Ostsee-Kanal wurde in den Jahren von 1887 bis 1895 zwischen der Elbmündung bei Hamburg und der Hafenstadt Kiel an der Ostseeküste errichtet und hieß bis 1948 Kaiser-Wilhelm-Kanal. Er ist gut 98 km lang und eine der meistbefahrenen Wasserstraßen weltweit, da sie die Strecke von der Nordsee in die Ostsee um ca. 460 km verkürzt. Der Kanal wurde zweimal ausgebaut, so dass er heute auch für die ganz großen Hochseeschiffe befahrbar ist.

Daher müssen aber auch alle ihn oberirdisch querenden Straßen- und Eisenbahnverbindungen entsprechend hoch gelegt sein. So wurden auch die Schienen der Hauptbahnverbindung von Deutschland nach Dänemark bei Rendsburg bis auf 42 m über dem Kanalniveau aufgebockt. Dadurch wurde ein 2486 m langes Brückenbauwerk für die Bahn notwendig, das zwischen 1911 und 1913 nach Plänen von Friedrich Voß errichtet wurde.

Bei der ersten Reise des Autors nach Dänemark mit der Bahn fiel ihm die riesige Brückenschleife und der

erhebliche Anstieg der Gleise in der Nähe von Rendsburg auf. Das ist in einem völlig flachen Land schon eher erstaunlich. Auf seiner Rückreise stand die Kamera bereits bereit, um Aufnahmen aus dem Zugfenster zu ermöglichen. Die aufgeständerten Brückenrampen verfügen über 58 Öffnungen. Das eigentliche Brückenbauwerk entspricht einer Kombination aus Hänge- und Fachwerkbrücke. Die beiden Brückenportale reichen über das 42 m hohe Schienenniveau nochmals 26 m hinauf, womit eine Gesamthöhe von 68 m Höhe erreicht wird. Die Spannweite der Hängebrücke über den Kanal misst 140 m.

Das Brückenbauwerk enthält neben der eigentlichen Überbrückung des Nord-Ostsee-Kanals noch eine Besonderheit. Um nicht neben der Bahnbrücke auch eine Straßenbrücke für den örtlichen Verkehr mit gleicher Höhe errichten zu müssen, sondern auf Kanalniveau Fußgänger, Radfahrer und Kraftfahrzeuge über den Kanal befördern zu können, wurde eine sogenannte Schwebefähre an die Brücke angehängt, die an langen Seilen befestigt ist. Ihr Fahrgestell wird unmittelbar unter der Bahnbrücke geführt und fährt auf eigenen Schienen auf Höhe der Brücke über dem Kanal.



Seit Anfang 2016, also drei Jahre nach dem 100-Jahrjubiläum von Brücke und Fähre, ist die Schwebefähre allerdings nicht einsatzbereit, da sie durch eine Kollision mit einem Frachtschiff stark beschädigt wurde. Im Sommer 2021 sollte sie aber ihren Fährbetrieb wieder aufnehmen. Sie steht genauso wie auch die gesamte Bahnbrücke unter Denkmalschutz.

Für Fußgänger gibt es außer der Schwebefähre neben der Bahnbrücke auch eine Möglichkeit, den Kanal durch einen Tunnel zu unterqueren. Zu diesem Tunnel führen ein Treppenhaus, Rolltreppen mit mehr als 55 m Länge, für die man drei Minuten Fahrzeit einplanen muss, und Lifte. Der Tunnel liegt 21,5 m unter Kanalniveau, ist 130 m lang und 4,5 m breit. Er wurde bereits in den Jahren 1962 bis 1965 gebaut.

## Swing Bridge bei Newcastle in England

Bereits zur Römerzeit hatte Kaiser Hadrian um 100 n.Chr. dort, wo heute die Swing Bridge, eine Schwingbrücke, steht, eine römische Steinbrücke über den Tyne, die rund 1750 Jahre hielt und der Überquerung des Tyne bis 1868 diente, errichten lassen. Da der Fluss Tyne zwischen Newcastle und Gateshead und auch weiter flussaufwärts ein schiffbarer Fluss ist und um größeren Schiffen die Durchfahrt zu ermöglichen, wurde die römische Brücke aber abgetragen. Der Autor besuchte Newcastle 1984. Damals konnte er von nur einem Standort aus fünf riesige Brücken und die relativ kleine Schwingbrücke überblicken. Die Millenniums-Brücke gab es damals noch nicht. In der Nähe der Schwingbrücke gab es mehrere Anlegestellen für größere Schiffe. Die High Level Bridge und auch die anderen Brücken sicherten effiziente Nord-Süd-Verbindungen über den Tyne auf dem oberen, dem Stadt-Niveau.

Die Swing Bridge, die gleich östlich der High Level Bridge anstelle der römischen Steinbrücke über den Tyne 1876 konstruiert wurde, löste das Problem der Überbrückung des Tyne auf Höhe des Flusses, ohne die künftige Hochseeschifffahrt zu behindern. Sie wurde nach Plänen von William G. Armstrong als eine horizontal um die Schwerachse drehbare, drehsymmetrische und zweiseitig auskragende Eisenbrücke für den Straßenverkehr auf dem unteren Niveau konstruiert.

Die zweiseitigen Fachwerkausleger der Brücke können um das Auflager auf der Trennmauer zwischen den zwei hochseetauglichen Kanälen um ihren Schwerpunkt um 90° horizontal gedreht werden. Der bewegliche Teil der Drehbrücke ist 86 m lang. Nach Drehung der Swing Bridge können seitlich Schiffe mit hohen Aufbauten in beiden Richtungen die zwei Kanalstücke gleichzeitig passieren. Die Brücke hat die Form einer Segmentbogenbrücke mit Ausfachungen. Hier fungieren die zwei Brückenhälften allerdings als zwei große Kragarme in entgegengesetzten Richtungen, die vom drehbaren Auflager aus etwas weniger als 43 m vorkragen.

### Abb.: 121

**Die 1913 eröffnete rund 2,5 km lange Rendsburger Eisenbahn-Hochbrücke in Schleswig-Holstein zeigt in der Bildmitte die Fachwerkhängebrücken-Konstruktion über den Nord-Ostsee-Kanal mit den zwei 68 m hohen Portaltürmen und mit einer Spannweite von 140 m über den Kanal. Der Nord-Ostsee-Kanal darunter ist völlig eingewachsen und kaum erkennbar. Die im Bild sichtbare kleine rotweiße Kabine unter der Brücke gehört zur Schwebefähre.**

**Foto: Hasso Hohmann, 1989**



Abb.: 122

Die 1876 eröffnete rotweiße Swing Bridge in Form eines Segmentbogens kann um ihren Mittelpunkt horizontal gedreht werden, so dass dann gleichzeitig zwei Hochseeschiffe mit hohen Aufbauten rechts und links passieren können.

Abb.: 123

Detail der Zubringerbrücke, die als einfache Fachwerkbrücke auf schlanken hohen Mauerpfeilern ruht.

Abb.: 124

Dieses von Südwesten aufgenommene Foto zeigt auch die zwei kurzen Fachwerkbrücken zwischen den drei Auslegertragwerken.

Folgende Seiten

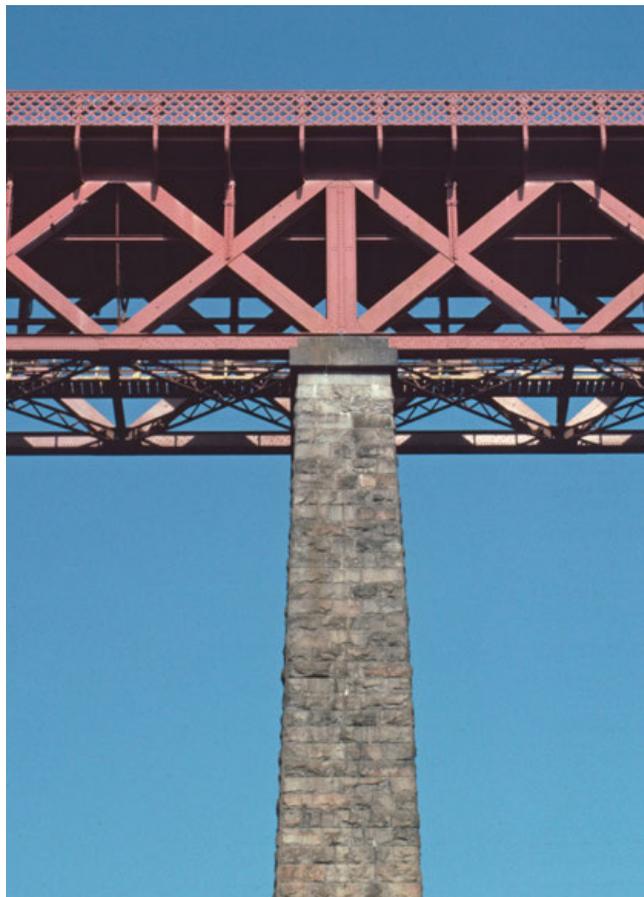
Abb.: 125

Die 1889 eröffnete Eisenbahn-Brücke nahe Edinburgh über den Firth of Forth in Schottland mit ihren riesigen drei Auslegertragwerken, die jeweils auf vier massiven Fundamenten stehen, und die südliche Zubringerbrücke.

Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1984

## Brücke über den Firth of Forth in Schottland

Die Brücke über den Firth of Forth nahe Edinburgh in Schottland wurde von 1882 bis 1889 nach Plänen von Benjamin Baker und John Fowler als Eisenbahnbrücke von der Firma Tancred, Arrol & Co. errichtet. Es handelt sich um drei Auslegertragwerke, zwischen denen zwei kürzere Fachwerkbrücken die Distanzen zwischen den Auslegern überbrücken. Davor und dahinter gibt es auf mehreren hohen Bruchstein-Bückenpfählen mehrere aufgebockte schlichte Fachwerkbrücken als Zubringer. Die Gesamtlänge der Brücke misst 2456 m. Die drei Auslegertragwerke stehen jeweils auf vier Fundamenten und sind 110 m hoch. Die Ausleger kragen jeweils 207 m vor und tragen an den Endpunkten die zwei 107 m langen Fachwerkbrücken als Mittelteile. Daraus ergibt sich für die zwei großen Spannweiten nördlich und südlich des Mittelpfeilers jeweils eine stützenfreie Strecke von 521 m. Die Höhe der Gleise der Brücke liegt bei 46 m über dem Wasser. Zwischen 2002 und 2012 wurde die Brücke generalsaniert und etliche Teile wurden auch ausgewechselt.







## General Rafael Urdaneta Brücke beim Maracaibo See in Venezuela

Die nach ihrem Standort oft "Maracaibo-Brücke" oder nach ihrem Planer als "Morandi-Brücke" benannte, offiziell aber als "General-Rafael-Urdaneta-Brücke" bezeichnete Straßenverbindung über den Canal de San Carlos im Bundesstaat Zulia in Venezuela wurde nach Plänen von Riccardo Morandi zwischen 1959 und 1962 errichtet. Schon zur Entstehungszeit war der Autor von dieser kreativ konstruierten Brücke über die Meerenge zwischen Karibik und Maracaibo-See begeistert. Damals ging man noch davon aus, dass Stahlbeton eine hohe Lebensdauer hat und so baute Riccardo Morandi die Monsterbrücke aus diesem Material. Aber schon 1980 und auch 1990 und später immer wieder musste und muss die Brücke saniert werden. Gerade im Zusammenhang mit dem Salz des Meeres gab und gibt es fast ständig die Notwendigkeit von teuren Sanierungen und Schutzanstrichen.

Die Brücke ist insgesamt 8.678 m lang, 17,40 m breit und im Mittelteil hat sie eine lichte Höhe über Wasser von 45 m. Sie besteht aus unterschiedlich konstruierten

Sektionen. Am interessantesten ist der Brückenabschnitt, bei dem die großen Schiffe passieren. Dort erreicht die Brücke ihre größte Höhe und überwindet die ausgebaggerte, eingetiefte Verbindung zwischen Maracaibo See und Karibik in fünf großen Schritten mit lichten Spannweiten von jeweils 235 m.

Die Grundkonzeption Morandis war eine Auslegerbrücke mit an den Endpunkten aufgelegten, vergleichsweise kurzen Brückenzwischenstücken. Damit ähnelt die Brücke konstruktiv auch etwas der Brücke über den Firth of Forth bei Edinburgh in Schottland. Im Fall der Brücke in Venezuela werden mehrere fast 90 m hohe A-Stützen auf etwa halber Höhe von der eingehängten und aufgeständerten Fahrbahn gequert und die mächtigen Träger über eine eingestellte, druckbeanspruchte V-Konstruktion im stützennahen Teil getragen, im äußeren Teil

**Abb.: 126**  
**Dreieinhalb der großen Felder der**  
**General-Rafael-Urdaneta-Brücke über die**  
**Meerenge der Maracaibo-See in Venezuela.**  
**Foto: Wilfredor 2013, Creative**  
**Commons Lizenz CCO 1.0**





hingegen von einer zugbeanspruchten Seilkonstruktion gehalten. Da die Form bereits optisch einleuchtet, darf man bei dieser Brücke wohl von einer technoiden Form sprechen.

Riccardo Morandi plante und baute nicht alleine die General-Rafael-Urdaneta-Brücke in Venezuela, sondern gleich anschließend in Genua die Brücke der Autostrada A10 im dortigen Stadtgebiet, die in den Jahren von 1963 bis 1967 errichtet wurde, sehr ähnlich aussieht und nach ganz dem gleichen statischen Grundkonzept konstruiert wurde, bis sie bei einem Unwetter 2018 nach 51 Jahren einstürzte und 43 Menschen in den Tod riss. Offenbar wurde sie schlecht gewartet, obwohl Prüfer angeblich längst Alarm geschlagen hatten. Möglicherweise kam aber auch eine Destabilisierung des später eingestürzten Trägers hinzu. Als die Brücke noch relativ neu errichtet war, fuhr der Autor 1969 nur dieser Brücke wegen auch nach Genua.

Riccardo Morandi zeichnet aber auch für die Brücke über ein tiefes Tal, über das Wadi al Kuf in Libyen

**Abb.: 127**  
**Das Foto zeigt eine der Stützen der General-Rafael-Urdaneta-Brücke in Venezuela. Man erkennt gut die primäre Konstruktion der im Gleichgewicht stehenden großen Ausleger, den hohen Träger unter der Fahrbahn sowie rechts und links die wesentlich leichter gebauten eingehängten kurzen Brückenelemente zwischen den Auslegern.**  
**Foto: Wilfredor 2013, Creative Commons Lizenz CCO 1.0**

verantwortlich. Diese Brücke wurde 1971, also schon zu Zeiten Gaddafis, fertiggestellt und entsprach nochmals dem gleichen konstruktiven Konzept.

Wie sich an der Venezuela Brücke und auf sehr drastische Weise auch an der Genua-Brücke gezeigt hat, sind Stahlbetonbrücken etwa nach 50 Jahren in sehr vielen Fällen bereits zu erneuern.

## Tabiaat Brücke in Teheran im Iran

Die im Norden von Teheran gelegene Tabiaat Brücke wurde von der jungen iranischen Architektin Leila Araghian entworfen. Sie gewann einen lokalen Architekturwettbewerb mit ihrem Entwurf. Die Brücke wurde nach ihren Plänen zwischen 2012 und 2014 errichtet. Seitdem verbindet sie die zwei ausgedehnten Naherholungs-Parkanlagen Taleghani und Abo-Atash miteinander.

Die Brücke ist 270 m lang, steht auf zwei Hauptstützen, die sich aus einem gut fundamentierten Kranz von runden Stahlstützen nach oben jeweils baumartig in beide Richtungen verzweigen, um noch weiter oben in mehreren Etagen miteinander verbunden zu werden, wodurch jeweils eine Art Ausleger in beiden Richtungen entsteht. Zwischen den seitlichen Brückenauflagern und über die zwei Stützen spannen sich flankierende im Norden und Süden durchgehende Stahlfachwerke, die zwischen den Auflagern schlanker werden.

Die Brückenkonstruktion enthält viele Sitzgelegenheiten, zwei große Aussichtsplattformen, Tschaichanes, Cafes und ein Restaurant sowie an mehreren Stellen Bepflanzungen. Da die Brücke im Norden der Stadt liegt und über der Autobahn eine freie Sichtschneise nach Norden ins Elburs-Gebirge besteht, hat man von der Brücke aus bei gutem Wetter und klarer Sicht eine faszinierende Aussicht nach Norden. So wird die Brückenkonstruktion selbst zu einer großen Attraktion, so dass die eigentliche Funktion fast in den Hintergrund tritt.

### Abb.: 128

**Die 2014 eröffnete Tabiaat Brücke in Teheran verbindet zwei große Naherholungszonen im Norden der Stadt über eine Autobahn hinweg. Es handelt sich um eine Kombination von Auslegerbrücke und Fachwerktragkonstruktion.**

**Foto: Johanna Franziska Bulin-Inegbu, Graz, 2019**



# Balkenbrücken

Balkenbrücken bestehen meist aus mehreren Holzbalken, die einen in der Ebene fließenden Bach überbrücken. Es kann sich aber auch um Steinbalken handeln, die allerdings je nach Gestein meist nur über sehr kurze Distanzen gespannt werden können. Mit vielen Gesteinen lassen sich nur enge Spalten überbrücken. Bei Bächen mit etwas mehr Wasser muss man schon eine ganze Serie von schmalen Durchlässen zwischen zahlreichen Auflagern konzipieren. In jedem der liegenden Steine entsteht schon durch das Eigengewicht und besonders bei Belastung an der Unterseite Zugspannung und an der Oberseite Druck. Bei Stein ist entscheidend, wieviel Zug das jeweilige Steinmaterial aufnehmen kann – bei welcher Belastung also der Stein bricht. Die meisten Gesteine haben eine hohe Druck- aber eine sehr geringe Zugaufnahmefähigkeit.

Auch eine Stahlplatte kann das Problem einer Überbrückung lösen und stellt eine andere Art Balkenbrücke dar. Bei vielen Baustellen im Straßenbau werden dicke Stahlplatten über eine kurzzeitige Aufgrabung gelegt. Bei größeren Spannweiten verbiegen sich aber selbst solche Stahlplatten beim Überfahren mit sehr schweren Lastkraftwagen. Auch bei diesen Stahlplatten gibt es oben eine Druck- und unten eine Zugzone. Natürlich könnte man noch dickere Stahlplatten einsetzen. Dann aber werden sie so schwer, dass sie nicht einmal mehr von den gewöhnlichen Straßenbaufahrzeugen transportiert werden können.

Daher werden bei Brücken aus Stahl die Zug- und die Druckzone gewöhnlich separiert. Es werden beispielsweise statt massiver Stahlbalken Fachwerkbrücken oder Fachwerkträger beim Bau verwendet. Bei beiden liegen ebenfalls oben die Druck- und unten die Zugstäbe. Das Fachwerk dazwischen ist quasi der Abstandhalter, verkürzt die Knicklängen bei den Druckstäben und übernimmt je nach Lage der Diagonalstäbe auftretende Zug- oder Druckkräfte.

## Steinbalkenbrücke auf den Orkneys in Schottland

Auf der zu Schottland gehörigen Hauptinsel der Orkney Inselgruppe findet sich diese kleine Steinbrücke über einen Bach auf dem Weg von Kirkwall zum Broch of Gurness. Diese klassische Steinbalkenbrücke lässt dem Bach vier Wasserdurchlässe. Das sorgfältig geformte Natursteinmauerwerk hat auf der Zulaufseite zwischen den Durchläufen drei spitz zulaufende bugförmige Wasserteiler. Die Brücke selbst besteht aus zwei Lagen längerer Steinplatten. Diese wurden nebeneinander, hintereinander und übereinander über die kleinen Brückenpfeilerstreifen gelegt. Die zweite Steinplattenlage wurde offenbar zur Sicherheit über die untere gelegt. Einige der Steinbalken sind trotzdem bereits zerbrochen. Möglicherweise hat ein zu schweres Fahrzeug versucht, über diese Fußgängerbrücke zu fahren. Auf der Ablaufseite sind die Brückenpfeiler rechteckig geformt. Die Brücke hat kein Geländer, was ein Indiz für ein höheres Alter sein kann. Im Mittelalter erhielten Brücken in der Regel keine seitlichen Brüstungsmauern.

### Abb.: 129

**Auf dieser Seite der Brücke schließen die drei Pfeiler rechteckig ab. Die Brücke trägt keine Geländer. Ein im Bild erkennbares Jungschaf hat dies offensichtlich nach seinem Absturz von der Brücke in den Bach trotz der geringen Höhe mit dem Leben bezahlt.**





Abb.: 130

Hier wird der Bach in vier Durchläufe unter der Brücke geteilt. Die bugförmige Ausformung der Pfeiler kann vor allem bei Starkregenereignissen das Wasser gut teilen. Die Brücke sollte repariert und unter Denkmalschutz gestellt werden.

Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1984

### **Nabeshima Samurai Clan-Brücke in Okawachiyama in Japan**

Auf der im Süden Japans gelegenen Insel Kyushu etwa sieben Kilometer nordöstlich von Arita, das zur Präfektur Saga gehört, liegt ein bekanntes Zentrum der Porzellanherstellung. Dieses wurde dort im Zusammenhang mit dem Imjin Krieg der Japaner gegen Korea aufgebaut.

Im Zuge dieses Krieges unternahmen die Japaner 1592 eine Invasion nach Korea. Während der Auseinandersetzungen wurden 1616 mehrere tausend koreanische Künstler nach Japan verschleppt, die in der heutigen Präfektur Saga ein Kaolin Lager abbauen mussten und um sie für die Herstellung von Porzellan zu nutzen.

Unter den Koreanern fand sich ein bekannter Porzellanhersteller Namens Ri Sampei, in Korea als I Sam-Pyeong bekannt, der wusste, wie man mit Hochtemperaturöfen umgeht. Mit seiner Hilfe wurden entsprechende Öfen auch in Japan gebaut und bis auf 1400°C erhitzt. Mit Hilfe der Koreaner wurde das Chinesische Monopol auf Porzellan durch die Japaner gebrochen.

Es gibt in Okawachiyama noch heute einen Friedhof und ein Denkmal; beide erinnern an die koreanischen Porzellanhersteller, auf deren Wissen die japanische Porzellanherstellung zurückgeht.

In Okawachiyama im Stadtgebiet von Imari findet sich als große Attraktion die "Nabeshima Samurai Clan Brücke" über einen Seitenkanal des Imari-Flusses. Es handelt sich um eine ganz von Porzellan umhüllte kleine Balkenbrücke. Das in der Nähe hergestellte Porzellan ist daher auch vor allem unter der Bezeichnung Imari-Porzellan bekannt. Auf der abgebildeten Seite der Brücke wird ein phantasievoller Paradiesvogel über gewelltem Wasser und langen Gebirgsketten gezeigt. Auf der Rückseite der Brücke findet sich ein im aufgewühlten Wasser schwimmender Wasserdrache.

Porzellan wurde in China erfunden und wird schon seit der späten Han-Zeit dort auch hergestellt. Später lernten auch einige Koreaner die Geheimnisse der Porzellanherstellung kennen. Über diese kam Anfang des 17. Jh. das Wissen über das Porzellan und seine Fabrikationsweise nach Japan. Okawachiyama liegt in einem auf drei Seiten von Bergen umgebenen Tal mit dem Nabeshima Hanyo Park samt einer Kontrollstation, die das Geheimnis der japanischen Porzellanherstellung zu bewahren hatte.

**Abb.: 131**  
**Die Westseite der Nabeshima Clan Brücke in Okawachiyama auf der japanischen Insel Kyushu mit dem Paradiesvogel über gewelltem Wasser und langen Gebirgsketten.**  
 Foto: Ludmila Wolf, Nürnberg, 2016

**Abb.: 132**  
**Die frühgotische Kapellbrücke von Luzern aus dem Jahr 1333 von Südosten aus noch im Original mit einem Teil des historischen Stadtzentrums, aus dem der Rathausturm hervorragt, und mit dem markanten Wasserturm links, den die Brücke tangiert.**  
 Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1985



## Kapellbrücke in Luzern in der Schweiz

Das Baumaterial Holz hat viele große Vorzüge. Im Verhältnis zu seiner Stabilität ist es recht leicht. Gerade in den Alpen wächst davon immer noch viel. Es brems den Wärmedurchgang bei Wohnbauwänden. Und selbst bei Brücken kann es bei entsprechendem Schutz gegen Regen eine lange Zeit überdauern, was die Kapellbrücke in Luzern demonstrierte. Sie erreichte 1993 ein Alter von 660 Jahren.

Andererseits sind Holzbrücken von Fäulnis bedroht, wenn sie nicht ausreichend gegen Feuchtigkeit imprägniert und gegen Fäulnis geschützt werden. Sie können auch von Holzwürmern befallen werden, wenn nicht vorher entsprechende Maßnahmen durch Holzschutzmittel dagegen ergriffen werden. Sie können bei Wurmbefall stark an Tragfähigkeit einbüßen. Holz ist aber auch auf Grund seiner guten Brennbarkeit von Feuer bedroht.

Die überdachte Kapellbrücke in Luzern war und ist zusammen mit dem massigen achteckigen Wasserturm das Wahrzeichen der Stadt. Die Brücke stammt

ungefähr aus dem Jahr 1333 und war schon in die einstige Wehranlage der Stadt integriert. Man konnte durch sie die Durchfahrt von Schiffen aus dem weitläufigen Vierwaldstättersee kontrollieren und auch vollständig blockieren. Im 19. Jh. wurde sie von ursprünglich 285 m Länge auf 200 m verkürzt. Der Bilderzyklus im Dachgestühl der Überdachung der Balkenbrücke entstand fast 300 Jahre später im Jahr 1611.

Im August 1993 ging fast die gesamte frühgotische Holzkonstruktion samt den interessanten 111 frühbarocken Gemälden in Flammen auf. Die heutige Brücke ist daher größtenteils eine Rekonstruktion aus dem Jahr 1994, die nach alten Aufmaßen und vielen Fotodokumenten detailgetreu der historischen Brücke nachgebaut wurde. Es handelt sich um eine Pfahljochbrücke mit hölzernen Krag- und Dachkonstruktionen. Nur bei der Durchfahrt gibt es ein Spreng- und Hängewerk. Bis 1993 war die Kapellenbrücke die älteste oder zumindest eine der ältesten Holzbrücken Europas.





Abb.: 133

Eines der 111 dreieckigen Gemälde aus dem Jahr 1611, deren Originale 1993 beim Brand verloren gingen. Dieses frühbarocke Gemälde zeigt die Stadt Luzern mit der Kapellbrücke und dem Wasserturm nochmals in klein.  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1985

## Erich-Edegger-Steg bei den Grazer Minoriten in Österreich

Der Erich-Edegger-Steg wurde für Fußgänger und Radfahrer über die Mur zwischen Minoriten-Platz und Palais Attems sowie Schlossberg-Platz nach Plänen des bekannten Architekten Günther Domenig 1991 errichtet. Er ist fast genau 70 m lang über die Mur gespannt und dort im Osten, wo er noch nicht in eine südliche Radfahrbahn und einen nördlichen Fußweg geteilt ist, etwa 4 m breit. Am Westende des Stegs hingegen ist der Steg gespreizt, so dass zwischen den zwei hier getrennten Brückenhälften ein schmaler Treppenabgang hinunter zu einem Weg entlang der Mur auf etwa halber Hanghöhe Raum findet. Dort, wo diese Treppe auf den Mur-Weg trifft, verbreitert sich dieser Weg zu einem rautenförmigen kleinen Ort zum Verweilen.

Dadurch, dass der Steg über die Mur wesentlich schwerer ist, als die Spannkonstruktion darunter, liegt ihr Schwerpunkt relativ hoch. Da der Steg aber am westlichen Ende in zwei Hälften getrennt wurde, handelt es sich quasi um ein räumliches Tragwerk. Die Brücke hat hierdurch drei Auflagerpunkte. Der Steg erhielt 2005

das Geramb-Dankzeichen für Gutes Bauen. 2020 bis 2021 wurde die Brücke nach 29 Jahren Nutzung saniert.

### Abb.: 135

**Der von Zugseilen unten und einem darauf mittig aufgesetzten Stützstab getragene 1991 eröffnete Mur-Steg in der Nähe des Minoriten-Klosters steigt zur Flussmitte hin leicht an, um auf der anderen Seite wieder zum hohen Ufer hin abzufallen. Die leicht geknickte Lauf- und Radfahrbahn bildet so mit der Abspannung eine langgezogene Raute. Auf der Gegenseite sieht man einen mittig angeordneten Abgang zur geplanten rechtsseitigen Mur-Promenade mit einem kleinen prismenförmig vortretenden Verweilplatz unter der Brücke. Dieser bildet eine Art grafische Gegenbewegung gegen die Brückenraute.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1993**



## Augarten-Steg in Graz in Österreich

Die schmale Brücke am Augarten in Graz ist ein nur für Radfahrer und Fußgänger zugelassener Steg über die Mur. Er wurde 1998 fertiggestellt und ist konstruktiv ausgesprochen innovativ. Segelschiffsmasten sollen ja möglichst leicht gebaut sein, damit ein Segelschiff nicht kopflastig wird. Die oft sehr hohen Masten bestehen daher oft aus einem relativ dünnen Stab, der seine Stabilität erst dadurch erhält, dass er räumlich in mindestens drei horizontale Richtungen über Abstandhalter mit Seilen verspannt wird.

Der relativ horizontal verlaufende Augarten-Steg hat zwei ähnlich stabilisierte Tragwerke. Die eigentlich nicht tragfähigen Brückenträger rechts und links der Nutzfläche verfügen über kleine in der Länge zur Brückenmitte zunehmende gelenkig unter und über diesen Trägern angebrachte Abstandhalter, die zusätzlich noch in den Feldern dazwischen diagonal räumlich verspannt wurden. Über diese Abstandhalter laufen jeweils zwei zugaufnahmefähige Seile. Diese machen konstruktiv aus den zwei lanzettförmig umspannten Flächen neben der Nutzfläche stehend angeordnete, tragfähige "Bretter", welche die Brücke durch die Verspannung tragen

können. Sie übernehmen so die durch die Eigenlast des gesamten Steges und durch die Passanten entstehenden Momenten-Belastungen. Dabei entsteht an den zwei Seilen an der Unterkante der lanzettförmigen "Bretter" jeweils eine sehr hohe Zug-Belastung und an den zwei Seilen an ihren Oberkanten aber immer noch eine namhafte Zugspannungen, die die Stabilität der "Bretter" garantieren.

Der Augarten-Steg war das Ergebnis eines 1996 durchgeführten Brückenwettbewerbes. Geplant wurde die Brücke von den Gewinnern, wobei Herwig Illmaier für Entwurf und Gestaltung, Adolf Graber und Tassilo Szyszkowitz für die Statik verantwortlich zeichnen. Der Steg hat eine Länge von 74 m. Die Lauf- und Fahrfläche ist 4,5 m breit. Sie besteht aus Holzleimplatten mit aufgebrachtem Gussasphaltbelag. Die Tragkonstruktion der Brücke wurde in vier Teilen an eines der Ufer angeliefert und dort zu dem langen Steg zusammengesetzt. Danach wurde die Brücke als Ganzes mittels eines eigenen Stelzen-Verfahrens über den Fluss geschoben und in die betonierten Auflager auf beiden Seiten präzise eingelassen.





Abb.: 136

Man sieht die aus Bambus konstruierte Brücke bei Tierradentro von schräg oben mit ihren Stützportalen unter der Brücke und dem hinteren Durchgangsportal darüber sowie die seitlichen Brüstungen.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1996

### **Bambusbrücke von Tierradentro in Südkolumbien**

Will man zu den unterirdischen Grabbauten von Tierradentro im Süden Kolumbiens gelangen, so musste man 1996 diese Bambusbrücke überqueren, um trockenen Fußes über einen Bach zu gelangen.

Abb.: 135

Der 1998 eröffnete Grazer Augarten-Steg knapp nach seiner Fertigstellung von Südosten aus aufgenommen. Man sieht die paarweise verwendeten Druckstangen unter und über der südlichen Tragkonstruktion, auch die kreuzweise Verspannung zwischen den Stangen sowie die obere und untere durchgehende Seilverspannung sowie den Steg mit seinem Gelände im Zentrum.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1999

Die insgesamt etwas über 20 m lange Brücke besteht aus je einem konstruktiven Brückenportal unter der Brücke an jedem Ufer. Die Portale werden auch von nahen Bäumen mitgehalten. Die eigentliche Brückenkonstruktion wird von sehr langen Bambusstangen an der Basis und auf Höhe des Brückenhandlaufes gebildet. Die Bambusstangen steigen von beiden Brückenden kommend zum Mittelbereich auf. Die in der Mitte einander überlappenden Enden der Stangen sind hier auch miteinander verbunden und formen über die beiden "Portale" gespannt einen weiten vorgespannten flachen Bogen. Die Spannung wird dadurch erzeugt,

dass die dicken Bambusstangen an den Brückenden tief im Boden verankert und dort mit schweren Steinen belastet sind. Durch die künstliche Krümmung über die zwei unteren Portale wird die Brücke vorgespannt. Dadurch kann sie auch bei starker Belastung in der Mitte nicht durchhängen.

Das hintere Portal ist auch über der Lauffläche als begehbares Brückenportal heraufgezogen worden. Die seitliche Absturzsicherung unter den Handläufen der Brücke und auch die Laufebene bestehen aus Längssegmenten von Bambusstangen, die längs aufgespeilt wurden. Die Lauffläche ist gegen das Ausrutschen bei Regen an der Oberfläche mit flachen Querstäben aus Bambus gesichert. Bambus ist relativ langlebig. Das Baumaterial wächst in der Umgebung, ist daher auch kostengünstig und leicht zu beschaffen.

