

Stefan M. Holzer

Gerüste und Hilfskonstruktionen im historischen Baubetrieb

Geheimnisse der Bautechnikgeschichte

- ein weiteres Buch und Referenzwerk in der Reihe für die Bauforschung mit ingenieurwissenschaftlichem Hintergrund
- auch interessierten Laien erschließen sich die großen Bauaufgaben aus den vergangenen Jahrhunderten mit ihren Problemen und Bauprozessen
- reich illustriert

Der Autor erzählt die faszinierende Geschichte der Lehrgerüste im Hoch- und Brückenbau sowie der Arbeits- und Transportgerüste durch die Jahrhunderte. Die Verbreitung von Bauweisen und Konstruktionstypen wird nachverfolgt und die Herausbildung von Bautechnologien wird gezeigt.

BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236

marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3175



2021 · 80 Seiten · 462 Abbildungen

Hardcover

ISBN 978-3-433-03175-9

€ 79*

ÜBER DAS BUCH

Dieses Buch enthüllt die Geheimnisse um die Gerüste und Hilfskonstruktionen, welche von Baumeistern und Handwerkern, später von Ingenieuren, seit der römischen Antike erdacht und fortentwickelt wurden, um riesige Bauwerke zu errichten. Die Transport- und Arbeitsgerüste sowie die Lehrgerüste der Vergangenheit sind ein faszinierender Bestandteil der Bautechnikgeschichte. Sie haben jedoch an den historischen Bau- denkmälern bestimmungsgemäß meist nur geringe Spuren hinterlassen.

Der Autor behandelt den Zeitraum von der römischen Antike bis zu den ersten fotografischen Baustellendokumentationen, wie z. B. bei der Reparatur von Kriegsschäden nach deutschem Artilleriebeschuss 1870 am Panthéon in Paris.

Die Herkunft und Ausbreitung der verschiedenen Gerüsttypen in Europa werden aufgezeigt und diskutiert. Dabei hat der Autor viel Neuland erschlossen und teils bisher nichtveröffentlichtes oder nur verstreut erwähntes Material aufbereitet und ausgewertet.

Erstaunliche Planungsdokumente werden dem Leser zugänglich gemacht, wie z. B. detaillierte Erläuterungen aus dem 17. Jahrhundert darüber, wie das Gerüst zum Bau einer Kuppel auszusehen hat, was es kostet und wie der Bauvorgang ist. Auch berühmte überlieferte Gerüstprobleme werden dargestellt und erläutert – das Lehrgerüst für den Petersdom in Rom oder das Transportgerüst für den Vatikan-Obelisk im 16. Jahrhundert sind auch für bautechnisch interessierte Laien Höhepunkte der Baugeschichte.

Einen wichtigen thematischen Schwerpunkt bilden die Lehrgerüste für Gewölbe, denn sie haben bis heute praktische Folgen bei der Bewertung und Ertüchtigung von historischen Wölbkonstruktionen, deren Abweichungen nur mit Kenntnis der Lehrgerüste erklärbar sind.

Die umfassende Darstellung der Weiterentwicklung der Gerüste in engem Zusammenhang mit der Brückenbautechnologie und dem Aufkommen von Zementmörtel und Beton schließt den Gang durch die Geschichte der Gerüste, unter Berücksichtigung der Krane und Hebezeuge sowie der Baustellenorganisation ab.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03175-9	Gerüste und Hilfskonstruktionen im historischen Baubetrieb[...]	€ 79*

☐ Privat

☐ Geschäftlich

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:

Tel. +49 (0)30 47031-236

Fax +49 (0)30 47031-240

marketing@ernst-und-sohn.de

108208 Free Shipping

Firma UST-ID Nr.

Name Vorname Telefon

Straße Nr.

PLZ/Ort/Land E-Mail

www.ernst-und-sohn.de/3175

Datum/Unterschrift

Stefan M. Holzer

Gerüste und Hilfskonstruktionen im historischen Baubetrieb

Geheimnisse der Bautechnikgeschichte

Vorwort

Das vorliegende Buch ist die Frucht jahrelanger, zeitweise durchaus sehr mühsamer, vielfach aber auch enthusiastischer Arbeit. Um etwa 2012 habe ich begonnen, mich intensiver mit der Geschichte der Baugerüste zu beschäftigen. Glücklicherweise erkannte ich gleich zu Anfang, dass das Sujet nicht als Thema für die Promotion eines jungen Wissenschaftlers geeignet war, da es nahezu unmöglich schien, das notwendige Material in einigermaßen überschaubarer Zeit systematisch zu sammeln. Vielmehr war Geduld gefordert, um bei unzähligen Besuchen an historischen Bauwerken stets bewusst und mit aufmerksamem Blick nach entsprechenden Spuren zu suchen, bei der Lektüre von historischen Quellen immerfort kleine Hinweise zu sammeln und bei Begegnungen mit Fachkollegen zu fragen, wer Hinweise geben könnte. Über Jahre blieb das Thema mein eigenes Privatforschungsgebiet, neben all den anderen Aufgaben, die sich insbesondere mit meinem Wechsel auf die Professur für Bauforschung und Konstruktionsgeschichte an der ETH Zürich im Jahre 2016 ergaben.

Der Austausch mit Fachkollegen war schon bald in Gang gekommen. Schon am 21. und 22. Februar 2014 hielten wir – Clemens Voigts und ich – an der Universität der Bundeswehr München, meiner damaligen Wirkungsstätte, ein internationales Kolloquium zum Thema der historischen Baugerüste ab. Diese Tagung wurde von rund achtzig hochmotivierten Teilnehmern besucht und brachte rege Diskussionen in Gang, die für die weitere Arbeit wichtig waren. Es wurde auch deutlich, dass ein breites Interesse existierte, mehr über das Thema zu wissen. 2015 gewährte mir die Deutsche Forschungsgemeinschaft eine Sachbeihilfe, die es mir unter anderem ermöglichte, die faszinierenden Gerüstmodelle am *Conservatoire des Arts et Métiers* in Paris in näheren Augenschein zu nehmen und das Lehrgerüst der Brücke von Grins aufzumessen; auch ein Sachkostenzuschuss zur vorliegenden Publikation wurde damals gezahlt, ohne den das Buch nicht entstanden wäre.

Bis zum Buch war es aber noch ein weiter Weg. Nur der fast unendlichen Geduld des Verlages Ernst & Sohn habe ich es zu verdanken, dass der Autorenvertrag nicht einfach irgendwann aufgelöst und das Projekt gestrichen wurde. An dieser Stelle danke ich besonders Frau Claudia Ozimek, die mich immer wieder ermuntert hat, weiterzumachen, und meine Entschuldigungen und Ausflüchte bei den ständigen Verzögerungen fast klaglos akzeptiert hat. Zum Schluss konnte das Werk weitaus umfangreicher werden als je geplant, und einen viel größeren Zeitraum umfassen. Ich hoffe nun, dass die Leserschaft, die das Buch schon seit einem Jahr auf den Online-Plattformen vorbestellen konnte, ebenso gnädig ist und dafür durch ein reichhaltiges und inspirierendes Werk entschädigt wird. Es wird Antworten geben können auf viele Fragen, die manch einer sich schon oft gestellt hat.

Ohne die Hilfe zahlreicher Kollegen – es sind zu viele, um alle hier aufzulisten – hätte ich nie all die interessanten Quellen gefunden, die in das Werk eingeflossen sind. Zum Beispiel hat mich Nicoletta Marconi auf italienische Quellen, Santiago Huerta auf spanische aufmerksam gemacht. Mein langjähriger Mitarbeiter Clemens Voigts hat mit mir das Lehrgerüst in Grins und das Modell von St. Gallen untersucht und die Ergebnisse zeichnerisch aufbereitet. Wir haben außerdem in zahlreichen Diskussionen das Material bewertet. Clemens Voigts und Clemens Knobling haben Kapitel des im Entstehen begriffenen Werkes gegengelesen und wichtige Anregungen eingebracht. Besonders zu danken habe ich Clemens Knobling auch für die Erstel-

lung von Fotos während der privaten Ferien und Martina Diaz für eine eigens durchgeführte winterliche Foto-Reise nach Vicoforte di Mondovì, die fast im Schneesturm ein vorzeitiges Ende gefunden hätte.

Ohne die Hilfe der vielen Bibliotheken, Museen, Sammlungen, staatlichen Einrichtungen und Archive, die ich angefragt habe, wäre ich niemals zum Ziel gekommen. Inzwischen stellen erfreulicherweise viele Institutionen hochauflösende Scans kostengünstig oder sogar völlig gratis für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung. Besonders lobend sind in diesem Zusammenhang die öffentlichen Sammlungen und Museen in den USA und die Bibliotheken der Schweiz zu nennen. Zwar konnte ich in sehr vielen Fällen auch auf Originale in meiner über die Jahre schnell wachsenden privaten Sammlung zurückgreifen, doch ohne die hochauflösenden Digitalisate der Bibliothek der ETH Zürich, die unter e-rara.ethz.ch inzwischen für jedermann völlig frei verfügbar sind, hätte das Buch nie so schön illustriert werden können, wie es jetzt ist. Auf ETH-Scans wird in den Bildnachweisen in diesen Fällen stets hingewiesen. Schon vor der allgemeinen Bereitstellung der Digitalisate hat mich die ETH-Bibliothek, aber auch die Zentralbibliothek Zürich stets entgegenkommend und individuell mit Bildmaterial versorgt. Dasselbe gilt für viele deutsche Bibliotheken, nicht zuletzt die Bayerische Staatsbibliothek München und die Universitätsbibliothek Erlangen. Auch vom Maximilianmuseum Augsburg, dem Stadtmuseum Bamberg und dem Conservatoire des Arts et Métiers in Paris wurde ich sehr freundlich unterstützt.

Das Buch wäre aber auch ohne die modernen Methoden der digitalen Recherche nicht denkbar gewesen. Zum einen stehen unüberschaubar viele Quellen inzwischen als hochauflösende, aussagekräftige Digitalisate im Netz. Zum anderen erwies sich Googles Volltextsuche als unverzichtbares Werkzeug, um diese auch aufzufinden. Viele Quellen hätte ich nie entdeckt ohne dieses Hilfsmittel, viele biographische Daten einzelner Personen nicht klären können. Die Arbeit am Buch hätte ohne diese Techniken noch unendlich viel länger gedauert. Vielleicht ist dies ein wichtiger Grund, warum es ein Werk wie das vorliegende bisher nicht gegeben hat.

Nicht zuletzt aber hat die Familie mich – nicht immer nur mit reiner Freude – bei den jahrelangen unablässigen Rechercheisen, die oft mit dem Familienurlaub zusammengelegt wurden, begleitet und unterstützt. Die tragische Erkrankung und der vorzeitige Tod meiner Frau Petra im Herbst 2019 haben dazu geführt, dass sie, die unter der zeitraubenden Recherche vielleicht am meisten gelitten hat, die Frucht dieser Arbeit nicht mehr in Händen halten kann. Ihr sei dieses Buch dafür wenigstens zum Gedächtnis gewidmet.

Zürich, den 11. September 2020

Stefan M. Holzer

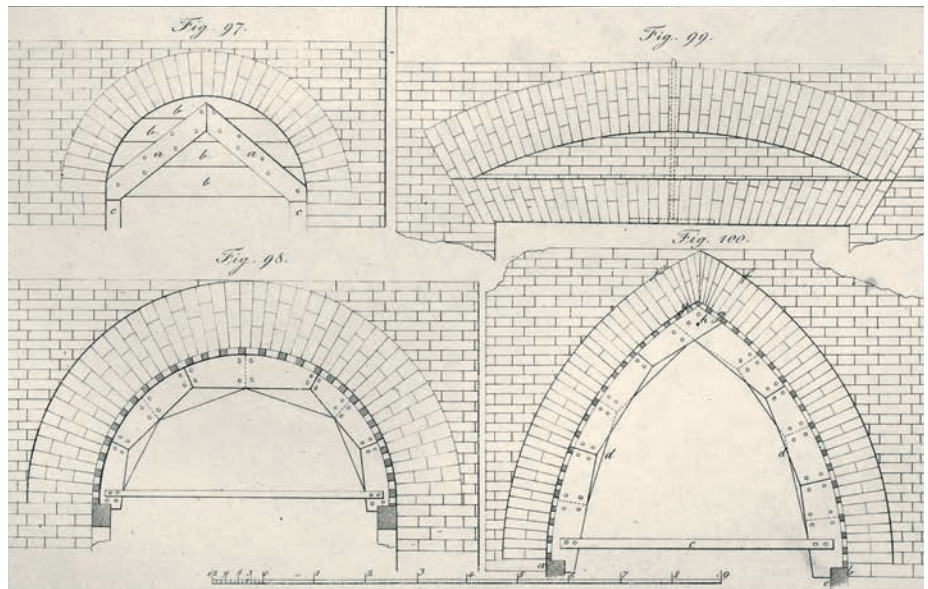


Bild 3.4 Bogenlehren für gewölbte Maueröffnungen. Links oben eine aus Brettern zusammengesetzte Schablone (Gewölbescheibe), unten einfache „Bügen“ aus mehreren Lagen bogenförmig zugeschnittener Bretter (Romberg 1838)

3.1 Formgebung: Bogenlehren für Wandbögen und Tonnengewölbe

Beim Bau jedes einfachen Bogens in einer Wand – etwa über einer Tür- oder Fensteröffnung – ist eine temporäre Stützkonstruktion notwendig, die gewisse elementare Anforderungen erfüllen muss: Sie definiert die Form des Bogentragwerks und muss außerdem gewährleisten, dass diese auch während des sukzessiven Aufbringens des Wölbmaterials genügend genau erhalten bleibt. Fenster- und Torbögen haben meist eine Spannweite von höchstens ein paar Metern. Beim Bau solcher kleiner Wölbkonstruktionen sind die durch die Unterkonstruktion aufzunehmenden Lasten klein, die ingenieurtechnischen Ansprüche also bescheiden. Das Gerüst dient vorwiegend als „Lehre“: „In der Bau-Kunst nennt man Lehre, Fr. Cherche, dasjenige Muster, wonach, oder über welches eine Sache geformt wird [...] Im Großen heißt eine solche Tafel ein Lehr-Bogen oder eine Bogen-Lehre, oder nur die Lehre schlechthin.“⁸

Im einfachsten Fall hat die Hilfskonstruktion für einen Bogen die Gestalt einer aus Brettern zusammengesetzten Tafel oder Scheibe („Bogenscheibe“ oder „Gewölbescheibe“), deren Rand bogenförmig zugeschnitten ist (Bild 3.4). Bei einer dünnen Wand und einer Lichtweite von etwa zwei bis drei Metern reicht eine einzige solche Tafel,⁹ bei einer Öffnung in einer dickeren Wand werden zwei oder drei, über die Wandstärke verteilt, benötigt, um die Steine des Bogens bis zum Bogenschluss an der richtigen Position zu halten. Man kann davon ausgehen, dass derartige Bogenscheiben über viele Jahrhunderte unverändert in Gebrauch waren. Jedenfalls beweisen Bildquellen, dass die Bogenscheiben schon im Mittelalter¹⁰ identisch wie noch im frühen 20. Jahrhundert¹¹ ausgesehen haben.

Bei etwas größeren Spannweiten wird die Bogenlehre mit „Bügen“ konstruiert, das sind kreissegmentförmige Schablonen, die sich aus mehreren Lagen kurzer, bogenförmig zugeschnittener Bretter zusammensetzen. Nach dem Aussägen werden die Brettstücke mit radial ausgerichteten Stößen zum gesamten Bogen zusammengelegt. Eine zweite Brettlage wird mit versetzten Stößen über die erste gelegt. Beide Lagen werden sodann mit eisernen Nägeln verbunden (Bild 3.5).¹² Mehrlagige, aus Bohlen zusammenge nagelte Lehrbögen dieser Machart wurden schon von Vincenzo Scamozzi (1548–1616) beschrieben: „Lehrbögen müssen genau nach der gewünschten Form der Gewölbe gemacht werden. Sie bestehen aus ziemlich dicken und star-

⁶ Rasch 1990; Rasch 1993, Tafeln 80–81 u. S. 62–64 (zum Mausoleum bei Tor de'Schiavi in Rom)

⁷ Fitchen 1961.

⁸ Krünitz 1796, S. 367–368.

⁹ Vgl. Breymann/Warth 1900, Bd. 2, S. 342 „Gewölbescheibe“.

¹⁰ Besonders bekannt und deutlich: British Library, London, Ms. Add. 35313, fol. 34 r. Auch online verfügbar unter http://www.bl.uk/manuscripts/FullDisplay.aspx?ref=Add_MS_35313. Ganz ähnlich ein Speculum humanae salvationis aus Süddeutschland in der Österreichischen Nationalbibliothek Wien, Cod. Ser. nova 12883, fol. 110 v.

¹¹ Breymann/Warth 1900, Bd. 2, S. 341–342.

¹² Genaue Beschreibung bei Sax 1814, Bd. 2, S. 48. Dasselbe fast wortgleich in Koller 1800, Bd. 1, S. 255. Koller stellt auch eine einlagige Bogenrippe dar, bei der die einzelnen Bretter an den radialen Stößen durch angenagelte Laschen verbunden sind.

