

Einige Überlegungen zu dem Verhältnis von Arithmetik und Geometrie in den Entwurfspragmatiken des gotischen Steinmetz-Gliederbaus

Das Bauwissen konfiguriert sich aus vielerlei Expertise theoretischer, strategischer, ökonomischer, planerischer, bildnerischer, konstruktiver und konservatorischer Natur. Lediglich von einer dieser Expertisen soll heute die Rede sein: von der Kompetenz, Architektur durch zeichnerisch basierte Werkplanung baubar und für den Rezipienten erschließbar zu machen. Die überbordende theoretische Literatur zur Architek-

turzeichnung lasse ich beiseite, weil es mir weder um gattungsgeschichtliche, noch um bildwissenschaftliche, noch um Sachverhalte des Zeichenstils geht. Was hier interessiert, ist die Rolle der Werkplanung als initiatives und regulatives Instrument des Steinmetz-Gliederbaus, dessen Gelingen auf der expliziten Anwendung spezialisierten Handlungswissens beruht.

Messen und Konstruieren

Es ist keine originelle Idee, ein Nachdenken über Werkplanung mit Vitruv zu beginnen, doch im gegebenen Fall scheint mir dieser Rekurs unausweichlich: „*in architectura haec duo insunt: quod significatur et quod significat*“ lautet es in den Eingangszeilen seiner zehn Bücher.¹ Wenn aber der Architektur zweierlei innewohnt – etwas, das angezeigt wird, und etwas, das anzeigt – dann entfalten und erschließen sich beim Entwickeln von Architektur und beim Wahrnehmen dessen, was sich an ihr zeigt, kausale Relationen, wie sie der aristotelischen Denktradition gemäß vor allem die Gegenstände der Wissenschaft charakterisieren.²

Die Fähigkeit, einprägsame Zeichen zu setzen, verlangt Vitruv neben der Koordination von *ingenium* und *disciplina* und als deren Nach-

weis dem Architekten unbedingt ab. Er muss hierfür des Zeichnens – der „*peritus graphidos*“ – kundig sein.³ Das Erdenken der architektonischen Gestalt und der Akt des Zeichensetzens fallen somit in der Tätigkeit des zeichnerischen Entwurfes zusammen. So verstand es die Disziplinlehre der Vitruvianer, und so drückte es

¹ Vitruv: De architectura libri decem. Edidit et annotavit Curt Fensterbusch. 4. Auflage Darmstadt 1987, Liber primus, Kap. I.3.

² Zu den nachfolgenden Erwägungen regte mich Werner Oechslin im Zusammenhang seines Nachdenkens über die Bedeutung der Zeichnung bei Borromini an, das er im Rahmen des Borromini-Kolloquiums vom 30. Juni–1. Juli 2019 in Einsiedeln darlegte.

³ Vitruv: De architectura libri decem, Liber primus, Kap. I.4.

auch Dürer 1525 in seiner „Unterweisung der Messung“ aus: „*Auff das die unsichtig Lini durch den geraden ryß im gemüt verstanden werd Dann durch solche weyß muß der innerlich verstand im eussern werck angetzeigt werden.*“⁴

In der formgebenden Entwurfszeichnung verbinden sich also – so Dürer – Sinnzeichen mit der abstrakten Vorstellung, damit Letztere den Sinnen empfänglich wird. Die Zeichnung ist demnach ein Medium des Nachweises von und der Anleitung zu Gedankenarbeit, dessen kommunikative Qualität der Zeichensetzung geschuldet ist.

Zu all dem werden die Planer der Moderne später einmal lapidarer Position beziehen: Wer bauen will, benötigt Festlegungen sowohl über die zu erzielenden Dimensionen des Gebäudes in Relation zum Bauprogramm als auch über das Verhältnis aller Bauteile zueinander in Hinblick auf Größe, Lokalisierung, ästhetische Gewichtung, funktionale Kausalität, Elementierung und Gruppierung.

Für eine prüffähige Anwendung von Dimensionierungs- und Proportionierungssystematiken führt man gute Gründe an: man redet vom Bedürfnis nach diagrammatischer Klarheit, konstruktiver Determinierung und Normierung, Korrektheit im Sinne der Kunstlehre, formalstilistischer Kohärenz und ikonologischer Verweiskraft der Zahl- und Formwerte.