**Abb.: 138**

**Das Brückendetail zeigt die Querstäbe auf der Lauffläche der Brücke bei Tierradentro, die ein Ausrutschen verhindern sollen.**  
Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1996

**Abb.: 137**

**Blick zurück längs über die Bambusbrücke bei Tierradentro, auf die ein Weg in Serpentina hinabführt. Gut zu erkennen ist auch die hohe Portalkonstruktion vorne.**





## High Trestle Trail Bridge in den USA

Der Trestle Trail ist eine ehemalige Bahnlinie der Union Pacific Railroad zwischen Ankeny und Woodward in Zentral-Iowa in den USA. Sie passiert dabei Sheldahl, Slater und Madrid. Die insgesamt etwa 40 km lange Strecke wurde recycelt und führt auch über ehemalige Brückenbauwerke der Bahnlinie. Diese und auch die restliche Strecke wurden inzwischen von den Schienen befreit, restauriert, die Strecke an der Oberfläche befestigt und der gesamte Weg für seine neue Aufgabe beworben und so revitalisiert. Seit April 2011 kann die Strecke, die vom Conservation Board und von der Iowa Natural Heritage Foundation betreut wird, von Joggern, Fußgängern und Radfahrern benutzt werden. Geplant ist eine deutliche Erweiterung auf etwa 160 km Länge für die Zukunft.

Der Name des Trails leitet sich von der High Trestle Trail Brücke ab. Diese liegt nicht sehr weit von Madrid in Iowa entfernt und wird mit einsetzender Dunkelheit blau beleuchtet. Die Leuchten zeichnen versetzt angeordnete Quadrate über der Strecke nach. Diese waren ursprünglich quadratische Rahmen zur Sicherung eines Bergbauschachtes in der unmittelbaren Nähe. Seinerzeit fuhr man durch sie vertikal in den Schacht eines Bergwerkes ein. Heute geht, joggt oder fährt man durch diese ehemaligen Stützquadrate mit dem Rad horizontal. Gerade am Abend wird diese Brücke so zu einer echten Erlebnisstrecke. Die Brücke ist an ihrer höchsten Stelle 40 m hoch und etwa 770 m lang. Sie erlaubt tagsüber sehr schöne Ausblicke auf das Tal des Des Moines Flusses.



# Fachwerk- und Klappbrücken

## **Neue-Elbbrücke bei Hamburg in Deutschland**

Die zwischen 1884 und 1885 errichtete Neue-Elbbrücke bei Hamburg besteht aus drei großen Linsenträgern, die auf zwei Pfeilern in der Elbe und auf den zwei Brückenlagern bei den neugotischen Portalbauten an den Enden der Brücke lasten. Die Kombination aus druckbeanspruchten Druckbögen mit Abspannungen und Hängebögen mit Abspannungen von oben und nach unten nach dem System Lohse führt quasi zur Aufhebung des Schubes beziehungsweise des Zuges und macht die drei Brückenfelder zu einer Art eigenständigen, linsenförmigen Fachwerkbrücke.

Die einzelnen Felder wurden vorgefertigt und auf gewaltigen Schwimmkörpern zu ihren Bestimmungsorten zwischen ihren künftigen Auflagern bei "Flut" (hohem Meerwasserspiegel) auf der Elbe transportiert, um mit einsetzender Ebbe in der Nordsee präzise auf ihren Auflagern mit Fix- und Gleitlagern aufgesetzt zu werden. Die Brücke überlebte offenbar den Zweiten Weltkrieg und wurde erst 1957 abgebrochen.

Es gab eine ganze Reihe von Elbbrücken, die meist nach dem System Lohse mit mächtigen Linsenträgern konstruiert wurden. Die jüngeren dieser Brücken haben allerdings nicht mehr diese filigrane Fachwerkausformung der Bögen, sondern stattdessen großformatige gekrümmte Doppel-T-Träger.

So entstand beispielsweise zwischen 1928 und 1929 rund 200 m neben dieser frühen Neuen Elb-Straßenbrücke die ebenfalls Neue-Elbbrücke genannte Eisenbahnbrücke zwischen Hamburg-Rothenburgsort und Hamburg Veddel.

**Abb.: 139**

**Die High Trestle Trail Brücke über dem Des Moines Fluss ist, wenn es dunkel wird, im Sommer, bis 22.30 Uhr, im Winter bis 21.00 Uhr beleuchtet.**

**Foto: Tony Webster, CCO 1.0 (siehe Glossar, Abkürzungen)**

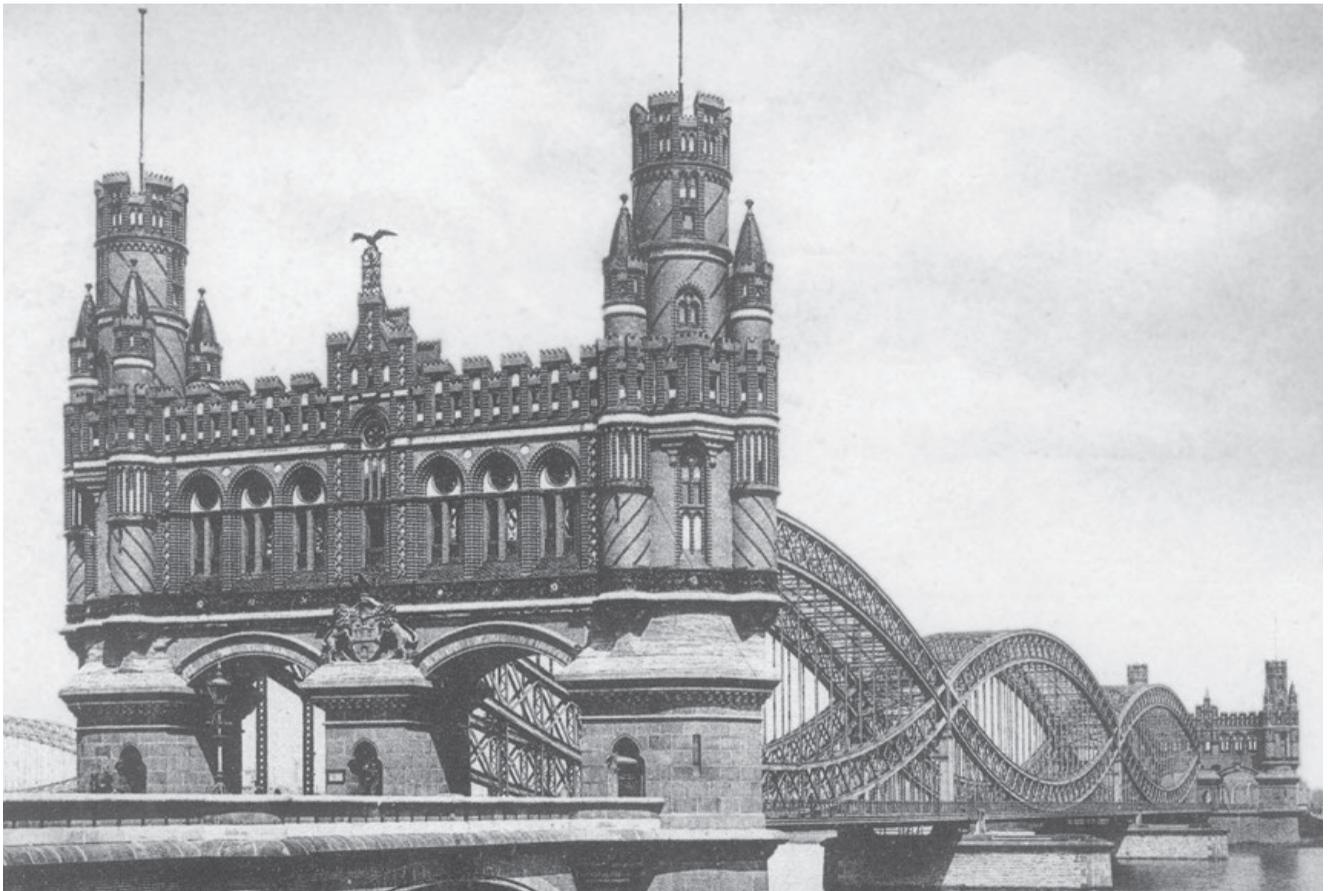
Abb.: 140

Eines der vorgefertigten Brückenelemente einer parallel zur "Neuen Elbbrücke" von 1885 in Hamburg errichteten Eisenbahnbrücke, die 1927 verbreitert werden musste; hier wird soeben bei Flut ein tonnenschweres Brückenelement von mehreren Schiffen, mit denen es für den Transport fix verbunden wurde, auf der Elbe zu den Brückensegmenten gebracht (Schnabel 1942:86, Abb. oben).

Foto: Anonymus, 1927

Abb.: 141

Diese von einer historischen Post-Karte übernommene Schwarzweiß-Fotografie zeigt die 1885 in Hamburg errichtete "Neue Elbbrücke", die bis 1957 bestand.  
Foto: Anonymus –Archiv Wolfgang Buchner, Graz



## Malviya-Brücke in Varanasi in Indien

Mit mächtigen sieben Fachwerkbögen von jeweils 107 m Spannweite überwindet die 1887 errichtete Malviya Eisenbahn- und Straßenbrücke den Ganges in Varanasi (Benares). Mit einer Gesamtlänge von 1048,5 m war sie zu ihrer Zeit Indiens drittlängste Brücke. Sie wird von 24 m hohen Brückenpfeilern getragen und besteht aus sieben Fachwerk-Bogenbrücken und weiteren neun kürzeren reinen Fachwerkbrücken mit jeweils 33,5 m Länge. Die Gangesbrücke wird unten als Eisenbahnbrücke und oben als Straßenbrücke genutzt. Ursprünglich wurden oben vielleicht schon Pferdefuhrwerke über den Ganges gelassen – heute wird dieser Teil der Brücke für den gesamten Lastkraftwagenverkehr aus den weiträumigen Gebieten südlich und nördlich des Ganges im Raum Varanasi genutzt.

Da die Auffahrt auf die Straßenebene der Brücke eher sekundär geplant aussieht, darf man wohl vermuten, dass diese Ebene überhaupt erst später eingezogen

wurde. Zur Zeit der Brückenerrichtung gab es noch keine Automobile. Der Straßenverkehr bestand damals hauptsächlich aus Büffelkarren, Berittenen und Fußgängern. Selbst heute werden immer noch manche Eisenbahnbrücken in Indien abwechselnd vom Bahnverkehr und auch vom Straßenverkehr genutzt, wenn der Straßenverkehr und auch der Bahnverkehr nicht zu stark sind.

Die nach dem nahen Raj-Ghat auch Rajghat Bridge genannte Brücke wurde seit ihrer Errichtung bis 1948 offiziell Dufferin Bridge genannt. Danach wurde sie nach dem bekannten Befreiungspionier Madan Mohan Malaviya in "Malviya Brücke" umbenannt. Errichtet wurde sie 1887 im Auftrag der Oudh and Rohilkhand Railway Firma (O&R Railway) und konstruiert vom Statiker Frederick Thomas Granville Walton.

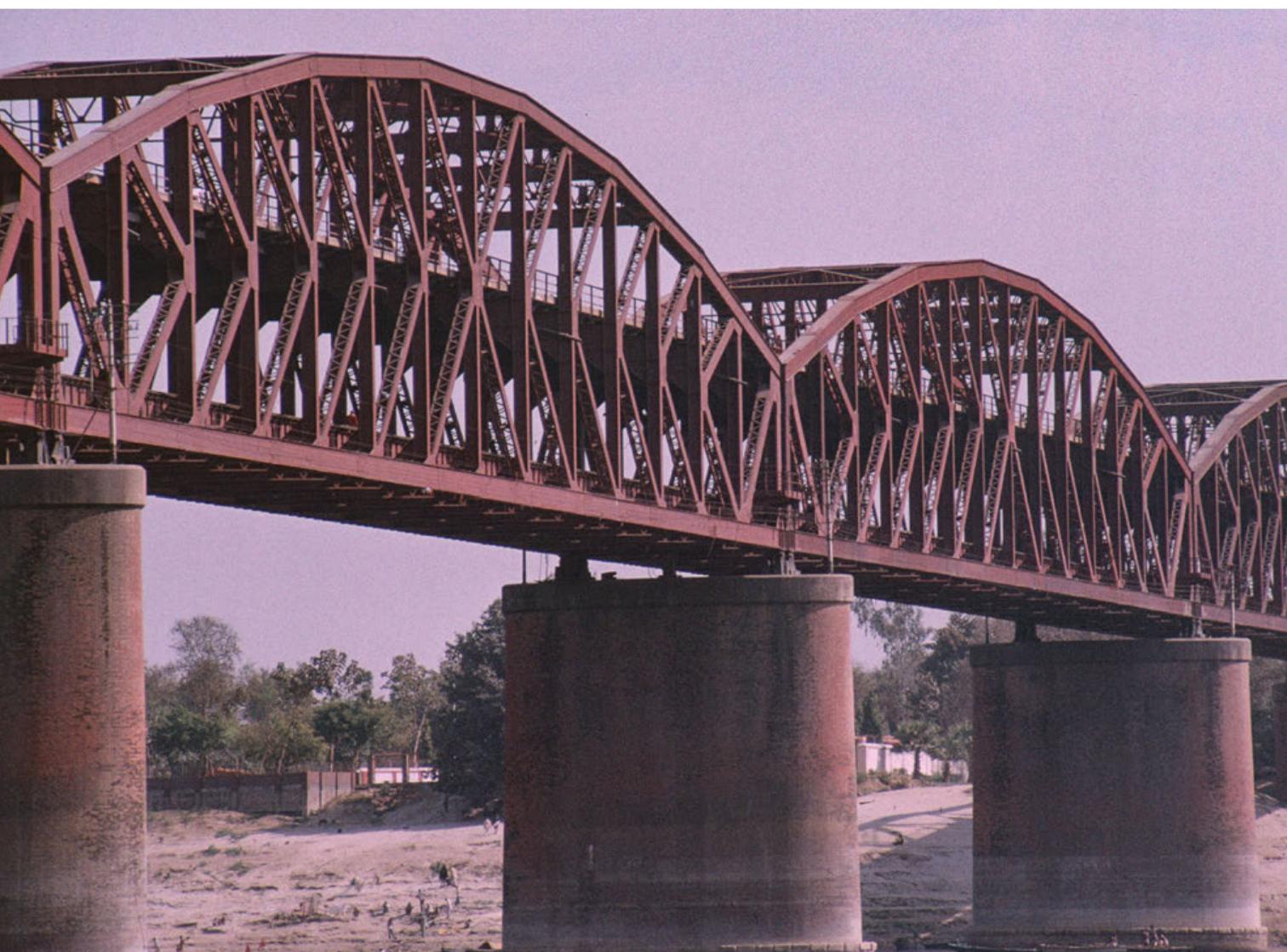




Abb.: 143

Diese aus größerer Entfernung aufgenommene Fotografie der Gohteik-Eisenbahnbrücke in Myanmar zeigt die 16 Fachwerkstützen, darunter die als Doppelstütze ausgebildete höchste Stütze mit 102 m Höhe sowie die eingehängten 10 Fachwerkbrücken und die meisten der 7 kürzeren Balkenbrücken.

### Gohteik-Eisenbahnbrücke in Myanmar

Die Gohteik-Eisenbahnbrücke in Myanmar wurde 1899 bei Nawnhkio in der nördlichen Shan Provinz etwa 100km nordöstlich von Mandalay über das Tal des Gohteik Flusses errichtet. Die maximale Fachwerkstützenhöhe liegt bei 102 m (Distanz zwischen Gleisen und Fundament). Da sich allerdings der Fluss im Bereich der Brücke nochmals tief in das Tal eingeschnitten hat und in einer Schlucht verläuft, ist die Distanz zwischen Schienenweg und Fluss noch einmal deutlich größer. Die Brücke hat eine Länge von 689m und ist mit ihrer für damalige Verhältnisse extremen Höhe immer noch Myanmar's höchstes Brückenbauwerk.

Sie wurde von den englischen Kolonialherren initiiert und nach den Plänen und auch unter der Bauleitung von Arthur Rendel in nur einem Jahr errichtet. Am 1.1.1900 wurde sie eröffnet. Die einzelnen Brückenelemente wurden in den USA von der Pennsylvania und Maryland Construction Company hergestellt und geliefert.

Abb.: 142

Man sieht deutlich bei der 1887 eröffneten Malviya Brücke unten das Eisenbahndeck und oben den Straßenverkehr. Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 2006



## Tower Bridge in London in England

Eines der Probleme bei Brücken über schiffbaren Flüssen ist die lichte Höhe dieser Brücken über dem Wasser. Die Themse wurde und wird auf der Höhe von London von zum Teil recht großen Schiffen befahren. Daher wurden flussaufwärts bis zur London Bridge, an deren Stelle schon zur Römerzeit eine Holzbrücke stand, nach Osten hin keine weiteren Stadtbrücken errichtet. Die in diesem Bereich geplante Tower Bridge sollte daher so gebaut werden, dass sie keine Barriere für große Schiffe mit höheren Aufbauten darstellt.

Sie war bis in die jüngste Zeit die östlichste Brücke Londons und kam somit der Nordsee am nächsten. Nur die Queen Elisabeth II Bridge, eine moderne Schrägseilbrücke, die 1991 fertiggestellt wurde, liegt östlicher. Weiter flussaufwärts, also nach Westen hin gibt es hingegen etliche Brücken über die Themse. Eine weitere Querungsmöglichkeit von Süden nach Norden und umgekehrt weiter östlich wurde als Tunnel unter der Themse geschaffen. Auf Höhe des Towers gab es bis zur Errichtung des großen Gezeitenwehres weiter östlich in der Themse im Rhythmus der Gezeiten bei Flut in der Nordsee auch mächtige Rückstauprobleme im Fluss.

Bei der Tower Bridge, dem wohl bekanntesten Wahrzeichen Londons, wurde das Problem von Schiffen mit hohen Aufbauten in Form einer Klappbrücke im Mittelfeld zwischen den zwei 63 m hohen Türmen gelöst. Man kann für die Öffnung der Wasserstraße die Fahrbahn unter den zwei Türmen sperren und dann im Mittelteil die zwei Fahrbahnhälften nach rechts und links aufklappen. Danach können auch größere Schiffe mit hohen Aufbauten zwischen den Türmen durchfahren. Zwei kleine Brücken verbinden die Türme ganz oben, so dass hier zu jeder Zeit noch eine fußläufige Verbindung während der Sperre der Klappbrücke über die Themse besteht.

### Folgendes Bild:

**Abb.: 146**

**Die Londoner Tower Bridge mit allen drei Teilen, den zwei seitlichen Hängebrücken und mit der Klappbrücke zwischen den Türmen und den darüber angeordneten zwei Fußgängerbrücken.**

**Foto.: Andreas Scheucher, St.Stefan ob Stainz, 2003**

**Abb.: 144**

**Die Gohteik-Eisenbahnbrücke in Myanmar von Südwesten aus gesehen.**

**Abb.: 145**

**Ausschnitt der Eisenbahnbrücke, die quasi aus dem Hochwald herauswächst. Man erkennt nochmals gut die Stützen und die einzelnen eingehängten Fachwerkbrückenteile.  
Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 2006**



P.L.A. MARINE SERVICES

PORT OF LONDON AUTHORITY

3780 1562



Die Tower Bridge wurde 1894 eingeweiht und erhielt ihren Namen vom nahen "Tower", Londons historischer Festungsanlage an der Themse aus dem 11. Jh., die unter anderem auch ein berüchtigtes Gefängnis, aber auch die berühmten Kronjuwelen enthält. Die Tower Bridge wurde zwischen 1886 und 1894 nach Plänen von Horace Jones und John Wolfe-Barry errichtet. Die Brückenbereiche auf den zwei Seiten des Mittelteils der Tower Bridge sind als Hängebrücken konzipiert, bei denen die beiden schlanken hoch liegenden Fußgängerbrücken zwischen den zwei Türmen des Mittelfeldes die Zugkräfte von der einen in die andere Hängebrücke überleiten. Da die Träger beider Fußgängerstege stark gespannt sind, konnten beide sehr schlank ausgebildet werden. An den zwei Enden der Tower Bridge werden die Zugkräfte über zwei relativ niedrige Portalbauten nach außen auf die Uferzonen abgeleitet. Die Tower Bridge ist also eine geniale Kombination von zwei Hängebrücken mit einer zentralen Klappbrücke.

**Abb.: 147**  
**Die Tower Bridge mit den zwei Türmen und den zwei Fußgängerbrücken oben und mit der offenen Fahrbahn unten.**  
**Foto.: Andreas Scheucher, St.Stefan ob Stainz, 2003**





Abb.: 148  
Die zum Südturm der Tower Bridge aufsteigenden massiven Eisenelemente der südlichen Hängebrücke. Links sieht man den "Tower" mit seinen vier kleinen Türmchen an den Ecken.

Abb.: 149  
Der tiefste Punkt der südlichen Hängebrücke der Tower Bridge. Die Passanten geben einen guten Maßstab für die Dimensionen der zugbeanspruchten Teile der Brücke. Das "DOMINE DIRIGE NOS" im Wappen bedeutet "Gott führe uns"; die Gestaltung ist dem Historismus entsprechend neugotisch.  
Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1984

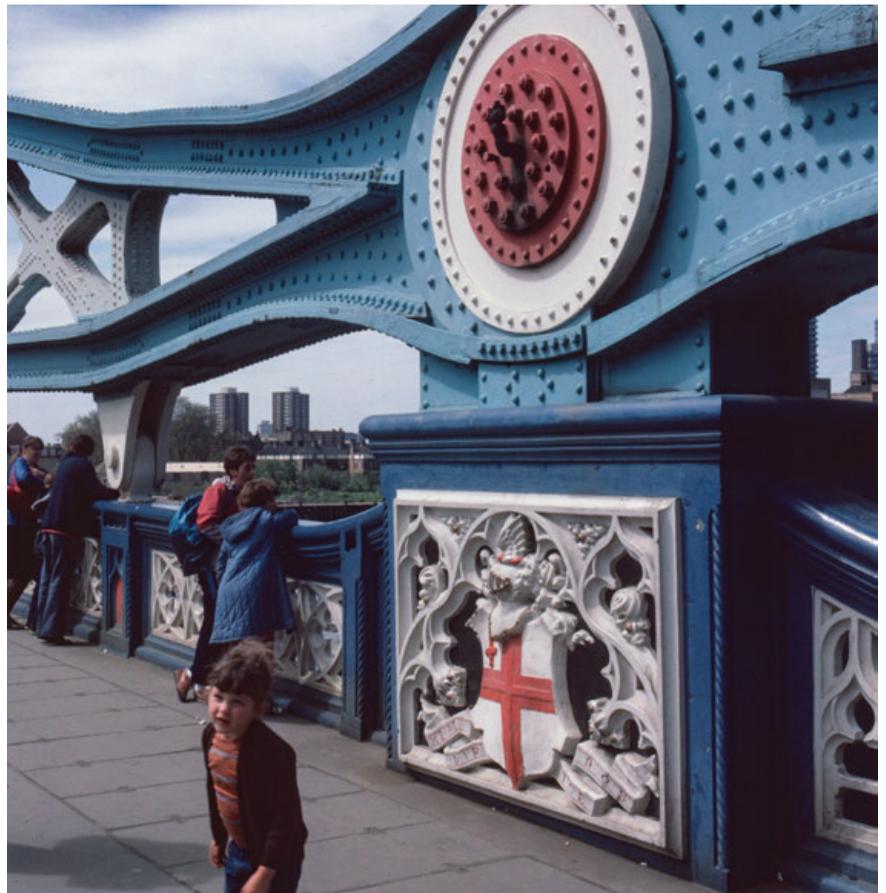




Abb.: 150

Das südliche der zwei Portale der Tower Bridge, über das rechts und links die massiven Zugelemente der Hängebrücke zum Südufer der Themse hinunterlaufen.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1984

Abb.: 151

Diese historische Klappbrücke in Amsterdam führt über die Amstel und wird die "Magere Brug" genannt.



## Holländerklappbrücken in Europa

Überall, wo Segelschiffe mit hohen Masten eine niedrige Straßenbrücke kreuzen sollen, gibt es Probleme mit der lichten Höhe unter der Brücke und den hohen Masten der Segelboote. Daher hat man bereits früh Klappbrücken mit Gegengewichten entwickelt. Seit wann es diese Klappbrücken gibt, ist eher schwer zu ermitteln. Vielfach werden sie in der Literatur als Holländerklappbrücken bezeichnet. Dass solche Brücken nicht nur in den Niederlanden zu finden sind, ist anhand der weltberühmten Gemälde von Vincent van Gogh "Zugbrücke in Arles" zu sehen. Die Brücke malte van Gogh mehrfach und sie stimmt in allen Details mit denen in Norddeutschland, in den Niederlanden und auch in Belgien überein. Anfang des 19. Jh. gab es sie jedenfalls weit verbreitet. Und einige existieren heute immer noch.

Es sind meist zweigeteilte Brücken, bei denen jede Hälfte der Brücke wie bei einer Zugbrücke aufgeklappt

werden kann. Damit das aber nicht zu mühsam wird, ist jeweils über den Gelenken auf einem tragfähigen Brückenportal ein etwas nach außen geneigter Rahmen montiert, an dessen Vorderkanten über Seile oder Stangen die jeweilige Brückenhälfte hängt und an dessen äußerem Querbalken jeweils ein entsprechend schweres Gegengewicht montiert ist. Jede Hälfte der Brücke kann mit Hilfe des jeweiligen Gegengewichtes sehr leicht von einer Person entsichert und aufgeklappt und auch wieder geschlossen werden.

### Abb.: 152

Die "Gravestenen Brug" in Haarlem in den Niederlanden vor den Häusern Korte Spaarne 21 und 23 ist ebenfalls eine typische Holländerklappbrücke.

Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1988





# Druckbeanspruchte Brückenkonstruktionen



# Hölzerne Druckbogenbrücken

## **Die Trajans-Brücke zwischen Serbien und Rumänien**

Die Trajans-Brücke wurde unter dem römischen Kaiser Trajan an der Grenze zwischen dem heutigen Serbien und Rumänien als Übergang über die Donau errichtet. Damals wurde die Donau noch Fluvius Danuvius genannt. Nach ihrem syrisch-griechischen Konstrukteur und Gestalter Apollodorus von Damaskus wurde die Brücke auch vielfach Apollodorus-Brücke genannt. Es handelt sich bei der auf der Siegessäule Trajans auf dem Forum Romanum in Rom dargestellten römischen Brücke ebenfalls um diese Trajansbrücke und zugleich um ein Bauwerk der Superlative.

Sie wurde in den Jahren 103 bis 105 n.Chr. über die dort sehr breite Donau rund 200 km östlich der heutigen Stadt Belgrad zwischen dem heutigen serbischen Dorf Kostol und der heute rumänischen Stadt Drobeta Turnu Severin errichtet, deren Name auf das römische Militärlager bei dieser Brücke auf rumänischer Seite zurückgeht. Sie erreichte eine Gesamtlänge von 1135 m bei einer Brückenbreite von 14,55 m. An der tiefsten Stelle der damaligen Donau hatte die Brücke eine Höhe von 18,60 m. Sie war zu ihrer Zeit die längste Brücke der damals in Europa bekannten Welt und dies galt auch noch für die folgenden rund 1000 Jahre. Manche vermuten, dass die Brücke zu ihrer Mitte hin konstant etwas anstieg, damit dort auch die großen römischen Schiffe passieren konnten.

Konstruktiv verfügte die Trajans-Brücke über 20 aus Ziegeln und Mörtel gemauerte und mit wasserundurchlässigem Beton ummantelte Brückenpfeiler, von denen sich 1932 noch 16 Pfeiler in der Donau nachweisen ließen. Auf diesen 20 Pfeilern lasteten 19 jeweils ca. 56,5 m weit gespannte flache polygonal geformte hölzerne Segmentdruckbögen. Diese Segmentbögen bestanden jeweils aus drei polygonalen übereinander konstruierten Holzdruckbögen, die mit Abstand zueinander angeordnet waren und von strahlenförmig angeordneten Querbalken durchdrungen wurden. Mit diesen bildeten sie eine Art Fachwerkbogen. Die strahlenförmigen Balken reichten jeweils bis zur Fahrbahn, die nochmals aus zwei Lagen Längsbalken und

einer Lage Querbalken bestand. Dann folgten die Geländer auf beiden Seiten.

Die Brücke wurde vom syrisch-griechischen Architekten und Bauingenieur Apollodorus von Damaskus geplant. Sie wurde allerdings nach dem Abzug der Römer aus Dakien spätestens um 270 n. Chr. wieder zerstört. Die Konstruktion war gut luftdurchflutet und hatte daher die Chance, auch länger zu halten als viele andere Holzkonstruktionen. So konnte sie nach Regenfällen schnell wieder trocknen. Bei den relativ geringen Balkenlängen entstanden bei ihr auch trotz der großen Spannweiten keine kritischen Knicklängen in der Konstruktion.

Von den Brückenpfeilern haben sich in Ufernähe auf beiden Seiten mehrere wirklich gut erhalten. Es gibt seit einigen Jahren ein Projekt zur Rekonstruktion der ehemaligen römischen Brücke, wodurch zugleich an dieser

#### Abb.: 153

**Detail der Trajanssäule in Rom mit der Darstellung der Trajansbrücke über die Donau bei Drobeta Turnu Severin in Rumänien.**

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2001

#### Abb.: 154

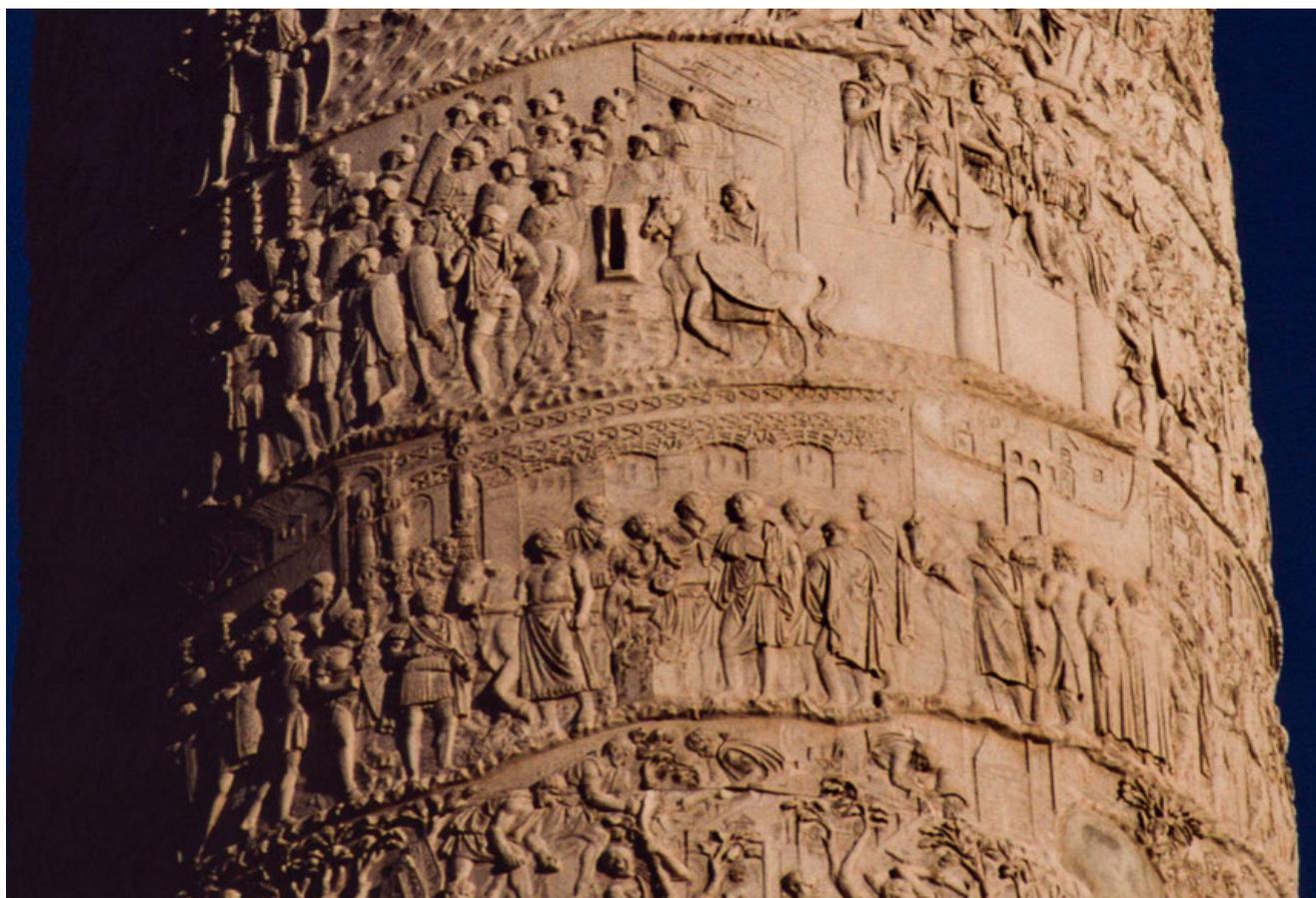
**Diese Rekonstruktionszeichnung der Trajansbrücke von Ing. E. Duperrex aus dem Jahr 1907 zeigt den Brückenturm auf der rumänischen Seite, wo damals das römische Militärlager Drobeta lag, aus dem sich schon bald eine größere Stadt entwickelte, die heute den Namen Drobeta Turnu Severin trägt. Die Rekonstruktion zeigt die 19 Bogenfelder mit ihrer Holzkonstruktion.**

**Bögen und Pfeiler sind bei der Brückenuntersicht allerdings zu breit und die 14,55 m breite Fahrbahn oben viel zu schmal dargestellt. Zeichnung: E. Duperrex 1907; Foto: Rapsak (Flickr upload). CC 2.0 (siehe Glossar Abkürzungen)**

#### Abb.: 155

**Das Relief der römischen Trajans-Brücke mit Kaiser Trajan vorne bei einer Opferzeremonie ist dargestellt auf der Siegestsäule Trajans auf dem Forum Romanum in Rom. Das Relief zeigt nur einige der 19 Segmentbogenfelder der Brücke. Diese stellen sehr viel an konstruktivem Detail dar.**

Fotos: Conrad Cichorius (1900:Band 2, Tafeln 58–113)





Stelle wieder einen Donauübergang geschaffen würde. In diesem Zusammenhang wurde der Anfang der Brücke mit den Fundamenten der zwei Brückenportale auf beiden Seite archäologisch freigelegt und untersucht. Beide archäologische Zonen werden außerdem jeweils durch einen Damm gegen eine weitere Überflutung durch die Donau geschützt. Man fand beide Fundamente der einst hoch aufragenden Brückenportale und jeweils drei weitere enger stehende Fundamente von Pfeilern am Beginn der einstigen Trajans-Brücke. Die Distanzen waren hier so gering, dass sie wohl mit aus Ziegeln gemauerten Bögen überspannt waren. Dazu gibt es auch sehr detaillierte Dokumentationen der Archäologen.

