

DER BOGEN AUS HOLZ – MATERIALGERECHT KONSTRUIERT?

Zusammenfassung

In der Schweiz hat sich ein Bestand an circa 130 historischen Holzbrücken erhalten. Dies ist einzigartig, sind doch die einst weit verbreiteten Holzbrücken sonst fast überall verschwunden. Zwölf dieser Brücken, die zwischen 1803 und 1839 gebaut wurden, weisen ein besonderes Konstruktionsmerkmal auf: Bögen aus Holz.

Das Zuschneiden, Biegen und Zusammenfügen von Hölzern zu einem ›massiven‹ Bogen – ohne jegliche Verleimung – stellt eine konstruktive Herausforderung dar, die wahrscheinlich erstmals von Hans Ulrich Grubenmann 1767 bewältigt wurde. Er und seine Nachfolger entwickelten verschiedene Varianten dieser Konstruktion, die in groben Zügen in Abhandlungen des 19. Jahrhunderts nachzulesen sind. Die Techniken der Fügung der Bögen vor Ort wurde jedoch bisher nicht untersucht, weshalb spezifische Studien an den noch erhaltenen Schweizer Bogenbrücken durchgeführt wurden. In diesem Beitrag werden zwei Bogentypen (verzahnt und unverzahnt) diskutiert. Anhand von Befunden und Archivalien kann die Fügung einzelner Bauteile und der Aufbau ganzer Brücken rekonstruiert werden. Schließlich werden die Hintergründe dieser handwerklichen Meisterleistungen in ihrem historischen Kontext untersucht.

Abstract

Although the vast majority of historical timber bridges has been lost, a unique collection (about 130) is still in use in Switzerland. Among this group, twelve bridges built between 1803 and 1839 exhibit a pioneering structural feature: the laminated timber arch.

The cutting, curving and assembly of timbers into a massive arch – without any adhesive – is a considerable challenge likely first achieved by Hans Ulrich Grubenmann in 1767. He and his successors developed various solutions that can be traced in broad outline in 19th-century trea-

tises. However, the on-site implementation of laminating techniques had not been investigated so far, reason why detailed surveys were conducted in the remaining Swiss arch bridges. Based on new observations focussed on the lamination techniques, two types of arches (toothed and non-toothed) are discussed in this paper. The assembly methods of individual components and entire bridges are then reconstructed in the light of on-site findings and descriptions in historical sources. Finally, the reasons which motivated this technical feat are examined in their historical context.

Im Jahr 1767 errichtete der Schweizer Baumeister Hans Ulrich Grubenmann (1709–1783) im Klosterdorf Wettingen eine Brücke über die Limmat mit einer neuartigen Tragkonstruktion: einen aus mehreren Lagen mechanisch gebogener Balken zusammengesetzter Holzbogen (Abb. 1). Dies stellte das Initialbauwerk für eine kleine, aber sehr beachtenswerte Gruppe von Holzbogenbrücken in der Schweiz dar.

Bis mit der Reussbrücke in Mellingen¹ eine zweite Holzbogenbrücke errichtet wurde, vergingen jedoch fast dreißig Jahre. Diese wurde dann auch nicht mit einem Bogen aus verzahnten Lamellen wie in Wettingen, sondern aus unverzahnten Lamellen hergestellt. Gleiches gilt für die folgenden Brücken in Luzern und Eglisau. Der verzahnte Bogen wurde erst 1811

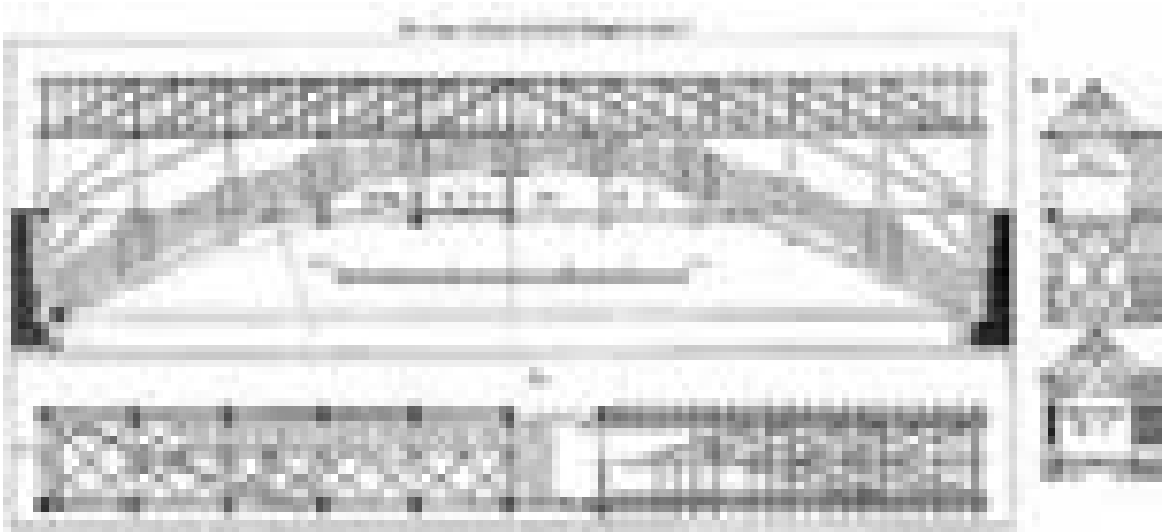


Abb. 1 Limmatbrücke, Wettingen, Hans Ulrich Grubenmann, 1767, zerstört 1799

¹ Brunner, Josef: *Beitrag zur geschichtlichen Entwicklung des Holzbrückenbaus in der Schweiz*. Bern 1924, S. 28.

