

UNTERSUCHUNG DER GEOMETRISCHEN KONZEPTION DER GEWÖLBE DER BASILIKA VIER- ZEHNHEILIGEN AUF BASIS VON 3D-SCANNINGDATEN IM KONTEXT DER STEREOTOMIE

Zusammenfassung

Betrachtet wird die geometrische Konzeption der Gewölbe der von Balthasar Neumann entworfenen Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen. Ausgehend vom gebauten Objekt und basierend auf 3D-Scanningdaten werden mithilfe der Methode des Reverse Geometric Engineering die geometrischen Eigenschaften des Gewölbes untersucht und die Konzepte rekonstruiert, die bei der Planung zur Anwendung gekommen sein müssen. Dabei werden die Abteikirche Banz und die Hofkirche der Residenz Würzburg als Vergleichsbauten mit einbezogen. Die Entwurfsmethoden werden in ihrem Zusammenhang mit den zeitgenössischen Traktaten der Stereotomie und Architektur sowie mit bekannten Planungspraktiken bei geometrisch komplexen Bauten betrachtet; dabei wird auch der Bezug zu den Gewölbeentwürfen des italienischen Barockarchitekten Guarino Guarini diskutiert.

Abstract

The geometric conception of the vaults of the pilgrimage church Vierzehnheiligen, designed by Balthasar Neumann, is investigated. Starting from the built object and based on 3D scanning data, the geometric properties of the vault are analysed with the method of reverse geometric engineering, and the concepts that must have been used in the planning, are reconstructed. The design is compared with that of two earlier churches, Banz Abbey Church, and the Court Chapel of the Würzburg Residence. The design methods are considered in their connection with contemporary treatises of stereotomy and architecture, as well as with known planning practices for geometrically complex buildings. Finally, the relation to the vault designs of the Italian Baroque architect Guarino Guarini is discussed.

Die Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen

Die Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen, ein Hauptwerk des mitteleuropäischen Spätbarocks, befindet sich bei Bad Staffelstein in der Region Oberfranken auf einer Anhöhe mit Blick über das Obermaintal.

Die den Vierzehn Nothelfern geweihte Wallfahrtskirche ersetzt Vorgängerbauten des 15. und 16. Jahrhunderts an der Stelle einer Wundererscheinung. Das Bauwerk wurde über einen Zeitraum von 30 Jahren, von 1742 bis 1772, errichtet.¹ Der als Hofarchitekt des Würzburger Fürstbischofs tätige Balthasar Neumann (1687–1753) musste seinen Entwurf für das Gebäude nach Baubeginn grundlegend ändern, nachdem der ausführende Baumeister Gottfried Heinrich Krohne in der Errichtung von Neumanns Plänen stark abgewichen war. Die Änderungen Neumanns resultierten in einer »deplatzierten Vierung«²: der Baukörper der Kirche wurde so nach Südosten verschoben, dass die Stelle der Heiligen-



Abb. 1 Gewölbe der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen, von vorne nach hinten: Orgelgewölbefeld, kleine Vierung, Gnadengewölbefeld, große Vierung, Chorgewölbefeld

¹ Ruderich, Peter: *Die Wallfahrtskirche Mariä Himmelfahrt zu Vierzehnheiligen. Eine Baumonographie* (Bamberger Schriften zur Kunst- und Kulturgeschichte, Bd. 1). Bamberg 2000.

² Ebd., S. 131–158.

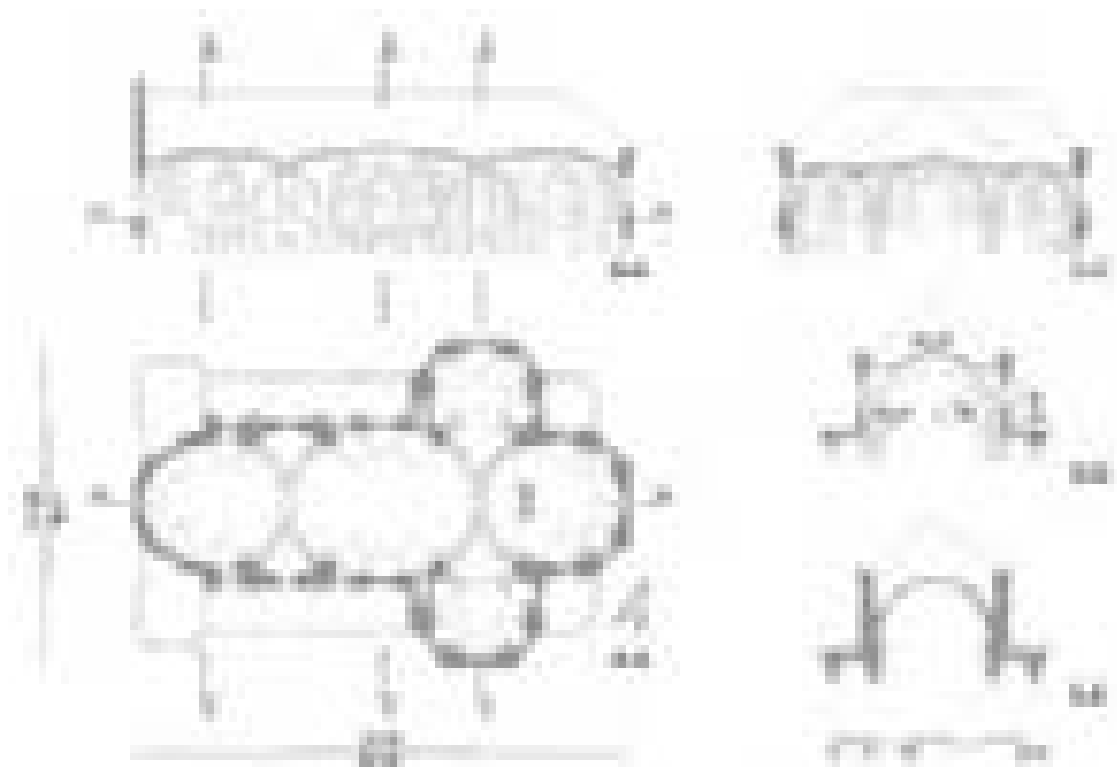


Abb. 2 Gewölbe der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen: Horizontaler Schnitt (A-A), Längsschnitt (B-B), Querschnitte durch die »große Vierung« (C-C), das Gnadengewölbefeld (D-D) und das Orgelgewölbefeld (E-E)

erscheinung statt in der Vierung in der Mitte des Kirchenschiffs zu liegen kam. Beim Tod Neumanns war der Rohbau bis zu den Gewölbeanfängern hin vollendet, die Einwölbung geschah aber erst 1762 durch den lokalen Baumeister Johann Thomas Nisler.³ Beim Dachbrand 1838 hielt das Gewölbe stand, wurde aber im Anschluss durch Lösch- und Regenwasser leicht beschädigt.⁴ Seitdem sind mehrere Restaurierungskampagnen am Bauwerk ausgeführt worden.