### **Hölzerne Segmentbogenbrücke in Khaiféng in China**

Die ausgedehnte Stadtdarstellung der Stadt Khaiféng aus der Zeit um 1125 mit der Wiedergabe des "Frühlingsfestes" vom Maler Chang Chai-Tuan, die in Peking im Palastmuseum in der "Verbotenen Stadt" ausgestellt ist, stellt neben vielem anderen auch eine hölzerne Segmentbogenbrücke aus dieser Zeit dar. Die Darstellung wurde immer wieder kopiert. Eine sehr gute handangefertigte, mehr als acht Meter lange Kopie mit Tusche in mehreren Farben auf Seide liegt im Archiv des Autors in Graz.

Die wiedergegebene Brücke überspannt nach Angaben einiger Publikationen (Jurecka 1979:38, Abb. 14) den Huáng Hé Fluss, den "Gelben Fluss". Dessen Breite misst im Raum Khaiféng mindestens einen Kilometer. Daher kann es sich nur vielleicht um einen Seitenarm oder Nebenfluss des Huáng Hé, vielleicht aber auch um einen damaligen Kanal in der Darstellung handeln. Auch heute noch liegt die Stadt Khaiféng der Gefährdung durch die Hochwasser des großen Stromes wegen etwa fünf Kilometer südlich des Huáng Hé. Im Laufe der Geschichte wurde Khaiféng dennoch mehrfach durch verheerende Hochwasser trotz der großen Distanz zum Gelben Fluss fast völlig zerstört.

Die Brücke wurde über Steinsokkeln auf beiden Seiten des Gewässers als Holzkonstruktion in Form eines Segmentbogens errichtet. Sie soll zwischen 1032 und 1033 gebaut worden sein und auch noch 50 Jahre später völlig funktionsfähig und nicht restaurierungsbedürftig gewesen sein. Ähnliche, aber weniger weit gespannte gewölbte Holzbrücken soll es laut Berichten seit dem 4. und 5. Jahrhundert n. Chr. in ganz China gegeben haben. Es wird auch von mehrbogigen Brücken berichtet. Einige sollen auch mit Hilfe der Kragtechnik aus Holz über sehr hohen Steinpfeilern konstruiert gewesen sein, so dass die Schifffahrt durch diese Brücken nicht behindert wurde. Schon damals stattete man in mehreren Fällen die Holzbrücken auch mit einem Dach aus, um ihre Lebensdauer zu erhöhen (Jurecka 1979:39).



Abb.: 156

Diese Darstellung einer hölzernen Segmentbogenbrücke in Khaiféng ist Teil eines etwa acht Meter langen Rollbildes mit dem Titel "Frühlingsfest" vom Maler Chang Chai-Tuan, das dieser mit Tusche auf Seide um 1125 n. Chr. herstellte. Das Original wird im Palast-Museum in Peking, in der sogenannten "Verbotenen Stadt" ausgestellt. 1994 kaufte der Autor in China eine originalgetreue, manuell angefertigte Kopie im Maßstab 1:1 des Rollbildes, die ebenfalls mit Tusche in mehreren Farbtönen auf Seide hergestellt wurde. Diese Abbildung zeigt also einen Ausschnitt einer Kopie des Originals. Die Brücke dürfte 1033 errichtet worden sein.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2020



### Kintai-Kyō Brücke in Japan

Die im Jahr 1673 in Iwakuni fertiggestellte Kintai-Kyō Brücke in Japan überspannt den Nishiki Gama, der an dieser Stelle bis dahin nur per Boot überquert werden konnte. Die Brückenkonstruktion wurde damals von Fürst Kikkawa Hiroyoshi in Auftrag gegeben. Die erste Version war aber noch nicht hoch und stark genug konstruiert, um einem damaligen Taifun der stärksten Art im

Jahr 1674 zu widerstehen. So wurde die Brücke bereits ein Jahr nach ihrer Errichtung wieder zerstört und musste nochmals, nun mit höheren Pfeilern und stabileren Druckbögen errichtet werden.

Die Gesamtlänge der Brücke betrug in beiden Fällen 193 m, die zweite Brücke hatte Pfeiler von 6,60 m Höhe. Die eigentliche Brückenkonstruktion aber bestand in beiden Fällen aus hölzernen Segmentdruckbögen. Die



Brücke hatte und hat damit eine gewisse konstruktive Ähnlichkeit mit der Konstruktionsweise vieler römischer Brücken, bei denen auch oft die Brückenpfeiler aus Stein errichtet wurden, die Segmentbögen dazwischen aber aus Holz. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Brückentypen ist, dass bei der römischen Brücke die Nutzfläche geradlinig alle Bogenformen ausglich, während die Nutzfläche der japanischen Brücke den Bogenformen der Segmentbögen an der begehbaren

**Abb.: 158**

**Die 1673 errichtete Kintai-Kyō Brücke über den Nishiki Gama in Iwakuni in Japan steht auf hohen Steinpfeilern, ist aber selbst eine aus Holz konstruierte Segmentbogenbrücke. 1950 wurde sie durch einen Taifun nach 276 Jahren fast völlig zerstört und musste größtenteils rekonstruiert werden. Foto: Werner Frank, 1986**



Oberfläche folgt. Man muss also mehrfach über die Bogenform auf- und absteigen, was bei den steileren Abschnitten auch Stufen erforderlich machte.

Die Brücke hat insgesamt fünf hölzerne Segmentbögen, von denen die zwei äußeren sehr flach ausgebildet sind und daher unterstützt werden müssen. Ursprünglich gab es wohl nur zwei Unterstützungen, was alte detaillierte Darstellungen belegen. Heute stehen fünf Stützenreihen unter jedem der zwei flachen seitlichen Bögen. Die drei inneren großen und weiter gespannten Bögen hingegen sind deutlich weiter nach oben gekrümmt und steigen dabei relativ steil jeweils auf beiden Seiten des Bogens auf. Die Nutzfläche der Brücke hat eine Breite von etwa fünf Metern. Die mittleren drei Bögen überspannten den Fluss mit einer Spannweite von jeweils

**Abb.: 159**  
**Ein Blick unter die Konstruktion zeigt die Holzkassetten mit Verstrebungen in beiden Richtungen.**  
**Foto: pastaitaken, CC.3,0 (siehe Glossar, Abkürzungen)**

**Abb.: 160**  
**Man sieht hier gut einen der zwei unterstützten Bögen am einen Ende der Brückenfolge.**  
**Fotos: Werner Frank, 1986, Institut für Architekturtheorie, Kunst- und Kulturwissenschaften der Technischen Universität Graz**



35,10 m und haben eine lichte Stichhöhe von 13,30 m über dem Fluss bei normalem Wasserstand. Um ein Desaster wie das nach ihrer ersten Errichtung 1673 zu vermeiden, wurden die Steinelemente der gemauerten Pfeiler an der bugförmigen Spitze mit eisernen Doppelschwalbenschwänzen zusammengehalten. Nach ihrer Fertigstellung durfte die Brücke zunächst nur vom Auftraggeber und von Privilegierten benutzt werden, später auch von allen anderen Japanern aus der Stadt Iwakuni.

1950 geschah das fast Unvorstellbare: Der Taifun Kezia war stärker als alle anderen Taifune der davorliegenden 276 Jahre und riss die Brücke nochmals fast völlig ein. Sie musste großteils ein drittes Mal errichtet werden. Nur die äußeren zwei Felder der 1674 errichteten Brücke konnten erhalten werden. Sie sind heute durch fünf statt nur zwei Reihen von Stützen unter der Holzkonstruktion zusätzlich gestützt. Über diese zwei Brücken wird auch der horizontale Schub von den mittleren drei hohen und weitergespannten Bögen auf die Uferzonen abgeleitet.

## **Ströhberne Bruck'n in Edelschrott in Österreich**

In der österreichischen Gemeinde Edelschrott auf der steirischen Seite der Pack, einem Passübergang nach Kärnten, etwas abseits der Bundesstraße an der Einmündung des Guggibaches in den Hierzmanntausee steht die sogenannte "Ströhberne Bruck'n". Sie war früher die Verbindung zur Herzogberg-Gemeindestraße über den Teigitschbach. An dieser Stelle stand schon seit mehr als 300 Jahren eine strohgedeckte Brücke. Schon der steirische Barock-Kartograph Georg Matthäus Vischer verzeichnete die Brücke über die Teigitsch in seiner Steiermarkkarte von 1678 und nannte sie die "Ströhebruck".

Die inzwischen denkmalgeschützte und wieder neu eingedeckte Überdachung der heutigen Ströhbernen Bruck'n ist eine Holzbrücke mit einem Alter von etwas mehr als 200 Jahren. Sie ist außerdem heute vielleicht die einzige strohgedeckte Brücke in der Steiermark. Zwei der originalen Lärchenholzbalken tragen auf der Seite zur Fahrbahn die Jahreszahl 1816, das Jahr ihrer letzten Errichtung. Ursprünglich war die Brücke 14 m lang und von der Konstruktion her ein einfaches Sprengwerk mit einer Hängekonstruktion zur Unterstützung der Fahrbahn in den Drittelpunkten.

Hierbei fungieren die jeweils drei Balken des Sprengwerks, die man auf Abb. 161 gut auf der rechten Seite des Geländers sieht, wie ein Druckbogen. Alle drei Balken werden auf Druck beansprucht. Die in den zwei Knotenpunkten vertikal kreuzenden Balkenpaare hingegen haben eine Doppelfunktion; sie stützen nach oben das Dach und nehmen daher oberhalb des Knotens Druckkräfte auf. Unterhalb des Knotens hingegen sind sie auf Zug beansprucht. Die entsprechenden Balkenpaare beider Brückenseiten bilden unter der Gehfläche mit je einem weiteren Balken einen querlaufenden Bügel, auf dem die Lauffläche in den Drittelpunkten lastet.

Um 1950, als der Teigitschbach zum Hierzmanntausee aufgestaut wurde, musste auch die Brücke verlegt werden. Dabei verkürzte man ihre Länge um 2,50 m auf 11,50 m. Weiters verstärkte man die alte Konstruktion durch ein untergestelltes zweites Sprengwerk, so dass sich ihre Tragfähigkeit von 3 t auf 6 t erhöhte. Außerdem



wurde die Brücke nun über den Guggibach gespannt. Später war sie dem motorisierten Verkehr aber nicht mehr gewachsen; insbesondere für moderne Landmaschinen war die Dachkonstruktion viel zu niedrig. Es wurde eine neue Brücke unmittelbar neben der alten errichtet und diese diente dann als Zufahrt zu einem Bauernhof und zu einer Feriensiedlung.

Auf Abb. 163 mit der Seitenansicht der Brücke sieht man die sekundär untergestellte Unterstützung dieser Drittelpunkte. Diese Unterstützungen fehlen nun nach der Sanierung von 2001 in Abb. 165 wieder, weil die Brücke inzwischen nur noch für Fußgänger und Radfahrer zugelassen ist. Sie wurde konstruktiv und optisch fast wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzt.

Zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme durch den Autor war die Brücke in einem kritischen Zustand des Verfalls. Das Strohdach war fast durchgehend im Firstbereich durchgefault und das Dach offen. So fehlte der Witterungsschutz weitgehend über der Brückenmitte. Die Vermorschung der tragenden Hölzer war akut zu befürchten. Auch die pittoreske Vermoosung der noch vorhandenen Dachflächen ließ ein baldiges Einbrechen des restlichen Schutzdaches erwarten. Erfreulicherweise wurden die Dacheindeckung und auch der zum

**Abb.: 161**

**Die "Ströhberne Bruck'n" in Edelschrott in der Steiermark im November 1999. Links sieht man das alte tragende Sprengwerk der Brücke.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz,**

Teil notwendige Austausch einzelner angemorschter Balken der tragenden Konstruktion und insgesamt eine weitgehende Rückführung auf die ursprüngliche Konstruktion der Brücke relativ bald nach den ersten Fotos in den Medien in Angriff genommen. Das Dach wurde rekonstruiert und mit Stroh vollständig neu in der traditionellen Weise eingedeckt und auch die weitere Sanierung der Brücke durchgeführt und aus Mitteln des österreichischen Bundesdenkmalamtes und des steiermärkischen Revitalisierungsfonds finanziert.

Die Überdachung bot natürlich auch einen Regenschutz für Passanten, die hier Schutz suchen können, war aber primär zur Trockenhaltung der hölzernen Brückenkonstruktion gedacht, die dadurch zumindest vor Fäulnis deutlich besser geschützt wurde und wird. Sie kann so ein höheres Alter erreichen. Auch heute noch werden die immer selteneren Holzbrücken in regenreichen Ländern oft mit einem Dach geschützt, um ihre Lebensdauer zu erhöhen.



Abb.: 162

Hier sieht man die Sprengwerke auf beiden Seiten der Brücke. An ihnen sind auch die Geländer montiert. Oben sieht man den offenen, eingebrochenen First des Brückendaches.



Abb.: 163  
Die eingewachsene Brücke von der Seite zeigt unter der Brücke ein zweites sekundäres Sprengwerk.  
Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1999



Abb.: 164

Das Detail enthält die eingravierten Buchstaben "SK" und die Jahreszahl der Errichtung der Brücke "1816".

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1999

Abb.: 165

Die "Ströhberne Bruck'n" im Frühjahr 2001 wird nur noch vom alten Sprengwerk oben getragen. Das untere wurde entfernt. Die neue Stroheindeckung wurde erst zwei Tage später abgeschlossen.

Abb.: 166

Die sanierte Brücke von der Lauffläche aus gesehen mit dem instandgesetzten Dach und dem nun alleine tragenden mehr als 200 Jahre alten Sprengwerk auf beiden Seiten. Die Balken neben der Lauffläche mussten ausgetauscht werden. Letzte zwei Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 2001



## Blosbrücke in Osttirol in Österreich

Die österreichische Blosbrücke über die Schwarzach im Osttiroler Hopfgarten im Defereggental wurde zwischen 1941 und 1943 vom Zimmermann Josef Veider errichtet und ist eine überdachte Holzkonstruktion. Das Satteldach schützt die Brücke mit einer dreilagigen Holzschindeldeckung gegen Regen. Getragen wird das Dach samt Dachstuhl von jeweils sechs Stützen auf beiden Seiten der Brücke. Diese teilen die Brücke in jeweils fünf Felder. Konstruktiv verfügt die etwa 18 m lange und etwa 2,50 m breite Brücke über zwei Sprengwerke. Die inneren zwei Sprengwerke rechts und links der Fahrbahn steigen von den Brückenauflagern flach über jeweils zwei Brückenfelder bis etwa zur Dachsaumhöhe auf. Im Brückenmittelfeld überträgt je ein horizontaler Balken auf Traufniveau im Mittelfeld die Druckkräfte.

Um die Tragfähigkeit der Brücke noch zu steigern, wurde ihr ein zweites Sprengwerk auf jeder Seite gegeben. Die jeweils zwei Holzbalken dieser Konstruktion steigen von den Brückenauflagern steiler jeweils im ersten und letzten Brückenfeld bis über Traufhöhe

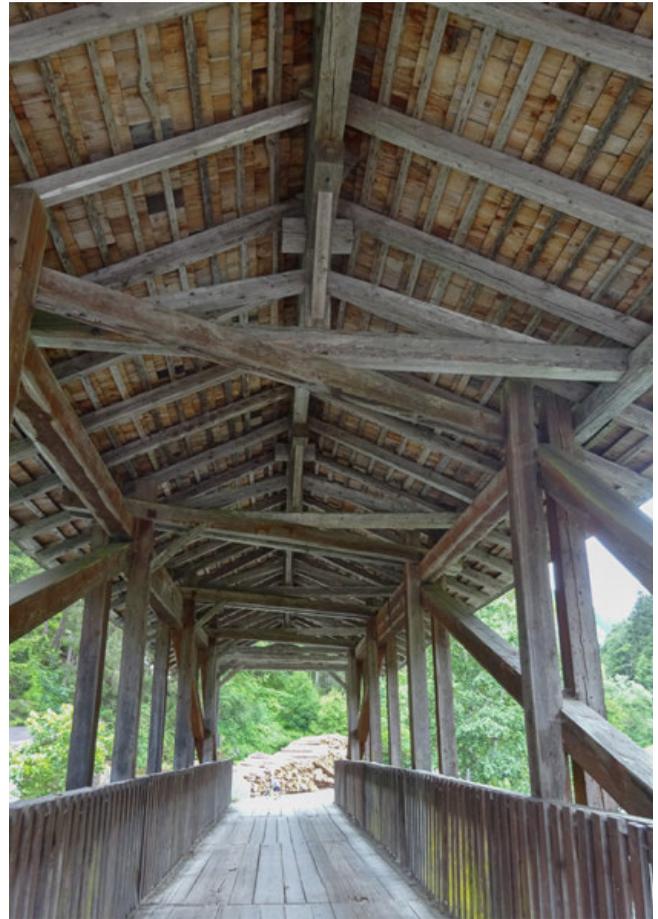
auf. Auf dem Niveau über den zwei horizontalen Balken der zwei inneren Sprengwerke verlaufen hier je ein zweiter horizontaler Balken gleich über drei Brückenfelder und geben den horizontalen Druck des zweiten Sprengwerkes weiter. Der sehr lange Balken wird bei den Stützen der Brücke oben eingespannt, so dass er nicht auf Grund des hohen Druckes ausweichen kann. So leitet er den Druck über drei Felder horizontal zur anderen Brückenseite.

Die jeweils zwei mächtigen Holzbalken unter der Brücke auf jeder Seite der Fahrbahn sind miteinander verzahnt und nehmen die entstehenden horizontalen Zugkräfte auf. Über diesen wurde nur an den Balkenenden noch ein dritter Balken mit einer komplexen Verzahnung aufgesetzt, damit die unteren Balken den doch erheblichen horizontalen Schub der zwei Sprengwerke mit ausreichendem "Vorholz" übernehmen können.

Die jeweils vier mittleren Stützen des Daches leiten nur ganz oben oberhalb der Sprengwerke den Druck vom Gewicht des Daches auf die Sprengwerke. Über fast die gesamte restliche Höhe jeweils von den Sprengwerken abwärts sind die Stützen hingegen zugbeansprucht.



An ihnen hängt quasi die Fahrbahn der Brücke, die zusätzlich bis zu 9 t Gewicht auch an Nutzlast noch aufnehmen kann. Die Brückenkonstruktion wird aber noch komplexer, weil sie nicht geradlinig über die Schwarzach geführt wurde, sondern etwas abgewinkelt ausgerichtet ist. Daher ist die gesamte Tragkonstruktion wie ein Parallelogramm im Grundriss verschoben. Nur die Dachkonstruktion schließt im Grundriss annähernd rektangulär die Brücke ab.



**Abb.: 168**

**Dieser Blick unter das Dach der Bloßbrücke zeigt auf beiden Seiten die zwei Sprengwerke von innen. Außerdem sieht man gut die zwei unterschiedlichen Ausrichtungen: die der Dachkonstruktion und die der Tragkonstruktion der Brücke.**

**Fotos: Adele Drexler, Trofaiach, 2020**

**Abb.: 167**

**Die Bloßbrücke über die Schwarzach von der Nordwestseite gesehen. Von hier aus sieht man beide Sprengwerke. Außerdem erkennt man die abgehängte Fahrbahn mit den zwei übereinander liegenden, miteinander verzahnten Balken von der Seite mit den aufgesetzten verzahnten Auflagerbalken für die Sprengwerke, die so den Horizontalschub auffangen helfen.**



# Steinbogenbrücken

Nach heutigem Stand des Wissens wurden die frühesten Schlusssteinbögen und Gewölbe um 3000 v. Chr. in Ägypten etwa 30 km südlich von Kairo und fast zeitgleich auch im südlichen Iran errichtet. Der Schritt von einem Kraggewölbe zum Schlusssteinbogen war ein Quantensprung in der Architekturgeschichte und damit auch im Brückenbau. Er war eine geniale Erfindung und ermöglichte deutlich größere Spannweiten und damit die Überbrückung von breiteren Hindernissen und zugleich auch die Überdachung von großen Räumen ohne Holzeinsatz.

Da in den weiten Wüstengebieten des Iran und auch Ägyptens schon immer Holz und damit auch Holzbalken viel zu wertvoll waren, um in der profanen Architektur eingesetzt zu werden, war es sicher kein Zufall, dass gerade hier Menschen eine Technik erfanden und entwickelten, mit der man bis heute aus getrockneten Lehmziegeln große Räume überspannen kann, um sich vor der Hitze des Tages, vor der Sonne, aber auch vor der Kälte der Nacht in den Wüstengebieten zu schützen und mit der man auch Brücken mit großen Spannweiten bauen konnte.

Durch Kultur- und Techniktransfer, aber auch durch mehrere kriegerische Auseinandersetzungen zwischen Persern und Griechen und auch durch den Handel des europäischen Mittelmeerraumes mit Ägypten gelangte das Prinzip des Schlusssteinbogens nach Europa, wo es wohl von den Römern am stärksten in der Architektur eingesetzt wurde.

Die frühesten Brücken der Römer muten noch eher bescheiden an. Die späteren Bogenkonstruktionen wurden dann aber schon immer größer. Das Pantheon hat bereits eine Spannweite von 43,5 m. Im Mittelalter erlebt dann der Bau von gemauerten Bogenbrücken in Europa eine Phase des Bauens von mit immer größeren Spannweiten.

So wurde 1356 im italienischen Verona die Ponte Scaligero mit 48,70 m Spannweite errichtet. Nur wenige Jahre danach erteilte Barnabò Visconti den Auftrag zum Bau einer Brücke als Zugang zu seiner Festung bei Trezzo über den Adda Fluss in der Lombardei in Italien. Die

Brücke wurde 1377 fertiggestellt, hatte einen mächtigen Segmentbogen mit einer Spannweite von 72 m (es wird auch das Maß von 76 m angegeben). Die Trezzo Brücke, auch Visconti Brücke genannt, wurde allerdings bereits 1416 bei einer Attacke auf die Burg nach nur 39 Jahren zum Einsturz gebracht. Ihre Formgebung war wohl mehr der Wehrhaftigkeit geschuldet. Die Brücke sah sehr massiv aus und hatte kaum etwas von italienischer Eleganz. Aber sie war zu ihrer Zeit und noch bis 1903 die weitest gespannte, gemauerte Bogenbrücke. 1479 folgte dann der Pont de Vieille-Brioude, eine Rundbogenbrücke mit einer Spannweite von immerhin 54,57 m über den Allier Fluss im französischen Vieille-Brioude. Sie stürzte allerdings 1822 ein. Als dann in Luxemburg 1903 die Adolphe Brücke mit einer Spannweite von 84,55 m eröffnet wurde, war zunächst einmal ein neues Maximum für Spannweiten bei gemauerten Bogenbrücken erreicht.



### Ponte Rotto in Rom in Italien

Die Reste der "Pons Aemilius", später "Ponte Emilio" und zuletzt auch "Ponte Rotto" genannt, weil nur noch ein Brückenbogen von ursprünglich sieben erhalten geblieben und unerreichbar mitten im Tiber im Stadtgebiet von Rom unterhalb der Tiber-Insel stehen geblieben ist. Dieser Bogen ist ein Relikt der ältesten steinernen Tiber-Brücke aus dem Jahr 179 v. Chr. Die ursprüngliche Brücke hatte sechs gemauerte Brückenpfeiler, die aber bei der ersten Brückenversion noch sieben hölzerne Brückensegmentbögen trugen.

Erst 142 v. Chr. – als die Römer ausreichend Erfahrungen mit Halbkreistonnengewölben gesammelt hatten - wurde von den hohen römischen Beamten M. Fulvius Nobilior und M. Aemilius Lepidus die Brücke mit sieben gemauerten halbkreisförmigen Bögen witterungsbeständig ausgestattet. Vielleicht erhielt die Brücke schon damals ihre typische Travertin-Verkleidung. Unter dem Pontifex Maximus Augustus musste dann im 1. Jh. n. Chr. eine erste größere Brückenreparatur durchgeführt werden. Danach nannte man die Brücke auch Pons Maximus. Die Brücke hielt danach

### Abb.: 169

Die "Ponte Rotto" in Rom hier von Norden gesehen, der Rest der "Pons Aemilius", der ältesten Brücke Roms aus dem 2. Jh. v. Chr.. Dahinter wird die 1885 errichtete Eisenschwellebrücke, die "Ponte Palatino" sichtbar. Der alte Brückenbogen beschreibt einen Halbkreis, In den Zwickeln rechts und links kann man die zwei geflügelten Drachen erkennen. Über den Brückenpfeilern gibt es jeweils noch einen Wasserdurchlass, der den seitlichen Druck auf die Brücke bei Hochwasser verringern helfen soll. Die tragende Ziegelarchitektur wird im rechten Bogenansatz sichtbar. Aus welcher Zeit die hier zu sehende Travertin-Verkleidung stammt, scheint unklar. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2001

weitgehend ohne größere Reparaturen bis ins 13. Jh., als erstmals wieder Restaurierungen notwendig wurden. Solche mussten auch im 14. Jh. durchgeführt werden.



**Abb.: 170**  
**Der einzige noch stehende Brückenbogen von Roms ältester Brücke, der "Pons Aemilius", hier von Süden gesehen. Dahinter werden die zwei Tiber-Arme und die Tiber-Insel sichtbar. Ganz im Vordergrund sieht man die Geländerkonstruktion der 1885 errichteten Eisenfachwerkbrücke, von der aus das Foto aufgenommen wurde.**  
**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2001**

1557 wurden dann bei einem massiven Hochwasser zwei Brückenfelder unter dem Seitendruck der Wassermassen weggerissen. Papst Gregor XIII beauftragte Baumeister Matteo da Città di Castello mit der Wiederherstellung der Brücke. Damals dürften die vier Reliefs mit dem geflügelten Drachen in den Zwickeln rechts und links über dem noch bestehenden Bogen eingesetzt worden sein. Sie entstammen möglicherweise dem Wappen des damaligen Papstes.

Als 1598 ein weiteres gewaltiges Hochwasser dem Zentrum der Stadt Rom zusetzte, riss der Tiber die östlichen Bögen der Brücke fort. Die Einschnürung des Tibers und seine damit verbundene natürliche Eintiefung

über die Jahrzehnte dürften zur Labilität der Brücke beigetragen haben. Die mit dem westlichen Ufer verbundenen drei Bogenfelder wurden provisorisch erst viel später 1853 mit einer eisernen Hängebrückenkonstruktion mit dem östlichen Ufer wieder verbunden. Als dann aber 1885 der Ponte Palatino als neue Eisenfachwerkbrücke über den Tiber knapp neben den Resten der Ponte Emilio errichtet werden sollte und dieser neuen Brücke ein Teil der alten im Weg stand, riss man auch im Westen zwei weitere Brückenfelder nieder.

Bei jüngeren Brückenkonstruktionen als bei der Ponte Emilio konnten die Erfahrungen bei den frühen Brücken Roms einfließen. Sie waren daher weniger fragil und haben zum Teil bis heute durchgehalten. Die Römer experimentierten mit Baumaterialien. Natürlich kannten sie das Brennen von Kalk und den daraus produzierten Kalkmörtel. Sie lernten aber auch Zement bei wesentlich höheren Temperaturen zu brennen und daraus hydraulischen Zementputz und hydraulischen Beton herzustellen. Für den Brückenbau war die Entwicklung von Betonen wichtig, die auch unter Wasser abbinden und danach eine sehr hohe Festigkeit aufweisen. Der beim Brückenbau verwendete Beton war

auch wasserundurchlässig und wurde mit der Zeit sogar im Wasser noch härter als kurz nach dem Abbinden. Für ihre Aquaedukte, die man natürlich bei oberirdischer Wasserführung als Brückenbauwerke ansprechen muss, war außerdem ein Beton entscheidend, der wasserundurchlässig ist, damit der Wasserverlust auf den oft sehr langen, mitunter mehr als 100 km weit geführten künstlichen Wasserwegen nicht zu groß wurde.

In nachrömischer Zeit wurde allerdings im christlichen Abendland fast das gesamte technische Wissen der darin sehr versierten Römer systematisch und bewusst verschüttet. Je weniger jemand weiß, desto mehr muss man glauben! Im späten Mittelalter und besonders in der frühen Neuzeit fragten sich viele Baumeister angesichts der Haltbarkeit vieler römischer Monumentalbauten aus Beton und natürlich auch bei römischen Brücken, wie die Römer einen derartig festen Beton herstellen können. Erst ab der Mitte des 18. Jh. experimentierte man nochmals besonders in England mit den in Frage kommenden Materialien und erfand ein zweites Mal viele der bereits in der Antike bekannten Baumaterialien, deren Herstellung und ihre unterschiedlichen Verarbeitungsmöglichkeiten.

**Folgende Seiten:**

**Abb.: 171**

**Der Pont du Gard bei Nimes als Überbrückung des Flusses Gard für eine römerzeitliche Straße und als Wasserleitung ganz oben für die Stadt Nimes. Die balkenförmigen Einschnürungen am jeweiligen Bogenfuß in den großen Bogenlaibungen dienten zur Fixierung von Gerüsten bei allfälligen baulichen Sanierungen. Die Straße über den unteren Bögen wurde noch bis ins 18. Jh. verwendet.**

**Foto: Andreas Scheucher, St.Stefan ob Stainz, 2004**

## **Pont du Gard bei Nimes in Frankreich**

Der Pont du Gard bei Nimes in Frankreich ist eines der bekanntesten römischen Aquaedukte und diente der Wasserversorgung der einstigen römischen Stadt Nemausus, dem heutigen Nimes. Das Aquaedukt hatte eine Gesamtlänge von ca. 50 km. Der Pont du Gard wurde etwa 18. v. Chr. errichtet und war ein Schlüsselbauwerk im Verlauf dieser Wasserleitung mit gleich anschließendem Tunnel. Es hatte aber auch eine Doppelfunktion. Es war über der untersten breiteren Bogenebene auch ein Viadukt. Über die großen Schlusssteinbögen unten auf der Nordseite führte eine römische Straße über den Fluss Gard - zur Römerzeit Vardo fluvius genannt. Über der oberhalb folgenden zweiten Schlusssteinbogenreihe und der Reihe kleiner Bögen lag das eigentliche Aquaedukt zur Wasserversorgung der nahen römischen Stadt Nemausus.

Der Pont du Grad wurde aus Kalksteinblöcken in Form eines Trockenmauerwerks in der Schlusssteinbogen-Technik errichtet. Das Brückenbauwerk hat eine Gesamtlänge von ca. 275 m (eigene Messung aus dem Google Earth, da die von Grewe angegebenen 490 m (Grewe 2010:85) kaum stimmen können, und eine Gesamthöhe von fast genau 50 m. Die maximale Spannweite der unteren Bögen liegt bei 24,5 m. Zu den Seiten der Brücke nehmen die Spannweiten der Bögen auf der unteren und auf der mittleren Ebene beidseitig kontinuierlich ab. Als Straßenbrücke wurde das Bauwerk noch bis ins 18. Jh. genutzt.

Das Gefälle der Wasserleitung variierte abschnittsweise im Verlauf der Leitung bis zum Pont du Gard zwischen 0,03 % und 0,05 %. Auf der Strecke zwischen dem Pont du Gard und dem Castellum in Nimes, also einer restlichen Strecke von 33,5 km liegt ein Höhenunterschied von etwa 6,2 m, daraus ergibt sich ein Gefälle von nur knapp 0,02 %. Die eigentliche Wasserleitung über dem Brückenbauwerk ist 1,8 m hoch und 1,2 m breit. Sie wurde als Gussbauwerk aus verdichtetem wasserundurchlässigem Zementmörtel, dem "Opus caementicium" hergestellt und gegen Verunreinigung von oben mit Steinplatten abgedeckt.

Auch auf der gesamten restlichen Strecke war die Leitung geschlossen. Über sie flossen pro Tag rund 20.000 m<sup>3</sup> Wasser in die Stadt, die etwa 20.000





Einwohner zählte. Das ergibt  $1 \text{ m}^3$  Wasserverbrauch pro Person und Tag – eine “stolze” Wassermenge. Auf den insgesamt ca. 50 km Länge fällt die Wasserleitung insgesamt nur um ca. 12 m. Das ist ein durchschnittliches Gefälle von nur 0,024 % - das Aquaedukt war also extrem flach geneigt. Man konnte nachweisen, dass die Trasse mit Hilfe des “Austafelns” ermittelt wurde und das Gefälle mit Hilfe des “Chorobates“-Instrumentes, das Fehler durch die Erdkrümmung ausgleicht, gemessen wurde. Man war sich also damals durchaus dessen bewusst, dass unsere Erde annähernd einer Kugel gleicht und ihre Krümmung bei der Aussteckung berücksichtigt werden muss.

**Abb.: 172**

**Der Pont du Gard vom Niveau des Aquaeduktes aus aufgenommen. Durch diese Wasserleitung flossen zur Römerzeit etwa 20.000.000 Liter Wasser pro Tag.**

**Foto: Andreas Scheucher,  
St.Stefan ob Stainz, 2004**



## Römische Brücke in Avila in Spanien

Westlich der Altstadt von Avila fließt der Fluss Adaja, der nach starken Regenereignissen mächtig anschwellen kann. Hier bauten die Römer bereits Anfang des 1. Jh. eine Brücke mit fünf Bögen über vier Pfeilern sowie den seitlichen Rampenauflegern. Die Straße darüber führte direkt durch das westliche Stadttor in die römische Stadtanlage.

Die Pfeiler und Wasserscheider waren aus Granit errichtet. Ob die Bögen darüber tatsächlich bereits damals auch in Stein ausgeführt waren oder vielleicht doch eher aus Holz bestanden, ist nicht sicher. Nach der Eroberung durch die Mauren 711 n. Chr. war die Stadt bis ins 11. Jh. stark entvölkert. Danach wurde die Brücke dann jedenfalls mit Bögen aus einem weichen Sandstein ausgestattet. Das Steinmaterial war offenbar zum Teil weicher als der Fugenmörtel, der heute an manchen Stellen daher reliefartig vortritt. Zu dieser Zeit hatte die Brücke aber wohl noch keine Brüstungsmauern, was bei Brücken aus dieser Zeit auch nicht üblich war. Die seitlichen Brüstungen wurden erst viel später und nun wieder aus Granit gemauert und hatten oben einen abgerundeten Abschluss.