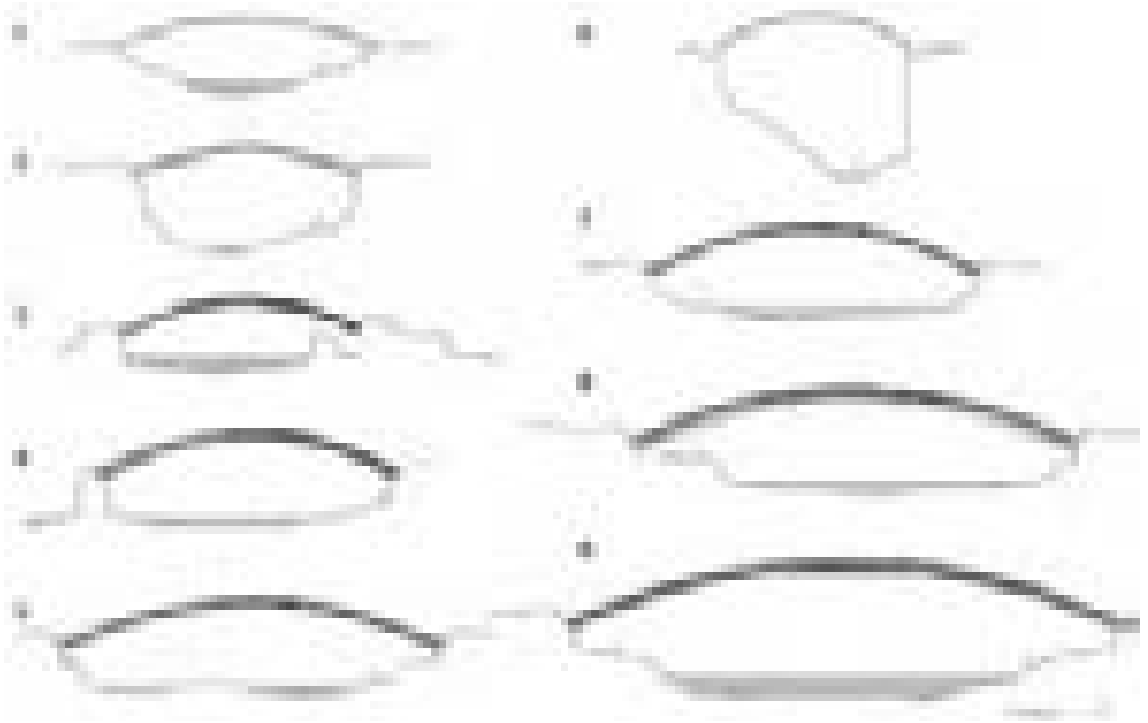


Abb. 2 Aufmäße der neun Bogentragwerke in den noch erhaltenen Schweizer Holzbogenbrücken – 1 Glattbrücke, Rümlang (23,5 Meter, 1767) – 2 Hergiswaldbrücke Kriens (24,3 Meter, 1791) – 3 Spreuerbrücke Luzern (25,6 Meter, 1803) – 4 Reussbrücke Sins (31,7 Meter, 1807) – 5 Horbenbrücke Eggiwil (41,3 Meter, 1834) – 6 Eggatobelbrücke Malix (20,5 Meter, 1837) – 7 Brunnmattbrücke Emmenmatt (35,6 Meter, 1837) – 8 Schüpbachbrücke Signau (47,8 Meter, 1839) – 9 Winterseybrücke Hasle (59,5 Meter, 1839)

in Bischofszell im Thurgau wieder aufgegriffen, aber ebenfalls zunächst ohne unmittelbare Nachfolge. Der unverzahnte Bogen blieb bis 1826 (Versamer Tobel) in Gebrauch und kam zunächst häufiger zur Anwendung, vielleicht aufgrund der einfacheren Herstellung. Die mit der fehlenden Verzahnung einhergehende geringere Steifigkeit, vor allem wenn die obligatorische radiale Verdübelung ebenfalls unzureichend ist, scheint zunächst nicht als relevantes Problem wahrgenommen worden zu sein.

In den 1830er-Jahren erlebten die Holzbogenbrücken einen letzten Boom, vor allem im Emmental. Alle dort gebauten Brücken enthalten, trotz vermeintlich aufwendigerer Herstellung, verzahnte Bögen. Möglicherweise waren die Probleme der unverzahnten und damit weniger steifen Bögen bis zu dieser Zeit bereits offenkundig geworden. Tatsächlich kam nur einer der unverzahnten Bögen von Joseph Ritter ohne Ertüchtigung aus – jener der berühmten Spreuerbrücke (Nordteil), welche nur Fußgängerverkehr aufnimmt, weist kein ergänzen-

des Tragwerk aus späterer Zeit auf oder wurde, wie bei der Brücke in Mellingen, von einem nachträglich errichteten Mittelpfeiler entlastet.²

Unter den zahlreichen historischen Holzbrücken der Schweiz sind die Bogenbrücken lediglich eine Randerscheinung. Uns sind nur siebzehn Exemplare bekannt, davon fünf mit unverzahnten Bögen und zwölf mit verzahnten Bögen.

Oftmals wird auch die Glattbrücke in Rümlang, einst in Oberglatt, als Bogenbrücke angesprochen,³ jedoch handelt es sich eher um ein Stabpolygon, welches aus krummgewachsenen Balken hergestellt wurde (Abb. 2, Nr. 1). Auch die Hergiswaldbrücke in Kriens (Kanton Luzern) wird oft zu den Bogenbrücken gezählt.⁴ Tatsächlich plante Baumeister Josef Ritter die Brücke mit einem unverzahnten Bogen,⁵ zur Ausführung kam jedoch ein Hängesprengwerk mit gebogen ausgesägtem Spannriegel (Abb. 2, Nr. 2).

