

»UNSERE DÄCHER MIT DEM GESPALTENEN BALKEN HALTEN SICH SO VORTREFFLICH [...]« DER ›LAVES-BALKEN‹ UND SEINE VIELSEITIGE VERWENDUNG IM SCHLOSS DERNEBURG

Zusammenfassung

Im Schloss Derneburg bei Hildesheim finden sich im Dachgeschoss verschiedene Ausführungen des von Georg Ludwig Friedrich Laves im 19. Jahrhundert entwickelten ›Laves-Balkensystems‹. Das spezielle Konstruktionssystem wurde als gespaltener und assemblierter Dachsparren im Bereich der Geschossdecke eingesetzt und erfüllt mit den verschiedenartigen Ausführungen unterschiedliche tragwerksrelevante Aufgaben. Einleitend werden im Kontext der Entwicklung des Systems die ähnlich gearteten Konstruktionssysteme beschrieben; im Weiteren die Baugeschichte des Schlosses und die möglichen Aspekte der strukturbedingten Sparsamkeit des Systems von Georg Laves erläutert. Weiterhin erfolgt eine exemplarische Untersuchung der Tragfähigkeit der gespaltenen Ausführung des ›Laves-Balkens‹ sowie seiner Spannungszustände im Herstellungsprozess und während seiner Standzeit.

Abstract

The paper describes the ›Laves-rafters System‹ developed by Georg Ludwig Friedrich Laves in the 19th century. The system was found in the roof of Schloss Derneburg (Derneburg castle) near Hildesheim, Germany. The constructional system consists of split and assembled rafters and beams. With different structural designs, the system carries out different tasks in terms of load-bearing function. In the context of the development of the system, similar contemporary constructional systems are described. In addition, aspects of structural economy of the ›Laves system‹ connected with the history of the castle are illustrated. This is followed by an investigation of the load-bearing capacity and behavior in use of the ›Laves-rafters‹ considering its induced stresses through the manufacturing process.

Einleitung

»Unsere Dächer mit dem gespaltenen Balken halten sich so vortrefflich und erregen oft Nachfragen und Bewunderung ihrer geistreichen Erfindung, verehrter Herr Oberbaurath, hätten Sie nur dazu einen geschickteren Erklärer als ich bin. Verschiedentlich [...] werde ich gefragt, ob Sie etwas darüber öffentlich bekannt gemacht haben und da muß ich dann immer sehr einfältig antworten, daß ich es nicht weiß.«¹

Wilhelmine Gräfin von Münster wandte sich im Juni 1842 mit dieser Anfrage als Bauherrin der Umbauarbeiten des Schlosses Derneburg an ihren Architekten Georg Laves. Im folgenden Beitrag versuchen wir die leider nicht überlieferte Antwort von Laves zu rekonstruieren und den zeitgenössischen Diskurs über seine in Bezug auf Sparsamkeit und Innovation umstrittenen Konstruktionen am Beispiel des Schlosses Derneburg zu reflektieren.²

Georg Ludwig Friedrich Laves (1788–1864) hat als bedeutender Architekt, Stadtplaner und Bauingenieur der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in seiner Tätigkeit als Hofarchitekt und leitender Baubeamter in Hannover neben einem umfangreichen architektonischen auch ein interessantes ingenieurtechnisches Werk hinterlassen.³ Um die neue Bandbreite an Bauaufgaben der beginnenden Industrialisierung und auch die Anforderungen an Ökonomie bewältigen zu können, hatte Laves bereits während seiner Ausbildung in der Architekturklasse an der

¹ Wilhelmine Gräfin von Münster an Laves, Derneburg, 7. Juni 1842 (Stadtarchiv Hannover, Nachlass Laves 8580).

² Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines Studienprojektes (Studierende: Henrik Schulz, Svetlana Harstein und Elena Stein; betreuende Institute: Bauwerkserhaltung [ibt], Baukonstruktion und Holzbau (iBHolz) und Tragwerksentwurf [ITE]) und einer Masterarbeit (Student: Paul Lüneburg; betreuendes Institut: Baukonstruktion und Holzbau [iBHolz]) im Zeitraum 2016–2017 an der TU Braunschweig. Wir danken Dr. Eckart Rüsich vom Niedersächsischen Landesamt für Denkmalpflege Hannover und Prof. Berthold Burkhardt für die Projektidee. Weiterführende Literatur zu diesem Thema ist zu finden bei: Borchart, Rolf Reiner Maria; Bode, Ursula; Laves, Georg Ludwig Friedrich: *Hannoverscher Klassizismus. Georg Ludwig Friedrich Laves; eine Reise zu den Stätten romantisch-klassizistischer Baukunst*. Hannover 1989; Riess, Felicia: *Von vorzüglicher Monumentalität. Georg Ludwig Friedrich Laves*. Berlin 2014; Warth, Otto; Breyman, Gustav Adolf; Lang, Heinrich: *Allgemeine Baukonstruktionslehre. Mit besonderer Beziehung auf das Hochbauwesen; ein Handbuch zu Vorlesungen und zum Selbstunterricht*, 4 Bände. Hannover 1998; Stiftung Niedersachsen: *Von Laves bis heute. Über staatliche Baukultur*. Wiesbaden (1988). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-83748-6>; Holzer, Stefan M.: *Statische Beurteilung historischer Tragwerke*. Band 2: Holzkonstruktionen. Berlin 2015, S. 35 ff.; Fuchs, Christian; Winter, Tanja: *Forschungsergebnisse am Ost- und Abteiflügel Schloss Derneburg in Holle bei Hildesheim*. In: *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* 35 (1) (2015), S. 13–16; Perria, Elena; Sieder, Mike; Hoyer, Sebastian; Krafczyk, Christina: *Survey of the Pagoda Timber Roof in Derneburg Castle*. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (2017), XLII-5/W1, S. 509–514, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-509-2017; Ricken, Herbert: *Erinnerung an Friedrich August von Pauli und den Fischbauchträger*. In: *Bautechnik* 79 (2002), H. 6, S. 402–407; Rüsich, Ekart: *Baukonstruktion zwischen Innovation und Scheitern. Verona, Langhans, Gilly und die Boblendächer um 1800*. Petersberg 1997.

³ Georg Laves hat zahlreiche staatliche Bauprojekte wie das Opernhaus, den Umbau des Leineschlosses und des Schlosses in Herrenhausen sowie Stadterweiterungspläne in Hannover realisiert und war auch als Privatchitekt tätig. Zur Biografie von Laves vgl. Hoeltje, Georg; Weber, Helmut: *Georg Ludwig Friedrich Laves*. Hannover 1964 und Hammer-Schenck, Harold; Kokkelink, Günther (Hg.): *Laves und Hannover*. Hannover 1989.