**Folgende Seite:**

**Abb.: 173**

**Die römische Brücke von Avila über den Fluss Adaja. Die niedrigen Pfeiler aus Granit stammen aus dem 1. Jh. n. Chr. Die Bögen wurden wohl erst im 11. und 13. Jh. aus einem weichen Sandstein, bei dem das Fugenmaterial an vielen Stellen härter ist, als der Stein, aufgesetzt. Daher erodierte der Stein schneller und das Fugenmaterial stand Ende des 20. Jh. vor. Die auf die Fahrbahn aufgesetzte, wieder aus Granit gefertigte und oben abgerundete Brüstung stammt aus noch jüngerer Zeit. Im Hintergrund erkennt man die mächtige Wehranlage der Stadt Avila. Foto: Walter Brantner, Graz, 1994**



## Aquaedukt von Segovia in Spanien

Das Aquaedukt von Segovia in Spanien wurde von den Römern 98 n. Chr. fertiggestellt. Es gehört heute zu den besterhaltenen Aquaedukten in Spanien. Segovia hat ihren römischen Namen behalten. Die Römer gelten bei vielen bis heute als die Erfinder des echten Schlusssteingewölbes und -bogens; vielleicht verwendeten sie es am öftesten, aber sicher waren sie nicht die Erfinder. Ein ähnlich hohes Alter konnte auch für einige Schlusssteingewölbe in Persien nachgewiesen werden.

So kamen Schlusssteinbögen auch bei den zahlreichen

Wasserleitungen zum Einsatz, die zum Teil in den Städten des Imperium Romanum extreme Höhen erreichten und so zu regelrechten städtischen Raumteilern wurden. Das alte Rom verfügte über zehn zum Teil zweigeschossige Aquaedukte, mit denen das in der wohl ersten Millionenstadt benötigte Wasser bereitgestellt

**Abb.: 174**

**Das Aquaedukt von Segovia ist noch heute ein die Stadt prägendes Architekturelement und ein aus manchen Blickwinkeln stadtraumteilendes Bauwerk.**

**Foto: Walter Brantner, Graz, 1994**





wurde. Die Bürger des alten Rom verbrauchten rund 10 mal so viel Wasser pro Person vor 2000 Jahren als die heutigen Römer! Wasserverschwendung ist also keine Erfindung des 20. oder 21. Jh.!

In Segovia erreicht das Aquaedukt eine Höhe von immerhin bis zu 28 m. Das im 1. Jh. n. Chr. errichtete Aquaedukt war 17 km lang und versorgte die Stadt mit sauberem Quellwasser aus der Sierra de Fuenfría über mehrere hundert Jahre. Die Wasserleitung ist keineswegs besonders lang. Das Aquaedukt von Gadara in Jordanien war mit einer Gesamtlänge von 171 km vielleicht das längste. An diesem Bauwerk ist aber als besonders hervorzuheben, dass von den 171 km 99 Kilometer durch gewachsenen Fels gehauen werden mussten; an dem Aquaedukt von Gadara wurde mehr als 100 Jahre bis zur Fertigstellung gearbeitet.

## Anji-Brücke bei Zhaozhou in China

Die Anji Qiáo (Brücke der sicheren Überquerung) über den Xiaohe Fluss steht bei Zhaozhou in der Provinz Hebei ca. 40 km südöstlich von Shijiazhuang und wurde zwischen 595 und 605 n. Chr. als flach ausgeformte Segmentbogenbrücke über den Fluss gespannt. Ihre Spannweite liegt bei 37 m, ihre Breite misst etwa 9 m. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt ca. 50 m. Dadurch, dass die Fahrbahn der Brücke selbst einen flachen Segmentbogen nach oben zur Brückenmitte beschreibt, erreicht der Scheitelpunkt unter der Brücke eine Höhe von 7,30 m über dem Bogenansatz.

Die Tragkonstruktion der Brücke besteht aus 28 verhältnismäßig schlanken parallel gestellten etwa gleich breiten Gurtbögen. Diese werden vor einem seitlichen Auseinanderbrechen durch vier Zuganker zwischen dem großen unteren Druckbogen und den oberen Bogenauflagern zusammengehalten. An den zwei seitlichen vertikalen Fassaden der Brücke fallen zwischen den einzelnen Druckbogensteinen der zwei äußeren Gurtbögen und auch bei den insgesamt vier kleinen aufgesetzten Bögen in den Brückenzwickeln jeweils zwei Doppelschwalbenschwanz-förmige Verbindungselemente auf. Gerade bei einem so flach gespannten Segmentbogen entsteht ein sehr hoher Druck auf die einzelnen Steinelemente jedes Gurtbogens, so dass die Gefahr eines Ausweichens des äußeren Bogens nach außen relativ groß ist. Mit den unzähligen Schwalbenschwanzverbindungen aus Eisen wollte man vielleicht auf den Bogenstrecken zwischen den vier horizontalen Zugankern sicher gehen. Erstaunlich ist die geringe Korrosion bei diesen sauber steinmetzmäßig eingearbeiteten Doppelschwalbenschwänzen aus Eisen.

Erstaunlich ist auch das Errichtungsdatum, das fast genau 1000 Jahre vor dem der in Europa so bekannten Segmentbogenbrücke in Venedig, der Rialto-Brücke über den Canal Grande liegt. Bei einer Spannweite von nur 28,8 m liegt Rialto mit einer um 8,20 m geringeren Spannweite auch konstruktiv weit abgeschlagen. Da die Segmentbogenhöhe - gemessen von den Fußpunkten - mit 7,50 m bei Rialto um 30 cm höher liegt, ist der Segmentbogen deutlich steiler als bei der Anji-Brücke in China. So ist auch der Druck auf die Auflager in China wesentlich größer als der bei Rialto. Nur bei der Brückenbreite liegt die Anji-Brücke mit ihren 9 m Breite

**Abb.: 175**

**Detail des riesigen hier mehr als 28 m hohen Aquaeduktes, bei dem im unteren Teil die Natursteine auch als verlorene Schalung einem tragenden Betonkern aus "Opus caementicium" dienen. Foto: Walter Brantner, Graz, 1994**

**Abb.: 176**

Die zwischen 595 und 605 n. Chr. errichtete Anji-Brücke bei Zhaozhou, unter der im Sommer 1994 das Flussbett des Xiaohe völlig ausgetrocknet war.

um 13 m hinten gegenüber der Rialto-Brücke. Aber die Brückenbreite ist auch keine konstruktive Herausforderung. Bei ihr ging und geht es bei Rialto um die kommerzielle Nutzung der Brücke. Die Anji-Brücke ist in vielfacher Hinsicht eine erstaunlich frühe konstruktive Pionierleistung.

**Abb.: 177**

Dieses Detail der Brücke im Nordosten zeigt die Doppelschwalbenschwanz-Verbindungen sehr gut – es sind aus Eisen gefertigte Verbindungselemente. Ganz links im Bild sieht man einen vortretenden Eisenknopf. Das ist das Ende eines der vier horizontalen Zuganker, die quer zur Brücke die 28 Gurtbögen zusammenhalten.

**Abb.: 178**

Die schlichte Untersicht aus dem 1994 völlig ausgetrockneten Flussbett zeigt die 28 relativ schlanken Gurtbögen, die man sichern musste, damit sie nicht auseinanderbrechen.

Folgende Seiten:

Abb.: 179

Schrägaufnahme der Segmentbogenbrücke samt Brüstungen auf der Brücke.

Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1994









Abb.: 180

Detail der Brüstungen im Zentrum der nördlichen Innenseite auf der Anji-Brücke bei Zhazhou. Der Drache ist auch ein Symbol für den chinesischen Kaiser. Vielleicht ist er hier zugleich Schutzpatron? Neben dieser Darstellung finden sich jeweils einander umschlingende vielleicht ihre Kräfte messende Drachenpaare.

## Rundbogenbrücken in Kunming, China

Zweimal drei typisch chinesische Rundbogenbrücken flankieren in einem Park den aus dem 8. und 9. Jh. stammenden zentralen buddhistischen Yuantong Tempel im Stadtteil Wuhua in Yunnans Provinzhauptstadt Kunming. Die Ähnlichkeit dieser Brücken mit jenen im viel jüngeren "Sommerpalast" bei Peking lässt vermuten, dass für dessen Brücken aus dem 18. Jh. am Yuantong Tempel in Kunming Anleihen genommen wurden.

**Abb.: 181**  
**Drei der Brücken beim buddhistischen Yuantong Tempel in Kunming im chinesischen Yunnan. Sie haben eine gewisse Ähnlichkeit mit den Brücken im Sommerpalast bei Peking. Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1994**



## Alte London Bridge in London in England

Die ältesten Brücken über die Themse waren seit der Römerzeit alle aus Holz gebaut. Nach einem gelegten Brand zur Zerstörung einer dieser Brücken aus strategischen Gründen gegen das Vordringen der Dänen und einem unbeabsichtigten verheerenden Brand entschloss man sich Ende des 12. Jh. zum Bau einer Steinbrücke über den Fluss. So wurde die alte London Bridge zwischen 1176 und 1209 unter der Verantwortung und Aufsicht von Peter de Coechurch errichtet. Später baute man ihm auf der Brücke dafür eine Kapelle mit Krypta, in der seine Gebeine beigesetzt wurden.

Diese London Bridge war 273 m lang und wurde auf zahlreichen Pfählen, die in den Untergrund der Themse gerammt werden mussten, gegründet. Sie bestand aus 19 unregelmäßig geformten steinernen Spitzbögen und einer etwas breiteren Durchfahrt mit Zugbrücke. Mit 6 m Breite war die Brücke zunächst nicht besonders breit. Auf der Stadtseite gab es ein Nordtor, das New Stone Gate. Später wurde zunächst auch im Süden der Brücke ein Tor errichtet. Dieses bestand zunächst noch aus Holz mit zwei Türmen. Ab 1426 gab es dann auch dort ein Steintor zur Sicherung dieser Seite der Brücke.

Inzwischen hatte längst eine schrittweise Überbauung der Brücke eingesetzt. Durch die vielen mächtigen Steinpfeiler der breiter werdenden Brücke kam es in der Themse zu einem regelrechten Stauereffekt, so dass das fließende Wasser gute zwei Meter auf der Bergseite höher floss als auf der Talseite. Im Laufe der Zeit baute man aber noch weitere Bremsen in diesen Brückengenössen ein, um einerseits mit Hilfe von Schaufelrädern Flusswasser auf ein höheres Niveau zu heben, wodurch das erste Fließwasser in London bereitgestellt werden konnte. Außerdem wurden hier später auch mehrere Getreidemöhlen betrieben.

Im Laufe ihrer Geschichte wurde die Brücke immer weiter überbaut, so dass sie zu einem besonderen Paradebeispiel für Brückenüberbauungen wurde. Die Aufbauten auf der London Bridge erreichten bis zu 7 Stockwerke und teilten sich in drei Abschnitte. Es lebten auf der Brücke so viele Menschen, dass die Bewohner der London Bridge bald einen eigenen Stadtbezirk formten. Es gab im Laufe der Zeit mehrere verheerende Brände auf der Brücke, denen oft viele Menschen und

einmal angeblich über 3000 Personen zum Opfer fielen. 1762 wurde die Alte London Bridge aufgegeben.

Noch vor dem Bau einer neuen Brücke wurden der Brandgefahr und des zunehmenden Verkehrs wegen die Bauten auf der alten Brücke sukzessive abgetragen. Bei späteren Brücken wurden Überbauungen grundsätzlich nicht mehr erlaubt. Aus den gleichen Gründen verschwanden aber auch in vielen anderen Großstädten die Brückenüberbauungen. Daher existieren heute nur noch sehr wenige Brücken dieser überbauten Art. Der Ponte Vecchio in Florenz in Italien gehört zu den wenigen Brücken, bei denen derartige Überbauungen überlebt haben.

### Abb.: 182

**Dieser Kupferstich der Alten London Bridge über die Themse zeigt Teile des damaligen London und die extensive Überbauung der einzigen Brücke der Stadt um 1710. Die Überbauung bestand damals vorwiegend aus langgestreckten Patioanlagen, bei denen der Fahrstreifen der Brücke offenbar im Patio verlief. Stich: Anonymus, 1710, wikipedia (s. Glossar)**



Folgende Seiten:

Abb.: 183

Die Ponte della Maddalena über den hier aufgestauten Serchio Fluss in Borgo a Mazzano in der Nähe von Bagni di Lucca in Norditalien ist nicht symmetrisch konzipiert und war es offensichtlich auch schon von der Planung im frühen 14. Jh. nicht, da für die Brücke schon immer im Westen weniger Platz war, als im Osten. Daher wurde sie mit nur vier

ansteigenden Bögen geplant, zu denen später, als Anfang des 20. Jh. eine eingleisige Bahnlinie auf der Westseite des Flusses errichtet wurde, noch ein fünfter Bogen kommen musste. Durch das Aufstauen des Serchio Flusses bilden die vier alten Bögen mit ihren Spiegelbildern fast Kreise. Im Bild sind von den alten Bögen nur drei und der neue Bogen über die Bahn ganz rechts sichtbar.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1979





## **Ponte della Maddalena bei Bagni di Lucca in Italien**

Nordöstlich von Borgo a Mazzano bei Bagni di Lucca in Norditalien, 16 km nördlich von Lucca entfernt, spannt sich die Ponte della Maddalena über den Serchio Fluss. Sie wird auch Ponte del Diavolo genannt und erinnert an osmanische Brücken, bei denen häufig die Lauf- und Fahrfläche nicht horizontal verläuft, sondern bei den oft mehrbogigen Brücken mit den Bogengrößen ansteigt und auf der anderen Seite nach dem Brückenscheitel ähnlich wieder abfällt. Daher sind auch die größten Bögen in der Mitte der Brücke und zu den Brückenden nimmt die Bogengröße ab. Auf diese Weise kann der beim größten Bogen entstehende größte horizontale Schub über die niedrigeren, seitlichen Bögen optimal auf die seitlichen Wiederlager abgeleitet werden. Die Verwendung eines annähernd Halbkreisförmigen Bogens ist für viele osmanische Brücken charakteristisch. Allerdings haben sie in der Regel in der Mitte eine leichte, oft nur angedeutete Spitze wie bei einer Zwiebel. Ein gutes Beispiel dafür ist die Brücke von Mostar.

Die 1322 errichtete Ponte della Maddalena wurde allerdings nicht symmetrisch ausgeführt, wohl auch deshalb, weil das Tal auf der Westseite nicht über ausreichend Platz dafür verfügt. Sie hat auch keine Zwiebelform und ist daher eher nur aus dem zum Teil damals islamisch beeinflussten Süden Italiens inspiriert.

Außerdem wurden mehrere Veränderungen an der Brücke im Laufe der Jahrhunderte vorgenommen. Die markanteste davon dürfte die durch die Errichtung einer Bahnlinie am westlichen Flussufer ergeben haben. Dabei musste zu den bestehenden vier Bögen noch ein schlanker, erhöht angeordneter fünfter Bogen über der eingleisigen Bahnanlage errichtet werden. Hierfür musste auch der Weg über die Bahnbrücke nach dem Scheitel des großen Brückenbogens im Westen deutlich angehoben und nach der Bahnüberführung des zu geringen Platzes wegen in einer engen Serpentine zur Straße hinuntergeführt werden.

Ursprünglich lag die Brücke auf einer alten Pilgerroute von Frankreich nach Rom zu den Gräbern von Petrus und Paulus, der Via Francigena. Ihren Namen erhielt die Brücke von einer später verloren gegangenen

Heiligenfigur der Maria-Magdalena, die in einer Ädikula wohl auf der Brücke aufgestellt war.

Die Gesamtlänge der Brücke misst 95 m. Mitsamt den seitlichen Brüstungsmauern ist sie 3,7 m breit. Der Hauptbogen hat eine Spannweite von 37,8 m und eine Höhe von 18,5 m über dem Seespiegel.

## Ponte Vecchio in Florenz in Italien

Der Ponte Vecchio über den Arno in Florenz ist eines der wenigen spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Beispiele für die vielen Brücken in den überbevölkerten großen europäischen Städten, bei denen ebenfalls die Brücken mit Wohnbauten überbaut wurden.

In Florenz hat man glücklicherweise die alte Brücke mit ihren drei Segmentbögen samt ihren Überbauungen belassen. Die Brücke wurde 1335 bis 1345 errichtet, hat eine Gesamtlänge von rund 95 m bei einer Breite von 19,7 m, die an den am stärksten überbauten Stellen bis auf 31,5 m anwachsen. Nur in der Mitte der Brücke über dem Bogen mit der größten Spannweite von etwas über 30 m besteht die Überbauung auf der Südostseite aus drei Arkaden während auf der Nordwestseite ein offener Platz in die Brücke zwischen den Überbauungen integriert ist.

**Abb.: 184**  
**Der Ponte Vecchio über den Arno in Florenz. Rechts sieht man über dem Hauptsegmentbogen die offenen Arkaden der Brücke.**  
**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2001**



## Die Brücke von Avignon in Frankreich

Die viel besungene "Pont Saint-Bénézet", auch "Pont d' Avignon" wurde auch vielfach nur die Brücke von Avignon genannt. Zwischen 1171 und 1185 wurde sie erstmals über die untere Rhône bei Avignon mit einer Holzkonstruktion über einer Serie von Pfeilern aus Stein errichtet. 1226 wurde sie fast vollständig zerstört. 1355 baute man sie großteils neu und nun ganz in Stein ausgeführt. Im 14. Jh. wurde dann auch die Doppelkapelle auf der Brücke errichtet, deren oberer Teil dem Hl. Nikolaus von Myra, und deren unterer Teil dem Initiator der Brücke, dem Hl. Bénézet geweiht war.

Die Gesamtlänge der Brücke lag bei 915 m. Ihre 22 Bögen hatten eine lichte Weite von 33 bis 35 m und einen Bogenstich von 13 m. Sie verfügte über keine seitlichen Brüstungsmauern und das bei einer Breite von nur 2,80 m. Natürlich hätten flankierende Mauern die Fahrbahn noch weiter auf nur etwas mehr als 2 m Breite eingengt. Im Mittelalter hatten aber nur wenige Brücken seitliche Brüstungsmauern, was insbesondere so enge Brücken wie die von Avignon sehr gefährlich machte.

Die Brücke von Avignon war damals Europas längste Brücke und das über einen längeren Zeitraum.

Heute sind nur noch die südlichen vier Bögen der einstigen Brücke und die Ruine der Doppelkapelle auf der Brücke vorhanden. Gegenpapst Clemens VII ließ angeblich im 14. Jh. zur persönlichen Sicherheit mehrere Bögen der Brücke am nördlichen Ende zerstören, um die Brücke für seine Feinde unpassierbar zu machen. Danach wurde sie repariert. Ein Hochwasser 1602 und treibende Eisschollen haben dann in den Wintern 1669 und 1670 die Brücke weiter zerstört, was wieder notdürftige Reparaturen nach sich zog. Ende des 17. Jh. nach einer Serie von verheerenden Hochwassern wurde die Brücke aufgegeben.





Abb.: 185

Die Pont Saint-Bénézet in Avignon wurde gleich neben dem riesigen Papstpalast und dessen Festung errichtet. Sie war so auch eine Brücke zwischen der hohen Geistlichkeit und dem profanen Frankreich. Das Metallgeländer auf der Brücke ist neuzeitlich und zum Schutz von Touristen angebracht worden. Ursprünglich verfügte die Brücke über keine seitlichen Brüstungsmauern, ein Charakteristikum mittelalterlicher Brücken überhaupt. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1989

Abb.: 186

Drei der noch bestehenden vier Bögen des Pont Saint-Bénézet in Avignon in Richtung flussaufwärts aufgenommen. Im grellen Licht der Abendsonne zeigt die Doppelkapelle auf dem Brückenspeiler nach den ersten zwei Brückenbögen im kleinen Glockenturm seine zwei Glocken. Der erste Brückenbogen ist im Foto nicht zu sehen. Foto: Andreas Scheucher, St. Stefan ob Stainz, 1998

## Teufelsbrücke auf Torcello in Italien

Torcello liegt etwa 10 km nordöstlich vom heutigen Venedig und war im Frühmittelalter das eigentliche Zentrum von Venedig und der Sitz eines Bischofs. Heute leben dort nur noch etwa zehn Einwohner und die Insel wurde zu einem Ort der Ruhe. Geht man von der Anlegestelle zur sehenswerten ehemaligen Bischofskirche, so passiert man auf etwa halber Strecke eine relativ kleine Brücke über den parallel verlaufenden Kanal.

Die Brücke trägt den Namen "Ponte del Diavolo", was Teufelsbrücke bedeutet. Sie hat eine Spannweite von etwa 8 m und misst samt ihren Auflagern und den hinauf-führenden Stufen ca. 12 m Länge. Dabei ist sie etwa 2 m breit. Im Stich hat die Brücke etwa eine Höhe von drei Metern über dem Wasserspiegel. Vom Beginn des Segmentbogens steigt die Brücke etwa um zwei Meter an. Seitlich der gekrümmten Scheitelfläche kommt die aus Ziegeln gefügte Brücke mit Kantenstreifen aus Marmor gerade einmal auf etwa 30 cm Stärke. Sie wirkt derartig grazil, dass sich viele Erwachsene nicht auf die Brücke trauen, weil sie fürchten, sie könnte unter ihrem

Eigengewicht einstürzen. Dabei überspannt sie bereits seit deutlich mehr als 500 Jahren den Kanal.

Die Teufelsbrücke ist auf Torcello die einzige Brücke, die aus dem Mittelalter überlebt hat. Sie stammt wohl aus dem 15. Jh. und fällt einerseits durch ihre unglaubliche Schlankheit auf, andererseits dadurch, dass sie über keine seitlichen Brüstungsmauern verfügt, was die Schlankheit noch verstärkt. Allein dadurch weist sie sich als eine typische Brücke des Mittelalters aus, eine Zeit, in der man die wertvolle Breite einer Brücke nicht durch seitlich aufgesetzte Mauern oder andere Absturzsicherungen einschränken wollte.

**Abb. 187**  
Die "Ponte del Diavolo", die Teufelsbrücke von Torcello aus dem 15. Jh.





## Die Brücke von Mostar in Bosnien-Herzegowina

Im ehemaligen Jugoslawien, im heutigen Bosnien-Herzegowina überspannt in Mostar eine von den Osmanen errichtete Brücke mit ihrem hohen Bogen die Neretva. Für die zugehörige Stadt war die Brücke sogar namensgebend - Most oder Mostar bedeutet Brücke. Als der Autor die Brücke 1971 fotografierte, handelte es sich noch um das Originalbauwerk, das in den kriegesischen Auseinandersetzungen Ende des 20. Jh. im November 1993 zerstört wurde. Inzwischen hat man die Brücke wieder rekonstruiert und sie sieht fast genauso aus wie das Original.

Von 1556 bis 1566, anderen Quellen zufolge zwischen 1566 und 1567, wurde die Brücke zum ersten Mal nach Plänen von Mimar Heyreddin, einem Schüler des bekanntesten osmanischen Architekten Mimar Sinan im Auftrag von Süleyman I errichtet. Die Brücke hat eine Spannweite von 28,7 m und eine Stichhöhe, gemessen vom Bogenansatz von 12 m. Die Gesamthöhe zwischen Bogenstich und Flussbett misst etwa 19 m. Im Scheitelpunkt läuft der Bogen der Brücke etwas spitz zu. Dieser nur angedeutete Spitzbogen weist die Brücke als eine osmanische Architektur aus.

**Abb.: 188**  
**Das Original der osmanischen Brücke über die Neretva aus dem 16. Jh. in Mostar von Süden gesehen.**  
**Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1988**

Zwischen 1995 und 2002 wurde der Bogen unter Verwendung von möglichst viel der Originalsubstanz und in der gleichen Konstruktionsweise wiederhergestellt. 2004 konnte die rekonstruierte Brücke endlich auch eröffnet werden. In der Vergangenheit war die Brücke von Mostar, die "Stari Most" eine Art Symbol für eine Verbindung zwischen dem tendenziell stärker bosnisch geprägten Ostteil und dem stärker kroatisch geprägten Westteil der Stadt. Die Brücke verband aber auch die katholischen Kroaten und die orthodoxen Serben und symbolisierte auch noch viel allgemeiner eine Verbindung zwischen Ost und West. Die Brücke ist also zu Recht wesentlicher Bestandteil des Wappens der Stadt. Man kann nur hoffen, dass künftig auch in der Politik mehr die Brückenbauer als die Polarisierer das Sagen haben und sich durchsetzen können.



## Ponte Rialto in Venedig in Italien

Zu Europas bekanntesten Segmentbogenbrücken gehört die Rialto-Brücke in Venedig, die den Canal Grande überspannt. Sie liegt genau dort, wo schon die Fundamente einer Brücke aus der Zeit um 960 n. Chr. nachgewiesen wurden und wo auch spätere Brücken aus Holz, die alle entweder durch Fäulnis zerfielen oder durch Feuer zerstört wurden, in relativ kurzen Abständen errichtet wurden. Auch 1246 wurde eine Holzbrücke neu gebaut, die allerdings 1444 einstürzte, als auf der Brücke eine zu große Menschenmenge einer prominenten Hochzeit auf dem Canal Grande zusah.

In der Folge wurde ein Wettbewerb ausgeschrieben, an dem sich auch sehr bekannte Planer wie Michelangelo und Andrea Palladio beteiligten. Aus diesem Wettbewerb gingen aber die weniger bekannten Planer Giovanni Alvise Boldú und Antonio Contini hervor, deren Projekt mit nur einem Bogen über den Canal Grande vor allem dem regen Bootsverkehr auf dem Hauptwasserweg Venedigs entgegenkam und zugleich auf dem breiten Brückenbogen mit zwei jeweils sich zu zwei Seiten öffnenden Geschäftszeilen die Geschäftswelt von Venedig wohl am meisten begeisterte.

1587 war der Gewinner Antonio Contini bereits 75 Jahre alt, als er den Bauauftrag erhielt. Mit dem Bau begann er bereits 1588, also ein Jahr später. Trotz aller Gründungsprobleme konnte er den Bau der Brücke nach weniger als vier Jahren Bauzeit 1591 fertigstellen. Danach wurde der Erbauer meist Antonio da Ponte genannt. Die fast weiße Marmorbrücke steht an der Stelle, an der das Gelände der sumpfigen Inseln von Venedig am weitesten aus dem Meerwasser der Lagune vortritt. Um eine solide Fundamentierung für die Brücke zu gewährleisten, sollen auf beiden Seiten jeweils mehr als 5000 Eichenpfähle schräg gegen den gewaltigen Schub des schweren Segmentbogens in den sumpfigen Untergrund gerammt worden sein (Jurecka 1979:135). Diese Pfahlgründung hält immer noch und dürfte solange auch in Zukunft halten, wie die Pfähle von Wasser umschlossen bleiben und kein Sauerstoff zum Holz gelangt.

Die darauf gegründete Brücke wurde vom Dogen Pasquale Circogna finanziert. Sie ist insgesamt 48 m lang, hat eine Spannweite von 28.80 m bei einer

**Abb.: 189**  
**Dieser damals mehr als 400 Jahre alte Bogen wurde 1993 zerstört und zwischen 1995 und 2002 unter Verwendung möglichst vielen Originalmaterials rekonstruiert.**  
**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1971**



Abb.: 190

Die Rialto-Brücke von Venedig schräg von oben gesehen zeigt die sehr breit angelegten Stufen entlang der Brüstung und die Geschäftszeilen auf der Brücke mit deren Unterbrechung am Brückenscheitel.

Foto: Andreas Scheucher, St. Stefan ob Stainz, 2002

Scheitelhöhe von 7,50 m und ist mit 22 m sehr breit. Auf der Brücke stehen zwei Reihen von Rücken an Rücken gestellten Geschäften, zu denen man entlang der zwei Brückenbrüstungen und über einen breiten Mittelgang gelangt. Am Scheitelpunkt der Brücke gibt es nochmals die Chance von einer Seite der Brücke zur anderen zu wechseln. Hier können auch die größeren Schiffe unterhalb passieren.

Konstruktiv ist die Rialto-Brücke ein 22 m langes flachgespanntes Segmentbogengewölbe, das aus langen unterschiedlich hohen horizontalen Marmorblockzeilen, die wieder ein durch Steinverbände miteinander

Abb.: 191

Diese Schrägaufnahme zeigt die in Zeilen auf die Schalung aufgelegten Marmorblöcke, die eine Art Mauerverband herstellen. Bei der Brücke in China sind es 1000 Jahre vorher schlanke Gurtbögen, die zusammengebunden werden mussten.

Foto: Bernhard W. Hohmann, Graz, 2020

Folgende Seiten:

Abb.: 192

Die Rialto-Brücke von Venedig über den "Canal Grande". Sie wurde 1591 fertiggestellt. Die Überbauung mit Geschäften war von Beginn an geplant und enthält zweimal zwei lange Geschäftszeilen Rücken an Rücken. Die Geschäftsreihen sind am Scheitelpunkt der Brücke unterbrochen, so dass man hier die Seiten auf halber Strecke wechseln kann.  
Foto: Bernhard W. Hohmann, Graz, 2020









verzahntes Gefüge ergeben, gebildet wird. Die Fugen zwischen horizontalen Zeilen von Marmorblöcken sind auf die virtuelle Zentrumslinie des Segmentbogens ausgerichtet.

Im Gegensatz dazu besteht die Anji Brücke in China aus einzelnen sehr schlanken, langgespannten, dicht nebeneinander stehenden tragenden Gurtbögen, die durch vier horizontale Eisenstangen zusammengehalten werden müssen, damit sie bei der noch größeren Spannweite und noch flacheren Ausbildung des Bogens und der daraus resultierenden Extrembelastung nicht zur Seite ausweichen.

Ein sehr starkes Erdbeben in Venedig im Jahr 1592, also im Jahr nach der Eröffnung der Rialto-Brücke war quasi der Härtestest für die Konstruktion in Venedig, den sie ohne nennenswerte Schäden bestand.

**Abb.: 193**  
**Rialto bei Dunkelheit und Nebel**  
**von der Seite aus gesehen.**  
**Foto: Andreas Scheucher,**  
**St.Stefan ob Stainz, 2002**

## Allahverdi-Khan-Brücke in Isfahan im Iran

Isfahan wurde in der Safawidenzeit unter Shah Abbas I ab 1598 zu seiner neuen Residenz- und Hauptstadt des Iran ausgebaut und damit zur wohl schönsten Stadt Persiens umgestaltet. Zu den vielen Bauten, die unter seiner Herrschaft entstanden, gehört auch die Allahverdi-Khan-Brücke über den Zaandeh Rud. Diese Brücke der 33 Bögen ließ sein General und Minister Allahverdi-Khan zwischen 1599 und 1602 über den Zaandeh Fluss aus Natursteinmauerwerk errichten. Der Fluss trennt das im Norden liegende eigentliche Zentrum Isfahans mit dem riesigen Maidanplatz, seinen Moscheen und Palästen, mit ausgedehnten Garten- und Parkanlagen und auch mit der markanten Freitagsmoschee noch weiter nördlich von den ärmeren Vorstadtvierteln im Süden.

Die Brücke war in früheren Zeiten für viele Besucher der Stadt, die aus dem Süden des Landes kamen, ein eindrucksvolles Entree in die Stadt Isfahan. Es handelt sich um eine zweigeschossige Brückenkonstruktion mit 33 größeren Bögen von jeweils 5,60 m Spannweite und mit einer Gesamtlänge von 298 m. Mit 13,75 m

Breite war neben der eigentlichen Fahrbahn entlang der Brückenachse auf beiden Seiten noch Platz für zwei flankierende nach außen offene Zeilen von Arkadenbauten mit Durchgängen. Hier konnten und können Passanten sonnengeschützt und vom Verkehr auf der Brücke abgeschirmt auch zu Fuß über die Brücke gehen. Die erstaunliche Breite der Brücke hat auch damit zu tun, dass sie bis ins 20. Jh. von oft großen Handelskarawanen überquert werden musste, was viel Platz braucht. Da waren auch die Arkadengänge für Fußgänger eine große schützende Hilfe.

**Folgende Seiten:**

**Abb.: 194**

**Die Westseite der 295 m langen Allahverdi-Khan-Brücke über den Zaandeh Fluss mit ihren 33 jeweils 5,6 m breiten Bögen am Abend.**

**Foto.: Johanna Franziska Bulin-Inegbu, Graz, 2019**





Der Großteil der Brücke verläuft über einen in der Trockenzeit trockenen breiten Flussraum des Zaandeh Rud, der bei Regenfällen ziemlich anschwellen kann. In der Regel sind die Überschwemmungsflächen trocken und werden teilweise in den Randzonen zu öffentlichen Grünflächen kultiviert.

Zum Zeitpunkt ihrer Errichtung gab es nur noch eine weitere Brücke westlich über den Zaandeh Fluss – die Marnonbrücke. Die ehemalige Fahrbahn der Allahverdi-Khan-Brücke zwischen den Arkadenaufbauten ist heute für den Fahrverkehr längst gesperrt und wird vor allem am Abend zur gut ausgeleuchteten Fußgängerzone. Unter den Arkaden kann man aber auch weiterhin auf beiden Seiten der Brücke am Tag vor der Sonne geschützt als Fußgänger die Brücke queren. An mehreren

**Abb.: 195**

**Dieser Ausschnitt der Westseite der Allahverdi-Khan-Brücke zeigt auch die Treppenaufgänge zum Obergeschoss der Brücke.**

**Foto: Johanna Franziska Bulin-Inegbu, Graz, 2019**

Stellen gibt es Abgänge zum Niveau der hier meist ausgetrockneten Hochwasserzone. Der Fluss durchfließt gewöhnlich in der langen Trockenzeit nur einen größeren Durchlass am Nordende der Brücke. Bei Trockenheit wird der Raum unter den schattigen Bögen von Teehäusern genutzt.



Pierre Loti schrieb über die Brücke (Loti 1904:182):  
 " ... Es ist eine prachtvolle, seltsame Brücke, auf der wir der Stadt (reitend) entgegenziehen; sie stammt, wie aller Luxus in Ispahan, aus der Zeit des Schah Abbas; sie ist dreihundert Meter lang und besteht aus zwei übereinander liegenden, spitzbogigen Arkaden ... Gleichzeitig mit uns hält eine Karawane ihren Einzug, eine sehr lange Karawane; sie kommt aus den Wüsten des Westens, und ihre Kamele sind alle mit wilden Federbüschen geschmückt. Zu beiden Seiten der Fahrstraße, die die Mitte der Brücke einnimmt, liegen die für Fußgänger bestimmten Wege, geschützt von anmutigen, fayencebekleideten Bogenwölbungen; sie gleichen gotischen Klostergängen.