Von den Brücken mit unverzahnten Bögen existieren noch jene in:

- Luzern, Spreuerbrücke (Nordteil), errichtet 1803 (Abb. 2, Nr. 3) und
- Sins (Aargau), Reussbrücke (Westteil), errichtet 1807, verstärkt 1824–1826 (Abb. 2, Nr. 4).⁶

Beide erhaltenen Brücken sind Werke des Luzerner Baumeisters Josef Ritter (1745–1809). Nicht mehr existieren die Brücken in Mellingen (1794, ebenfalls Josef Ritter), Eglisau (1811, Conrad Stadler) und über das Versamer Tobel (1826, Richard La Nicca).

Von den Brücken mit verzahnten Bögen existieren noch jene in:

- Eggwil (Kanton Bern), Horbenbrücke, errichtet 1834, seit 2007 vom Schwerverkehr entlastet (Abb. 2, Nr. 5),
- Malix (Graubünden), errichtet 1837 (Abb. 2, Nr. 6),
- Emmenmatt (Bern), Brunnmattbrücke, errichtet ursprünglich 1837 in Buebenei (Bern), versetzt nach Emmenmatt 1991 (Abb. 2, Nr. 7),
- Signau (Bern), Schüpbachbrücke, errichtet 1839 und 1934 für den Schwerlastverkehr verstärkt (Abb. 2, Nr. 8) und

² Brunner 1924 (Anm. 1), S. 28; N. N.: *Brücke in Mellingen*. In: Heimatschutz 20 (1925), H. 7, S. 112–114.

³ Röllin, Peter: *Holzbrückenbau in der Schweiz*. In: Heimatschutz 68 (1973), H. 1, S. 12.

⁴ Stadelmann, Werner: *Holzbrücken der Schweiz. Ein Inventar*. Chur 1990, S. 45. Auch die Informationstafel vor Ort bezeichnet das Bauwerk als Bogenbrücke. Rein formal ist tatsächlich ein ›Bogen‹ Bestandteil des Tragwerkes. Die Benennung als Bogenbrücke mag somit nicht gänzlich zu verwerfen sein. Tatsächlich sind die Balken des Spannriegels bogenförmig ausgesägt, das heißt es liegt keine mechanische Biegung vor. Die Fasern sind somit nicht gekrümmt, sondern in ungünstiger, den Balken schwächender Weise gekappt. Die Autoren ziehen es vor, eine Zuschreibung als Bogenbrücke nur aufgrund der Tragwirkung und einer dafür geeigneten Biegung der Balken vorzunehmen.

⁵ Alternativer Plan für die Hergiswaldbrücke mit unverzahntem Bogen (Staatsarchiv Luzern, PLA 187/79)

⁶ Ursprünglich war die gesamte Brücke mit unverzahnten Bogentragwerken errichtet. Nach der teilweisen Zerstörung im sogenannten Sonderbundkrieg 1847 wurde das Ostjoch mit einem Hängesprengwerk neu errichtet.

- Hasle (Bern), Winterseybrücke, errichtet 1839 zwischen Hasle und Rüegsau, 1957–1958 versetzt an den heutigen Standort in Wintersey (Gde. Hasle) (Abb. 2, Nr. 9).

Nicht mehr existieren die Brücken in Wettingen (erbaut 1769), Bischofszell (erbaut 1811), Reichenau (1819),⁷ Zollbrück (1840), Laupen (1852), Charmey (1854) und Henau (1858).

In allen Brücken sind die Bögen oberhalb der Fahrbahn angeordnet.⁸ Zusammen mit den immer in der Ebene der Fahrbahn liegenden Streckbalken (Bogensehne) bilden sie ein Kreissegment. Meist werden die Bögen bis an das massive Widerlager geführt und mit den (oftmals aufgedoppelten) Streckbalken überblattet. In nur drei Brücken endet der Bogen auf dem Streckbalken, mit dem er schubfest verbunden ist (Bowstring-Konstruktion). Dabei ist unerheblich, ob es sich um einen verzahnten (Brücken in Bischofszell und Malix) oder unverzahnten Bogen (Brücke über das Versamer Tobel) handelt.

An den Bögen sind stets zangenförmige Hängesäulen angebracht, welche unten den Fahrbahnquerträger und oben ein Rähm als Schwelle für die Dachkonstruktion aufnehmen. Sie sind somit unterhalb des Bogens auf Zug, darüber auf Druck beansprucht. Immer befinden sich auch seitlich der Bögen Pfosten, die auf oder direkt neben den massiven Widerlagern stehen und den Hängesäulen baugleich sind. Bogen, Hängesäulen, Pfosten, Streckbalken und (meistens) ergänzende Sprengwerke bilden zusammen die Tragwand. Die Verbindung von Hängesäule und Fahrbahnquerträger ist der Schwachpunkt jeder Brücke, weshalb hier immer rezente Ertüchtigungen vorzufinden sind. Die einzelnen Lamellen sind aus jeweils mehreren Balken zusammengesetzt, wobei es keinen Zusammenhang zwischen der Länge dieser Balken und den Krümmungsradien geben muss – so sind die längsten Balken im Bogen der Winterseybrücke in Hasle bei einem Radius von 65,3 Metern über 27 Meter lang. Bei der Spreuerbrücke in Luzern erreichen die längsten Bogenbalken bei einem Radius von 24,8 Metern eine Länge von immerhin 22 Metern.