Kunstakademie in Kassel auch Kurse an der Göttinger Universität in naturwissenschaftlichen, technischen und mathematischen Fächern belegt. Diese Fächerkombination, vergleichbar mit dem polytechnischen Ausbildungsmodell, hatte es ihm ermöglicht, die ingenieurtechnischen Konstruktionen, wie vor allem den nach ihm benannten ›Laves-Träger‹ seit 1834, vor dem Hintergrund der zeitgenössisch rasant wachsenden baumechanischen Kenntnisse zu entwickeln.

Im Schloss Derneburg finden sich sowohl die sogenannten ›Laves-Balken‹, einzelne in halber Höhe gespaltene Holzbalken, deren Enden jedoch verbunden bleiben, als auch die sogenannten ›Laves-Träger‹, welche aus zwei Balken zusammengesetzte Träger in Linsenform darstellen.⁴

Kontext und zeitgenössische Rezeption

Zahlreiche Vorläufer des ›Laves-Trägers‹ sind uns entweder als konzeptionelle Entwürfe⁵ oder statische Systeme⁶ bekannt. Bereits 1829 entwarf Prosper Débia linsenförmige Brücken aus Holz, er erwog auch die Anwendung in Form von Naturbrücken und erkannte die konstruktiven Vorteile der auflagerfreien Konstruktion. Seine Publikationen wurden 1829 in deutscher Sprache im Polytechnischen Journal erläutert, Ausschnitte finden sich in Laves' Nachlass. Als ausgeführte vermutlich erste Linsenträgerbrücke gilt die Gaunless-Bridge von George und Robert Stephenson in England. Die Eisenbahnbrücke wurde zwischen 1823 und 1825 aus vier Linsenträgerpaaren mit je 3,81 Metern Spannweite und fünf Spreizen konstruiert. Sie könnte Georg Laves durch seine Englandreisen seit den 1820er-Jahren bekannt gewesen sein.

Seit der ersten Realisierung des ›Laves-Trägers‹ bei der Stadtgrabenbrücke in Hannover wurde die Erfindung und Einzigartigkeit der Konstruktion in den Fachzeitschriften wie *Romberts Zeitschrift für Bauhandwerker* oder in der *Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereins zu Hannover* kontrovers diskutiert und die zahlreichen Versuche Laves', ein Patent auf seine Konstruktionen anzumelden, blieben mehrheitlich bis auf verschiedene andersartige Anerkennung erfolglos.⁷ Eine zeitgenössische Zusammenstellung der Laves-Konstruktionen

⁴ Im Bereich des Turmes befindet sich auch eine hölzerne Bohlenbinderkonstruktion, an welcher die Deckengewölbe des darunterliegenden großformatigen Treppenhauses abgehängt sind. Diese konnte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht untersucht werden.

⁵ Verantius, Faustus: *Machinae novae Fausti Verantii Siceni cum declaratione latina, italica, hispanica, gallica et germanica*. Venedig 1595. Online abrufbar unter: https://archive.org/details/gri_33125012287849/page/n187 (Zugriff: 06. 11. 2016).

⁶ Navier, Claude Louis Marie Henri: *Résumés des leçons données à l'école royale des ponts et chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines*. Paris 1826 (dt. 1878).

⁷ 1838 Privilegium in Österreich; 1838 Patent in England (allerdings braucht er dafür drei Jahre und sein System kommt dort erst wieder zum Einsatz, nachdem der Patentschutz ausgelaufen ist); 1828 ›Brevet d'Importation‹ in Frankreich; 1839 wird der Aufsatz Laves Über den Nutzen und die Anwendung eines neuen *Constructions-Systems* mit vier Blättern Zeichnungen von dem königlich Sächsischen Ministerium erworben und verteilt; 1839 kostbare Dose mit Chiffre vom König von Preußen (dem geht eine Korrespondenz mit dem preußischen Oberlandesbaudirektor Karl Friedrich Schinkel voraus; ein Gutachten über die Stadtgrabenbrücke hat als Ergebnis, dass Laves-Brücken zu teuer, zu unansehnlich und nicht haltbar genug für befahrbare Brücken sind); 1845 goldene Medaille für Kunst und Wissenschaft vom König in Bayern.

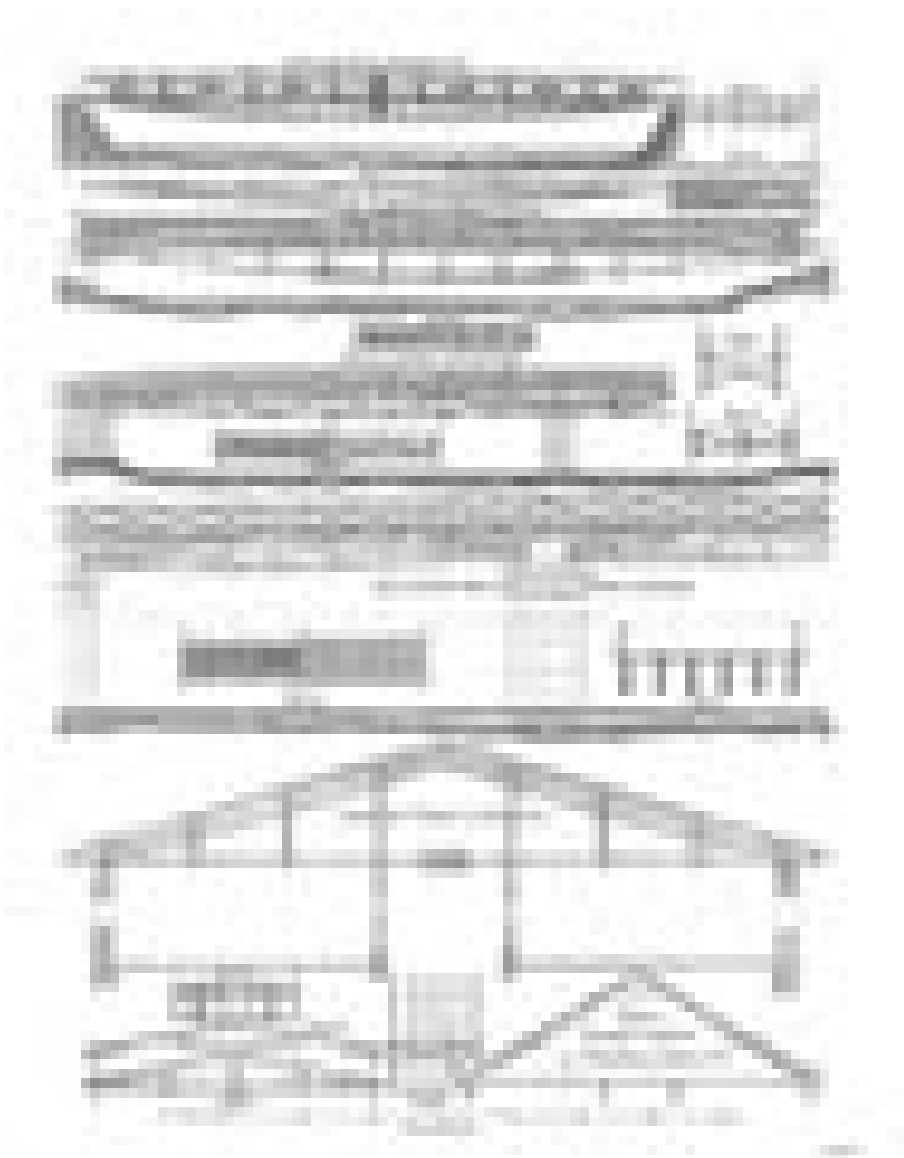


Abb. 1 Eine zeitgenössische Zusammenstellung der Laves-Konstruktionen aus den Jahren 1835–1841

