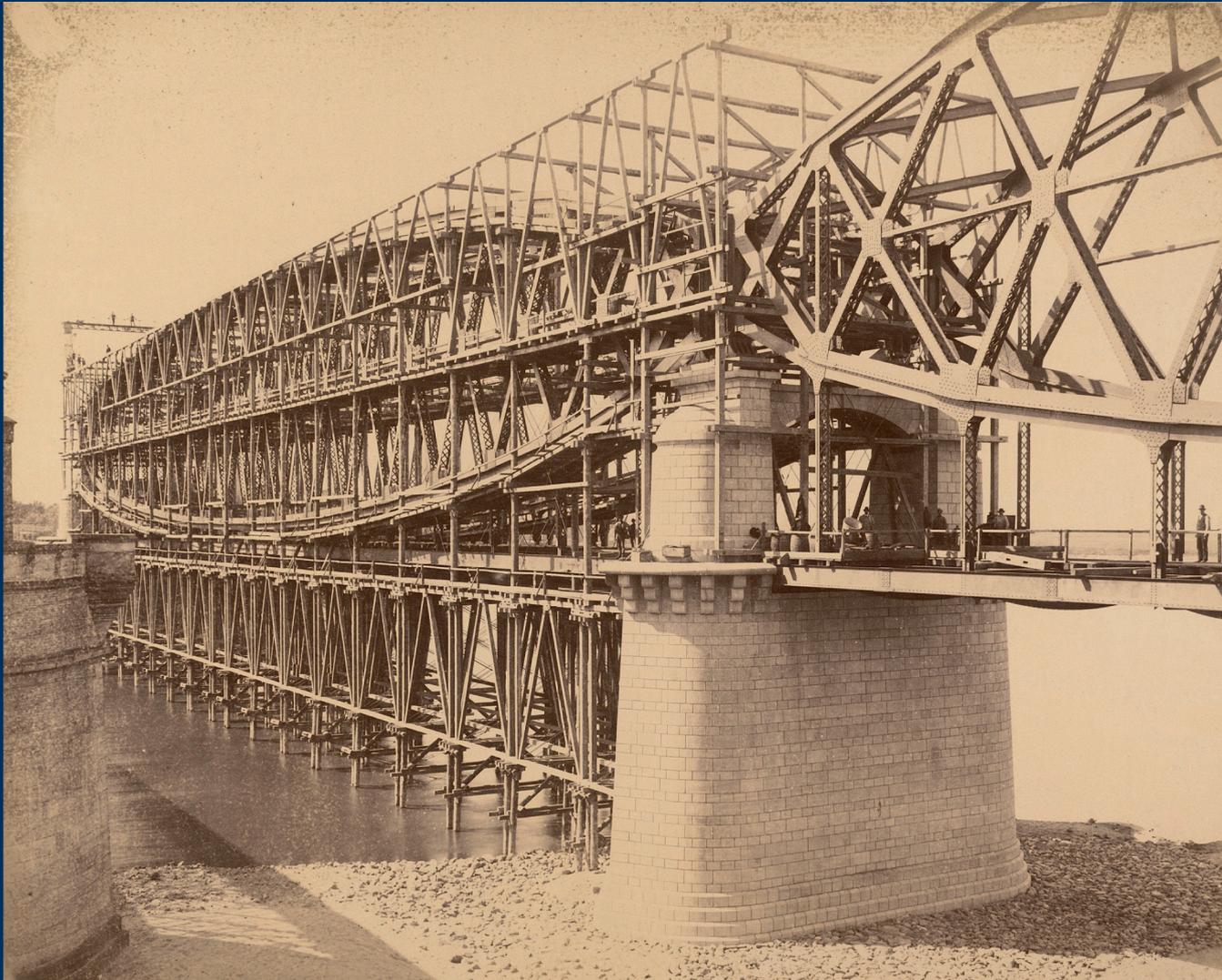




**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.dbbs.tu-dresden.de



27. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

**PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN**

13./14. MÄRZ 2017

© 2017 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen.

Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer, Angela Heller

Layout: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Neue Weichselbrücke, Dirschau – Ansicht vor Fertigstellung 1891
Foto: Ferdinand Schwarz, Architekturmuseum der TU Berlin, Inv. Nr. BZ-F 14,025

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-510-0



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband

27. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens e.V.
TUDIAS GmbH

13. und 14. März 2017

Inhalt

Herzlich willkommen zum 27. Dresdner Brückenbausymposium	9
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	
Verleihung der Wackerbarth-Medaille	11
<i>Prof. Dr.-Ing. Hubertus Milke</i>	
Laudatio	12
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Zu aktuellen Entwicklungen im Stahl- und Stahlverbundbrückenbau	
– Fokus: Korrosionsschutz	15
<i>TRDir Dr.-Ing. Gero Marzahn</i>	
Brücken in Lateinamerika – Technik und Geschichte	25
<i>Dr. Dirk Bühler</i>	
Das alte und das neue Ottendorfer Viadukt	43
<i>Prof. Dr.-Ing. Thomas Bösche, Dipl.-Ing. Elke Hering, Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Jens Otto Dr.-Ing. Stephan Teich</i>	
Neubau einer „atmenden“ Stadtbahnbrücke in Düsseldorf	57
<i>Dipl.-Ing. Sonja Rode, Dipl.-Ing. Tobias Riebesehl, Dipl.-Ing. Thomas Neysters, Dipl.-Ing. Guido Herbrand</i>	
Sanierung der historischen Betonbogenbrücke in Naila	71
<i>Dipl.-Ing. Ammar Al-Jamous, Dipl.-Ing. Karsten Uhlig</i>	
Georg Christoph Mehrrens (1843–1917): Protagonist des Stahlbrückenbaus im wilhelminischen Deutschland	81
<i>Dr.-Ing. Karl-Eugen Kurrer</i>	
Lebenslanger Korrosionsschutz – Pilotprojekt Stahlverbundbrücke	103
<i>Dr.-Ing. Stefan Franz</i>	
Interaktion zwischen Praxis und Forschung	
– Systematische Nachrechnung des Brückenbestands in Mecklenburg-Vorpommern	117
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Hon.-Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Mertzsch, Dr.-Ing. Torsten Hampel Dipl.-Ing. Nico Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Chemnitztalviadukt – Neubau versus Bestandserhaltung	131
<i>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann, Dipl.-Ing. (FH) Lutz Buchmann, Dipl.-Ing. Toralf Zeißler Dipl.-Ing. Steffen Oertel</i>	
Verstärkung von Stahlbrücken in den Niederlanden	
– Einsatz von hochfestem Beton und zielgerichtete Tragwerksverstärkung	151
<i>M.Sc. Dimitri Tuinstra, Dr.-Ing. Markus Gabler</i>	
Neue Queensferry-Brücke in Schottland	
Herausforderungen bei der Planung und Montage	161
<i>Dipl.-Ing. Martin Romberg</i>	
Brückenbauexkursion 2016 – Hup Holland Hup	177
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Jakob Bochmann</i>	
Chronik des Brückenbaus	187
<i>Zusammengestellt von Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	
Inserentenverzeichnis	208

Brücken in Lateinamerika – Technik und Geschichte

Dr. Dirk Bühler

Deutsches Museum, München

1 Einleitung

Die Betrachtung der Geschichte des Brückenbaus in Lateinamerika beginnt in der frühen vorspanischen Zeit, als um die (europäische) Zeitenwende in den Reichen Mittelamerikas und der Anden die Hochkulturen der Tolteken, Olmeken, Azteken, Mayas im Norden und der Inkas im Süden erblühten. Die Baustoffe, die in der Natur zur Verfügung standen, wurden mit geschickten Techniken zum Bauen verwendet. Aus Steinplatten wurden Kraggewölbe gefertigt; Lehmziegel wurden beim Pyramidenbau eingesetzt; Naturfasern aus Gras, Schilf, Lianen wurden zu tragfähigen Seilen geflochten oder zu Schwimmkörpern gebündelt; Holz und Bambus ermöglichten Balkenkonstruktionen, [1].

Mit dem Eintritt der Spanier in die Geschichte des Kontinents kommen ab 1492 mit den – bis dahin mangels Rohstoffen unbekannt – Werkzeugen aus Eisen auch neue Bautechniken hinzu, die von der einheimischen Bevölkerung gerne als Verbesserung aufgenommen wurden: Jetzt werden Steinbögen beim Bau von Brücken und Aquädukten eingesetzt und europäische Zimmerer-Techniken ermöglichen neue Holzkonstruktionen, [2].

