

# Rekonstruktion des Schlingrippengewölbes der Schlosskapelle Dresden – Teil II

## Lehrgerüste, Bauzustände und Verformungen der Wölbung

Bau Ing. Thomas Bauer und Dipl.-Architekt Jörg Lauterbach\*

Die Rekonstruktion des Schlingrippengewölbes in der Schlosskapelle Dresden 2009-2013 bot die einmalige Möglichkeit, sowohl am Probejoch als auch an den sechs Jochen des Kappellenraumes im Zuge der Wölbung baubegleitende Forschungen zu sachverständigen Themen von Verformungen der Mauerwerkssegel und den Lehrgerüsten an einem spätgotisch figurierten Gewölbe durchzuführen. Die in der bisherigen Forschung oft nur auf Annahmen basierenden Überlegungen konnten durch eigene Verformungsmessungen nunmehr gezielter untersucht sowie im Ergebnis als Zusammenhang von Lehrgerüstkonstruktion und spätgotischer Freier Wölbung fundiert dargelegt werden. Die nachfolgende Studie soll dabei sowohl den Sachverständigenkollegen des konstruktiven Ingenieurbauwes als auch den Kunst-sachverständigen eine weitergehende Grundlage bieten, sich der Bauweise figurierter Rippengewölbe des 15. und 16. Jahrhunderts weiter anzunähern. Ziel des Beitrags ist es, diese Bauweise verstehen zu lernen und somit sowohl bei Sanierungsmaßnahmen an spätgotischen Gewölben als auch bei den Forschungen zu Bauzuständen und Baufolgen von mittelalterlichen gewölbten Räumen weitergehende Aspekte zur Verfügung zu stellen.

### I. Einleitung – Gedanken zum Stand der Forschung

So kompliziert wie die Forschung der letzten einhundert-fünfzig Jahre den Bau von spätgotischen Rippenwölbungen erklärt,<sup>1</sup> haben die Werkmeister im 15. und 16. Jahrhundert nicht gebaut.

Die Versuche, mit den seit dem 19. Jahrhundert in der Revision verstärkt auftretenden neogotischen Traktaten<sup>2</sup> eine technologische Basis – welche die Wurzeln in einer industriellen Fertigung zu haben scheint – zu entwickeln und damit die Technologien des Spätmittelalters nachzuvollziehen, scheitert weitgehend am zu komplizierten Denken der Neuzeit. Insbesondere stehen viele aus dem dreidimensionalen Raum heraus interpretierten Herstellungsschritte und Baufolgen bei Schlingrippengewölben diametral den in der Spätgotik aus nur zwei Ebenen heraus entwickelten Wölbtechnologien entgegen.

Die Werkmeister im 15. und 16. Jahrhundert beherrschten die geometrischen Grundsätze von triangularen und proportionalen Gesetzmäßigkeiten sowie die euklidischen Lehren hervorragend<sup>3</sup> und konnten aus diesem

Grund aus nur zwei Ebenen heraus so hervorragende Raumschöpfungen und Wölbkonstruktionen mit einfachsten Mitteln entwickeln und technologisch umsetzen.

Insbesondere zeigt sich dies bei der Frage nach Lehrgerüsten für den Bau von Schlingrippenwerken. Diese bestanden ausschließlich aus Baumstämmen, die – unter den Rippenknoten versetzt – höhenmäßig die Lage der Rippenkreuzungen unterstützten. Die zweifach gekrümmten Werksteine der Schlingrippen waren in sich selbst bereits das „Lehrgerüst“ zur Formvorgabe für die Mauerwerkswölbung und wurden einzig zum temporären Lastabtrag – nicht aber zur nochmaligen/doppelten Formgebung – punktuell unterstützt.

Die neuere Forschung der Kunsthistoriker hingegen legt wiederholend dar, dass den zweifach gekrümmten Rippenverläufen aus Werkstein zum Versatz ein Holzlehrgerüst – welches genau diesem zweidimensional verlaufend gekrümmten Rippenverläufen nachgeformt sei – als Versatzvorgabe unterzubauen wäre.<sup>4</sup> Dieser dop-

\* Die Autoren sind Beratende Architekten und Ingenieure für Historische Rekonstruktion in Dresden. Der Beitrag schließt an den Aufsatz der Autoren in DS 2015, 297, an. – Die Abbildungen sind farbig abrufbar in beck-online.

- 1 Siehe beispielgebend *Fehr*, Benedikt Ried – Ein deutscher Baumeister zwischen Gotik und Renaissance in Böhmen, 1961; *Müller*, Steinmetzgeometrie zwischen Spätgotik und Barock, 2002; *Koepf*, Die Gotischen Planrisse der Wiener Sammlungen, 1969.
- 2 Siehe beispielgebend *Hoffstadt*, Gotisches ABC Buch, 1840 (Quelle: Archiv bauer lauterbach).
- 3 Siehe beispielgebend dazu *Albrecht Dürer*, Unterweyssung der Messung, Nürnberg 1538 (Quelle: Militärgeschichtliches Museum Dresden mit Dank für das Digitalisat), und *Charles de Bouelles*, Geometrie Practique, Paris 1550 (Quelle: Hofbibliothek und Archiv Fürst Thurn und Taxis Regensburg mit Dank für das Digitalisat, insbesondere *Dr. Peter Styra* für seine große Unterstützung zur Quelle).
- 4 Siehe beispielgebend *Bürger*, Figurierte Gewölbe zwischen Saale und Neisse, 2007, S. 322: „...Die Lehrbögen mussten die Formverläufe der Rippenzüge exakt vorprägen...“; *Mai*, Die Lehrgerüste spätgotischer Zellengewölbe in zeitgenössischen Schriftquellen, in: *Schröck/Wendland* (Hrsg.), Traces of Making – Shape, Design, and Construction of Late Gothic Vaults, Entwurfsprinzipien von spätgotischen Gewölben, Petersberg 2014, S. 166 „...Den oberen Abschluss einer jeden Lehrgerüstkonstruktion bildete ein Geflecht aus hölzernen Lehrbögen, die, eingespannt zwischen den lotrechten Stempeln, den Verlauf der Rippen bzw. Grate definierten“; *Wendland*, Tragende Teile: Gedanken zur Konzeption von Rippenwerk und Schalenkonstruktion in einigen spätgotischen Gewölben“, in: *George-Bähr-Jahrbuch* 2014/2015, S. 134: „...weil die Schalbretter auf die von Lehrbögen unterstützten Rippen aufgelegt...“.

pelte Aufwand, die zweifach gekrümmten Rippenverläufe zu konstruieren – einmal am Werkstein und ein zweites Mal im hölzernen Lehrgerüstverlauf – erscheint weder überzeugend noch ist es im Sinne einer in der Spätgotik ökonomischen Grundsätzen folgenden Entwicklung von Wölbtechnologien plausibel, hier die zweifache Krümmung zweimal für ein und dieselbe Baugruppe formtechnisch zu entwickeln und auszuführen.

Auch quellenkundig gibt es unserer Kenntnis nach keine historischen Belege für diese *doppelte Formgebung* (Werkstein und identisches Holzlehrgerüst). Dieser Denkansatz folgt eher dem heutigen industriellen Denken von formgerechten Versatzvorgaben und einer neuzeitlich angenommenen Möglichkeit von Formkontrolle. Es gibt keine Befunde in Plänen für Lehrgerüste aus dem 15./16. Jahrhundert, da es unserer Überzeugung nach dieser nie bedurfte. Bereits die Werksteinrippen funktionierten als steinernes Lehrgerüst und wurden ausschließlich auf Grundlage der Vorgaben der vereinzelt überlieferten Risse/Visualisierungen aus Werkmeisterbüchern konstruiert.