Die sieben noch bestehenden Brücken wurden mittels Laserscan aufgenommen und eingehend untersucht. Dabei standen jeweils die Bögen und deren potenzielle Ertüchtigungen beziehungsweise Verformungen und anderweitige Schäden im Fokus. Somit diente das Bauwerk als vorrangige Quelle für die abschließenden Überlegungen zur Materialgerechtigkeit. Der Bestand der erhaltenen Bogenbrücken wird im Folgenden kurz beschrieben.

⁷ Dubas, Pierre: *Beitrag der Baumeister Grubenmann zur Entwicklung des Holzbrückenbaus*. In: Schweizer Ingenieur und Architekt 101 (1983), H. 25, S. 687. Nach Dubas handelte es sich um einen verzahnten Bogen.

⁸ Im Gegensatz zu den Schweizer Brücken mit Holzbogen sind die Bögen in französischen Konstruktionen meist unterhalb der Fahrbahn angeordnet. Auch bei den Brücken des Bayerischen Baumeisters Carl Friedrich von Wiebeking sind die Bögen stets unterhalb der Fahrbahn angeordnet, was wohl ein Grund für deren Kurzlebigkeit war, vgl. auch Batsch, Carl: *Hydrotechnische Wanderungen in Baiern, Baden, Frankreich und Holland, gemacht im Jahre 1821*. Weimar 1824–1825; Holzer, Stefan M.: *Hölzerne Brücken in der Schweiz*. Zürich: ETH, Institut für Denkmalpflege und historische Bauforschung. Vorlesungsskript 2018, S. 32–34.

Brücken mit unverzahnten Holzbögen

Der nördliche Abschnitt der Spreuerbrücke in Luzern⁹ wurde im Jahr 1803 durch den Luzerner Baumeister Josef Ritter errichtet (Abb. 2, Nr. 3). In Verbindung zu dem 1591 errichteten Südteil überbrückte Ritter die hier durch Wasserbauten kanalisierte Reuss mit einem sechslagigen, unverzahnten Bogen. Der Bogen ist direkt auf die massiven Widerlager gestützt und überspannt 25,6 Meter. Der Bogenradius beträgt 24,8 Meter. An dem Bogen sind je vier zangenförmige Hängesäulen befestigt, welche die Fahrbahnquerträger aufnehmen. Außerhalb des Kreissegments sind beiderseits noch je zwei Paare zangenförmiger Pfosten angeordnet.

Die Bogenlamellen sind mit eisernen Bolzen verschraubt, allerdings sind je Binderfeld (Bereich zwischen zwei Hängesäulen) lediglich zwei Bolzen angeordnet – offenbar deutlich zu wenige.¹⁰ Die für die Herstellung einer quasi monolithischen Wirkung notwendige Reibungskraft zwischen den Lamellen ist nicht gegeben, teilweise öffnen sich mehrere Zentimeter breite Spalten.

Die Reussbrücke zwischen Sins und Hüenenberg¹¹ wurde im Jahr 1807 von Josef Ritter errichtet. Die originale Konstruktion ist nur noch im westlichen Teil der zweijochigen Brücke erhalten, der östliche Teil wurde nach einer Kriegszerstörung im Jahr 1848 mit Hängesprengwerken wiedererrichtet. Ritter konstruierte über die Spannweite von 31,7 Metern einen siebenlagigen, unverzahnten Bogen, der sich landseitig gegen das massive Widerlager und in Flussmitte gegen den Mauerwerks Pfeiler, der einst auch den Bogen des zweiten Joches aufnahm, stützt. Je sechs zangenförmige Hängesäulen tragen die Fahrbahnquerträger und, zusammen mit beiderseits je einem weiteren Pfostenpaar, das Dachwerk. Seit 1826 ergänzt ein Sprengwerk die Tragkraft des Bogens, der eine (möglicherweise schon damals sichtbare) Verformung aufweist.

Beide erhaltenen Brücken veranschaulichen die unzureichende Tragfähigkeit unverzahnter Holzbögen in der Ausführung Ritters, sichtbar an den klaffenden Lücken zwischen den Lamellen (Luzern, Abb. 3), oder den später ergänzten Hilfstragwerken (Sins). Abhilfe hätte wohl eine viel umfangreichere Verschraubung der Lamellen geschaffen. Auch die nicht mehr existierende Brücke in Mellingen (1794, ebenfalls Ritter) wies entsprechende Probleme auf.¹² Jene in Eglisau (1810, Konrad Stadler) bestand bis 1919 und wurde wegen der Anstauung des Rheins abgetragen.¹³ Die Brücke über das Versamer Tobel (1826, La Nicca) stürzte 1896 ein.¹⁴

⁹ Reinle, Adolf: *Die Stadt Luzern. Erster Teil* (Die Kunstdenkmäler des Kantons Luzern, Bd. II). Basel 1953, S. 94–103.

¹⁰ Die Bolzen sind allesamt erneuert.

¹¹ Germann, Georg: *Der Bezirk Muri* (Die Kunstdenkmäler des Kantons Aargau, Bd. V). Basel 1967, S. 487–490.

¹² Brunner 1924 (Anm. 1), S. 28.

¹³ Killer, Josef: *Die Werke der Baumeister Grubenmann*. Zürich 1959, S. 52–57.

¹⁴ Die Umstände und Ursachen des Einsturzes sind den Autoren nicht bekannt.