Die ab 1810 einsetzenden Unabhängigkeitsbewegungen in Lateinamerika waren nicht nur mit wirtschaftlichen, politischen und sozialen Umwälzungen verbunden, sondern gehen auch Hand in Hand mit technischen Neuerungen in der Folge der industriellen Revolution zu Beginn der ersten Globalisierungswelle am Ende des Jahrhunderts. Der Aufbau neuer Kommunikationswege durch den Bau von Eisenbahnen ist ein entscheidendes Merkmal dieser Zeit, die vom Baustoff Eisen bestimmt wurde.

Heute ist der Kontinent wie selbstverständlich Teil unserer auch im Technischen globalisierten Welt.

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über jede dieser Epochen, die entsprechenden Techniken, Baustoffe und Bauwerke gegeben und je eine Brücke als markantes Beispiel ausführlich in den Mittelpunkt gestellt.

2 Vorspanische Zeit: Indianische Brücken

Aus Mittelamerika sind nur wenige Brücken aus vorspanischer Zeit gut dokumentiert oder gar noch erhalten. Berühmt waren zunächst vor allem die Klappbrücken, die halfen, die vielen Kanäle der Inselstadt Mexiko im Texcoco-See zu überqueren. Sie sind in der Literatur sowie in Stadtplänen und -ansichten beschrieben, Bild 1. Nur wenige Brücken aus Steinplatten konnten bisher bei archäologischen Untersuchungen nachgewiesen werden. *Tarabitas* genannte Seile, die über einen Fluss gespannt wurden und in einem darunter laufenden, großen Korb Menschen und Güter von einem Ufer zum anderen transportierten, sind als traditionelle Querung in ganz Lateinamerika auch heute noch üblich, Bild 2. Seltener sind hingegen Spannbandbrücken, wie wir sie vielfach aus Südamerika kennen. Weil die Inkas in den Andenstaaten ein insgesamt 6.000 km langes Straßennetz unterhielten, sind auch die spektakulärsten Brücken aus vorspanischer Zeit vor allem dort zu finden.



Bild 1 Darstellung einer barocken Brücke in Mexiko-Stadt auf einem Paravent des 18. Jh. im Museo Franz Meyer (Mexico D.F.)

Foto: Dirk Bühler



Bild 2 Aktuelle, *Tarabita* genannte Brücke für Lasten in Apantilla (Puebla, Mexiko)

Foto: Dirk Bühler

Dieses Straßennetz erstreckt sich mit zwei Strängen von Norden nach Süden, nämlich einmal in Küstennähe und einmal in den Hochanden. Diese Haupttrassen sind natürlich mit den nötigen Querverbindungen in Ost-West-Richtung untereinander verbunden. Dieses Straßennetz, in Quechua *Qhapaq Ñan* genannt, verband die Machtzentren des Reiches mit den Provinzen und war von grundlegender Bedeutung für die Beherrschung eines riesigen Gebietes. Mangels Zugtieren übernahmen Läufer die Verbreitung von Befehlen, Nachrichten und Waren, [3]. Dieses Netz wäre unvollständig ohne Brücken, die es ermöglichten, die unzähligen Schluchten und Flüsse am Wege zu überqueren. Weil diese Brücken auch strategische Bedeutung hatten, unterlagen sie strenger militärischer Überwachung; manchmal wurden sie – sicherheitshalber – auch gleich in zweifacher Ausfertigung hergestellt.

Als die ersten Europäer den Kontinent erreichten, hatten die indigenen Völker Amerikas bereits über Jahrhunderte technisch ausgereifte Konstruktionen entwickelt, bei denen sie die in der Natur verfügbaren Baustoffe effizient eingesetzt haben. Diese Bautechniken beeindruckten die Neuankömmlinge so sehr, dass sie immer wieder ausdrücklich den hohen Stand der Technik lobten, den die indigenen Völker erreicht hatten. In ihren Berichten, Aufzeichnungen und Publikationen

erwähnten die europäischen Chronisten mit Ehrfurcht und Bewunderung die indigenen Bauten und deren Techniken. Trotzdem verwendeten die neuen Bauherren bevorzugt ihre eigenen, traditionellen europäischen Bauweisen, waren dabei allerdings nicht immer sehr erfolgreich. Diese „Begegnung der Kulturen“ führte zu einem Austausch von Technologien, bei dem die Einheimischen, sei es aus Neugier oder sei es aus Überzeugung, die neuen Technologien und Werkzeuge teilweise oder vollständig übernahmen; die Europäer hingegen erkannten nicht im gleichen Umfang die Möglichkeiten traditioneller amerikanischer Technologien und nutzten sie nur selten.

Den ältesten Kommentar eines Europäers über die Brücken im heutigen Peru verdanken wir Miguel Estete (veröffentlicht 1924), der in seinem Bericht über die Eroberung von Peru im Jahre 1534 die mächtigen Flüsse der Neuen Welt bewundert und auch beschreibt, wie diese von Brücken aus dicken Seilen überquert wurden, [4]. Er erwähnt auch, dass es unterschiedliche Brücken für Herrscher und Volk gab. Ein anderer früherer Zeitzeuge, Joseph de Acosta (1540–1600) [5], dessen Schrift „Natürliche und Moralische Geschichte der Neuen Welt“ im Jahre 1590 erstmals in Sevilla veröffentlicht wurde und weithin bekannt war, beschreibt im Kapitel 18 des dritten Buches, „De Rios“, nicht nur die Flüsse, sondern auch die Möglichkeiten, sie zu überqueren:

„Die Indianer verwenden tausend handwerkliche Kunststücke, die Flüsse zu passieren. An einigen Orten haben sie ein Seil von Ufer zu Ufer gespannt, daran hängen große Körbe. Wer den Fluss überqueren will, setzt sich in einen Korb und wird auf die andere Seite des Flusses gezogen. An anderen Orten sitzt der Eingeborene wie ein Herr auf einem Floß aus Stroh, in der Hand ein Paddel. Wer zum anderen Ufer will, hält sich an den Beinen des Bootsmanns fest und lässt sich auf die andere Seite ziehen. An anderen Orten gibt es Flöße aus hohlen Kürbissen auf die sich die Menschen legen ... und die Indianer ziehen das Floß aus Kürbissen an Seilen und schwimmend zum anderen Ufer ... Diese und tausend andere Möglichkeiten haben die Indianer erfunden, um Flüsse zu überqueren. Den Betrachter versetzen sie anfangs etwas in Angst, weil alles so dünn und zerbrechlich wirkt, aber in Wirklichkeit sind diese Flussüberquerungen sehr sicher. Für den Brückenbau benutzen sie nichts anderes als zu Seilen geflochtenes Stroh. An einigen Flüssen wurden dank der Sorgfalt einiger Gouverneure aber auch schon Steinbrücken gebaut ...“

Die Beschreibung Acostas stellt die drei wichtigsten Möglichkeiten, einen peruanischen Fluss zu überqueren, vor:

- ❑ die *oroya* (Quechua: *uruya*) oder *huaro* oder *tarabita*, also Seile mit darunter angebrachten Körben, in denen Personen und Waren zum anderen Ufer gezogen werden können,
- ❑ die schwimmenden Brücken; aber in seiner Beschreibung sind es eher Indianer, die, von Schwimmkörpern unterstützt, Reisende auf Flößen schwimmend über den Fluss ziehen und
- ❑ die Spannbandbrücken.

Einen umfassenden und detaillierten Überblick über die Brücken im heutigen Peru präsentiert Alberto Regal (1892–1982) [6], der in seiner Forschung die Inkabrücken nach den Konstruktionsmerkmalen katalogisiert und klassifiziert hat.

Holz- und Steinbrücken werden mit Holzbalken und Steinplatten gebaut, oft sind sie mit Konsolen verstärkt, um deren Spannweite zu erhöhen, Bild 3. Holzbrücken sind in den Höhen der Anden natürlich mangels Bäumen sehr selten. Die Verwendung von Steinen ist ebenfalls selten, denn die Topographie ist für Abbau und Transport ungünstig und große Spannweiten konnten mit den damals bekannten Techniken ohnehin nicht erreicht werden.