Die vom Dresdner Forscher *David Wendland* als nicht belastbarer „Ersatz“ für die nördlich der Alpen nicht vorhandenen/überlieferten spätgotischen Pläne von Lehrgerüsten angeführte Zeichnung<sup>5</sup> von *Simon Garcia*, erschienen 1681 in Salamanca im „Compendio de Architectura y simetria de los templos. conforme a la medida del Cuerpo Humano. Con algunas demostraciones de Geometria“ – die auf die Lehrschrift *Rodrigo Gil de Hontanon* aus dem Jahre um 1570 zurückgehen soll – ist so grob fehlerhaft, dass die Kenntnis des nachgotischen Zeichners dieses Plans zum Bau von Schlingrippengewölben in Frage zu stellen ist. *Simon Garcia* zeichnete offenkundig eher, wie er um 1681 ein früheres Traktat von 1570 verstanden hat.

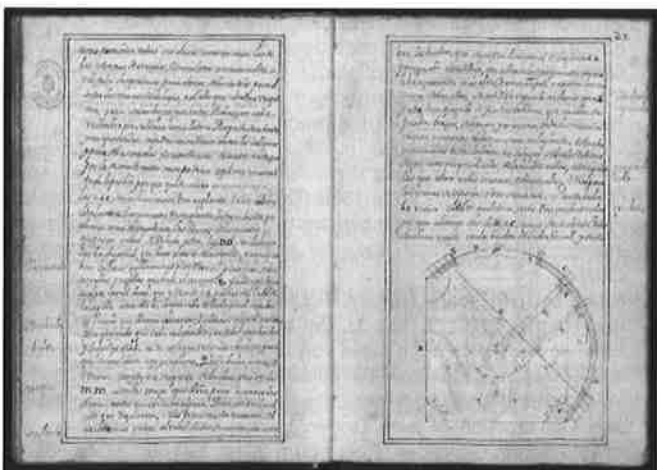


Abb. 1: *Simon Garcia*, compendio de architectura, 1681, S. 24, 25, (Foto: Ms. 8884, Biblioteca Nacional de España, www.bne.es – Zugriff 16.4.2016).

Grundsätzlich zeigt die Zeichnung *Garcias* einen einfach gekrümmten Rippenverlauf, das heißt ein Bezug zur Schlingrip-

penkonstruktion ist bei der Lehrgerüstzeichnung schon von vornherein nicht gegeben. Die Bogenkonstruktion wird von *Simon Garcia* auf der *Oberseite* der einfach gekrümmten Bogenrippe hergeleitet und nicht – wie die überlieferten Werkrisse von figurierten spätgotischen Gewölben großer Räume nördlich der Alpen<sup>6</sup> – auf der *unterseitigen* Rippenmittellinie.<sup>7</sup> Natürlich gibt es in kleinen Räumen – in denen auch nördlich der Alpen experimentiert wurde – Gewölbe von Chorumläufen, Sakristeien, Emporenuntersichten und dergleichen, die auch auf dem Intrados konzipierte Wölbungen zeigen. Das beste Beispiel ist die Ölbergnische von *St. Lorenz* in Nürnberg um 1500, in welcher dekonstruierte Bogenrippenverläufe unterseitig als Kielbogen/Eselsrücken geformt sind und die eine dem Joch vorgegebene Wölbform der Mauerwerksschale durch teils weit überhöhte Rippen“rück“seiten definieren.<sup>8</sup> Aber dies sind wohl Experimente gewesen – die einzig in kleinen wölbtechnischen „Nebenräumen“ ausgeführt wurden. Die Knotenpunkte/Rippenkreuzungen werden bei *Simon Garcia* unterschiedlich – mal als radial einlaufende Rippenprofile (s. Detail T in der Zeichnung von *Garcia*, S. 25) und mal als lotrecht einlaufende Rippenprofile (s. Detail 1/2 in der Zeichnung von *Garcia*, S. 25) – gezeichnet; letztere zudem als im Querschnittsprofil perspektivisch verzerrtes Rippenprofil – dies entspricht in dieser Form nicht den Schlingrippenwerken, wie Sie sowohl in Bestandsschlingrippengewölben als auch Werkrisen überliefert sind.<sup>9</sup> Unvorstellbar ist weiterhin der Lastabtrag – statisch wie auch geometrisch – über profilierte Knäufe, die an den Werksteinknoten hängen, welche auf die Holzstelzen/Stämme eines Lehrgerüsts gesetzt werden sollten. Wer einmal ein Rippengewölbe gebaut hat, der weiß, wie kompliziert die Ausrichtung und Lagesicherung eines Knotens auf einem Holzstamm ist – wenn dann der Knoten unterseitig profiliert abhängende Ornamentik hat, so halten wir das für kaum versetzbar/ausrichtbar. Der Tas-de-charge entspricht in der Darstellung von *Garcia* auch nicht dem Wesen dieses Konstruktionsglieds.<sup>10</sup> Den Arbeitsboden *grundsätzlich* auf Höhe des

5 *Wendland*, Zum Bau figuriertes Gewölbe – Eine Anleitung im Werkmeisterbuch des Rodrigo Gil de Hontanon, in: *Bürger/Klein* (Hrsg.), *Werkmeister der Spätgotik – Personen, Amt und Image*, 2010, S. 244-268.

6 *Böker*, *Architektur der Gotik – Bestandskatalog der weltgrößten Sammlung an gotischen Baurissen*, 2005; *Koepf*, *Die Gotischen Planrisse der Wiener Sammlungen*, 1969.

7 Der Versuch von *David Wendland* (*Wendland*, Zum Bau figuriertes Gewölbe – Eine Anleitung im Werkmeisterbuch des Rodrigo Gil de Hontanon, in: *Bürger/Klein* [Hrsg.], *Werkmeister der Spätgotik – Personen, Amt und Image*, 2010, S. 244 [253] – zur Bogenkonstruktion auf der Rippenoberseite), dies mit unterschiedlich hohen Rippenprofilen erklären zu wollen, die den Intrados (Unterseite eines Bogens/Wölbung) nach oben zur Wölbung als Ausgangsbogen virtuell verschieben, scheitert an der sphärischen Krümmung der beabsichtigten Wölbfläche, die keine Halbkugel ist und worauf sich die Schlingrippen nicht als projizierte Rippenkörper konstruieren lassen.

8 Die dekonstruktiven Wölbungen der Ölbergnische, des Sakristeihauses von *Adam Kraft* von 1493 sowie der Chorumgänge von *St. Lorenz* in Nürnberg sind Gegenstand des derzeit laufenden Forschungsprojektes dekonstruktiver Architekturkonzepte um 1500 – hier Teilprojekt Budapester Burg Ofen – von *Norbert Nußbaum*, *Thomas Bauer* und *Jörg Lauterbach*.

9 *Böker*, *Architektur der Gotik – Bestandskatalog der weltgrößten Sammlung an gotischen Baurissen*, 2005; *Koepf*, *Die Gotischen Planrisse der Wiener Sammlungen*, 1969.

