

## NICOLA CAVALIERI SAN-BERTOLO UND SEIN INGENIEURBAU-LEHRBUCH VON 1826<sup>1</sup>

### *Zusammenfassung*

*Kaum eine andere historische Erkenntnisquelle bietet tiefere und unmittelbare Einblicke in den Wissensstand und in den internationalen Wissenstransfer in der frühen Ingenieurwissenschaft als die Lehrbücher der polytechnischen Lehranstalten. Der vorliegende Beitrag zeigt anhand einer kleinen Analyse des Inhaltes und der Quellen des bedeutendsten italienischen Ingenieurbau-Lehrbuches des ganzen 19. Jahrhunderts, nämlich der Istituzioni di architettura statica e idraulica (1826–27) des römischen Ingenieurs, Professors und Politikers Nicola Cavalieri San-Bertolo (1788–1867), die unverzügliche grenzüberschreitende Rezeption richtungsweisender wissenschaftlicher Erkenntnisse auf. Vor dieser Folie werden auch Cavalieri San-Bertolos eigene Leistungen deutlich, die in der Geschichte der frühen Bau-Ingenieurwissenschaft ebenfalls nicht übersehen werden sollten.*

### *Abstract*

*Contemporary textbooks intended for daily practice constitute a rich source for the study of the depth and dissemination of technical knowledge in early engineering sciences. Based on Italy's best 19th century original engineering construction manual, the Istituzioni di architettura statica e idraulica (1826–27) by Nicola Cavalieri San-Bertolo (1788–1867) this paper investigates into the state of the art of the science of construction in Italy in the first half of the 19th century. The book testifies to the rapid adaption of newest French results into the teaching at the newly formed school of engineering at the Sapienza in Rome, and also to some independent ideas developed by Cavalieri San-Bertolo which merit mention in the history of construction.*

---

<sup>1</sup> Danksagung: Ein Teil der Recherchen, die die Grundlage des vorliegenden Beitrags bilden, wurde durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft ermöglicht (DFG-Geschäftszeichen Ho 1517–7,1).

## Eine polytechnische Schule im Kirchenstaat

Aus der heutigen Position des historischen Rückblicks tendieren wir dazu, die neuzeitliche Wissenschaftsgeschichte des Bauens mindestens bis in die Zeit um 1600, etwa zu Guidobaldo del Monte und Galileo Galilei, zurückzuführen. Auch die wissenschaftlichen Errungenschaften des 18. Jahrhunderts, vor allem aus Frankreich, erscheinen uns heute als wesentliche Elemente der Wissensgeschichte des Bauens. Eine solche Sichtweise ist zwar korrekt, sie lenkt aber doch etwas von der Tatsache ab, dass eine echte Integration und Nutzbarmachung der wichtigen Erkenntnisse der modernen Physik in die alltägliche Praxis des Entwerfens, Konstruierens und Bauens erst mit der Gründung der polytechnischen Lehranstalten und der damit einhergehenden grundsätzlichen Reorganisation der Ausbildung der Bauschaffenden erfolgt ist, während das reale Bauen bis dahin (und teils noch viel länger) vom mündlichen oder teilverschriftlichten Wissenstransfer von Erfahrungswissen dominiert blieb. Der vorliegende Beitrag zeigt am Beispiel Italiens exemplarisch die ersten Schritte zu einer Zusammenführung beider Welten im polytechnischen Kontext auf.

Die große Zeit des Wandels ist in ganz Europa das erste Drittel des 19. Jahrhunderts. Zahlreiche später renommierte Polytechnische Schulen gehen auf diese Zeit zurück. Im Bewusstsein verankert sind etwa Prag (1806), Wien (1815) und Karlsruhe (1825). Weniger bekannt ist, dass auch im Kirchenstaat durch Papst Pius VII. schon kurz nach dem Ende der napoleonischen Herrschaft und im direkten Zusammenhang mit der eigenstaatlichen Reorganisation 1817 eine ›Scuola degli ingegneri pontifici‹ in Rom gegründet wurde. Diese Ingenieurschule war zunächst bei der päpstlichen Straßen- und Wasserbauverwaltung (›Presidenza delle acque e delle strade‹) angesiedelt. Kurz nach dem Amtsantritt des reaktionären Papstes Leo XII. wurde sie im Zuge einer Zentralisierung und Gleichschaltung aller Lehrstätten im Jahre 1826 allerdings der traditionsreichen Universität Sapienza (auch als ›Archiginnasio Romano‹ bekannt) eingegliedert.<sup>2</sup> Bis zur Gründung des italienischen Königreiches 1870 blieb die Ingenieurschule Teil der Philosophischen Fakultät der Sapienza.