All die schwarzen, gespensterhaften Frauen, die auf den überdachten Pfaden lustwandeln, halten einen Rosenstrauß in der Hand. Rosen, überall Rosen. All die kleinen Zuckergebäck- und Teeverkäufer am Wege haben Rosen in den Gürtel gesteckt, und die in Lumpen

**Abb.: 196**

**Die ehemalige Fahrbahn der Brücke von Norden gesehen. Sie dient heute als Fußgängerzone und wird besonders am Abend und in den Nachtstunden gerne zur gut beleuchteten Flaniermeile. 1602 war dies eine von nur zwei Verbindungsbrücken über den Zaandeh Fluss in den Süden. Foto: Radka Hohmann, Graz, 2019**

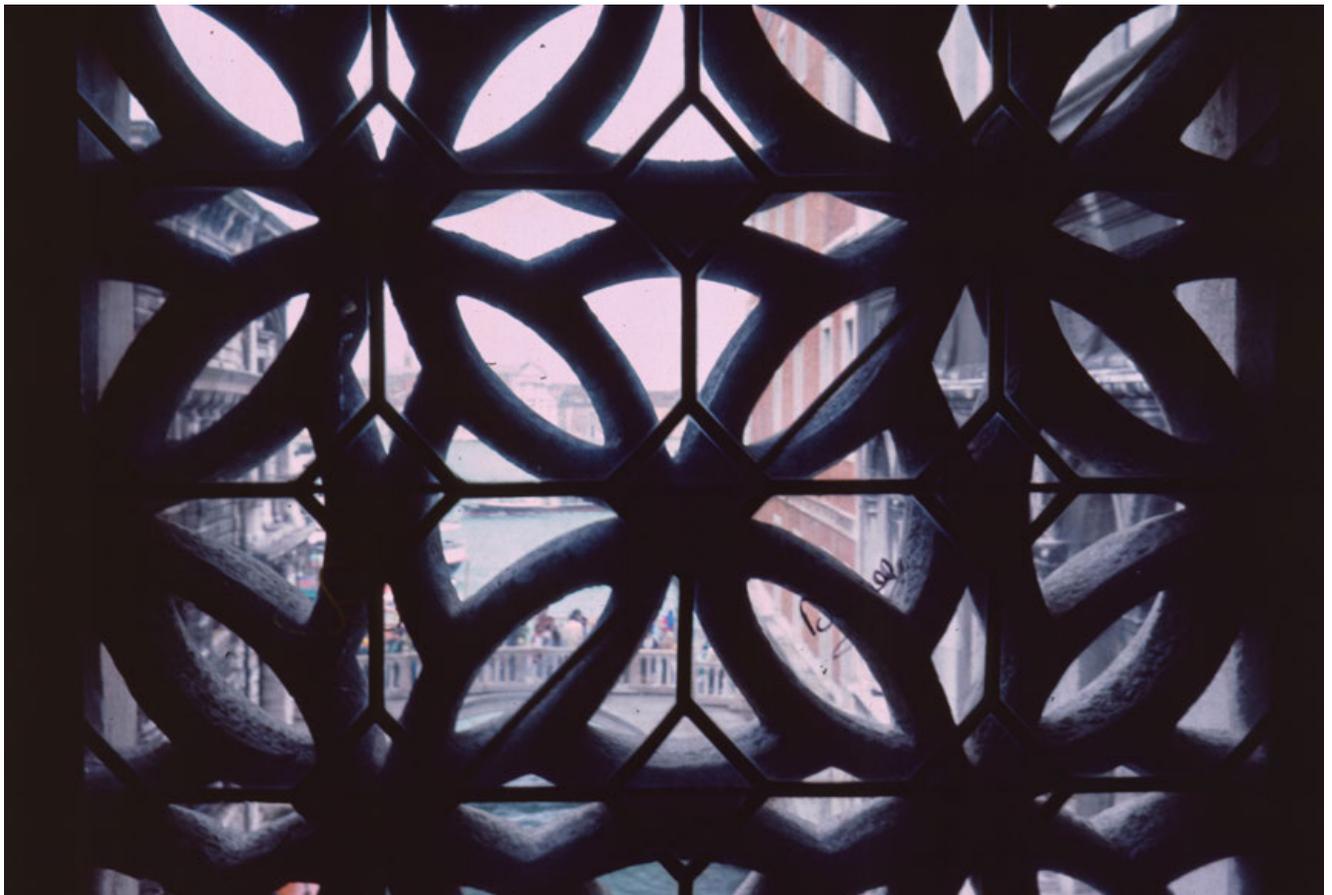
gehüllten Bettler unter den Spitzbogen entblättern die Rosen zwischen ihren Fingern.

Die blauen Kuppeln, die blauen Minarets, die blauen Zinnen zeigen uns jetzt die Einzelheiten ihrer Arabesken., ..."



Abb.: 197  
 Blick von der Ponte della Paglia außen am Wasser in den Kanal des Río di Palazzo und auf die Ponte dei Sospiri, die Seufzerbrücke.  
 Foto.: Hasso Hohmann, Graz, 2001

Abb.: 198  
 Eine der zwei Transennen, die den Blick zur Chiesa di San Giorgio Maggiore und bis zum Lido durch die Gitter erlauben.  
 Foto.: Hasso Hohmann, Graz, 1988



## Seufzerbrücke in Venedig in Italien

Auf der Rückseite des Dogenpalastes, des Palazzo Ducale in Venedig überspannt eine kleine eingebaute Steinbrücke den Río di Palazzo. Die Brücke wird Seufzerbrücke, auch Ponte dei Sospiri genannt. sie führt auf Höhe des ersten Obergeschosses zum Castello ins "Prigioni nuove", in das neue Gefängnis, in das Verurteilte über diese Brücke gebracht wurden. Die Fenster des Überganges bestehen aus relativ dicken Transennen.

Die 11 m lange Brücke wurde vom jungen Antonio Contini geplant, der wohl auch schon an der Rialto-Brücke mitgewirkt hatte, deren Planer ebenfalls Antonio Contini hieß, dessen Enkel er war. Die Seufzerbrücke wurde nach den Plänen des jungen Antonio zwischen 1600

und 1603 aus weißem Kalkstein errichtet. Konstruktiv handelt es sich um einen Druckbogen, der als Korbogen den Kanal überspannt. Der Mittelbereich wurde relativ flach ausgebildet und an den Übergängen zum Dogenpalast und zum "Neuen Gefängnis" wurde mit einem deutlich kleineren Krümmungsradius der Bogen auf beiden Seiten abgeschlossen. Die Korbbogenform wird auch im Dach des hohen geschlossenen Überganges nochmals wiederholt. Eine Trennwand im Inneren teilt den Übergang in einen für Personen, deren Rechtsproblem noch abgehandelt werden muss und den für schon Verurteilte.

**Abb.: 199**

**Die von Antonio Contini dem jüngeren geplante Ponte dei Sospiri, die Seufzerbrücke, im Detail.**

**Foto.: Andreas Scheucher, St.Stefan ob Stainz, 2002**



Da die Verurteilten, insbesondere zum Tode verurteilte, manchen Seufzer von sich gaben, erhielt die Brücke ihren Namen. Der berühmteste hier Verurteilte, der die Brücke begehen musste, war wohl Casanova, der aber vielleicht auch der einzige war, dem eine Flucht aus dem Gefängnis noch glückte.

### **Pol-e Chadschu Brücke in Isfahan im Iran**

Die wohl schönste der drei frühen Brücken über den Zaandeh Fluss in Isfahan war deren jüngste. Die erst unter Schah Abbas II um das Jahr 1650 errichtete Pol-e Chadschu Brücke wird auch Khaju oder Khajoo Brücke genannt und wurde aus gebrannten Ziegeln errichtet. An ihrer Stelle stand schon in der Timuridenzeit eine Brücke. Auch die heutige Brücke über den Zaandeh Fluss wurde an einer etwas eingeschnürten Flusspassage errichtet, wo dieser ein größeres Gefälle hat und sein Wasser in einem kürzeren Becken mit geringerer Verdunstung aufgestaut werden kann. Durch das Schließen von zahlreichen Wassertoren auf der Ebene der Durchlässe im Sockel unter den Bögen kann das Wasser regelmäßig bis zu fast zwei Metern hoch flussaufwärts angestaut werden, so dass von hier aus dann mehrere der innerstädtischen Gärten über Aquädukte mit Wasser versorgt werden können. Laut einer Inschrift an der Brücke wurde diese 1873 gründlich instand gesetzt.

Die Pol-e Chadschu Brücke ist nur 129 m lang und 11,7 m breit. Sie hat 23 Bögen und verfügt über zwei Stockwerke. Ähnlich wie bei der Allahverdi-Khan-Brücke bilden beidseitig der ehemaligen Fahr- und Reitfläche nach außen offene Arkaden fußläufige sonengeschützte Verbindungen über die Brücke und zugleich einen Schutz gegen den Verkehr entlang ihrer Mittelachse. In der Mitte werden die unteren Bögen und auch die Arkaden oben durch einen zweigeschossigen auf beiden Seiten nach Osten und nach Westen vortretenden achteckigen safawidischen Vergnügungsbau, der natürlich auf der oberen Ebene durch die Fahrbahn zweigeteilt sein muss, unterbrochen. Auch an den Enden der Brücke treten auf beiden Seiten Architekturteile vor. Die in ihrer Großform dadurch klar gegliederte Brücke ist auch im Detail durch ornamentale farbige Fayencen und Malereien zusätzlich stark gestaltet. So sind alle Restflächen rechts und links oberhalb aller Arkaden und Bögen nach außen und nach innen und auch die Gewölbe der vortretenden Bauelemente ornamentiert und machen die Brücke zu einem optischen Erlebnis.

Fußgänger können auch auf der unteren Ebene zur anderen Seite des Zaandeh Rud gelangen. Flussabwärts auf der Ostseite der Brücke finden sich zahlreiche Stufenbauwerke, die bei Niedrigwasser zum

Niedersetzen und Verweilen einladen. Als der Autor 1973 die Stadt besuchte, wuschen auf den Stufen einige Iranerinnen Wäsche.

Abb.: 200

Die Westseite der Pol-e Chadschu Brücke über den Zaandeh Fluss in Isfahan am späten Nachmittag von Nordwesten aus gesehen.  
Foto: Radka Hohmann, Graz, 2019





Abb.: 201

Am späten Nachmittag benutzen viele Iraner die untere fußläufige Verbindung westlich vor der Pol-e Chadschu Brücke. Die Ziegelgitter sorgen in der iranischen Architektur nicht nur hier immer wieder für gute Durchlüftung, was in einem so wüstenhaften, heißen Klima notwendig ist.

Fotos: Radka Hohmann, Graz, 2019

## Wehrbrücke von Shahara im nördlichen Jemen

Shahara ist eigentlich keine Kleinstadt, sondern eher eine weitläufige Streusiedlung auf etwa 2600 m Seehöhe in den Bergen des jemenitischen Hochlandes. Das Gelände rund um Shahara fällt in alle Richtungen extrem steil ab. Lange Zeit war dieser Ort praktisch un-  
einnehmbar und daher Fluchtort vieler Verfolgter. Die Wehranlage des Städtchens bestand nur aus einem wenige Meter breiten mehrgeschossigen Bauwerk in einer Schlucht, dessen Tor nur geschlossen werden musste. Sollte diese schon kaum überwindliche Anlage wider Erwarten von Feinden überwunden worden sein, so gab es noch die Brücke von Shahara über eine tiefe Schlucht, die ebenfalls über ein gut gesichertes Tor verfügte und so leicht, ebenfalls von nur wenigen Personen verteidigt werden konnte (Hohmann 2019:204-206).

Die heutige Wehrbrücke von Shahara wurde angeblich von den Osmanen im 17. Jh. errichtet. Zu dieser Zeit gehörte auch der Jemen zum ausgedehnten Osmanischen Reich. Wie man unter der Brücke deutlich erkennt, gab es aber bereits mindestens zwei

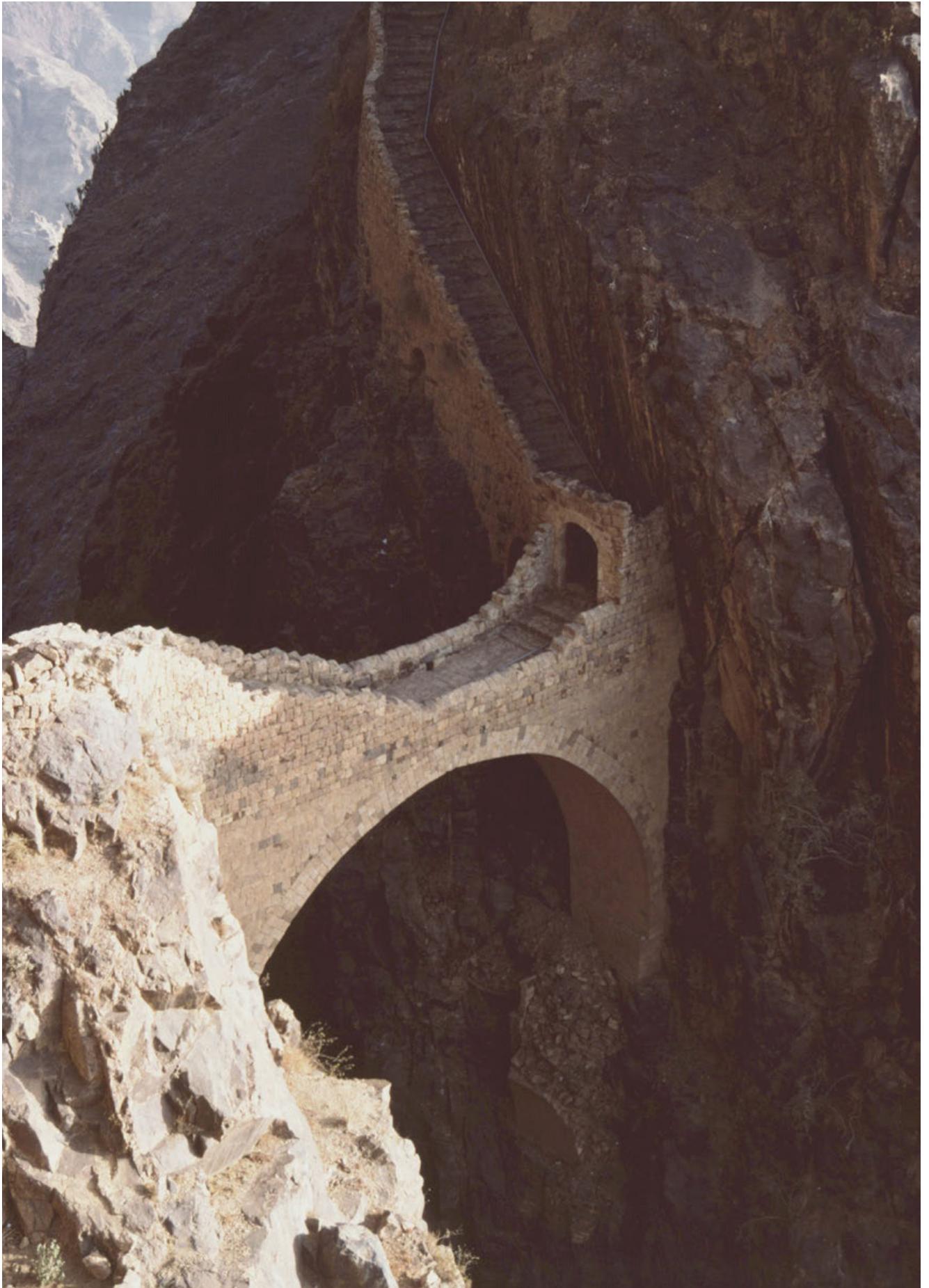
Vorgängerbrücken über die Schlucht, die etwas unterhalb der heutigen Brücke gespannt waren. Auch sie waren bereits aus Natursteinen gemauerte Bogenbrücken. Zu diesen musste man allerdings etwas weiter in die Schlucht hinuntersteigen.

### Abb.: 202

**Die Brücke von Shahara im Jemen nach Sonnen-  
untergang von Südwesten aus gesehen. Sie über-  
spannt eine tiefe Schlucht zwischen einem Vorort  
und der Hauptsiedlungszone, die sich weiter-  
zweigt auf anschließenden Bergkämmen fortsetzt.**

**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1992**







Vorgehende Seiten v.l.n.r.:

Abb.: 203

Eine ähnliche Aufnahme bei Tag zeigt gut, dass es schon vor dieser Brücke zwei ältere Brücken gegeben hat, die etwas tiefer die Schlucht überspannten.

Abb.: 204

Die Brücke von Shahara von Nordwesten aufgenommen. Deutlich erkennt man das wehrhafte Tor beim Nordzugang zur Brücke.

Abb.: 205

Ansicht der Brücke von Nordosten. Vorne links erkennt man die Treppen, die von außen auf das Tor der Brücke von Shahara hinabführen. Rechts steigt die Treppe zum Hauptort hinauf.  
Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1992

# Eisenbogenbrücken

## **Iron Bridge in Ironbridge, Shropshire in England**

Zwischen 1777 und 1779 stellte der englische Eisenproduzent John Wilkinson im englischen Shropshire nach Plänen von Abraham Darby III und Thomas Farnolls Prichard eine Gusseisenbrücke, eine "Iron Bridge", für die Überquerung des Flusses Severn nahe der nach der Brücke benannten heutigen Ortschaft Ironbridge-Gorge her.

Der Hauptteil der Brücke besteht aus der den Fluss überspannenden großen Gusseisenkonstruktion zwischen zwei gemauerten Natursteinbrückenpfeilern und dem zugehörigen Fundament. Im Süden folgen zwei weitere kleinere Gusseisenbögen zwischen weiteren Mauerpfeilern und dem Aufgang. Im Norden folgt eine aus Bruchsteinen gemauerte massive Rampe mit einem Fußgängerdurchlass unterhalb.

Das zentrale Brückenbauwerk setzt sich aus den zwei gemauerten Natursteinpfeilern, dem vortretenden Brückensockel und der Druckbogenkonstruktion aus Gusseisenelementen zusammen. Zum Fluss hin gehen die flankierenden Pfeiler in die Fundamente für die Gusseisenbögen über. Die darauf ruhende Druckbogenkonstruktion besteht aus fünf einzelnen Bögen, die jeweils wieder aus drei quasi konzentrisch angeordneten Gusseisenbögen bestehen. Die fünf inneren Bögen haben jeweils eine Spannweite von 30,6 m, eine Bogenhöhe von 12,8 m über dem Fluss und stehen im Abstand von 1,5 m zueinander. Untereinander sind sie mit Gusseisenelementen nochmals verbunden. Auf den zwei äußeren Gusseisenbögen steht in weißer Schrift: "THIS BRIDGE WAS CAST AT COALBROOKDALE AND ERECTED IN THE YEAR MDCCLXXIX" – Diese Brücke wurde in Coalbrook-Dale gegossen und im Jahr 1779 errichtet. Dadurch, dass die Druckbögen Halbkreise beschreiben, ergibt sich bei ruhigem Wasser und entsprechendem Wasserstand zusammen mit dem Spiegelbild visuell und virtuell ein voller Kreis.

Die Brücke über den Fluss Severn wurde in Ironbridge südlich von Coalbrookdale aus vorgefertigten Einzelteilen zusammengesetzt. Sie ist wohl weltweit die erste Guss-eisenbrücke mit Druckbögen. 1967 wurde der "Ironbridge Gorge Museum Trust" gegründet. Die Stiftung betreut die Ironbridge und weitere 34 Industriedenkmäler in der Region. 1986 wurde die Brücke als Industriedenkmal in die UNESCO-Liste des Weltkulturerbes aufgenommen.





Abb.: 206  
Die Ironbridge mit ihrem Hauptbogen  
und den zwei südlichen kleineren Guss-  
eisenbögen wurde 1779 fertiggestellt.  
Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1982





## High Level Bridge von Newcastle upon Tyne in England

Newcastle upon Tyne verfügt entlang des Flusses Tyne über ein ganzes Ensemble sehr unterschiedlicher Brücken. Da Newcastle auf der Nordseite des Flusses Tyne und Gateshead auf dessen Südseite viel höher als der Fluss im tief eingeschnittenen Tal liegen, verbinden fast alle Brücken das obere Stadtlevel, das bis zu 40 m über dem Fluss Tyne liegt.

Die "High Level Bridge" ist eine zweigeschossige Gusseisenbrücke, die auf der unteren Ebene den Straßenverkehr und auf der oberen Ebene den Bahnverkehr aufnimmt. Es handelt sich um eine Brücke mit konstruktiven integrierten Segmentbögen in jedem Brückenfeld und gleichmäßig angeordneten vertikalen integrierten

**Abb.: 207**  
**Das Detail der Ironbridge zeigt die nebeneinander stehenden Gusseisenbögen und deren Verbindungselemente.**  
**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1982**

**Abb.: 208**  
**Vorne sieht man die zweigeschossige, 1846 errichtete "High Level Bridge". Oben fährt gerade eine Triebwagengarnitur. Auf der unteren Ebene erkennt man Pkws.**  
**Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1984**

Rippen, an denen unten die Straßen- und Fußwegebene hängt, während die Bahnlinie darüber auf die Bögen mit den Rippen aufgeständert ist. Die insgesamt sechs Brückenfelder mit jeweils einer Länge von 38 m lasten auf vier gemauerten Pfeilern mit einer lichten Höhe von 26 m und auf den zwei seitlichen Brückenauflegern. Die Gesamtlänge der Brückenanlage liegt bei 408 m. Die Brücke wurde 1846 nach Plänen von Robert Stephenson und Thomas Elliot Harrison errichtet und steht unter anderem auf einem gemeinsamen Fundament mit der Swing Bridge, die östlich in relativ geringer Entfernung, aber viel tiefer gelegen folgt.



Abb.: 209

Es gibt auf der Straßenebene rechts und links auch Fußwege, die offensichtlich 1984 von gleich mehreren Personen gleichzeitig sowie vom Autor verwendet wurden.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1984

Abb.: 210

Diese Grafik für das damalige Brückenprojekt von James Buchanan Eads sollte das Aussehen der ersten Brücke über den Mississippi in St. Louis von 1867 visualisieren. Die hohen Skulpturen über den Pfeilern der Brücke wurden offenbar nicht realisiert.  
Grafik: Anonymus, vor 1867, Archiv von Andreas Scheucher

## Eads Bridge in St. Louis in den USA

Den Mississippi bei St. Louis zu überbrücken, schien lange Zeit eine unlösbare Aufgabe. Erst der sehr kreativ denkende Konstrukteur James Buchanan Eads schaffte es, die scheinbar unüberwindlichen Probleme mit dem schlammigen Untergrund, der mächtigen Strömung und mit den winterlichen Eisgängen des Mississippi zu lösen. Nach seinen Plänen wurde von der Keystone Bridge Company in St. Louis zwischen 1867 und 1874 eine Brücke über den Mississippi aus hohen Natursteinpfeilern und drei Stahldruckbögen errichtet, die in stark gegliederte Fachwerkelemente mit geringen Stablängen aufgelöst sind. Die Brücke hat eine Straßenebene ganz oben und darunter eine zweigleisige Eisenbahnverbindung über den großen Strom. Von manchen wurde sie als die Brücke "von unübertroffener Schönheit" bezeichnet. Jedenfalls war es zur Zeit ihrer Fertigstellung die am weitesten gespannte Stahlbogenbrücke.

Allein um die Pfeiler im Mississippi errichten zu können, entwickelte der Konstrukteur eine eigene Art von

Taucherglocken aus einer riesigen eisenbeschlagenen und eisenbeschwerten Holzkiste, die er mit Druckluft gegen eindringendes Wasser sicherte. Mit Hilfe dieser Druckluftkammer entfernte er auch Schlamm und Sand in der Tiefe des Mississippi, um die Brücke sicher gründen zu können.

Die äußeren zwei der drei Bögen haben eine Spannweite von 153 m, der mittlere eine etwas größere mit 158 m. Die Gesamtlänge der Brücke misst etwa 1400 m, da die Überschwemmungszonen rechts und links des Mississippi weit ausladend sind und die Brücke jedenfalls bis auf halbwegs überschwemmungssicheres Terrain geführt werden sollte. Heute sehen die jeweils vier parallelen Druckbögen, die wie konstruktive Scheiben jeden einzelnen der drei großen Bögen bilden, stark verrostet und daher nicht mehr so elegant aus wie bei der Einweihung 1874. Aber inzwischen ist die Brücke ja auch deutlich mehr als hundert Jahre alt.



## Ponte Maria Pia in Porto in Portugal

Die etwas flussaufwärts gelegene hohe Brücke über den Douro, die Fachwerkbogenbrücke "Ponte Maria Pia", die zwischen 1875 und 1877 errichtet wurde, war von vorneherein als Eisenbahnbrücke mit nur einer Nutzebene errichtet worden. Sie wurde von Gustave Eiffel in Zusammenarbeit mit Théophile Seyrig entworfen, geplant und ausgeführt. Auf Grund der Ähnlichkeit mit der ebenfalls in Porto etwas flussabwärts stehenden "Ponte de Dom Luis I" werden diese zwei Brücken gerne miteinander verwechselt. So wurde dem Redaktionsteam des ISG-Magazins im Jahr 1999 für die Nummer 1/2000 über Brücken im letzten Moment die falsche Brücke als die von Gustave Eiffel geplante übermittelt und ungeprüft abgedruckt (Hohmann 2000:6, Abb.3 von oben).

Bei der "Ponte Maria Pia" fehlt aber die untere Verbindung. Ihre größte Spannweite zwischen den Bogenauflagern beträgt 160 m, ihre Gesamtlänge misst 353 m und ihre lichte Höhe liegt bei 61,2 m bis in den Stich. Das Fachwerk des Fachwerkbogens läuft in den Fußpunkten von der Seite betrachtet spitz zu. Seit 1991 ist die Bahnlinie über den Viadukt Ponte Maria Pia stillgelegt und die Brücke funktionslos. Vielleicht findet man ja doch noch eine sinnvolle Funktion, bevor sie abgetragen werden muss. Es handelt sich immerhin um

ein Bauwerk, das in Gustave Eiffels Büro entworfen, geplant und von dort auch betreut wurde.

Abb.: 212

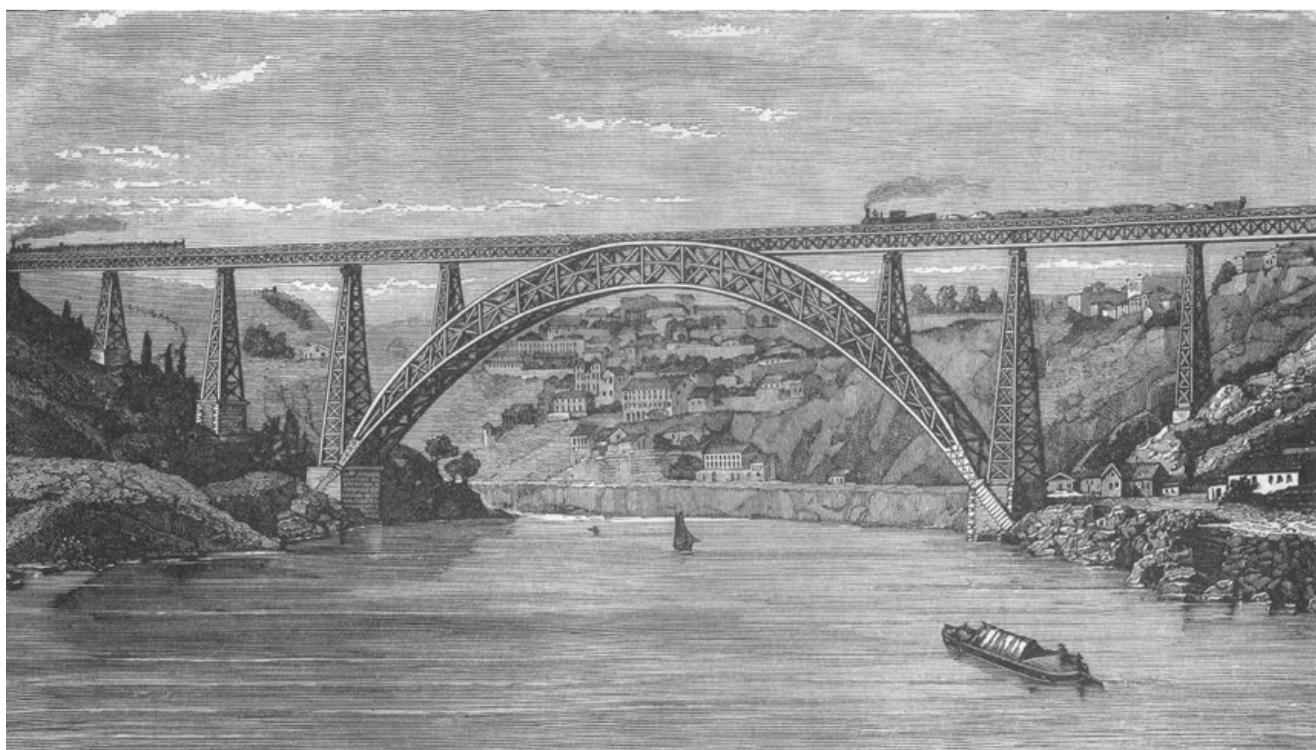
Die 1886 fertiggestellte "Ponte de Dom Luis I" in Porto war bis 2004 eine reine Straßenbrücke auf zwei Ebenen. Seit 2004 dient die obere Ebene nur mehr der Stadtbahn und Fußgängern sowie Radfahrern. Auf dem Foto von 2000 sieht man noch Straßenfahrzeuge auch auf der oberen Brückenebene.

Die Brücke wurde eigenverantwortlich von Théophile Seyrig geplant, einem ehemaligen Mitarbeiter von Gustave Eiffel. Ganz rechts oben sieht man den markanten Turm des Mosteiro da Serra do Pilar.  
Foto: Gabriele Röder, Wien, 2000

Abb.: 211

Die "Ponte Maria Pia" Brücke in Porto in Portugal hat große Ähnlichkeit mit der "Ponte de Dom Luis I" in Porto etwas flussabwärts.

Grafik: Anonymus, 1893





### **Ponte de Dom Luis I in Porto in Portugal**

Die große Fachwerkbogenbrücke "Ponte de Dom Luis I" in Porto in Portugal über den Douro verbindet die Stadt Porto im Norden des Douro mit der Stadt Vila Nova de Gaia im Süden gleich auf zwei Ebenen. Die zwei Brückenebenen sind vertikal weit voneinander getrennt. Unten werden die zwei Hafenzonen und oben die eigentlichen Stadtzonen der zwei Städte über den Douro hinweg miteinander zusammengeschlossen. Die untere Straßenverbindung ist vom Fachwerkbogen nach unten abgehängt. Die obere Straßenverbindung tangiert mittig den Fachwerkbogen und ist rechts und links davon auf den großen Bogen aufgestellt. Seit 2004 ist die obere Straße für Straßenfahrzeuge gesperrt und wird nur noch von der Stadtbahn sowie von Fußgängern und Radfahrern genutzt.

Geplant wurde die Brücke zunächst vom weltbekannten Konstrukteur Gustave Eiffel, der nur die obere Verbindung realisieren wollte. Er hatte schon bei der ersten Brücke, der "Ponte Maria Pia" etwas flussaufwärts auf eine untere Ebene verzichtet, die keine wesentliche Kostensteigerung bedeutet hätte, um keine Barriere für die Flussschifffahrt auf dem Douro durch eine solche

untere Brückenebene zu schaffen. Dieser Verzicht wurde nun sinnlos, da sein bisheriger Mitarbeiter auf einer solchen unteren Verbindung weiter flussabwärts bestand. Da die untere Verbindung aber auch von den zwei Städten erwünscht war, löste sich Théophile Seyrig von Eiffel daraufhin und übernahm eigenverantwortlich die weitere Brückenplanung und arbeitete ab da für die belgische Société de Willebroeck, die auch die Brücke errichtete.

Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 385,25 m. Die Spannweite zwischen den Auflagern misst 172 m. Die Gesamthöhe macht 60 m aus. Die lichte Höhe über dem Wasser liegt bei nur 10 m. Nach 6 Jahren Bauzeit wurde die Brücke 1886 eingeweiht und eröffnet.



### Zollamtssteg in Wien in Österreich

Genau dort, wo die heutige U-Bahnlinie U4 über eine reine Fachwerkträgerbrücke mit einem Zwischenauflager den Wienfluss quert, verläuft auch die Brücke zum einstigen Zollamt in einer höheren Ebene. Sie überquert den Wienfluss auch in einer anderen Richtung mit Hilfe eines Doppelbogens, an dem der Steg im mittleren Teil hängt und auf dem er an den Seiten aufgeständert ist. Der Zollamtssteg hat eine Spannweite von 31 m und wurde 1900 errichtet. Die U-Bahn-Brücke wurde fast zeitgleich, damals noch als Teil der damaligen Wiener Stadtbahn, zwischen 1900 und 1901 gebaut. Beide Brücken plante das Büro des bekannten Jugendstilarchitekten Otto Wagner.