10 Diesen Hinweis verdanken wir unserer Mitarbeiterin *Carmen Perez de los Rios* mit ihrer Dissertation „Aspectos Formales y Constructivos en la obra de Guillem Sagrera: El uso de las Plantillas“, Madrid 2016, in der dazu ausführlich Stellung genommen wird.

Oberlagers des Tas-de-charge zu platzieren, halten wir *als Regel* für nicht zutreffend – jeder Steinversetzer und Maurer wäre froh, wenn der Arbeitsboden am Unterlager des Tas-de-charge läge, da er dann die Werksteine des Tas-de-charge einfacher versetzen könnte und kein zuvor zusätzlich gebautes Gerüst dafür benötigte. Bei einfachen Rippenanfängern<sup>11</sup> müssten die Maurer für die Wölbsegele zudem am Kämpfer extra rüsten. Unseren Erfahrungen nach bestimmt sich die Höhe des Arbeitsbodens – wenn dieser schon höher angesetzt werden müsste – nach der möglichen bebaubaren Höhe der Holzstelzen/Stämme und der Größe der Einzellast, die unter einer Stelze vom Arbeitsboden und dessen Substruktion aufgenommen werden kann.

Vor allem aber der an den Rippenknoten konstruierte Kreuzungspunkt der Bogenaustragung auf der Oberseite der sich kreuzenden Rippenprofile – hier Detail 1/2 in der Zeichnung von *García* – liegt unverständlicherweise innerhalb des Werksteines, geschuldet der oberseitigen Steinerhöhungen der Knoten. Dem folgend könnten die Bogenaustragungen an Kreuzungspunkten nicht durchgängig am Stein gerissen werden (nur bei Risslinien der Bogenaustragung an Steinaußenseiten möglich), was bei Knoten mit längeren Rippenausläufen zu „Blind-/Fehlbereichen“ der Konstruktion führen würde.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bezüglich des Versetzens und des Baus von Lehrgerüsten bei Schlingrippengewölben keine dienlichen historischen Überlieferungen vorhanden waren/sind.

Bei der Rekonstruktion des Schlingrippengewölbes von 1556 in der Schlosskapelle Dresden von 2009 bis 2013 sind wir (die Autoren) als ausführende Technologen, Werkplaner und Bauleitung der Methodik gefolgt, zunächst eigene Gedanken zu entwickeln, wie wir heute mit unseren Erfahrungen aus über 20 Jahren steintechnischer Planungen und Ausführungen historischer Rekonstruktionen zweifach gekrümmte Rippen mit geringstem Aufwand versetzen würden. Erst im Nachhinein führten wir rein interessehalber einen Abgleich mit der historischen Fachliteratur durch.

Im Folgenden wollen wir – als Weiterführung des 1. Teils dieses Aufsatzes zu geometrischen Grundsätzen der Schlingrippenfertigung<sup>12</sup> – im nunmehr zweiten Teil aus unserer sachverständigen Sicht die Lehrgerüste und Bauzustände der Freien Wölbung der Dresdner Schlingrippenrekonstruktion näher erörtern.

### 1. Lehrgerüste von Wölbungen – kurzer historischer Rückblick

Mit der historischen Entwicklung von Bögen und Gewölben als raumüberspannende Tragkonstruktionen ergab sich mit selbsttragenden Wölbungen die Notwendigkeit für die Bauzustände, Hilfskonstruktionen mit der Aufgabe der Abfangung von Lasten während des noch nicht fertigen Schließens der tragenden Wölbbögen/Wölbsegele zu entwickeln und vorzuhalten.

Die Notwendigkeit des bautemporären Abfangens von Lasten während der Bauzustände war in der histori-

schen Bauentwicklung von gewölbten, raumabschließenden Konstruktionen sowie Bögen über Portalöffnungen zunächst nicht immer notwendig, wie uns die bis in die heutige Zeit überlieferten Artefakte von Kragsteingewölben (Falschen Gewölben)<sup>13</sup> mit ihren steintechnischen Technologien zeigen.

Exemplarisch ist dazu auf Mykene zu verweisen, wo rund 1250 vor Christus beim Bau des Schatzhauses des *Atreus* eine Kuppel konstruiert und gebaut wurde, die technologisch kein Lehrgerüst erforderte. Schicht für Schicht sind hier die jeweils sehr lang in die wölbende Kuppelkonstruktion hineinreichenden Werksteine zum überwölbten Kuppelraum hin verschoben worden und konnten so bereits beim Versatz des jeweiligen Werksteins nur durch sein Eigengewicht und ohne Hilfskonstruktion auf die darunter liegende Steinschicht versetzt werden, da der Steinschwerpunkt ein Kippen des trocken – das heißt ohne Mörtel – versetzten Werksteines verhinderte. Die kuppelinnenseitige Steinfläche wurde zuvor zweifach gekrümmt bearbeitet, dh einen Krümmungsradius im Grundriss und einem zweiten Krümmungsradius des vertikal aufsteigenden Kuppelinnenradius folgend. So hat jeder Werkstein an der Kuppelinnenfläche am Oberlager einen kleineren Radius im Grundriss als am Unterlager und die aufsteigenden Radien stehen rein theoretisch in aufsteigender Richtung radial zur sich verjüngenden Innenkuppel. Es ist kaum anzunehmen, dass hier Schablonen – wie einige Kunsthistoriker heutzutage herleiten würden – zum Einsatz kamen, sondern es wurde der Radius im Oberlager und im Unterlager des Werksteines gerissen<sup>14</sup> und danach die sphärisch gekrümmte Kuppelinnenfläche freihändig ausgearbeitet.<sup>15</sup> Dem gleichen Prinzip folgend ist der obere Portalspitzbogen des Schatzhauses des *Atreus* technologisch steintechnisch von den Alten Grie-

11 Rippenanfänger wurden gewöhnlich bereits im Zuge der aufgehenden Außenwände mitversetzt, siehe beispielgebend dazu Ruinenfoto Erasmuskapelle Berlin, *Bauer/Lauterbach*: Die Schlingrippen der Gewölbe Erasmuskapelle Berlin, Rotbergkapelle Basler Münster, Landhauskapelle Wien, Eleemosynariuskapelle Banská Bystrica, Ratssaal Bunzlau/Boleslawiec, Rathaus Löwenberg/Lwowek Slaski, 2011/2014, S. 70 Bild 2.5.26.

12 *Bauer/Lauterbach*, DS 2015, 297.

13 Kragsteingewölbe oder Kraggewölbe sind waagrecht auskragende Mauerwerksschichten über einem runden (dann auch Kragkuppel genannt) oder rechteckigen Grundriss, die sich Schicht für Schicht nach oben innenseitig verjüngen und so eine innere Wölbform bilden. Älteste Beispiele sind in der Bretagne Cairn von Bernenez (4000 v. Chr.) und in Irland Newgrange (3150 v. Chr.). Zusammenfassend s. dazu *Löbbecke*, Kragkuppelbauten, 2012, sowie *Rohlf*s, Primitive Kuppelbauten in Europa, 1957.

14 Radien am Ober-/Unterlager werden ganz simpel über ein Seil, welches am Holzpflog im Radienmittelpunkt des Reissbodens im Boden geschlagen ist, gerissen; die Radiendimensionen werden am Aufriss des Wölb Bogens mit dem Seil zuvor abgegriffen.