Unter den schwimmenden Brücken war die Floßbrücke über den Desaguadero-Fluss [6], in der Nähe des Dorfes Zepia, mit einer Länge von 45 m die spektakulärste: sie bestand aus einer Reihe von untereinander verbundenen Schwimmkörpern aus Schilf, die mit getrockneten Wasserpflanzen bedeckt waren, Bild 4. Chronisten berichten, die Brücke sei im Auftrag des V. Inka-Herrschers, der Cápac Yupanqui hieß und ~ 1320

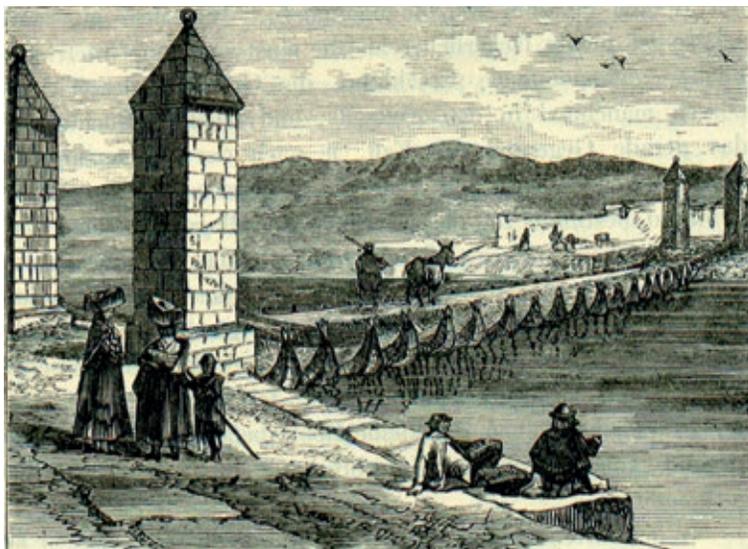


Bild 4 Schwimmbrücke über den Desaguadero-Fluss in Peru auf einer Darstellung im Reisebericht von George Ephraim Squier, aus [9]

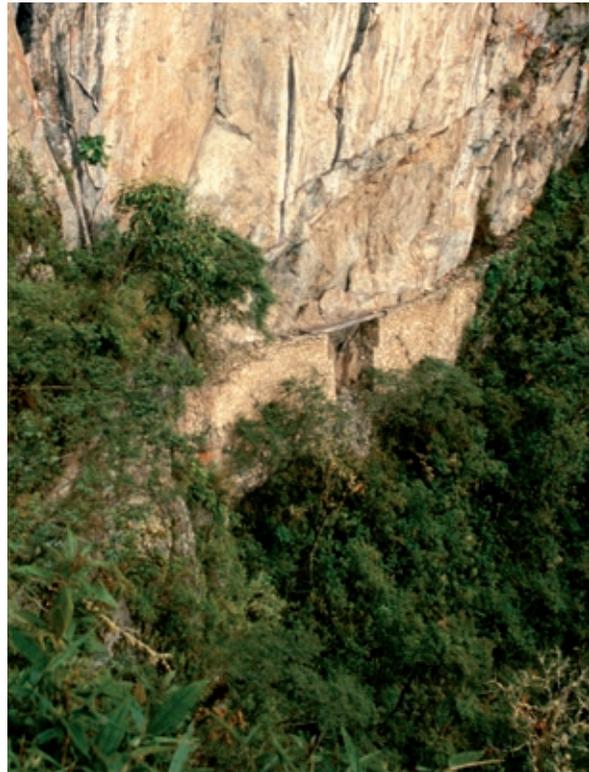


Bild 3 Holzbohlenbrücke auf dem Zugangsweg zur Festung von Machu Picchu (Peru)

Foto: Dirk Bühler

in Cusco regierte, gebaut worden. Garcilaso de la Vega (1539–1616) [7] vergleicht diese Brücke mit der Schwimmbrücke aus Booten in Sevilla, [8]. Eine zweite schwimmende Brücke über den Desaguadero-Fluss, die in der gleichen Art und Weise gebaut ist, gibt es auch in der Nähe des Dorfes Nascara.

Spannbandbrücken waren in der Andenregion am weitesten verbreitet. Sie wurden mit Pflanzenfasern gebaut, die zu Seilen mit 50 oder 60 cm im Durchmesser verdreht und verflochten wurden. Diese Zöpfe, auch *criznejas* genannt, wurden an festen Fundamentsteinen auf beiden Seiten des Flusses verankert. Um das erste Seil von einem Ufer zum anderen zu bringen, wurde ein dünneres Seil aus Hanf gefertigt, *chahuar* genannt, das die Erbauer selbst schwimmend oder auf Flößen von Ufer zu Ufer brachten.

Die für den Brückenbau verwendeten Pflanzenfasern unterscheiden sich je nach Verfügbarkeit in den einzelnen Regionen stark: so wurden örtlich Weidenruten (*Escallonia patens*) verwendet, vor allem aber



Bild 5 Eine typische Hängemattenbrücke im 18. Jh., dargestellt in Alexander von Humboldts Ansichten der Kordilleren, aus [10]

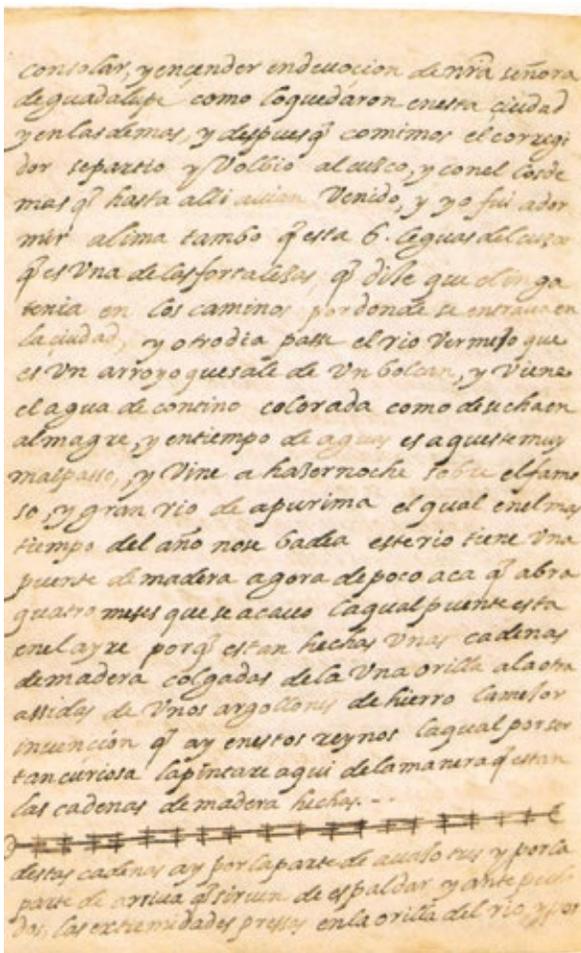


Bild 6 Seite der Carta de Ocaña mit der Beschreibung der Spannbandbrücke aus Holzgliedern, aus [11]

Gräser wie Lloque (*Kageneckia lanceolata*), Ichu (*Stipa ichu*) oder Chachacomo (*Escallonia resinosa*); in einigen Gebieten wurden Äste des Chilcabusches (*Baccharis latifolia*) verwendet. Dort, wo es weder Gras noch Büsche gab, wurde die Faser des Maguey (*Furcraea andina*), einer Agavenart, verwendet. Wieder andere Brücken wurden mit Holzbohlen gebaut.

Alberto Regal [6] unterscheidet zwischen einfachen Hängebrücken (mit Geländern, die Teil der Tragkonstruktion sind) und Hängematten-Brücken (mit einfachen Geländern, die keine statische Funktion haben), obwohl beide Formen technisch gesehen Spannbandbrücken sind, Bild 5. Er weist Doppelbrücken nach (ursprünglich von Francisco Pizarro erwähnt), die in doppelter Ausfertigung parallel über einen Fluss gespannt sind, damit im Falle einer Naturkatastrophe oder einer militärischen Konfrontation der Übergang gewährleistet bleibt.

Diese Brücken wurden auch während der Kolonialzeit in der gleichen Weise weiter gebaut. Ein handschriftlicher Bericht von Fray Diego de Ocaña, der im August 1603 den Apurimac bereiste [11], zeigt, dass auch versucht wurde, traditionelle Baustoffe durch innovative Techniken zu verbessern: er berichtet von Tragseilen, die nicht aus Pflanzenfasern, sondern der größeren Haltbarkeit wegen mit Kettengliedern aus Holz gefertigt wurden, Bild 6. Eine Idee, die erst Jahrhunderte später im Eisenbau Karriere machen sollte.