aus den Jahren 1835–1841 (vgl. Abb. 1) findet sich in der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereins 1858.⁸ Der Bauingenieur und Wissenschaftler Claus Köpcke hatte seinerzeit die Laves-Konstruktionen hier den Konstruktionen nach System Pauli 1856/1857 gegenübergestellt, um Laves als eigentlichen Erfinder der Konstruktion zu würdigen. Friedrich August von Pauli hatte im April 1857 in der gleichnamigen Zeitschrift seine später als ›Pauli-Träger‹ bekannte Konstruktion vorgestellt und die Laves-Konstruktionen als Vergleich zu seiner Konstruktion zwar erwähnt, aber sowohl in Bezug auf Materialverwendung, Eisen statt Holz, als auch auf seine zahlreichen statischen Verbesserungen nicht als adäquaten Vorläufer eingeschätzt. In zahlreichen Konstruktionslehrbüchern wird Pauli bis heute als Erfinder des linsenförmigen Trägers genannt.⁹

»Denjenigen, welche das Werkchen: ›Mémoire explicatif d'un nouveau système Construction inventé par M. Louis Laves nicht kennen, wird es nicht bekannt sein, daß Laves seine Construction auch zu Dachsparren angewendet wissen will. In diesem angeführten Werkchen finden wir eine Zeichnung, wie sie Fig. 606 giebt. Was wir nicht begreifen, ist, wie es möglich wird, die Rahmhölzer a durch die aufgeschlitzten Balken bequem einzubringen.«¹⁰ Bei der Figur 606 auf der Zusammenstellung in Johann Andreas Rombergs *Zimmerwerks-Baukunst 1847* handelt es sich um die Anwendung des ›Laves-Balkens‹ in Derneburg unter dem Titel »Das Laves'sche Constructionssystem in einer neuen und nützlichen Anwendung: Figur 606 Derneburg: Laves'sche Balken zu Dachsparren.«¹¹

Die zeitgenössisch gestellte Frage, wie es möglich wird, die Rahmhölzer (vgl. Abb. 1, Fig. 14a) durch die aufgeschlitzten Balken bequem einzubringen, war eine Fragestellung unserer nachfolgend vorgestellten Untersuchung.

Neben den zahlreichen Verwendungen des gespaltenen Balkens bei Dach- und Deckenkonstruktionen finden sich übrigens im Niedersächsischen Landesarchiv Bückeburg und im Stadtarchiv Hannover auch ganz andersartige Einsatzmöglichkeiten, wie beispielsweise als Leiter oder als Baum eines Segelboots.¹²

Trotz der vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten hinsichtlich geplanter und ausgeführter Laves-Konstruktionen, ist leider nur eine begrenzte Anzahl an eisernen und hölzernen Tragwerken erhalten. Das Schloss Derneburg mit seinem Landschaftspark ist daher eine

⁸ Köpcke, Claus: *Über Träger von gleichem Widerstande, insbesondere die Anwendung derselben zu Brücken durch den Königl. Hannoverschen Ober-Hof-Baudirector Laves und den Königl. Bayerischen Director Pauli*. In: Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover (1858), H. 4, S. 292–310, Bl. 113–114.

⁹ Zum System Pauli und der Einordnung der bekannten Großhesseloher Eisenbahnbrücke 1857 vgl. Bühler, Dirk: *Von München nach Innsbruck: Die Eisenbahnbrücke Großhesselohe*. In: Kultur & Technik (2008), H. 2, S. 52–57.

¹⁰ Vgl. Romberg, Johann Andreas: *Die Zimmerwerks-Baukunst in allen ihren Theilen*. 3. unv. Aufl. Glogau 1850, S. 271.

¹¹ Ebd.

¹² Für den Hinweis auf die Verwendung als Leiter danken wir Dr.-Ing. Bernd Adam (Niedersächsisches Landesarchiv Standort Bückeburg S1 B01770); für den Hinweis auf die Verwendung als Segel danken wir Prof. Berthold Burkhardt (Stadtarchiv Hannover Nachlass Laves LN 797).

besondere Quelle, die mit dem architektonischen und ingenieurmäßigen Schaffens Georg Laves' eng verbunden ist.

Baugeschichte des Schlosses Derneburg

Das Schloss Derneburg liegt in der Gemeinde Holle im Landkreis Hildesheim. Die Ursprünge des Schlosses Derneburg liegen in einer Klosteranlage des Bistums Hildesheim um 1143, das mit dem barocken Neubau der Zisterzienser Klosterkirche 1735 seinen prägenden Grundriss als vierflügelige Anlage erhielt. Das Kirchenschiff mit typischem Dachreiter ohne Turm bildete den südlichen Abschluss; der Kreuzgang umfasste den östlichen, nördlichen und westlichen Flügel der Anlage. Mit der Restauration von 1814 gelangte die Anlage in den Besitz der Grafen von Münster,¹³ die 1819 eine erste Umbauphase im klassizistischen Stil veranlassten. In den 1840er-Jahren ließ der erste Erbe, Fürst Georg Herbert von Münster, das überformte Kloster tiefgreifend umbauen, um einen repräsentativen Wohnsitz im zeitgemäßen romantischen Tudorstil zu erhalten. Erste Maßnahmen wurden vom Wegebauinspektor Frische angeleitet, bevor 1846 Georg Laves die Planungen am Schloss übernahm. Sein wesentlichster Eingriff bestand darin, die obsoleete Kirche zu einem Turm zurückzubauen und die ehemals geschlossene, vierflügelige Anlage nach Süden hin zu öffnen. Der Turm auf quadratischem Grundriss mit Pagodendach wurde als Entrée weithin sichtbar zur Adresse von Schloss Derneburg, das seinen Ursprung als Kloster nach außen von nun an verbarg.¹⁴ Nach einer wechselvollen Geschichte erwarb der Künstler Georg Baselitz 1975 die Anlage und führte Sicherungsmaßnahmen am Hauptgebäude durch, um den Betrieb als Atelier zu gewährleisten. Später ergänzte Georg Baselitz das Ensemble um ein freistehendes Ateliergebäude. 2006 wurde der Kunstsammler Andrew J. Hall Besitzer von Schloss Derneburg. Er ließ die Anlage renovieren und für Ausstellungszwecke umbauen.