15 Genauso wie die Steinmetzen der Dresdner Rekonstruktion nach den Vorgaben der Autoren die zweifach gekrümmten Schlingrippenkörper nur an den werksteinbegrenzenden Fugen im Profil angerissen haben und danach den zweifach verwundenen Rippenkörper – nach einiger Übung – völlig freihändig am Stein gehauen haben.

chen gebaut wurden, das heißt mutmaßlich ohne erforderliches Lehrgerüst.



Abb. 2: Kuppel des Schatzhauses des Atreus in Mykene (Foto: bauer lauterbach Archiv)

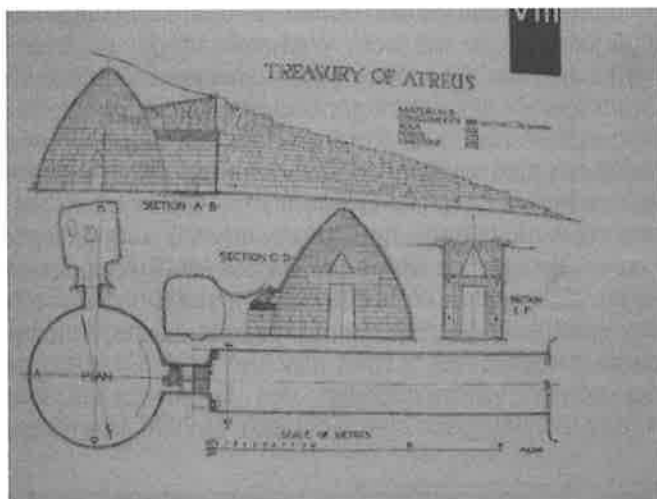


Abb. 3: Schatzhaus des Atreus in Mykene (Foto: bauer lauterbach Archiv)

Beim Löwentor der Burg von Mykene (13. Jahrhundert v. Chr.) sind die lateralen Portalsteine zunächst ebenfalls nach dem Prinzip mit verschobenen Werksteinen, die ihren Schwerpunkt gegen Kippen außerhalb des Bogens haben, angesetzt. Im oberen Bereich lagern die Steinschichten auf dem zentralen Löwenrelief – dem ältesten in Europa erhaltenen bildplastischen Steinrelief – welches als großer Werkstein auf dem Portalsturzstein aufsitzt.

Diese Technologie der Mykener (und vorheriger Kragkuppelbauten) erforderte sehr große Steinblöcke für Wölbungen, so dass aus ökonomischen Gründen in der nachfolgenden – sehr langsamen – Entwicklung der Baugeschichte<sup>16</sup> Überlegungen anzunehmen sind, mit Hilfskonstruktionen während Bauzuständen auch mit kleineren Steinformaten wölben zu können.

Im Alten Ägypten (2000 – 3000 v. Chr.), wo in Pyramiden auch Kragsteinwölbungen zu finden sind,<sup>17</sup> traten parallel die so genannten Nubischen Wölbungen – beginnend 3000 v. Chr. – aus dem oberägyptischen Nubien auf. Die Nubischen Wölbungen sind Lehmziegelwölbungen, die auf Grund des Holz mangels auf Lehren und flächige Schalungen verzichteten<sup>18</sup> und damit eine Wölbtechnologie lieferten, die keine Bauzustände mit Lehrgerüsten oder bautemporären Absteifungen erforderten.

Diese Nubischen Wölbungen Oberägyptens aus den drei Jahrtausenden v. Chr. werden gemeinhin als Vorbild für die römischen Kuppelwölbungen angesehen.<sup>19</sup> Aber weder für ägyptische noch römische Wölbtechnologien mit kleineren Steinformaten sind uns überlieferte Beschreibungen bekannt.

Einzig eine Quelle aus der römischen Zeit des 4. Jahrhunderts n. Chr. zu Lehrschalungen von geputzten Gewölben in Bauernhäusern ist durch Übersetzungen aus dem 16. Jahrhundert überliefert.<sup>20</sup> Interessant bei dieser wohl ältesten Beschreibung hinsichtlich Holzhilfskonstruktionen beim Wölben ist, dass auch hier technologisch auf eine punktuelle Lastabtragung – wenn auch gehangen statt wie bei spätgotischen Wölbungen gestelzt – gesetzt wurde. Diese Beschreibung der Putzwölbungen ist wohl die erste Beschreibung einer im heutigen Verständnis als Rabetzgewölbe<sup>21</sup> bekannten Technologie. *Columelle* und *Palladius* schreiben dazu:

„... Von den welben die man asz rozen macht/

Es ist am nützlichsten/das man die gewelb in den bawers heüssern usz solchem ding mach/das man leichtlich im veld unnd bei den meyer hofen bekommen mag/Darumb sollen wir sie eynweder usz boxten/oder usz rozen machen/Und sollen zum ersten gerade bort nehmen von denen oder Cypressenholtz/un die selbe an de ort zusammenfüge/da wir eyn gewelb habe wölle/also ??ie eyn boxt anderhalbeschuch von dem anderen lig/und der mittelplatz leer sei/Darnach sollen wir sie mit hülzernen weiden auß weckolter/ölbaum/Buchssbaum/oder cypressen gemacht/an die balcken hencken/und zwo lang stangen darunzer ziehen/die sollen mit den boxten mit hänsenen stricken angebunden werden/Demnach soll man roz usz den mosen nehmen/und dieselben zerknitschen/und gleich wie eyn roft oder hutten hatt an eynander an die box-

16 Das Schatzhaus des Atreus blieb von 1250 v. Chr. über 1370 Jahre bis zum Neubau des Pantheons in Rom um 120 n. Chr. die größte kreisförmige Kuppelkonstruktion Europas.

17 Exemplarisch: Knickpyramide von Pharao *Snofru* (2600 v. Chr.); Cheops Pyramide von Gizeh (2600 v. Chr.); Rote Pyramide von Dahschur (2650 v. Chr.).

18 *Trautz*, Zur Entwicklung von Form und Struktur historischer Gewölbe aus der Sicht der Statik (Dissertation), Bericht Nr. 28, Institut für Baustatik Universität Stuttgart, 1998.

19 *Trautz*, Zur Entwicklung von Form und Struktur historischer Gewölbe aus der Sicht der Statik (Dissertation), Bericht Nr. 28, Institut für Baustatik Universität Stuttgart, 1998.

20 *Michael Herzen (Herren)*, Das Ackerwerck-Lucii Columelle und Palladii...verteütschet“, Straßburg 1538, Das Erstbuch, Seite CL III.

21 Der Berliner Maurermeister *Carl Rabitz* meldete 1878 dazu das Patent auf die gewölbte Putztechnologie auf Drahtgewebe an.

tund stangen hefften. Das bewürft man dann zum ersten mit eym mörter ausz bimbsz gemacht/und ebnet es mit eyner kellen/dassich damit die roz zusammen halten/darnach ebnet mans weiter mit sand un kalck/und zum dritten bestreicht mans mit gestosznem marmor/damit glett mans uff das aller veinst und glanzigt. ...“

Mit den großen Kathedralentwicklungen ab dem 12. Jahrhundert – vor allem in England, Frankreich, im Deutschen Reich und Spanien – wurden die bis zum 14./15. Jahrhundert in vielen Vorstufen bereits als Technologie vorhandenen Lehrgerüstkonstruktionen für Gewölbe mittels Holzgestelle auf den statisch-konstruktiven Höhepunkt gebracht.