Der Grundriss der Kirche hat die Form eines lateinischen Kreuzes (Abb. 1–2). Die inneren Wandflächen sind gebogen, wodurch der Raumeindruck einer Aneinanderreihung und Verschmelzung von Ovalen und Kreisen entsteht. Drei Ovale in Längsrichtung bilden das Hauptschiff inklusive Chor. Das mittlere Oval ist das größte, hier befindet sich der bedeutende Rokoko-Vierzehnheiligaltar. Zwei runde Querhausarme schließen an das Hauptschiff

³ Ebd., S. 171–174.

⁴ Ebd., S. 136.

an. Im Bereich des Gewölbes bilden dieselben Ovale und Kreise die Grundform für oblonge, relativ flache kuppelige Gewölbe. Die drei längs des Kirchenraums aufeinander folgenden Gewölbefelder sind durch zwei Paar doppelt gekrümmter Bögen voneinander getrennt. An das östliche Bogenpaar schließen zudem die Gewölbe der Querhausarme an; dieser Bereich wird als die »große Vierung« bezeichnet. Der Bereich der westlichen Bögen heißt dementsprechend »kleine Vierung«. 26 Stichkappen schneiden tief in die Gewölbeflächen ein, um die Belichtung durch Obergadenfenster zu ermöglichen.

Bis zu einer Höhe von 5,73 Metern über dem Anfängergesims (Abb. 2 D-D) ist das Gewölbe aus Backstein errichtet. Oberhalb dieser Gewölbeanfänger wechselt das Material der Wölbung zu Kalktuffstein. Hier hat die Gewölbeschale eine Dicke von circa 25–30 Zentimetern, die Oberseiten der in parallelen Reihen versetzten Kalktuffsteine sind unbehauen. Reste von eisernen Zugankern sind im Gewölbe und den angrenzenden Außenwänden sichtbar.

Forschungsgeschichte und Methode

Die Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen genoss dank ihres außergewöhnlichen Entwurfs mit gebogenen Raumgrenzen schon früh und kontinuierlich das Interesse der kunst- und architekturgeschichtlichen Forschung. In der Literatur gab es immer wieder unterschiedliche Vorschläge, wie im Besonderen die Geometrie des Gewölbes zu beschreiben sei.

Richard Teufel beschreibt die Gewölbeflächen 1939 als »ellipsoidähnliche Schalenteile«. ⁵ Hans Reuther geht bei den Gewölbeflächen von »Ellipsen [...] aus der Rotation ihres Grundrisses um die Hauptachse gebildet« aus. ⁶ Über die doppelt gekrümmten Bögen schreibt er, »sphärische^[7] Gurtbogenpaare betonen die Durchdringung der Ellipsen.« ⁸ Auch Maren Holst bezeichnet die Bögen als »sphärisch gekrümmt« ⁹ und beschreibt die Formen mit geometrischen Grundkörpern wie Zylindern. In seiner ausführlichen Baumonografie zu Vierzehnheiligen widerspricht Peter Ruderich diesem Verständnis deutlich und sagt, die Gewölbeform »kann eher über die Methode der Herstellung geklärt werden, als über theoretisierende geometrische Körperanalysen.« ¹⁰ Ruderich kann anhand der originalen Baupläne Neumanns dessen Grundrissentwürfe mittels verschiedener Ovale nachkonstruieren. Trotzdem greift

⁵ Teufel, Richard: *Die Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen*. Jahressgabe des Deutschen Vereins für Kunstwissenschaft (Forschungen zur deutschen Kunstgeschichte, Bd. 18). Berlin 1939, S. 103.

⁶ Reuther, Hans: *Balthasar Neumann. Der mainfränkische Barockbaumeister*. München 1983, S. 80.

⁷ Die Bezeichnung räumlich gekrümmter Bögen als »sphärisch« ist weit verbreitet; tatsächlich wäre sie nur dann zutreffend, wenn die Kurven dieser Bögen einer Kugelfläche eingeschrieben wären. Dies nehmen allerdings weder Reuther noch andere Autoren, die auf die Bögen in Vierzehnheiligen Bezug nehmen, an.

⁸ Reuther, Hans: *Das Gewölbesystem der Benediktinerabteikirche Banz*. In: *Das Münster* 7 (1954), S. 362.

⁹ Holst, Maren: *Studien zu Balthasar Neumanns Wölbformen*. Mittenwald 1981, S. 34.

¹⁰ Ruderich 2000 (Anm. 1), S. 194.

Werner Müller die Diskussion um Geometrie wieder auf und sagt über die Bögen: »Geometrisch betrachtet, werden die Gurte durch den Einschnitt einer Kegelfläche in einen senkrecht stehenden Zylindermantel erzeugt«. ¹¹ In der neuesten Forschungsarbeit zum Thema beschreiben Víctor Compán u. a. die Bögen über ihre Projektionen auf die Fläche: »warped ribs whose plan projection is a curve defined by arcs belonging to three different circles«. Sie schreiben aber auch, die Form der Krümmung der Bögen »was conceived as the intersection between two surfaces«. ¹²

Diese Hypothesen zur geometrischen Definition des Gewölbes implizieren die Verwendung bestimmter geometrischer Begriffe und Verfahrensweisen, bei denen grundsätzlich nach dem wissenschaftlichen Kontext zu fragen ist. ¹³ Die für Planung und Realisierung erforderlichen Kenntnisse der praktischen Mathematik mussten nicht nur für den Architekten verfügbar sein, sondern auch bei den ausführenden Gewerken zumindest in Grundzügen umsetzbar sein. Des Weiteren ist die geometrische Planung des Gewölbes untrennbar mit der Konzeption der Architektur verknüpft. Somit ist die Frage nach den geometrischen Begriffen und Verfahren bei Entwurf und Planung auch von wesentlichem Interesse für die architekturgeschichtliche Betrachtung des Bauwerkes.

In der Forschungsliteratur zu Vierzehnheiligen fällt neben der Unklarheit über die Beschreibung der Gewölbegeometrie auf, dass die Architektur und vor allem die Gewölbe oft als »guarinesk« bezeichnet werden. ¹⁴ Diese Bezeichnung leitet sich ab vom italienischen Barockarchitekten Guarino Guarini (1624–1683). Die komplexen Formen der geschwungenen Wandflächen und Gewölbe seiner Sakralarchitektur sind geometrisch aus sich verscheidenden geometrischen Primitiven hergeleitet.

Um die dem Gewölbe der Wallfahrtskirche zugrundeliegende Geometrie zu klären und zudem den Bezug zu Guarini untersuchen zu können, wurde ein Laserscan des Innenraumes der Kirche erstellt. Damit ist es möglich, die tatsächlich ausgeführte Form wissenschaftlich zu untersuchen. Die verwendete Methode ist das Reverse Geometric Engineering, mit der ausgehend vom Scan des ausgeführten Bauwerks die ursprüngliche geometrische Form des Entwurfes rekonstruiert werden kann. Für die einzelnen Bereiche des Gewölbes werden Hypothesen entwickelt, auf welchen geometrisch definierten Kurven und Flächen diese

¹¹ Müller, Werner: *Von Guarino Guarini bis Balthasar Neumann. Zum Verständnis barocker Raumkunst* (Studien zur internationalen Architektur- und Kunstgeschichte, Bd. 16). Petersberg 2002, S. 44–48.