Abb. 3 Spreuerbrücke, Luzern

Brücken mit verzahnten Holzbögen

Die 1834 von den Baumeistern Samuel (1802–1883) und Johannes Stucki (1800–1872) mit einer Spannweite von 41,3 Metern über die Emme geschlagene Horbenbrücke in Eggiwil¹⁵ (Ortsteil Aeschau), ist die älteste noch bestehende Brücke mit verzahntem Holzbogen (Abb. 4). Der vierlagige Bogen trägt acht Paare zangenförmiger Hängesäulen, an denen die Fahrbahnquerträger (mithilfe zusätzlicher Fußbänder) befestigt sind. Auffällig sind die besonders sorgfältig hergestellten Längsverbindungen der Bogensegmente. Die Lamellen sitzen durch die Verzahnung mit anschließender Verkeilung fest aufeinander. Im mittleren Bereich werden die Hängesäulen zusätzlich durch ein Sprengwerk unterstützt.

Sehr ähnlich ist die 1837 errichtete, 35,6 Meter weit spannende Brunnmattbrücke bei Emmenmatt¹⁶ konstruiert. Sie wurde von ihrem einstigen Standort Buebenei (wenige Kilometer flussaufwärts) im Jahr 1991 nach Emmenmatt versetzt und vom Verkehr befreit. Die noch am alten Standort angebrachten Ertüchtigungen wurden im Zuge der Translozierung wieder entfernt.¹⁷

¹⁵ Kanton Bern: *Bauinventar, Gemeinde Eggiwil*, https://apps.dynasphere.de/0001/report/rep_OBJEKT_bauinventar_209094.pdf?ts=63764193360 (30. September 2021).

¹⁶ Kanton Bern: *Bauinventar, Gemeinde Signau*, https://apps.dynasphere.de/0001/report/rep_OBJEKT_bauinventar_224334.pdf?ts=63729982527 (30. September 2021).

¹⁷ Schweizer, Daniel: *Holzbrücken-Weg*, <https://holzbruecken-weg.ch/images/pdf/info-tafeln.pdf> (31. August 2021).



Abb. 4 Horbenbrücke, Eggiwil

Die größten Lasten schultert noch die 1839 errichtete, 47,8 Meter weit spannende Schüpbachbrücke in Signau¹⁸ im Emmental. Sie ist – als einzige der hier vorgestellten Brücken – nach wie vor für den Schwerlastverkehr (bis 28 Tonnen) geöffnet. Dies wurde durch eine 1934 erfolgte Verstärkung des vierlagigen, verzahnten Bogens durch verdübelte Balken ermöglicht. Man «füllte» einfach den offenen Bereich zwischen dem Bogen und dem darunterliegenden Sprengwerk innerhalb der Tragwand aus, womit die Höhe des Bogens mittig verdoppelt wurde.¹⁹ 14 Paare zangenförmiger Hängesäulen nehmen die Fahrbahnquerträger auf, auch diese wurden in jüngerer Zeit ertüchtigt.

Die größte der noch bestehenden historischen Holzbogenbrücken ist die 1839 errichtete Winterseybrücke in Hasle bei Burgdorf²⁰ (Abb. 5). Sie überquert den Fluss Emme mit einer Spannweite von 59,5 Metern, ein Wert, der (in der Gruppe der Holzbogenbrücken) einst nur von der Limmatbrücke in Wettingen (61 Meter) und der Rheinbrücke in Reichenau

¹⁸ Meyer-Usteri, Konrad: *Die Aarebrücke von Wangen: ein Beispiel der noch bestehenden Berner Holzbrücken*. In: Schweizerische Bauzeitung 25 (1967), H. 23, S. 413–417; Kanton Bern: *Bauinventar, Gemeinde Signau*, https://apps.dynasphere.de/0001/report/rep_OBJEKT_bauinventar_223580.pdf?ts=63764194508 (30. September 2021).

¹⁹ Stadelmann 1990 (Anm. 4), S. 171–172.

²⁰ Kanton Bern: *Bauinventar, Gemeinde Hasle bei Burgdorf*, https://apps.dynasphere.de/0001/report/rep_OBJEKT_bauinventar_234507.pdf?ts=63764275787 (30. September 2021); Meyer-Usteri 1967 (Anm. 18), S. 413–417.



Abb. 5 Winterseybrücke, Hasle

(67 Meter) übertroffen wurde.²¹ Einst verband die Brücke die Ortschaften Hasle und Rüegsau. Auch sie musste einem Neubau weichen, wurde aber in den Jahren 1957–1958 in dem kleinen Weiler Wintersey, wenige hundert Meter flussabwärts, wiedererrichtet.²² Von 300 Kubikmetern verbautem Bauholz wurden nur 42 Kubikmeter ersetzt.²³ Die Bögen lagerte man im Ganzen ein und verbrachte sie im montierten Zustand an den neuen Standort. Die siebenlagigen, verzahnten Bögen tragen je dreizehn zangenförmige Hängesäulen. Die Hängesäulen nehmen nicht nur die Fahrbahnquerträger, sondern auch einen weiteren, zweilagig verzahnten Bogen auf, der wiederum den kreuzförmigen Windverband aufnimmt. In den mittleren vier Feldern werden die Bögen durch Sprengwerke zusätzlich abgestützt. Auch der Streckbalken, und damit die Fahrbahn, ist leicht gebogen. Schließlich sind auch in der Dachebene zweilagig verzahnte Bögen angebracht, welche die Dachlasten näher an die Auflagerseiten leiten sollen. Nicht nur wegen der Spannweite, sondern auch wegen der formalen Konsequenz in der Nutzung des Bogentragwerks kann die Winterseybrücke als Spitzenleistung des historischen Holzbogenbrückenbaus angesprochen werden.

²¹ La Nicca, Richard: *Die Brücke von Reichenau über den Rhein*. In: *Zeitschrift über das gesamte Bauwesen* 4 (1840), H. 7, S. 254–255 und Tafel XX–XXI.

²² Röllin 1973 (Anm. 3), S. 23.

²³ Stadelmann 1990 (Anm. 4), S. 188.