Geht es demnach bei der Architektur weiterhin um das Herstellen von Ordnung durch Form und/oder das Herstellen von Form durch Ordnung, dann findet die der Formgebung inhärente Ordnungssuche primär in der Zeichnung statt. Man sucht im und mit dem Zeichnen nach Gewissheit und Methode, bedient sich ihrer als verlässliches Verfahren, denn das Zeichnen basiert auf Messvorgängen, die im Prozess der diversen Planungs- und Ausführungsphasen reproduzierbar sein müssen, das heißt, sie bedürfen einer axiomatischen, zweifelsfreien Plausibilität, wie sie durch Messwerte gewährleistet werden kann, die durch Zählen oder durch Konstruieren ermittelt werden – im einen Fall unter Anleitung der Arithmetik, im anderen unter derjenigen der Geometrie. Vitruv benennt

deshalb die konkreten Hilfsmittel des Lineals (Messen von Zahlenwerten) und des Zirkels (Messen durch Figuration), als das Zeichnen von Gebäuden erleichternde, zu verlässlichen Formen (*descriptions normarumque*) führende Hilfsmittel.⁵ Bezogen auf Vitruvs Unterscheidung zwischen solchen Sachverhalten, die in der Architektur angezeigt werden, und solchen, die jene anzeigen, haben die verlässlichen Formen als das gegenständlich Angezeigte zu gelten, die Ordnung und Autorisierung der Formen durch Messen und Konstruieren hingegen als das anzeigende Verfahren.

Die wissenschaftliche Verankerung dieser Verfahren war im Mittelalter gewährleistet durch die Präsenz von Arithmetik und Geometrie im Fächerkanon der *septem artes liberales*. Sie bilden dort zusammen mit Astronomie und Musik, in denen sie angewandt werden, das Quadrivium der am Zahlendenken orientierten Fächer.

Zahlen sind Stellen in einer elementaren Zählstruktur, für die der Begriff der Reihenfolge konstituierend ist. Dem Umgang mit Zahlen liegt folglich ein additives Momentum inne, das den Gegenstand durch Vervielfachung von Einheiten formt. Dies legte in der Architektur die Bemaßung der Entwürfe durch definierte Fußmaße nahe. Jene sind an den gebauten Strukturen vielerorts nachweisbar. Folgte die mittelalterliche Zahlentheorie einer pythagoräischen oder platonischen Denktradition, dann galten ihr die Zahlen als höhere Kräfte, welche die Dinge formten und ihnen Existenz und Eigenschaften gaben. Zahlen waren in dieser Auffassung nicht Abstraktionen von Mengen oder Größen, sondern letztere wurden durch die bedeutunggebende Wirkung der Zahlen konstituiert. Folgte man hingegen der Zahlenontologie in der Physik und Metaphysik des Aristoteles, dann lagen die Zahlenwerte in den Dingen selbst. Ihre Kraft, Materie zu Dingen zu formen, verloren sie dadurch nicht, doch der Geist war

⁴ Dürer 1525, fol. A ii recto.

⁵ Vitruv: De architectura libri decem, Liber primus, Kap. I.4.

angehalten, sie in den Dingen aufzusuchen und zu Begriffen zu abstrahieren. Wie man es in dieser Frage auch hielt, Arithmetik beinhaltete unabdingbar die Vorgänge des Zählens und war insofern Ergebnis sequentieller Aktivität.

Die Geometrie lag in Form des von Euklid verfassten Buches über die Elemente vor, dessen Sätze heute noch Mittelstufenstoff des Mathematikunterrichtes sind.⁶ Geometrie zählt nicht, sie konstruiert. Die Derivate dieser Konstruktionen waren in gotischer Zeit beispielsweise als Maßwerkfigurationen gattungsübergreifend gegenwärtig. Allerdings sagt dies noch wenig über die Rolle der Geometrie bei der Dimensionierung und Proportionierung baulicher Großstrukturen.

Das fast vollständige Fehlen maßstäblicher Werkzeichnungen⁷ im Zusammenhang mit mittelalterlicher Architektur vor etwa 1250 kontrastiert mit der Unabdingbarkeit, mit der Vitruv den zeichnerischen Entwurf für die Ordnung der architektonischen Dinge postuliert. Die gotisch geprägten Jahrhunderte sahen dann freilich den Wettstreit von Architektursystemen, deren Komplexität zeichnerischer Vorausplanung als eines Form und Dimension sichernden Verfahrens zwingend bedurfte. In diesem Feld – dies soll zunächst gezeigt werden – interagierten Geometrie und Arithmetik als normative Pragmatiken, die Nachvollziehbarkeit und Baubarkeit des Formentwurfes auch der Gesamtproportionen eines Gebäudes gemeinsam gewährleisteten. An der Frage der Art und Weise dieser Interaktion spalten sich allerdings die Lager einer zweihundertjährigen Forschungsgeschichte an gotischen Planbeständen.