¹² Compán, Víctor; Cámara, Margarita; González de Canales, Francisco: *The Geometric Principles of Warped Rib Vaults in Central European Baroque Architecture from Guarini to the Dientzenhofer Family and Balthasar Neumann*. In: *Nexus Network Journal* 17 (2015), H. 1, S. 200–202.

¹³ So wurden beispielsweise Verfahren, mit denen die Verschneidungen von Rotationsflächen konstruiert werden können, erstmals im Lehrbuch von Gaspard Monge beschrieben: Monge, Gaspard: *Géométrie descriptive*. Paris 1798.

¹⁴ Brinckmann, Albert Erich: *Von Guarino Guarini bis Balthasar Neumann* (Vortrag in der Mitgliederversammlung des Deutschen Vereins für Kunstwissenschaft am 11. Juni 1932 zu Berlin). Berlin 1932. Hubala, Erich: *Rotunde und Baldachin. Die Raumgliederung der guarinesken Kirchen Böhmens*. In: *Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft* 41 (1989), S. 101–182.

Formen beruhen könnten, und mit welchen geometrischen Konzepten sie am einfachsten beschrieben werden können. Anschließend werden diese Hypothesen als verschiedene Varianten modelliert, indem Kreissegmente und Oberflächenprimitive bestmöglich an das gescannte Modell angepasst werden. Die Beurteilung der verschiedenen Varianten kann über eine Analyse der Abweichung zwischen Scan und nachmodellierten Kurven und Flächen erfolgen. Mit der verwendeten Software¹⁵ lassen sich die Abweichungen der gemessenen Punkte zu den modellierten Kurven und Flächen sowohl numerisch als auch in Farbkodierung darstellen. Dadurch können die untersuchten Varianten leicht verglichen und Hypothesen verifiziert werden (Abb. 3–5). In unseren Abbildungen sind Bereiche mit Abweichungen bis zu 2 Zentimeter grün dargestellt; Blautöne zeigen eine Abweichung der nachmodellierten Fläche nach innen und Rottöne zeigen eine Abweichung nach außen an. Nadeldiagramme zeigen die Abweichung zwischen gemessenen Punkten und modellierten Kurven.

Bei Abweichungsanalysen müssen die Faktoren mitbedacht werden, die die Ergebnisse beeinflussen und stören. Da das gebaute Objekt niemals vollkommen den geometrischen Vorgaben seiner Herstellung entspricht, müssen bei der Interpretation die Abweichungen transparent gemacht werden, um entscheiden zu können, inwieweit die Hypothesen zur geometrischen Planung als plausibel angesehen werden können. So treten bei Gewölben typische Verformungen auf, indem der Scheitel etwas nach unten sackt und die Gewölbeanfänger leicht auseinander gedrückt werden, auch wenn keine strukturellen Schäden am Gewölbe aufgetreten sind.¹⁶ Ebenso können sich bereits während des Bauprozesses des Gewölbes Abweichungen zum Entwurf einstellen. Zudem nimmt der Scan nur die äußerste, mehrfach überstrichene und mit Stuckornamenten versehene Putzschicht auf und nicht den auf dem geometrisch definierten Lehrgerüst errichteten Rohbau. Schließlich müssen auch die Fehler-toleranzen beim Vermessen bedacht werden.¹⁷ Aus all diesen Gründen ist es erforderlich, die Ergebnisse kritisch zu diskutieren und in ihren Kontext einzuordnen. Meist sind die Ergebnisse deutlich genug für eine Aussage über den zugrundeliegenden Entwurf, letztlich muss diese Entscheidung aber in der Forschung so transparent gemacht werden, dass sie auch für die Leserschaft noch falsifizierbar ist.¹⁸

¹⁵ Wir verwenden die Software Geomagic Design X von 3D Systems.

¹⁶ Das Tragverhalten des Gewölbes und damit auch die Kinematik und die detaillierte Beschreibung der Verformungen aus den Einwirkungen am Gewölbe sollen hier nicht Gegenstand sein, um den Rahmen dieses Beitrags nicht zu sprengen.

¹⁷ Für diese Untersuchung wurde der Leica RTC360 LT verwendet. Die durchschnittliche Scangenaugigkeit beträgt 2,9 Millimeter bei 20 Metern.

¹⁸ Zu den methodischen Fragen unter anderem: Wendland, David: *Arches and Spirals - The Geometrical Concept of the Curvilinear Rib Vault in the Albrechtsburg at Meissen and Some Considerations on the Construction of Late-Gothic Vaults with Double-Curved Ribs*. In: Carvais, Robert; Guillerme, André; Nègre, Valérie u. a. (Hg.): *Nuts & Bolts of Construction History: Culture, Technology and Society*. Vol. 1. Paris 2012, S. 351–357.

Die geometrische Konzeption der Gewölbe

Das Gewölbe der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen lässt sich in mehrere Bereiche einteilen, die unterschiedliche Geometrien aufweisen: die in sämtliche Gewölbefelder einschneidenden Stichkappen, die Kalotten der Querhausarme, die drei Gewölbefelder des Hauptschiffs und die dazwischenliegenden Partien mit räumlich gekrümmten Bögen. Im Folgenden sollen sie nacheinander vorgestellt und analysiert werden.

Die 26 Stichkappen des Gewölbes – Teilflächen, die zu den Obergadenfenstern geführt sind – sind alle ähnlich ausgebildet, unterscheiden sich aber in der Breite leicht voneinander (zwischen 4,2 und 5,9 Metern, Abb. 1). Ihre Scheitelbereiche lassen sich am besten durch Kegelflächen beschreiben, die durch die Ebenen der Laibungen sowie die leicht gerundete Fensterebene beschnitten werden. Die Kegelachsen steigen zur Raummitte hin leicht an, die Kegelflächen haben maximale Radien von 1,62–1,85 Metern. Die Geometrieanalyse zeigt Abweichungen von bis zu 6 Zentimetern an den Übergangsbereichen zwischen den Kegelflächen und Laibungsflächen sowie den Kegelspitzen. Die sanften Übergänge legen nahe, dass die Scheitelflächen der Stichkappen zum Großteil freihändig gemauert wurden und ihrer geometrischen Grundform daher nur ähneln.¹⁹ Die zwischen den einzelnen Stichkappen liegenden Partien der Gewölbeflächen bilden als ein System breiter, im Grundriss radial angeordneter Bögen die eigentliche Struktur der Gewölbe von Hauptschiff und Querhausarmen.