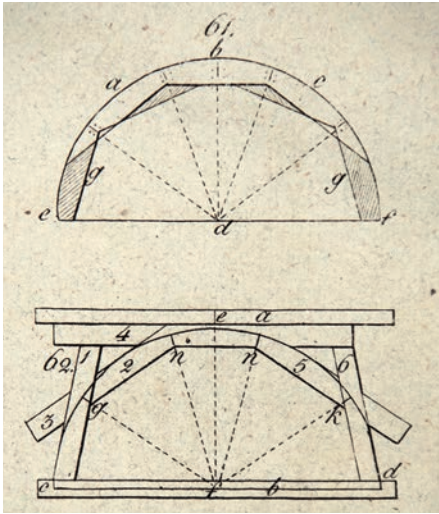


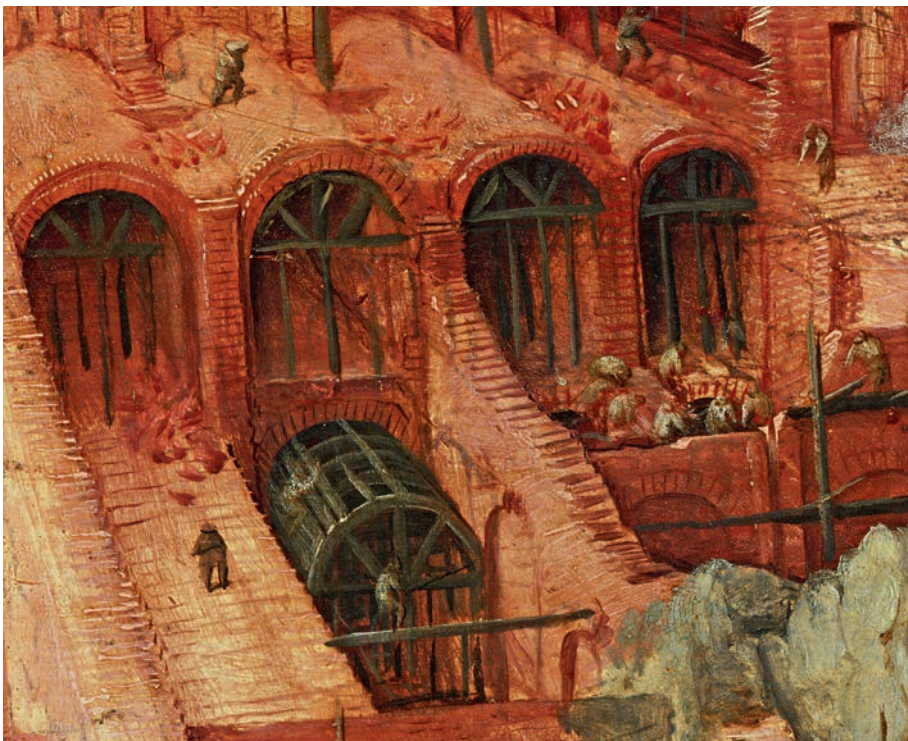
Bild 3.5 Zuschneiden und Zusammennageln einer Büge aus zwei Lagen Brettern (Sax 1814)

Bild 3.6 Bohlenbögen als Träger der Putzschale eines Scheingewölbes (Frauenkirche Günzburg, Ansicht von oben)

Bild 3.7 Pieter Bruegel d. Ä., *Turmbau zu Babel*, Ausschnitt mit dem Bau kleiner Tonnengewölbe (1563)

ken Bohlen, die hier *Rüstbretter* genannt werden. Sie werden Ende an Ende aneinandergesetzt und gestoßen, verdoppelt, und gut zusammengefügt.“¹³

In der Renaissance- und Barockzeit waren solche Bohlenbögen jedem Zimmermann bestens vertraut, denn mit derselben Methode wurden auch die damals weit verbreiteten hölzernen Scheingewölbe konstruiert (Bild 3.6): Die Form des Gewölbes wurde durch bogenförmige Rippen in Brettkonstruktion definiert. An die exakt entsprechend der gewünschten Bogenform ausgeschnittene Innenseite dieser Rippen wurde dann eine Brettschalung oder eine Lattung angenagelt und verputzt. Auch die gebogenen Sparren, die die geschweifte Außenkontur barocker Dächer oder Kuppeln ausbilden, sind oft als mehrlagige Brettkonstruktion konstruiert; in diesem Fall ist die Außenkontur gemäß der gewünschten Form zugeschnitten und trägt dann die Dachlattung oder die Bretter der Schalung der Dachdeckung. Im späten 18. und frühen 19. Jahrhundert wurden Bohlenbögen sodann auch als alleinige Tragkonstruktion bogenförmiger Dächer eingesetzt.¹⁴



¹³ Scamozzi 1615, Bd. 2, S. 325: „Le centine si deono far giuste secondo le forme delle Volte, che si vogliono fare, e si compongono di tavoloni assai grossi, e forti, che qui si dicono ponti, e congiunti i pezzi dell’una, e commesse à testa per testa l’altra: e raddoppiate, e fitte bene insieme.“

¹⁴ Dazu Rüschi 1997.

¹⁵ Der Durchlass gehört zu jenem Teil der «Rocca», der nach Zerstörung während einer Fehde zwischen Orvietaner Patriziern (1390) um die Mitte des 15. Jahrhunderts durch Antonio da Carpi und Bernardo Rossellino wieder aufgebaut wurde. Das Tor wendet sich zur Stadtseite hin und begrenzt einen kleinen Hof oder Zwinger, der den Zwischenraum zur talseitig orientierten mittelalterlichen Toröffnung einnimmt.



Bild 3.8 Reste dreier einfacher Lehrbögen an der Porta Soliana in Orvieto (wohl um 1450)

Bild 3.9 Detail des mittleren Balkens an der Porta Soliana in Orvieto mit deutlich erkennbaren Blattsassen im mittleren Spannweiten-drittel

Bild 3.10 Detail der Lehrbögen an der Porta Soliana in Orvieto. Anschluss eines bogenförmig zugesägten Brettes, das als Schalungsträger diente.

Beim Bau eines kleinen Bogens ist eine aus mehreren Brettlagen zusammengenagelte Bogenrippe ohne weitere Verstärkung ausreichend formstabil. Die Fußpunkte der Büge werden lediglich durch eine angenagelte Latte verbunden, die als Zugband wirkt und den Transport des ganzen Lehrbogens an die Einbaustelle in einem Stück ermöglicht. Bei etwas größerer Spannweite müssen die als „Büge“ oder Bohlenbögen konstruierten Lehrbögen allerdings durch zusätzliche Streben ausgesteift werden. Im einfachsten Fall ergänzt man einen Zerrbalken als Zugband und radiale, speichenartige Streben, um den Lehrbogen zu versteifen. Solche Lehrbögen bildet Pieter Bruegel d. Ä. (1525–69) auf seinem berühmten Gemälde *Turmbau zu Babel* von 1563 ab (Bild 3.7). Im Falle einer direkten radialen Stützung des Bogens kann man die einzelnen Bogensegmente auch aus Vollholz oder einlagig aus dicken Bohlen herstellen.

Ein wenigstens rudimentär noch in situ erhaltenes Beispiel für ganz in der Art von Bruegels Gemälde konstruierte Lehrbögen findet sich an der Porta Soliana in Orvieto. Dieses östliche Stadttor von Orvieto führt eine steil aus dem Talgrund heraufführende Straße durch ein um die Mitte des 15. Jahrhunderts errichtetes Renaissance-Bollwerk (Rocca) hindurch.¹⁵ Da der Baugrund sehr stark abschüssig ist, befindet sich der Wehrgang in großer Höhe über der Straße und wird in einer brückenartigen Konstruktion von gut 3 m Spannweite über sie überführt.

Am Gewölbeansatz des Brückenbogens sind drei stark verwitterte Balken in entsprechende Balkenlöcher eingelassen (Bild 3.8). Bei näherer Betrachtung zeigt es sich, dass es sich hierbei nur um die Reste des originalen Lehrgerüsts handeln kann (Bild 3.9): Sowohl an den beiden Enden jedes Balkens als auch in dessen mittlerem Drittel finden sich Blattsassen (besonders deutlich am mittleren der drei Balken), die von einstmaligen angeschlossenen Streben zeugen. Auch Nagellöcher von eisernen Nägeln sind erkennbar. An dem linken Ende des vordersten Balkens ist sogar noch

ein Rest des einstmals dort befestigten Holzes erhalten (Bild 3.10). Der kleine Holzrest – offenkundig ein Stück einer Bohle – sitzt in einer nach unten schräg zulaufenden Blattsasse. Die in dem angeblatteten Stück schräg rechts nach oben verlaufenden Holzfasern lassen den Schluss zu, das es sich hierbei um den Rest einer an der Außenkontur bogenförmig, innen jedoch gerade geschnittenen Bogenlehre handelt. Zwischen der Außenkante der Bohle und dem Gewölbemauerwerk bleibt eine Lücke von einigen Zentimetern, die von den einstmals auf die Bohle aufgelegten Schalbrettern zeugt. Die drei Blattsassen in der Mitte des Balkens lassen auf drei dort speichenartig angeordnete, radiale Streben schließen. Auch diese Streben waren wohl aus starken Bohlen gebildet, nicht aus Vollholz. Man kann aufgrund der vorgefundenen Spuren annehmen, dass alle Anschlüsse mit eisernen Nägeln gesichert waren.

Somit ergibt sich trotz der recht spärlichen und stark verwitterten Reste ein recht klares Bild von dem Lehrbogen (Bild 3.11). Er gleicht bis ins Detail jenen in Pieter Bruegels Gemälde.¹⁶ Der Lehrbogen wurde sicher als Ganzes auf dem Boden vorbereitet. Einen ganz ähnlichen Lehrbogen, wie wir ihn für Orvieto rekonstruiert haben, sieht man auf einer Ansicht der Baustelle der Jesuitenkirche von Roanne, die Étienne

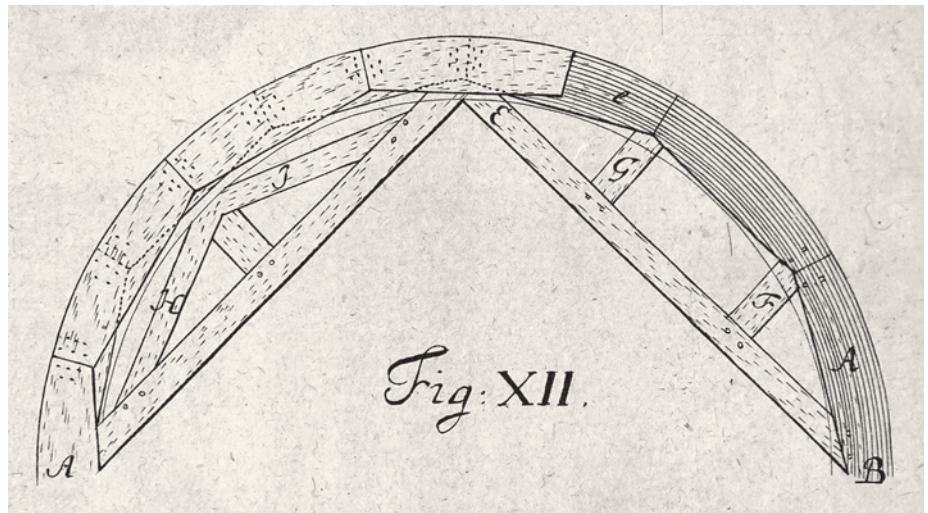


Seite 88:

Bild 3.11 Rekonstruktionsskizze der Lehrbögen von der Porta Soliana in Orvieto

Bild 3.12 Vorbereitet auf dem Boden liegender Lehrbogen zur Jesuitenkirche von Roanne (1618)

Bild 3.13 Lehrbogen (Leupold 1726)



Martellange (1569–1641) 1618 zeichnete, fertig zusammengebaut auf dem Boden liegen (Bild 3.12). Auf dem Arbeitsgerüst im Hintergrund steht schon der Bockkran zum Aufziehen bereit. In einer zwei Jahre später entstandenen Zeichnung Martellanges ist derselbe Lehrbogen immer noch vorhanden, nun als Träger eines Bogens zwischen Mittel- und Querschiff.

Doch zurück nach Orvieto. Die seitlich von dem Bogen gelegenen massiven Mauerstücke boten hier eine ausreichend breite Plattform zum Aufziehen und Manövrieren des nicht allzu schweren hölzernen Rahmens. Vor dem Aufmauern des Gewölbes wurde der Lehrbogen in die Vertikale geklappt und in die vorbereiteten Balkenlöcher gelegt. Diese Balkenlöcher passen in der Breite fast exakt zu den Balken der Lehrbögen, so dass der leichte Lehrbogen allein durch das Einsetzen in die Mauertaschen ausreichend fest in der aufrechten Lage gehalten wurde, genauso, wie man es in Italien auch mit Dachbindern machte.

Es fällt auf, dass die Balkenlöcher deutlich höher sind, als es zur Unterbringung der Balkenköpfe erforderlich wäre. Man kann daher mutmaßen, dass die Lehrbögen durch Keile unterlegt waren, die später herausgeschlagen werden konnten, um das Tragwerk abzusenken. Das Gewölbe musste trotz seiner hohen, schwer zugänglichen Lage über dem Tor auf jeden Fall ausgerüstet werden, um die in seinem Scheitel vorhandene, wehrtechnisch nötige Gussöffnung nicht unbrauchbar zu machen. Auf der durch die drei Balken gebildeten Plattform stehend, konnte nahezu die gesamte Schalung relativ bequem beseitigt werden. Nach Vollendung dieser Arbeit konnte sich der Arbeiter durch die Gussöffnung nach oben auf den Wehgang zurückziehen. Ein Absägen der in die Bogenwangen einbindenden Tragbalken wäre hingegen schwierig durchführbar gewesen. Vielleicht beließ man sie deswegen einfach am Ort. Das Beispiel aus Orvieto steht keineswegs isoliert in der Bautechnikgeschichte. Auch andernorts haben sich schon aus dem Hochmittelalter ähnliche Spuren erhalten, und man kann davon ausgehen, dass zahlreiche Tonnengewölbe begrenzter Spannweite in ähnlicher Weise gebaut wurden.¹⁷

¹⁶ Ein gleichartiger Lehrbogen ist auch schon in der Miniatur der British Library, Royal Manuscripts 14 E III, fol. 85 v., 14. Jh., dargestellt, siehe: <https://www.bl.uk/catalogues/illuminatedmanuscripts/ILLUMIN.ASP?Size=mid&IllID=43462>.

¹⁷ Von einem in das Jahr 1240 zu datierenden Rest eines solchen Lehrgerüsts an einer kleinen Brücke in Zwickau berichten (mit Rekonstruktionsskizze) Beutmann/Kenzler/Zeischka 2000.

Jacob Leupold (1674–1727) stellte in seinem Traktat zum Brückenbau ebenfalls ausgesteifte Lehrbögen dar. In dem von ihm abgebildeten Beispiel besitzt der Lehrbogen aber keinen horizontalen Grundbalken, sondern stemmt sich mit zwei sparrenartigen Streben gegen die Widerlager des zu errichtenden Bogens (Bild 3.13). Ähnlich wie bei einem geschweiften Dach sind auf die Sparren die Bohlenbögen aufgesetzt. In der linken Bildhälfte ist die Strebe in sich wieder wie ein Dachwerksbinder ausgebildet. Leupold schreibt zu der Konstruktion solcher Lehrbögen aus Bohlen: „Bey nicht allzu grossen Bogen und Last, werden solche Lehr-Bögen von starcken Brettern oder Pfosten geschnitten, und nach der Zeichnung übereinander genagelt; und weil Bretter und Pfosten drey bis viermahl breiter sind, als gemeines kleines Bau-Holtz, so man gemeinlich zu solchen Bogen nimmet, werden sie viel stärker, und tragen mit weniger Verbindung eine ungeheure Last.“¹⁸

Die Konstruktion des Lehrbogens in Art eines Dachgespärres ist einfacher, wenn man das Sparrendreieck durch einen horizontalen „Zerrbalken“ schließt und das Gespärre noch durch zusätzliche „Kehlbalken“ aussteift. Das Aufrichten des Gerüsts ist in einem solchen Fall deutlich leichter zu bewerkstelligen als bei der durch Leupold beschriebenen Konstruktion ohne Grundbalken.

Zwei derartige Lehrbögen haben sich im Dachraum der Pfarrkirche von Bergen im Chiemgau (um 1865) erhalten (Bild 3.14). In beide Bögen – Entlastungsbögen unter Giebelwänden – sind jeweils zwei Holzgestelle in der Art eines einfachen Kehlbalkengespärres eingestellt. Auf jedem der nebeneinanderliegenden Paare von Sparren liegt eine aus Brettern geschreinerte Holzkiste mit bogenförmiger Außenkontur, so dass die gewünschte leicht zugespitzte Form des Entlastungsbogens entsteht.¹⁹ Ausrüstvorkehrungen fehlen, so dass man davon ausgehen kann, dass die Lehrbögen von Anfang an dazu bestimmt waren, auch nach Vollendung der Kirche im Dachraum, wo sie niemanden stören, zu verbleiben.

Bild 3.14 Erhaltenes Lehrgerüst eines Entlastungsbogens im Chorraum der Kirche Bergen im Chiemgau (um 1865)



¹⁸ Leupold 1726, S. 87.