### Abb.: 213

Vorne sieht man die 1900 errichtete U-Bahn-Brücke mit langgestrecktem Mittelpfeiler im Wienfluss, der hier als Kanal geführt ist. Darüber führt dann der Zollamtssteg mit einem zweifachen, gebogenen Doppel-T-Träger, auf den der Steg am Beginn und am Ende aufgeständert ist, während der Mittelteil von diesem Brückenbogen abgehängt wurde.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1999

### Abb.: 214

Die Gubernitzer-Murbrücke ist eine Bogenbrücke mit abgehängter Fahrbahn. Sie ist Teil der Landesstraße L553 und verbindet Knittelfeld mit St. Margarethen in der Obersteiermark.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2018

## Die Gubernitzer Murbrücke in Knittelfeld in Österreich

In der Obersteiermark im Osten von Knittelfeld überspannt eine Stahlbrücke die Mur in Richtung St. Margarethen zum Ortsteil Gubernitz. Die Gubernitzer Murbrücke ist eine der wenigen älteren Brücken, die in Österreich nicht in der zweiten Hälfte des 20. Jh. gegen eine moderne Betonbrücke ausgetauscht wurde. Es handelt sich um eine 1900 errichtete und 2013 mit erheblichem Aufwand sanierte Straßenbrücke mit einem konstruktiven Stahlbogen mit rechts und links außen angehängten Fußgängerwegen. Die Tragkonstruktion besteht aus zwei massiven gekrümmten Kastenträgerbögen. Diese stehen rechts und links der Fahrbahn jeweils als Trennung zwischen der Fahrbahn und den zwei Fußwegen. Die Fahrbahn wird primär von zwei horizontalen Fachwerkträgern, die wieder an die zwei Druckbögen angehängt sind, getragen. Im Mittelbereich werden die zwei Fachwerkträger jeweils von 11 schlanken in Fachwerke aufgelösten Zugelementen und in den Randzonen von auf jeder Seite je zwei

weiteren massiven Doppel-T-Trägern gehalten. Um die zwei mächtigen Druckbögen zu einem räumlichen Tragwerk zusammenzubinden, wurden nochmals relativ schlanke Fachwerkträger als großes räumliches Fachwerk über der Fahrbahn eingebracht. Hierdurch kommt es zu einer Aussteifung und Sicherung gegen ein seitliches Ausweichen.

Die Brücke ist 71 m lang und etwas mehr als 11 m breit. Obwohl sie 1900 errichtet wurde, zeigt sie keine Jugendstilelemente. Sie zeigt eher eine konstruktivistische Art der Formgebung. In der zweiten Hälfte des 20. Jh. wurde sie unter Denkmalschutz gestellt und 2013 mit großem auch finanziellem Aufwand unter Aufsicht des Österreichischen Denkmalsamtes generalsaniert. Während der Sanierung wurde eine Ersatzbrücke als Provisorium neben der alten Brücke über die Mur gelegt, was zeigt, dass die historische Brücke immer noch an dieser Stelle gebraucht wird.







Abb.: 216

Die Segmentbogen-Fachwerkbrücke Alexander-Straße über den Fluss Wupper von der Wuppertaler Schwebelbahn in Station Ohligsmühle aus aufgenommen. Man sieht auch gleich mehrere der Fachwerkbögen und den Fachwerkträgern dazwischen, an denen die Schienen der Schwebelbahn hängen.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1984

Abb.: 215

Die Fahrbahn wird beidseitig von Fachwerkträgern begleitet, die selbst wieder am großen Fachwerkbogen hängen.

Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2018

## Die Schwebelbahn in Wuppertal in Deutschland

Das Wuppertal ist relativ eng und daher zieht sich auch die Stadt Wuppertal ziemlich in die Länge. Als man überlegte, den langgezogenen Stadtraum mit einem öffentlichen Verkehrsmittel zu erschließen, konnte man die Entwicklung des künftigen Straßenverkehrs noch nicht voraussehen. Aber der sehr geringe Raum für beispielsweise eine Straßenbahn führte dazu, dass man auf den Flussraum ausgewichen ist. Da man den Fluss nicht unter einer breiten Betonplatte verschwinden lassen wollte, entstand die Idee einer "Schwebelbahn" über der Wupper, einer an aufgestellten Gleisen hängenden Bahn. Im März 1901 wurde die Einschienenhängebahn eröffnet, eine an 300 über die Wupper gespannten Fachwerkbögen angebrachte 13,3 km lange Strecke mit 20 Zwischenstationen, die fast durchgehend über dem Flüsschen Wupper geführt ist. Für eine Fahrt von der westlichen Endstation zur östlichen Endstation braucht die Bahn 30 Minuten.

Seit ihrer Errichtung wurde sie von deutlich mehr als 1,5 Milliarden Fahrgästen benutzt, und da sie beim heutigen



Straßenverkehr alle alternativen Transportmittel deutlich an Sicherheit und Geschwindigkeit schlägt, kommen täglich etwa 85.000 Fahrgäste hinzu. Es ist erstaunlich, dass es nur diese eine Anlage gibt, obwohl sich die Bahn über rund 120 Jahre bereits sehr bewährt hat. Im Laufe dieser Zeit gab es nur wenige Probleme und einen schweren Unfall mit 5 Todesopfern und etlichen Verletzten. Daneben gab es noch einen nennenswerten Vorfall mit der Bahn, bei dem aber niemand zu Schaden kam. Erst eine Erneuerung 2018 hatte zur Folge, dass es mit der Wuppertaler Schwebebahn erstmals nachhaltige Betriebsprobleme gab und gibt.

Der eine weitere nennenswerte Vorfall ereignete sich 1950. Damals wollte der "Circus Althoff" für Werbezwecke ein Elefantenbaby mit der Schwebebahn fahren lassen. Dieses geriet dann aber so in Panik, dass es während der Fahrt zu randalieren begann und am Ende auf freier Strecke die Seitenwand der Bahnkabine durchbrach und in den Fluss unterhalb stürzte. Trotz der erheblichen Höhe wurde der Sturz offenbar durch das Wasser so weit gemildert, dass das Elefantenbaby nicht

**Abb.: 217**  
**Von der Station Zoo der Schwebebahn sieht man unter den Fachwerkbögen die moderne Betonbrücke der Siegfriedstraße über die Wupper, die zum Zoo und zur Technischen Akademie führt. Über diese Brücke und die Konstruktionen der Schwebebahn wölbt sich diagonal über die Kreuzung zusätzlich noch die mit Naturstein verkleidete Segmentbogenbrücke der Deutschen Bundesbahn über die Kreuzung mit der Friedrich-Ebert-Straße. Das sind gleich drei Brücken übereinander. Foto: Hasso Hohmann, Graz, 1984**

nur überlebte, sondern angeblich auch nur Schrammen im Gesäßbereich bei der Aktion davontrug.

Bei dem Tragwerk der Bahn handelt es sich um 300 druckbeanspruchte, trapezförmige Fachwerkbögen, die jeweils über die Wupper gespannt sind. Zwischen diesen Bögen werden die Distanzen mit räumlichen Fachwerkträgern überbrückt, die einen fast

quadratischen Querschnitt haben und an deren unteren Kanten die zwei Schienen für die Bahn montiert sind. Da die Bahn dem Lauf der Wupper fast über die gesamte Strecke folgt, sind die Haltestellen in aller Regel auch an Brücken über die Wupper angeordnet. In Summe ergeben die Träger zwischen den 300 Fachwerkbögen, an denen die Schienen montiert sind, eine Gesamtlänge von 13.3 km.

### **Alte Brücke im slowenischen Maribor**

Die Stari Most, die Alte Brücke in Maribor ist zugleich auch die Hauptbrücke der Stadt über die Drau. 1965, als der Autor zum ersten Mal die Stadt besuchte, lief noch der gesamte Nord-Süd-Verkehr in Maribor zwischen Österreich und dem damaligen Jugoslawien über diese Brücke. Die 270 m lange Brücke zeigt in ihrer Gestaltung noch deutlich ihre Entstehungszeit im Übergang vom Jugendstil zur Art Deco Zeit. Sie wurde 1913 nach Plänen des bekannten Wiener Architekten Eduard Zotter errichtet und dominiert den eingetieften Flussraum auch heute noch.

Das Grundkonzept der Brücke zeigt eine klare Trennung zwischen den zwei gemauerten Zubringerampen, die beide genau bis zum Wasser der Drau reichen und der eigentlichen Brücke über die Drau, die eine reine Stahlfachwerkkonstruktion ist. Die Zubringerampen enthalten auf jeder Seite zwei schlanke hohe gemauerte Bögen, durch die die Uferbegleitstraßen verlaufen. Die in Maribor 166 m breite Drau wird mit drei kräftigen Eisenbögen überspannt. Auf diese Weise wird das erhöht gelegene Zentrum der Stadt im Norden mit den Siedlungsräumen südlich des Flusses auf hohem Niveau verbunden. Zugleich ermöglichen die Brückendurchlässe die ufernahe, durchgehende Erschließung der Unterstadt auf Flussniveau.

Die drei Brückenbögen mit jeweils 55 m Spannweite stehen auf zwei niedrigen gemauerten Brückenpfeilern im Fluss und auf den zwei seitlichen Podesten unmittelbar vor den zwei massiven Rampenbauwerken. Jeder der drei Bögen besteht wieder aus drei mit Abstand aufgestellten Bögen, die jeweils von zwei nicht durchgehend zusammengeschweißten gebogenen Doppel-T-Trägern bestehen, über denen die Fahrbahn mit Abstand auf relativ schlanken Trägern aufgeständert ist. Auch zwischen den tragenden Eisenbögen und den schlanken Stützen oberhalb finden sich zahlreiche schlanke Diagonalverstrebenungen, die der Konstruktion Stabilität und der Brücke zugleich eine gewisse Leichtigkeit verleihen.



Im Jahr 2012, als Maribor Europäische Kulturhauptstadt war, hatte man temporär Leuchsterne und Wasserspiele an der Brücke montiert, die aber den Eindruck ihrer Konstruktion nicht beeinträchtigten. Als die Brücke 1913 fertiggestellt war, hielten sie viele für die schönste der damaligen Donaumonarchie.

**Abb.: 218**  
**Das Mittelfeld der Stari Most, der Alten Brücke über die Drau im slowenischen Maribor, Marburg an der Drau. Die Sterne und Wasserspiele standen im Zusammenhang mit dem Jahr, in dem die Stadt Europäische Kulturhauptstadt war. Obwohl die Brücke 1941 stark beschädigt wurde, hat man sie wieder in ihren ursprünglichen Originalzustand zurückversetzt.**  
 Foto: Hasso Hohmann, Graz, 2012

## Tyne-Bridge von Newcastle in England

Östlich der Swing Bridge zwischen Newcastle und Gateshead folgt eine Straßenverbindung zwischen Nord und Süd über den Tyne-Fluss, die "Tyne-Bridge", eine Fachwerkbogenbrücke aus Stahl mit eingehängter Fahrbahn, bei der nahe den Brückenenden die Fahrbahn auf den Bogen aufgeständert ist, im Mittelfeld hingegen vom Bogen abgehängt wurde. Die Spannweite des Bogens beträgt 161,8 m, seine Höhe misst 26 m. Die gesamte Brückenanlage hat eine Länge von 389 m. Sie wurde 1928 nach Plänen von Architekt Robert Burns Dick und von den Designern Mott, Hay und Anderson errichtet. Für die Statik war die Firma Dorman Long & Co. zuständig.

### Abb.: 219

Die 1928 errichtete Tyne Bridge wird von einem hoch aufragenden Fachwerkbogen getragen, der zwischen jeweils zwei hohenturmähnlichen Bauwerken mit Treppenaufgängen gespannt wurde. Rechts und links schließen die Zubringerbrücken an.

Fotos: Hasso Hohmann, Graz, 1984





### **Puente Lusitania von Mérida in Spanien**

Zwischen 1988 und 1991 wurde in Mérida in Spanien die "Puente Lusitania" nach Plänen des bekannten spanischen Architekten Santiago Calatrava errichtet. Calatrava ist längst zu einer Kultfigur in der Architekturszene und speziell auch für den Brückenbau geworden. Es geht ihm nicht alleine um die Erfüllung einer Funktion durch eine funktionale Architektur, sondern ganz wesentlich auch um die daraus entwickelte Gestaltung, ihre Rhythmisierung durch das serielle Montieren vorgefertigter Architekturelemente, um den spielerischen Umgang mit aus der Konstruktion abgeleiteten Formen in Abhängigkeit von der jeweiligen Funktion.

Wenn man die unendlich vielen langweiligen Betonbretter der zweiten Hälfte des 20. Jh. Revue passieren lässt, so lassen Bauwerke von Santiago Calatrava endlich wieder eine Lust an einer interessanten, konstruktiven, ja sprühenden Formgebung erkennen und knüpfen damit an die unglaublichen Bauten von Antoni Gaudi aus dem späten 19. Jh. und beginnenden 20. Jh. an. So

**Abb.: 220**

**Die Lusitania-Brücke in Mérida wurde von Santiago Calatrava geplant.**

**Foto: Andreas Scheucher, St. Stefan ob Stainz, 2005**

wird der Faden der Sagrada Familia in Barcelona zu dem Zeitpunkt aufgenommen, zu dem dieser Sakralbau in seine Endrunde geht und setzt damit eine Tradition fort, die sich aus der islamisch maurischen Zeit erhalten hat. Die Museumsbauten Calatravas in Valencia sind einfach eine Freude an kreativer Formgebung.

Die Puente Lusitania über den Fluss Guadiana schließt an eine 2000-jährige Brückentradition schon aus der Römerzeit an. Die römische Brücke existiert bis heute, brauchte aber schon lange vor 1991 eine Unterstützung durch eine weitere leistungsfähigere neue Brücke. Diese von Calatrava für Mérida geplante Ergänzungsbrücke ist eine Bogenbrücke aus Stahlbeton und Stahl. Ihre mächtigen Doppelstützen im Fluss nehmen auch den massiven Auflagerdruck aus der Bogenkonstruktion

auf. Der Bogen selbst ist im Ansatz noch eine Betonkonstruktion, aus der erst der filigrane Stahlbogen vortritt. Von diesem Bogen ist der Mittelteil der Brücke wieder abgehängt. Die Spannweite dieses Mittelfeldes misst 189 m; die gesamte Brücke hat eine Länge von 465 m. Der in der Mittelachse stehende Bogen trägt über Stahlseilpaare einen massiven Mittelträger, auf dem etwas erhöht der Fußgängerweg über die Brücke verläuft, der mittig durch die zwei Auflager des Bogens führt. An diesem Träger hängen beidseitig zahlreiche vorgefertigte Kragelemente, auf denen auch beidseitig die tiefer liegenden zwei Fahrbahnen lasten.

## **“Millennium Bridge“ zwischen Gateshead und Newcastle in England**

Seit 2001 überspannt die sehr leicht wirkende “Millennium Bridge“, eine Fußgänger- und Radfahrerbrücke, östlich des älteren Brückenensembles von Newcastle den Tyne Fluss. Die Millenium-Brücke war das Resultat eines 1997 ausgelobten Brückenwettbewerbs des Gateshead Councils. Es handelt sich beim Gewinnerprojekt um eine Brücke mit einem etwas nach Westen gekippten Tragbogen, von dem ein im Grundriss bogenförmig nach Osten hin weit vorkragender Weg abgespannt ist. Dieser Weg steigt zu seiner Mitte hin leicht an und fällt dann wieder zum anderen Brückende ab. Der Weg liegt im Ruhezustand etwa auf Hafenniveau. Tragbogen und Wegbogen liegen in zwei Ebenen, die etwa in einem rechten Winkel zueinander liegen. Die zwischen beiden Bögen gespannten Stahlseile fixieren den Winkel zwischen den zwei Bogenebenen. Die Spannweite der Konstruktion beträgt 126 m. Fuß- und Radweg haben gemeinsam eine Breite von 8 m.

Das Besondere an dieser Brücke ist, dass sie quasi um die Schnittachse der beschriebenen zwei Ebenen in den zwei Auflagern der Brücke gekippt werden kann, so dass sich der Tragbogen deutlich weiter zur Seite neigt und der Bogen mit dem Lauf- und Radweg so weit angehoben wird, dass nun unter beiden Bögen in der Flussmitte auch Schiffe mit hohen Aufbauten passieren können. Damit es zu keiner Kollision zwischen Schiffen und den zwei Bögen kommt, wurde die Fahrtrinne in der Flussmitte an den Seiten durch massive Poller gesichert. Die Brücke wurde vom Statikbüro Gifford und Partner aus Southampton berechnet und vom Architekturbüro Jim Eyre und Chris Wilkinson aus London entworfen und geplant. Sie verbindet Newcastle upon Tyne und Gateshead auf dem Niveau der Tyne-Uferzonen. In Gateshead locken knapp über Flussniveau das Museum “The Baltic Centre for Contemporary Art“ und das Veranstaltungszentrum “The Sage Gateshead“ samt Konzerthalle junge Menschen auch aus Newcastle auf die andere Seite des Tyne.



**Abb.: 221**  
**Die Millenium-Brücke zwischen Gateshead und Newcastle. In dieser Position trägt der etwas zur Seite geneigte Druckbogen den ebenfalls gekrümmt verlaufenden Wegbogen, der seinerseits etwas zur Mitte hin ansteigt. Dieser hängt durch eine Serie von Tragseilen an dem Druckbogen und darf von Fußgängern und Radfahrern genutzt werden. Foto: Axel Steenberg (Flickr upload); CCO 2.0 (siehe Glossar, Abkürzungen)**



Abb.: 222

Bevor die Millenium-Brücke in diese Stellung gekippt wird, muss sie gesperrt werden. Hierbei wird der Wegbogen selbst auch zum druckbeanspruchten, tragenden Bogen, an dem nun auch der eigentlich tragende Bogen hängt. In dieser Stellung können auch Schiffe mit höheren Aufbauten auf dem Tyne Fluss in einer zentralen Passage unter den zwei Bögen passieren.

Foto: Mike1024 (Wikipedia upload Gemeinfrei)







## Hängebrücken

Grundsätzlich kann man nicht einmal theoretisch ein Seil, das immer ein gewisses Eigengewicht aufweist, perfekt horizontal spannen, also so spannen, dass es geometrisch geradlinig von der einen zur anderen Seite einer Schlucht eine gerade Linie ergibt. Die notwendige horizontale Spannkraft an den zwei Ankerstellen steigt exponentiell mit der Annäherung an die Geradlinigkeit und steigert sich am Ende ins Unendliche.

Nun sind die Tawe der traditionellen Hängebrücken auch für sich relativ schwer, so dass sie nach ihrer Herstellung bereits jeweils von vielen Personen zur Stelle ihres Einsatzes getragen werden müssen. Umgekehrt lässt sich die notwendige Spannkraft auch deutlich reduzieren, je stärker das Seil durchhängt. Da aber kaum jemand über eine Brücke gehen will, bei der er zunächst steil hinabsteigen muss, um nach Überschreiten ihrer Mitte wieder steil hinaufklettern zu müssen, konstruierte man wohl bereits seit Menschengedenken Hängebrücken aus pflanzlichen Fasern mit einer moderaten Durchhängung.

Eine Trennung in Tragseile und angehängte Lauffläche, die dann tatsächlich hätte gerade oder sogar leicht nach oben bombiert verlaufen können, war zunächst schon deshalb nicht möglich, weil das Eigengewicht der traditionellen Tawe so hoch war, dass man bei größeren Spannweiten die Nutzlasten hätte immer weiter reduzieren müssen. Die Nutzlast setzte sich aus den Passanten, den mitgeführten Traglasten und gegebenenfalls aus den Transporttieren, wie Esel im Himalaya oder Lamas in den hohen Anden, und deren Traglasten zusammen.

Daher verliefen bei den frühen Hängebrücken die Laufflächen samt deren tragenden Tauen und die "Handlauftawe" rechts und links quasi parallel durchhängend in nahezu gleichem Abstand zueinander. Alle frühen auf Zug beanspruchbaren Materialien wie Gras oder andere härtere Pflanzenfasern waren unvergleichlich viel kurzlebiger als druckbeanspruchbare Baumaterialien, wie Stein, Holz oder Gusseisen. Daher mussten besonders bei den sehr frühen Hängebrücken die Tragseile schon nach einer relativ kurzen Zeit wieder gegen neue ausgetauscht werden, womit zugleich die gesamte Brücke erneuert werden musste. Bei einigen

Materialien war die Lebensdauer mit nur einem bis zu drei Jahren begrenzt.

Bei den wirklich sehr langen modernen Stahlkabelhängebrücken mit ihren angehängten Fahrbahnen, die ja auch theoretisch völlig gerade im geometrischen Sinn verlaufen könnten, käme die Nutzfläche in der Mitte bereits auf Grund der gekrümmten Wasseroberfläche den Schiffen messbar etwas näher als bei den Pylonen, da die Brücke die Erdkrümmung nicht automatisch mitmacht. Sehr viele dieser Brücken haben allerdings eine leichte Bombierung, so dass die Mitte solcher Brücken eher noch weiter von der Wasseroberfläche entfernt ist. Außerdem spielt sich das Phänomen der Erdkrümmung bei einer freien Spannweite von zwei Kilometern im Zentimeterbereich ab.

Die Hängebrückenbeispiele in dieser Zusammenstellung zeigen zum einen, wie sich die zugbeanspruchten Brücken in drei großen Schritten weiterentwickelt haben. Zuerst mussten die Brücken aus schnell vergänglichen Materialien in jenen Gebieten, in denen sie unbedingt gebraucht wurden, entwickelt werden. Dann kamen vor etwa 2000 Jahren die Kettenbrücken in China auf, die sich vor allem in Asien dort durchsetzten, wo man sie sich leisten konnte oder dringend brauchte. Dann war es der französische Erfinder und Brückenbauer Marc Seguin, der 1823 zwei 33 m lange Hängebrücken in Genf, die von zwei mal 90 knapp 2 mm dünnen parallel gelegten Eisendrähten getragen wurden. Knapp danach baute Joseph Chaley zwei weitere sehr viel weiter gespannte, extrem leicht wirkende Hängebrücken aus Schmiedeeisendrähten in Freiburg in der Schweiz. Aus diesen Pionierleistungen entwickelten sich dann rund um den Globus die immer länger und immer größer werdenden Stahlseilbrücken.

## Konstruktive Denkschemata

Zunächst war es die sehr niedrige Lebensdauer, die ein Problem bei den Hängebrücken darstellte. Die Kettenbrücken lösten dieses Problem und setzten sich zunächst nur dort durch, wo ihnen durch das Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen bei der Bevölkerung bereits im Vorfeld im östlichen Asien der Boden bereitet war. In Europa waren Hängebrücken durch die Berichte von Reisenden schon seit vielen Jahrhunderten bekannt, konnten sich aber bis ins 19. Jh. nicht durchsetzen, weil

hier ein Denken in vorwiegend druckbeanspruchten Konstruktionen vorherrschte. Schon im 15. und 16. Jh. gab es Pläne für Hängebrücken in Europa. Die erste sehr kurze Kettenbrücke wurde aber erst im 18. Jh. in England errichtet. Die vielen großen Kettenbrücken, wie in Budapest, wurden erst im 19. Jh. gebaut, als Joseph Chaley bereits einen Schritt weiter war und mit Tragkabeln aus dünnsten Schmiedeeisendrähten experimentierte.

Wie stark der Einfluss von Denkschemata, in denen gedacht wird, alle Lebensbereiche fördern beziehungsweise hemmen kann, lässt sich auch an der Entwicklung in der Neuen Welt gut zeigen. In der Neuen Welt war das Prinzip des Schlusssteinbogens spätestens seit etwa dem Beginn unserer Zeitrechnung bekannt, konnte sich aber großflächig nicht durchsetzen, da hier das Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen vorherrschte. Es gibt zwar in beiden Amerikas mehrere Beispiele von sehr frühen Tonnengewölben und von Schlusssteinbögen. Sie traten aber jeweils nur sehr vereinzelt auf. Es wurde auch bislang keine einzige präkolumbische Brücke in Amerika gefunden, die nach dem Prinzip des Schlusssteinbogens konstruiert wurde.

Aus Kostengründen oder weil der Transportwiderstand sehr groß war, haben sich in manchen Gebieten bis in die jüngste Zeit Brücken aus schnell vergänglichen Materialien noch gehalten. Mit dem Bau von befahrbaren Straßen sind diese aber alle im Laufe der zweiten Hälfte des 20. Jh. gegen Hängebrücken mit den unvergleichlich länger haltenden Stahlseilen ausgetauscht worden. So war es auch für den Autor schwierig, noch eine Brücke aus vergänglichem Material zur Zeit des Wechsels vom 20. ins 21. Jh. in Amerika zu finden. Die Q'eswachaka Hängebrücke über den Apurimac in Peru war wohl schon 2002 eine der letzten oder bereits die letzte derartige Brücke in den Amerikas. Ähnlich schwer tat sich der Autor auch bei der Suche nach Hängebrücken aus vergänglichem Material im Himalaya-Gebirge.

Spätestens knapp nach Beginn unserer Zeitrechnung schmiedeten die Han-Chinesen bereits massive eiserne Ketten für einen neuen Typus von deutlich langlebigeren Hängebrücken. Dieses viel beständigere und zugfestere Material war dann lange Zeit fixer Bestandteil asiatischer Hängebrücken überall dort, wo man sich so etwas leisten konnte. Noch heute soll es

einige jahrhunderte alte Kettenbrücken in den Bergen des Himalaya geben.

Mit den Eisendrähten von Marc Seguin und mit den Schmiedeeisendrähten von Joseph Chaley wurde dann aber eine völlig neue Konstruktionsweise für Hängebrücken Anfang des 19. Jh. kreiert. Das war genau zu dem Zeitpunkt, als sich die Kettenbrücken rund 2000 Jahre nach den frühen chinesischen Kettenbrücken auch in Europa durchzusetzen begannen.

Das Denken in vorwiegend druckbeanspruchten Konstruktionen ist den Europäern so selbstverständlich, dass es von ihnen kaum wahrgenommen wird, obwohl es praktisch alle Lebensbereiche durchdringt. Im Folgenden bringt der Autor daher einige Beispiele im Vergleich:

Wo die Guatemalten oder die Nasca im heutigen Peru Wasserkrüge mittels des Stirnlastbandes auf dem Rücken tragen wurde bei uns noch bis vor 50 Jahren im trockenen Süden Italiens oder in Spanien Wasserkrüge auf einem druckausgleichenden Stoffring auf dem Kopf getragen. Bei den Maya und auch bei den Vorinkakulturen saßen und schliefen Menschen in Hängematten, bei uns hingegen sitzen sie auf Stühlen und schlafen in auf dem Boden stehenden Betten. Für die gehobenen Maya gab es Hängesänften, bei uns gab es Sänften in Sitzform. Bei den Maya werden Dinge des täglichen Lebens in Netzen aufgehängt, die an Balken ihrer Hüttenkonstruktionen gehängt werden; in ihren Steinbauten gab es dafür eigens Gewölbebalken in den Vorkraggewölben zur Zeit der Maya-Klassik. Bei uns werden derartige Dinge in Schränke geräumt. Kleinkinder werden in Guatemala auch heute noch meist in einem Tragtuch auf dem Rücken getragen, bei uns werden sie im Kinderwagen geführt. Die Liste derartiger Vergleiche lässt sich beliebig ausbauen und verlängern. Es geht dabei jeweils nicht um Ausschließlichkeit sondern nur um signifikant starke Tendenzen.

Die Basiskultur im westlichen Europa und auch rund ums Mittelmeer war die römische Kultur. Überall im Imperium Romanum wurden eindrucksvolle Bauen mit riesigen Betonkuppeln wie dem Pantheon oder am Ende auch die Hagia Sofia in Konstantinopel errichtet und es wurden riesigen Thermenanlagen mit gewaltigen Kuppeln gebaut, über die Flüsse spannten sich bald in allen Städten große Bogenbrücken. Vieles ging bis an die

Machbarkeitsgrenzen und war auch darauf ausgelegt, Eindruck zu machen. Riesige aufgeständerte Aquädukte durchzogen die Städte und versorgten sie mit großen Mengen an Trinkwasser.

Das alles sind druckbeanspruchte Konstruktionen, die das Denken der Menschen beeindruckten, sich in die Gehirne eingepägt haben und das Denken zumindest tendenziell bis weit in die Neuzeit beeinflussten. Natürlich gab es daneben auch Zugbeanspruchtes bei den Bauten der Römer. Die zur Beschattung des Kolosseums von seinem oberen Rand weit in Richtung Zentrum der Anlage vorkragenden langen Stangen, über die weitgespannte Textilien heruntergelassen werden konnten, waren zugbeansprucht. Sie waren aber nur sekundäre Architekturelemente. Der Autor ist davon überzeugt, dass sich auch die Kettenbrücken vor allem des Denkens in druckbeanspruchten Konstruktionen wegen in Europa für so unglaublich lange Zeit nicht durchsetzen konnten. Sie passten nicht in ihr Denkschema.

Umgekehrt verhielt es sich mit den druckbeanspruchten Tonnengewölben und Schlusssteinbögen in der Neuen Welt. Diese zumindest seit dem Beginn unserer Zeitrechnung immer wieder zu findenden Baukonstruktionen waren offenbar jeweils singuläre Erfindungen, die sich aber nicht durchsetzen konnten, weil dort das Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen viel zu stark verhaftet war.

### **Gräser, Ketten und Drähte**

Als sich dann aber in Europa um 1900 die Hängebrücken endlich durchzusetzen begannen, ging das zugleich mit einer Neuerfindung einher. Der neue Hängebrückentypus verwendete Drähte und Drahtseile statt Ketten. Die Drähte wurden immer fester und widerstandsfähiger und bald zu tragenden Kabeln verarbeitet und leiteten eine ungeahnte, damals kaum absehbare Entwicklung ein. Das geschah in einer Zeitphase, in der sich die eigentlich schon fast 2000 Jahre alte Technik der chinesischen Schmiedeeisenkettenbrücken in Europa erstmals durchsetzte. Die Drahtkabel hingegen waren ein wirklich neues Element in der Entwicklung von Hängebrücken.

Die Entwicklung ging von geflochtenen Gräsern über geschmiedete Ketten zu Eisenkabeln hin zu immer

leistungsfähigeren Stahlkabeln. Es war also im Wesentlichen eine Frage des eingesetzten Brückenmaterials, wie lang die Brücken halten und wie weit sie gespannt werden können.

Die mangelhafte Tragfähigkeit war es auch, die sowohl in der Neuen Welt wie auch in der Alten Welt dazu führte, dass es zunächst keine Trennung zwischen Tragseilen und Laufebene geben konnte. Die Handlauf- und die Laufebentaue mussten parallel zueinander durchhängen. Erst, als die Seile tragfähiger wurden, vollzog sich auch der Prozess der Trennung zu Tragkabeln und angehängten Laufebenen. Es dürfte noch eine gewisse Zeit gebraucht haben, bis die Laufebene nicht mehr durchhing und eben wurde, wie in Freiburg in der Schweiz, oder sogar leicht bombiert geführt angehängt wurde, wie bei vielen modernen Hängebrücken des ausgehenden 20. Jh..

Beim Wechsel vom einen zum nächsten Baumaterial für Hängebrücken dürfte vielfach zunächst der jeweils ältere Brückentypus im neuen Material nachgebaut worden sein, wofür die Kettenbrücke bei Lhasa aus dem Jahr 1430 und auch die in Nordostnepal sprechen. Im Himalaya dürfte sich die alte Form der Brücken aus vergänglichem Material noch relativ lange gehalten haben. Sobald man aber höhere Portaltürme baute, erkannte man die Möglichkeiten und auch statischen Chancen einer Trennung von Tragkabeln und Nutzebenen, die sich aus dem neuen Werkstoff und seiner deutlich höheren Zugaufnahmefähigkeit ergaben. So dürfte die in China im 1. Jh. geschmiedete Kintany Kettenbrücke noch durchgegangen haben, was angesichts der Anzahl an Ketten und der Beschreibung, dass ihre hölzerne Nutzfläche über den Ketten montiert war, angenommen werden darf. Die Vielzahl an Berichten über spätere Kettenbrücken hingegen ergibt, dass bei diesen die Laufebenen jeweils an zwei geschmiedeten Ketten angehängt wurden. Es gab also schon eine Trennung in tragende Ketten und angehängte Laufflächen. Aber die Möglichkeit, die Lauffläche durch höhere Portaltürme eben zu gestalten, wurde wohl noch nicht so bald erkannt und realisiert.

Es gab also eine klare Trennung zwischen tragenden Ketten und angehängten Nutzflächen, was bei der Chushul-Chakzam-Kettenbrücke südwestlich von Lhasa gut zu sehen war. Dass diese Trennung schon bald

nach den ersten Kettenbrücken vorgenommen wurde, legt auch die sehr weite Verbreitung derartiger Hängebrücken im Himalaya und in den östlich angrenzenden gebirgigen Regionen nahe. Aber bei vielen dieser Brücken verliefen wohl die Laufflächen unterhalb immer noch durchhängend, also noch nicht gradlinig wie bei unseren modernen Hängebrücken. Es gibt ungezählte Berichte über die Verwendung von Kettenbrücken in Asien aus unterschiedlichen Jahrhunderten. Die heute noch genutzte Kettenbrücke in Budapest schließt zusammen mit einigen anderen diese Tradition vielleicht bereits endgültig ab.

Heutige Stahlkabel sind möglicherweise noch dauerhafter und können noch wesentlich weiter gespannt werden. Zu Beginn versuchte Joseph Chaley in der Schweiz im frühen 19. Jh. die Ketten von einst durch geschmiedete nur 3 mm dünne Schmiedeeisendrähte zu ersetzen, von denen er über tausend für nur ein Kabel miteinander verband. Für die Umleitung der Kabel auf den zwei Portaltürmen entwickelte er ein System von Überleitungsrollen, damit es bei den nun durchlaufenden dünnen Schmiedeeisenstößen zu keinem Bruch kommt. Bald nach ihm kamen die noch tragfähigeren Stahlseilkabel auf den Markt. Die heutige Entwicklung vor allem in Richtung Zugbeanspruchbarkeit und auch die Technik der Tragkabelhandhabung während des Baues von Hängebrücken wurden stetig weiter gesteigert, um immer größere Distanzen überbrücken zu können.

## Probleme mit Sturm und Erdbeben

Schon bei den kurzen Hängebrücken aus vergänglichem Material sah der Autor oft zwei relativ dünne Stricke, die etwa unter 45° abgewinkelt die Brückenmitte auf beiden Seiten mit den zwei Ufern verbanden. Meist waren es nur zwei Stricke und diese ergaben eine Art Diagonale über den Fluss, die nur durch die Lauffläche unterbrochen war. Die Stricke waren offenbar ein Mittel gegen das Schwingen bei Wind und Sturm.