Nicht strittig ist die Koexistenz von Zahl und geometrischer Form beim Entwurf von Grundrissfiguren und Ornamentformen. Geht es jedoch um die Bemessung und Proportionierung komplexer Fassaden, Raumquerschnitte oder Wandaufrisse, dann stehen sich Arithmetiker und Geometriker kämpferisch gegenüber, zwei durchaus unterschiedliche Narrative für die axiomatische Begründung der großformatigen Anschauungsformen gotischer Architektursysteme propagierend. So extrahiert Robert Bork aus den großen Werkrisen des Spätmittelalters

die Omnipräsenz der geometrischen Verfahren, während Konrad Hecht ausschließlich numerische Vielfache von modularisierten Werkmaßen zu entdecken meint.⁸ Die Arithmetiker vermischen insbesondere auf den Fassadenrissen Spuren solcher Blindrillen, die von geometrischen Proportionsfiguren stammen könnten.⁹ Die Gründe für deren Fehlen sind allerdings obskur. Zutreffend scheint, dass die meisten großformatigen Schaurisse dieser Art der Präsentation und als Vertragsbasis für das zu beauftragende Gewerk dienten, wie es im 15. Jahrhundert vielfach belegt ist.¹⁰ Sie könnten also Übertragungskopien der eigentlichen Entwurfzeichnungen sein, die im Werkstattgebrauch aufgerieben wurden und nicht überdauerten.

Auf solchen Reinzeichnungen würde man die Relikte der Formfindung eher vergeblich suchen. Doch auch solche Risse, die eindeutig dem Entwickeln der Form dienten, zeigen nur sporadisch konstruktive Hilfslinien, aus denen sich veritable Proportionsfiguren ableiten lassen. Sie teilen diese Eigenschaft mit den Risszeichnungen der Werkplanung im Maßstab 1:1 auf Reißböden und auf Mauerwerksflächen, die provisorisch als Zeichenfläche genutzt wurden. Bork erklärt diesen Mangel an aussagefähigen Hinweisen auf den Zeichenprozess mit der Absicht, den Zeichnungsträger möglichst freizuhalten von solchen Elementen, welche die zu bauende Form verunklären.¹¹ Die Fährten der Geometrie-Anwendung könnten also verwischt sein. Dafür spricht, dass die Fassadenzeichnungen etliche system-

⁶ Euklid: Die Elemente. Buch I–XIII, nach Heibergs Text aus dem Griechischen übersetzt und herausgegeben von Clemens Thaer. 6. unveränderte Auflage, Darmstadt 1975.

⁷ Unter dem Begriff der Werkzeichnung verstehe ich mit Otto Kletzl „jene Architekturzeichnungen, welche für die Errichtung eines Baues notwendig sind, solcher Errichtung unmittelbar vorangehen oder sie begleiten müssen“ (Kletzl 1939, S. 5).

⁸ Hecht 1979; Bork 2011.

⁹ Zu dieser Problematik siehe Steinmann 2003, S. 47–49.

¹⁰ Beispiele bei Binding u.a. 1993, S. 173–179.

¹¹ Bork 2011, S. 18.

relevante Achsen und Niveaulinien aufweisen, die mit ganzzahligen Werten angenommener Modulketten allenfalls ungenau zusammengehen, weil sie mit natürlichen Zahlenwerten nicht ausdrückbar sind, wohl aber als Resultate geometrischen Konstruierens. So war etwa bereits die Diagonale eines Quadrates mit der Seitenlänge 1 mit ihrem Wert $\sqrt{2}$ von der Mathematik vor deren Theoretisierung im 19. Jahrhundert, die sich mit dem Etablieren der reellen Zahlen vollzog, nicht durch einen exakten Zahlenwert zu beziffern. Es gab demnach auch keine Zahlen, die das Verhältnis von Quadratseite und Quadratdiagonale ausdrückten. Seite und Diagonale waren arithmetisch inkommensurabel und nur näherungsweise zu bestimmen, hingegen war ihr Verhältnis geometrisch exakt zu konstruieren. Das gleiche Problem tritt bei zahlreichen kreisgeometrisch bestimmten Vielecken auf, die für gotische Formen konstitutiv sind.