¹⁹ Die Kirche selbst ist neuromanisch, Spitzbögen treten nur an unsichtbarer Stelle auf.

²⁰ Lassaulx 1829, S. 418–419.

²¹ Lassaulx 1829, S. 418.

²² Lassaulx 1829, S. 419.

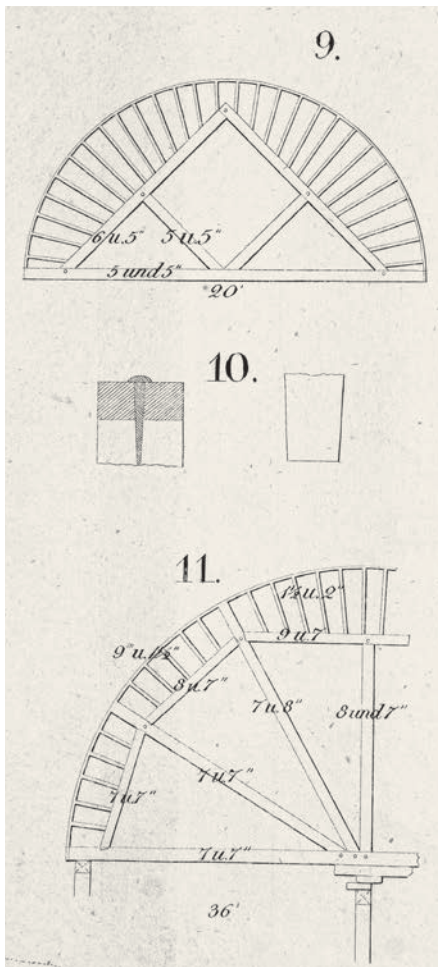


Bild 3.15 Einfache Lehrbögen für kleinere Öffnungen (Lassaulx 1829)

Bild 3.16 Einfacher Lehrbogen (Handschrift des Rechtskodex Alfons' X. von Kastilien, um 1290)



Eine alternative Technik, um ohne große zimmermannsmäßige Kenntnisse und ausschließlich unter Verwendung von „gemeinem kleinem Bau-Holtz“ stabile Lehrbögen für kleinere Spannweiten zu konstruieren, beschrieb Johann Claudius von Lassaulx (1781–1848) 1829 im „Journal für die Baukunst“: Eine dünne Bohle oder Latte wird bogenförmig gekrümmt. Speichenartige radiale Streben, die in die gekrümmte Latte und in eine Schwelle (Bogensehne) eingezapft sind, halten die Form stabil. Lassaulx schrieb über diese Lehrbögen, deren Verwendung er im Moselgebiet beobachtet hatte: „Schwerlich kann man Rüstungen der Art einfacher und wohlfeiler konstruieren. Die Schwelle bleibt, trotz ihrer Durchlochung, immer noch als Wandholz brauchbar; die Stäbe sind aus Brandholz genommen oder von Abfällen gespalten, und nach gemachtem Gebrauch, Brandholz wie zuvor; die Latten sind ebenfalls wieder zu benutzen und der Arbeitslohn beträgt eine Kleinigkeit.“²⁰ Solche Lehrbögen, „auf das Nachlässigste zusammengesetzt, zu einem 30 Fuß weiten und 10 Fuß hohen Gewölbe“²¹ habe er in Anwendung gesehen. Auf Grundlage dieses Erlebnisses schlug Lassaulx für größere Spannweiten eine nach derselben Idee entwickelte, jedoch verbesserte Konstruktion vor (Bild 3.15), die darin besteht, „auf den Schwellen eine Art Dachgespär mit zwei oder mehreren Streben zu errichten und die Stäbe in die Sparren zu bohren. Die Stäbe werden auf diese Weise kürzer, können mithin aus gewöhnlichem Ast- oder Reidelholz gefertigt, und die Schwellen ebenfalls aus leichtem 4 bis 5zölligem Sparrholz gemacht werden, weil sie in drei Punkten, nemlich an beiden Enden und in der Mitte, durch untergestellte Pfosten oder Stelzen Unterstützung erhalten. Unter dieser Mitte bringt man ein Paar Keile an, welche den bedeutenden Nutzen haben, daß, wenn sie gleich nach dem Schlusse des Gewölbes gelöst werden, nun gerade an dieser Stelle der Lehrbogen sich am stärksten, an den Widerlagen aber fast gar nicht senket, mithin die Senkung des neuen Gewölbes gerade so erfolgt, wie es sein muß.“²² Bei Bauarbeiten auf der Festung Ehrenbreitstein setzte Lassaulx diese Lehrbögen dann auch tatsächlich ein.

Die von Lassaulx beschriebene Art von Lehrbögen scheint zu den ältesten Hilfskonstruktionen für den Bogenbau überhaupt zu zählen. Jedenfalls sind in sehr ähnlicher Weise die Lehrbögen konstruiert, die spanische Miniaturmaler schon im ausgehenden 13. Jahrhundert in den Illustrationen zu dem Gesetzbuch und einer Sammlung von Marienliedern des Königs Alfons X. des Weisen von Kastilien-Léon (1221–84) darstellten (Bild 3.16). Das Grundprinzip ist jeweils ein Paar gegeneinander gelehnter Sparren, auf die durch kurze radiale oder vertikale Streben die eigentliche Bogenlehre aufgesetzt ist.²³ Dasselbe Konstruktionsprinzip zeigt des Weiteren ein noch in situ erhaltener Lehrbogen unter einem Entlastungsbogen über dem Chorbogen der Kirche Mariahof (Steiermark), der dendrochronologisch auf 1494 datiert wurde.²⁴

3.2 Die Schalung

Die einfachste Form des gewölbten Flächentragwerks ist das Tonnengewölbe. Der Schritt vom Wandbogen zum Tonnengewölbe ist nicht groß. Ein Tonnengewölbe gleicht einem Bogen größerer Breite. Zur Herstellung des Tonnengewölbes stellt man mehrere Lehrbögen hintereinander in der Achse des Gewölbes auf und überdeckt sie dann mit Schalmaterial. Bei Tonnengewölben, die aus kleinsteinigem Material mit viel weichem Mörtel errichtet werden sollen, ist eine dicht schließende Schalung erwünscht. Je dicker das Gewölbe werden soll, desto biegesteifer muss auch das Schalungsmaterial sein, und desto dichter aneinander müssen die Lehrbögen aufgestellt werden, damit sich die Schalung zwischen den Lehrbögen nicht übermäßig durchbiegt.

Bei dem Beispiel aus Orvieto konnte die Schalung aus wenige Zentimeter starken Brettern nur indirekt aus dem Zwischenraum zwischen der Außenkontur des Bogens

Bild 3.17 Lang durchlaufende Schalbretter mit gestaffelten Stößen (Kryptoporticus bei den Großen Thermen, Villa Adriana, Tivoli, 2. Jh. n. Chr.)

Bild 3.18 Trier, Kaiserthermen, Abdruck eines auf der Brettschalung des Tonnengewölbes vergessenen Zirkels





Bild 3.19 Korridor in der Westfassade der Basilika Sant'Antonio, Padua (13. Jh.)

23 Beide Handschriften wurden offenkundig von demselben Miniaturisten illuminiert. Handschrift des *Libro de las Leyes*, British Library, London, Ms. Add. 20787, fol. 75 r. (Illustration zu den Gesetzen den Kirchenbau betreffend); dazu: Wittekind 2009, hier S. 154. *Cantigas de Santa María*, Real Biblioteca Monasterio de El Escorial, RBME T-I-1, Cant. 3k66; dazu: Menéndez Pidal 1986, S. 112. Für Hinweise auf diese frühen spanischen Quellen danke ich Professor Santiago Huerta, Madrid, sehr herzlich. Dies sind vielleicht die ältesten Bildquellen überhaupt zu Lehrbögen.

24 Fuchsberger 2020, Bd. 1, S. 42–44, mit mehreren Abb.

25 Lancaster 2005, S. 205.

26 Scamozzi 1615, Bd. 2, S. 325: „Sopra le Cantine immediate si cuopre di tavole sicure; ma di non molta larghezza; acciò che facciano meglio il giro della volta; perche le larghe la farebbono, come à costè, ò in più faccie, à guisa de'corpi de'Liuti.“

und der Innenkontur des Gewölbes erschlossen werden. In vielen Fällen liegen aber direkte Belege für die Schalung vor: Zu den wirklich häufigen Spuren des Herstellungsvorganges an Gewölben gehören nämlich die Abdrücke, die die Schalung am Intrados hinterlassen hat. Diese Abdrücke erlauben einen Rückschluss auf das verwendete Schalmaterial, unter Umständen jedoch auch auf die Struktur des stützenden Gerüsts.

Beim Tonnengewölbe bietet die Konstruktion der Schalung keinerlei Schwierigkeiten. Der Intrados des Gewölbes ist eine abwickelbare Fläche und kann mit geraden Brettern geschalt werden. Bei römischen Bauten sind die Schalbretter oft etwa 1 Fuß breit.²⁵ Dass dabei das Tonnengewölbe etwas eckig geriet, nahm man in Kauf, da bei architektonisch wichtigen Gewölben ohnehin immer eine Stuckierung aufgebracht wurde. Bei frühneuzeitlichen Gewölben ist hingegen das Bemühen um möglichst genaue Formgebung spürbar. So riet Vincenzo Scamozzi 1615 zur Verwendung von schmalen Brettern: „Auf die Lehrbögen werden stabile Bretter aufgelegt, die aber nicht allzu breit sein sollten, damit sie sich dem Rund des Gewölbes besser anpassen, denn mit breiteren Brettern erhält man eine polygonale Form etwa in Form des Korpus einer Laute.“²⁶

Wenn die Schalbretter alle an derselben Stelle gestoßen sind, dann ist dies ein eindeutiger Hinweis auf einen dort positionierten Lehrbogen. Im Sinne geringerer Durchbiegungen der Schalung zwischen den stützenden Lehrbögen ist es allerdings natürlich sinnvoller, die Schalbretter als Durchlaufträger über mehrere Lehrbögen hinwegzuführen und gestaffelt an verschiedenen Stellen des Gewölbes zu stoßen. Diese Konstruktionsart der Schalung lässt sich an zahlreichen Tonnengewölben der römischen Kaiserzeit gut ablesen. Ein Beispiel zeigt Bild 3.17. Ähnlich wurden auch die Versorgungsgänge unter den Kaiserthermen in Trier geschalt, die berühmt sind für den auf der Gewölbeinnenseite sich abzeichnenden Abdruck eines versehentlich einbetonierten Zirkels (Bild 3.18).

Auch aus dem Mittelalter und der frühen Neuzeit sind zahlreiche Gewölbe erhalten, auf deren Intrados sich im Mörtel die Spuren der Schalung abzeichnen. Zwar handelt es sich hierbei nicht um betonartiges Mauerwerk wie beim römischen *opus caementicium*, sondern um regelrechtes Mauerwerk im Verband, jedoch aus kleinformatigem Material wie Bruchstein oder Backstein. Bei solchen Gewölben breitete man offenbar auf der Schalung zunächst großzügig eine Mörtelschicht aus, in die die Steine radial hineingedrückt wurden. Die Fugen zwischen den Keilsteinen wurden sodann möglicherweise erst nach dem Versatz mit weichem Mörtel vollends verfüllt. Die so hergestellten Gewölbe wirken auf den ersten Blick oft wie Betongewölbe. Ein charakteristisches Beispiel aus dem Backsteinbau findet sich in einem etwa 90 cm breiten tonnengewölbten Korridor in der Wandstärke der Westfassade der Basilika Sant'Antonio in Padua aus dem 13. Jh. (Bild 3.19). In ziemlich regelmäßigen Abständen von rund 1 m sind hier sogar noch quer zum Gang spannende Bohlen am Gewölbeansatz erhalten, die letzten Relikte der Lehrbögen. Die etwa 13 bis 19 cm breiten Schalungsbretter waren an jedem dieser Lehrbögen gestoßen; am Ende der Wand lagen sie auf dem Mauerwerk des Schildbogens auf, so dass beim Ausrüsten eine Nut in der Schildwand verblieb, die von den etwa 3,5 cm starken Schalungsbrettern zeugt. Da der Gang keine praktische Funktion hat, blieb er im Rohbauzustand und zeugt so

bis heute von der Baustelle. Ähnlich roh belassene Gewölbe kann man auch andernorts finden, vor allem in Kellern.

Die beschriebene Herstellungstechnik wurde auch im 19. Jahrhundert noch angewendet, als die kontrollierte Fabrikation von hydraulischem Kalk aufgrund der Forschungsarbeiten von John Smeaton (1724–92) und Louis Vicat (1786–1861) wieder betonartige Konstruktionen ermöglichte. Zwischen dem Mauern mit Bruchstein und dem Einbringen einer fertigen Mischung aus Kies und Mörtel im Sinne eines modernen Betonierens bestanden damals alle Übergangsformen, und die Details der Herstellung lassen sich an den Schalungsabdrücken ablesen. Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang der Versuch, das Durchfließen des Mörtels durch die Ritzen der Schalung durch aufgelegte Papierbögen zu verhindern. Diese Schalungstechnik wendete einer der Pioniere des Betons in Deutschland, der Unternehmer Bernhard Liebold (1843–1916) aus Holzminden, 1877 beim Betonieren seiner ersten „Beton“-Brücke über die Lenne bei Vorwohle an (Bild 3.20), um eine saubere Intra-dosansicht zu erzielen: „Die Bogenleibung ist nicht geputzt worden, da dieselbe durch die Art der Anfertigung des Bahngewölbes bereits die erforderliche Glätte und Sauberkeit erlangt hatte. Letzte ist dadurch erreicht worden, dass über der Schaalung Makulaturpapier ausgebreitet worden ist. Hierdurch wird das Durchfließen des Mörtelwassers durch die Fugen der Bretter verhindert und dessen Ansetzung in Form von Putz veranlasst.“²⁷

Neben einer Brettschalung kommen – je nach regionaler Verfügbarkeit – jedoch noch weitere Materialien in Betracht. Bretter waren in historischer Zeit immer teuer, da sie mühevoll von Hand oder auf der Sägemühle gesägt werden mussten. In holzarmen Gegenden lag es nahe, nach Alternativen zu suchen. In Italien bot sich eine solche durch die allgemeine Verfügbarkeit von sehr starkem Schilfrohr. Die Rohrstengel dieser sogenannten *canna greca* konnten gegebenenfalls auch zu Bündeln gebunden werden und ergaben so eine belastbare Schalung. Abdrücke von Schalungen aus Schilfrohrstengeln finden sich schon an römischen Bauten häufiger. Ein Beispiel aus Sizilien zeigt Bild 3.21.