Arten von ›Laves-Balken‹ in Literatur und im Objekt

Das Schloss Derneburg ist nach heutiger Befundlage die größte Ansammlung verschiedener Typen von ›Laves-Balken‹, die unter Georg Laves, zeitnah zu seiner Erfindung, zur Ausführung kamen. Anhand historischer Dokumente über die Bautätigkeiten Georg Laves' in Derneburg und den vorgefundenen Konstruktionen, lassen sich vier verschiedene Typen des ›Laves-Balkens‹ in Derneburg nachweisen:

¹³ Vgl. Niedersächsisches Landesarchiv: Arcinsys Niedersachsen, NLA HA Dep. 110., Stand der Seite: Juni 2012 (Zugriff: 06. 11. 2016).

¹⁴ Vgl. Gerber, Heinz-Peter: *Der Laves-Kulturpfad in Holle-Derneburg*. Hildesheim 2005.

Sparren-Konstruktionen:

- aus einem Balken durch Aufspalten gewonnen (hier Zweitholzverwendung), für die Kehlbalkendächer über der dreiflügeligen Anlage,
- aus zwei Balken zusammengesetzt, für die langen Mittel- und Gratsparren des Pagodendaches über dem Turm.

Biegebalken:

- aus zwei Balken zusammengesetzt, als Überzüge im Dachgeschoss für abgehängte Punktlasten im dritten Obergeschoss,
- aus zwei Balken zusammengesetzt, als Brückentragwerk (durch Hochwasser zerstört und durch Metalltragwerk ersetzt).

Diese Differenzierung entspricht den von Johann Andreas Romberg in seinem Standardwerk *Zimmerwerks-Baukunst in allen ihren Theilen*¹⁵ von 1847 aufgeführten Varianten, die er unter dem Begriff des ›Laves'sches Konstruktionssystem der gespreizten Hölzer‹ zusammenfasste und kritisch¹⁶ kommentierte. Die vier Kapitel widmen sich intensiv dem Prinzip der Konstruktion und seiner Anwendung auf Brückenbauwerke, Balkenlagen und Dachtragwerke; mit einer abschließenden Empfehlung, den gespaltenen Balken nicht zur Substitution von etablierten Dachtragwerken zu verwenden, sondern sich den neuen Bauaufgaben der Eisenbahn¹⁷ formgebend ›anzudienen‹. Anhand von gebauten Beispielen und Musterdetails mit erläuterndem Text, illustriert auf großformatigen Tafeln, ist die dritte Auflage von 1847 ein wichtiger Bezugspunkt für die Einordnung und Bewertung der überkommenen Konstruktionen in Derneburg.

Romberg beschreibt die grundsätzlichen Möglichkeiten der Ausführungsvarianten folgendermaßen:

Gespaltener Träger

Für kleinere Träger ist es möglich, einen Vollholzbalken mit Ausnahme der Enden der Länge nach aufzusägen und mithilfe von Holzkeilen auseinanderzudrücken (vgl. Abb. 2a). Damit der gespaltene Träger in Form bleibt, werden entweder die Keile mit Bolzen gesichert oder es werden wie in obiger Abbildung Zangen verwendet, die für die Kraftübertragung zwischen Ober- und Untergurt verantwortlich sind. Die Enden können entweder verbolzt oder mit Metallaschen umwickelt werden, um den dort wirksamen Scherkräften entgegenzuwirken.¹⁸

¹⁵ Vgl. Romberg 1850 (Anm. 10), S. 268 ff.

¹⁶ Vgl. Seraphin, Mathias: *Zur Entstehung des Ingenieurholzbaus: Eine Entwicklungsgeschichte*. In: Barthel, Rainer (Hg.): *Schriftenreihe des Lehrstuhls für Hochbaustatik und Tragwerksplanung*, H. 2. Aachen 2003, S. 11–15.

¹⁷ Vgl. Romberg 1850 (Anm. 10), S. 272.

¹⁸ Vgl. ebd., S. 100–101.



Abb. 2
a: Gespaltener Träger; b–c: Assemblierter ›Laves-Träger‹



Abb. 3 Typenlösung Kehlbalkendach mit ›Laves-Sparren‹

Assemblierte Träger

Weiterhin ist es auch möglich, weit größere Träger zu konstruieren. Dafür wird der gesamte Träger aus mehreren Elementen zusammengesetzt. Träger dieser Art werden als zusammengesetzte oder auch assemblierte Träger bezeichnet. Ist der Balken nicht stark genug, so kann dessen Dicke wie in Abb. 2b u. 2c erhöht werden, indem ein Balken den Obergurt und ein anderer Balken den Untergurt bildet. Bei dessen Herstellung muss insbesondere der Fußpunkt sorgfältig ausgebildet werden. Für die kraftschlüssige Verbindung können entweder Dübel (vgl. Abb. 2b) oder eine Verzahnung (vgl. Abb. 2c) die anfallenden Scherbeanspruchungen übertragen. Die Träger werden anschließend verbolzt und die Fußpunkte mit Zugbändern aus Eisen fixiert, die die Enden der Träger zusammenhalten.¹⁹

¹⁹ Vgl. ebd., S. 96–100.



Abb. 4
Derneburg, Gespärre mit gespaltenen
›Laves-Sparren‹ im Nordflügel

Gespaltene Dachsparren in Derneburg

Für die vorliegende Untersuchung war die serielle Verwendung des ›Laves-Balkens‹ als Sparren, nachfolgend hier ›Laves-Sparren‹ genannt, von besonderem Interesse, da sie als Typenlösung Eingang in die zeitgenössische Fachliteratur fand (vgl. Abb. 3), und als sparsame Holzkonstruktion gepriesen wurde. Der Aspekt der Sparsamkeit wird hier als Motiv für die Tatsache vermutet, dass es sich in Derneburg um eine Zweitholzverwendung handelt, die Gegenstand einer genaueren Betrachtung ist (vgl. Abb. 4, 7).

Die ›Laves-Sparren‹ sind daher aus einem einzigen Balken gefertigt, der in der Mitte aufgesägt und gespalten wurde. Die ›Laves-Sparren‹ bilden die Hauptsparren des neuen Kehlbalckendaches mit ca. 32 Grad Neigung auf einer Gesamtlänge des Firsts von ca. 110 Metern über der dreiflügeligen Anlage. Zwei Leersparren aus Vollholzquerschnitten füllen den Abstand der Hauptsparren zueinander. Alle Sparren (vgl. Abb. 5) verfügen über Aufschieblinge, die nachträglich durch seitliche Bohlen gesichert sind. Jedes Gespärre ist über Sparrenknechte mit der Sattelschwelle und der doppelten Mauerlatte an die verdeckten Zerrbalken angeschlossen. Die Gespärre werden durch einfache Kehlbalcken bei den Leersparren und Kehlbalckenzangen bei den ›Laves-Sparren‹ ausgesteift, wobei die Verbolzung der Kehlbalckenzange hier, abweichend vom Musterdetail, am dünneren Obergurt erfolgte. Auffallend ist die Anordnung des Windverbandes in Längsrichtung: Eine Mittelpfette wird von den ›Laves-Sparren‹ im Scheitel ihrer Spaltung in die Zange genommen und mit zwei Kopfbändern an selbigen biegesteif angeschlossen, sodass der Eindruck eines liegenden Stuhls entsteht. Ergänzt wird die Längsaussteifung am First durch zwei Firstlatten vom doppelten Querschnitt einer Dachlatte. Die verwendeten Verbindungsmittel sind eine Mischung aus überwiegend traditionellen