Das Konzept der römischen Ingenieurschule war deutlich vom Muster der École des Ponts et Chaussées in Paris beeinflusst und orientierte sich auch in den Lehrfächern und Lehrinhalten am französischen Vorbild. Qualifizierte Absolventen der Accademia di San Luca (Kunsthochschule) oder der Mathematik/Physik von den übrigen kirchenstaatlichen Hochschulen konnten

---

2 Zur Geschichte der Ingenieurschule vgl. die schöne Zusammenfassung in: Stabile, Francesca Romana: *Introduzione*. In: Cavalieri San-Bertolo: *Istituzioni di architettura statica e idraulica*. Faksimile der Ausgabe 1831. Rom 2008, Bd. 1, S. 9–73, hier S. 15–17. Frau Stabile danke ich für die freundliche Überlassung dieser Einführung, die in Deutschland auf dem Bibliotheksweg nicht zu beschaffen ist. Frau Stabile sieht Giuseppe Venturoli als treibende Kraft für die Eingliederung in die Sapienza (Stabile 2008, S. 17), während für Annarosa Cerutti Fusco der Aspekt der Gleichschaltung innerhalb der kirchenstaatlichen Wissenschaftsorganisation im Vordergrund steht: Cerutti Fusco, Annarosa: *Nicola Cavalieri di [sic] San-Bertolo (1788–1867) e la cultura tecnico scientifica della scuola di ingegneria in Roma*. In: Mochi, Giovanni (Hg.): *Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli* (Int. Seminar). Ravenna 2005, S. 537–550.



Abb. 1 Giuseppe Venturoli (1768–1846; links) und Nicola Cavalieri San-Bertolo (1788–1867; rechts) sind die einzigen Ingenieure, die im Büstenpark auf dem Pincio in Rom (2. H. 19. Jh.) durch Denkmäler gewürdigt werden.

hier einen postgradualen zwei- beziehungsweise dreijährigen Vertiefungsstudiengang zum Architekteningenieur beziehungsweise Bauingenieur (›architetto-ingegnere‹ beziehungsweise ›ingegnere civile‹) absolvieren.

Gründungsrektor der römischen Ingenieurschule war Giuseppe Venturoli (1768–1846); er wurde 1825 durch Nicola Cavalieri San-Bertolo (1788–1867) abgelöst. Diese beiden Wissenschaftler haben das Bauingenieurwesen in Italien in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts maßgeblich geprägt, und zwar ganz besonders durch ihre in direktem Zusammenhang mit der Lehre an der kirchenstaatlichen polytechnischen Schule stehenden Lehrbücher – Venturolis ab 1817 in dritter Auflage völlig neu bearbeitete *Elementi di meccanica e d'idraulica*<sup>3</sup> und Cavalieri San-Bertolos *Istituzioni di architettura statica e idraulica*.<sup>4</sup> Während Venturolis Buch vor allem den mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagen – mit besonderem Gewicht auf der in Italien traditionell stark vertretenen Hydraulik – gewidmet ist, versucht Cavalieri San-Bertolo sich in seinem Werk in der direkten Anwendung dieser Grundlagen auf baupraktische Entwurfs- und Bemessungsaufgaben. Venturoli und Cavalieri San-Bertolo sind übrigens die beiden einzigen Ingenieure, die Aufnahme in das – je nach Standpunkt beeindruckende oder

3 Venturoli, Giuseppe: *Elementi di meccanica e d'idraulica*. 3. Auflage. 2 Bde. Mailand 1817/18.

4 Cavalieri San-Bertolo, Nicola: *Istituzioni di architettura statica e idraulica*. 1. Aufl. 2 Bde. Bologna 1826/27. Die Sprachbarriere hat dazu geführt, dass dieses wichtige Werk außerhalb Italiens kaum bekannt ist, während es in Italien selbst zu Recht als wahrer ›Klassiker‹ betrachtet wird.

schon fast skurrile – ›Pantheon‹ italienischer Geistesgrößen gefunden haben, den Büstenpark auf dem Pincio in Rom rund um die Casina Valadier (Abb. 1). Dafür dürften aber weniger ihre wissenschaftlichen Leistungen als vielmehr ihre Stellung als Hochschulpolitiker maßgebend gewesen sein.

Erst 1831 wurden die Professuren der Ingenieurschule an der Sapienza mit jenen der übrigen Universitätslehrstühle gleichgestellt. Nicola Cavalieri San-Bertolo blieb als Professor und Rektor bis 1851 im Amt.