Auch in nachantiker Zeit blieb Schilfrohr in Italien als Schalungsmaterial in Gebrauch. Leon Battista Alberti (1404–72) schrieb dazu in seiner Architekturlehre:



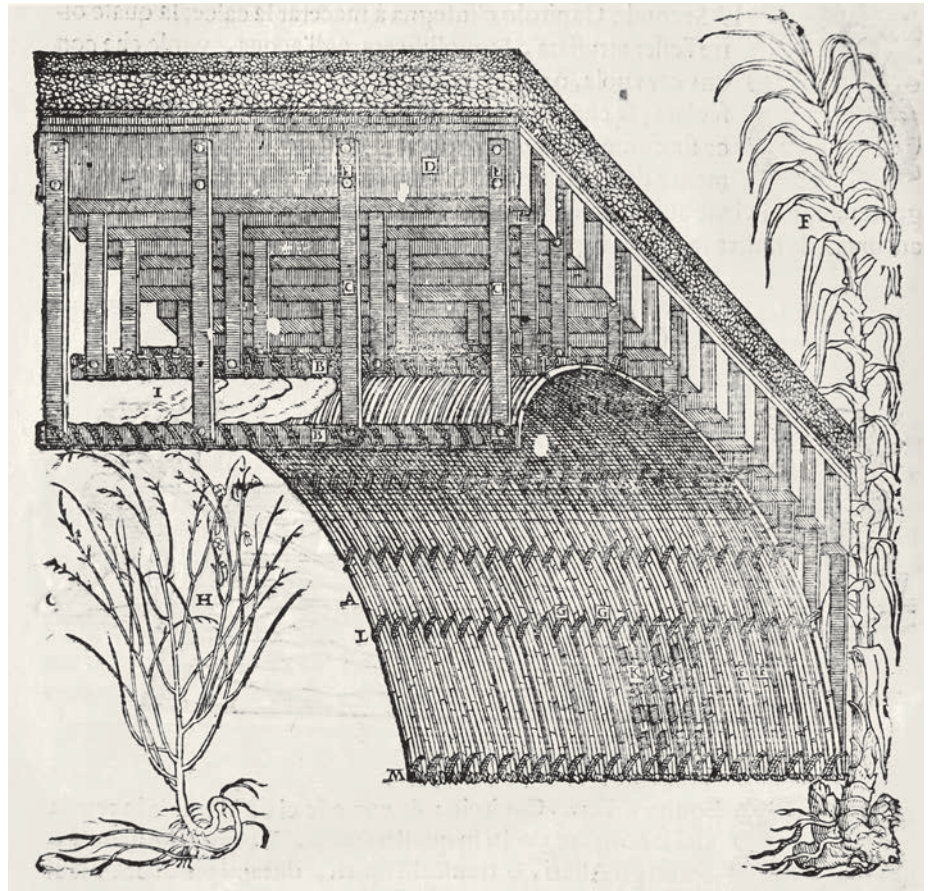
Bild 3.20 Spuren des auf der Brettschalung ausgebreiteten „Makulaturpapiers“ an der ersten „Beton“-Brücke Bernhard Liebolds in Vorwohle

Bild 3.21 Spuren einer Schalung aus Schilfrohr (römisches Theater in Taormina/Sizilien)

Bild 3.22 Spuren einer Schilfrohr- oder Reisigschalung an einem frühneuzeitlichen Haus in Tivoli



Bild 3.23 Konstruktion eines Scheingewölbes nach Vitruv in der Interpretation durch Giovanantonio Rusconi (Rusconi 1590)



„Um Bögen und Gewölbe zu erbauen, bedarf es eines Lehrgerüsts: Dies ist ein roh gezimmertes Balkenwerk in Bogenform, über das als Haut oder Schalung entweder Reisig oder Schilfrohr oder anderes billiges Material gebreitet wird, welches das Wölbmaterial solange trägt, bis der Mörtel erhärtet ist.“²⁸ Noch spezifischer als Alberti spricht Vincenzo Scamozzi rund anderthalb Jahrhunderte später von geflochtenen Matten aus Schilf oder Reisig: „Im Falle, dass man keine Holzbretter zur Verfügung hat, kann man für die Schalung auch Matten aus Schilfrohr verwenden, also aus dicken, breitgeschlagenen Stengeln oder dünnen Stielen, wie sie sich finden, oder allenfalls auch Flechtmatten aus Weidenruten.“²⁹ In Italien avancierte Schilfrohr zum wichtigsten Schalungsmaterial überhaupt. Noch im frühen 19. Jahrhundert schrieb Francesco di Cesare in seinem neapolitanischen Lehrbuch zur Baukonstruktion über die Schalung: „Man macht sie aus Brettern, oder, noch häufiger, aus Holzlatten und Schilfrohr, welches mit Lehm bedeckt wird, also mit feucht angerührter Erde. Damit bildet man die innere Wölbfläche nach der erwünschten Kurve aus.“³⁰

An frühneuzeitlichen Gewölben Italiens lassen sich die Bautechniken mit dem billigen, jedoch auch wenig tragfähigen Schalmaterial vielfach durch Abdrücke nachweisen. Ein interessantes Beispiel hierzu ist in Bild 3.22 zu sehen. Es handelt sich hier um ein grob aus Tuffsteinbrocken mit viel Mörtel gemauertes korbbugiges Tonnen- gewölbe über der wenige Meter breiten Hofeinfahrt eines Hauses neben der Kathedrale von Tivoli. Entgegen der Intuition folgen die als Schalung verwendeten, offen-

²⁷ Liebold 1877.

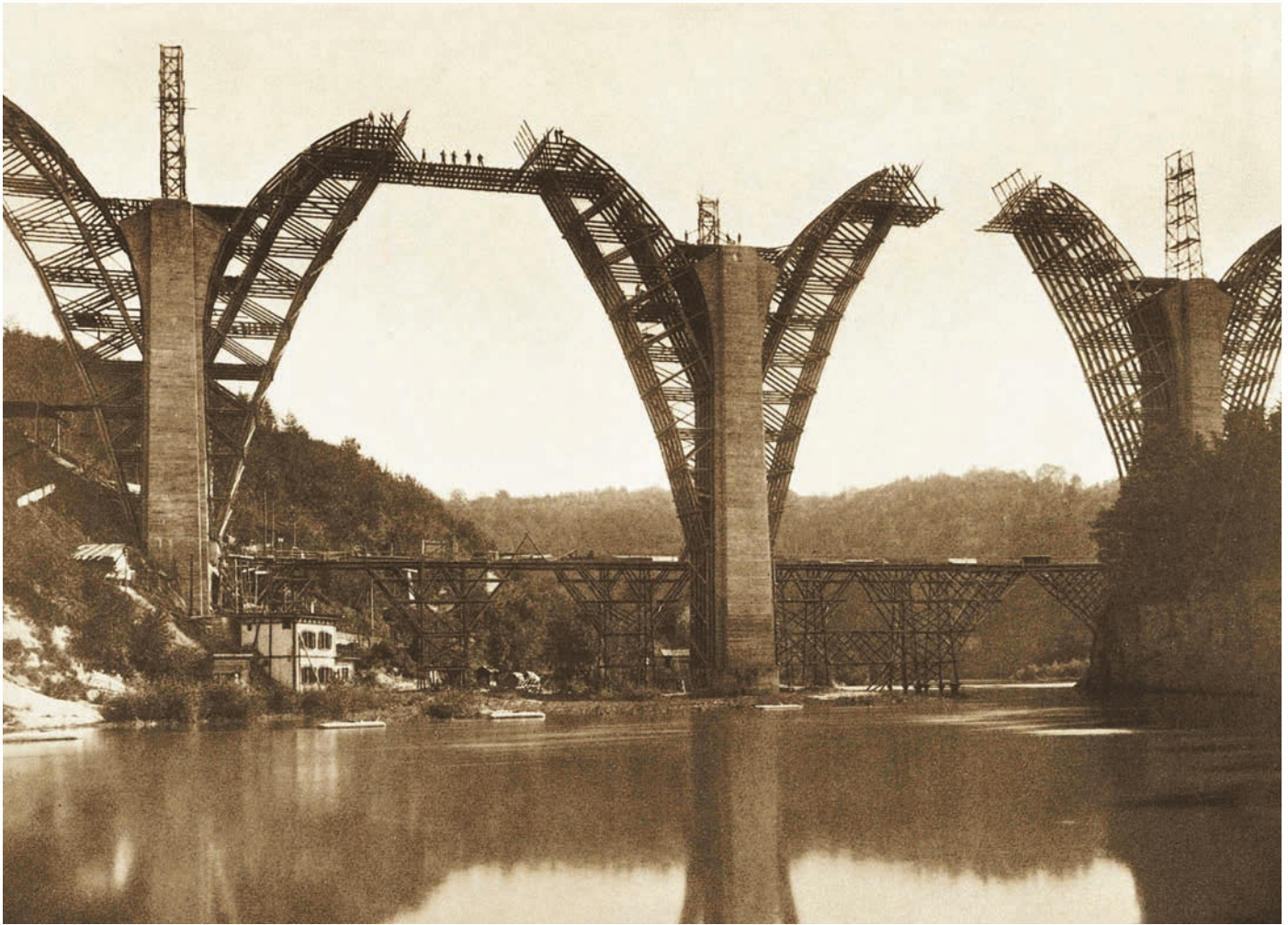
²⁸ Alberti 1485, Buch III, Kapitel 14 (Alberti 1512, fol. XLVI r.): „Sed arcubus et testudinibus struendis armamento opus est: id rudis et temporanea quaedam est contignatio ad flexae lineae ambitum diffinita: cui pro corio et cute aut crates aut harundines aut vilia istius modi consternuntur, sustinendae coaggregationis in testudine queaduruerit.“ Das Wort *cratis* könnte spezifisch für ein Geflecht aus Weidenruten stehen.

²⁹ Scamozzi 1615, Bd. 2, S. 325: „In caso che non si havesse tavole si può fare il coprimento di Stuoie fatte di Canne Greche, cioè grosse alquanto frante, overo con le minute, tal quale elle si ritrovano, & in maggior bisogno, anco con Cratticcij, fatti di Vimini.“

³⁰ De Cesare 1855, Bd. 1, S. 200: „È questa di tavole, e più spesso di assicelle di legno e di cannuce ricoverte di fango, cioè di terra impastata con acqua, con esso si configura la superficie inerna della volta, a secondo la prediposta curva.“

Kapitel 6

Die Königsdisziplin: Gerüste im Brückenbau



Brücken gehörten zu den herausragenden Werken in der Geschichte der Ingenieurbaukunst. Man denkt sofort an die aus sorgfältig bearbeiteten Keilsteinen errichteten Steinbogenbrücken, die die Hauptstraßen des römischen Weltreiches über die kleineren und größeren Flüsse übersetzten, aber auch an die Aquädukte mit ihren imposanten Bogenreihen. Viele dieser Bauwerke stehen noch heute – von Spanien über Frankreich und Italien bis in die Türkei –, und manche haben kontinuierlich dem Verkehr gedient. Nach dem Fall des römischen Weltreiches folgten einige Jahrhunderte, in denen kaum eine neue steinerne Bogenbrücke gebaut wurde. Man musste sich stattdessen mit reparaturanfälligen und wenig dauerhaften hölzernen Pfahljochbrücken behelfen. Erst im 12. Jahrhundert begann der Bau steinerner Bogenbrücken neuen Aufschwung zu nehmen. Diese neue Epoche wird bezeichnet durch die Errichtung der Steinernen Brücke über die Donau in Regensburg, erbaut 1135–1146. Etwas später entstand die London Bridge über die Themse in London (1176–1209), ebenfalls eine komplett aus Stein errichtete Brücke. Auf breiter Front folgten weitere Steinbogenbrücken dann – teils auf Grundlage älterer Brücken mit steinernen Pfeilern, doch hölzernem Überbau – ab der Wende vom 13. zum 14. Jahrhundert, so über die Rhône in Lyon (Pont de la Guillotière, nicht mehr vorhanden), Pont-Saint-Esprit (mit flachen Segmentbögen, 1265–1309) und Avignon (neue flache Bögen auf den Pfeilern der schon im 12. Jh. begonnenen Brücke), die Brücke in Albi und die Backsteinbrücke in Montauban über den Tarn (mit spitzbogigen Öffnungen, 1311–35, Bild 6.1), die Brücke über den Lot in Cahors (Pont Valentré, ebenfalls spitzbogig, 1308–78), und jene über die Moldau in Prag (Karlsbrücke), um nur eine kleine Auswahl der berühmtesten zu nennen.¹ Der frühneuzeitliche Brückenbau begann mit Brücken wie dem Pont-Neuf in Toulouse (1554–1632) und der gleichnamigen Brücke in Paris (1578–1607) sowie dem Puente de Segovia in Madrid (1582–84). Im 17. und 18. Jahrhundert baute man vor allem in Frankreich flachbogige, in perfekter Werksteinkonstruktion ausgeführte Brücken, die für den Rest Europas zum Vorbild wurden und den Brückenbau bestimmten. Im 19. Jahrhundert löste der Eisenbahnbau eine weitere Blütezeit des Massivbrückenbaus aus, der jedoch nach der Jahrhundertmitte zeitweise fast völlig durch den Eisenbrückenbau abgelöst wurde. Eine letzte Renaissance erlebte der Bau steinerner Bogenbrücken um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert, als man den Steinbogenbrücken wegen deren langer Lebensdauer und geringer Unterhaltskosten neues Interesse entgegenbrachte.

Bei keiner anderen Bauaufgabe spielte die Errichtung von Tonnengewölben aus Werkstein eine derart prominente Rolle wie im Brückenbau. In der Spannweite (in der frühen Neuzeit bis knapp 40 m) und im Pfeilverhältnis (Stich des Bogens bezogen auf die Lichtweite) gingen die Brückenbögen weit über den Anspruch von Tonnengewölben im Hochbau hinaus. Diese Umstände allein bewirkten, dass man sich bei steinernen Bogenbrücken schon früh besonders intensive Gedanken über die Konstruktion der Lehrgerüste und den Vorgang des Ausrüstens machen musste. Die Geschichte der Gerüste des Brückenbaus ist somit ganz prominent eine Geschichte der Lehrgerüste. Im Gegensatz zu fast allen anderen Gerüsten ist die Quellenlage zu den Lehrgerüsten für Bogenbrücken ausgezeichnet. Gerüste spielten bei der Errichtung gewölbter Brücken eine derart offenkundige Schlüsselrolle, dass sie sehr häufig gezeichnet und beschrieben wurden. Auch originale Pläne zu Lehrgerüsten haben

¹ Zu den mittelalterlichen Brücken Frankreichs siehe: Boyer 1976; Mesqui 1986. Zu Deutschland: Standfuß 1988.



Bild 6.1 Der Pont Vieux über den Tarn in Montauban (14. Jh.)

sich vielfach erhalten. Im Vergleich zum Hochbau sind die aufzunehmenden Lasten im Brückenbau ungleich größer. Deswegen haben auch Bemühungen zur rechnerischen Analyse und Dimensionierung von Gerüsten – in erster Linie von Lehrgerüsten – vom Brückenbau ihren Ausgang genommen und zur Veröffentlichung entsprechender Aufsätze geführt. Somit kann man für das vorliegende Kapitel – mindestens, was die jüngeren Epochen angeht – aus einem geradezu überreichen Fundus von Material schöpfen, und es bereitet keinerlei Schwierigkeiten, die Hauptlinien der historischen Entwicklung der Brückenlehrgerüste herauszuarbeiten.

Der Bogen allein macht aber noch keine Brücke. Eine Brücke ist Teil eines Verkehrswegs und benötigt daher Zufahrtsrampen, Vorlandbrücken oder Dämme. Auch für deren Herstellung wurden – insbesondere im Eisenbahnzeitalter – interessante Gerüste verwendet. Die Brückenbaustelle ist eine Linienbaustelle, und der horizontale Materialtransport spielt eine Schlüsselrolle. Mit besonderen Schwierigkeiten sieht man sich mitten im Fluss oder bei langen Viadukten über ganze Täler konfrontiert. Neben oder über der endgültigen Brücke müssen temporäre Transportwege oder Baustellenbrücken eingerichtet werden, und sei es nur, um die Lehrbögen vor Ort zu bringen und aufzurichten. Das Bauen mit großen Steinen fordert Hebezeuge großer Tragkraft. Neben den Hebe- und Transportgerüsten spielen schließlich auch die Arbeitsgerüste, vor allem für die Schlussarbeiten, eine Schlüsselrolle im Brückenbau. Alle diese Anforderungen haben bewirkt, dass man auf Brückenbaustellen fast aller Zeiten eine breite Vielfalt unterschiedlichster Gerüste bestaunen konnte.

Die besondere Bedeutung von Gerüsten im Brückenbau war jedoch nicht auf den Massivbrückenbau beschränkt. Auch bei Holz- und Metallkonstruktionen waren sehr aufwendige und interessante Montagegerüste notwendig. Manchmal brauchte man Gerüste, die ganze Täler ausfüllten. Die eisernen Viadukte der Eisenbahn ver-

schlangen oft immense Mengen an Holz, das für die Aufstellgerüste verwendet wurde. Angesichts der Glanzleistungen des Massivbrückenbaus und des im 19. Jahrhundert aufblühenden Eisenbrückenbaus gerät oft in Vergessenheit, dass die große Mehrzahl aller Brücken wahrscheinlich bis zum Ende des 18. Jahrhunderts aus Holz errichtet wurden. Die beim Holzbrückenbau eingesetzten Gerüste und Hilfskonstruktionen konnten oft als Inspiration für die Hilfsmittel zur Montage der Lehrgerüste für Massivbrücken oder zum Aufstellen von Eisenbrücken dienen und sind deshalb ebenfalls von großem Interesse. Oftmals mussten die Gerüste an unwegsamen Orten oder in großer Höhe installiert werden und konnten sich nicht einfach auf einen ebenen Boden stützen wie im Hochbau. Der Hochbau konnte wiederum von den Erfahrungen aus dem Brückenbau profitieren, und manche der Aufstellgerüste für die eisernen Dachwerksbinder großer Ausstellungs-, Markt- und Bahnhofshallen sind ohne Inspiration durch den Brückenbau kaum vorstellbar.

Bevor man mit dem Bau des eigentlichen Brückenbaus beginnen kann, sind oft auch schon spezialisierte Konstruktionen nötig, zum Beispiel Caissons, Fangedämme, Plattformen für Rammen und dergleichen. Auch diese Hilfsmittel könnte man unter der großen Überschrift der Gerüste subsumieren. Im vorliegenden Kapitel werden diese Gerüste aber nur am Rande behandelt, weil sonst der Rahmen des Buches gesprengt würde.

In der Zusammenschau aller genannten Aspekte wird es deutlich, dass der Brückenbau die „Königsdziplin“ für den Gerüstkonstrukteur darstellt. Einige der spektakulärsten Gerüste des 18., 19. und 20. Jahrhunderts sind Brückengerüste, die manchmal in faszinierenden Bilddokumenten der Nachwelt überliefert worden sind. Sie wurden seinerzeit oftmals unter Einsatz der jeweils neuesten Technologie entwickelt. Nur die leistungsfähigsten, tragfähigsten und sichersten Gerüste ermöglichten den Bau derjenigen Fluss- und Talquerungen, die uns heute als „kühne Brücken“ vor Augen stehen. Daher bildet das Kapitel über die Brückengerüste mit großer Berechtigung das Schlusskapitel vorliegenden Buches über historische Gerüste.