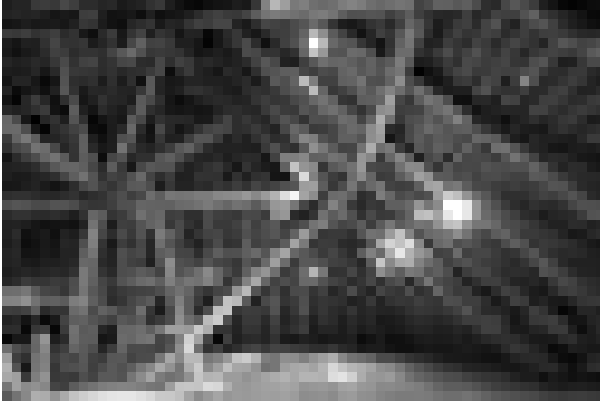


Abb. 5 Derneburg, Skizze idealisierte gespaltene ›Laves-Sparrens‹

Holzverbindungen mit Holznägeln und im Kontrast dazu Gewindestangen mit Unterlegscheiben und Schlossermuttern an den ›Laves-Sparrens‹. Neuzeitliche Ertüchtigungen durch Nagelplatten und Verschraubungen findet man vereinzelt im Bereich der Sparrenknechte zur Sattelschwelle.

Assemblierte Dachsparren in Derneburg

Die in der Pagode verbauten ›Laves-Sparrens‹ sind von außerordentlicher Größe. Die einzelnen Balken sind etwa 16 Zentimeter stark wie breit und der gesamte Träger hat eine Länge von rund 12,5 Metern. Ein Balken von derartigen Abmessungen ist zu mächtig, um ihn am Stück herzustellen. Dies wäre höchst unwirtschaftlich. Darum ist der Sparren aus zwei einzelnen Balken zusammengesetzt, folglich ein assemblierter Sparren (vgl. Abb. 6). Der Sparren ist an drei Punkten aufgespreizt. Als mittlerer Abstandhalter der assemblierten Sparren dient die Pfette, dort beträgt der Abstand der Balken rund 23 Zentimeter. Betrachtet man dies vor dem Hintergrund der Äußerungen Rombergs, ist davon auszugehen, dass die Konstruktion durch die Verwendung der Pfette als Abstandhalter sehr viel komplizierter und teurer geworden ist.



*Abb. 6
Derneburg, Gespärre mit
assemblierten ›Laves-Sparren‹
in der Pagode*

Dies macht auch einen Blick auf den Bauzustand interessant, der eine Erklärung dafür geben kann, wie man ein solches Dach errichtet.

Konstruktion und Herstellung

Die Dachkonstruktion des Schlosses Derneburg ist aufgrund seiner Nähe zur publizierten Typenlösungen unter Verwendung von Zweithölzern in vielerlei Hinsicht ein wichtiges bautechnisches Zeugnis, das trotz seiner typologischen Darstellung in der historischen Literatur noch Antworten auf offene Fragen erhoffen lässt.

Die Fragen betreffen sowohl die technische Ausstattung der ursprünglichen Struktur und die Größe der Bauhölzer, die zu ›Laves-Sparren‹ in der Wiederverwendung umgearbeitet wurden, als auch den Prozess der Herstellung des ›Laves-Sparrens‹, den Bauablauf seines Abbundes mit der Mittelfette und die Annahmen zu seiner Bemessung bei starker Vorschädigung der Querschnitte durch alte Zapfenlöcher.

Verwendung von Zweithölzern

Georg Laves' Arbeiten sind für Derneburg glaubwürdig belegt, wenn auch der genaue Zeitraum seiner Aktivitäten für die Grafen von Münster nicht abschließend geklärt ist. Aus der Korrespondenz mit Wilhelmine Gräfin von Münster²⁰ vom 7. Juni 1842 ergibt sich der Hinweis, dass Georg Laves vor seiner Übernahme der Bautätigkeit am Schloss 1846 bereits an einer Domäne der Grafen von Münster den gespaltenen Balken als Sparren erprobt hatte

²⁰ Vgl. Wilhelmine Gräfin von Münster (Anm. 1), 1842.



Abb. 7 Derneburg, gestoßene Mittelfette in der Zange des ›Laves-Sparrens‹ im Nordflügel

und seine Konstruktion den wichtigen Beweis der Brauchbarkeit gegenüber dem Bauherren erbracht hatte.

Die Zweitverwendung am Ort lässt sich an den ›Laves- und Leersparren‹ heute noch ablesen: Zapfenlöcher, deren Lage und Orientierung sich keiner Systematik eines zurückgebauten Aussteifungssystems oder obsoleten Ertüchtigung zuordnen lassen und die Verwendung von typischen Gewindestäben des 19. Jahrhunderts (vgl. Abb. 7 und 4).

Nimmt man die Tiefe der dreiflügeligen Anlage als unverändert an, so waren die ursprünglichen Sparren ca. 11 Meter lang, was für Dachstühle mit durchgehenden Sparren eine unauffällige Größe darstellt. Die Ausgangslänge der ursprünglichen Sparren war somit ausreichend, um die Ziellänge der ›Laves-Sparren‹ von ca. 9,2 Metern herstellen zu können. Die Verblattung am First und der Zapfen am Fuß mussten dem neuen Neigungswinkel entsprechend aus dem Vollquerschnitt des alten Sparrens herausgearbeitet werden, wobei die Verkürzung, aufgrund der Spaltung und Krümmung des Ober- und Untergurtes, von wenigen Zentimetern hierbei vernachlässigt werden kann.

Herstellung

Der Herstellungsprozess (Abb. 8) kann anhand von Rissmarken in Röteln (Abb. 9a) am ›Laves-Sparren‹ rekonstruiert werden und entspricht den Darstellungen in den historischen Quellen:

- I. Anreißen des Trennschnittes in Balkenmitte und der Anschlusspunkte,
- II. Bohren der Gewindebolzenlöcher an den Enden des Trennschnittes und Stemmen eines Schlitzes zum Durchführen der Säge,
- III. Verbolzen und Sägen des Trennschnittes (vermutlich maschinell),
- IV. Aufspreizen mit Keilen und Winden,²¹
- V. Sichern der Aufspreizung durch verbolzte Distanzklötze; die Mitte bleibt zur Einfädung der Pfette; Stemmen und Sägen der Anschlusspunkte.