3 Beispiel: Q'ueswachaca

Von den vielen Brücken, die es im Reich der Inka, während der folgenden Kolonialzeit und der Unabhängigkeit im heutigen Peru gab, ist die Brücke Q'ueswachaca aus Gras über den Apurimac die bedeutendste: sie liegt im hochandinen Bezirk Quehue und wird jedes Jahr von den umgebenden Gemeinden mit traditionellen Techniken und Baustoffen in ihrer ursprünglichen Form und im Rahmen eines volkstümlichen Festes neu gebaut, [12], [13], Bild 7.

Der Name der Brücke besteht aus zwei Quechua-Wörtern: *q'iswa* oder *q'eswa*: ein Seil aus verdrehtem Stroh – ein Wort, das bereits auf den ungewöhnlichen Baustoff hinweist –, und *chaca*, was Brücke bedeutet. Die Q'ueswachaca befindet sich 159 km südwestlich der Stadt Cusco in der Nähe der Straße nach Puno in etwa 3.700 m Höhe. Diese Brücke ist einzigartig und vollständig in die umgebende spektakuläre Andenlandschaft eingebettet, die schon Reisende aus früheren Zeiten beeindruckte, aber auch die (zum Glück noch wenigen) Touristen heute. Technisch gesehen ist sie

eine Spannbandbrücke mit 28 m Spannweite über den Apurimac (Quechua: Großer Redner oder Orakel), der einer der wichtigsten Zuflüsse des Ucayali und somit des Amazonas ist. In seinem Verlauf windet sich der Apurimac in endlosen Schleifen um die Berge der Anden. Er schlängelt sich durch zerklüftete Schluchten, wo Wasserfälle und Stromschnellen den Betrachter fesseln, Bild 8.

Als Rohstoff für die Seile der Q'ueswachaca dient das Ichu-Gras (*Stipa ichu*), das in den Anden sehr verbreitet ist und auf dem Kontinent in verschiedenen Formen vorkommt. Es ist ein ziemlich kräftiges, rauhes und sehr hartes Gras, das Weidetiere nur dann essen, wenn keine anderen, schmackhafteren Gräser mehr zur Verfügung stehen. Zu Stroh getrocknet ist dieses Gras ein echter Mehrzweckbaustoff: es wird verwendet, um Hausdächer zu decken und dient als Zuschlagstoff bei der Herstellung von Adobe-Ziegeln, um deren Festigkeit zu verbessern. John Ochsendorf [14] hat diese Seile getestet und seine Laboruntersuchungen bescheinigen ihnen eine außergewöhnlich hohe Zugkraft.

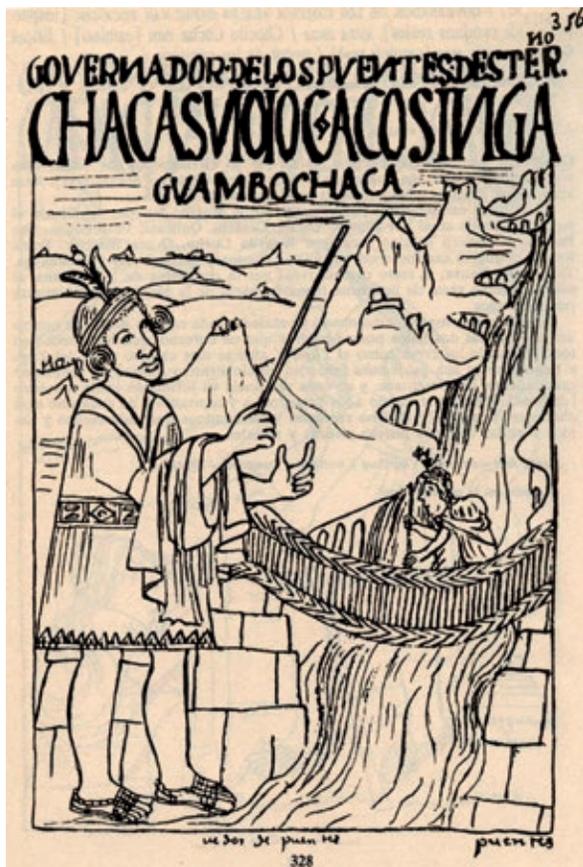


Bild 7 Darstellung und Beschreibung der Q'ueswachaca-Brücke in der Chronik des Waman Puma aus dem 16. Jh. Hier werden Material und Technik des Brückenbaus detailliert beschrieben und die gesellschaftlichen Zusammenhänge erläutert, aus [12]



Bild 8 Darstellung der Q'ueswachaca-Brücke im Reisebericht von Squier, aus [9]



Bild 9 Die Q'eswachaca-Brücke heute

Foto: Dirk Bühler



Bild 10 Die hangseitige Verankerung der Seile bei der Q'eswachaca-Brücke Foto: Dirk Bühler

Sechs dieser geflochtenen Seile mit einem Durchmesser von je 20 cm bilden die Grundstruktur aus zwei oberen Geländen und vier unterliegenden Grundseilen. Beide Stränge sind seitlich mit dünnen Zöpfen verbunden, die wiederum durch Bänder aus dünnen Zöpfen stabilisiert werden. Um eine Beschädigung der Brückenoberfläche zu vermeiden, wird die Tragstruktur mit einer Schicht aus Astwerk abgedeckt. Die Seile nehmen die Form einer Kettenlinie an und geraten beim Begehen in regelmäßige Schwingungen, die manche Menschen mit Misstrauen gegenüber den Kräften der Natur und den Gesetzen der Physik erfüllen. Das Material aus der Natur, das ungeschützt Änderungen der Feuchtigkeit, der Temperatur und der Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist, unterliegt natürlich mehr als andere einem hohen Verschleiß durch Witterungseinflüsse, Bild 9.

Das wichtigste Strukturelement der Q'eswachaca sind natürlich die Verankerungen der Seile an beiden Ufern, die enorme Zugkräfte aufnehmen müssen. Die sechs Hauptseile werden am Boden zu beiden Seiten umgeleitet, um den Durchgang zur Brücke für die Passanten zu öffnen. Die Enden werden jeweils an einem Stein befestigt, der fest im Fels oder Erdreich verankert ist, Bild 10.

Reisende berichten, dass Schäden an der Brücke vor allem durch unsachgemäße Handhabung ent-



Bild 11 Entwurf für die Brücke über den Río La Antigua bei Veracruz (Mexiko) aus dem Jahre 1791

Quelle: Originalzeichnung aus dem Nationalarchiv von Mexiko, (Fundort: Archivo General de la Nación– México – Obras Públicas, vol. 11, exp. 3, fc. 137)

stehen, nämlich wenn die Nutzer das Bauwerk durch Unkenntnis oder Experimentierfreude in gefährliche Schwingungen versetzen. Aber auch Vernachlässigung führt zum Faulen der Baustoffe und kann ein strukturelles Versagen hervorrufen. Werden beide Faktoren beachtet, handelt es sich bei der Brücke um eine durchaus solide und sichere Konstruktion, [9].

Zusätzlich zu diesen baulich-strukturalen Werten besitzt die Brücke aber auch einen bedeutenden symbolischen Wert: Seit der Zeit, in der die Inkakaiser den Brückenbau angeordnet haben, wird sie (fast) jährlich von den Menschen, die sie nutzen, mit Hilfe der Einnahmen aus der Maut erneuert.

Die Erneuerung dauert zwei Tage und ist mit einem strengen, festlichen Ritual verbunden, das die gemeinschaftliche Arbeit, *Mink'a* genannt, strukturiert und zu einem Ereignis für die umliegenden Gemeinden macht. Gegenüber den Festen in anderen Gemeinden handelt es sich um ein außergewöhnlich friedliches, [15]. So wurde die Q'eswachaca 2009 als Kulturgut der Nation und 2014 auch als Erbe der Menschheit durch die UNESCO anerkannt. Dabei steht der

sozio-kulturelle Kontext sowie das historische, mit traditionellen Baustoffen und Werkzeugen sich immer wiederholende Bauverfahren als sogenanntes immaterielles Kulturerbe im Vordergrund.