Als in Europa im 12. Jahrhundert der Bau steinerner Bogenbrücken wieder Aufschwung nahm, standen den Bauleuten als leuchtende Vorbilder die römisch-antiken Brücken vor Augen. Mangels einer kontinuierlichen Tradition des Steinbrückenbaus musste man im Mittelalter die Kunst der Konstruktion der Lehrgerüste sicher weitgehend von Neuem lernen. Die ersten verlässlichen Bilddokumente zu den Lehrgerüsten steinerner Brücken stammen erst aus dem ausgehenden 15. Jahrhundert. Daher ist man bezüglich aller älteren Bogenbrücken auf die Interpretation der Spuren am Bauwerk selbst angewiesen, die jedoch durch die Bilddokumentation späterer Brückengerüste deutlich erleichtert wird. Vielleicht orientierten sich auch die mittelalterlichen Baumeister an den sichtbaren Spuren der Lehrgerüste an den altrömischen Brücken und ließen sich durch sie zur Erfindung der Gerüste inspirieren. Im Folgenden werden daher zunächst anhand der erhaltenen Zeichnungen die Geschichte und Formenvielfalt der Brückenlehrgerüste zwischen 1500 und etwa 1800 vorgestellt, bevor sich jeweils Mutmaßungen über die Gerüste älterer Brücken anhand der Spuren anschließen.

330 Beim Bau eines weitgespannten Werksteingewölbes wie einem typischen Brückenbogen sind einige Punkte zu beachten, die bei einem normalen Hochbaugewölbe aus

kleinsteinigem Material keine dominante Rolle spielen. Zum einen ist das Eigengewicht eines weitgespannten Brückenbogens viel größer als bei einem typischen Tonnengewölbe im Hochbau. Eine Steinbogenbrücke funktioniert nur dann, wenn ihr Eigengewicht deutlich größer ist als die beweglichen Verkehrslasten, die die Brücke überqueren sollen. Das Bogentragwerk wird durch sein Eigengewicht sowie durch die tote Auflast der Hinterfüllung oder Übermauerung auf Druck vorgespannt und erhält so die Fähigkeit, Biegemomente abzutragen, obwohl das Mauerwerk keine nennenswerte Zugfestigkeit besitzt, besonders in Richtung normal zur Lagerfuge. Werksteingewölbe werden aus optischen Gründen oft aus großen Steinblöcken und mit sehr schmalen Mörtelfugen ausgeführt, bei altrömischen Konstruktionen sogar mörtelfrei. Sich während des Bauvorganges öffnende und schließende Fugen können bei solchen Bögen zu einem Lastabtrag über die Kanten der Keilsteine und zu lokalen Schäden an den Steinen führen (Abplatzungen, Bruch der Steine), und Verschiebungen der Keilsteine gegeneinander machen nachträgliche Ausgleichsarbeiten selbst dann notwendig, wenn die Steine unversehrt geblieben sind.

Das Lehrgerüst eines Brückenbogens muss daher in besonderem Maße tragfähig und außerdem möglichst formstabil sein. Da sich das Gerüst unter der Last des noch unfertigen Bogens elastisch verformt und große Kräfte aufnimmt, kann es sehr schwierig sein, das unter dem Bogen steckende Lehrgerüst am Ende wieder zu entfernen. Der Ausrüstvorgang muss zudem möglichst gleichmäßig erfolgen, um Schäden am Brückenbogen zu verhindern.

Man könnte meinen, dass die Konstruktion eines Brückenlehrgerüstes aufgrund all dieser Randbedingungen fast zwangsläufig zu einem vom Boden direkt vertikal gestützten Lehrgerüst führen musste. Allerdings kann es bei einer Flussbrücke sehr schwierig sein, für die vertikale Stützung entsprechende Auflager im Fluss zu schaffen. Flusstiefe, Fließgeschwindigkeit und Untergrund können das Rammen tragfähiger hölzerner Pfähle erschweren oder unmöglich machen. Vertikale Stützen können außerdem dazu führen, dass sich Treibgut oder Treibeis im Fluss am Lehrgerüst verfängt und das Gerüst zum Einsturz bringt, vor allem im Hochwasserfall. Auch bei Brücken, die sich in großer Höhe über Grund befinden, zum Beispiel über einer Schlucht, kann die direkte vertikale Zwischenstützung des Lehrgerüstes extrem aufwendig oder gar unmöglich sein. Deswegen sind seit den frühesten Dokumenten zum Lehrgerüstbau für Bogenbrücken gestützte und ungestützte Lehrgerüste nachgewiesen. Bei den Lehrbögen, die ohne Zwischenunterstützung von einem Brückenpfeiler zum nächsten spannen, ist sodann noch zu unterscheiden zwischen solchen, die über eine durchgehende Zerrbalkenlage verfügen, und solchen, die „freigesprenzt“ sind wie die Lehrgerüste des Petersdoms. Eine durchgehende Balkenlage erleichtert das Arbeiten am Bogen, bringt jedoch je nach Konstruktion unter Umständen Probleme beim Ausrüsten mit sich. Für alle diese Varianten des Brückenlehrgerüstes lassen sich Beispiele aus der Frühen Neuzeit – vom ausgehenden 15. Jahrhundert bis zum Ende des 18. Jahrhunderts – aufzeigen.

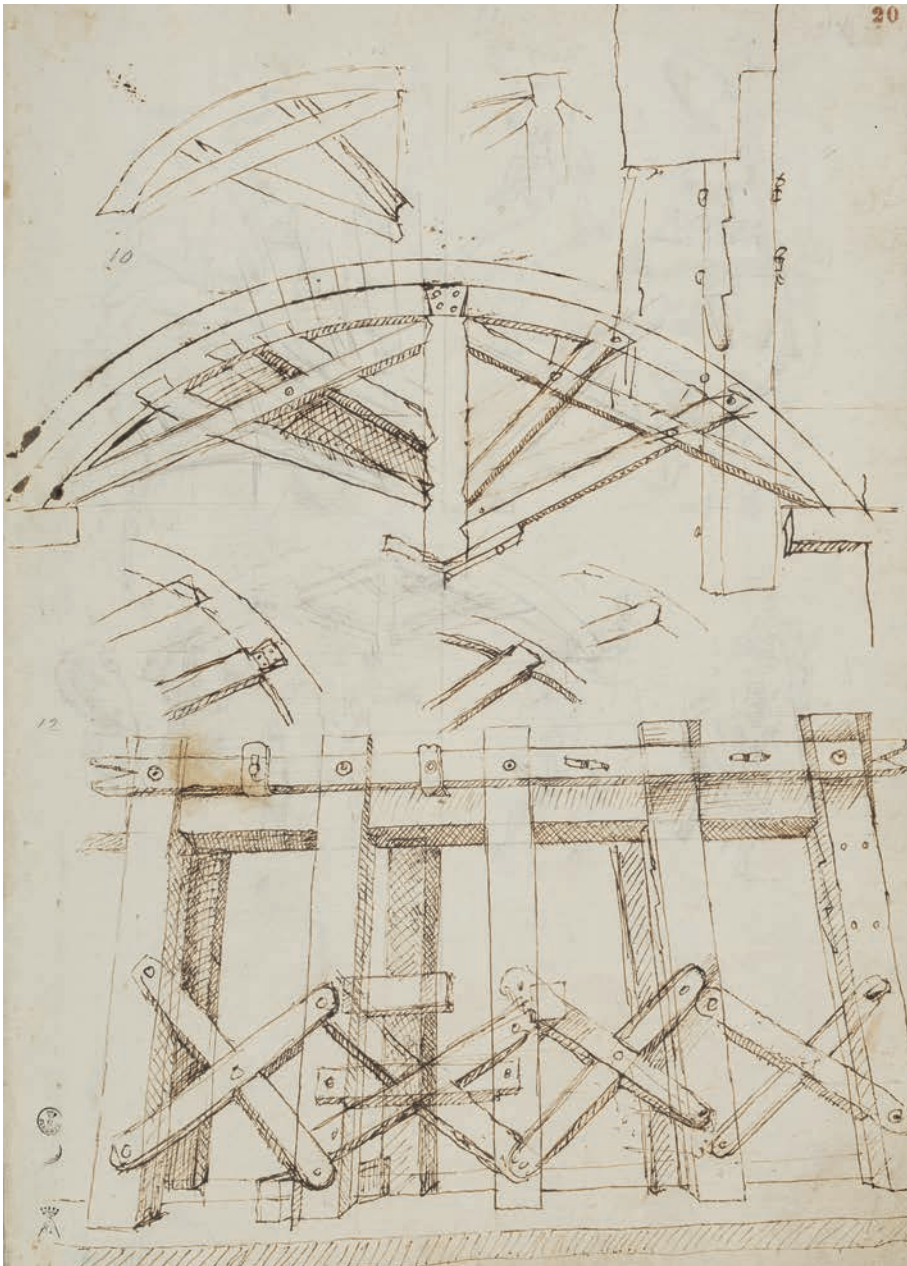


Bild 6.2 Entwurf eines Lehrgerüsts für eine Brücke (Antonio da Sangallo d. Ä., um 1500; Uffizien Florenz)

6.1 Italien und die Renaissance

Die in Kapitel 3 erwähnten Zeichnungen von freigesprengten Lehrgerüsten, die wir im Kontext der Baustelle des Petersdoms in Rom behandelt haben, insbesondere die Blätter GDSU 7807 A r. und GDSU 7808 A r. der Uffizien in Florenz, die Antonio da Sangallo d. Ä. (1455–1534) zugeschrieben werden, könnten theoretisch natürlich auch Entwürfe zu Lehrgerüsten für Brückenbögen sein. Ganz klar aber ist es bei der zur gleichen Gruppe gehörenden Zeichnung GDSU 7811 A r., dass es hier um den Bau eines Brückenbogens geht, denn das dargestellte Gewölbe ist flach segmentbögig, eine Form, die man bei Hochbauten nicht angewendet hat (Bild 6.2). Die Konstruktion baut auf einem Grundprinzip auf, das sich in der Folgezeit bei zahllosen italienischen Lehrgerüsten wiederholen sollte und das von italienischen Pfettendachbindern bekannt ist: Zwei in Form eines flachen Giebels gegeneinander gelehnte Sparren (*puntoni*) halten eine mittige, vertikale Hängesäule (*monaco*) in der Schwebe, die zwischen den beiden Sparren eingeklemmt und durch Versatzanschlüsse mit ihnen

Bild 6.3 Mittlerer Bogen des Ponte Santa Trinita, Florenz



verbunden ist. Von der Hängesäule gehen mehrere Streben in Form eines V nach oben (*saette*, „Pfeile“); sie halten den vermutlich aus Bohlen konstruierten Ring, der die Schalung des Bogens aufnehmen soll. Wie schon bei den ganz gleichartig konstruierten Lehrgerüsten für den Hochbau finden sich auch hier typische „mittelalterliche“ Holzverbindungen: Die *saette* sind mit Schwalbenschwanzblättern an den Bohlenkranz angeschlossen. Der einzige Unterschied zu einem Dachbinder besteht darin, dass die beiden Sparren des giebelförmigen Binders an ihren Fußpunkten nicht durch einen Zerrbalken (*catena*) zusammengehalten werden. Bei einer Brücke ist es nicht notwendig, den nach außen wirkenden Sparrenschub mit einem solchen Bauteil kurzzuschließen, weil die Widerlager ohnehin ausreichend stabil konstruiert werden müssen, um später auch den in gleicher Weise wirkenden Bogenschub der fertigen Brücke aufnehmen zu können. Die beiden Sparren, die die Sprengwerke der einzelnen Binder bilden, ruhen jedoch auf kurzen Balkenstummeln, die aus dem Pfeiler horizontal vorkragen. Für welche Brücke Antonio da Sangallo d. Ä. sein Lehrgerüst entworfen hat, ist nicht bekannt. Jedenfalls erfreuten sich so flach gespannte segmentbogige Brückenbögen in Italien schon im Mittelalter großer Beliebtheit.

Zu den flachsten Brückenbögen Italiens überhaupt zählen jene des Ponte Santa Trinita über den Arno in Florenz (Bild 6.3). Diese Brücke wurde nach dem Entwurf Bartolomeo Ammannatis (1511–92) in den Jahren 1567–71 errichtet.² Die Vorgängerbrücke war durch eines der bis ins 20. Jahrhundert verheerenden Arno-Hochwässer 1557 zerstört worden. Um künftige Schäden zu vermeiden, wählte Ammannati für die drei weitgespannten Bögen der Brücke eine außerordentlich flache korbboogie Form, die auch bei Hochwasser einen möglichst großen Abflussquerschnitt bot. Zum Baubetrieb existiert ein faszinierendes Zeitdokument, nämlich ein kleines Notizbuch des Alfonso Parigi d. Ä. (?–1590).³ Dieser war der Neffe des vielbeschäftigten Architekten und Ingenieurs Bartolomeo Ammannati und leitete die Bauarbeiten vor Ort. In seinem Notizheft vermerkte Alfonso Parigi ausdrücklich, er selbst – nicht Ammannati – habe das Lehrgerüst konzipiert, während die Ausführung an den Zimmermann Giuliano da Monteacuto vergeben wurde.⁴ Das Notizheft enthält zwei Zeichnungen der Holzkonstruktion und einen Aufriss des Pfeilers zur Erläuterung.

Die Gesamtansicht des Lehrgerüsts (Bild 6.4)⁵ zeigt wiederum eine Konstruktion ganz in der Art des Entwurfes von Antonio da Sangallo d. Ä. Alfonso Parigi notiert dazu: „Beim Lehrgerüst der Brücke bei Santa Trinita sind die Binder angeordnet wie in der Zeichnung angegeben. Am Auflager der Binder, direkt am Pfeiler, ist zunächst

² Zur Baugeschichte und Bautechnik des Ponte Santa Trinita: Belluzzi 2002.

³ Codex Palatino 853, Biblioteca Nazionale Centrale, Florenz. Transkription und Kommentar in: Parigi 1975.

⁴ Parigi 1975, fol. 19 v. (S. 15): „feci tutta l’armadura de legnaje e ma[st]ro Giuliano da Monte Aguto la messe in opra.“

⁵ Parigi 1975, fol. 17 v. (S. 12). Auch abgebildet in Belluzzi 2002, S. 39.

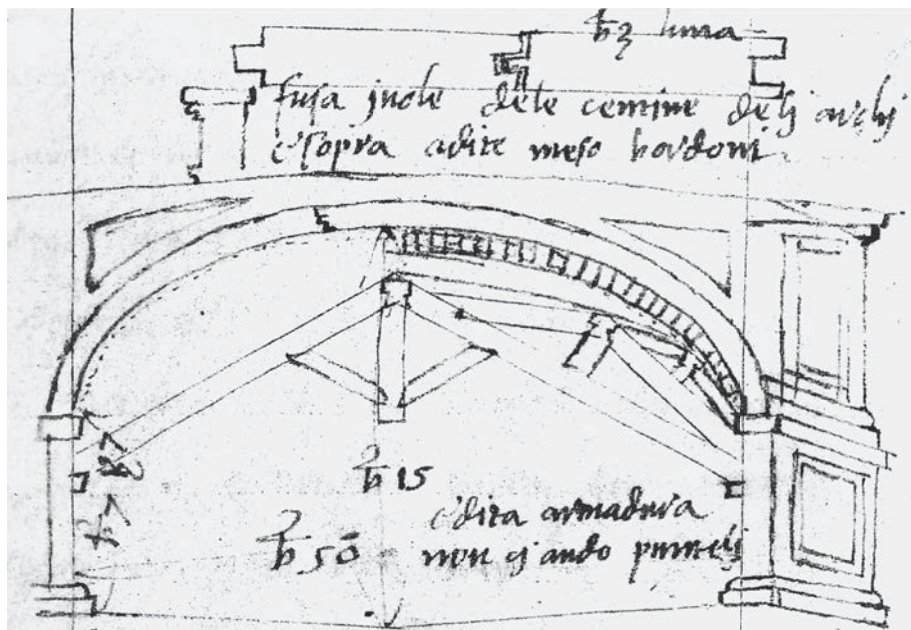


Bild 6.4 Skizze des Lehrgerüsts des Ponte Santa Trinita, Florenz (Alfonso Parigi d. Ä., 1569)

ein Balken von $\frac{2}{3}$ Ellen [39 cm] Breite und $\frac{2}{3}$ Ellen [39 cm] Höhe im Pfeiler, und darauf eine eichene Bohle von $\frac{1}{4}$ Ellen Stärke. Die genannten Hölzer haben voneinander eine Elle [58 cm] Abstand und ragen $\frac{3}{4}$ Ellen [43 cm] aus der Mauer; und auf den Bindern werden die Bogenkränze aus 3 Ellen [1,75 m] langen Stücken gemacht, die entsprechend der Form der Bögen gekrümmt sind; auf diesen Bogenkränzen liegen anstelle von Schilfrohren dicke Schalbretter; auf diesen werden die Bögen gemauert.“⁶ Die Bögen hatten etwa 30 m Lichtweite; daher verwendete Parigi als Sparren des Sprengwerks komplette Hängewerksbinder; diese hatten außerdem den Vorteil, dass sich die Tragkonstruktion des Lehrgerüsts als vierseitiges Polygon besser dem Bogenverlauf anpassen konnte; direkt am Auflager, wo die korbogigen Gewölbe besonders starke Krümmung hatten, ist sogar jeweils noch ein weiteres kleines Hängewerk eingeschoben. Bemerkenswert ist, dass Parigi ausdrücklich hervorhebt, anstelle von Schilfrohr habe er hölzerne Schaltafeln verwendet; das unterstreicht, dass in Italien sonst eigentlich Schilfrohr das normale Schalmaterial war, nicht die teureren Holzbretter. Die Bogenkränze waren anscheinend aus gekrümmten Vollholzstücken hergestellt, die mit Zapfungen oder Spundungen verbunden waren, wie eine kleine Zusatzskizze Parigis es zeigt (Bild 6.4). Aus der Zeichnung des Pfeilers⁷ geht hervor, dass über die Breite der Brücke sieben Lehrgerüstbinder nebeneinander angeordnet waren. Die letzte Zeichnung⁸ zeigt die Konstruktion der Binder noch einmal im Detail, ohne sonst noch weitere Informationen zu bieten. Mit den von Parigi entworfenen Lehrgerüsten wurden die aus Werkstein konstruierten Bögen 1568–69 errichtet. Danach folgte der Bau der Stirnmauern und die Hintermauerung der Bögen mit Bruchstein. Erst 1570, also nach völliger Erhärtung des Fugenmörtels und der Hinterfüllung, wurden die Lehrgerüste entfernt.⁹