Die Illustration Abb. 8 beruht in e) auf dem gescannten Aufmaß und wurde in einer rekursiven Modellbildung aus e) rückwärts entwickelt. Bei genauer Betrachtung von d) und e) fällt auf, dass die Verformung der Gurte, trotz Geradlinigkeit der massiven Endstücke zueinander, nicht symmetrisch ist.

Die Querschnitte der ›Laves-Sparren‹ sind mit bis zu 20 Prozent zum Teil beträchtlich durch die alten Zapfenlöcher geschwächt (vgl. Abb. 7). Diese Schwächung wurde aber durch die Orientierung der Zapfenlöcher parallel zur Spaltebene annähernd gleichmäßig auf den Ober- beziehungsweise Untergurt verteilt.

Tragverhalten des Systems Laves

Der ›Laves-Träger‹ stellte für die damalige Zeit eine technische Neuerung dar, weil er zwei bereits bekannte Tragsysteme miteinander verbindet. Auf der Oberseite weist er einen Druckbogen auf, wie er schon seit Jahrhunderten im Brücken- oder Gewölbebau bekannt ist. Der Druckbogen wird gleichzeitig von einem Zuggurt wie bei einer Hängebrücke unterspannt, sodass sich beide Tragsysteme gegenseitig verstärken. Die hervorzuhebende ingenieurtechnische Leistung, die Georg Laves erbracht hat, ist die wesentliche Trennung von Zug- und Druckzone eines biegebeanspruchten Bauteils; eine der Grundprinzipien der ingenieurmäßigen Modellbildung, die bis heute etabliert ist. Der ›Laves-Träger‹ weist einige Vorteile auf, die das Wesen der Konstruktion mit sich bringt. Der bei Bogenkonstruktionen nach außen wirkende Horizontalschub wird von der Unterspannung aufgenommen und anders herum. Dies führt dazu, dass beim ›Laves-Träger‹ an den Auflagern keine Horizontalkräfte entstehen.

²¹ Vgl. Romberg 1850 (Anm. 10), S. 100, Tafel 22; S. 268.



Abb. 8 Arbeitsschritte zur Herstellung eines ›Laves-Sparrens‹

Die Schubkräfte werden über die Scherfestigkeit im Systeminneren abgebaut. Aus den Auflasten senkrecht zur Bauteilachse resultieren letztlich nur zwei gegensinnige Reaktionskräfte an den Auflagerpunkten. Die lastweiterleitenden Auflager bedürfen daher wenig Platz und können relativ schlank ausgeführt werden, da weder Horizontalschub noch Zugkräfte in die Auflagerbereiche geführt werden müssen. Nicht nur mit Blick auf die Auflagerbereiche erweist sich der ›Laves-Träger‹ als materialsparend. Durch das Aufweiten des Balkenquerschnitts hin zur Trägermitte vergrößert sich auch das der Biegung entgegenwirkende Trägheitsmoment. Durch die Formgebung wird also die Tragfähigkeit erhöht, indem man den Querschnitt an die Momentenlinie anpasst.²²

Da von Georg Laves nur Fragmente zur Berechnung von gespaltenen Balken überliefert sind,²³ die sich im Wesentlichen auf eine geometrische Translation anhand experimenteller Untersuchungen verschiedener Balkensysteme gründen, ist die Frage nach Ansätzen anderer zeitgenössischer Baufachleute zur Bemessung der Tragfähigkeit des ›Laves-Sparrens‹ umso interessanter, da hierfür eine Berücksichtigung der Überlagerung von Biege-, Quer- und Normalkraftbeanspruchung in einem statisch unbestimmten System zu bewältigen gewesen

²² Vgl. Hoeltje/Weber 1964 (Anm. 3).

²³ Archivalie # 1380 Derneburg Schloss, Stadtarchiv Hannover und vgl. Hoeltje/Weber 1964 (Anm. 3), S. 200ff.

wäre. In einem zweiten Schritt hätte bei der Einordnung von Zweithölzern im Allgemeinen und im Fall Derneburg im Speziellen die deutliche Schwächung des Querschnitts erfolgen müssen. Die Einschätzung des veränderten Eigenspannungszustandes aufgrund der eingepprägten Vorverformung entspricht dagegen wohl eher heutigen Prozeduren. Auch die historische Quelle Johann Andreas Romberg weicht hier aus, wenn es dort heißt es: » [...] richtet sich nach der zu verschiedenen Zwecken erforderlichen Stärke und ist durch Berechnung auszumitteln«. ²⁴ Dieser Verweis mutet aus heutiger Sicht unbefriedigend an, da so ein direkter Vergleich mit bauzeitlichen, alternativen Holzkonstruktionen schwer fällt und eine Aussage über die Sparsamkeit des Materialeinsatzes unmöglich erscheint.

Konkretes erfährt man nur aus den Modellversuchen, ²⁵ wo ein Eichenholzquerschnitt von 2 Fuß Länge (0,584 Meter), $\frac{3}{4}$ Zoll Breite (1,82 Zentimeter) bei 1 $\frac{1}{2}$ Zoll Höhe (3,65 Zentimeter), das Ausgangsmaterial für folgende Träger bildet:

- I. einfacher massiver Balken,
- II. gespalten und anschließend verdübelt,
- III. gespalten und anschließend verzahnt,
- IV. gespalten und gespreizt als ›Laves-Balken‹ beziehungsweise ›Laves-Sparren‹.

Die Versuchsträger wurden in Feldmitte mit 40–150 Zollpfund belastet und die Durchbiegung gemessen. Setzt man den gemessenen Stich von d) auf 100 Prozent, dann ergaben sich für a) 163 Prozent und für b) und c) ganze 310 Prozent Durchbiegung, was den Zugewinn an Steifigkeit des ›Laves-Balkens‹ eindrucksvoll demonstriert. Die Modellergebnisse lassen sich aber nur eingeschränkt auf reale großformatige Balken skalieren oder auf Sparren mit Biege-, Querkraft- und Normalkraftbeanspruchung übertragen.

Im Rahmen einer studentischen Arbeit am iBHolz wurde das Trag- und Verformungsverhalten des gespaltenen und assemblierten ›Laves-Balkens‹ analysiert. Im ersten Schritt wurde dabei eine Modellstudie zur Erarbeitung einer realitätsnahen Modellierung der Systeme durchgeführt und ein Vergleich mit dem Verhalten eines homogenen Einfeldträgers vollzogen. Darauf aufbauend erfolgte eine statische Analyse eines Teilausschnittes der Dachkonstruktion mit integrierten ›Laves-Trägern‹.

Voraussetzung für die gespaltenen Träger ist die initiale Beanspruchung F_{Spr} der Spreizung, die im Rahmen der Voruntersuchungen als mittige Einzellast berücksichtigt wurde. Damit ergibt sich eine initiale Vorspannung des Systems, die sich als Biegespannung in den Teilquerschnitten darstellt, sowie eine initiale Verformung.