Die Überlieferungen aus historischen Schriften, Büchern, Bildern und Stichen zu Gerüstkonstruktionen wurden 1978 von *Günther Binding* und *Norbert Nußbaum* umfassend zusammengestellt.<sup>22</sup> Eine beachtenswerte Zusammenfassung des Forschungsstandes zu Lehrgerüsten von Rippenfigurationen, sowie weitergehende eigene Forschungsergebnisse dazu veröffentlichte *Stefan Bürger* 2007.<sup>23</sup>



Abb. 4: Lehrschalung um 1350 Pfarrkirche Lärbro/Gotland mit sichtbarer Mörtelausgleichsschicht in einem Feld. (Foto aus *Christian Mai*, Die Lehrgerüste spätgotischer Zellengewölbe in zeitgenössischen Schriftquellen, aus dem Tagungsband „Traces of Making“, S. 159).

Von der Technologie der Lehrgerüste des 14. und 15. Jahrhunderts sind Befunde überliefert, in denen neben den Wölbformen der Grate vor allem die vollständigen Wölbflächen der Mauerwerkssegel mit Brettschalungen unterfangen wurden. Exemplarisch zeigt dies das belassene Lehrgerüst vom Bau des Turmes der Pfarrkirche um 1350 in Lärbro auf Gotland.<sup>24</sup> Befunde von geschalteten und unterseitig noch mit Mörtelausgleichen versehenen Mauerwerkswölbungen befinden sich unter anderem im Alten Königspalast *Karl IV* des Prager Hradschin

aus dem 14. Jahrhundert, dem Beinhaus von *St. Peter und Paul* in Melnik aus der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts sowie in der um 1470 entstandenen baulichen Überformung der Kemenate im Schloss Dresden von 1220/1240.<sup>25</sup>



Abb. 5: Abdrücke der flächigen Lehrschalung der Mörtelausgleichsschicht der Steinwölbung aus Bruchsteinen, Schloss Dresden um 1470 (Foto: bauer lauterbach Archiv).

Neben den flächigen Schalungen von Wölbflächen, die oft mit dem Einsatz von unbehauenen Steinmaterial verbunden war, wird es auch die Technologie von Sparschalungen gegeben haben, das heißt bei der Verwendung von als Quader gehauenen Steinen oder Ziegeln reichte ein Flächenrost von Holzlatten, über die Lehrbögen verlegt, aus. Auch wenn für die Technologie mit Sparschalungen keine historischen Befunde bekannt sind, so spricht deren wesentlich geringerer Aufwand dafür, dass dies bei definierten Quadersteinen/Ziegeln auch im Mittelalter so praktiziert wurde.

<sup>22</sup> *Binding/Nußbaum*, Der mittelalterliche Baubetrieb nördlich der Alpen in zeitgenössischen Darstellungen, 1978.

<sup>23</sup> *Bürger*, Figurierte Gewölbe zwischen Saale und Neisse – Spätgotische Wölbkunst von 1400 – 1600, Dissertation TU Dresden 2004, veröffentlicht Weimar 2007.

<sup>24</sup> Aufmerksam auf diesen Befund machte uns die Veröffentlichung von *Christian Mai*, Die Lehrgerüste spätgotischer Zellengewölbe in zeitgenössischen Schriftquellen, in: *Schröck/Wendland*.

<sup>25</sup> *Spehr/Boswank*, Dresden: Stadtgründung im Dunkel der Geschichte, 2000.



Abb. 6: Lehrgerüst Flächenrost-Rekonstruktion 2006 der Gotischen Halle von 1468 im Schloss Dresden (Foto: bauer lauterbach Archiv).



Abb. 7: Befunde Rippenversatz St. Peter und Paul in Melnik Ende 15. Jh. mit Holzkeilen in den Rippenfugen; Bild aus Aufsatz D. Sterbova, „Připravne ryte konstrukce na kamenném zdivu“, Sborník 12-2014 (dort Bild Nr. 11 mit Hinweis auf J. Rafl, 2010)

## 2. Lehrgerüste für zweifach gekrümmte Rippenwerke

Mit den figurierten Rippengewölben der Spätgotik – ab Mitte des 15. Jahrhunderts – entstand das Erfordernis, zweifach gekrümmte<sup>26</sup> Rippenwerke im Bauzustand *punktuell abzufangen*, da zweifach gekrümmte Werksteinrippen sich in ihrem Verlauf kaum mit Lehrbögen aus Holz unterstützen lassen. Oder diese Lehrbögen müssten ebenfalls die zweifache Krümmung aufweisen, was dann wie eingangs erwähnt eine doppelte Formgebung bedeuten würde. Unsere Versuche und die Ausführung an der Dresdner Rekonstruktion zeigen aber auch, dass neben der ökonomischen Abwegigkeit einer doppelten Formgebung auch die Versetztechnologie kontraproduktiv wäre. Die einzige Möglichkeit, Toleranzen der einzelnen Werksteinrippen im Versatz auszugleichen, ist die Fuge zwischen den Rippen. Dazu bedarf es der Möglichkeit, vor allem Winkel-toleranzen, aber auch Toleranzen der Einzellängen und radialen Neigungen der Rippenfugen durch ein

flexibles Einsetzen der Werksteinrippen zwischen den zuvor versetzten Rippenknoten zu ermöglichen (Bild 7). Ein exakt vorgezeichneter, zweifach gekrümmter Lehrbogen wäre nur hinderlich und keinerlei Gewinn beim Versatz. Die Versatzvorgabe sind die Rippenabgänge von den umliegenden Rippenknoten und die zuvor nach gleichem Riss auf dem Schnürboden gefertigten Einzelrippen. Diese ergänzen sich beim Versatz inklusive den ausgetragenen Toleranzen in den Fugen. Alle untersuchten Gewölbe der Spätgotik zeigen an den Rippenfugen im Kleinsten genau diese minimalen Versätze, selbst an so hervorragend gefertigten Gewölben wie dem Wladislawsaal/Prag oder der Landhauskapelle/Wien.

Für die Lehrgerüste von zweifach gekrümmten Rippenwerken, soweit man die punktuellen Unterstüzungen überhaupt als Lehrgerüst bezeichnen kann, ist im weiteren von Bedeutung, dass erst die fertige Mauerwerkswölbung – nunmehr als freie Wölbung, das heißt *ohne unterstützende Schalung der Wölbsegel*<sup>27</sup> gebaut – den inneren Kräfteverlauf, ausgehend von den Mauerwerkswölbseglern, in die zum Lastabtrag vorgesehenen Pfeiler, Kämpfer und Strebeglieder, zu gewährleisten hatte.

Das Freie Wölben folgte sicherlich auch dem Anspruch der Entwicklung der Wölbtechnologie, ökonomischer zu bauen, dh mit weniger Bauholz auszukommen. Allerdings ist hier der Auffassung einiger Beiträge der Forschung zu widersprechen, dass die Wölbsegel dann nur zwischen den Rippenzügen als kleine Wölbsegel statisch-konstruktiv ausgebildet werden müssten.<sup>28</sup>

Gleichfalls zu widersprechen ist der Auffassung zum Freien Wölben, dass der Maurer als Vorteil dann nicht mehr vom Gewölberücken aus arbeiten müsste.<sup>29</sup> Das

26 Mit „einfach gekrümmt“ meinen wir einen Bogen, der im Aufriss gekrümmt ist und im Grundriss einer geraden Linie folgt; hingegen mit „zweifach gekrümmt“ meinen wir im Aufriss gekrümmt und auch im Grundriss einer Bogen- oder Kurvenform folgend.