In Italien lag nichts näher, als die bekannten Konstruktionsprinzipien des Pfettenbinders auf die verwandte Bauaufgabe des Lehrgerüsts anzuwenden. Auch in anderen Regionen Europas griff man auf das Repertoire der regionalen oder nationalen Holzbautradition zurück, um die neuen Herausforderungen des Steinbrückenbaus zu meistern. Die beiden Zeichnungen des Antonio da Sangallo d. Ä. und des Alfonso Parigi d. Ä. zeigen, dass man bei der Interpretation von Spuren an den Pfeilern historischer Brücken vorsichtig sein muss: Eine Reihe horizontaler Balkenlöcher in den Pfeilern muss keineswegs auf durchgehende Zerrbalken verweisen, sondern könnte

⁶ Parigi 1975, fol. 17 v. und 18 r. (S. 12): „E l'armadura del ponte a Santa Trinita j chavaletti vanno jnel modo disegnjati, e a dove j posono e j chavaletti, resente le pile, prjma è uno legnjo jnela pila grosso $\frac{2}{3}$, alto $\frac{2}{3}$ e, sopra al ditto, uno panchone di quercia grosso $\frac{1}{4}$; e ditti legnj sono dischosto uno b.a l'uno da l'altro e usciva fuori del muro $\frac{3}{4}$; e sopra j chavaletti farò la centina di fusajuole di b.a 3 l'una e centinate sechondo l'j archj; e sopra a le ditte fusajuole, esso bordonj, jn cambio di canne, attraverso a dite fusajuole; e puoj giettato l'j archj.“ Der Braccio Fiorentino wurde hier mit „Elle“ übersetzt, einer etwa gleich großen Maßeinheit.

⁷ Parigi 1975, fol. 18 v. (S. 13).

⁸ Parigi 1975, fol. 18 v. (S. 14).

⁹ Alle diese Zeitangaben nach Belluzzi 2002.

auch auf ein völlig freigesprengtes Lehrgerüst zurückgehen. Interessanterweise geben beide Quellen keinerlei Hinweise auf den Ausrüstvorgang. Man wird wohl annehmen dürfen, dass nach Bogenschluss die kurzen Kragbalken längs der Pfeilerfläche ein- oder abgesägt wurden, um das Lehrgerüst abzusinken. Bei flachen Bögen lastet am Ende des Wölbvorgangs nahezu das gesamte Bogengewicht auf dem Lehrgerüst, so dass bei den gezeichneten Konstruktionen kaum eine andere Art des Ausrüstens möglich erscheint.

Schon hundert Jahre vor dem Ponte Santa Trinita war in Florenz eine andere flachbogige Brücke entstanden, der berühmte Ponte Vecchio. Im Gegensatz zum Ponte Santa Trinita, der 1944 gesprengt wurde und in der Nachkriegszeit nur der äußeren Form nach rekonstruiert wurde, blieb der Ponte Vecchio aus der Mitte des 14. Jahrhunderts bis heute erhalten und ermöglicht eine Auseinandersetzung mit dem Baubefund. An den Pfeilern sind dicht unterhalb der Bogenansätze nicht weniger als je 16 nebeneinanderliegende Balkenlöcher zu erkennen, die ohne Zweifel mit dem Lehrgerüst in Verbindung zu bringen sind (Bild 6.5). Sicher dienten sie in irgendeiner Weise der Auflagerung von 16 Bindern. Der Vergleich mit den soeben besprochenen archivalischen Quellen legt nahe, dass auch am Ponte Vecchio bereits ein Lehrgerüst ähnlicher Art verwendet worden ist und dass die Balkenlöcher in den Pfeilern von den kurzen Kragbalken herrühren, auf die sich ein freigesprengtes Lehrgerüst stützte.¹⁰

In Venedig errichtete man 1588–94 die neue Rialtobrücke. Auf die Geschichte dieser Brücke¹¹ und der zugehörigen Entwürfe wird noch gesondert einzugehen sein. Jedenfalls wurde nach längeren Diskussionen und Überlegungen der Plan des Antonio da Ponte ausgeführt:¹² Die Rialtobrücke überquert mit einem einzigen flachen, weitgespannten Bogen den Canal Grande. In den italienischen Archiven haben sich keine Zeichnungen zum Lehrgerüst erhalten, und überhaupt ist die bildliche Überlieferung zu dem bedeutenden Bau relativ dünn. Jedoch existiert ein unerwartetes, einzigartiges Zeugnis dazu aus dem Ausland: Als man wenige Jahre nach Fertig-

Bild 6.5 Balkenlöcher an einem Pfeiler des Ponte Vecchio in Florenz



¹⁰ Gleichartige, auffällige Balkenlöcher finden sich auch in den im 15. Jahrhundert in Backstein wieder aufgebauten mittleren Jochen der Milvischen Brücke im Norden von Rom. Sie entsprechen Balken, die leicht nach innen hin geneigt waren, und können daher nur als Auflager eines gesprengten Lehrgerüsts interpretiert werden.

¹¹ Calabi/Marachiello 1988.

¹² Zur Autorschaft der ausgeführten Brücke ausführlich schon: Temanza 1778, S. 428–430.



Bild 6.6 Modell der Rialtobrücke in Venedig (Sammlung Stromer, Schloss Grünsberg)

Bild 6.7 Pont Ambroix (Departement Gard)

stellung der Rialtobrücke in Nürnberg die Pegnitz ebenfalls mit einer einbogigen Brücke ohne Zwischenpfeiler überbrücken wollte – der heutigen Fleischbrücke –, beschaffte man sich nämlich Unterlagen zu anderen bedeutenden Brücken, unter anderem auch zur Rialtobrücke. Aus dieser Zeit muss ein Modell stammen, dass später in den Besitz der Stromer – einer altgedienten Familie von Nürnberger Verwaltungsbeamten – überging. Dieses Modell, das nicht exakt der ausgeführten Rialtobrücke entspricht und das auch sonst nur schwer näher eingeordnet werden kann,¹³ ist bis heute erhalten (Bild 6.6).¹⁴ Das Modell zeigt auch das Lehrgerüst. Leider ist dessen Darstellung nur sehr summarisch, die Konturen wurden einfach aus einer dünnen Holzplatte ausgesägt. Dennoch kann man aus dem Modell entnehmen, dass das Gerüst in der Struktur den bereits besprochenen italienischen Lehrgerüsten in groben Zügen entspricht. Es ist zwar keineswegs gesichert, dass das reale Gerüst der Rialto-



¹³ Dazu: Kaiser 2005, Bd. 1, S. 71–72.

¹⁴ Stiftung Stromer, Schloss Grünsberg. Das Foto des Modells stammt aus Wikimedia Commons, Fotograf Heiner Grillenberger, 2009, veröffentlicht unter Lizenz CC BY-SA 3.0. Das Foto wurde für die Abbildungsvorlage leicht bearbeitet (Helligkeit, Kontrast). Solche frei verfügbaren Fotos sind für den Wissenschaftler oft Gold wert, da sie aufwendige Vor-Ort-Recherchen ersparen.

brücke so ausgesehen hat, ja selbst die Authentizität und Intention des Brückenmodells sind ungeklärt. Trotzdem ist die Annahme gerechtfertigt, dass das wirkliche Lehrgerüst der Rialtobrücke ebenso eine freigesprengte Konstruktion war, wie sie der italienischen Tradition und der Bauaufgabe der flachen Bogenbrücke entsprach. In der speziellen Situation am Canal Grande hatte ein freigesprengtes Gerüst zudem den maßgeblichen Vorteil, dass der Schiffsverkehr auf dem Kanal durch die Brückenbaustelle nicht komplett blockiert wurde.

Da der mittelalterliche und frühneuzeitliche italienische Dachbinder mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit aus altrömischen Dachbindern abgeleitet ist, wie sie wahrscheinlich in der Spätantike zur Überdeckung großer Innenräume, zum Beispiel der frühchristlichen Kirchen Sankt Peter und Sankt Paul vor den Mauern eingesetzt worden waren, liegt der Verdacht nahe, dass man vielleicht schon in antiker Zeit die gewölbten Brücken mit ähnlichen Lehrbögen in der Art von Dachbindern errichtet hat. Kragsteine, die, den Balkenköpfen der Renaissancebrücken gleich, am Bogenansatz aus dem Pfeiler kragen, finden sich an nicht wenigen antiken Brücken, besonders in Südfrankreich. Beispiele sind der Pont du Gard bei Nîmes, aber auch die beiden römischen Brücken über den kleinen, aber unberechenbaren Fluss Vidourle bei Sommières und nahe der antiken Stadt Ambrussum (Pont Ambroix,¹⁵ Bild 6.7). Da es sich bei allen genannten Brücken um halbkreisförmige, in großformatigen Werksteinblöcken konstruierte Bögen handelt, deren unterste Abschnitte ohne weiteres noch ohne Unterstützung durch ein Lehrgerüst gemauert werden konnten, entspricht die Lage der Kragsteine etwas weiter oben am Bogen genau der Situation am Widerlager der segmentbogigen Brücken in Florenz. Das summarische Modell der Rialtobrücke deutet an, dass auch dort das Lehrgerüst auf einem Mauerabsatz am Bogenfuß (und nicht auf hölzernen Kragbalken) lag. Wahrscheinlich muss man sich auf den Kragsteinen der römischen Brücken einen aufgelegten Balken vorstellen, der dann, wie von Alfonso Parigi beschrieben, die einzelnen Binder des Lehrgerüsts aufnehmen konnte. Zahl, Breite und Lage der Kragsteine an den römischen Brücken stimmen nämlich häufig nicht mit der Anordnung und Zahl der zu erwartenden Lehrbögen überein. Allein anhand der vorhandenen Kragsteine oder ähnlicher Balkenlöcher wie in Florenz – zum Beispiel an einem der Bögen des Ponte di Augusto in Rimini – die Lehrgerüstkonstruktion konstruieren zu wollen, wie dies schon von einer Vielzahl von Autoren versucht worden ist,¹⁶ erscheint dem Verfasser gewagt, allzu spekulativ und wenig stichhaltig, weshalb das Rätsel der altrömischen Lehrgerüste hier bewusst offen gelassen wird. Es ist überdies davon auszugehen, dass die römischen Brückenbauer genauso wenig überall dieselbe Lehrgerüstkonstruktion anwendeten wie ihre frühneuzeitlichen Nachfolger.

¹⁵ Dazu: Fiches 1996, S. 30–32.

¹⁶ Léger, Choisy, Fitchen, Adam, Lancaster. Zu Baustelle und Bauverfahren des Pont du Gard gibt es einen hervorragenden und mit überzeugenden Argumenten ausgestatteten Artikel, der allerdings natürlich auch hochgradig hypothetische Rekonstruktionen der Gerüste und Hilfskonstruktionen zeigt: Paillet 2005. Diesem Artikel, der die älteren Rekonstruktionsversuche kritisch beleuchtet, ist aus Sicht des Verfassers nichts Neues hinzuzufügen.

¹⁷ Dazu: Pechstein 1975; Kaiser 2005.

6.2 Jenseits von Italien – Lehrgerüstbau in lokaler Technologietradition

Jenseits von Italien waren in der Renaissancezeit ganz andere Konstruktionstraditionen wirksam als in Italien. Das lässt sich schön am Beispiel der bereits erwähnten Fleischbrücke in Nürnberg zeigen (Bild 6.8). Nach Plänen von Peter Carl (1541–1617) errichtete man diese Brücke in den Jahren 1596–98.¹⁷ Die langsam

strömende Pegnitz war unter normalen Umständen keine große Gefahr für die Brücken der Stadt. 1595 ereignete sich hingegen eine außerordentliche Überschwemmung, die mehrere Brücken, darunter auch die Vorgängerin der Fleischbrücke, aber auch die ganze Stadt schwer in Mitleidenschaft zog, nicht zuletzt wegen des Rückstaus des Flusses vor den zu eng bemessenen Brücken. Aus diesem Grund entschied man sich beim Wiederaufbau dafür, die bisher zweibogige Brücke durch eine einbogige mit größerem Abflussquerschnitt zu ersetzen, die aber sehr flach bleiben musste, weil sie den regen innerstädtischen Verkehr nicht durch eine große Steigung behindern sollte. Das Lehrgerüst für den flachen Brückenbogen war nur eines der kleineren Probleme, die sich beim Bau der Brücke stellten. Schwierig waren vor allem Wasserhaltung und Gründung, zumal angesichts der beengten innerstädtischen Lage der Baustelle. Trotz der vermutlich verfügbaren Informationen aus Venedig entwickelte und begutachtete man zahlreiche Lehrgerüstentwürfe ganz anderer Art, als sie in Italien verbreitet waren. Christiane Kaiser hat diese Entwürfe in ihrer Dissertation zur Fleischbrücke zusammengestellt und mustergültig aufbereitet.¹⁸ Einige dieser Entwurfszeichnungen sind in so eindrucksvoller Perspektive ausgearbeitet, dass man sie wohl als Darstellung von entsprechenden Holzmodellen interpretieren muss.¹⁹ Die Entwürfe wurden im weiteren Umkreis beachtet. Jedenfalls fanden zwei Zeichnungen, die die Konstruktion der mutmaßlichen Holzmodelle wiedergeben, den Weg in die Sammlung Nicolai in der Württembergischen Landesbibliothek Stuttgart, eine aus dem ausgehenden 18. Jahrhundert stammende umfangreiche Privatsammlung einer Unzahl von Zeichnungen und Stichen zu technischen Objekten, Architektur, Bautechnik und Kriegskunst (Bild 6.9).²⁰

Allen erhaltenen Lehrgerüstentwürfen für Nürnberg gemeinsam ist, dass keiner von ihnen auch nur im Ansatz den gleichzeitigen italienischen Konstruktionen ähnelt. Vielmehr handelt es sich nahezu durchgehend um Lehrgerüste, die durch ein Raster von Pfählen getragen werden, die die Lasten direkt vertikal in das Flussbett abtragen. Die Stuttgarter Zeichnung (Bild 6.9) stellt in vereinfachter Weise nur das

Bild 6.8 Nürnberg, Fleischbrücke

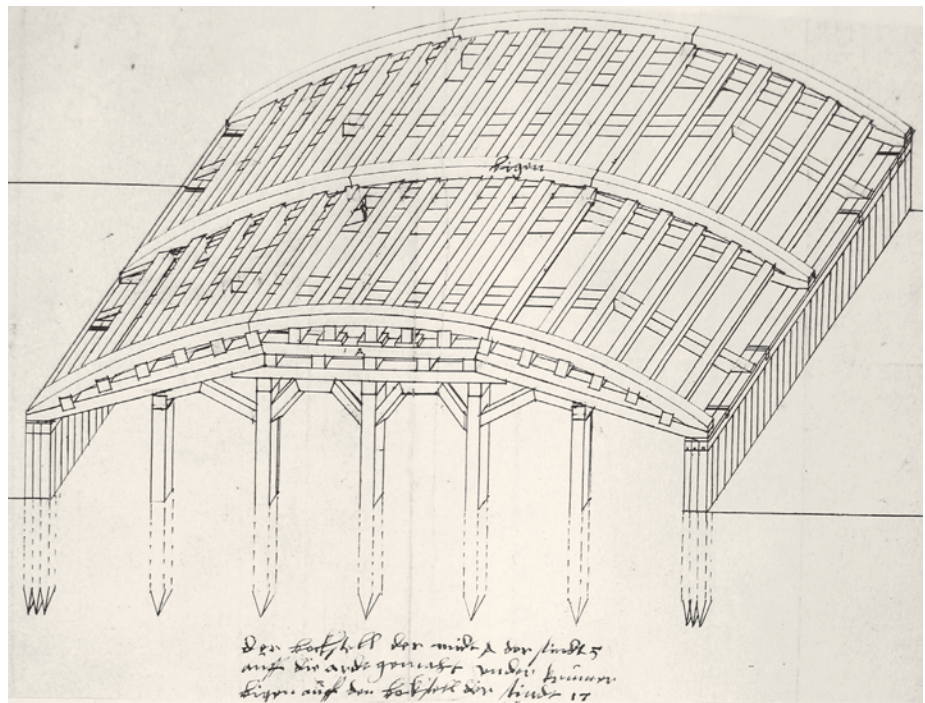


¹⁸ Kaiser 2005, Bd. 1, S. 108–109, Bd. 2, S. 30–33, S. 70–71, S. 89, S. 92, S. 111, S. 132 und S. 152–153.