Aus der Gruppe der Brücken mit verzahnten Bögen schert die deutlich kleinere, im Jahr 1837 errichtete Eggatobelbrücke in Malix²⁴ (Graubünden) aus. Der zweilagige, verzahnte Holzbogen spannt über 20,5 Meter. Die Einzelsegmente der Lamellen sind sehr kurz und immer an den Schnittpunkten mit den je sechs zangenförmigen Hängesäulen gestoßen. Der Balkenstoß wird somit durch die Hängesäulen gesichert – ein älteres Prinzip, das bereits an der 1767 durch Johannes Grubenmann (1707–1771) errichteten Glattbrücke in Glattbrugg (heute versetzt nach Rümlang, Kanton Zürich) zur Anwendung kam.

Dass sich der Bau von Bogenbrücken im Emmental um 1837 häufte, liegt in einem verheerenden Hochwasser der Emme begründet, welches am 13. August 1837 fast alle Brücken mitriss. Die einzige schon vor dem Hochwasser errichtete Bogenbrücke, die Horbenbrücke in Eggiwil (1834), hielt stand.²⁵ Folglich war das Bestreben, auch die Neubauten frei über den Fluss spannend zu errichten. Es ist anzunehmen, dass die Horbenbrücke dafür als Vorbild diente und der Bogen somit zwischen 1837 und 1839 eine kurze Renaissance erleben konnte.

Aufbauprozess einer Holzbogenbrücke

Die Frage, wie leicht sich die Konstruktionen herstellen ließen, ist auch ein Aspekt der Materialgerechtigkeit, welcher folglich untersucht werden soll. Die Bögen bestehen aus Balken, die mechanisch gebogen werden mussten. Carl Friedrich von Wiebeking beschrieb das Verfahren im dritten Band seiner *Theoretisch-practischen Wasserbaukunst* von 1814 (Abb. 6).²⁶

Die Balken werden demnach auf einem Werkplatz vorgebogen. Das Biegen geschieht mithilfe von Winden auf einem aus Rundhölzern gefertigten Formgerüst. Die unterste Balkenlage wird mittels Pfosten, die fest im Boden verankert und an den gebogenen Balken festgenagelt werden, fixiert. Eine unmittelbare Rückverformung wird somit verhindert. Die weiteren Lamellen werden nacheinander auf die unteren Lagen aufgebogen und mittels kürzerer Rundhölzer miteinander fixiert. Die Bogenenden haben bereits ihre im fertigen Zustand benötigten Versätze und werden von passenden Sattelhölzern fixiert.²⁷ Laut von Wiebeking müssen die Balken in dieser Weise mindestens zwei bis vier Monate auf dem Formgerüst fixiert bleiben, um keine zu großen Rückverformungen zu riskieren. Die Balken sollten noch feucht eingespannt werden, sodass die Fasern im gekrümmten Zustand trocken. Dies ergäbe die bestmögliche Spannkraft.²⁸

²⁴ Ebd., S. 309.

²⁵ Gotthelf, Jeremias: *Die Wassernot im Emmental, geschrieben 1837*, <https://www.projekt-gutenberg.org/gotthelf/wassernt/wassernt.html> (30. September 2021).

²⁶ von Wiebeking, Carl Friedrich: *Theoretisch-practische Wasserbaukunst*. 3. Bd. München 1814, S. 415–424.

²⁷ Die Abbildung zeigt das Sattelholz nur auf der linken Seite. Rechts nehmen vertikale Pfosten (Buchstaben) die Bogenenden auf, vgl. von Wiebeking 1814 (Anm. 26), Taf. III, Fig. II.

²⁸ Ebd., S. 417.



Abb. 6 Montage eines (unverzahnten) Holzbogens

Diese Methode schlug von Wiebeking jedoch nur für Fälle vor, bei denen keine Biegung direkt auf dem Aufstellgerüst (Pfahlgerüst) der Brücke möglich sei. Grundsätzlich sollten alle Bögen direkt an ihrem Bestimmungsort hergestellt werden (Flussrüstung), da der Arbeitsgang des Ausrüstens vom Formgerüst und des Wiederaufbaus über dem Fluss entfällt.²⁹

Richard La Nicca schlug eine Bauweise vor, die von Wiebekings Flussrüstung nahekommt. Er wandte diese beim Bau seiner Brücke über das Versamer Tobel in Graubünden (1826) an. Die Balken wurden demnach am Zimmerplatz an beiden Enden aufgebockt. Mittig wurde allerlei Bauholz auf die Balken gelegt, sodass sich durch das Gewicht des aufgelegten Materials allmählich eine Biegung einstellte. Diese hatte durch das Fehlen eines Formgerüsts natürlich noch nicht den gewünschten Radius. Dies war jedoch kein Nachteil, denn die Balken wurden bei dieser Bauweise erst auf dem Aufstellgerüst der Brücke endgültig in die richtige Form gebogen. Die zangenförmigen Hängesäulen fixierten die Lamellen des (hier unverzahnten) Bogens miteinander und verhinderten eine Rückverformung.³⁰ Ein Unterschied in den Verfahren La Nicca und von Wiebeking liegt in der Anordnung des Bogens unter beziehungsweise über der Fahrbahn. La Nicca nutzte die Bowstring-Konstruktion seiner Brücke geschickt aus, um die mit dem Streckbalken fest verbundenen Hängesäulen zugleich als Ersatz für

²⁹ Ebd., S. 415.

³⁰ La Nicca, Richard: *Beschreibung der Brücke über das Versamer Tobel*. In: Zeitschrift über das gesamte Bauwesen 2 (1837), S. 213–221.