27 Zur Technologie des Freien Wölbens s. Bauer/Huber/Neuling, Das Freie Wölben über den Schlingrippen der Schlosskapelle Dresden, Mauerwerk-Zeitschrift für Technik und Architektur, 5/2015.

28 Unter anderem Holzer, Statische Beurteilung historischer Tragwerke, Band 1 Mauerwerkskonstruktionen, 2013, S. 162: „...Die während der Wölbung von unten unterstützten Rippenbögen geben die globale Wölbform vor und teilen überdies das Gewölbe in vergleichsweise übersichtliche Abschnitte kleiner Spannweite ein...“; dem entgegen die statischen Berechnungen und Forschungsergebnisse aus Belastungsversuchen zur Schlosskapelle Dresden 2011 und 2013; Kröning/Opitz, Rechnerische und experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten des Schlingrippengewölbes in der Schützkapelle des Dresdner Schlosses, S. 155-169, in: Scheerer/Hampel (Hrsg.), Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden, Heft 32 zum 7. Symposium Experimenteller Untersuchungen von Baukonstruktionen TU Dresden; Kröning/Bürger, Das Rippengewölbe als komplexes Tragwerk, in: SMF Sachsen (Hrsg.), Altenburg 2013, S. 96-107.

29 Holzer, Statische Beurteilung historischer Tragwerke, Band 1 Mauerwerkskonstruktionen, 2013 hier S. 162: „...unschätzbarer Vorteil des Wölbens ohne durchgängige Flächenschalung ist der, dass der Maurer nicht vom Gewölberücken her arbeiten muss...“.

Schließen eines Gewölbejoches, dh des Scheitelbereiches, kann der Maurer nur vom Gewölberücken aus vornehmen, da von unten keine Ziegel in leicht radialer Fugenneigung in das Wölbsegel einsetzbar sind. Dass der Maurer dabei auf den Tagen zuvor frisch gemauerten, lateralen Wölbsegeflächen stehen kann, auch ohne dass diese extra unterstützt werden, haben wir beim Bau des Schlingrippengewölbes der Schlosskapelle Dresden gemäß unserer Technologie- und Materialentwicklung nachgewiesen.<sup>30</sup>

In den nachfolgenden vier Bildern wollen wir die Arbeitsschritte eines Schlingrippenversatzes am Beispiel der Rekonstruktion der Schlosskapelle Dresden nach der von den Autoren kreierten, simplen Technologie vorstellen.



Abb. 8: Schritt 1, Versatz Rippenknoten auf Baumstämmen sowie in Wandauflagern die so mit Ihren Rippenausläufen den Rippenverlauf zum Versatz definieren (Foto: bauer lauterbach Archiv).



Abb. 9: Schritt 2, Versatz der Werksteinrippen zwischen den Knoten – freihändig – mit Holzteilen ausgerichtet zur Toleranzaufnahme (Foto: Rainer Böhme)

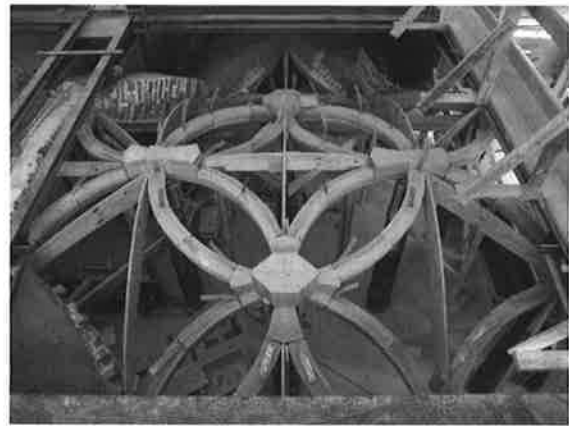


Abb. 10: Schritt 3, Freies Wölben über der Formvorgabe des Rippenwerks (Foto: Rainer Böhme).



Abb. 11: Standfläche Maurer zur freien Wölbung – außer im Scheitelbereich, wo von oben gemauert wird (Foto: bauer lauterbach Archiv).

Die im Bild 10 zu sehenden Biegen/Schablonen zwischen den Rippen zur Kontrolle der Wölbform der Mauerwerksegel war auf Wunsch des Architekten eingesetzt. An sich braucht man diese nicht.

## II. Mauerwerkswölbung – Verformungen

Die bei der Rekonstruktion des Schlingrippengewölbes der Schlosskapelle Dresden beachtenswerteste Teilleistung ist nach Auffassung der Autoren der statische Nachweis von *Matthias Kröning* zum Tragverhalten eines Schlingrippengewölbes.<sup>31</sup> Seine Idee eines Nachweises über Belastungsversuche an einem Probejoch, die zudem in Teilbereichen mit und Teilbereichen ohne Rippen ausgeführt wurden, beendete den

<sup>30</sup> Hinweisend auf die Technologie des Freien Wölbens und der Materialeigenschaften, s. *Bauer/Huber/Neuling*, Das Freie Wölben über den Schlingrippen der Schlosskapelle Dresden, Mauerwerk-Zeitschrift für Technik und Architektur, 5/2015.

<sup>31</sup> *Kröning/Opitz*, Rechnerische und experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten des Schlingrippengewölbes in der Schützkapelle des Dresdner Schlosses, S. 155-169, in: *Scheerer/Hampel* (Hrsg.), Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden, Heft 32 zum 7. Symposium Experimenteller Untersuchungen von Baukonstruktionen TU Dresden.

seit langen geführten Diskurs der Forschung, ob die Rippen bei Schlingrippengewölben mittragend sind oder nicht. Das Ergebnis ist nach Auswertung und Vergleich der belasteten Verformung einerseits von Wölbflächen mit Rippen und andererseits von Wölbflächen ohne Rippen relativ eindeutig: Die Schlingrippen sind im Endzustand des Gewölbes *nicht tragend/kaum mittragend*.

Demnach stellt sich auch für ein Lehrgerüst beim Bau eines Schlingrippengewölbes die Frage, welche Funktion hat das Rippenwerk<sup>32</sup> und für welche Bauzustände muss das Rippenwerk in welchem Umfang unterstützt werden? *Matthias Kröning* und *Stefan Bürger* fassen 2013 sehr beachtenswert diesen Diskurs so zusammen:<sup>33</sup>

„...Eine Reduzierung der Rippenkonstruktion auf reine gestalterische Eigenschaften ist ... nicht zulässig; dennoch die Rippen spielen für die Gesamttragwirkung des vollendeten Gewölbes eine untergeordnete Rolle...“.

Dass Rippen spätgotisch figurierter Wölbungen durchaus eine enorme gestalterische Absicht repräsentierten, zeigt uns die figurierende Ornamentik der im Raum Innsbruck<sup>34</sup> – unter den der Kunstförderung stark zugewandten Tiroler Fürsten – weit verbreiteten Ausführung von geputzten Rippchenwerken,<sup>35</sup> die technologisch sicher erst nach der fertigen Mauerwerkswölbung aufgebracht wurden. Wir treffen in Tirol um 1500 sowohl auf Figuren von zweifach gekrümmten Figurenverläufen als auch abgekappten Putzrippchen, dh dem gleichen Formenrepertoire entsprechend den Rippenwölbungen aus Stein. In Böhmen des 15. Jahrhunderts (ua Znaim, Pardubice) finden wir diese Putzrippchen ebenso wie im Donauraum.