Das Problem des Schwingens bei Stürmen muss bei den immer größer werdenden Spannweiten jüngster Hängebrücken in Japan und besonders bei der geplanten Hängebrücke von Messina nach Sizilien sehr aufwendig berechnet und in sehr kostspieligen, riesigen Modellversuchen im Windkanal möglichst

ausgeschlossen werden. Der Einsturz der Tacoma Narrows Hängebrücke in den USA mit einer freien Spannweite von "nur" 853 m im Jahr 1940 knapp nach ihrer Fertigstellung bei einer Windgeschwindigkeit von "nur" 68 km/h durch Torsionsschwingungen, die sich aufschaukelten, bis die Brücke zerbrach und abstürzte, ist seitdem allen Konstrukteuren von Hängebrücken eine massive Warnung. Von diesem Brückeneinsturz gibt es sogar eine Filmaufnahme in Schwarzweiß. Aber auch die neuen Brücken sind nicht alle vor Torsionsschwingungen und Eigenfrequenzschwingungen ganz sicher, wie immer wieder jüngste Filmaufnahmen von Brückenbenutzern auf Hängebrücken der letzten 30 Jahre zeigen.

Eine weitere Herausforderung ist das seismische Standortrisiko. Viele der sehr weit gespannten Hängebrücken auf unserem Globus stehen an geologischen Bruchzonen oder im Nahbereich von Subduktionszonen. Sie werden also durch seismische Aktivitäten wie Erdbeben und deren Zwangsschwingungen und Untergrundverschiebungen bedroht. Viele bereits bestehende und auch geplante Hängebrücken mit sehr großen Spannweiten sind dadurch gefährdet. So wurden die Konstrukteure der Akashi-Kaikyo-Hängebrücke, der bislang längsten Hängebrücke mit 1990 m freier Spannweite zwischen den zwei 297,3 m hohen Pylonen und einer Gesamtlänge von 3911 m während der Bauzeit zwischen 1988 und 1998 vom verheerenden Erdbeben um Kobe 1995 überrascht. Die Distanz zwischen den zwei hohen Pylonen nahm damals um rund einen Meter zu. Da die Fahrbahnen noch nicht fertiggestellt waren, konnte also relativ einfach ein zusätzlicher Laufmeter Brücke ergänzt werden. Die noch nicht gebaute Hängebrücke über die Meerenge bei Messina vom italienischen Festland nach Sizilien sollte sogar eine freie Spannweite zwischen den Pylonen von 3300 m aufweisen. Auch hier liegt eine geologische Bruchzone unter der geplanten Brücke.

## Lebende Baumaterialien

Spannend ist ein innovativer Ansatz vor Jahrhunderten im Zusammenhang mit Hängebrücken aus vergänglichen Materialien. Gleich an mehreren Stellen in Südost- und Ostasien in sehr regenreichen Gebieten war man auf der Suche nach nachhaltigeren, länger haltbaren Brückenbaumaterialien. Die faszinierende Idee

war und ist auch heute noch in manchen Zonen Südostasiens, lebendes Baumaterial zu verwenden, da es nicht verrottet, solange es lebt. Eines der Zentren von derartigen Brücken aus lebenden Baustoffen ist Nordostindien in der Provinz Meghalaya. Der Bau derartiger Brücken braucht zwar sehr lange und ist prozesshaft, die Brücken halten dann aber auch oft Jahrhunderte. Auch im nordostindischen Nagaland und auf mehreren Inseln Indonesiens gibt es an verschiedenen Stellen derartige Brücken. Theoretisch ist es natürlich möglich, dass die Idee dazu an mehreren Stellen unabhängig entwickelt wurde. Wahrscheinlicher allerdings dürfte die Verbreitung dieser Idee durch Techniktransfer auf dem Land- und Seeweg gewesen sein. Sonst hätten sich vielleicht auch in der Neuen Welt in anderen sehr regenreichen Gegenden derartige Brücken unabhängig ein zweites Mal entwickeln können.

In Japan auf der Insel Shikoku im Iya Tal gibt es von den lebenden Brücken in Nordostindien eine Abwandlung. Bei ihren Brücken sind etliche der aus geernteten Weiranken geflochtenen Tawe über hohe, stützende Bäume an den Ufern des Iya-Flusses geschlungen. Sie tragen die Brücken. Die Laufflächen hingegen bestehen aus bereits verarbeitetem, also totem Holz, aus dem Stützholz von einst lebenden Bäumen. Daher kann man diese Konstruktionen wohl nur als halblebende Brücken bezeichnen. Die Professur für "Green Technologies in Landscape Architecture" an der Technischen Universität München unter Ferdinand Ludwig befasst sich schon seit längerem mit lebenden Brücken mit dem Ziel, diese Techniken auch für Funktionen unserer Zeit weiterzuentwickeln.

### **Brücken mit Kragkonstruktionen**

Mit Schein- oder Kraggewölbebrücken aus Stein kann man nur wenige Meter überbrücken. Die hellenistische Brücke bei Eleutherna auf Kreta ist eine reine Scheingewölbebauweise. Sie hat eine Spannweite von 3,95 m. Der große Bogen von Kabah im mexikanischen Yucatán misst nur 4,26 m. Bei ihm wurde allerdings schon sehr viel abbindender Kalkmörtel verwendet, der das Gewölbe fast schon zu einem Monolithen abbinden ließ, was bei dem weichen Kalkstein der Region sicher auch notwendig war. Die Länge der wohl längsten Brücke mit einer Scheingewölbebauweise wird von Victor v. Hagen für eine Brücke in Carabaya

in Peru mit 9 m angegeben. Bei dieser wurden offenbar sehr dünne, tragfähige Natursteinplatten verwendet.

Die gleiche Konstruktionsweise mit Holzbalken haben Brückenbaumeister in manchen asiatischen Ländern schon in der Vergangenheit ausgereizt. Das ermöglichte natürlich einen Quantensprung bei den Spannweiten. Man konnte plötzlich in dieser Konstruktionsweise Spannweiten von bis zu 40 m überbrücken.

### **Brücken mit Schlusssteinbögen**

Einen wirklichen Quantensprung nicht alleine in der Brückenbautechnik, sondern allgemein in der Baukunstgeschichte erbrachte die schon sehr frühe Erfindung des Schlusssteinbogens und -gewölbes in der Zeit um 3000 v. Chr. in Ägypten und im Iran. Man konnte plötzlich aus einem sehr beständigen Baumaterial, also aus Stein oder dem gebrannten Ziegel, bis zu über 40 m große Distanzen tragfähig überspannen. Spannweiten von 30 m waren seitdem überhaupt kein Kunststück mehr. Man denke auch an das fast 2000 Jahre alte Pantheon in Rom mit 43,5 m Durchmesser oder die fast 1500 Jahre alte Hagia Sophia im ehemals christlichen Konstantinopel, dem heutigen Istanbul mit einem rund 30 m breiten und 60 m langen stützenfreien Gebetsraum oder an die riesigen römischen Thermenbauten im gesamten Imperium Romanum, vor allem im antiken Rom und bei Neapel. In Luxemburg erreicht eine gemauerte Bogenbrücke sogar etwa 85 m freie Spannweite.

Interessanterweise kannten auch die Neuweltlichen Kulturen bereits früh in vorkolumbischer Zeit das Schlusssteingewölbe. Es gibt bei den Maya beispielsweise in Calakmul mindestens zwei Tonnengewölbe, die schon aus der Zeit knapp nach dem Beginn unserer Zeitrechnung stammen. Auch in Südamerika findet sich bei einer Chullpa in Obrajés in Bolivien ein kleines vorkolumbisches Tonnengewölbe mit keilförmigen Lehmziegeln. Es gibt weitere Beispiele in Meso- und Südamerika für die sehr seltene Verwendung des Schlusssteinbogens und Schlusssteingewölbes, meist in Stein ausgeführt.

Warum diese geniale Technik aber in der Neuen Welt nur extrem selten verwendet und im Brückenbau wohl überhaupt nie eingesetzt wurde, ist ein wohl immer noch nicht befriedigend beantwortetes Rätsel.

Neben dem oben bereits besprochenen Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen könnte ein weiterer Grund im Verhalten echter Gewölbe und Bögen bei Erdbeben zu suchen sein. Das Kollabieren von Tonnengewölben bei starken Erdstößen ist oft verheerender als das bei Scheingewölben. Letztere können sich wieder einpendeln oder es bleibt wenigstens noch eine Hälfte des Gewölbes stehen. Das könnte ein weiterer Grund gewesen sein.

Wahrscheinlicher aber dürfte es daran liegen, dass die Kulturen entlang der tertiären Auffaltungen im Westen der beiden amerikanischen Subkontinente und das sich hier entwickelte Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen zu stark ausgeprägt war. Ähnlich wie auch im Himalaya-Gebirge und dessen Randzonen, wo das echte Gewölbe und der Schlusssteinbogen ebenfalls kaum eine Chance, sich durchzusetzen, hatten. In beiden Fällen handelt es sich um Zonen, in denen sehr viele Techniken des täglichen Lebens und so auch in der Architektur zugbeansprucht waren, Zonen, in denen das Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen sehr stark verhaftet war.

Echte Schlusssteinbögen sind aber ebenfalls in ihrer Dimension meist mit etwa 40m begrenzt. Auch hier ermöglichte erst der Einzug von Gusseisen, Eisen und Stahl in die Druckbogenkonstruktionen eine deutliche Vergrößerung der Spannweiten. Insbesondere die von weitem meist sehr zart wirkenden Fachwerkbögen erlaubten bald Spannweiten von 160m und mehr, wie bei der von Gustave Eiffel geplanten Ponte Maria Pia im portugiesischen Porto aus dem Jahr 1877.

## **Stahlbetonbrücken**

Bei den Stahlbetonbrücken brachte das 20. Jh. und besonders Santiago Calatrava etliche sehr gut designte Brücken hervor. Der Stahlbeton hat jedoch den markanten Nachteil, dass auch er eine relativ kurze Lebensdauer hat, da spätestens dann, wenn durch feine und feinste Haarrisse im Beton Feuchtigkeit bis an die Stahleinlagen gelangt, bei diesen ein Korrosionsprozess einsetzt. Rost braucht deutlich mehr Volumen als nicht oxydiertes Eisen. So ist es nur eine Frage der Zeit, ab wann die Betonüberdeckung der Stahleinlagen im Stahlbeton durch den sich ausdehnenden Rost abgesprengt wird und eine Brücke massiv an Tragfähigkeit verliert und

daher abgetragen werden muss. Etliche Betonbrücken mussten schon nach weniger als 50 Jahren erneuert werden. Auch die Spannweiten liegen bei Stahlbetonbrücken nicht extrem hoch. Die meisten Stahlbetonbrücken sind einfache Balkenbrücken. Daher wurden nur die weitgehend aus Beton konstruierte sehr schöne Brücke von Calatrava im spanischen Mérida und die "General Rafael Urdaneta Brücke" von Riccardo Morandi in Venezuela in diese Arbeit aufgenommen. Die zweite Morandi Brücke in Genua ist 2018 nach 51 Jahren spektakulär eingestürzt. Die dritte und jüngste Morandi Brücke in Libyen hat im wüstenhaften trockenen Klima vielleicht die beste Aussicht auf eine etwas höhere Lebenserwartung.

Was die Spannweiten von Brücken betrifft, so sind heute die stählernen Hängebrücken mit ihren zwei Kilometer weit frei gespannten Mittelteilen der Brückentypus, der alle anderen Konstruktionsweisen weit hinter sich gelassen hat. Aber es kommt nicht alleine auf Spannweiten an. Brücken sollten natürlich ästhetisch sein und innovativ.

Aber Brücken dürfen nicht nur für Menschen gebaut werden, die von einem Ende zum anderen gelangen wollen – Brücken müssen auch zwischen den Menschen mental gebaut werden. Dieser mentale Brückenbau ist heute notwendiger, als so vieles andere. Auf dem Gebiet des mentalen Brückenbaues ist jedenfalls noch sehr viel zu tun.

## **Mentaler Brückenbau**

Sobald selbstverliebte, arrogante, egomanische oder skrupellose Personen zu politischen Vertretern von Staaten werden und ihre Macht dazu missbrauchen, Brücken zwischen Volksgruppen und Glaubensgemeinschaften, zwischen Menschen unterschiedlicher Hautfarbe einzureißen, die Gesellschaft, die Staaten, die Staatengemeinschaften zu spalten, Menschen gegeneinander aufzuwiegeln, andere Staaten, andere Ethnien abzuwerten, schlecht zu machen, ist die Alarmstufe Rot erreicht und der nächste Konflikt nicht mehr weit. Wir brauchen daher viel mehr Brückenbauer, viele Ausgleicher, Zusammenführer mit Überblick.

# Zusammenfassung

Es gibt sehr unterschiedliche Arten des Denkens. Für Sprachwissenschaftler gibt es das Denken in Worten und Sätzen unter Anwendung der entsprechenden Grammatik. Daneben gibt es ein Denken in Bildern, das bildhafte Denken. Architekten und Statiker sollten über ein möglichst ausgeprägtes dreidimensionales, ein räumliches Denken verfügen. Außerdem gibt es ein stark aus der praktischen Lebenserfahrung von äußeren Parametern oft geprägtes konstruktives Denken. Dieses betrifft naturgemäß auch die Brücken. Dabei handelt es sich aber nicht nur um Brücken.

Beim konstruktiven Denken gilt es zumindest zwischen zwei voneinander unterscheidbare Arten von konstruktivem Denken zu unterscheiden. Es gibt Kulturen und Ethnien, in denen das Denken in zugbeanspruchten Konstruktionen deutlich vorherrscht und solche, bei denen das Denken in druckbeanspruchten Konstruktionen dominiert. Auch an Hand der in dieser Arbeit bereits angesprochenen Beispiele und Phänomene konnte gezeigt werden, dass dieses Denken in konstruktiven Kategorien den gesamten Lebensraum durchdringt und innovative konstruktive Ideen unterstützen und auch behindern kann.

Hängebrücken beispielsweise wurden in Asien schon in vorchristlicher Zeit aus vergänglichem Material hergestellt und die erste urkundlich belegte geschmiedete Kettenbrücke wurde in China schon zu Beginn unserer Zeitrechnung über ein Tal gespannt. Reisende aus Europa berichteten über die Jahrhunderte immer wieder von diesen genialen Hängebrückenkonstruktionen. Europa war aber spätestens seit der Römerzeit von einem Denken in druckbeanspruchten Konstruktionen so stark geprägt, dass sich diese geniale Idee, Hängebrücken über breitere Hindernisse hinweg zu spannen, erst im angehenden 19. Jh., also fast 2000 Jahre nach der ersten belegten geschmiedeten Ketten-Hängebrücke in China, durchsetzte. Nach der großen Welle von europäischen Hängebrücken nach 1800 kam es schon sehr bald zum Austausch vieler von Ihnen gegen andere Konstruktionsweisen. Erst die deutlich zugaufnahmefähigeren geschmiedeten Eisendrähte und später die ersten Stahlseile und die neuen Dimensionen, die damit im Brückenbau erreicht werden konnten, setzten den Siegeszug von Hängebrücken im 20. und 21. Jh. fort.

Umgekehrt gab es bei den Maya in Mesoamerika bereits im 1. Jh. n.Chr. die ersten nachgewiesenen Tonnengewölbe. Auch später verwendete man im ganzen vorkolumbischen Amerika immer wieder vereinzelt Schlussteingewölbe. Trotz der vielen großen Möglichkeiten dieser genialen Konstruktionsweise setzte sie sich nirgends in Amerika durch und blieb die Ausnahme. Auch hier stand das ausgeprägte Denken in Zugbeanspruchten Konstruktionen offensichtlich im Wege.

Erst die Eroberer aus Europa brachten dann ab 1492 den Umschwung. Seitdem wurden nur noch in entlegenen Gebieten die traditionellen Hängebrücken weiterhin über Flüsse und Schluchten gespannt. Sonst waren es bei kurzen Distanzen Bogenbrücken oder Schiffsbrücken bei breiten Flüssen und erst seit der Mitte des 19. Jh. kamen zunehmend Eisen- und Stahlseilhängebrücken zum Einsatz. Hier waren natürlich die großen Brücken in New York und in San Francisco in den USA Vorbilder für Lateinamerika. Für diese Brücken war aber das alte Europa Vorbild, das die Ketten sehr bald durch Bündel geschmiedeter Eisendrähte ab 1823 in Genf abzulösen begann, bald danach durch Stahldrahtseile ersetzte und diese innovative konstruktive Idee nach Nordamerika lieferte. Seitdem scheint es keine kulturell oder ethnisch bedingten Barrieren im Brückenbau mehr zu geben.

# Summary

There are very different ways of thinking. For linguists thinking is the use of words and sentences using the appropriate grammar. But a thinking in pictures, a pictorial thinking, also exists. Architects and structural engineers should have the most distinct three-dimensional, spatial thinking that is possible. In addition, there is a constructive way of thinking that is strongly influenced by practical life experience and often influenced by external parameters. Certainly, this also concerns bridges. But it also pertains to nearly every other field of daily life.

In constructive thinking, it is important to distinguish between at least two different types of constructive thinking. There are cultures and ethnic groups in which thinking in structures subject to tension clearly predominates, and those in which thinking in structures subject to pressure is dominant. Using the examples and phenomena already mentioned in this work, it could be shown that this thinking in constructive categories permeates the entire living space and can support or hinder innovative constructive ideas.

Suspension bridges of perishable material, for example, were built in Asia in pre-Christian times and the first documented forged chain bridge in China was spanned over a valley at the beginning of our era. Over the centuries, travelers from Europe gave repeated accounts of these ingenious suspension bridge constructions. However, since Roman times at the latest, Europe has been so strongly influenced by a way of thinking in terms of pressure-stressed constructions that this ingenious idea of stretching suspension bridges over wider obstacles did not emerge until the beginning of the 19th century, almost 2000 years after the first forged chain suspension bridge was constructed in China. After the great wave of European suspension bridges after 1800, many of them were soon exchanged for other constructions. The triumphant advance of suspension bridges in the 20th and 21st centuries was only continued using forged iron cables and later steel cables, which were significantly more capable of absorbing tension and the new dimensions that could be spanned in bridge construction. These suspension bridges were first constructed in Switzerland starting in Geneva in 1832.

Conversely, the Maya in Mesoamerica had already constructed the first documented barrel vaults in the 1st century AD. Even later, barrel vaults and true arches were constructed sporadically in the whole of pre-Columbian America. Despite the many great possibilities of this equally ingenious construction method, it did not prevail anywhere in America and remained the exception. Here, too, the pronounced thinking in tensile constructions stood in the way.

Only the conquerors from Europe brought the change from 1492 onwards. Since then, the traditional suspension bridges have continued to be stretched over valleys only in remote areas. Otherwise it was true arch bridges for short distances or ship bridges over wide rivers and steel cable suspension bridges have been constructed increasingly since the second half of the 19th century. The big bridges in New York in the USA were of course a model for Latin America. Here, however, it was already Europe that had very soon replaced the chains with forged iron and then with steel ropes and brought the constructive idea of suspension bridges back to North America. Since then, there no longer seem to have been any culturally or ethnically related barriers either in thinking categories or in bridge building.







# Bibliographie

- BERNATZIK, Hugo  
1930 Der Dunkle Erdteil; Afrika, Landschaft/  
Volksleben. Atlantis-Verlag. Berlin.
- BIBLIOTHÈQUE NATIONALE  
1976 Aztlán; Terre des Aztèques. Images  
d'un Nouveau Monde. Paris.
- BOCKH, Johann Joseph  
1722 Der Politische Katholische Passagier.  
Zehender Theil; Verlag Caspar Bre-  
chenmacher. Augspurg, D.
- BOGGS, Stanley H.  
1973 Salvadoran Variety of Wheeled Figu-  
rines. Contributions to Mesoamerican  
Anthropology, Publication No. 1; Insti-  
tute of Maya Studies of the Museum of  
Science. Miami, Florida.
- 2012 Mesoamerikanische Räderfigurinen -  
Figurillas con Ruedas – Wheeled Ef-  
figies. Amerindian Research; Mario  
KOCH (ed.), Band 7/3:2012 Nr.25.  
Fünfseen, D.
- BROCKHAUS, Friedrich Arnold  
1837 Bilder-Conversations-Lexicon. 4 Bände.  
Leipzig.
- BOURGAREL, Gérard  
1986 Ville de Ponts. Pro Fribourg, Nr.71, Déc.  
1986. Fribourg, CH.
- BROWNE, Lionel  
1996 Brücken; Meisterwerke der Architektur.  
Parkland Verlag. Köln.
- CICHORIUS, Conrad  
1896-1900 Die Reliefs des Zweiten Dakischen Krie-  
ges. Band I: Tafeln 1-57; Band II: Tafeln  
58-113; Georg Reimer Verlag. Berlin.
- CIEZA DE LEON, Pedro de  
2015 (1543) Chronicles of Peru. Internet Archive,  
American Libraries, Band I 1532-1550;  
e-Book Gutenberg License.
- COCKBURN, John  
1803 The Unfortunate Englishmen or a Faith-  
ful Narrative of the Distresses and Ad-  
ventures of John Cockburn and Five  
other English Mariners (1. edition:  
1735). Edinburgh.
- DAPPER, Olfert; Aroldus MONTANUS; Jan van KAM-  
PEN; Constantijn NOBEL; Pieter van  
HOORN  
1675 Gedenkwürdige Verrichtung der  
Niederländischen Ost-Indischen Ge-  
sellschaft in dem Kaiserreich Taising  
oder Sina durch Ihre zweyte Gesand-  
schaft an Kouchi, Sinischen und Ost-  
Tartarischen Kaiser, verrichtet durch  
Pieter van Hoorn. Jacob van Meurs.  
Amsterdam.
- DEUTSCHES MUSEUM MÜNCHEN  
2008 Brücken Bauen. Kultur & Technik  
03/2008. München.
- Deutsche Verlags-Anstalt  
1967 Enzyklopädie der Technikgeschichte;  
Über 7000 Jahre Frühe Technische Kul-  
tur. Deutsche Verlags-Anstalt. Stuttgart.
- DIETRICH, Richard J.  
1998 Faszination Brücken: Baukunst – Tech-  
nik – Geschichte. Callwey Verlag.  
München.
- FELDHAUS, Franz Maria  
1931 Museum der Weltgeschichte. Akade-  
mische Verlagsgesellschaft Athenaion.  
Berlin.

- FISCHER V. ERLACH, Johann Bernhard  
1721 Historia Architectura. Wien.
- FUENTES Y GUZMAN, Francisco Antonio de  
1689 Recordación Florida. Discurso Histori-  
al y Demonstración Natural, Material  
Militar y Politico del Reyno de Guate-  
mala. (Manuskript im Archiv der Stadt  
Guatemala; Copán: Kapitel 10 und 11,  
Buch 4, Vol.II). Guatemala.
- GABRIELY, Adolf v.  
1879 Constructions – Details für Schmiede-  
eiserne Brücken. Verlag von Leuschner  
& Lubensky. Graz.
- GARCILASO DE LA VEGA, der Inka  
1609 Comentarios Reales de los Incas.  
Lisboa.
- GRAF, Bernhard  
2002 Brücken; die die Welt Verbinden. Pres-  
tel Verlag. München.
- 2007 Die Schönsten Brücken der Welt. area  
Verlag (Lizenzausgabe mit gleichem  
Text, mit meist anderen Fotos bzw. Ob-  
jekten als 2002). Erfstadt, D.
- GREWE, Klaus  
2010 Meisterwerke Antiker Technik. Verlag  
Philipp von Zabern. Mainz.
- HAGEN, Victor Wolfgang von  
1945 Südamerika ruft. Büchergilde Guten-  
berg. Wien.
- 1957 Heerstraßen des Sonnengottes. Verlag  
Ullstein. Wien.
- 1962 Sonnenkönigreiche. Droemersch  
Verlagsanstalt Th. Knaur Nachf..  
–München/Zürich.
- 1976 The Royal Road of the Inca. Gordon &  
Cremonesi. London GB.
- HARRER, Heinrich  
1978 Ladakh; Götter und Menschen hinterm  
Himalaya. Pinguin-Verlag. Innsbruck.
- HILZ, Helmut  
2008 Brückenbeschreibungen aus dem  
Spätbarock. Kultur und Technik  
03/2008:20+21; Deutsches Museum.  
München.
- HOHMANN, Hasso  
1978 Die Bauwerke von Copan. Dissertation;  
Fakultät für Architektur der Technischen  
Universität Graz. Graz.
- 1984 Hängematten und Hängebrücken im  
Präkolumbischen Mesoamerika. Archiv  
für Völkerkunde 38:1-5; Museum für  
Völkerkunde (heute: Weltmuseum  
Wien). Wien.
- 1995 Die Architektur der Sepulturas-Region  
von Copán. 2 Bände; Academic Pu-  
blishers Graz. Graz.
- 2000a Bridges/Brücken. ISG-Magazin  
1/2000:2-13; Internationales Städte-  
forum Graz (editor). Graz.
- 2000b Ströberne Bruck'n. ISG-Maga-  
zin 1/2000:14 u.15; Internationales  
Städteforum Graz (editor). Graz.
- 2019 Jemen; Traumhafte Bauten, Wilde Land-  
schaften. Verlag der Technischen Uni-  
versität Graz. Graz.
- HOHMANN, Hasso und Annegrete VOGRIN  
1982 Die Architektur von Copan (Honduras).  
2 Bände; Akademische Druck- u. Ver-  
lagsanstalt. Graz.

- HORNER, Ludwig  
1839 Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft; Nachruf und Abdruck von Berichten Horner's. Daniel TREADWELL (editor) Harvard College Library 1834-1845; Band 1839:211-233; Haller'sche Buchdruckerei. Bern.
- HUMBOLDT, Alexander von  
1943 Südamerikanische Reise, Ideen über Ansichten der Natur. Kurt L. WALTERSCHOMBURG (editor), Safari-Verlag Carl Boldt. Berlin.
- 2004 Alexander von Humboldt, Ansichten der Kordilleren und Monumente der Eingeborenen Völker Amerikas. Die Andere Bibliothek, Hans Magnus ENZENSBERGER (editor); Eichborn Verlag. Frankfurt a. Main.
- HUTCHINSON, Thomas  
1799 Antiquities of Durham. Carlisle, GB.
- JUAN, Jorge y Antonio de ULLOA  
1746 Relación Histórica del Viage a la America Meridional. Vol. 1. Madrid.
- JURECKA, Charlotte  
1979 Brücken, Historische Entwicklung – Faszination der Technik. Verlag Anton Schroll & Co. Wien.
- KIRCHER, Athanasius  
1672 Monumenti Sinici, quod anno 1625. Off. Rungiana terris in ipsa. Jan Jansson & Elizeus Weyerstraet. Amsterdam.
- LEUPOLD, Jacob  
1726 Theatrum Pontificiale oder Schauplatz der Brücken und des Brückenbaues. Christoph Zunkel. Leipzig. Nachdruck 1982 Th. Schäfer Druckerei, Edition: Libri Rari. Hannover.
- LOTI, Pierre  
1904 Reise durch Persien; Abenteuerliche Berichte aus einer Fremdartigen Welt. Deutsche Buch-Gemeinschaft. Berlin.
- LUDWIG, Ferdinand, Wilfrid MIDDLETON, Friederike GALLENMÜLLER, Patrick ROGERS and Thomas SPECK  
2019 Living Bridges Using Aerial Roots of *Ficus Elastica* – An Interdisciplinary Perspective. Scientific Reports, Nature-research (2019) 9:12226. London.
- LUDWIG, Ferdinand, Ulrich MARSCH und Stefan TEUFEL  
2020 Lebende Querungen Dank Alter Bautechniken, Forschungsprojekt an der Technischen Universität München. Umriss 2/3.2020, S.74, Verlagsgruppe Wiederspahn. Wiesbaden.
- MALER, Teobert  
1903 Research in the Central Portion of the Usumatsintla Valley. Memoirs of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology, Vol. II-No. 2.; Harvard University. Cambridge, Massachusetts.
- MARTINI, Martin  
1655 Novus Atlas Sinensis. Wien.
- MAUDSLAY, Alfred Percival  
1889-1902 Biologia Centrali-Americana; Contributions to the Knowledge of the Fauna and Flora of Mexico and Central America. Vol. I (Text), Vol. I (Plates). Archaeology; F. Ducane GODMAN and Osbert SALVIN, editors. London. England.
- MEYER, Alfred Gotthold  
1907 Eisenbauten; Ihre Geschichte und Ästhetik. Verlag Paul Neff. Esslingen.

- MIDDLETON, Wilfrid, Armin HABIBI, Sanjeev SHANKAR, Ferdinand LUDWIG  
2020 Characterizing Regenerative Aspects of Living Root Bridges. *Sustainability* 2020, 12, 3267; doi:10.3390/su12083267; www.mdpi.com/journal/sustainability. Basel, Schweiz.
- MIDDLETON, Wilfrid, Q. SHU, Ferdinand LUDWIG  
2019 Photogrammetry as a Tool for Living Architecture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W17, 2019; 6th International Workshop LowCost 3D- Sensors, Algorithms, 2-3 December 2019. Strasbourg, France.
- NEUDECK, Georg  
1923 Geschichte der Technik. Walter Seifert Verlag. Stuttgart, Heilbronn, D.
- RUNNELS, Curtis, Chad Di GREGORIO, Karl W. WEGMANN, Sean F. GALLEN, Thomas F. STRASSER, Eleni PANAGOPOULOU  
2014 Lower Palaeolithic Artifacts from Plakias, Crete: Implications for Hominin Dispersals. *Journal of Eurasian Prehistory* 11 (1-2):129-152; Peabody Museum of Archaeology and Ethnology and the Institute of Archaeology at Jagiellonian University in Poland. Cambridge, Massachusetts.
- SCHNABEL, Franz  
1942 Die Brücken als Denkmal. *ATLANTIS, Länder, Völker, Reisen*. 14. Jahrgang, Heft 3, März 1942:73-88; HÜRLEMANN, Martin (editor), Atlantis-Verlag Berlin und Zürich; Bibliographisches Institut AG. Leipzig.
- SCHRAMM, Carl Christian  
1735 Historischer Schauplatz, in welchem die Merkwürdigsten Brücken aus allen vier Theilen der Welt vorgestellt und beschrieben werden. Leipzig.
- SCHULTZ, Helmut C., Werner SOBEK and Karl J. HABERMANN  
2000 Steel Construction Manual. Verlag Birkhäuser. Basel.
- SEREGÉLY, Timo  
2005 Axt & Rad en miniature, Aussergewöhnliche Zeugnisse der Jungsteinzeit vom Motzenstein bei Wattendorf (Begleitheft zur Sonderausstellung im Fränkische Schweiz-Museum Tüchersfeld. Tüchersfeld, D.
- SPRATT, Thomas Abel Brimage  
1865 Travels and Researches in Crete. 2 Vol., J. van Voorst Verlag. London.
- SQUIER, Ephraim George  
1877 Peru: Incidents and Explorations in the Land of the Incas Henry Holt and Company. New York.
- 1883 Peru: Reise- und Forschungs-Erlebnisse in dem Lande der Incas.; Spohr Verlag. Leipzig.
- STEPHENS, John L.  
1841 Incidents of Travel in Central America, Chiapas and Yucatan. 2 Bände, Nachdruck 1969. New York.
- TICHY, Herbert  
1955 Cho Oyu, Gnade der Götter. Buchgemeinschaft Donauland. Wien.
- TORRES ARCILE, Martha  
2002 Bridges, Ponts, Brücken. Atrium Internacional de México, SA de C.V.. México D.F..
- TREUE, Wilhelm  
1965 Achse, Rad und Wagen; Fünftausend Jahre Kultur- und Technikgeschichte. F. Bruckmann KG. München.
- UHR, Klaus (editor)  
1986 Die Brücken Freiburgs, Stolz unserer Vorfahren. brennpunkt region, Nr. 18

- Dez. 1986. Fribourg, CH.
- VERANTIUS, Faustus (Veranzio, Fausto)  
1694            Machinae novae. Venedig.
- VUČKOVIĆ, Dejan; Dragan MIHAJLOVIĆ and  
Gordana KAROVIĆ;  
2007            Trajan's Bridge on the Danube; The  
Current Results of Underwater Ar-  
chaeological Research. Istros Nr. 14,  
Seiten 119–130. Beograd?
- WEIHRETER, Hans  
2001            Westhimalaya, Am Rand der Bewohn-  
baren Erde. Akademische Druck- u.  
Verlagsanstalt. Graz.
- 2019            Magie vom Dach der Welt; Der Ti-  
betische Kulturkreis im Spiegel seiner  
Kunst. Verlag Janos Stekovics. Döbel  
bei Halle/Saale (D)
- WIENER, Charles  
1993            Perú y Bolivia; Relato de Viaje. (Pérou  
et Bolivie; Récit de Voyage. 1880 Li-  
brairie Hachette et C..Paris); Universi-  
dad Nacional Mayor de San Marcos.  
Lima.
- WILDER, Thornton  
2014 (1927)    Die Brücke von San Luis Rey. Arche Ver-  
lag. Zürich.
- YULE, Henry  
1844            Notes on the Khasia Hills, and People.  
Journal of the Asiatic Society of Bengal,  
Band 13, Teil 2, Heft 152, Juli-Dezember  
1844:612-631. Calcutta.
- ZUCKER, Paul  
1921            Die Brücke, Typologie und Geschich-  
te ihrer künstlerischen Gestaltung. Ernst  
Wasmuth Verlag. Berlin.



# Glossar

## Abkürzungen:

**CCO 1.0** This file is made available under the Creative Commons CCO 1.0 Universal Public Domain Dedication

**CCO 2.0** unter der Creative-Commons-Lizenz "Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.0 generisch" (US-amerikanisch) lizenziert.

**CCO 3.0** This file is licensed under the Creative Commons Attribution 3.0 Unported license.

## CC-By 3.0 AT

Creative Commons Namensnennung 3.0 Österreich  
Von Bencherlite - Eigenes Werk.

**CC BY-SA 3.0**, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8818191>

**KUB** = Kantons- und Universitätsbibliothek Fribourg in der Schweiz; Kantons- und Universitätsbibliothek Freiburg; Fonds Pro Freiburg-Bourgarel, Sammlung von Postkarten; Herausgeber dieser Postkarte: "Briquet & Fils" in Genf

**wikipedia** public-domain-wikipedia

## Anker oder Ankerblock

Ähnlich, wie auch ein Schiffsanker ein Boot mittels einer auf Zug beanspruchten Kette oder Schnur in Position hält, müssen auch echte Hängebrücken auf beiden Seiten über gewöhnlich je zwei oder auch mehr Anker verfügen, die die erheblichen Zugkräfte auf die seitliche Umgebung abgeben können. In vielen Fällen hat man früher einen hoch aufgetürmten aus losen Steinen gebildeten Mauerblock errichtet, in den unten von den Steinen beschwerte Balken quer integriert wurden, an denen die Tragseile angebunden werden konnten. In anderen Fällen finden sich beidseitig der Brücke rechts und links des Brückenzuganges parallel zur Brückenachse gestellte Mauern, die auf der Brückenseite über ein Portal verfügen, über das die Seile gespannt wurden, um dahinter am äußeren unteren Ende der zwei Mauern die Tragseile je Seite zu befestigen.