¹⁹ Kaiser 2005, S. 30–31.

²⁰ Das dargestellte Gerüst entspricht dem Modellbild im Staatsarchiv Nürnberg, BMB I, fol. 41 r., das Kaiser 2005, S. 30 abbildet. Die zweite Stuttgarter Zeichnung in Slg. Nicolai, Bd. 5, fol. 67 r., entspricht dem Verso dieses Blattes.

Bild 6.9 Lehrgerüstentwurf zur Fleischbrücke
Nürnberg (Sammlung Nicolai,
Württembergische Landesbibliothek Stuttgart)



Grundprinzip des Gerüsts dar: Längs zum Fluss sind fünf parallele Pfahlreihen in den Fluss gerammt, die flache Trapezsprengwerke unterstützen, die quer zum Fluss die Bogenform grob approximieren. Auf diesen liegen wiederum parallel zum Fluss dicht an dicht Pfetten, auf denen die aus gekrümmten Vollholzstücken gearbeiteten Bügen aufliegen. Nur drei der Bügen sind dargestellt, während das mutmaßlich für die Zeichnung als Vorlage dienende Modell 17 Bügen aufwies. Insgesamt ist die Konstruktion des Lehrgerüsts sehr einfach. Mit der Auflagerung auf Pfahlreihen bzw. Pfahljochen erinnert sie an die Bauweise der einfachsten Holzbrücken, die über Jahrtausende hinweg allgegenwärtig waren. Auch die anderen Zeichnungen stellen sehr ähnliche Gerüste dar, doch weisen manche von ihnen eine unpraktisch hohe Zahl von Pfählen auf, die in einem engmaschigen Raster hätten in den Flussgrund gerammt werden müssen. Auf einigen der Blätter ist zwischen den Pfählen des Lehrgerüsts knapp über der Wasseroberfläche noch eine ausgebreiterte Arbeitsplattform zu sehen.

Für die Bauaufgabe einer flachen Steinbogenbrücke waren alle diese Gerüstentwürfe sehr angemessen. Man wird davon ausgehen können, dass das real ausgeführte Gerüst den in den Zeichnungen dargestellten Vorschlägen sehr ähnlich war. Da auf der Pegnitz kein nennenswerter Schiffsverkehr stattfand, stellte es kein Problem dar, dass der Fluss in ganzer Breite durch das Lehrgerüst versperrt war. Unklar bleibt allerdings bei den meisten Zeichnungen die Ausrüstvorrichtung. Dass eine solche existierte, wird durch einen zeitgenössischen Bericht unterstrichen. Joachim Sandrart (1606–88) schrieb im zweiten Band seiner *Teutschen Academie* über die Fleischbrücke: „Ein Wol-Edler Magistrat der Stadt Nürnberg verlangte zu seiner Zeit eine große Brücke, in mitte der Stadt, über den Pegnitz-Fluß, und zwar nur eines Bogens, und daß sie nicht zu hoch zu steigen wäre: und solches Werk wurde diesem Peter Carl einhellig anvertrauet [...]. Hierauf hat er den steinern Boden gelegt, und folgendes zu dem großen Bogen, um aufzumauren, den hölzernen Pockstul aufgerichtet und dergestalt vernünftig befestiget, daß, wie der Brucken-bau von Quatersteinen darauf gemauert gewesen, durch ausschlagung der hölzernen Nägel, plötzlich auf einmal alles Gehölz des Pockstuls ins Wasser gefallen, der Brücke schwerer Last aber,

mit schrecklichem Krachen, das Werk um etliche Schuh hinunter gedrückt, und in einander fast gesetzt.“²¹ Einige der erhaltenen Entwürfe zeigen als Stützung unter den Lehrbögen kurze hölzerne Stempel, die man zum Ausrüsten hätte wegschlagen können. Vielleicht meint Sandrart diese mit dem Wort „Nägel“. Die Beschreibung des Ausrüstens atmet jedenfalls fast die Atmosphäre eines Augenzeugenberichtes.

Ein direkt von unten gestütztes Lehrgerüst wie in Nürnberg hinterlässt selbstverständlich an der Brücke keinerlei Spuren. Die gänzliche Abwesenheit von Spuren an einer Brücke könnte also auf die Verwendung solcher Gerüste weisen. Leider sind nach den vielfältigen Kriegszerstörungen und Umbauten im Dienste des Hochwasserschutzes oder der Schiffbarmachung nur noch sehr wenige mittelalterliche und frühneuzeitliche Steinbogenbrücken im deutschen Sprachraum wenigstens einigermaßen im Originalzustand erhalten. An diesen sind tatsächlich fast nie Balkenlöcher am Bogenansatz zu sehen.²² Sie wurden also vermutlich wie die Fleischbrücke auf einem direkt auf Pfähle im Flussbett gestützten Gerüst errichtet. Wo solche direkt gestützten Gerüste nicht möglich waren, musste man selbstverständlich auch im deutschen Sprachraum auf andere Lösungen zurückgreifen. Dies zeigt das nächste Beispiel.

Ein wahrscheinlich weltweit einzigartiges Zeugnis des frühneuzeitlichen Brückenbaus findet sich etwas abgelegen in Tirol. In Grins, auf einem Absatz am Abhang der nördlichen Talseite des Sanna-Tals, hatte die mittelalterliche Arlbergstraße eine tief

Bild 6.10 Gesamtansicht der Brücke von Grins/Tirol, Nordseite

²¹ Sandrart 1675, S. 374.

²² Beispielhaft seien die Lahnbrücke in Limburg, die Werrabrücke in Hannoversch Münden, die Tauberbrücke in Tauberrettersheim und die Naabbrücke in Kallmünz genannt. An diesen Brücken konnte der Autor selbst durch Augenschein das Fehlen entsprechender Spuren konstatieren. In allen genannten Fällen liegen die Bogenansätze sehr knapp über dem Wasser.

²³ Zur Brücke allgemein: Gerlich 1958, S. 153–155.

²⁴ Die Brücke mit dem Lehrgerüst wurde vom Autor gemeinsam mit Dr. Clemens Voigts, München, im Mai 2013 von der damals wegen des geringeren Bewuchses der Hänge besser einsehbaren Nordseite her tachymetrisch vermessen. Dank des freundlichen Entgegenkommens eines Anwohners an der Südwestseite der Brücke konnte die Struktur zudem von



Bild 6.11 Südseite der Brücke von Grins/Tirol

dessen Haus aus mit dem Stativ und Teleobjektiv detailliert fotografisch erfasst werden.

25 Es handelt sich also nicht etwa, wie Gerlich 1958, S. 155 mutmaßt, um die Brücke von 1550.

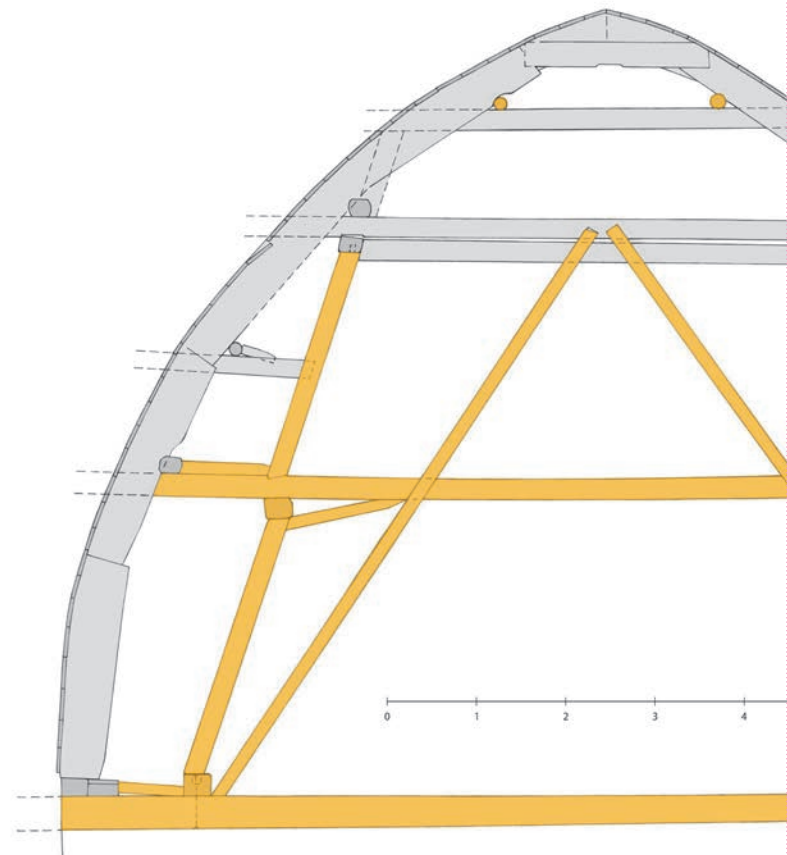
26 Im Internet waren für einige Zeit Fotos der ausführenden Firma von Reparaturen der Nordseite während der frühen 2000er Jahre zu sehen, im Zuge derer der dortige Haupttragbalken durch ein unentrindetes Rundholz ersetzt wurde. Am ostseitigen Rähm des untersten Stockwerks findet sich die Restaurierungsinnschrift „H.I. S. TH. [...] 1977. JSTL. AG. KM. R.A.“.

27 Anonyme Aufnahme der Brücke von Südost, 1908 (Ausschnitt, Kontrast und Helligkeit verbessert). Der Standort des Fotografen ist heute wegen einer später errichteten Stützmauer nicht mehr zugänglich. Auch etwas spätere Postkarten zeigen das Gerüst noch in unrestauriertem Zustand.

eingeschnittene Schlucht eines Seitenbaches zu überqueren.²³ 1639 wurde die an dieser Stelle schon vorher bestehende Brücke durch eine spitzbogige Steinkonstruktion aus Bruchsteinmauerwerk ersetzt (Bild 6.10). Sie weist eine Öffnung von 12,30 m Lichtweite bei einer Stichhöhe von 9,10 m auf.²⁴ Mehrere eingemauerte Steine mit Jahreszahlen und Initialen und einem Steinmetzzeichen datieren die Brücke unzweifelhaft auf 1639.²⁵ Dieselbe Jahreszahl und dieselben Initialen kehren auch wieder auf dem unter der Brücke noch vorhandenen Lehrgerüst. Mehrere Balken auf der talzugewandten Südseite des Gerüsts sind damit markiert (Bild 6.11).

Ein noch erhaltenes historisches Lehrgerüst ist natürlich eine einmalige Seltenheit. Daher verwundert es nicht, dass das Grinner Lehrgerüst inzwischen zum Wahrzeichen der Gemeinde avanciert ist und sogar das Ortswappen schmückt. Das Gerüst überstand sogar den Ortsbrand von 1945, der einen großen Teil des Dorfes zerstörte. Im 20. und 21. Jahrhundert ist das Gerüst vielfach repariert worden, wovon auch etliche etwas verstecktere Inschriften zeugen.²⁶ Dass es sich dennoch um ein authentisches historisches Zeugnis handelt, wird jedoch durch historische Fotografien aus dem Beginn des 20. Jahrhunderts belegt (Bild 6.12).²⁷ Auf den historischen Bildern fehlen einige Hölzer, die heute wieder vorhanden sind. Andere sind schadhaft, wieder andere Hölzer sind inzwischen ohne historisches Vorbild hinzugefügt worden. Obwohl eine handnahe Untersuchung des Gerüsts wegen dessen Unzugänglichkeit über der tiefen Schlucht nicht möglich war, konnte ein tachymetrisches Aufmaß der





Nordseite erstellt werden. Anhand der historischen Bilddokumente und anhand einer genauen Untersuchung der Brücke mit dem Feldstecher war es außerdem möglich, für beide Ansichtsseiten der Brücke eine präzise Kartierung des authentischen historischen Bestandes und der modernen Reparaturen vorzunehmen.

Ein Blick auf die Dokumentation der Nordseite im heutigen Zustand (Bild 6.13)²⁸ mag zunächst zu einer gewissen Ernüchterung oder Enttäuschung führen. Ein erheblicher Teil der Hölzer ist nicht mehr original. Allerdings handelt es sich um die am stärksten geschädigte Seite der Konstruktion. Die weiter innen liegenden, durch den Brückenbogen gegen Witterungseinflüsse geschützten Teile des Gerüstes sind weit aus besser erhalten. Sie erlauben außerdem zusammen mit den historischen Fotos eine ganz zweifelsfreie Rekonstruktion der originalen Struktur des Gerüstes, welche weitestgehend mit der heute noch vorhandenen übereinstimmt.

Das Gerüst (Bild 6.14) besteht aus vier Bindern, die über sechs Bügen die Schalung des Brückenbogens tragen. Die spitzbogigen Bügen bestehen aus jeweils zwei Hälften, die im Scheitel des Bogens aneinander stoßen und dort durch ein angenageltes Brett verbunden sind. Konstruiert sind die Bügen aus je zwei Lagen grob zugeschnittener, relativ dünner Bretter, die mit versetzten Stößen übereinander gelegt und mit eisernen Nägeln aufeinander befestigt sind. Auch die Schalung besteht aus recht dünnen Brettern. Am Bogenansatz stehen die Bügen auf einer schmalen, aus dicken Bohlen gebildeten Plattform. Das Traggerüst der Konstruktion ruht auf vier starken horizontal liegenden Rundhölzern, die beiderseits in Balkenlöcher in den Brückenwiderlagern einbinden. Diese Rundhölzer konnten – mit einigen Brettern belegt – für das Aufrichten der übrigen Konstruktion eine bequeme Arbeitsplattform bieten. Die Tragkonstruktion besteht – zumindest was die original erhaltenen Teile

Bild 6.12 Historische Fotografie des Lehrgerüstes in Grins/Tirol (1908)

Bild 6.13 Kartierung des Originalbestandes und der modernen Auswechselungen an der Nordseite des Lehrgerüstes von Grins (grau: original; gelb: ausgewechselt)

²⁸ Aufmaß Holzer/Voigts 2013, Zeichnung Clemens Voigts.