Der statische Nachweis von *Matthias Kröning* zur Rekonstruktion des Schlingrippengewölbes der Schlosskapelle Dresden inklusive der Erkenntnisse aus den von ihm kreierte Belastungsversuchen am Probejoch brachte nicht nur den unseres Erachtens ersten Beleg in der Forschungsgeschichte zu spätgotischen Gewölben und deren Tragverhaltens, sondern vor allem auch die Gewissheit zur bis dato nur vermuteten Annahme, dass die Wölbform entscheidend ist für das Tragverhalten spätgotisch figurierter Gewölbe. Diese Leistung ist aus ingenieurtechnischer Sicht dahingehend zu würdigen, als dass hier der Beleg für ein schalenähnliches Tragverhalten erstmals wirklich erbracht wurde.

Eine weitere Frage stellt sich zum Mauerwerksverband. Kann dieser mit den geometrischen Zwängen der Formbildung figurierter Gewölbe über dem Rippenwerk wirklich als Schale im statischen Sinne ausgebildet werden und hatten die damaligen Werkmeister eine Ahnung von dem konstruktiven Grundgedanken, wie wir ihn heute zu erklären versuchen oder war dies aus einem „Versuchen“ heraus im 15./16.Jahrhundert eine

Folge von erfolgreichen Wölbungen am gebauten Bestand?

Dies werden wir wohl ohne Quellen, die das Vorgehen der mittelalterlichen Werkmeister zur Mauerwerkswölbung beschreiben, nie erfahren. Insofern lohnt sich ein genaueres Hinschauen auf die Ansätze zum neuzeitlichen Mauerwerksverband, die bei der Rekonstruktion der Dresdner Schlosskapellenwölbung erstaunliche Ergebnisse offenbart.

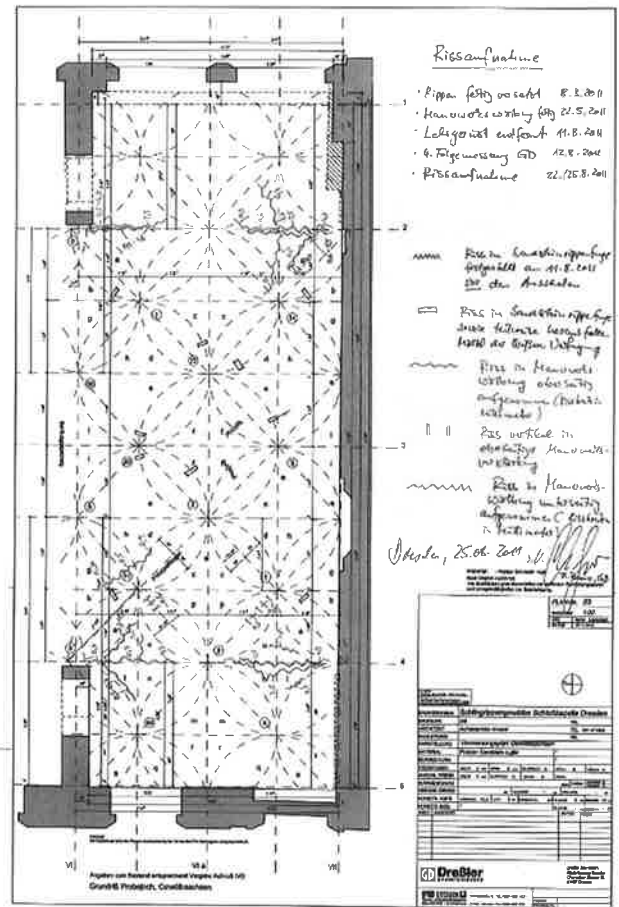


Abb. 12: Rissaufnahme nach Ausschalen Probejoch Wölbung Rekonstruktion Schlosskapelle Dresden (Foto: bauer lauterbach Archiv).

32 Der Terminus Technicus „Rippenwerk“ ist so seit 19. Jh. in der Fachliteratur zu lesen, wir verwenden diesen so seit 2011 ebenso in unseren Veröffentlichungen aus der Überzeugung, dass sich bei spätgotischen Schlingrippenfigurationen die Formentwicklung aus den bekannten gotischen Maßwerken heraus rezipierte und daher der Begriff „...werk“ auch von Maßwerk zu Rippenwerk übertragbar ist.

33 *Kröning/Bürger*, Das Rippengewölbe als komplexes Tragwerk, in: SMF Sachsen (Hrsg.), Altenburg 2013, S. 96-107.

34 Beispielgebend Innsbruck: Goldenes Dachl und Trautsohnhaus.

35 Befunde am Rippchenwerk von Putzrippen am Trautsohnhaus Innsbruck – welches derzeit in Rekonstruktion befindlich ist, zeigten an Schadstellen eindeutig die aus dem Putzgrund der Wölbfläche heraus gebildeten Rippchen mit im Querschnitt 3-5 cm starken Kelchen.



Getreu dem Motto: „Fehler sind Quellen der Erkenntnis“ zeigen die vom wissenschaftlichen Berater der TU Dresden, Dr. David Wendland – trotz umfangreicher von der Handwerkerschaft<sup>36</sup> artikulierten Bedenken – vorgegebenen Mauerwerksverbände sehr systematische und signifikante Rissbildungen. Diese haben eine sehr eindeutige Erklärung, wenn wir uns die vergleichbare Wölbung der Eleemosynariuskapelle Banska Bystrica/Neusohl (1503) zunächst näher anschauen. Bei der Erasmuskapelle Berlin (1540) sowie der Landhauskapelle Wien (1516) sind bei identischen Rippenansätzen der Anfänger identische Formen wie Neusohl und Wien, wenn auch mit geringen Abweichungen der konvexen/konkaven Schwünge zu beobachten; in Berlin zudem in Teilbereichen mit Rippenerhöhungen im Stein.



Abb. 13: Rissbefund Oberseite Wölbjoch in Mitte zwischen jeweils am Wölbanfänger senkrecht aufgemauerten Anfängerrippen (Foto: bauer lauterbach Archiv).

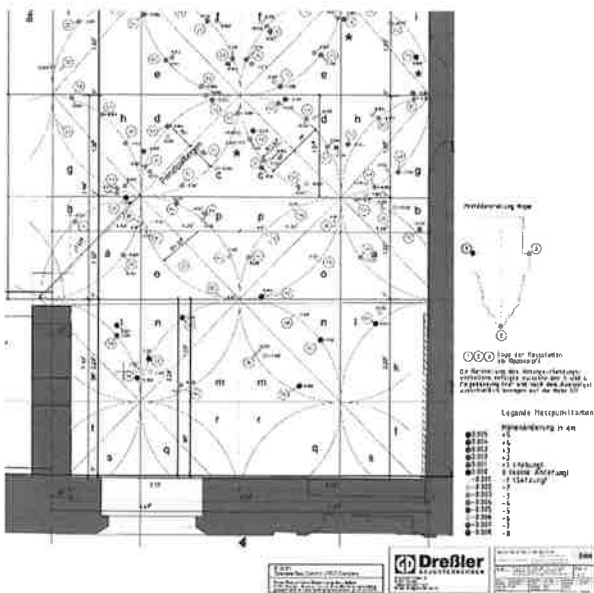


Abb. 14: 3D-Messung Verformung Rippenwerk nach Entnahme der Baumstämme (Foto: bauer lauterbach Archiv).