Es ist daher kaum vorstellbar, dass die Planer für die großen Aufrissysteme auf solche geo-

metrischen Verfahren verzichteten, die für Grundrissbildungen, Maßwerke, Bekrönungen und den ungegenständlichen Baudekor selbstverständlich waren und im späten 15. Jahrhundert dann durch Hans Schmuttermayers und Matthäus Roritzers Anleitungen zur Konstruktion von Wimpergen und Fialen schriftlich fixiert und im Druck verbreitet wurden.¹² Wenn man im Gegenteil die Behauptung Abt Sugers ernstnimmt, der 1140 unter seiner Ägide gebaute, für die Entwicklung der Gotik programmatische Chor der Abteikirche von St-Denis sei mit geometrischen und arithmetischen Mitteln dem Altbau der Abteikirche angefügt worden,¹³ dann war Suger Förderer und aufmerksamer Zeuge einer Synthese geometrischer und numerischer Verfahren des Gebäudeentwurfes, die jüngere Generationen von Planern sicherlich nicht über Bord warfen. Dem Nachweis dieser integrativen Entwurfspragmatik dienen die folgenden Überlegungen.

Fensterproportionen

Maßwerkfenster sind zumeist wegen der passgenau vorzufertigenden Maßwerkelemente und der ihnen einzusetzenden, kostspieligen Farbverglasung, die exakte Maßabstimmungen mit dem Glaser erfordert, ziemlich maßgerecht ausgeführt. Sie sind deshalb geeignete Objekte des Rückschlusses von den Maßen des gebauten Bestandes auf jene des zeichnerischen Entwurfes.

Die Proportion von Maßwerkfenstern bemisst sich aus dem Verhältnis ihrer Höhe und Breite sowie aus der Lage des Kämpfers für den Fensterbogen. Die Pragmatik des Steinmetzgliederbaus definiert die Konstruktionsachsen der vertikalen Bauteile als Maßreferenzen, deshalb meint die Breite des Fensters nicht sein lichtetes Maß, sondern seine Konstruktionsbreite zwischen den Achsen der üblicherweise zur Hälfte in die Gewände eintauchenden Randstabprofile. Dieser Systematik folgend ist die Fensterhöhe

¹² Lon Shelby's Einführung in die Lehrbücher Schmuttermayers und Roritzers ist nach wie vor lesenswert (Shelby 1977). Jüngere Forschungen erörtern den systematischen und theoretischen Gehalt der Schriften. Weiterführend hierzu Strohmayer 2004. Beim Grundrissentwurf sind für alle zentralräumlichen Konstellationen geometrische Operationen unvermeidlich, doch auch Rechteckverhältnisse werden häufig geometrisch bestimmt. Bereits Vitruvs Ausführungen zu den Grundrissproportionen der römischen Atrien benennen neben zwei arithmetisch gewonnenen Dispositionen eine geometrische: „Die Länge und Breite der Atrien aber formt man nach dreierlei Art: Und bei der ersten Art verfährt man bei der Einteilung so, dass man die Länge in fünf Teile teilt und der Breite davon drei Teile gibt. Bei der zweiten Art teilt man die Länge in drei Teile und teilt der Breite zwei Teile zu. Bei der dritten Art verfährt man so: Über der Breite zeichnet man ein Quadrat und zieht in diesem Quadrat eine Diagonale, und so lang wie die Diagonale ist, so lang soll man das Atrium machen“ (Vitruv: De architectura libri decem, Liber sextus, Kap. III.3).