4 Kolonialzeit: Steinbrücken und Aquädukte

Mit den Europäern kamen im 16. Jh. auch neue Bautechniken nach Amerika. Dabei kommt vor allem Gewölbe- und Bogentechniken aus Stein eine besondere Bedeutung zu: Nun konnten etwa solide und dauerhafte Brücken mit größeren Spannweiten als zuvor gebaut werden. Auch wenn die Einführung der neuen Bautechniken nicht sehr lange dauerte, waren die Ergebnisse häufig nicht sofort von Erfolg gekrönt, so dass indianische Techniken lange Zeit noch parallel zu den europäischen bestanden.

Vor allem in den neu gegründeten Städten der Kolonialherren wurden Steinbogenbrücken über die Flüsse geschlagen, um die Wege für Kutschen und Lasttiere auszubauen. Häufig sind die Brücken mautpflichtig und beliebte Orte für Zollstationen. Weil die finanziellen und technischen Herausforderungen in allen Fällen, sei es wegen der Unkenntnis über die vorhandenen Baustoffe oder wegen des Mangels an Fachkräften, sehr hoch waren, bedeutete ein Brückenbau immer etwas Besonderes, der eine lange Bauzeit erforderte. Städte wie Puebla und Acámbaro (Mexiko), Lima und Arequipa (Peru) konnten sich schon im 16. Jh. bedeutender Bauwerke rühmen.



Bild 12 Der Aquädukt von Zacatecas (Mexiko) stammt aus dem späten 18. Jh.

Foto: Dirk Bühler

Neben den städtischen Brücken sind aber auch die an



Bild 13 Ansicht der Hauptbögen des Aquädukts von Otumba und Zempoala; Reste des Adobe-Lehrgerüsts sind zwischen den Pfeilern noch zu erkennen. Foto: Dirk Bühler

den neuen Verkehrsadern hervorzuheben, wie etwa die Puente del Rey, heute Puente Nacional, bei Veracruz (Mexiko). Die Brücke aus dem 19. Jh. ist ein gewaltiges Bauwerk über den Fluss La Antigua in Mexiko, das oft von Reisenden beschrieben und von Künstlern gemalt worden ist, Bild 11.

Für die Baukunst in Lateinamerika sind aber vor allem die Aquädukte zu erwähnen, über die Städte wie Mexiko-Stadt, Puebla, Morelia und Zacatecas mit frischem Trinkwasser versorgt werden konnten. Auch für die neuen Klöster auf dem Lande wurden schon im 16. Jh. umfangreiche Wasserleitungen mit Aquädukten in römisch-arabisch-spanischer Tradition errichtet, Bild 12. Ab dem 18. Jh., als die Haciendas immer mehr wirtschaftliche Bedeutung erlangten, wurden die Ländereien mit Wasserschöpf- und -verteilsystemen ausgestattet, was den Bau von Aquädukten einschloss.

5 Beispiel: Der Aquädukt von Padre Tembleque

Beispielhaft steht für diese Wasserbausysteme der Aquädukt des Padre Tembleque in Zempoala im Hochland von Mexiko aus dem 16. Jh., der seit 2015 als eines der – noch immer zu wenigen – Ingenieurbauwerke in die UNESCO-Liste des Weltkulturerbes eingetragen wurde, [16], [17].

Der Aquädukt von Padre Tembleque wurde zwischen 1555 und 1572 nahe dem heutigen Zempoala im mexikanischen Bundesstaat Hidalgo erbaut, [18]. Er trägt den Namen seines Planers, des Franziskanermönchs Francisco de Tembleque (1510–1590) aus dem spanischen Tembleque, der, wie so viele aus seinem Orden, schon kurz nach der Eroberung des Landes als Missionar nach Mexiko gekommen war, wo ihn sein Orden ins wasserarme Otumba schickte. Dort wollte Tembleque die Lage der indigenen Bevölkerung verbessern, indem er der *Congregación de Todos los Santos* zusicherte, eine Wasserleitung zu bauen, wenn sie ihm die Erlaubnis dafür erteilten. Das Wasser von den Hängen des Vulkans Tecajete sollte gesammelt und nach Otumba geleitet werden. Das Netz aus Wasserleitungen wurde von Padre Tembleque geplant und mit tatkräftiger Unterstützung der indigenen Bewohner der umliegenden Dörfer gebaut. Doch damit nicht genug, leitete er das Wasser zu dem 30 km weiter südlich gelegenen Otompan, dem heutigen Otumba im Bundesstaat México weiter. Stichkanäle versorgten weitere, an der Strecke liegende Dörfer. Tembleque versuchte, die Kanäle, wo immer das möglich war, ebenerdig anzulegen, doch einige verlaufen auch unter der Erde oder überquerten Bäche und Täler.

Der Hauptaquädukt muss als zentraler und imposantester Teil eines gut vermessenen und wohl

durchdachten hydraulischen Gesamtsystems angesehen werden, das ein weitgefächertes Einzugsgebiet mit Quellen, Haupt- und Nebenkanälen, Aquädukten, Verteilerbecken, Stauseen und andere Nebenkonstruktionen umfasst, die sich über ein Gebiet von 48 km Länge erstrecken, Bilder 13 und 14.

Die Bogenreihe des Hauptaquädukts bei Tepexahualco erreicht eine Gesamthöhe von 39,65 m, der zentrale Bogen ist immerhin 33,84 m hoch: ein Weltrekord bei einstöckigen Aquädukten. Das Aquädukt ist insgesamt 904 m lang und besteht aus 67 Bögen mit je 17 m Spannweite. Als Schalung für die Rundbögen wurde eine Hilfskonstruktion aus Lehm- oder besser Adobeziegeln ver-

wendet, von der auch heute noch Überreste zu sehen sind.

Mit dieser eindrucksvollen Aquäduktkonstruktion griff Tembleque auf Vorbilder aus der Römerzeit in seiner Heimat (etwa in Segovia, ebenfalls ein UNESCO-Welterbe) zurück, während die Verwendung von Lehmziegeln eine in Spanien ebenso wie in Amerika weit verbreitete Bauweise war. Die Verwendung von Adobe für den Bau einer Rüstung und Schalung beim Bau von Aquäduktbögen hat allerdings – außer in der Römerzeit – für beide Kulturen eher Seltenheitswert.

Im Einzugsbereich des Netzwerks haben neben mehreren Verteilerbecken und Kanalgäben vor allem weitere, etwas kleinere Aquädukte bis heute überlebt, so etwa auch der bei der Aquädukt Hacienda de Tecajete mit über 300 m Länge über 46 Steinbögen.

Das wasserbauliche Werk von Padre Tembleque ist ein ausgezeichnetes Beispiel für ein wohl durchdachtes System aus Wassergewinnung und -verteilung bis zu den Verbrauchsstellen, wie es vor allem in Lateinamerika seit der frühen Kolonialzeit bis ins 19. Jh. hinein häufig verwendet wurde. Weil das wasserbauliche Netzwerk des Padre Tembleque nicht nur ein bautechnisches Meisterwerk darstellt, sondern außerdem als Gemeinschaftswerk der Franziskanermönche und der Gemeinschaften vor Ort gelten muss, kann dieses Werk als einzigartiger Ausdruck für die Verschmelzung mittelamerikanischer und europäischer Bautraditionen angesehen werden. Dieses Netzwerk stellt darüber hinaus ein einmaliges technisches Ensemble aus Kanälen und Nebenbauwerken dar, das so außergewöhnlich gut erhalten ist, dass Teile davon bis heute funktionsfähig geblieben sind.



Bild 14 Ansicht des Mittelteils des Aquädukts von Otumba und Zempoala

Foto: Dirk Bühler

6 Zeit der Unabhängigkeit: Eisen- und Stahlbau

In der Zeit der Unabhängigkeit von der spanischen und portugiesischen Kolonialherrschaft konnten sich die neuen lateinamerikanischen Länder durch eine Öffnung zur Welt auch (bau-)technisch weiter entwickeln und nahmen so an der ersten industriellen Revolution und der folgenden Globalisierung teil. Gleichzeitig wurden im Laufe des 19. Jh. die Ausbildung von Architekten verbessert, Studiengänge für Bauingenieure eingeführt und Baugewerbeschulen gegründet. Viele Ausbildungsstätten verlangten von ihren Studenten den Nachweis von Studien im Ausland, meist in Frankreich oder Großbritannien.

Erst im späten 19. Jh. konnten die wenigen Eisenvorkommen in Lateinamerika genutzt, Eisen hergestellt und verarbeitet werden. Ähnliches gilt auch für die Herstellung von Zement, die erst ab Beginn des 20. Jh. wirtschaftlich wurde. So waren die Länder Lateinamerikas über das ganze 19. Jh. auf die Einfuhr von vorgefertigten Eisen- und Stahlstrukturen aus den USA und Europa sowie auf die Einfuhr von Zement für Betonbauwerke angewiesen.