Später wurden und werden die tragenden oft stark durchhängenden Tragseile einer Hängebrücke über einen höheren Portalrahmen gespannt und dann beidseitig seitlich zum Boden geführt, um dort sicher im Boden verankert zu werden. In wieder anderen Fällen kaschieren zwei längliche Bauten mit Durchfahrt an den

zwei Enden der Hängebrücke die Abspannungen der Tragseile. In solchen Fällen handelt es sich um keinen echten Ankerblock. Heute müssen die Tragseile bei großen Spannweiten sehr tief im Boden, möglichst in Felsuntergrund verankert werden.

## Aquaedukt

Aquaedukte wurden schon sehr früh in der Menschheitsgeschichte angelegt, um Wasser von Quellen zu fruchtbaren, aber zu trockenen landwirtschaftlich genutzten Flächen und auch um Trinkwasser in Siedlungszentren mit zu wenig brauchbarem Grundwasser zu leiten. Schon 2000 v.Chr., vielleicht auch noch früher, erfanden die Bewohner der Oasen im Iran die Kanäle, die in China Kares, in Marokko Foggaras genannt werden. Dabei handelt sich meist um unterirdische zu Sanierungszwecken begehbare bergmännisch im Untergrund gegrabene oder aus dem Felsen gemeißelte Wasserleitungsstollen, die das Wasser von den Randgebirgen der großen Wüsten in die Oasen leiteten.

Aquaedukt ist ein lateinisches Wort, das Wasserleitung meint. Die Römer bauten auch zahlreiche Wasserleitungen auf oft sehr langen über Land geführten Brückenbauwerken. Hier deckten sie ihre Wasserleitungen gegen Verdunstung und Verunreinigungen in den aufgeständerten und auch direkt an der Erdoberfläche geführten Streckenabschnitten mit Steinplatten ab. Verließ die Leitung nahe der Erdoberfläche, überdeckte man sie noch mit Erdreich, damit das Wasser möglichst kühl und sauber blieb. Manche dieser Wasserleitungen waren erstaunlich lang.

Der längste Kanat, das längste Aquädukt der Antike war vielleicht das von Gadara aus dem 1. und 2. Jh.n.Chr. in Jordanien mit einer Länge von etwa 155 km, von denen 106 km durch den harten Fels in bis zu 70 m Tiefe gemeißelt werden mussten. Dafür brauchten die Arbeiter über hundert Jahre. In topographisch bewegten Gebieten müssen solche Aquaedukte auch Täler queren oder es müssen bei etwas erhöht gelegenen Zielorten weite Strecken der Leitung aufgeständert mit riesigen kilometerlangen Brückenbauwerken über das Land geführt werden. Da es im Altertum noch keine stark belastbaren Druckrohre gab, wurden nur selten Täler mit bandagierten Druckrohren gequert, da diese Abschnitte meist mit einem erhöhten Wasserverlust verbunden

waren. Grundsätzlich hatten die Leitungen möglichst ein gleichmäßiges und geringes Gefälle. Bei größeren Höhenunterschieden wurden eigene Absturzbauwerke eingebaut.

### **Armierung**

Beton hat eine sehr hohe Druckaufnahmefähigkeit, jedoch eine relativ geringe Zugaufnahmefähigkeit. Schon die Römer kamen zumindest in einem bekannten Fall auf dem Magdalensberg in Kärnten in Österreich auf die Idee, eine Betonplatte an ihrer Unterseite mit flachen Bandeisen gegen Bruch zu sichern. Durch die Bandeisen wurden zu hohe, an der Unterseite der Platte auftretende Zugkräfte aufgenommen. Heute verwendet man Stahleinlagen im Beton dort, wo Zugkräfte auftreten können. Diese Eisen- oder Stahleinlagen nennt man Armierung. Da Beton und Stahl ein etwa gleiches Ausdehnungsverhalten bei Erwärmung zeigen, funktioniert die Kombination der zwei Materialien gut.

### **Auflager**

Die Auflager bei Brücken nehmen im Wesentlichen die vertikalen Druckkräfte auf. Damit sich eine Brücke bei Hitze im Sommer horizontal ausdehnen kann, gibt es gewöhnlich ein fixes Lager und ein Gleitlager/Kipp-lager, das horizontal einige Millimeter bis Zentimeter seitlich nachgeben kann.

### **Ausleger**

Bei Auslegerbrücken (Firth of Forth Bridge) gibt es seitwärts weit über das Auflager vorkragende Brückenelemente, bei denen oben dominant Zug- und unten Druckkräfte auftreten. Auch alle Krag- bzw. Scheingewölbe aus Stein oder aus Holz kann man in diesem Sinne als Auslegerbrücken ansehen und so bezeichnen.

### **Bajareque**

Bajareque ist eine Art von Riegelwandkonstruktion mit horizontalen Querstäben innen und außen, bei der alle Holzverbindungen früher mit Lianen hergestellt wurden; heute wird genagelt. Besonders dort, wo es zumindest phasenweise starke Regenfälle gibt, wird eine solche Wand auf einen niedrigen gemauerten Sockel gestellt, damit das Holz nicht fault und der Lehm nicht weich wird.

Der Zwischenraum zwischen den Querstäben wird mit Lehm ausgefüllt. Danach wird gewöhnlich alles samt

Steinsockel mit einem Lehmverputz überzogen, so dass man am Ende eine homogene Lehmwand vor sich zu haben glaubt. Solche Bajareque-Wände haben sich besonders in Erdbebengebieten sehr bewährt und wurden wohl in ganz Amerika gebaut – in Meso- und Südamerika bis ins 21. Jh..

### **Balkenbrücke**

Balkenbrücken sind sehr einfache Brückenkonstruktionen, die aus einem homogenen Material bestehen, das über ein Hindernis gelegt wird. Das Material kann beispielsweise Naturstein, Holz, Beton oder Eisen sein. Besonders beim Material Stein sind die Spannweiten extrem eingeschränkt. Die mit dem gewählten Material überspannte Distanz muss so gewählt werden, dass die statisch auftretenden Zugbelastungen an der Unterseite des Materials aufgenommen werden können, ohne dass es zum Bruch kommt. Die nötigen statischen Sicherheiten müssen bei der vorausgehenden Berechnung berücksichtigt werden.

### **Bogenbrücken**

Grundsätzlich geht es um Konstruktionen, bei denen im Wesentlichen Druckkräfte von einem Brückenauf-lager zum anderen geleitet werden und in der Mitte annähernd horizontaler Druck entsteht. Auch aus Holz kann die einfachste Art eines "Bogens" aus zwei Holzbalken, die gegeneinander gelehnt werden, bestehen. Sie können beispielsweise über einen Bach hinweg gegeneinander gestellt sein. Bei einem aus Steinen oder Ziegeln konstruierten Bogen kommt meist das Prinzip des Schlusssteinbogens zur Wirkung. Weil jeder Stein der Gravitation folgend zuerst stürzen will, stürzt keiner und alle halten sich gegenseitig. Ein Brückenbogen kann aber auch aus einem Stahlfachwerkbogen bestehen, wie bei den zwei großen Brücken aus dem 19. Jh. in Porto in Portugal. Ein Brückenbogen muss nicht immer einen Halbkreis beschreiben, wie bei der Iron Bridge. Es kann sich auch um einen flach gespannten Segmentbogen, wie bei der Rialto-Brücke in Venedig handeln. An einem hoch aufragenden Bogen aus Eisen kann auch eine Brücke angehängt oder auf diesen auf-geständert sein.

### **Fachwerk**

Um Material einzusparen oder um einen Bauteil filigraner erscheinen zu lassen, kann man einen liegenden, mächtigen Doppel-T-Träger, bei dem unten Zug- und

oben Druckkräfte wirken, in ein Fachwerk zerlegen. Bei diesem verbleibt dann oben ein T-förmiges Profil und unten ein umgekehrtes T-förmiges Profil vom ursprünglichen Träger. Dazwischen werden vertikale Abstandhalter und zusätzlich zur Aufnahme von Druck- bzw. Zugkräften symmetrisch zur vertikalen Symmetrieachse des Trägers Diagonalstäbe in die entstehenden Felder eingeschweißt. Wenn die Diagonalstäbe zum unteren Mittelpunkt des Trägers weisen, nehmen sie Zugkräfte auf; steigen die Diagonalstäbe zur Mitte hin jeweils an, so übernehmen sie Druckkräfte. In sehr vielen Fällen werden bei den Fachwerkträgern Kreuzverstreben eingeschweißt, eingenetet oder eingeschraubt, die dann beides aufnehmen.

### **Hängebrücke**

Hängebrücken können sehr unterschiedlich konstruiert sein. Der älteste Typus brauchte noch sehr dicke Tawe mit einem relativ hohen Eigengewicht und einer recht geringen Tragfähigkeit und Lebensdauer. Daher konnte man noch nicht zwischen tragenden Tauen und abgehängtem Brückendeck trennen. Die Handlauftaue und die Laufflächentaue dieser Brücken verliefen daher noch parallel durchhängend zueinander.

Bei den Hängebrücken mit stark durchhängenden Tragkabeln und angehängter, horizontaler Nutzebene gibt es "echte Hängebrücken", bei denen auf beiden Seiten an den Brückenenden die Zugkräfte mit den Tragkabeln in den Boden geleitet werden, und "falsche bzw. unechte Hängebrücken", bei denen der Zug der Seile an den Brückenenden an die entsprechend konstruierte Fahrbahnplatte abgegeben wird, so dass hierdurch zum Teil erhebliche horizontale Druckkräfte auf die Fahrbahn wirken.

### **Hängefachwerk**

Das einfachste Hängefachwerk besteht aus einem horizontalen Holzbalken, auf dem zwei an dessen Enden bei ausreichend "Vorholz" verankerte Strebebalken stehen, die über der Mitte des liegenden Balkens miteinander verbunden sind. Von dieser Verbindung hängt ein auf Zug beanspruchter vierter Balken, der auch Pfosten genannt werden kann, der unten mit der Mitte des langen horizontalen Balkens verbunden ist.

Dieser horizontale Balken würde gewöhnlich frei über eine größere Distanz gespannt durchhängen. Daher

wird er nun aber an die Konstruktion oberhalb angehängt. Zwei solche Hängefachwerke nebeneinander können bereits eine kurze Brücke zwischen sich tragen. Dies ist zugleich auch die einfachste Form eines sogenannten Sprengwerks. Solche Sprengwerke wurden viel bei Brücken, aber auch in weitgespannten Dachstühlen verwendet.

### **Hänger**

Die vertikalen dünnen Stahlseile, die von den tragenden Stahlkabeln einer Hängebrücke senkrecht nach unten hängen und an denen die Nutzfläche der Brücke hängt, werden auch als Hänger bezeichnet.

### **Holländerklappbrücke**

Überall, wo Segelschiffe mit meterhohen Masten eine niedrige Straßenbrücke kreuzen, gibt es Probleme mit der lichten Höhe unter der Brücke und den hohen Masten der Segelboote. Daher hat man bereits früh Klappbrücken mit Gegengewichten erfunden, die von nur einer Person mit nur geringem Kraftaufwand geöffnet werden können.

Seit wann es diese Klappbrücken gibt, ist eher schwer zu ermitteln. Vielfach werden sie in der Literatur als Holländerklappbrücken bezeichnet. Dass solche Brücken nicht nur in den Niederlanden zu finden waren und sind, ist an Hand der weltberühmten Gemälde von Vincent van Gogh "Zugbrücke in Arles" leicht zu belegen. Die Zugbrücke malte van Gogh mehrfach und sie stimmt in allen Details mit denen in Norddeutschland, in Belgien und auch in den Niederlanden überein. Anfang des 19. Jh. gab es sie jedenfalls noch weit verbreitet.

### **Kabel**

Die haupttragenden, oft aus vielen Stahldrähten bestehenden Seile einer modernen Hängebrücke werden oft nur als "Kabel" bezeichnet. Sie sind über die hohen Portale oder Pylone einer Hängebrücke gespannt. Von ihnen gehen dann die vertikalen Hänger, deutlich dünnere Stahlseile, nach unten ab, welche das Brückendeck, die Fahrbahn etc. tragen.

### **Kastenträger**

Bei Stahlträgern von kurzen Brücken, aber auch bei Stahlbogenbrücken werden mitunter Kastenprofile eingesetzt (siehe: Murbrücke bei Knittelfeld). Hierbei wird

ein Hohlträger verwendet, der einen quadratischen oder rechteckigen, kastenförmigen Querschnitt hat. Kastenträger werden und wurden aber auch im Stahlbetonbau und auch im Holzbau verwendet.

### **Kragbalkenbrücken**

Dort, wo bei kürzeren Distanzen keine Hängebrücken im Himalaya, im Pamir Gebiet und auch in den angrenzenden Regionen zum Einsatz kommen, wurden vor allem in der Vergangenheit die etwas langlebigeren Holzbrücken verwendet, bei denen das konstruktive Prinzip von Kragkonstruktionen eingesetzt wurde. Da die verfügbaren Steine für ein Scheingewölbe (s.u.) nicht geeignet sind und die benötigten Spannweiten meist auch viel zu groß sind, um mit einem echten Schlusssteingewölbe überspannt zu werden, verwendete man im Trockenmauerwerk der seitlichen Brückenwiderlager eingespannte Holzbalken zur Unterstützung hölzerner Brücken. Ein lang erprobtes System von auf beiden Seiten vorkragenden Balken ermöglichte diesen hölzernen Brücken zum Teil erstaunliche Spannweiten. Die aus Bruchsteinen und Balken bestehenden Brücken werden Kragbalkenbrücken genannt.

### **Pylon**

Die hohen Türme von Hängebrücken, meist Portaltürme, über welche die Stahlkabel gespannt werden oder von denen bei Schrägseilbrücken die Seile zur Nutzfläche der Brücke gespannt sind, nennt man Pylone. Bei niedrigen Hängebrücken sind diese mitunter auch in jeweils zwei Türme rechts und links der Nutzfläche oder in längs aufgestellte Mauerstreifen getrennt. Mitunter wird auch von Brückenportalen gesprochen, wenn die Fahrbahn durch das Zentrum eines Pylons verläuft und die Portale nicht sehr hoch sind. Handelt es sich um sehr hohe Türme, so nennt man sie in der Regel Pylone.

### **Momentenbelastung**

In der Statik spricht man von Biegemomenten in der Balkentheorie.

### **Scheingewölbe**

Scheingewölbe werden auch Vorkraggewölbe oder falsche Gewölbe genannt. Es ist eine sehr archaische Art, Räume nach oben mit Steinmaterial zu schließen bzw. Brücken über einer Schlucht zu konstruieren. Man lässt in beiden Fällen zur Überbrückung einer Distanz Steinplatten horizontal auf beiden Seiten des zu

überbrückenden Raumes vor eine tragfähige Mauerkante vortreten. Den gleichen Vorgang wiederholt man mit weiteren Platten in einer nächsten Schicht oberhalb. Dabei legt man ähnlich starke Steinplatten als Gegengewichte auch auf die hinteren Partien der ersten Serie Kragplatte. Es darf zu keinem Vorkippen der vorkragenden Steinplatten kommen!

Dieses Verfahren der Annäherung der beiden gegenüberliegenden Seiten führt man so lang fort, bis die Distanz so weit verkürzt ist, dass man die Restdistanz mit einer letzten Serie aufgelegter Platte überbrücken kann. Bei jedem Schritt muss geprüft werden, wieviel Druck die Forderkanten der letzten Kragsteine noch übertragen, damit es nicht durch den folgenden Schritt zu einem Vorkippen der Kragkonstruktion kommen kann. Ausreichende Gegengewichte können das garantieren.

### **Schlusssteingewölbe**

Schlusssteingewölbe werden auch echte Gewölbe genannt. Meist bestehen sie aus keilförmigen, konzentrisch angeordneten Steinen; da jeder von ihnen zuerst fallen will, halten sie sich alle gegenseitig. Um in Erdbebengebieten das Herausrutschen einzelner Steine bei starken Erdstößen zu verhindern, werden in solchen Zonen gerne Hakensteine verwendet. Hakensteine sind Gewölbesteine, bei denen die Kontaktflächen zwischen den Steinelementen profiliert werden. In der Islamischen Baukunst wurde daraus eine eigene Kunstform bei Bögen über Eingängen. Im Gegensatz zu den Scheingewölben treten bei echten Schlusssteingewölben horizontale Druckkräfte in der Scheitelzone auf, die über die Auflager am Gewölbefuß abgetragen werden müssen. Es entsteht also etwas Zug im Boden eines überwölbten Raumes und Druck außerhalb davon.

### **Schrägseilbrücken**

Wird eine Brücke von einem hohen meist vertikalen Träger in gleichmäßigen vertikalen Abständen in beiden Richtungen von parallel gespannten Seilen getragen spricht man auch von einer Harfenabspannung. Diese Art der Abspannung findet sich oft bei langen Brücken mit mehreren Stützen.

Bei allgemeinen Schrägseilbrücken wird die Fahrbahn durch Seile getragen, deren Winkel zur Fahrbahn unterschiedlich geneigt ist. Das führt dazu, dass die vertikale Komponente bei flacher gespannten Seilen immer geringer wird. Bei der Millau Brücke wurde das Problem

wohl durch etwas dickere, tragfähigere Stahlseile gelöst. In anderen Fällen hat man in der Mittelpartie zwischen zwei Stützen die Seile von beiden Seiten sich überlagern lassen.

Grundsätzlich wirken durch diese Art der Abspannung horizontale Druckkräfte auf die Unterkonstruktion der Fahrbahn. Es handelt sich quasi um "falsche Hängebrücken", da die entstehenden Zugspannungen nicht nach außen abgegeben werden.

### **Schwingbrücke**

Eine Schwingbrücke ist nicht an ihren Enden auf Brückenlagern fix aufgelagert, sondern lastet auf ihrem Schwerpunkt, der zugleich der Drehpunkt der Brücke ist, um den sie "schwingt". Um diesen Drehpunkt kann eine solche Brücke gedreht werden. Sie wird bevorzugt auf breiten Mauern zwischen zwei Schifffahrtrinnen eingesetzt, wo sie den Straßenverkehr auf niedrigem Niveau queren lassen kann und nach einer 90°-Drehung Schiffen, auch solchen mit hohen Aufbauten, durch die zwei angrenzenden Fahrtrinnen in beiden Richtungen die Durchfahrt ermöglicht (siehe: Newcastle, swing bridge).

### **Segmentbogen**

Wenn Brücken an ihrer höchsten Stelle nicht sehr hoch werden müssen, da es für Boote mit hohen Aufbauten Ausweichmöglichkeiten gibt, will man den Fußgängern keine unnötig großen Höhenunterschiede bei Brücken bereiten. Dann verwendet man keine Rundbogenform, sondern eine Segmentbogenform; man schneidet vom Kreis nur ein flaches Segment quasi ab – einen Segmentbogen.

### **Spannweite**

Als Spannweite einer Brücke wird in dieser Arbeit grundsätzlich die überbrückte freie, lichte, horizontale Distanz zwischen den zwei zugehörigen Brückenstützen bezeichnet.

### **Spriegelwerk**

Siehe auch Hängefachwerk. Sogenannte Spriegelwerke werden bei Brücken oder auch bei traditionellen hohen, weit gespannten Dachstühlen verwendet. Es gibt dann auch wesentlich komplexere Spriegelwerke – siehe Beispiel Blosbrücke in Osttirol!

### **Taue**

Bei den traditionellen Hängebrücken alter Knüpfart muss man zwischen drei oder sogar vier unterschiedlichen Kategorien von Zugelementen unterscheiden (siehe Q'eswachaca Brücke über den Apurimac). Es gibt die einfachen Schnüre, die zwischen den Handlaufftauen und den Laufflächentauen am Rand als Seitenschutz gespannt werden. Es gibt die aus diesen Schnüren durch die Seilerei produzierten Kordeln und im nächsten Schritt daraus hergestellten Kabel und dann aus mehreren Kabeln durch Drehen produzierte Taue. Mitunter werden von der untersten Kategorie eines im Zentrum und sechs rundherum angeordnet verarbeitet. Das analoge Verfahren wird im nächsten und übernächsten Schritt angewendet. In anderen Fällen werden auch mehr als sieben für einen Schritt eingesetzt. Beim letzten Schritt zum Tau hingegen werden auch mitunter weniger Kabel miteinander je nach Bedarf an Zugfähigkeit verarbeitet. So wurden beispielsweise 2002 für die Handlaufftaue bei der Q'eswachaca Brücke über den Río Apurimac in Peru nur zwei Kabel, für die Laufflächentau drei Kabel miteinander verarbeitet.

### **Transennen**

Als Transennen werden Gitter bezeichnet, die dadurch entstehen, dass Steinplatten, wie beispielsweise Marmorplatten, steinmetzmäßig durchbrochen werden oder dass aus harten Holztafeln oder aus gegossenen und ausgehärteten Stuckplatten mit Schnitzmessern Gitteröffnungen herausgeschnitten werden. Transennen können aber auch aus in eine Gitterform gegossenem Material bestehen. So gibt es auch Transennen, die aus gegossenem Stuck oder Gusseisen bestehen.

In vielen anderen Fällen handelt es sich bei Transennen um aus ungebrannten oder gebrannten Ziegeln oder aus Natursteinen mit Mörtel zusammengesetzte, gemauerte Gitter in Maueröffnungen oder im Mauerwerksverband mitgemauerte Gitter. Gewöhnlich übernehmen die Gitter eine Lüftungsfunktion. In vielen anderen Fällen sind Transennen aber auch ein Ein- oder Ausbruchschutz oder sie verringern die Einstrahlung des Sonnenlichtes.

### **Vorholz**

Wenn bei einer Holzverbindung am Ende eines Balkens längs der Faser Scherkräfte Richtung Ende auftreten, besteht die Gefahr des Abscherens. Das kann

man durch entsprechendes Zurückweichen mit der benötigten Holzverbindung vermeiden. Kennt man die Scherkraftaufnahmefähigkeit eines bestimmten Holzes, so kann man berechnen, um wieviel Zentimeter man zurückweichen muss, damit es nicht zur Abscherung kommt. Der Wich, das Maß des Zurückweichens gegenüber dem Ende eines Holzbalkens, wird Vorholz genannt.

# Liste der Brücken nach Orten geordnet

Ortsnamen in alphabetischer Reihenfolge, Brückenbezeichnungen fett

Amsterdam, Niederlande; <b>Magere Brug</b> .....	182
Apurimac Provinz, Peru; <b>Brücke von San Luis Rey</b> .....	39
Apurimac Provinz, Peru; <b>Río Pachachaca Brücke</b> .....	35
Arches National Park, USA; <b>Great Arch</b> .....	12
Arches National Park, USA; <b>Landscape Arch</b> .....	12
Arches National Park, USA; <b>Turret Arch</b> .....	13
Avignon, Frankreich; <b>Pont Saint-Bénézet</b> .....	230
Avila, Spanien; <b>Adaja Brücke</b> .....	213
Bagni di Lucca, Italien; <b>Ponte della Maddalena / del Diavolo</b> .....	228
Budapest, Ungarn; <b>Széchenyi-Kettenbrücke</b> .....	116
Cho Oyu Berg Nähe, Nepal; <b>Kettenbrückensteg</b> .....	101
Clermont Ferrand, Frankreich; <b>Millau Brücke</b> .....	138
Combapata Nähe, Peru; <b>Q'eshwachaka Brücke</b> .....	44
Copan Ruinas, Honduras; <b>Sepulturas Brücke</b> .....	54
Copan Ruinas, Honduras; <b>Quebrada Sesesmil Brücke</b> .....	61
Drobeta Turnu Severin, <b>Rumänien</b> ; <b>Trajans-Brücke</b> .....	187
Edelschrott, Steiermark, Österreich; <b>Ströberne Bruck'n</b> .....	196
Edinburgh, Schottland, <b>Firth of Forth Bridge</b> .....	153
Eleutherna, Kreta, Griechenland, <b>Kragsteinbrücke</b> .....	144
Florenz, Italien; <b>Ponte Vecchio</b> .....	229
Freiburg, Schweiz; <b>Galtern Hängebrücke</b> .....	114
Freiburg, Schweiz; <b>Große Hängebrücke</b> .....	112
Frohnleiten, Steiermark, Österreich; <b>Mursteg</b> .....	119
Graz, Österreich; <b>Erich-Edegger-Steg</b> .....	165
Graz, Österreich; <b>Augarten-Steg</b> .....	166
Hamburg, Deutschland; <b>Neue Elbbrücke</b> .....	171
Harlem, Niederlande; <b>Gravestenen Brug</b> .....	183
Hindokusch-Gebiet, Ost-Afghanistan; <b>Zweifache</b> .....	148
Hindokusch-Gebiet, Ost-Afghanistan; <b>Dreifache Kragbalkenbrücke</b> .....	149
Hopfgarten, Osttirol, Österreich; <b>Blos-Brücke</b> .....	202
Inverness, Schottland; <b>Greig-Street Bridge</b> .....	118
Irian Jaya, West-Papua-Neuguinea; <b>Baliem Hängebrücke</b> .....	80
Ironbridge-Gorge, Shropshire, England; <b>Iron Bridge</b> .....	253
Isfahan, Iran, <b>Allahverdi-Khan Brücke</b> .....	241
Isfahan, Iran, <b>Pol-e Chadschu Brücke</b> .....	246
Iwakuni, Japan; <b>Kintai-Kyō Brücke</b> .....	192
Khaifeng, China; <b>Holzsegmentbogenbrücke</b> .....	190
Kintany, China; <b>Han-zeitliche Kettenbrücke</b> .....	103
Knittelfeld, Obersteiermark, Österreich; <b>Göberritzer Murbrücke</b> .....	263
Kopenhagen, Dänemark; <b>Öresund-Brücke</b> .....	134
Kunming, China; <b>Rundbogenbrücken</b> .....	223
Lhasa Nähe, Tibet; <b>Chushul Chagsam Kettenbrücke</b> .....	105
London, England; <b>Alte London Bridge</b> .....	224
London, England; <b>Tower Bridge</b> .....	177
Luzern, Schweiz; <b>Kapellbrücke</b> .....	163

Maribor, Slowenien; <b>Stari Most</b> .....	267
Menai, Anglesey, Wales, England; <b>Menai Bridge</b> .....	110
Mérida, Badajoz, Spanien; <b>Puente Lusitania</b> .....	270
Mostar, Bosnien-Herzegowina; <b>Stari Most</b> .....	233
Nawnhkio, Myanmar; <b>Gohteik-Eisenbahnbrücke</b> .....	175
Newcastle, England; <b>High Level Bridge</b> .....	257
Newcastle, England; <b>Millennium Bridge</b> .....	272
Newcastle, England; <b>Swing Bridge</b> .....	151
Newcastle, England; <b>Tyne Bridge</b> .....	269
New York City, USA; <b>Brooklyn Bridge</b> .....	123
New York City, USA; <b>George Washington Bridge</b> .....	127
Nîmes, Frankreich; <b>Pont du Gard</b> .....	209
Nonghareh, Meghalaya, Indien; <b>Lebende Brücke</b> .....	84
Nongriat, Meghalaya, Indien; <b>Lebende Brücke</b> .....	84
Nyborg, Dänemark; <b>Großer-Belt-Brücke</b> .....	132
Okawachiyama, Japan; <b>Porzellanbrücke</b> .....	161
Ollantaytambo, Peru; <b>Urubamba-Brücke</b> .....	36
Orkneys, Main Island, Schottland; <b>Steinbalkenbrücke</b> .....	76
Palenque, Mexiko; <b>Otolum Brücke</b> .....	82
Patheingyi, Myanmar; <b>Reispflanzerbrücke</b> .....	217
Penipe, Ecuador; <b>Río Chamo Brücke</b> .....	31
Porto, Portugal; <b>Ponte de Dom Luis I</b> .....	261
Porto, Portugal; <b>Ponte Maria Pia</b> .....	260
Rendsburg, Deutschland; <b>Nord-Ostsee-Kanal-Brücke</b> .....	150
Rom, Italien; <b>Ponte Rotto</b> .....	207
Saint Louis, USA; <b>Eads Bridge</b> .....	259
San Francisco, USA; <b>Golden Gate Bridge</b> .....	129
Segovia, Spanien; <b>Aquaedukt</b> .....	215
Shahara, Nordjemen; <b>Wehrbrücke</b> .....	249
Shaor, Himachal Pradesh, Indien; <b>Chanab Brücke</b> .....	71
Tantamayo, Huánuco; <b>Susupillo Brücke</b> .....	146
Teheran, Iran; <b>Tabiat Brücke</b> .....	158
Tierradentro, Kolumbien; <b>Bambus Brücke</b> .....	167
Tokushima, Shikoku, Japan; <b>Kazurabashi Brücke</b> .....	99
Torcello bei Venedig, Italien; <b>Teufelsbrücke</b> .....	232
Vallon-Pont-d'Arc, Frankreich; <b>Pont d'Arc</b> , Ardèche .....	13
Varanasi, Indien; <b>Malviya Brücke</b> .....	174
Venedig, Italien; <b>Ponte Rialto</b> .....	235
Venedig, Italien; <b>Seufzerbrücke</b> .....	245
Wien, Österreich; <b>Donaustadt-Brücke</b> .....	122
Wien, Österreich; <b>Zollamtssteg</b> .....	262
Woodward, Zentral-Iowa, USA; <b>High Trestle Trail Bridge</b> .....	170
Wuppertal, Deutschland; <b>Schwebebahn</b> .....	265
Yangshou, China; <b>Moonhill Natural Bridge</b> .....	14
Yaxchilan, Chiapas; <b>Usumacinta Maya Brücke</b> .....	20
Zaskar-Tal, Ladakh, Indien; <b>Tsarap-Fluss Brücke</b> .....	76
Zentral-Kamerun, Kamerun; <b>Mabe-Brücke</b> .....	82
Zhaozhou, China; <b>Anji-Brücke</b> .....	217

# Dank des Autors

Folgende Personen haben durch Ideen, Hinweise und durch Bereitstellen von Fotos diese Arbeit über Brücken unterstützt, wofür ich mich an dieser Stelle sehr herzlich bedanken möchte:

Wolfgang **Buchner**, Graz, Austria  
Johanna Franziska **Bulin-Inegbu**, Graz, Austria  
Adele **Drexler**, Trofaiach-Edling, Austria  
Werner **Frank**, Graz, Austria  
Sylvie **Genoud Jungo**, Freiburg, Schweiz  
Bernhard **Hohmann**, Graz, Austria  
Radka **Hohmann**, Graz, Austria  
Erwin **König**, Graz, Austria  
Robert **Kostka**, Graz, Austria  
Estella **Krejci-Weiss**, Wien, Austria  
Walter **Kuschel**, Graz, Austria  
Walter **Loske**, Seiersberg bei Graz, Austria  
Ferdinand **Ludwig**, München, Deutschland  
Anton **Mauer**, Wien, Austria  
Karl Herbert **Mayer**, Graz, Austria  
Wilfrid **Middleton**, München, Deutschland  
Josef **Pojer**, Wildon, Austria  
Gabriele **Röder**, Wien, Austria  
Hans **Roth**, Graz, Austria  
Andreas **Scheucher**, St. Stefan ob Stainz, Austria  
Ingrid **Schmiederer**, Wien, Austria  
Ferdinand **Skledar**, Graz, Austria  
Karl-Heinz **Strauss**, Wien, Austria  
Hans **Weihreter**, Augsburg, Deutschland  
Ludmila **Wolf**, Nürnberg, Deutschland

Es ist mir ein besonderes Anliegen, Andreas Scheucher für etliche hochauflösende Fotos zu danken, die er für diese Arbeit aus seinem Archiv zutage förderte und zur Verfügung stellte. Zu besonderem Dank habe ich mich auch Ferdinand Ludwig und Wilfrid Middleton aus München verpflichtet, die mir ebenfalls großzügig zwei Serien von Fotos von lebenden Brücken aus Nordostindien zur Verfügung stellten und einige wichtige Informationen und Korrekturen in den Text zu den lebenden Brücken einbrachten. Auch meinem Sohn Bernhard möchte ich für mehrere Fotos und für seine Hilfe beim Auffinden von Fotos im Internet und deren entsprechende Zitierung danken. Fotos haben aber

auch seine Frau Radka und deren Freundin Johanna Franziska Bulin-Inegbu aus dem Iran beigesteuert. Die frühen Fotos einer Brücke aus vergänglichem Material aus dem Westhimalaya von Hans Wehreter sind eine echte Bereicherung dieser Arbeit. Dank gebührt auch der Kantons- und Universitätsbibliothek Fribourg für die Zurverfügungstellung zweier Fotos für diese Arbeit. Herzlich danken möchte ich auch Karin Pinnitsch-Semmler, Adele Drexler und Karl Herbert Mayer für die Durchsicht der Arbeit.

# Der Autor

Hasso HOHMANN, geb. 1943 in Ettlingen in Deutschland, Studium der Architektur und Ethnologie, 1973-1976 Univ.-Assistent an der Technischen Universität Graz, 1977-2009 Ortsbildsachverständiger in der Steiermark, 1978-2009 Geschäftsführer des "Internationalen Städteforum Graz" (ISG), 1979-1999 Mitglied der Grazer Altstadtsachverständigen-Kommission, 1993-1997 Lehrauftrag an der KF-Universität Graz, 1997 an der TU Graz habilitiert und seitdem Lehrbeauftragter am "Institut für Entwerfen im Bestand und Denkmalpflege" der TU Graz zu außer-europäischen Baukulturen, 1998 Gastprofessor an der Architekturfakultät der "Universidad Nacional Autónoma de México", mehrere Buchpublikationen über Volksbaukunst im Alpen-Adria-Raum und im mediterranen Raum, 7 Bände über Maya-Architektur; Forschungen und zahlreiche Publikationen zu Themen der altamerikanischen, islamischen und europäischen Baukunstgeschichte.



**Abb.: 223**

**Foto: Nora Kohmaier, Graz 2018**