Die beiden Querhausarme werden von im Grundriss kreisrunden, kuppelartigen Gewölben überspannt. Auf den ersten Blick sehen diese Gewölbebereiche, in die jeweils fünf Stichkappen einschneiden, wie Halbkugeln aus. Beim Einpassen einer modellierten Kugelfläche²⁰ mit einem Radius von 6,56 Metern an das Gewölbe über dem südlichen Querhausarm (Abb. 3 a) gibt es aber sehr hohe Abweichungen zu den am Bau gemessenen Punkten (Abb. 3 b, c). Im Scheitelbereich weicht die Kugelfläche über 12 Zentimeter nach außen ab, dieser ist also tatsächlich deutlich flacher als eine Kugelfläche. Modelliert man das südliche Querhausgewölbe hingegen mithilfe zweier verschiedener Kugelflächen (Abb. 3 d), einer Fläche mit größerem Radius für den flachen Scheitelbereich (7,69 Meter) und einer Fläche mit kleinerem Radius für die Seiten (6,49 Meter), betragen die Abweichungen nur wenige Zentimeter (Abb. 3 e, f). Im Querschnitt (Abb. 3 e) ergibt sich ein Korbbogen, also eine Kurve, die aus zwei Kreissegmenten mit verschiedenen Radien und tangentialem Übergang zusammengesetzt ist. Daraus lässt sich schließen, dass die Kalotten über den Querhausarmen nicht als Halbkugeln entworfen

¹⁹ Stichkappen dieser Art werden bei Guarini als ›Lunetten‹ bezeichnet und ausführlich beschrieben: Guarini, Guarino: *Architettura Civile*. Turin 1737, S. 187. Zu den Lunetten bei Guarini siehe: Spallone, Roberta: *Lunette Vaults in Guarini's Works. Digital Models between Architettura Civile and Modo di misurare le fabbriche*. In: Diségno (2019), H. 4, S. 91–102.

²⁰ Die Stichkappen und die aufgesetzten, das Gewölbe gliedernden Stuckbereiche sind aus den modellierten Flächen ausgespart. Die Kugelfläche wurde in der verwendeten Software ausgehend von der Punktwolke durch eine Optimierungsrechnung und Einpassung (best fit) generiert.



Abb. 3 Modellierung und Abweichungsanalyse des südlichen Querhausgewölbefeldes: a) Modellierung mit Kugelfläche mit einem Radius, b) Abweichung zwischen Kreissegment und Scan im Schnitt, c) Abweichung zwischen Kugelfläche und Scan, d) Modellierung mit zwei Kugelflächen mit verschiedenen Radien, d) Abweichung zwischen Kreissegmenten und Scan im Schnitt, d) Abweichung zwischen Kugelflächen und Scan; die Abweichung ist farbkodiert dargestellt

wurden, sondern vielmehr als im Scheitelpunkt abgeflachte Kuppeln, die mithilfe einzelner, zwischen den Stichkappen festgelegter Korbbögen definiert wurden.

Das Hauptschiff der Wallfahrtskirche wird von drei Gewölbefeldern überwölbt (Abb. 1), hier benannt nach den Gebäudebereichen, die sie überspannen. Im Westen befindet sich das Orgelgewölbe, im Osten das Chorgewölbe und das größte mittig angeordnete Gnadengewölbe überdeckt die Stelle der Heiligenerscheinung mit dem zentralen Vierzehnheiligenaltar.²¹ Die Grundrisse dieser Gewölbefelder sind durch Ovale gebildet, bestehen also aus mehreren Kreissegmenten mit unterschiedlichen Radien (Abb. 2; 4 a).²² Das Orgelgewölbefeld hat drei verschiedene Radien, was in einem eiförmigen Grundriss resultiert (Abb. 2 A-A). Die Querschnitte durch die Gewölbeflächen basieren auf Kreisbögen (Abb. 2 D-D, E-E). In der geometrischen Analyse des Scans wird allerdings schnell erkennbar, dass es sich bei den großen, längs gestreckten, konkaven Gewölbeflächen keinesfalls um Rotationsformen handeln kann – anders als dies, wie erwähnt, zuweilen vermutet wurde. Eine aus der Rotation des Grundrisses generierte Fläche würde viel höher als der tatsächlich bestehende Gewölbescheitel zu liegen kommen, während eine aus der Rotation des Scheitels generierte Fläche weit innerhalb der Gewölberänder verbleiben würde. Vielmehr lässt sich die dreidimensionale

²¹ In den Bezeichnungen folgen wir: Ruderich 2000 (Anm. 1), S. 263.

²² In der älteren Literatur wird fälschlicherweise von Ellipsen gesprochen. Zur Verwendung von Ellipsen und Ovalen in der Barockarchitektur siehe: Ruderich 2000 (Anm. 1), S. 151, S. 203; Müller, Werner: *Steinmetzgeometrie zwischen Spätgotik und Barock. Eine Bautechnik auf dem Wege vom Handwerk zur Ingenieurwissenschaft*. Petersberg 2002, S. 33–63.



Abb. 4 Modellierung und Abweichungsanalyse des Gnadengewölbefeldes: a) Abweichung der horizontalen Projektion des Feldes von idealem Oval, b) die Form des Feldes wird von einzelnen Kreissegmenten bestimmt, c–f) Abweichung zwischen durch Optimierungsberechnungen ermittelten und eingepassten Kreissegmenten und Scan im Schnitt, g) Modellierung der Gewölbefläche durch zwischen den Kreissegmenten aufgespannte Loftfläche, h) Abweichung der Loftfläche vom Scan; die Abweichung ist farbkodiert dargestellt



Abb. 5 Modellierung und Abweichungsanalyse eines doppelt gekrümmten Bogens: a) Abweichung der horizontalen Projektion des Bogens von Kreissegmenten, b) Abweichung der vertikalen Projektion des Bogens von Kreissegmenten, c) von den Kreissegmenten, der horizontalen Projektion extrudierte Flächen, d) von den Kreissegmenten der vertikalen Projektion extrudierte Flächen, e) die vier extrudierten Flächen schneiden sich in zwei Schnittkurven, f) die Schnittkurven verbindende Loftfläche, g) Abweichung der Loftfläche vom Scan; die Abweichung ist farbkodiert dargestellt

Form der Gewölbeflächen ohne jeden Rückgriff auf Rotationskörper oder Mantelflächen geometrischer Grundkörper darstellen, indem einfache Kreisbögen in vertikale Ebenen eingeschrieben werden, die, bezogen auf die ovalen Grundrisse, radial aufgestellt sind (Abb. 4 b). In dieser Weise zwischen den Stichkappen angelegte ebenen Schnitte durch den Scan ergeben jedenfalls Kurven, die sehr genau Kreissegmenten entsprechen (Abb. 4 c–f). Beim mittleren Gewölbefeld beträgt die Abweichung zwischen Scan und den eingepassten idealen Kreisbögen²³ trotz der auf den Flächen aufliegenden Stuckornamente und trotz der Spannweite von 18,31 Metern maximal 6 Zentimeter. Die Kreisbögen im mittleren Bereich der Gewölbe haben dabei größere Radien (8,61–8,66 Meter, Abb. 4 d, e), im Randbereich sind die Radien kleiner (7,35–7,63 Meter, Abb. 4 c, f) – in Abhängigkeit der unterschiedlichen Entfernungen zwischen der Längsachse und dem ovalen Grundriss des Gewölbefeldes. Um eine kontinuierliche Fläche zu modellieren, die mit den Messdaten des Scans verglichen werden kann, lassen sich zwischen diesen ebenen Kurven Loftflächen²⁴ aufspannen (Abb. 4 g). Das Resultat zeigt eine sehr genaue Entsprechung mit dem Scan (Abb. 4 h), lediglich die Randbereiche am Übergang zu den doppelt gekrümmten Bögen weichen stärker ab (bis zu 20 Zentimeter). Insgesamt kann aus der Nachmodellierung geschlossen werden, dass die Gewölbefelder nicht über geometrische Grund- oder Rotationskörper, sondern über einzelne ebene Kreisbögen definiert sind.