Dennoch entstanden moderne Kaufhäuser als Eisen- und Stahlkonstruktionen, die meist in Europa angekauft, verschifft und in Lateinamerika wieder aufgebaut wurden. Sagenumwoben sind viele Metallkonstruktionen, die Gustave Eiffel (1832–1923) in Lateinamerika gebaut haben soll: in den meisten Fällen allerdings wurden sie lediglich in seinem Büro entworfen oder in seinen Werkstätten vorgefertigt, oft handelt sich aber auch nur um Vermutungen.

Eine der acht verbliebenen Schwebefähren der Welt ist noch in Buenos Aires erhalten und erst vor wenigen Jahren restauriert worden, Bild 15.

Besonders eindrucksvoll spiegeln sich diese Verhältnisse beim Eisenbahnbau wieder, der bereits 1837 auf dem damals noch spanischen Kuba mit der ersten Strecke in Lateinamerika begann und sich im Laufe der kommenden Jahrzehnte über den ganzen Kontinent mit einem dichten Netz verbreitete. Als Beispiel steht hier der Bau des *Ferrocarril Mexicano*, einem sehr frühen, besonders langwierigen aber schon globalisierten Unternehmen, das das Potential zum Weltkulturerbe hat.



Bild 15 Die Schwebefähre *Nicolás Avellaneda* in Buenos Aires (Argentinien) wurde 1914 erbaut und ist eins der acht noch bestehenden Beispiele für diesen Brückentyp. Sie ist heute restauriert und wieder funktionsfähig. Foto: Dirk Bühler

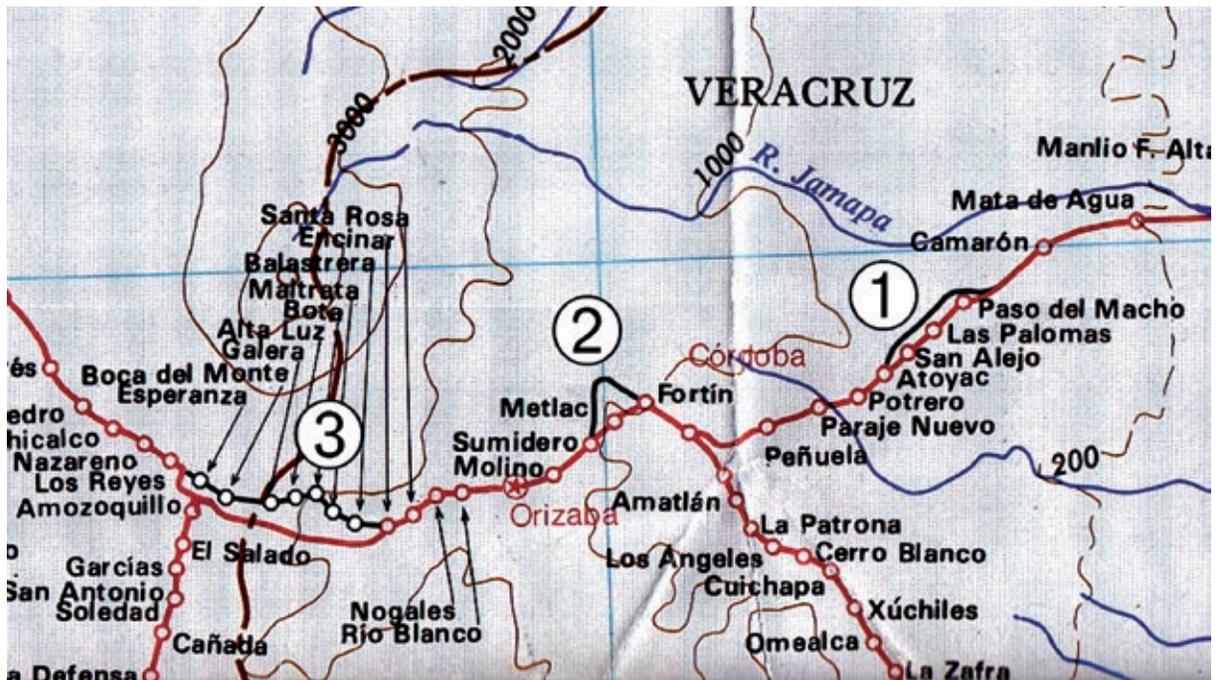


Bild 16 Plan des ursprünglichen (schwarz) und des neuen (rot) Streckenverlaufs des *Ferrocarril Mexicano* auf der schwierigen Bergstrecke

Foto: Dirk Bühler

7 Beispiel: Ferrocarril Mexicano

Als der mexikanische Präsident Sebastián Lerdo de Tejada (1823–1889) am 1. Januar 1873 den *Ferrocarril Mexicano* als erste Bahnlinie Mexikos feierlich eröffnet, ist das 36 Jahre zuvor begonnene Projekt einer 423,7 km langen Eisenbahnverbindung zwischen der Hauptstadt Mexiko und dem Hafen von Veracruz am Golf von Mexiko erfolgreich abgeschlossen. Politiker, Unternehmer und Ingenieure hatten in einer Zeit des Umbruchs nicht nur wirtschaftliche, politische und soziale Probleme bewältigt, sondern vor allem gewaltige topographische, technische und bauliche Hürden überwunden und eine Bahnstrecke der Superlative geschaffen. Besonders bemerkenswert ist die 203 km lange Strecke zwischen San Andrés Chalchicomula im Hochland und der Hafenstadt Veracruz mit ihren 23 Bahnhöfen, 39 Brücken und 16 Tunneln, in deren Verlauf etwa 2.500 Höhenmeter überwunden werden müssen, [19], [20].

Die erste Phase beim Bau des *Ferrocarril Mexicano* begann zwischen 1837 und 1854 mit der Fertigstellung einer bescheidenen, etwa 20 km langen Strecke zwischen der Hafenstadt Veracruz und dem Bahnhof Tejería. Ab 1855 wurde am anderen Ende der Strecke zwischen der Hauptstadt Mexiko und Villa de Guadalupe mit dem Eisenbahnbau begonnen. Diese 5 km lange Strecke wurde am 4. Juli 1857 eingeweiht und diente vor allem dem Personenverkehr an den Wochenenden.

Die Ankunft von Andrew Talcott (1797–1890), der am 4. Januar 1858 mit 40 anderen Ingenieuren in Veracruz an Land ging, markiert schließlich die entscheidende Phase des Unternehmens. Er vermaß bis zum 9. Juni 1858 die Route zwischen Veracruz und Mexiko. Nach Sicherung der Finanzierung wurden die Bauarbeiten im Juni 1861 wieder aufgenommen.

Die Brücken des *Ferrocarril Mexicano* entstanden in internationaler Zusammenarbeit und wurden weltweit von der Fachpresse kommentiert. So sprechen schon die Kontakte zwischen Andrew Talcott und Sir William Fairbairn (1789–1874) Bände. Letzterer, ein schottischer Ingenieur, war damals schon durch die Konstruktionen der Britannia-Brücke (1846–1850) und der Conway-Castle-Brücke (1849) in Wales berühmt geworden, die er mit Robert Stephenson zusammen gebaut hatte. Talcott suchte und bekam seine Hilfe, die sich gewiss auch über Fairbairns Publikationen hinaus erstreckte, in denen dieser etwa die Vorzüge des Schmiedeeisens gegenüber dem Gusseisen im Brückenbau erläutert und Berechnungshilfen gibt, [21].

Am interessantesten sind die Brücken, die zwischen den Bahnhöfen von Boca del Monte im Hochland und La Soledad, nur 42 km von Veracruz entfernt, entstanden sind.

Im ersten Abschnitt der Bergstrecke zwischen Boca del Monte und Maltrata überquert die Wim-

mer-Brücke eine Schlucht an den Hängen einer imposanten Bergkette, den sogenannten Cumbres de Maltrata, Bild 17. Die Brücke ist insgesamt 97,07 m lang, sie wird von vier Pfeilern gestützt, die bis zu 39,36 m hoch sind; über die fünf Öffnungen verläuft ein eiserner Durchlaufträger. Die originalen Eisenstützen sind heute ummauert und verfüllt. Der Hauptträger besteht aus zwei genieteten Doppel-T-Trägern mit 1,52 m Konstruktionshöhe. Diese seitlichen Träger sind über ein waagrecht liegendes Fachwerk miteinander verbunden und ausgesteift, [22].