## Nicola Cavalieri San-Bertolo (1788–1867)

Über Cavalieri San-Bertolos Biografie unterrichten einerseits einige zeitgenössische Nachrufe, andererseits die bereits zitierten Arbeiten von Francesca Romana Stabile und Annarosa Cerutti Fusco.<sup>5</sup> Nicola Cavalieri San-Bertolo verbrachte seinen gesamten Lebensweg als Ingenieur im Kirchenstaat. Geboren 1788 in Civitavecchia in Latium, wuchs er in Comacchio an der Adriaküste auf. In Ferrara studierte er naturwissenschaftliche Fächer und wurde sodann 1809 ›Repetitor‹ an der Universität Bologna bei dem damals renommierten Mathematikprofessor Giovanni Battista Guglielmini (1763–1817). Nach Ende der französischen Okkupation des Kirchenstaates wechselte Cavalieri San-Bertolo in die kirchenstaatliche Bauverwaltung, wo er vor allem mit wasserbaulichen Arbeiten im Podelta zu tun hatte, bevor er von Papst Pius VII. 1817 als Inspektor nach Rom berufen wurde. Gleichzeitig wurde er auch Lehrer an der neugegründeten Ingenieurschule, und zwar für das Fachgebiet ›Architettura statica e idraulica‹, also in modernen Begriffen für den ›Ingenieurbau‹. In Rom blieb Cavalieri San-Bertolo bis zu seinem Tod. Sein akademischer Nachlass befindet sich heute im Archiv der Accademia dei Lincei in Rom.<sup>6</sup> Dieser Nachlass besteht allerdings zum größten Teil lediglich aus der hinterlassenen Bibliothek des Wissenschaftlers und umfasst nur eine beschränkte Zahl von Manuskripten. Eine Ausnahme bilden mehrere gebundene Bände mit sorgfältig geordneten handschriftlichen Dokumenten zu Großprojekten, mit denen Cavalieri San-Bertolo federführend befasst war. Dabei handelt es sich zumeist um Wasserversorgungs- und Wasserbauangelegenheiten, zum Beispiel (1840) um die Beurteilung und Reparatur eines 1839 eingetretenen Dammbrechens am Fluss Lamone in der Nähe von Ravenna. In den engeren zeitlichen Umkreis der Erstpublikation der *Istituzioni* reicht nur ein zweibändiges Konvolut zur Wiederherstellung der Acqua Felice zurück (1834/35),<sup>7</sup> der schon im 16. Jahrhundert reaktivierten und mit dem bekannten ›Mosesbrunnen‹ geschmückten altrömischen Wasserleitungen Aqua Marcia und Aqua Claudia. In den 1830er Jahren war die ungenügende Wassermenge dieser Wasserleitung bemängelt

5 Nardi, Francesco: *Elogio funebre di Nicola Cavalieri San Bertolo*. In: Atti dell'Accademia pontificia de' nuovi lincei (Sitzung VII, 22. April 1867). Rom 1867, S. 139–153; Stabile 2008 (Anm. 2), S. 9–13, mit Nachweis weiterer Nachrufe; Cerutti Fusco 2005 (Anm. 2).

6 Rom, Accademia dei Lincei und Biblioteca Corsiniana, Fondo Archivio dei Lincei.

7 Accademia dei Lincei, AL 63.

und auf eventuelle illegale Entnahmen zurückgeführt worden. 1833 wurde daher durch Papst Gregor XVI. eine Kommission zur Klärung dieser Verdachtsfälle und zur gründlichen Reorganisation der Wasserleitung gegründet. Cavalieri San-Bertolo zeigt sich hier weniger als konstruierender Ingenieur als vielmehr in der Rolle eines Mediators; immerhin konnte er die aufgrund unterschiedlicher Druckhöhen ungerechte Verteilung der Wassermenge durch direktes Abzapfen von der Hauptleitung mit Abzweigrohren vorgeschriebenen Durchmessers als Ursache für die vermeintlichen Wasserverluste aufzeigen. In der Folge installierte man an allen Abzweigen anstelle der direkten Ausleitungen aus der Haupttröhre Wasserschlösser mit kontrollierten Druckhöhen.<sup>8</sup>

## Die Istituzioni des Cavalieri San-Bertolo

In den 1820er Jahren gab es noch kaum eine Tradition des wissenschaftlich begründeten Baukonstruktionsbuches. Die meisten Lehrbücher behandelten entweder die theoretischen Grundlagen der Mathematik, Mechanik und Hydraulik oder waren rein empirisch-praktische Konstruktionshandbücher ohne wissenschaftlichen Hintergrund. Reine Konstruktionslehren gab es ohnehin kaum, sondern eher bildlastige und textarme Sammlungen von mustergültigen ausgeführten Bauten wie die einflussreichen Vorlagenwerke von Jean-Charles Krafft zum Holzbau.<sup>9</sup> Als erste Versuche zu wissenschaftlich begründeten Konstruktionslehren kann man allenfalls die Wasserbau-Schriften aus dem Umkreis der Berliner Bauakademie – zum Beispiel die vier Hefte der *Praktischen Wasserbaukunst* von David Gilly und Johann Albert Eytelwein, 1802–1808 – werten. Selbst Frankreich, das die Pionierrolle in der Ingenieurwissenschaft einnahm, konnte nur mit dem von Claude Louis Marie Henri Navier herausgegebenen *Traité de la construction des ponts* seines Onkels und Ziehvaters Émiland-Marie Gauthey eine einzige Konstruktionslehre mit wirklich belastbarem ingenieurwissenschaftlichem Anspruch vorweisen.<sup>10</sup> Der Brückenschlag von der Mechanik zu ganz praktischen Konstruktionsaufgaben

---

8 Cavalieri San-Bertolo, Nicola: *Relazione alla Commissione speciale dell'acqua Felice intorno agli oggetti della sua istituzione*, 9. März 1834 (Accademia dei Lincei, AL 63, Bd. 1, fol. 15–48); die gesamte Sammlung, die von Cavalieri San-Bertolo wohl als Grundlage für eine Monografie zur Geschichte der Wasserversorgung Roms angelegt worden ist, trägt den Titel *Documenti per servire alla storia della generale riforma della distribuzione dell'acqua Felice eseguita negli anni 1834 e 1835, in adempimento del sovrano*. Noch 1857 hielt Cavalieri San-Bertolo in der Pontificia Accademia Tiberiana einen später auch noch gedruckten Vortrag zu diesem Thema: Cavalieri San-Bertolo, Nicola: *Sulle acque della moderna Roma e sui modi usati nella distribuzione di esse*. Rom 1859, hier bes. S. 23–24.