Die Modellanalyse ergab, dass durch die Spreizung erhebliche Spannungen in den ›Laves-Träger‹ eingebracht werden, die bei realitätsnaher Nachbildung der im Objekt verbauten Träger um den Faktor 2 über der charakteristischen Biegefestigkeit beziehungsweise im Bereich

²⁴ Vgl. Romberg 1850 (Anm. 10), S. 99.

²⁵ Vgl. ebd., S. 98, Tafel 22.

der Biegebruchspannung eines rechnerisch angesetzten Referenzmaterials liegen (Länge der Spreizung $l = 4,50 \text{ m}$, Stichmaß der Spreizung $s = 2 * 75 \text{ mm}$, resultierende Biegespannung $\sigma_{m,Spr} \approx 45 \text{ N/mm}^2$).

Der Abbau der Spannungen im System findet durch drei Hauptmechanismen statt:

- I. Ausbildung von irreversiblen Verformungen des Systems,
- II. Querkug-/Schubversagen des Holzquerschnittes im Bereich der Bolzenverbindung (Übergang homogener – gespaltener Querschnitt),
- III. Biegeversagen des Ober- und/oder Obergurtes.

Für die drei Thesen lassen sich folgende Erläuterungen geben:

- I. Die Energie, die im System durch die externen Kräfte eingebracht wurde, wird über die Zeit durch irreversible Verformungen abgebaut (Relaxation). Die Relaxation spielt mutmaßlich für das Verhalten des ›Laves-Trägers‹ eine entscheidende Rolle. Eine hinreichende Näherung zur Ermittlung der verbleibenden Restspannungen σ_{∞} bei gebogenen Holzbauteilen bietet zum Beispiel Patrik Aondio in seiner Dissertation.²⁶ Das Dach des Schlosses Derneburg kann entsprechend der holzbauspezifischen Definition in die Nutzungsklasse 2 (überdachtes, offenes Tragwerk) eingestuft werden. Gemäß Patrik Aondio lässt sich mit guter Näherung eine Reduzierung der initialen Spannung auf $\sigma_{\infty} = 0,55 \sigma_0$ benennen (Aussagezeitraum gemäß der Untersuchungen: 25 Jahre). Jedoch verbleiben im Querschnitt unter Annahme dieses Materialverhaltens mit einer annähernden Halbierung der initialen Eigenspannung relaxierte Spannungen in der Größenordnung der charakteristischen Biegefestigkeit eines Referenzholzes üblicher, mittlerer Festigkeitsklasse.
- II. Im Schloss Derneburg ist an diversen gespaltenen ›Laves-Trägers‹ ein Riss im Bereich der Bolzenverbindung zu erkennen, das heißt eine Fortsetzung des Spaltes zwischen den Gurtquerschnitten als Riss am Ende des gespaltenen Bereiches (vgl. Abb. 9a). Dies führt zu einer Reduzierung der Einspannwirkung im Bereich der Bolzenverbindung und sorgt für einen Spannungsabbau in den Gurtquerschnitten. Im Rahmen der numerischen Analyse wurden Modelle mit unterschiedlichen Steifigkeiten im Bereich der Bolzenverbindung untersucht. In einem nachgiebigen Modell wurde durch Kopplungsstäbe (vgl. Abb. 10b) ein Risswachstum simuliert. Das Modell wurde durch die Spreizung in der Mitte des Trägers belastet. Dies wurde iterativ wiederholt, bis in keinem Kopplungsstab mehr die zulässige Zugspannung senkrecht zur Faser überschritten wurde. Das Modell ist ein realitätsnahes Modell, welches das

²⁶ Aondio, Patrik: *Berechnung von Zylinderschalen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung der Spannungsrelaxation*. Dissertation TU München. München 2014.

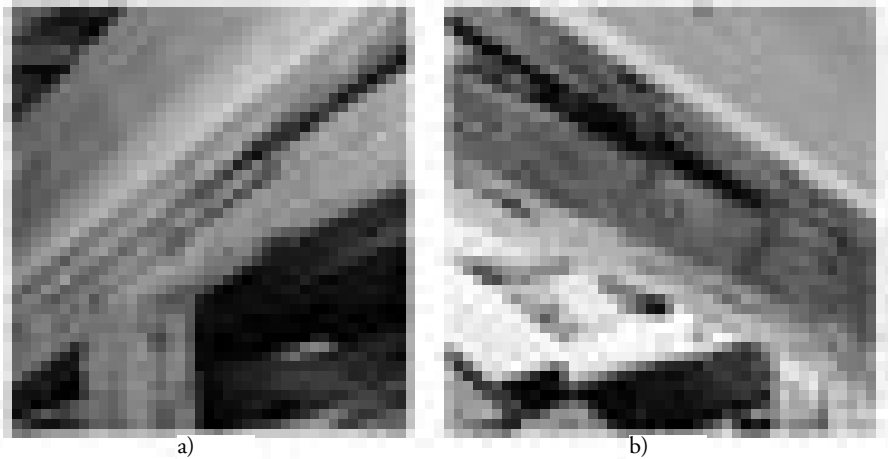


Abb. 9

a: Gespaltener ›Laves-Sparren‹ mit Rissfortpflanzung im Bereich der Bolzenverbindung;
 b: Gespaltener ›Laves-Sparren‹ mit Biegebruch im Bereich der Bolzenverbindung

Verhältnis des Balkens in Abb. 9a nachbildet. In einem nicht-nachgiebigen Modell (Abb. 10a) wurde die Rissfortpflanzung des Balkens am Ende des gespaltenen Bereiches nicht erlaubt. Durch eine realitätsnahe Modellierung der Steifigkeit lässt sich eine Reduzierung der Biegespannung um ca. 20 Prozent im Vergleich zu einem nicht-nachgiebigen Modell erzielen. Die Zunahme der Verformungen des Trägers führen wie erwartet zu einer Reduktion der Spannungen. Es stellt sich bei ca. 5–6 Millimeter Aufweitung des Trägers im Bereich der Bolzenverbindung ein Gleichgewichtszustand ein, der den Rissfortschritt zum Erliegen bringt. Aufgrund der geringeren Stabkrümmung in diesem Bereich und die durch den Riss erzeugte größere Spreizweite reduzieren sich die Biegemomente in den Gurten (vgl. Abb. 10a–b).

- III. Es wurden ebenfalls ›Laves-Sparren‹ vorgefunden, deren Untergurte direkt hinter der Bolzenverbindung einen Biegebruch aufweisen (vgl. Abb. 9b). Dies kann als Indiz dafür gesehen werden, dass die Biegebeanspruchbarkeit überschritten wurde. Im Wesentlichen kann dies in den speziellen Fällen einer differierenden Querschnittshöhe zwischen Ober- und Untergurt zugeschrieben werden. Eine Reduktion von 12 Zentimetern auf 10 Zentimeter Trägerhöhe reduziert in etwa die Steifigkeit auf den Faktor 0,6, was zu einer ungleichmäßigen Verformung und Biegebeanspruchung des ›Laves-Sparrens‹ führt. Im günstigen Fall bauen sich die Spannungen in den Gurtquerschnitten durch das Aufreißen im Bereich der Bolzenverbindung deutlich ab und die Tragfähigkeit des Gesamtsystems ist für die vorliegende Beanspruchung ausreichend. Im ungünstigen Fall führen die Biegemomente zu einem Biegebruch eines Gurtquerschnittes, was zu einer grundlegenden Änderung des Tragverhaltens führt.