Die Brücke ist die Einzige, die nach ihrem Erbauer benannt ist: Sebastian Wimmer. Er kam am 5. Januar 1831 in Thalmassing bei Regensburg zur Welt, besuchte die Polytechnische Schule in München und kam nach erfolgreichem Studienabschluss mit seinem Onkel Bonifaz, am 2. Juni 1851 nach New York. Er arbeitete als Ingenieur in den USA, bevor er schließlich am 29. März 1865 nach Mexiko aufbrach. Hier arbeitete er zwei Jahre lang als Ingenieur des Ferrocarril Mexicano vor Ort, bis er als Gesandter der Eisenbahngesellschaft nach London geschickt wurde.

Der Weg über die Wimmer-Brücke hinaus führt zu mehreren verlassenen Bahnhöfen und Wasserspeichern sowie zum heute aufgegebenen

Umspannwerk, der Subestación N° 1, in der noch fast alle technischen Einbauten vorhanden sind. In einem breiten Tal am Fuße der Bergkette erreicht die Trasse schließlich in einem weiten Bogen den Bahnhof von Maltrata. Die Strecke bis zum nächsten Bahnhof in Balastlera (km 146,62) führt über Tunnel und mehrere Schwergewichtsmauern, die die ehemaligen Brücken ersetzen, wiederum durch ein ausgedehntes Tal bis zu einer steil abfallenden Schlucht, an deren Hang sich die Trasse entlang windet. Die Stelle wird nicht umsonst *Infernillo* – kleine Hölle – genannt – ein wirklich bewegendes Erlebnis in einer stillen und wilden Landschaft.

Zwischen dem Bahnhof von Balastlera und Sumidero verläuft die jetzt unverändert genutzte Trasse auf ebener Strecke in einem Hochtal. Nur wenige hundert Meter vor dem Bahnhof von Sumidero wird die heutige Trasse über die neue Metlac-Brücke geleitet. Die aufgegebene Trasse führt kurvenreich zur alten Metlac-Brücke. Dieser Abschnitt ist der eindrucksvollste Teil der Strecke, der Techniker wie Künstler zu wahren Wunderwerken motiviert hat.

Die Schlucht des Río Metlac war das größte und schwierigste Hindernis, das es auf der gesamten Strecke zu überwinden galt: Das Tal hat zum Teil



Bild 17 Die Wimmer-Brücke von der darüber liegenden Autobahn aus gesehen

Foto: Dirk Bühler

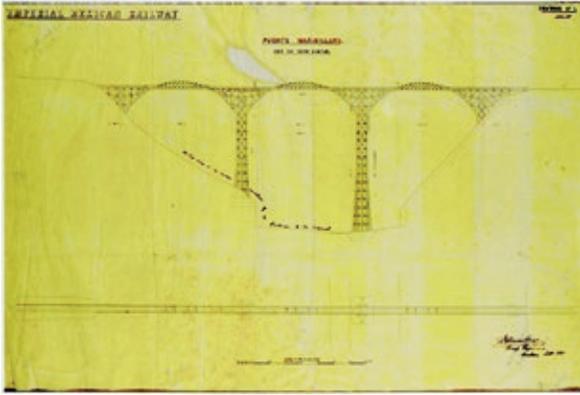


Bild 18 Zeichnung von William Lloyd der Brücke über die Metlac-Schlucht – des Puente Maximiliano
Quelle: Centro Nacional para la Preservación del Patrimonio Cultural Ferrocarrilero – CEDIF – Puebla – Fondo Maximiliano

eine Breite von über 300 m und eine Tiefe von 115 m und war damit eine enorme Herausforderung für die Ingenieure, die zunächst einige interessante Vorschläge untereinander erörterten, bis die spätere Lösung gefunden war.

Andrew Talcott schlägt zunächst den Bau einer Hängebrücke über die Schlucht an einer 304 m breiten und 106 m tiefen Stelle vor, weil er die Lösung für die wirtschaftlichste hielt; doch bald verwarf er diese Variante wegen der zu erwartenden gefährlichen Schwingungen und der unkalkulierbaren Durchbiegungen. In einem zweiten Vorschlag dachte er über eine Röhrenbrücke aus Eisen nach, die über zwei oder drei Öffnungen reichen und von Stützen aus einem Rohrgerüst getragen werden sollte. Ein Bericht des Bauingenieurs W. T. Ingram aus dem Jahre 1916 enthält eine Zeichnung dieses Vorschlags, der der Britannia-Brücke recht ähnlich ist, [23]. Talcott zog bei diesem Vorschlag Stützen aus Eisen den gemauerten vor, weil er sie für preiswerter hielt. Eine weitere Alternative sah er darin, eine Brücke weiter flussaufwärts zu bauen, am Anfang der Schlucht, wo diese enger und nicht so tief eingeschnitten ist, obwohl dies eine Umleitung der Trasse ins Tal hinein und wieder heraus bedeutete. Diese Variante sollte die später verwirklichte Lösung sein.

William Lloyd (1822–1905), der die Bauarbeiten ab 1864 leitete, schlug eine Brücke mit drei Öffnungen vor (zwei seitliche mit 96,62 m und eine mittige mit 122 m). Sie sollte auf zwei gigantischen, sich nach oben verjüngenden Pfeilern aus Eisenrohren stehen, die im oberen Teil zum Träger hin als Kragarme ausgebildet waren, dazwischen war jeweils ein Fachwerkbogen geplant. Dieser innovative und gleichzeitig monumentale Vorschlag

machte in Fachzeitschriften der Zeit Furore: So pries ihn etwa der *Scientific American* 1866 [24] als ein Tragwerk an, das die Grenzen moderner Ingenieurkunst überwindet und schon alleine einen Besuch in Mexiko wert ist. Urheberrechtliche und verfahrenstechnische Probleme verhinderten den Bau, [25], [26], Bild 18.

Im Jahre 1866 lagen schließlich die endgültigen Pläne von Andrew Talcott für eine Röhrenbrücke vor. Am 26. April 1866 wurde der Grundstein gelegt. Doch schon zwei Wochen danach erschütterte ein Erdbeben das kaum begonnene Bauwerk und William Cross Buchanan, der Nachfolger Talcotts, wurde beauftragt, eine weniger erdbebengefährdete Lösung zu suchen. Der entwarf eine alternative Trassenführung durch das Tal mit einer kleineren, aber nicht weniger spektakulären Brücke, ein Vorschlag, der am 28. Juni 1871 genehmigt wurde. Schon ein Jahr später war die Metlac-Brücke fertiggestellt und bestand die Probelastung, die unter Aufsicht von Buchanan im Juli 1872 stattfand. Der ausgeführte Entwurf führte die Trasse in einer Schleife weit ins Tal des Metlac hinein zu einer schmalen Stelle der Schlucht, die von einer Brücke mit gekrümmtem Verlauf überspannt wird, damit die Bahn das Tal auf der entgegengesetzten Seite wieder in weitem Bogen verlassen konnte. Diese Brücke hat 164,65 m Gesamtlänge. Auf acht Stützen, die aus gusseisernen Rohren zusammengesetzt sind, verläuft ein Durchlaufträger, der die Schlucht in 28 m Höhe mit neun Öffnungen von je 15,29 m Spannweite überquert. Die Träger wurden von den Crumlin Shops in Großbritannien geliefert. Es sind genietete Doppel-T-Träger mit einer Konstruktionshöhe von 1,22 m. Wie die der anderen Brücken sind sie über waagrecht liegende Aussteifungen miteinander verbunden, [27] und Bilder 19 und 20.

Die ursprünglichen Brücken des *Ferrocarril Mexicano* wurden zwischen 1903 und 1910 erneuert. Die Elektrifizierung der 103 km langen Strecke zwischen Paso del Macho und Esperanza mit Steigungen von 2,5 % bis 4,1 % wurde zwischen 1922 und 1928 unternommen, denn die Fairlie-Lokomotiven, die seit der Eröffnung im Einsatz waren, erreichten dort nur Geschwindigkeiten von maximal 10,7 km/h. Neue Loks, die mit 3.000 Volt Gleichstrom fuhren, versprachen eine Verbesserung der Leistung um 25 %. Der erforderliche Strom wurde vom nahe gelegenen Wasserkraftwerk Tuxpango bezogen, das die Puebla Light and Power Company betrieb. In diese Zeit fällt auch die dritte Erneuerung von Brücken, bei der einige hangnahe Brücken durch gemauerte Stützwände ersetzt wurden. Aus neuester Zeit stammen die aktuelle Brücke über den Metlac (1984–1985), der Tunnel El Mexicano mit 3 km Länge und der



Bild 19 Kolorierter Stich aus dem Werk von Casimiro Castro über den Ferrocarril Mexicano, aus [27]

Viadukt-Tunnel Pensil (1986) mit 120 m Länge. Heute wird die Strecke nur noch vom Güterverkehr benutzt.