9 Krafft, Jean-Charles: *Plans, coupes et élévations de diverses productions de l'art de la charpente*. Paris/Straßburg 1805; Krafft, Jean-Charles: *Traité de l'art de la charpente, théorique et pratique*. 6 Bde. Paris/Mannheim 1819–22.

10 Gauthey, Émiland-Marie: *Traité de la construction des Ponts* (Œuvres de M. Gauthey, Bd. 1 und 2). Paris 1809–13.

war ein essentielles, persönliches Verdienst Naviers und seines *Résumé des leçons* von 1826.<sup>11</sup> Erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts erreichte das ingenieurwissenschaftliche Konstruieren mit den Werken von Weisbach, Moseley, Rankine, Ardant und Michon einen konsolidierten Stand. Damit hatte sich das rechnerische Bemessen aller Konstruktionselemente durchgesetzt, ausgehend von entsprechenden Lastannahmen und der Technischen Mechanik, mit dem Ziel einer möglichst effizienten Materialverwendung.

Vor diesem Hintergrund stellen sich die *Istituzioni di architettura statica e idraulica* von Nicola Cavalieri San-Bertolo als beachtenswerte Leistung dar, denn auch dieses Buch strebt schon deutlich erkennbar danach, das Konstruieren umfassend auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen. Die Erstauflage in zwei Bänden wurde 1826–27 in Bologna bei Cardinali und Frulli gedruckt. Diese Erstauflage war anscheinend trotz ihres hohen Preises nahezu sofort vergriffen.<sup>12</sup> Das Werk wurde daher von findigen Verlegern, den Fratelli Negretti, im benachbarten, jedoch außerhalb des Durchsetzungsbereichs des kirchenstaatlichen Copyrights gelegenen Mantua – damals im österreichischen Königreich Lombardo-Venetien – schon 1831 fast unverändert nachgedruckt.<sup>13</sup> Der Text wurde lediglich durch die Zugabe einer Preistabelle für Bauholz in Mailand erweitert. Die auf 67 Kupferstichtafeln, wie in der Erstausgabe versammelten Illustrationen wurden detailgetreu reproduziert. Die offenbar in ausreichender Auflagenhöhe gedruckte Mantuaner Ausgabe bestimmte die Rezeptionsgeschichte des Werkes maßgeblich. Auch alle späteren Ausgaben des Werkes blieben inhaltlich völlig unverändert.<sup>14</sup> Im Folgenden wird daher die Mantuaner Ausgabe als Referenzausgabe betrachtet.

Das Werk behandelt alle Teilgebiete des Ingenieurbaus. Einen Überblick verschafft man sich am besten anhand des Umfangs der einzelnen Teile<sup>15</sup>: Erdarbeiten, besonders im Hinblick auf Straßen- und Wasserbau (rund achtzig Seiten), Holzbau, mit ergänzenden Anmerkungen zum Eisenbau und einschließlich Holzbrücken und Lehrgerüste (insgesamt rund 300 Seiten), Mauerwerksbau, vor allem auch Gewölbe und Brückenbau sowie Schleusen (insgesamt rund 200 Seiten), Hebezeuge und andere Baumaschinen wie Pumpen und Bagger (rund hundert Seiten) sowie das Verfassen von Bauanschlägen (rund hundert Seiten). Der Zuschnitt des Werkes zeigt sich hierin deutlich inspiriert von Rondelets *Traité théorique et pratique de l'art*

---

11 Navier, Claude Louis Marie Henri: *Résumé des leçons données à l'école des ponts et chaussées, sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines*. Paris 1826.

12 »La qual opera non solo si pagava prima grandissimo prezzo, ma anche era cosa difficilissima il trovarne copia.« N. N.: *Indicatore letterario. Istituzioni di architettura statica e idraulica di Nicola Cavalieri San Bertolo*. In: *L'Eco* 4 (1831), Nr. 97, S. 388.

13 Cavalieri San-Bertolo, Nicola: *Istituzioni di architettura statica e idraulica*. 2. Aufl. 2 Bde. Mantua 1831. Rez. zu diesem Neudruck in: *Biblioteca Italiana* 16 (1831), Bd. 64, S. 312–313. Der Rezensent fragt sich ironisch-besorgt, ob der Verlag wohl seine Einkünfte mit dem Autor redlich geteilt habe.

14 Eine möglicherweise immer noch unvollständige Liste der Nachdrucke: Negretti in Mantua: 1845, 1853, 1855; Gallo in Neapel: 1838–39, 1868, 1879; Bettelli in Florenz: 1832–33; Belle Arti in Rom: 1856.

15 Hier nach Maßgabe der Ausgabe Mantua 1831.



Abb. 2 Tafel 30 aus Band II der *Istituzioni di architettura statica e idraulica* von Cavalieri San-Bertolo ist direkt von den Tafeln 8, 9, 11 und 12 des *Traité complet de mécanique: Mouvements des fardeaux* von Giuseppe Antonio Borgnis (1818) übernommen.