Bogenlehren zu benutzen. Durch das Vorbiegen waren die Balken relativ einfach in ihre endgültige Lage zu bringen.³¹

Bei den verzahnten Bögen musste vorab die Verzahnung eingesägt werden. Franz Sax beschreibt diesen Vorgang für eine Brücke mit verzahntem Bogen, der unterhalb der Fahrbahn liegt.³² Er bildet den Aufbau des Bogens aus drei Lagen verzahnter Balken auf einem Aufstellgerüst ab. Die Lamellen sind schon vorgebogen und die Verzahnung ist schon eingeschnitten. Sax verweist dafür auf seine Beschreibung der Herstellung eines verzahnten, nur leicht gebogenen Balkens,³³ die auch für die Bogenbrücken anzuwenden sei. Die Verfasser haben versucht, diese Vorgehensweise an einem stärker gekrümmten Bogen, so wie er den hier besprochenen Bogenbrücken (und auch dem von Sax dargestellten Beispiel einer Bogenbrücke) eher entspricht, anzuwenden (Abb. 7).

Die aufeinander gebogenen Lamellen werden für die Anzeichnung der Verzahnung noch auf dem Formgerüst belassen.³⁴ Die Länge der einzelnen Diagonalschnitte wird radial auf die übereinander liegenden Hölzer aufgetragen. Für die Anzeichnung der Schnittkanten wird ein Lineal hergestellt, dessen Schmalseite die Zahntiefe vorgibt. Dieses wird an seinem linken Ende an den Schnittpunkt von Balkenkante und radialer Anzeichnung gehalten. Das Lineal wird dann diagonal so angelegt, dass die Unterkante sich mit der rechts davon folgenden Anzeichnung an der Balkenkante verschneidet. Die Kanten des Lineals geben nun die parallelen Schnittkanten vor und werden entsprechend angezeichnet. Die Balken werden anschließend vom Formgerüst genommen und anhand der Markierungen zugeschnitten. Die Krümmung der Balken hat zur Folge, dass zwar die Schnittkanten parallel aufeinanderliegen, jedoch die obere Kante jeweils etwas länger ist als die untere Kante (Außenkurve zu Innenkurve). Dies erfordert einen Ausgleich, der mithilfe von Keilen hergestellt wird. An allen untersuchten Beispielen lässt sich dieser Befund feststellen: in unregelmäßigen Abständen (da sich der ›Fehler‹ kumuliert) werden jeweils Keil und Gegenkeil in die Lücken eingetrieben. Die Keile erfüllen gleich zwei Aufgaben – den Ausgleich der beschriebenen herstellungsbedingten Ungenauigkeit und das feste ›Nachspannen‹ des Bogens.

Sobald alle Hölzer entsprechend zugesägt sind, kann mit dem Aufbau der Brücke begonnen werden. Dies geschieht, wie zeitgenössische Darstellungen in Traktaten³⁵ belegen, mit-

³¹ Die zangenförmigen Hängesäulen waren wohl mit den Bögen überblattet. Da sich die Lamellen erst mit Einbau der obersten Lage nicht mehr zurückverformen können, muss dies innerhalb der Überblattung bis anhin mit Abstandshaltern gewährleistet worden sein.

³² Sax, Franz: *Bau-Technologie und Bau-Oekonomie*. 3. Bd.: Von der Zimmermannskunst. 2. Aufl. Wien 1833, S. 118–119, §249.

³³ Ebd., S. 60–61, §§121–122.

³⁴ Eine nur grobe Vorbiegung der Balken wie beim Bau der Brücke über das Versamer Tobel, vgl. Anm. 30, kommt für verzahnte Bögen nicht infrage. Hier ist die exakte Vorbiegung für das Anzeichnen der Verzahnung eine Bedingung.

³⁵ von Wiebeking 1814 (Anm. 26); Brust, Michael: *Praktische Darstellung wichtiger Gegenstände der Zimmerbaukunst mit acht und fünfzig Kupfertafeln und deren Erklärung*. Prag 1800, Taf. LV und LVI.; Holzer, Stefan M.: *Gerüste und Hilfskonstruktionen im historischen Baubetrieb*. Berlin 2021, S. 409–411.