Die paarweise angeordneten, doppelt gekrümmten Bögen, die die Gewölbefelder im Bereich der beiden Vierungen mit einer Spannweite von circa 14,5 Metern voneinander teilen, erwecken den Anschein, als resultierten sie aus der Verschneidung der Gewölbeflächen. Da diese konkaven Flächen jedoch nicht *a priori* als Rotations- oder Mantelflächen geometrischer Grundkörper definiert sind, ist die Definition der Bögen über Verschneidungen nicht plausibel. Auch die Vermutung, nach der die Bogenlaibungen durch Ausschnitte aus Mantelflächen von Grundkörpern gebildet sein könnten, lässt sich in der Nachmodellierung nicht bestätigen. Stattdessen können die doppelt gekrümmten Bögen ausgehend von den räumlichen Kurven, die ihre Kanten beschreiben, geometrisch definiert werden. Die Bogenkanten lassen sich nämlich über ihre Projektion auf eine horizontale Ebene (wie in einem Grundriss, Abb. 5 a) sowie auf eine vertikale Ebene (wie in einer orthogonalen Ansicht, Abb. 5 b) bestimmen. Die projizierten Außen- wie auch Innenkanten entsprechen, mit wenigen Zentimetern Abweichung, Korbbögen, also Kurven, die durch aneinander gesetzte Kreissegmente gebildet sind. Die räumlichen Kurven der Bogenkanten lassen sich erzeugen, indem die ebenen Kurven aus der jeweiligen Projektionsebene horizontal und vertikal extrudiert²⁵ (Abb. 5 c, d), und die so entstehenden gekrümmten Flächen miteinander verschnitten werden (Abb. 5 e).

²³ Die Kreissegmente wurden mit der verwendeten Software anhand der ebenen Schnitte der Punktwolke durch Optimierungsrechnung generiert.

²⁴ Loftflächen sind in der Modellierung NURBS-Flächen, die zwischen zwei als Flächenränder gegebenen Kurven gespannt werden.

²⁵ Bei der Extrusion wird eine Fläche gebildet, indem eine Kurve orthogonal zu ihrer Zeichenebene verschoben wird.

Es handelt sich also um die Verschneidungskurven von ideellen Zylindermänteln. Die so erhaltenen räumlich gekrümmten Kurven entsprechen den Messpunkten sehr genau. Die Fläche der Bogenlaibungen lässt sich durch Loftflächen zwischen den Schnittkurven modellieren (Abb. 5 f) und hat trotz der aufgesetzten Stuckornamente eine sehr geringe Abweichung zum Scan (Abb. 5 g). Die doppelt gekrümmten Bögen sind also nicht als Verschneidungen der Gewölbefelder definiert, sondern vielmehr über ihre auf extrudierten Korbbögen beruhenden Kanten aus der Verschneidung von ideellen zylindrischen Flächen. Sie resultieren nicht aus den Gewölbeflächen, sondern sind selbst definiert.

Die Flächen und Kurven in den Gewölben der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen können also einfach mit der Hilfe von zweidimensionalen Kreisbögen mit ein oder zwei verschiedenen Radien beschrieben werden, komplexere dreidimensionale Formen und ihre Verschneidungen sind nicht nötig. Die Konzeption der doppelt gekrümmten konkaven Flächen der Gewölbe aus ebenen Kreissegmenten und Korbbögen ließ sich beim Bau leicht mithilfe einzelner hölzerner Lehrbögen umsetzen, zwischen denen dann, soweit erforderlich, das Mauerwerk durch Schalbretter unterstützt werden konnte.²⁶ Im Informationsfluss von der Planung zur Ausführung sind Kreissegmente und Korbbögen leicht beherrschbar, zumal alle am Bau Beteiligten mit ihrer Konstruktion und den hierfür nötigen Werkzeichnungen vertraut waren. Selbst die geometrisch sehr komplexen Gewölbeformen in den längsgestreckten Gewölbefeldern mit ihren wechselnden Krümmungsgradienten konnten so in einfacher Weise geplant und fehlerfrei ausgeführt werden. Wie noch zu zeigen sein wird, lässt sich auch die beschriebene geometrische Definition der räumlichen Kurven der Bogenpaare ohne größere Schwierigkeiten mit einem spätestens seit dem 16. Jahrhundert weit verbreiteten grafischen Verfahren realisieren, das ganz auf einfachen geometrischen Konstruktionen in der Ebene beruht.

Frühere verwandte Gewölbekonzeptionen in der Abteikirche Banz und der Würzburger Hofkirche

In Blickweite der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen steht auf einer Anhöhe am gegenüberliegenden Mainufer die Kirche der ehemaligen Benediktinerabtei Banz. Dieses Gebäude wurde etwa 30 Jahre vor der Wallfahrtskirche, von 1710 bis 1718, vom Bamberger Hofbaumeister Johann Dientzenhofer (1663–1726) errichtet.²⁷ Dientzenhofer, wie auch Neumann für die von Schönborn tätig, war dessen Vorgänger und auch Lehrmeister.²⁸ Das Gewölbe der Ab-

²⁶ Zu Lehrbögen und Schalungen allgemein siehe: Holzer, Stefan: *Gerüste und Hilfskonstruktionen im historischen Baubetrieb: Geheimnisse der Bautechnikgeschichte* (Edition Bautechnikgeschichte). Berlin 2021, S. 85–95.

²⁷ Hotz, Joachim: *Kloster Banz* (Historischer Verein Bamberg, Beih. 30). Bamberg 1993, S. 63–73.