*de bâtir*,<sup>16</sup> jedoch mit einer ungewohnt starken und für Italien umso überraschenderen Betonung des Holzbaus.

Die Abbildungen des Buches sind vielfach an französische Vorlagen angelehnt. Besonders häufig hat Cavalieri San-Bertolo Illustrationen aus dem *Traité élémentaire de construction* (1823) und aus dem *Traité complet de mécanique appliquée aux arts* (1818–20) seines bis dahin ausschließlich auf Französisch und mit Druckort Paris publizierenden Landsmannes Giuseppe Antonio Borgnis (Piemont) übernommen, vor allem zu dem Mauerwerk und den Baumaschinen (Abb. 2).<sup>17</sup> Borgnis seinerseits hatte überwiegend französische Bildquellen herangezogen. Cavalieri San-Bertolo griff darüber hinaus aber auch direkt auf die französischen Originalwerke zurück, die er aus eigener Anschauung kannte, wie sich auch anhand des Textes mit seinen reichhaltigen seitengenauen Zitaten nachweisen lässt. Besonders zahlreiche Abbildungen entlehnte er aus dem *Traité de la construction des ponts* von Émiland-Marie Gauthey<sup>18</sup> sowie aus Rondelets *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*<sup>19</sup> und aus Jean Henri Hassenfratz'

16 Rondelet, Jean Baptiste: *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. 6 Bde. Paris 1802–1817. Der im vorliegenden Zusammenhang besonders interessante Band zum Holzbau erschien erstmals 1810.

17 In Cavalieri San-Bertolos Band II stammen die Tafeln 1–12, 19, 23–26 und 28–30 direkt aus verschiedenen Werken Borgnis'. Borgnis, Joseph Antoine: *Traité élémentaire de construction appliquée à l'architecture civile*. Paris 1823; ders.: *Traité complet de mécanique appliquée aux arts. Mouvements des fardeaux*. Paris 1818. Die einzelnen Bände der zehnbändigen Reihe sind nicht durchnummeriert, der Band über das Bewegen großer Lasten erschien jedoch als dritter. Auch Borgnis' Werk harret einer wissenschaftsgeschichtlichen Würdigung.

18 So die Tafeln 20–23 und 27, 28, 31 und 33 in Band I und 14–16 in Band II.

19 Band I, Tafeln 15–17, 32.

*Traité de l'art du charpentier*<sup>20</sup>. Es finden sich aber auch einzelne Abbildungen aus einer Vielzahl weiterer, zum Teil hochaktueller Werke. Bemerkenswert ist zum Beispiel die Darstellung der Menai-Straits-Hängebrücke Telfords in einem der Ausführung (1826) nahekommenden Entwurf, den Cavalieri San-Bertolo nach unbekannter Quelle wiedergibt.<sup>21</sup> Italienische Bildquellen spielen nur eine untergeordnete Rolle; neben der gerade eben erschienenen, am Vorbild Perronets orientierten Brückenbaumonografie *Descrizione dei progetti* des parmaischen Ingenieurs Antonio Cocconcelli<sup>22</sup> hat Cavalieri San-Bertolo wohl auch das klassische – 1824 in einer Neuauflage gedruckte – Werk des Nicola Zabaglia über die Konstruktion von Arbeitsgerüsten für die laufenden Bauunterhaltsarbeiten am Petersdom zu Rom benutzt, *Castelli e ponti*.<sup>23</sup> Bei den Abbildungen zum Erd- und Wasserbau ist es schwieriger, die direkten Quellen Cavalieri San-Bertolos zu finden, und insbesondere beim gewichtigsten Thema des Werkes, dem Holzbau, sind seine Illustrationen relativ selbständig, wenn auch eine direkte Kenntnis des ersten Bandes des *Traité sur l'art de la charpente, théorique et pratique*<sup>24</sup> des Jean-Charles Krafft anzunehmen ist.<sup>25</sup>

Schon die Analyse der Abbildungsquellen macht deutlich, dass Cavalieri San-Bertolo auf eine umfassende Kenntnis der zeitaktuellen europäischen Fachliteratur aufbauen konnte. Das Werk ist aber – im Gegensatz zu vielen anderen Konstruktionsbüchern der Zeit (auch Borgnis' Enzyklopädie zum Maschinenbau ist hierzu zu zählen) – mehr als ein Kompilat der besten zeitgenössischen Vorlagenwerke. Sein Wert liegt vielmehr darin, dass Cavalieri San-Bertolo ebenso umfassende Kenntnisse der zeitgenössischen technischen Mechanik und Hydraulik vorweisen konnte und systematisch Konstruktion und Berechnung zusammenzubringen versucht hat. Darin geht er über alle seine Vorgänger weit hinaus. So blieb die analytische Durchdringung und die rechnerische Bemessung bei Rondelet – auch mangels entsprechender tiefergehender Kenntnisse des Autors – in den Kinderschuhen stecken. Bei Theoretikern wie insbesondere Navier hingegen ist zwar der prinzipielle Weg zur rechnerischen Statik aufgezeigt,<sup>26</sup> es fehlt aber die detaillierte Behandlung praxisnaher Konstruktionen. Diese Lücke füllt Cavalieri San-Bertolo tatsächlich zum ersten Mal.