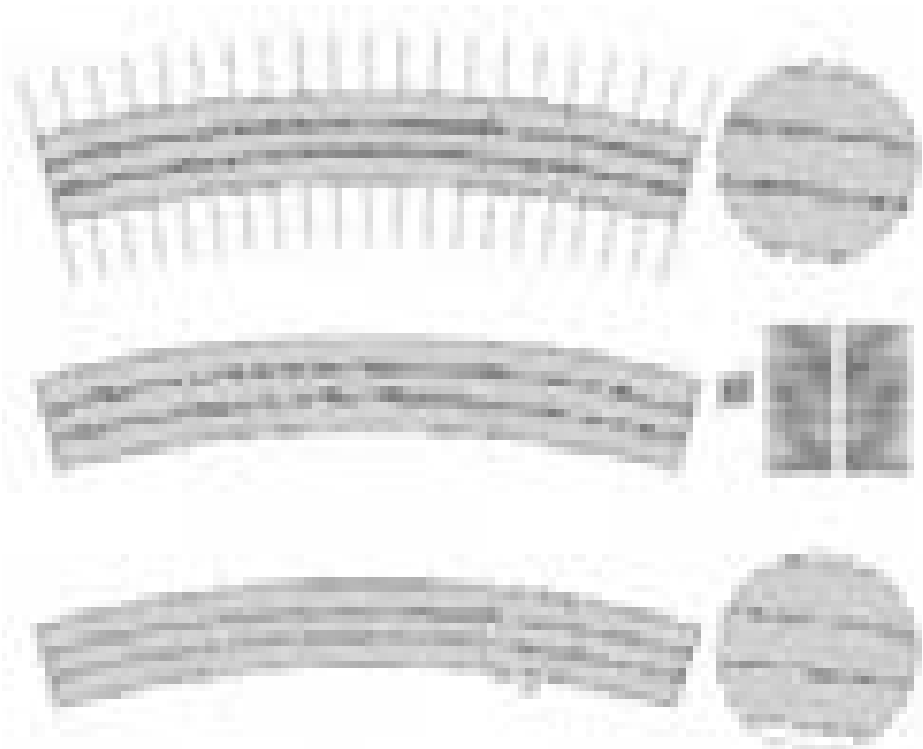


Abb. 7 Herstellung der Verzahnung am gebogenen Balken

hilfe eines Aufstellgerüsts und soll am Beispiel der Winterseybrücke in Hasle nachfolgend kurz rekonstruiert werden (Abb. 8). Auf das Gerüst werden zunächst die Fahrbahnquerträger gelegt. Darauf wird der untere Holzbogen mitsamt dem Windverband errichtet. Nachfolgend werden die äußeren Hälften der Hängesäulen aufgestellt und darin die Streckbalken sowie die Streben und der Spannriegel des unterstützenden Sprengwerks fixiert. Die einzelnen Lamellen der großen Bögen haben sich nach dem Biegeprozess auf dem Formgerüst wieder leicht zurückgebogen. Sie werden nun auf dem Aufstellgerüst in ihre endgültige Form gebracht. Dafür werden sie am unteren Ende fixiert und, analog der oben beschriebenen Vorgehensweise La Niccas, mit Winden in die Sassen der Überblattungen an den Hängesäulen gezogen und mit Abstandhaltern am Ausweichen gehindert. Die Ungenauigkeiten von der Herstellung der Verzahnung werden nun durch Eintreiben der Keile ausgeglichen. Anschließend werden die inneren Hälften der Hängesäulen angebracht. Der Bogen ist nun endgültig fixiert und wird schließlich noch mit Bolzen radial zum Bogenmittelpunkt verschraubt.

Die Hängesäulen dienen somit während des Aufstellprozesses als Pfosten und als Bogenlehren, ihre endgültige (fast gegenteilige) Aufgabe als Hängesäule kommt ihnen erst nach

Montage der letzten Teile der Brücke zu. Ähnliche Befunde zur unterschiedlichen Funktion der Hängesäulen während und nach dem Aufstellprozess ließen sich auch in Dachwerken beobachten.³⁶ Schließlich konnten das Rähm zur Auflage der Dachkonstruktion auf den Hängesäulen fixiert, die oberen Windverbände angebracht und das Dach aufgebaut werden.

Der hier vorgeschlagene Vorgang geht auf die Besonderheiten der Brücke in Hasle ein, deren unterste Ebene ebenfalls gebogen ist. Eine zeitgenössische Zeichnung eines Aufstellgerüsts für den Bau der Brücke über das Versamer Tobel von Richard La Nicca zeigt, dass die Vorgehensweise bei einer horizontalen Brückenbasis nicht wesentlich anders ist. Hier wurde der Streckbalken zuerst aufgelegt, weswegen Abstandhalter zwischen Streckbalken und Gerüst vorgesehen waren. Diese ermöglichten, die tiefer reichenden Hängesäulen mit den Fahrbahnquerträgern nachträglich anzubringen.

Zusammenfassende Beobachtungen zur Funktionalität und Materialgerechtigkeit des Holzbogens

Vergleicht man zunächst die Holzbogenbrücke mit einer zeitgenössischen Hängewerkskonstruktion vergleichbarer Spannweite, so fällt auf, dass Erstere deutlich weniger Knotenpunkte und somit auch weniger potenzielle Schwachpunkte aufweist. Vielleicht ließe sich gar unterstellen, dass Hans Ulrich Grubenmann die Wetzinger Brücke mit ihrem quasi »mono-



Abb. 8 Hypothese zum Aufbau der Winterseybrücke in Hasle bei Burgdorf

³⁶ Knobling, Clemens: *Münchener Dachwerke*. Regensburg 2019, S. 191.

lithischen Bogen als Gegenmodell zu seiner neun Jahre älteren, wesentlich komplexeren Rheinbrücke in Schaffhausen entworfen hat. Dass die Lamellen des Bogens dafür ausreichend untereinander fixiert sein müssen, war Grubenmann bewusst. Josef Ritter sah in seinen unverzahnten Bögen möglicherweise eine Vereinfachung, bei denen sich allerdings die monolithische Wirkung nicht einstellte.

Die Darstellung des Biegevorgangs zeigt, dass genau dieser scheinbar aufwendige Prozess nicht allzu schwierig, durch die Lösung von La Nicca vielmehr bestechend einfach war. Das Holz kann somit seine Vorteile beim Bau druckbelasteter Bauteile und somit auch bei einem Bogen voll zur Geltung bringen.

Eine Bewertung von ›Materialgerechtigkeit‹ im historischen Holzbau erscheint anhand der Holzbogenbrücken schwierig. Analytische Nachweise sind allein nicht zielführend. Auch Aspekte, die heute vielleicht nur eine untergeordnete Rolle spielen, etwa die Verfügbarkeit von Material und von lokal abrufbarem Wissen, sollten miteinbezogen werden. Sowohl die Verfügbarkeit von Holz als auch von gut ausgebildeten Zimmerleuten scheint gegeben gewesen zu sein.

Solche Faktoren sind dem Aufwand der Herstellung gegenüberzustellen. Das Ergebnis und somit die Antwort auf die Frage nach der Materialgerechtigkeit wird daher immer von den zeitgenössischen Gegebenheiten vor Ort beeinflusst sein.