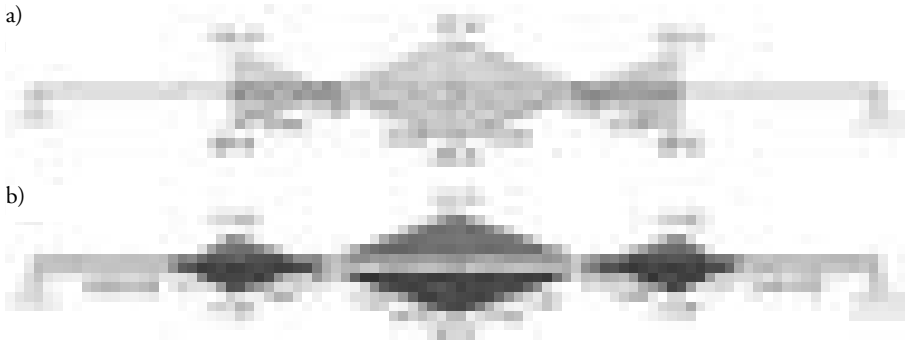


Abb. 10 a: Biegemomente beim nicht-nachgiebigen Modell;
 b: Biegemomente beim nachgiebigen Modell

Zusammenfassend lässt sich basierend auf den durchgeführten rechnerischen Modellanalysen darstellen, dass sich für einen gespaltenen ›Laves-Sparren‹ mit den im Schloss Derneburg vorgefundenen geometrischen Randbedingungen (Trägerspreizung 150 Millimeter) eine Reduzierung der maßgebenden Spannungen auf 50–60 Prozent im Vergleich zu einem Einfeldträger konstanter Querschnittshöhe erzielen lässt. Das Laves'sche Tragsystem stellt also eine Verbesserung der Querschnittsausnutzung bei gleichem Materialaufwand dar, soweit man den Träger als im Ausgangszustand spannungsloses System betrachtet. Zur realitätsnahen Betrachtung müssen jedoch die Eigenspannungen, die sich aufgrund der Aufspreizung des Ausgangsquerschnitts ergeben, berücksichtigt werden. Bei Abschätzung des zeitabhängigen Relaxationsvermögens ergeben sich jedoch immer noch Spannungen, die im Bereich der charakteristischen Biegefestigkeit eines Referenzholzes üblicher, mittlerer Festigkeitsklasse liegen können. Die aus dem äußeren Biegemoment resultierenden inneren Systemkräfte im gespaltenen ›Laves-Träger‹ hängen grundlegend von zwei Faktoren ab. Dies ist zum einen die Größe der Spreizung, zum anderen die Länge der Spreizung. Je weiter sich die Gurtquerschnitte durch die Spreizung einer Stütz- beziehungsweise Seillinie annähern, desto optimaler werden die Querschnitte ausgenutzt. Hinsichtlich der Steifigkeit erfährt der ›Laves-Träger‹ zweifelsohne eine Verbesserung. Die Durchbiegung aller modellierten Träger ist erheblich geringer als die eines Einfeldträgers vergleichbaren konstanten Querschnitts (Verringerung um bis zu 70 Prozent).

Fazit

Das ›Laves'sche Constructionssystem der gespreizten Hölzer‹ war im Widerspruch zu seinem Namen vielfältiger von Georg Laves angelegt und umfasste auch Konstruktionen aus Schmiedeeisen. Eine Differenzierung seiner ›Laves-Träger‹ zwischen ›Laves-Balken‹ und

›Laves-Sparren‹ konnte am Objekt in dieser Fallstudie herausgearbeitet werden. Das ›Constructionssystem‹ beruhte im Wesentlichen auf einer Formgebungs-idee und erforderte keine patentierten Verbindungsmittel oder Werkzeuge, sodass eine handwerkliche Umsetzung, bei Kenntnis des Prinzips, möglich erscheint – unbenommen der von Georg Laves beabsichtigten Vergabe von Lizenzen. Die Verbreitung dieses ›Constructionssystems‹ kann im Rahmen dieser Studie aber nicht abschließend beurteilt werden, wenngleich die Brückenbauwerke²⁷ mehr Beachtung in der Literatur fanden als die ausgeführten Dachstühle, die Derneburg somit zu einer besonderen Quelle machen. Eine allgemeingültige Aussage im Hinblick auf die beworbene Sparsamkeit und die Effizienz des ›Laves’schen Constructionssystems‹ lässt sich nicht treffen. Im direkten Vergleich zu einem biege-beanspruchten Einfeldträger konstanter Querschnittshöhe lässt sich eine Reduzierung der aus der äußeren Beanspruchung resultierenden maßgebenden Spannungen sowie der Systemdurchbiegung erzielen, was für eine optimierte Querschnittsausnutzung spricht. Die systembedingten Eigenspannungen, die aus der Aufspreizung des Ausgangsquerschnitts resultieren, können jedoch eine Größe aufweisen, die im Bereich der charakteristischen Biegefestigkeit von Vollholz mittlerer Festigkeitsklasse liegt. Beim ›Laves-Sparren‹ kann eindeutig ein erhöhter Arbeitskräftebedarf angenommen werden, der die mutmaßliche Materialeinsparung bei Kehlbalkendächern in der Summe trotzdem unwirtschaftlich werden lässt. Sind die Arbeitsschritte zur Herstellung des ›Laves-Sparrens‹ noch konsekutiv und einfach, so ist der Abbund mit der Mittelfette in ihrer Zangenlage eine erhebliche Erschwernis, wie es Romberg schon zu seiner Zeit kritisch anmerkte.²⁸ Es handelt sich aus den genannten Gründen um keine disruptive Innovation, die sich schnell breitenwirksam im Bauwesen durchsetzen konnte.

»In der Zeichnung machen sich solche Constructionen oft ganz scharmant, aber nicht immer ist die Sache so leicht auszuführen.«²⁹ So ist es nicht verwunderlich, dass das ›Laves’sche Constructionssystem der gespreizten Hölzer‹ zwar im Königreichen Hannover unter Georg Laves zur Anwendung kam, das angrenzende Herzogtum Braunschweig aber keinen einzigen Kirchendachstuhl dieser Bauart aufweist.³⁰

²⁷ Vgl. Hoeltje/Weber 1964 (Anm. 3), S. 214 ff.

²⁸ Vgl. Romberg 1850 (Anm. 10), S. 271.

²⁹ Ebd., S. 270.

³⁰ Vgl. Mohr, Jürgen: *Dachwerke Braunschweiger Dorfkirchen*. Dissertation TU Braunschweig. Braunschweig 1989.