Besonders intensiv setzt er sich in seinem Buch mit dem Holzbau auseinander, so dass dieses Kapitel das interessanteste ist. Bevor die typischen Konstruktionen beschrieben werden, stellt Cavalieri San-Bertolo zunächst die mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Bauholzarten und die Biegelehre vor. Für alle Fragen der Mechanik und Hydraulik ist Cavalieri

20 Band I, Tafeln 5 und 6; Hassenfratz, Henri: *Traité de l'art du charpentier*. Teil 1 (keine weiteren Teile). Paris 1804.

21 Band I, Tafel 34; Abb. 3; Cocconcelli, Antonio: *Descrizione dei progetti e lavori per l'innalzamento dei due ponti sul Taro e sulla Trebbia*. Parma 1825.

22 Band II, Tafel 13.

23 Vor allem für Band II, Tafel 20 und 22; Zabaglia, Nicola: *Castelli e ponti*. Rom 1743.

24 1819: Holzverbindungen, s. Krafft 1819–22 (Anm. 9).

25 Vorlage für Cavalieri San-Bertolos Tafel 7 in Band I ist wohl Tafel 7 aus dem angegebenen Werk von Krafft.

26 Navier 1826 (Anm. 11), S. viii.



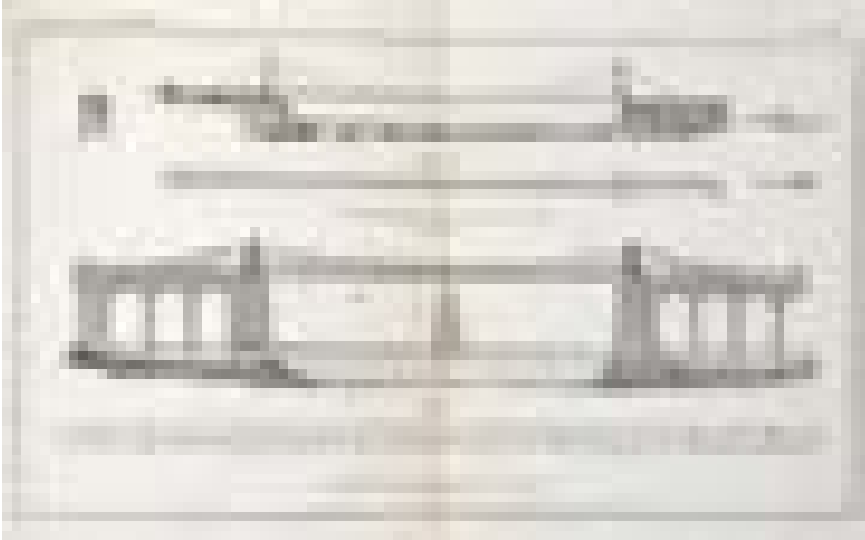


Abb. 3 Tafel 34 aus Band I der *Istituzioni di architettura statica e idraulica* von Cavalieri San-Bertolo zeigt verschiedene Hängebrücken, darunter Telfords Menai Straits Bridge (unten) in einem der gleichzeitig stattfindenden Ausführung nahekommenen Entwurf.

San-Bertolos erster Gewährsmann und Bezugspunkt immer sein Kollege und Vorgänger Giuseppe Venturoli, dessen *Elementi di meccanica e idraulica* er in der dritten, erweiterten und wohl auch sonst am häufigsten rezipierten Auflage von 1817/18 zitiert.<sup>27</sup> Zwar kannte Cavalieri San-Bertolo auch Naviers *Résumé des leçons* von 1826, wie einige Zitate beweisen,<sup>28</sup> doch war der Zeitabstand zwischen Naviers Publikation und seiner eigenen wohl doch zu gering, um Naviers korrekte Biegelehre noch in das Werk zu integrieren. Stattdessen verwendet Cavalieri San-Bertolo in Anlehnung an Venturoli<sup>29</sup> noch die ältere Theorie von Mariotte und Parent, nimmt also die Nulllinie am gedrückten Querschnittsrand an.<sup>30</sup> Da dieser Fehler bei der Ermittlung der Bruchlast anhand experimenteller Resultate des Rechteckbalkens (Breite  $b$ , Höhe  $h$ ) nur mit einem konstanten Faktor eingeht, jedoch keinen Einfluss auf die Abhängigkeit der Bruchlast von  $\gg bh^2 \ll$  hat, sind die rechnerischen Vorhersagen Cavalieri San-Bertolos für die Bruchlast von Krag- und Einfeldträgern numerisch alle korrekt. Seine Berechnung eines Eichenholz-Kragbalkens von 6 Metern Länge mit 0,15 Metern Breite und 0,20 Metern Höhe

27 Venturoli 1817/18 (Anm. 3).

28 z. B. Cavalieri San-Bertolo 1826 (Anm. 4), Bd. I, S. 367.