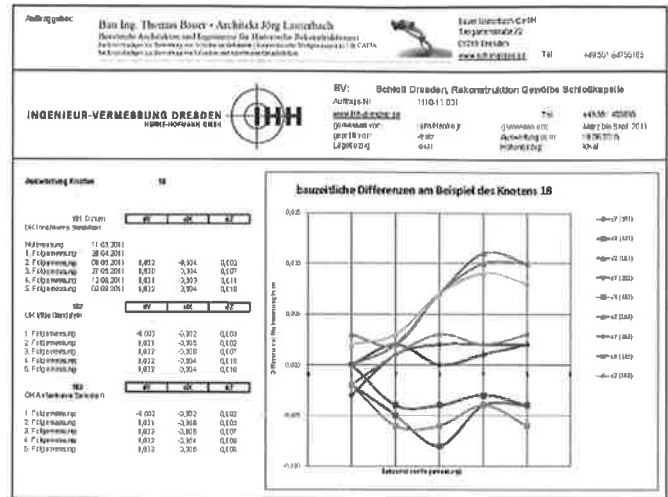


Abb. 15: 3D-Messung Rippenwerk – hier Bsp. Knoten 18 in 4 Stufen während Wölbung und nach Entnahme der Baumstämme (Foto: bauer lauterbach Archiv).

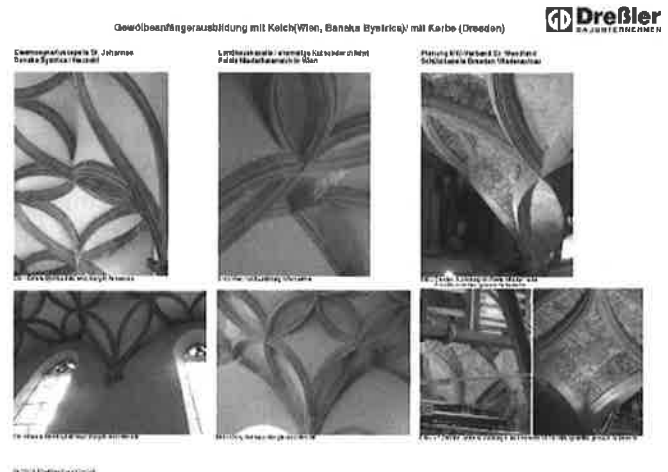


Abb. 16: Gewölbefanfängerausbildung an historischen Befunden Eleemosynariuskapelle Banska Bystrica/Neusohl und Landhauskapelle Wien mit jeweils Kelchform und dem entgegen Anfängerausbildung Rekonstruktion Schlosskapelle Dresden mit Kerbenform (Foto: bauer lauterbach Archiv).

Die Schalentheorie, wie sie von Matthias Kröning für die Dresdner Schlosskapellenwölbung bezüglich spätgotischer Wölbsegel nachgewiesen wurde, wird von den systematischen Rissbildungen nicht berührt, aber sehr eindeutig die nicht den historischen Vorbildern folgenden Mauerwerksverbände nach Vorgabe Wendlands. Auffassungen sind die eine Seite, systematische – wenn auch statisch unbedenkliche – Rissbildungen die andere. Und Letztere sprechen eine sehr eindeutige Sprache. Derartige systematische Rissbildungen haben wir bei keinem der unsererseits in den letzten sechs Jahren untersuchten circa 40 spätgotischen Gewölben feststellen können.

36 Bedenken der Autoren sind aktenkundig.

### III. Zusammenfassung

Die Befunde an den Wölbseglern der Dresdner Rekonstruktion zeigen in sehr eindrücklicher Weise, wie ein neuzeitlicher Versuch der Forschung zur Systematisierung von generellen Technologien zum Mauerwerksverband an mittelalterlich nachvollzogenen Wölbungen, die den spätgotischen Maurern mit den heutigen Systematisierungsversuchen unseres Erachtens fremd waren, zu systematischen Rissbildern führen, die wir so an historischen Artefakten in der Form nicht feststellen konnten.

Selbst die an den wenigen überlieferten Artefakten von Rippenwerkstücken bei Dresdner Ausgrabungen zur Dresdner Schlosskapellenrekonstruktion feststellbaren Befunde zeigten, dass der ursprüngliche Putz einer Mauerwerkswölbung seitlich, dh horizontal, an der oberen Rippenwange anschluss und nicht vertikal mit weiteren Aufmauerungen. Diesem Befund wurde trotz mehrfacher Hinweise der Autoren nicht gefolgt. Auch die schlüssige Argumentation auf Grund des einzig überlieferten Stiches aus dem Jahre 1676 zur Wölbung, dass die figürlichen Ausmalungen in den Wölbefeldern im Kämpferbereich konvex ausgebildete Wölbseglern bedürfen (wie Wien, Neusohl, Berlin), wurden nicht wahrgenommen – sondern die Rekonstruktion mit einer zwischen den Rippenausläufen der Wölbanfänger geknickten Wölbform „verordnet“, so dass eine Rekonstruktion der Ausmalung nicht mehr möglich ist, da dann die figuralen Engeldarstellungen „zweifach geknickt“ erfolgen müssten.

Aus unserer sachverständigen Sicht zeigen aber vor allem die systematischen Rissbilder nach dem Ausschalen/Ausrüsten der Baumstämme, worin das Problem des neuzeitlich interpretierten Mauerwerksverbandes liegt. Wir haben – rein zur Kontrolle, wie weit das Lehr-

gerüst aus Baumstämmen und Holzverstrebungen der sich aufbauenden Lastzustände aus der Wölbung formgerecht standhält – Verformungsmessungen durchgeführt. Diese zeigten sehr eindrücklich, dass während des Aufmauerns die Verformung der Rippen nur im Bereich um 1 mm nachgab. Nach der Entfernung der Baumstämme setzte eine zu erwartende vertikale Verformung der Wölbseglern von 2 mm (im Bereich Kämpfer) bis 4-6 mm (im Scheitelbereich) ein. Dazu ebenfalls festzustellen waren die zu erwartenden Verformungen in horizontaler Richtung, dh da sich der Scheitelbereich mehr senkte als der Kämpferbereich, gab es zwischen beiden 1-3 mm messbare horizontale Verschiebungen des Wölbsegels (Verformung der sphärischen Krümmung des Wölbsegels).

Die zu erwartenden Verformungen der Wölbseglern bewirken natürlich, dass diese an Zwangspunkten – wie sie durch die nicht nach historischen Vorbildern ausgebildeten Mauerwerksverbände im Kämpferbereich vorgegeben wurden – zu Zwangsrissen in der Konstruktion führen.

Diese Rissbilder sind nach Angabe der Statik unbedenklich, aber sie zeigen uns doch sehr eindrücklich, wie der Lastverlauf der Wölbseglern während der Bauzustände und im Endtragverhalten verläuft. Und somit sind die nicht der Historie folgenden Mauerwerksverbände der neueren Forschung bei der Rekonstruktion der Schlingrippenwölbung der Schlosskapelle Dresden ein sehr eindrückliches Beispiel des Lastabtrags von Mauerwerkswölbungen über figurierten Rippengewölben der Spätgotik, aber auch des Zusammenwirkens von Lehrgerüsten im Bauzustand und der sich aufbauenden Eigenlasten sowie Schubkräfte durch die Wölbseglern. ■