²⁸ Wiesneth, Alexander: *Gewölbekonstruktionen Balthasar Neumanns* (Kunstwissenschaftliche Studien, Bd. 167). Berlin 2011, S. 40.

teikirche Banz hat viele Gemeinsamkeiten mit dem Gewölbe von Vierzehnheiligen und kann unschwer als ein Vorbild eingeordnet werden (Abb. 6 links). Das aus Backstein mit Extradosrippen errichtete Gewölbe der Abteikirche besteht aus einer Reihe von flachen Gewölbeflächen, die durch Paare von doppelt gekrümmten Bögen voneinander getrennt sind. Die Gewölbeflächen basieren im Grundriss auf Ovalen aus zwei oder drei verschiedenen Radien. Querschnitte und radiale Schnitte durch die Gewölbeflächen ergeben Kreisbögen, Längsschnitte ergeben Korbbögen. Auch hier können die räumlich gekrümmten Kanten der Bögen über die Verschneidung horizontaler und vertikaler Zylindermäntel definiert werden. Bei der Projektion der Bogenkanten auf die horizontale Ebene ergeben sich einfache Kreissegmente, bei der Projektion auf eine vertikale Ebene Korbbögen, wie bereits Alexander Wiesneth gezeigt hat.²⁹ Die geometrische Konzeption des Gewölbes der Abteikirche Banz beruht also, genau wie die des Gewölbes der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen, gänzlich auf der Verwendung von Kreis- und Korbbögen.³⁰

Ein weiteres Vergleichsobjekt ist die von Neumann entworfene und 1732–1743 errichtete Hofkirche im südwestlichen Eck der Würzburger Residenz. Das Gewölbe dieser kurz nach dem Baubeginn in Vierzehnheiligen fertig gestellten, deutlich kleineren Kirche zeigt in seiner Konzeption ebenfalls große Ähnlichkeiten mit dem der Wallfahrtskirche (Abb. 6 Mitte). Es ist aus Backstein mit verstärkenden Rippen auf dem Extrados konstruiert. Drei konkave Gewölbeflächen reihen sich, getrennt von Paaren doppelt gekrümmter Bögen, aneinander. Die Grundrisse dieser drei Gewölbefelder werden durch quer und längs ausgerichtete Ovale mit jeweils zwei verschiedenen Radien gebildet. Die vertikalen Schnitte durch die Gewölbeflächen quer und radial zum Grundriss zeigen gestelzte Kreisbögen, die Längsschnitte sind Kreis- oder Korbbögen. Die doppelt gekrümmten Bögen lassen sich auch hier ausgehend von ihren Kanten beschreiben. In ihren Projektionen auf eine vertikale Ebene beruhen die äußeren Kanten auf Korbbögen und die inneren Kanten auf einfachen Kreisbögen. Die Projektionen auf die horizontale Ebene des Grundrisses zeigen Kreisbögen. Auch die geometrische Konzeption des Gewölbes der Hofkirche beruht somit auf – teilweise gestelzten – Kreis- und Korbbögen.

Der Vergleich zwischen den beiden früheren Gewölbeentwürfen der Abteikirche Banz und der Würzburger Hofkirche mit der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen (Abb. 6 rechts) macht deutlich, dass die Gewölbe dieser drei, in einer Zeitspanne von 62 Jahren errichteten Kirchen sich auf die gleiche Weise geometrisch definieren lassen: über Kreisbögen mit einem oder Korbbögen mit mehreren Radien. Andere Formen und Körper sind an keiner Stelle

²⁹ Wiesneth schlägt eine Rekonstruktion der Lehrbögen für die doppelt gekrümmten Bögen der Abteikirche Banz vor. Demzufolge hätten die Kanten der Bögen durch Abloten der verschiedenen Radien der Korbbögen auf eine hölzerne Korbbogentonne festgelegt werden können: Wiesneth 2011 (Anm. 28), S. 46.

³⁰ Ausführlich dazu: Schmitt, Rebecca Erika; Wendland, David: *The geometric design of the »Guarinesque« vaults in Banz and Vierzehnheiligen in relation to the treatises of stereotomy*. In: Mateus, João Mascarenhas; Pires, Ana Paula (Hg.): *History of Construction Cultures. Proceedings of the 7th International Congress on Construction History (7ICCH 2021), July 12–16, 2021, Lisbon, Portugal, Bd. 2*. Boca Raton 2021, S. 371–378.



Abb. 6 Isometrische Aufsicht der Scans der Gewölbeinnenflächen der Abteikirche Banz (links), Hofkirche Würzburg (Mitte) und Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen (rechts)

nötig. Die Unterschiede zwischen den Kirchen, zum Beispiel die Stelzungen der Gewölbe der Hofkirche und die Formenvielfalt der Gewölbebereiche von Vierzehnheiligen, lassen die Gemeinsamkeiten noch deutlicher werden. Was die doppelt gekrümmten Bögen angeht, so ist eine Entwicklung zu höherer Komplexität zu sehen. Bei Abteikirche und Hofkirche werden für die Projektionen noch teilweise einfache Kreisbögen verwendet, bei der Wallfahrtskirche kommen nur noch Korbbögen zum Einsatz. Die zentrale Bedeutung von Kreisbögen im Entwurfsprozess lässt sich auch an den historischen Bauplänen der Architekten ablesen, auf denen die Einstichlöcher der Zirkel gut sichtbar sind.³¹

Der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen und vor allem auch ihrem Gewölbe wird im Werk Balthasar Neumanns oft eine Sonderstellung zugesprochen. Dies beruht auf dem langen und komplizierten Entwurfsprozess, der posthumen Vollendung durch Nisler sowie der Konstruktion des Gewölbes.³² Während fast alle übrigen von Neumann geplanten Gewölbe ganz aus Backstein errichtet sind, ist dies bei den Gewölbefeldern über dem Hauptschiff von Vierzehnheiligen nur in den unteren Gewölbebereichen der Fall, wohingegen die darüberliegenden Bereiche aus dem leichteren Kalktuff gemauert sind. Der Diskussion um den Anteil Neumanns³³ am Gewölbeentwurf Vierzehnheiligens soll an dieser Stelle nur hinzugefügt werden, dass beim mittleren Gewölbefeld zum einen der Übergang zwischen Backsteinkonstruktion

³¹ Ruderich 2000 (Anm. 1), S. 51–158; Wiesneth 2011 (Anm. 28), S. 41–42; Bartsch, Werner: *Klosterkirche Banz: Ein Beitrag zur Planungsgeschichte*. In: Bericht des Historischen Vereins für die Pflege der Geschichte des ehemaligen Fürstbistums Bamberg 143 (2006), S. 485–495.

³² Ruderich 2000 (Anm. 1), S. 192–202; Wiesneth 2011 (Anm. 28), S. 162–168.