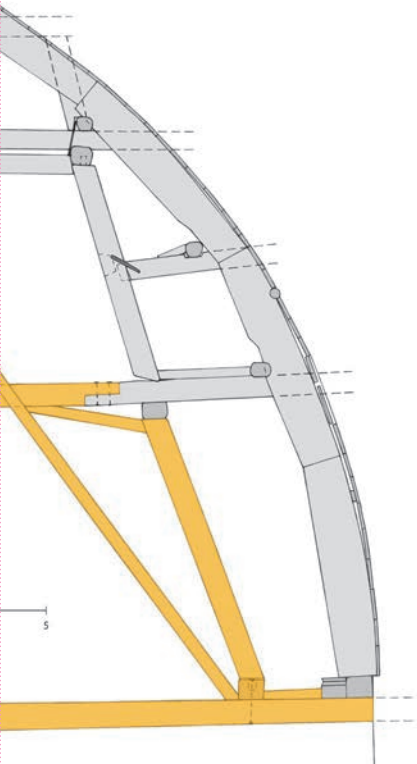


Bild 6.14 Schrägansicht der Nordseite des Lehrgerüsts von Grins

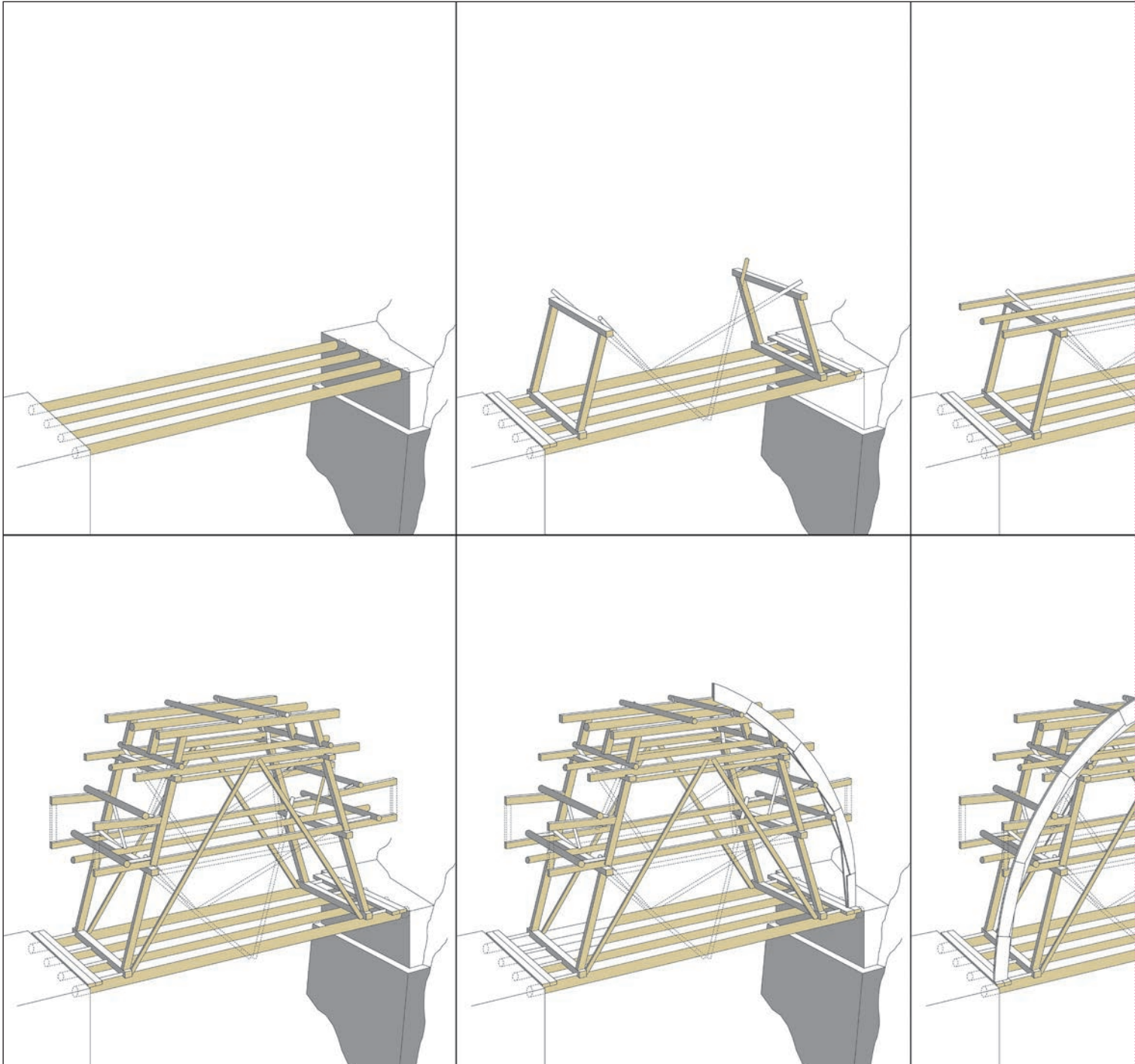
betrifft – nahezu ausschließlich aus Kantholz. An einzelnen Hölzern können Zeichen einer Zweitverwendung abgelesen werden – so an einer der Stützen des zweiten Stockwerks (NW), die ein unbenütztes Zapfenloch aufweist. In der Struktur des Gerüsts orientierte sich der Baumeister offenbar in gleicher Weise an den zeitgenössischen regional üblichen Dachwerkskonstruktionen, wie dies auch seine italienischen Kollegen taten: Das Gerüst entspricht weitgehend dem Schema des „liegenden Stuhles“, der hier in drei Stockwerken gestapelt ist. Der liegende Stuhl setzt sich aus trapezförmigen Rahmen zusammen. Zwei geneigte „liegende Stuhlwände“ stützen jeweils über einen den oberen Abschluss der Wand bildenden Balken („Rähm“) eine Kehlbalkenlage. Im zweiten Stockwerk – und nur dort – sind die beiden liegenden Stuhlwände gegeneinander durch „Spannriegel“ verstrebt, die unter den Kehlbalken liegen. Offenbar binden alle drei Kehlbalkenlagen in das Mauerwerk des Brückenbogens ein. Daher konnten die Elemente der seitlichen Stabilisierung sparsamer angewendet werden, als dies bei Dachkonstruktionen mit liegendem Stuhl üblich war. Das Gerüst ist seitlich nur durch jeweils zwei lange schräge Streben ausgesteift, die auf die beiden Schauseiten aufgenagelt sind. Die ganze Konstruktion ist außerdem im Gegensatz zu üblichen Dachwerken unter weitgehender Vermeidung aufwendiger zimmermannsmäßiger Verbindungen hergestellt, mit Ausnahme einiger Zapfungen. Die meisten Hölzer stoßen nur stumpf gegeneinander oder sind mit Eisennägeln fixiert.



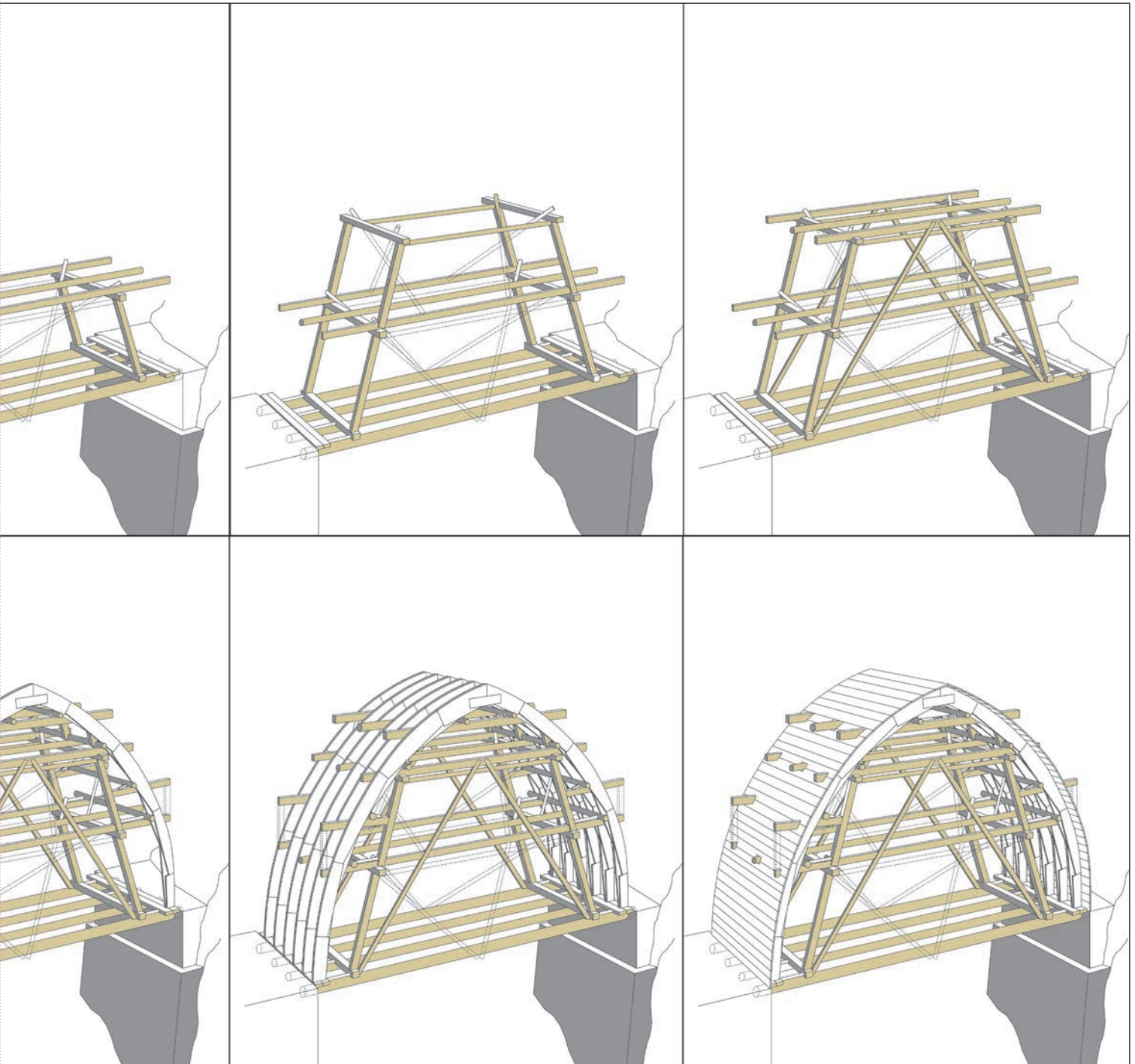
Die Beobachtungen an der Struktur erlauben eine ziemlich eindeutige Rekonstruktion des Aufricht- und Bauvorganges (Bild 6.15).²⁹ Auf der untersten Arbeitsplattform wurden zunächst die beiden ersten liegenden Stuhlwände aufgestellt. Eine Verstrebung durch Spannriegel sparte man sich, indem man die beiden geneigten Wände durch temporäre aufgenagelte dünne Rundholzstangen in Position hielt, deren abgesägte Reste noch vorhanden sind. Sodann wurde die erste Kehlbalkenlage

Bild 6.15 Rekonstruktion der Aufbausequenz des Lehrgerüsts von Grins

29 Zeichnung Clemens Voigts nach Beobachtungen Holzer/Voigts (überarbeitet durch den Verfasser).



aufgelegt. Wahrscheinlich binden die Kehlbalken rückseits ziemlich weit in die Widerlager ein (tiefer als in der Abbildung dargestellt), die man schon vorher auf entsprechende Höhe aufgemauert hatte. So konnte das Gerüst durch die Kehlbalken stabilisiert werden, während es andernfalls eine Zeitlang eine sehr wackelige Konstruktion gewesen wäre. Auch das zweite liegende Stuhlstockwerk wurde beim Aufstellen zunächst durch dünne Streben ausgesteift. Beim stockwerksweisen Aufstellen



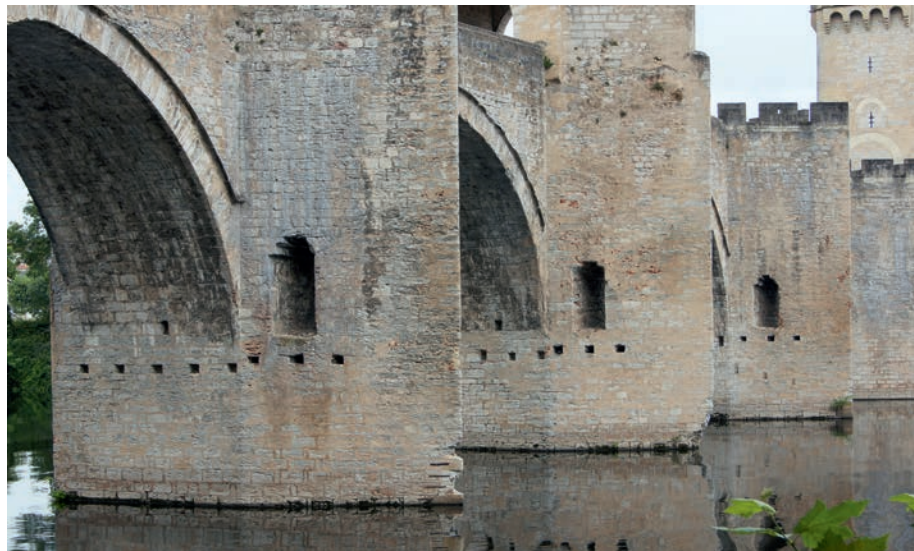
der Stühle boten sich die Kehlbalkenlagen des jeweils darunterliegenden Stockwerks für die Einrichtung bequemer temporärer Arbeitsplattformen an. Sobald alle Stühle aufgerichtet waren, folgten die Pfetten, die den sechs Lehrbögen unterlegt sind. Als letztes konnten die Bügen aufgesetzt und eingeschalt werden. Das Einschalen erfolgte wohl schrittweise entsprechend dem Baufortschritt am Bogen, jedenfalls sind die Schalbretter offenbar nicht an den Bügen festgenagelt, sondern nur lose aufgelegt. Nach Fertigstellung der Bogenläufe konnte auch deren Hintermauerung hergestellt werden.

Nach Fertigstellung des Bogens hätte der Vorgang des Ausrüstens stattfinden sollen, auf den man allerdings ja offenkundig verzichtete. Warum man sich dafür entschied, das Lehrgerüst *in situ* zu belassen und sogar noch mit den markanten Baumeisterinschriften und Jahreszahlen zu versehen, ist nicht nachvollziehbar. Man hatte nämlich durchaus Vorkehrungen zum Abbau des Gerüsts getroffen (Bild 6.16). Die Pfetten, die die Lehrbögen halten, sind alle nur auf die Kehlbalken aufgelegt, jedoch nicht unverrückbar dort gehalten. Diese Aufgabe übernehmen vielmehr hölzerne Nägel, kurze keilartig eingesetzte Holzstücke oder eingeklemmte Rundhölzer, die die Pfetten mit den Fußschwellen der liegenden Stühle oder den Fußpunkten der



Bild 6.16 Ausrüstvorrichtungen am Lehrgerüst von Grins

Bild 6.17 Gerüstspuren am Pont Valentré über den Lot in Cahors (14. Jh.)



liegenden Stuhlsäulen verstreben. Diese Hölzer hätte man nach Fertigstellung des Gewölbes einfach seitlich herausschlagen können, wodurch sich die Lehrbögen gelockert hätten und das Gewölbe freigestellt worden wäre. Man hätte sodann von den Kehlbalkenlagen aus auch die Stützkonstruktion des Gerüsts sukzessive abbauen können. Nur die Entfernung der Kehlbalkenlagen hätte wahrscheinlich einige Schwierigkeiten bereitet, vor allem, falls diese Balken tatsächlich relativ tief in das Mauerwerk einbinden, wie wir es angenommen haben. Nicht zufällig hat man auch im Hochbau gelegentlich auf eine Beseitigung der Balkenlagen der Lehrgerüste verzichtet, wenn diese tief ins Mauerwerk hineinragten.

Das Lehrgerüst in Grins muss als wertvolles und authentisches Zeugnis des spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Brückenbaus im deutschsprachigen Raum bewertet werden. Ob der Bauweise eine gewisse Provinzialität oder Rückständigkeit anhaftete, kann heute nicht mehr beurteilt werden. Da die Entwicklungen in der Bautechnik auch sonst meist sehr langsam vor sich gingen und jedenfalls in Grins selbst auch eine barocke Pfarrkirche mit zeittypisch konstruiertem Dachwerk mit liegenden Stühlen erhalten ist, sollte man das Lehrgerüst jedoch nicht als irrelevanten Exoten abtun. Für die konkrete Bauaufgabe war das Lehrgerüst optimal konzipiert. Der Verzicht auf das Ausrüsten erfolgte offenkundig vor allem aus freien Stücken oder war der objektiven Unzugänglichkeit der Konstruktion über dem Abgrund geschuldet, nicht jedoch mangelnder Vorbereitung oder konzeptionellen Mängeln.

Beobachtungen an mittelalterlichen Steinbrücken geben oftmals Anlass, hypothetisch ganz ähnliche Lehrgerüste wie in Grins zu rekonstruieren. Als Beispiel sei der berühmte Pont Valentré über den Lot in Cahors genannt (Bild 6.17). Dort finden sich an jedem Pfeiler knapp unter dem Bogenansatz jeweils fünf etwa quadratische, horizontal in den Pfeiler führende Balkenlöcher. Sie werden wohl Balken aufgenommen haben, die ähnlich wie in Grins eine Arbeitsplattform getragen haben. Möglicherweise verzichtete man wegen des öfters Hochwasser führenden Gebirgsflusses Lot auf eine Zwischenstützung im Flussbett. Das Traggerüst, das sich über diesen Grundbalken erhob, wird zwar sicher nicht aus liegenden Stühlen bestanden haben,

aber trotzdem ähnlich wie in Grins aus stockwerksweise aufgestapelten Strukturen, mit denen die relativ große Höhe der spitzbogigen Öffnungen leicht ausgefüllt werden konnte. Interessant sind weitere horizontale Balkenlöcher, die die oberstromseitigen, dreieckig zugespitzten Pfeilervorlagen (*avant-becs*) komplett durchqueren. Da über ihnen auch Durchgänge durch die Pfeilervorlagen angeordnet sind, können diese Balkenlöcher nur die Spuren einer Baustellenbrücke (*pont de service*) sein, über die Arbeiter und Baumaterial an die Bögen herangebracht wurden.

Ähnliche Spuren finden sich auch an der mittelalterlichen Brücke über den Tarn in Albi (Bild 6.18). Diese Brücke, die im 14. Jahrhundert in Natursteinmauerwerk mit Spitzbögen genau wie in Cahors errichtet worden ist, wurde 1820 in Backstein verbreitert und teilweise rekonstruiert.³⁰ Dabei wurde die Fahrbahnverbreiterung unterstromseitig auf die rechteckigen hinteren Pfeilerköpfe (*arrière-becs*) aufgesetzt. Diese weisen ebenfalls jeweils zwei Balkenlöcher auf, die eine Baustellenbrücke getragen haben müssen, die auf der Höhe der ursprünglichen Oberkante der Pfeilerköpfe verlief, also an der heutigen Grenze zum Backsteinmauerwerk. Wieder wurde das Lehrgerüst der Steingewölbe von vier Bindern auf wohl durchgehenden Grundbalken getragen. In Albi wie in Cahors ist neben der spitzen Bogenform auch die Lichtweite von 13–16 m sehr gut mit der Brücke zu Grins vergleichbar, so dass ähnliche Lösungen nahelagen.

Zwei Bögen der Brücke von Albi wurden schon im 15. Jh. repariert (Bild 6.19).³¹ Auch damals verwendete man schon Backstein anstelle von Naturstein als Baumat-

Bild 6.18 Gerüstspuren am Pont Vieux über den Tarn in Albi (14. Jh.)

Bild 6.19 Gerüstspuren einer Reparatur am Pont Vieux über den Tarn in Albi (15. Jh.)

³⁰ Dazu Nouvelle Collection 1825, Bd. 1, Nr. 20, mit Darstellung der zur Verbreiterung verwendeten Lehrgerüste.

³¹ Zu den archivalischen Quellen hierzu ausführlich Boyer 1976, S. 154–155. Danach die im Folgenden zitierten anekdotischen Details.