29 Venturoli 1817/18 (Anm. 3), Bd. I, S. 240–254.

30 Cavalieri San-Bertolo 1826 (Anm. 4), Bd. I, S. 98.

liefert eine Bruchlast von 1282,5 Kilogramm am freien Ende, entspricht also rechnerisch der Annahme einer Biegefestigkeit von  $77 \text{ MN/m}^2$ , was im realistischen Bereich liegt. Gegenüber den experimentell beobachteten Biegefestigkeiten aus den Werken von Girard,<sup>31</sup> Hassenfratz<sup>32</sup> und anderen schlägt Cavalieri San-Bertolo die Einhaltung eines globalen Sicherheitsfaktors von 10 vor.<sup>33</sup> Er beruft sich dabei auf einen vagen Vorschlag Rondelets<sup>34</sup> und steht im Einklang mit Navier,<sup>35</sup> gibt aber eine wesentlich genauere Begründung für die Wahl dieses Zahlenwertes: Ein Faktor 2 sei allein deswegen zu wählen, um auch bei Langzeitbelastung (im Vergleich zur Kurzzeitbelastung in den üblichen Versuchen) einen Bruch zu vermeiden. Ein weiterer Faktor von 3 sei notwendig, um übermäßige Durchbiegungen unter Dauerlast zu verhindern. So ergebe sich ein Sicherheitsfaktor 6. Da die Versuche jedoch an kleinen, fehlerfreien Proben durchgeführt würden, sei eine weitere Abminderung der zulässigen Spannung auf ein Zehntel der experimentell ermittelten Bruchlast erforderlich.<sup>36</sup> Dieser Faktor konnte sich im Holzbau übrigens bis zur Einführung der Teilsicherheitsbeiwerte im Eurocode 5 halten! Neben der Sicherheit gegen Bruch bei Längsbelastung und Biegung betrachtet Cavalieri San-Bertolo auch das Knicken nach Euler.<sup>37</sup>

Cavalieri San-Bertolo untersucht auf Grundlage dieser Vorüberlegungen verschiedene gängige Pfettendachbinder der italienischen Bautradition (Abb. 4). Dabei wird das Eigengewicht der schweren römischen doppelten Ziegeldeckung (zunächst eine Schicht vermörtelter flacher Ziegelplatten, dann darüber große Dachplatten, »tegoles«, deren Fugen mit Rundziegeln, »canali«, abgedeckt werden) mit umgerechnet  $1,37 \text{ kN/m}^2$  Dachfläche angesetzt. Außerdem wird eine Schneelast entsprechend 50 Zentimetern Schneehöhe (Flächenlast von umgerechnet  $1,00 \text{ kN/m}^2$ ) berücksichtigt,<sup>38</sup> obwohl Cavalieri San-Bertolo bezweifelt, dass in Rom jemals eine solche Schneemenge fallen könne.<sup>39</sup> Windlasten werden hingegen nicht erwähnt. Das Konstruktionseigengewicht berechnet Cavalieri San-Bertolo anhand des spezifischen Gewichts des häufigsten Bauholzes in Rom, Kastanienholz (umgerechnet  $6,85 \text{ kN/m}^3$ ).<sup>40</sup> Das Tragverhalten der Binder wird stark vereinfachend durch die Annahme von Einfeldträgern und vektoriellem Kräftegleichgewicht an den Knoten modelliert. Die gleichzeitige Wirkung von Biegung und Normalkraft in den Hauptsparren und Zerrbalken wird übersehen, die Beanspruchungen aus Biegung und Normalkraft werden unabhängig voneinander betrachtet. Cavalieri San-Bertolo

31 Girard, Pierre Simon: *Traité analytique de la résistance des solides, et des solides d'égale résistance*. Paris 1798.

32 Hassenfratz 1804 (Anm. 20).

33 Cavalieri San-Bertolo 1826 (Anm. 4), Bd. I, S. 102.

34 Rondelet 1810 (Anm. 16), S. 83.

35 Navier 1826 (Anm. 11), S. 84.

36 Cavalieri San-Bertolo 1826 (Anm. 4), Bd. I, S. 102.

37 Ebd., Bd. I, S. 103.

38 Ebd., Bd. I, S. 193.

39 »Supponiamo che la neve possa cadere in tal copia da formare sul tetto uno strato alto m. 0,50; estremo che forse giammai si è avverato nel temperato nostro clima«; Cavalieri San-Bertolo 1826 (Anm. 4), Bd. I, S. 193.

40 Ebd.



*Abb. 4  
Tafel 15 aus Band I der  
Istituzioni di architettura  
statica e idraulica  
von Cavalieri San-  
Bertolo zeigt italienische  
Pfettendachbinder, für  
die der Autor auch eine  
rechnerische Dimen-  
sionierungsmethode  
vorlegt.*