³³ Ruderich bezeichnet die Gewölbeform als »Schöpfung Neumanns«: Ruderich 2000 (Anm. 1), S. 201; A. Wiesneth schätzt den Einfluss Neumanns in Hinblick auf die Bautechnik geringer ein: Wiesneth 2011 (Anm. 28), S. 168.

und Kalktuffsteinmauerwerk auf einer Höhe von 5,73 Metern über dem Anfängergesims und damit bei einer Fugenneigung von circa 30 Grad liegt (Abb. 2, Schnitt D–D). Somit lässt sich der Materialwechsel im Kontext traditioneller Konstruktionsprinzipien von Gewölben auch als strukturell motivierte Entscheidung interpretieren.³⁴ Zum anderen zeigt die Form der Gewölbefläche, wie sich anhand des Scans feststellen lässt, an diesem Wechsel in der Konstruktion nirgendwo eine Diskontinuität. Daher ist anzunehmen, dass bei der Fertigstellung des Gewölbes keine wesentlichen Änderungen an Neumanns Entwurf vorgenommen wurden. Für den Gesichtspunkt der geometrischen Konzeption ist nur ausschlaggebend, dass die geometrische Definition über die Gewölbeinnenfläche hinweg homogen ist und die Formgebung beim Weiterbau nach Neumanns Tod nicht entscheidend verändert wurde, unabhängig von der Frage, welcher Architekt den letztendlich verwendeten Ausführungsplan zeichnete. Aus dieser Perspektive des ausgeführten Bauwerks gibt es also keinen Anhaltspunkt für einen Wechsel der Bauidee.

Neuzeitliche Gewölbekonzeption in Traktaten und Baupraxis

An dieser Stelle lohnt es, die Gewölbekonzeption der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen in den Kontext der Stereotomie und Architekturtraktate im 18. Jahrhundert einzuordnen. Stereotomie ist die Lehre des Steinschnitts und der Planung geometrisch komplexer Werksteinstrukturen. In der Frühen Neuzeit waren Architekturtraktate, die sich mit Geometrie beschäftigen, weit verbreitet. Besonders einflussreich war eine Gruppe französischer Traktate, beginnend mit *Le premier tome de l'architecture* (1567) von Philibert de l'Orme.³⁵ Diese Bücher boten Baumeistern und ausführenden Handwerkern praktische Anleitungen zur Bauausführung und vor allem zum Werksteinschnitt.³⁶ Eine Entwurfsübung, die in diesen Traktaten verbreitet ist, zeigt den sogenannten ›tour ronde‹³⁷: eine Bogenöffnung für eine Tür, die in einen runden Turm eingeschnitten ist (Abb. 7 links). Der Türsturz ist dadurch in zwei Richtungen gebogen. Im Traktat ist detailliert beschrieben, wie der genaue Verlauf des Bogens in der Werkzeichnung konstruiert werden kann. Jeder einzelne Punkt ist extrahierbar, zum Beispiel für Fugenschnitt, geometrische Kontrolle, Schalungsbau etc. Dieses Prinzip

³⁴ Wendland, David: *Geometrische Konzeption und Tragwerksplanung: Gedanken zur mechanischen Theorie der spätgotischen Gewölbe*. In: ders.: *Steinerne Ranken, wunderbare Maschinen: Entwurf und Planung spätgotischer Gewölbe und ihrer Einzelteile*. Petersberg 2019, S. 244–245. Wir konnten bisher lediglich an der bezeichneten Stelle die exakte Position des konstruktiven Details im Zusammenhang mit der Gewölbegeometrie feststellen.

³⁵ de l'Orme, Philibert: *Le premier tome de l'architecture*. Paris 1567. Die meisten späteren Traktate der Stereotomie nehmen explizit auf dieses Traktat, das in mehreren Auflagen kursierte, Bezug.

³⁶ Müller, Werner: *The Authenticity of Guarini's Stereotomy in His »Architettura Civile«*. In: *Journal of the Society of Architectural Historians* 27 (1968), H. 3, S. 202–208.

³⁷ Wendland, David: *Konzepte und Repertoire in der Architektur der Albrechtsburg: Reise durch Raum und Zeit*. In: ders.: *Steinerne Ranken, wunderbare Maschinen: Entwurf und Planung spätgotischer Gewölbe und ihrer Einzelteile*. Petersberg 2019, S. 46–55.

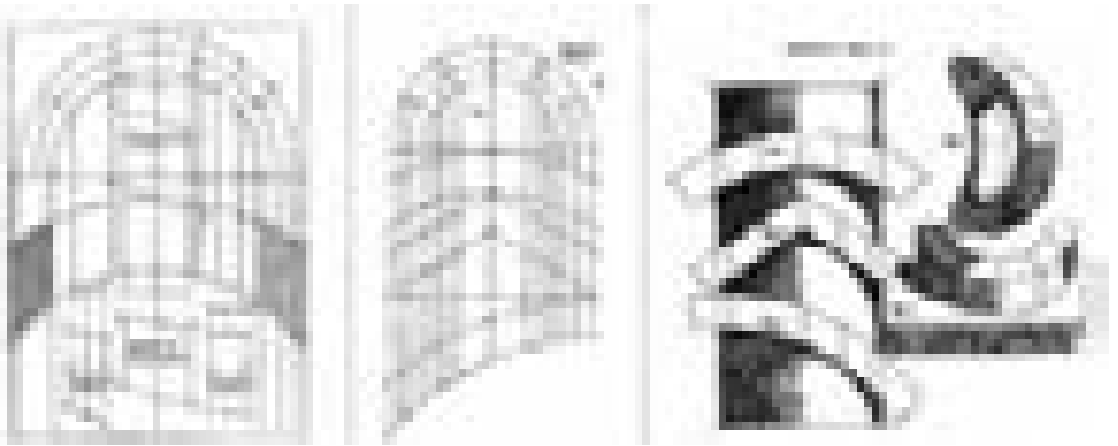


Abb. 7 Doppelt gekrümmte Bögen in neuzeitlichen Architekturtraktaten: de l'Orme, Philibert: *Le premier tome de l'architecture*, Paris 1567, fol. 77 r. (links); Guarini, *Guarino: Architettura civile*, Turin 1737, Traktat IV, Tafel II Fig. 1 und Tafel III Fig. 1,2,4,5,7 (Mitte und rechts)

eines mithilfe von Projektionen definierten doppelt gekrümmten Bogens gehörte in der Neuzeit zum Planungsstandard und konnte in diesen und anderen Traktaten nachgeschlagen werden. Die Idee der räumlich gekrümmten Kurve stammt aber nicht von de l'Orme, sondern geht wiederum auf die mittelalterliche Planungspraxis zurück. Auch das Konzept der Definition der Gewölbeflächen über einzelne Kreisbögen erinnert stark an die Gewölbe der Gotik, wo die Rippen definiert sind und die Gewölbeflächen zwischen diese gelegt werden. Diese Entwurfsprinzipien waren den neuzeitlichen Bauhandwerkern präsent und wurden von Architekten wie Neumann kreativ interpretiert, etwa durch den Maßstabsprung von der Türöffnung zum Gewölbebogen.