Im Jahre 1877 verfügte Mexiko noch über ein Eisenbahnnetz von 684 km, das bereits 1901 auf 14 319 km angewachsen war und das sich 1910, ein Jahrhundert nach Beginn der Unabhängigkeitsbewegung, auf 18.724 Streckenkilometer ausgedehnt hatte, [28].

8 Heute: Voll globalisiert

In der zweiten Hälfte des 20. Jh. beginnen in Lateinamerika die Bauvorhaben für große und eindrucksvolle Brücken, die nur exemplarisch dargestellt werden können. Da ist etwa die Brücke zwischen La Guaira und Caracas in Venezuela, die von Eugène Freyssinet (1879–1962) geplant und durch die Firma Campenon Bernard mit 390 m Länge und einer größten Spannweite von 154 m

zwischen 1951 und 1953 gebaut wurde oder – ebenfalls in Venezuela – die Brücke über den Maracaibo-See mit den berühmten Stützen von Riccardo Morandi (1902–1989), die 1959 bis 1962 unter Beteiligung dreier deutscher Baufirmen erbaut wurde, [29] und Bilder 21 und 22. In Mexiko sind es eher spanische Büros wie das von Leonardo Fernández Troyano aus Madrid, die Brücken planen, wie etwa die an der Autobahn zwischen Mexico-Stadt und Acapulco über den Río Mexcala und Río Papagayo (beide 1991)



Bild 20 Modell der Metlac-Brücke (M 1:200) im Deutschen Museum
Foto: Deutsches Museum



Bild 21 Gesamtansicht der Brücke über den Maracaibo-See in Venezuela

Foto: Deutsches Museum



Bild 22 Ansicht der von Riccardo Morandi entworfenen Stützen für die Brücke über den Maracaibo-See Foto: Deutsches Museum

[30] oder entlang der Golfküste über die Mündungen des Río Coatzacoalcos oder den Río Grijalva in Tabasco (2000–2001), [31]. Eine besonders spektakuläre Brücke in Mexiko ist derzeit eine 1.124 m lange Schrägseilbrücke mit 520 m Spannweite, die zwischen 2004 und 2012 im Zuge der Autobahn Durango-Mazatlán in 402,57 m Höhe über den Río Baluarte erbaut wurde, z. B. [32].

Literatur

- [1] Bollinger, A.: So bauten die Inka. Dissenhofen: Rüeegger, 1979
- [2] Bühler, D.: La construcción de puentes en ciudades virreinales y su impacto en la estructura social y urbana. Boletín de Monumentos Históricos, Tercera Época 16 (2009) Mayo–Agosto, 142–154
- [3] Regal, A.: Los caminos del Inca en el antiguo Perú. Lima: Sanmartí, 1936
- [4] Estete, M.: Relación de la conquista del Perú (1535). In: Urteaga, H. (Hrsg.): Historia de los Incas y conquista del Perú. Lima: Sanmartí, 1924, 3–71
- [5] de Acosta, J.: Historia natural y moral de las Indias. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1979, 122–123
- [6] Regal, A.: Los puentes del Inca en el antiguo Perú. Lima: im Selbstverlag, 1972

- [7] De la Vega, G. (El Inca): Comentarios Reales de los Incas. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1991, 176
- [8] Herencia Ruiz, A.: El puente de barcas. In: Herencia, R.; Vázquez, R.; Alonso, E. (Hrsg.): Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla, Sevilla: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Verlag der andalusischen Ingenieurkammer), 1999, 11–29
- [9] Squier, G. E.: Peru. Reise- und Forschungserlebnisse in dem Lande der Incas. Leipzig: Max Spohr, 1883
- [10] von Humboldt, A.: Ansichten der Cordilleren und Monumente der eingeborenen Völker Amerikas. Frankfurt: Eichborn, 2004, Tafel XXXIII
- [11] Diego y Álvarez, A.: Un viaje fascinante por la América hispana del Siglo XVI. Madrid: Studium Ediciones, 1969, 268
- [12] Waman, P.: Nueva Corónica y Buen Gobierno. México, D.F.: Siglo XXI, 1980
- [13] Bühler, D.: El puente Q'eswachaca sobre el río Apurímac en Perú. In: Huerta, S.; López Ulloa, F. (Hrsg.): Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Madrid: Instituto Herrera, 2013, 123–132
- [14] Ochsendorf, J.: Engineering Analysis for Construction History: Opportunities and Perils. In: Dunkeld, M.; Campbell, J.; Louw, H.; Tutton, M.; Addis, B.; Thorne, R. (Eds.): Proceedings of the Second International Congress on Construction History, 29.3.–2.4.2006 in Cambridge (UK), Cambridge: Construction History Society, 2006, 89–107
- [15] Brachetti, Á.: El año en fiestas –La convivencia con los dioses en los Andes del Perú. Madrid: Ministerio de Cultura, 2005, 16–41
- [16] <http://whc.unesco.org/en/list/1463> (aufgerufen am 5.10.2016)
- [17] https://de.wikipedia.org/wiki/Aquädukt_des_Padre_Templeque (aufgerufen am 5.10.2016)
- [18] Castañeda de la Paz, M.: En busca de agua para no morir de sed – Fray Francisco de Templeque y la construcción del acueducto de Otumba y Zempoala. Toluca (Mexiko): Fondo Editorial Estado de México, 2015
- [19] Bühler, D.: Ferrocarril Mexicano: Die erste mexikanische Eisenbahn. Kurzführer zur Ausstellung im Deutschen Museum, München: Deutsches Museum, 2011
- [20] Bühler, D.: A monument of civil engineering: the first Mexican railway. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering History and Heritage 167 (2014) EH 4, 171–181
- [21] Fairbairn, W.: Die eisernen Träger und ihre Anwendung beim Hochbau und Brückenbau. Braunschweig: Verlag der Schulbuchhandlung, 1859
- [22] Bühler, D.: La construcción del ferrocarril mexicano (1837–1873); Arte e Ingeniería. Boletín de Monumentos Históricos – Tercera Época 18 (2010) Enero–Abril, 78–95
- [23] Ingram, W.: Kommentar ohne Titel im Appendix G. in: Low, E.: A review of the report of Captain Andrew Talcott. Transactions of the American Society of Civil Engineers (1916), Paper No. 1371, 1611
- [24] Anonym: A great Railway Enterprise. The Scientific American 15 (1866) 2, July, 18
- [25] Brief von Charles G. Talcott an Alfred L. Rives, May 17, 1866. Manuskript, Fundort: Alfred Landon Rives Papers, David M. Rubenstein Rare Book & Manuscript Library, Duke University (Durham, NC).
- [26] Bühler, D.: Ingeniería e ingenieros: diseño y construcción del puente de Metlac, en México. In: Huerta, S.; Fuentes, P. (Hrsg.): Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción, 13.–17.10.2015 in Segovia (Spain), Madrid: Instituto Juan Herrera Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 2015, Vol. 1, 269–278
- [27] García Cubas, A.; Castro, C.: Álbum del Ferrocarril Mexicano. México D.F.: Victor Debray, 1877
- [28] Palacio, J. (Hrsg.): Los Ferrocarriles de México (1837–1987). México D.F.: Ferrocarriles Nacionales de México, 1987, 71–98
- [29] Simons, H.; Wind, H.; Moser, H. (Hrsg.): Die Brücke über den Maracaibo-See in Venezuela: Die General-Rafael-Urdaneta-Brücke. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag, 1963
- [30] Fernández Troyano, L.: Tierra sobre el Agua. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Verlag der spanischen Ingenieurkammer), 1999
- [31] <http://www.cfcsl.com/en/cfcsl-bridges/> (aufgerufen am 13.01.2017)
- [32] <https://de.wikipedia.org/wiki/Baluarte-Brücke> (aufgerufen am 13.01.2017)