weist ausdrücklich darauf hin, dass die Einhaltung der zulässigen Spannungen auch in den Anschlüssen und für lokale Pressungen nachgewiesen werden müsse: »In Holzkonstruktionen stützen sich gewisse Bauteile auf die Oberfläche anderer Bauteile oder sind dort eingezapft; somit übertragen sie nicht nur die Schnittgrößen des Systems, sondern üben auch lokale Pressungen aus, welche nach Überschreiten einer gewissen Grenze die Holzfasern beschädigen und eine bleibende Eindrückung sowohl im stützenden als auch in gestützten Bauteil hervorrufen. Solche Eindrückungen ändern die Form und die Abmessungen der Struktur und können kleine oder auch größere Änderungen des Beanspruchungszustands hervorrufen. Um diese Unannehmlichkeit zu vermeiden, muss man unbedingt darauf achten, das Holz keinen derart starken Pressungen zu unterwerfen, dass seine Härte überschritten wird.«<sup>41</sup> Dennoch werden bei der Nachrechnung der italienischen Binder alle statischen Nachweise nur für den Vollholzquerschnitt der Balken geführt. Abschließend kommt Cavalieri San-Bertolo zum Schluss, dass die üblichen Pfettendachbinder (Rofenabstand maximal 32 Zentimeter, Pfettenabstand weniger als 1,20 Meter, Binderabstand kleiner als 5,60 Meter) in der Regel standsicher seien, wenn auch nicht mit üppigen Reserven. Als Schwachstelle werden die Pfetten identifiziert: »Somit wäre es gefährlich, die Pfettenabstände zu erhöhen, ohne gleichzeitig die Binderabstände

<sup>41</sup> Ebd., Bd. I, S. 106–107. Übers. d. Verf., auch in den folgenden Zitaten.

zu verringern oder die Pfettendimensionen zu erhöhen.«<sup>42</sup> Außerdem sei es überlegenswert, die Binderabstände geringer zu wählen, da der daraus resultierende erhöhte Holzverbrauch für die Binder durch Einsparungen bei den Pfetten wettgemacht werde. So habe man bei der alten, abgebrannten Basilika Sankt Paul vor den Mauern in Rom dank eines Binderabstands von nur 3,00–3,28 Metern normale Pfettenquerschnitte trotz eines Pfettenabstands von 1,73 Metern verwenden können. Auch bei dem berühmten Dachwerk des Teatro Argentina in Rom seien dank geringer Binderabstände äußerst weite Pfettenabstände machbar gewesen.

Weniger faszinierend als diese durchaus sehr frühen Betrachtungen zur Dachwerksstatik sind Cavalieri San-Bertolos Bemessungen von Stützmauern und Gewölben, da er sich hier überwiegend auf die bekannten älteren Arbeiten von Prony, Mayniel und Coulomb stützt, beim Gewölbe sogar auf die Keiltheorie von de la Hire, da dessen Formeln praktikabler seien als jene von Coulomb.

In der Summe ist das Werk deutlich moderner als das *Programme ou résumé des leçons d'un cours de construction* von Mathieu-Joseph Sganzin,<sup>43</sup> das in der von Reibell herausgegebenen, drastisch erweiterten posthumen Auflage von 1839–41 zum französischen Referenzwerk des Ingenieurbaus werden sollte und in zahlreiche europäische Sprachen übersetzt wurde. Sganzin beziehungsweise seine als Herausgeber wirkenden Schüler blieben weitgehend dem Deskriptiven verhaftet. Cavalieri San-Bertolos Werk wurde, wie schon erwähnt, in zahlreichen, unveränderten Nachdrucken weiter aufgelegt, blieb aber leider in Italien ohne direkten Nachfolger. Außer den Nachauflagen der Bücher Venturolis und Cavalieri San-Bertolos druckte man später fast ausschließlich Übersetzungen ausländischer Werke, so der Bücher Béliadors (1832, in Naviers Revision), Rondelets (1832), Sganzins (1849) und Breymanns (1881).<sup>44</sup> Lediglich Giuseppe Antonio Borgnis begann mit seinen 1842 erschienenen *Elementi di statica architettonica* ein auf fünf Bände angelegtes ähnlich umfassendes Werk, das neben den Grundlagen des ingenieurwissenschaftlichen Konstruierens und Bemessens in den Nachfolgebänden auch noch den Brückenbau, den Straßenbau, Wasserbau sowie einen allgemeinen Theorie-Band umfassen sollte.<sup>45</sup> Dieses hochinteressante Werk, das einen signifikanten Fortschritt gegenüber Cavalieri San-Bertolo gebracht hätte, blieb leider unvollendet. Es sollte bis ins letzte Drittel des 19. Jahrhunderts dauern, ehe mit Giovanni Curionis sechsbändigem *Arte di fabbricare* endlich ein aktualisiertes, originär italienisches Lehrbuch des Ingenieurbaus erscheinen konnte.<sup>46</sup>

---

42 Ebd., Bd. I, S. 194.

43 Sganzin, Mathieu-Joseph: *Programme ou résumé des leçons d'un cours de construction*. 4. Aufl. 3 Bde. und Atlas. Paris 1839–41.

44 Für einen ersten Überblick über die italienischen Fachbücher zum Bauwesen siehe: Guenzi, Carlo (Hg.): *L'arte di edificare. Manuali in Italia 1750–1950*. Mailand 1993.

45 Borgnis, Giuseppe Antonio: *Elementi di statica architettonica* (Scienza dell'ingegnere, 1; keine weiteren Bände!). Mailand 1842. Hier auf S. VIII Plan des Gesamtwerkes.

46 Im vorliegenden Zusammenhang vor allem interessant die beiden Bände: Curioni, Giovanni: *Lavori generali di architettura civile, stradale ed idraulica*. Turin 1868; ders.: *Costruzioni civili, stradali ed idrauliche*. Turin 1870.