Guarino Guarini war Theatiner, widmete sich der Architektur und Mathematik und schrieb mehrere Bücher über Geometrie. In seiner Abhandlung *Architettura Civile*, die 1737 im Ganzen veröffentlicht wurde, aber in Teilen zuvor schon weit verbreitet war, werden doppelt gekrümmte Bögen im Kapitel über die Projektionen und Verschneidungen zylindrischer Flächen im vierten Traktat beschrieben (Abb. 7 Mitte, rechts).³⁸ Die Illustrationen, wie auch die Methoden, erinnern dabei deutlich an die de l'Ormes.³⁹ Im zugehörigen Text beschreibt Guarini die Berechnung von Flächen und Volumen dieser Formen. Diese theoretischen Überlegungen lassen sich schwer implementieren und sind auf der Baustelle nicht hilfreich. Guarinis Traktat war für die praktische Entwurfsplanung daher nicht nötig, hierfür standen das Traktat de l'Ormes oder andere kursierende Traktate

³⁸ Guarini 1737 (Anm. 19).

³⁹ Calvo-López, José: *Stereotomy. Stone Construction and Geometry in Western Europe 1200–1900* (Mathematics and the Built Environment). Cham 2020, S. 96–100.

zur Verfügung.⁴⁰ Doch dadurch, dass sie in einem geometrischen Traktat von einem bekannten Mathematiker-Architekten veröffentlicht wurden, bekamen Konzepte wie die doppelt gekrümmten Bögen einen wissenschaftlichen Anstrich und weckten das Interesse der gut ausgebildeten Architekten und Baumeister. Zudem wurden die theoretischen Kapitel Guarinis zusammen mit Stichen seiner berühmten Kirchen veröffentlicht. Die Architektur dieser Bauwerke erweckt den Eindruck, als bestünden sie aus komplexen, sich verschneidenden Formen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass *Architettura Civile* zumindest für die Formensprache der Gewölbe eine wichtige Inspirationsquelle ist. Neumanns Gewölbe sollen ebenfalls so aussehen, also würden sie aus verschiedenen, sich verschneidenden komplexen Geometrien bestehen. Deutliche Hinweise auf diese vom Architekten gewünschte Wirkung des Gewölbes geben die Bauzeichnungen Neumanns für die Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen, aber auch die überlieferten Zeichnungen der Vergleichsbauten.⁴¹ Die Pläne zeigen im Vergleich zu den ausgeführten Gewölben viel steilere Scheitellinien, doppelt gekrümmte Bögen sind teilweise mit überzeichneten S-Kurven dargestellt. Die geometrischen Formen sind überhöht und dadurch besser lesbar. Es war Neumann also wichtig, eine Idee des geplanten Gewölbes mit ausdrucksstarken, plastischen geometrischen Formen zu vermitteln, entsprechend einer Formensprache geometrischer Körper wie bei Guarini – auch wenn diese Ideen in den ausgeführten Bauten etwas abgeschwächt wurden und die geometrische Konzeption auf einfachen Methoden aus französischen Traktaten und überlieferten Baupraktiken beruhte.

Fazit

Das von Balthasar Neumann entworfene Gewölbe der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen suggeriert eine Architektur aus geometrischen Körpern wie Kugelkalotten, Rotationsflächen und aufwendigen Verschneidungsformen. Die Frage, welche geometrische Konzeption dem Gewölbe tatsächlich zugrunde liegt, kann durch die Geometrieanalyse des Laserscans mittels Reverse Geometric Engineering auf einer neuen Grundlage betrachtet werden. Damit kann auch die Diskussion über die Interpretation des Gewölbeentwurfs in der Kunst- und Architekturgeschichte auf einer faktischen Grundlage geführt werden. Die Analyse lässt erkennen, dass die geometrische Konzeption der einzelnen Gewölberegionen lediglich auf zweidimensionalen Bögen und Korbbögen beruht und die Flächen des Gewölbes durch einfaches Überbrücken zwischen diesen Kurven gebildet sind. Die doppelt gekrümmten Bögen sind über ihre räumlichen Kurven definiert. Alle Kurven des Gewölbes lassen sich mit einfachen Methoden, die in den Traktaten der Stereotomie beschrieben und seit dem Spätmittelalter verbreitet waren, in der Werkzeichnung konstruieren. Die Gewölbe der Vergleichsobjek-

⁴⁰ Müller 2002 (Anm. 22), S. 80–94.

⁴¹ Vgl. Schmitt/Wendland 2021 (Anm. 30).

te Abteikirche Banz und Hofkirche der Residenz Würzburg lassen sich nach den gleichen Grundsätzen geometrisch definieren.

Bei der geometrischen Konstruktion der räumlich gekrümmten Bogenkanten ist die in den Traktaten beschriebene Standardübung der ›tour ronde‹ mit der ebenfalls in der damaligen Planungspraxis fest etablierten Verwendung von Korbbögen kombiniert. Es handelt sich somit keineswegs um ein besonderes Problem, das außergewöhnlicher Lösungen bedurft hätte. Außergewöhnlich ist lediglich diese Kombination sowie die Verwendung der Bögen zwischen den Gewölbeflächen. Mit der Umsetzung waren gut ausgebildeten Baumeister und Architekten wie Balthasar Neumann und seine Mitarbeiter bestens vertraut. Das Architekturtraktat *Architettura Civile* des in der wissenschaftlichen Literatur immer wieder erwähnten Guarino Guarini war somit keineswegs als Anleitung für die Planung und Realisierung vonnöten. Es kann lediglich als Motiv und Inspirationsquelle für Neumann gedient haben. Dieser imitierte die dort beschriebenen räumlich gekrümmten Kurven mit den ihm zur Verfügung stehenden herkömmlichen Methoden. Für Planung, Entwurf und Ausführung der kompliziert wirkenden Gewölbe von Vierzehnheiligen sowie der Vergleichsbauten waren die theoretischen Beschreibungen Guarinis weder notwendig noch sehr hilfreich. Die Bezeichnung ›guarinesk‹ beschreibt also den Raumeindruck des Gewölbes, nicht dessen Entwurfskonzeption und Bautechnik.

Danksagung

Der vorliegende Text ist Teil des Promotionsvorhabens von Rebecca Erika Schmitt mit dem Titel ›Gewölbearchitektur im Umfeld der Dientzenhofer im Kontext von angewandter Geometrie und Stereotomie‹, das am DFG-Graduiertenkolleg 1913 ›Kulturelle und technische Werte historischer Bauten‹ der BTU Cottbus-Senftenberg durchgeführt wird.

Wir bedanken uns für die freundliche Unterstützung der Verantwortlichen der drei im Text erwähnten Kirchen, die uns den Zugang zu den Gebäuden inklusive der Dächer ermöglicht haben. Für die Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen danken wir Pater Dietmar Brüggemann, Mesner Tobias Hartmann und Monica Dierauf vom Staatlichen Bauamt Bamberg. Für die Abteikirche Banz bedanken wir uns bei Pfarrvikar Christian Montag und der Mesnerin Anita Gottschlich. Für die Hofkirche der Residenz Würzburg gilt unser Dank den Mitarbeitern der Bayerischen Schlösserverwaltung, Dr. Susanne Hoppe, Dr.-Ing. Alexander Wiesneth, Sabine Vogt und Katharina Messerer. Wir danken auch unserem Kollegen Jonas Lengenfeld für die Unterstützung bei den Untersuchungen.