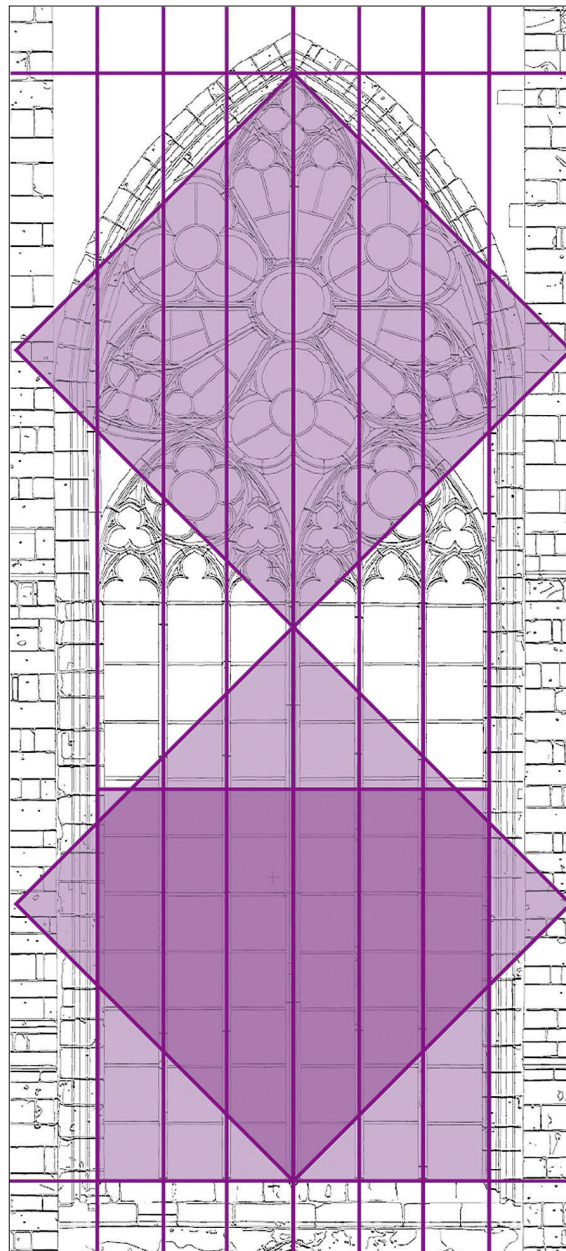
¹³ Suger von St-Denis 1995, S. 184.

durch den Abstand zwischen der Sohlbankoberkante und jenem Profilglied der Couronnement-Rahmung bestimmt, das die Achse der Randstäbe bis zum Fensterscheitel durchzieht und den Bogen schließt. Der Einfachheit halber präsentiere ich Fenster, die mit so genannten gleichseitigen Spitzbögen konstruiert sind, so dass man gleichseitige Dreiecke in die Bodenfelder einschreiben kann. Hier liegen die Radien des Fensterbogens in den Kämpferpunkten. Bei gestelzten Bögen liegt das konstruktiv relevante Kämpferniveau höher als das Kapitell, das ihn bauplastisch artikuliert.

Die Maßwerkfenster der ehemaligen Zisterzienserabteikirche Altenberg bei Köln (begonnen 1259) sind sowohl durch geometrische als auch arithmetische Operationen proportioniert.¹⁴ Die Höhe des großen Fensters in der Stirnwand des nördlichen Querhausflügels erhält man durch die Stapelung zweier auf ihre Spitzen gedrehter Quadrate, deren Seitenlänge der Fensterbreite entspricht (Abb. 1). Das in das Bogenfeld eingeschriebene gleichseitige Dreieck ist die Grundform für die Couronnementfüllung mit einem Dreistrahl. Seine Basislinie gibt zugleich das Kämpferniveau an.

Im Altenberger Chorobergaden finden sich Fenster, deren Kämpferhöhe der zweifachen Fensterbreite gleichkommt (Abb. 2). Nach Anlage rechter Winkel konnte der Entwerfer also das ganze Fenster einschließlich seiner Bekrönung aus gleichseitigen Spitzbögen durch drei Viertelkreisschläge mit dem Radius der Fensterbreite proportionieren, stattdessen aber auch seinen Maßstab anlegen. Diese Verfahren scheinen weit verbreitet gewesen zu sein. Auch an den schlanken Fenstern des Aachener Münsterturms sind die Kämpferhöhen als Vielfache der Fensterbreite festgelegt (Abb. 3).¹⁵

Die Fensterproportionen diverser mitteleuropäischer Fassadenrisse aus zwei Jahrhunderten demonstrieren das gleiche einfache Schema des Hantierens mit Zirkel und/oder Maßstab,¹⁶ wenn auch der zweifelsfreie Nachweis der gestapelten Fensterbreiten an den maßstäblich verkleinernden Zeichnungen etwas schwerer fällt als am Baubestand (Abb. 4). Bei der Pro-

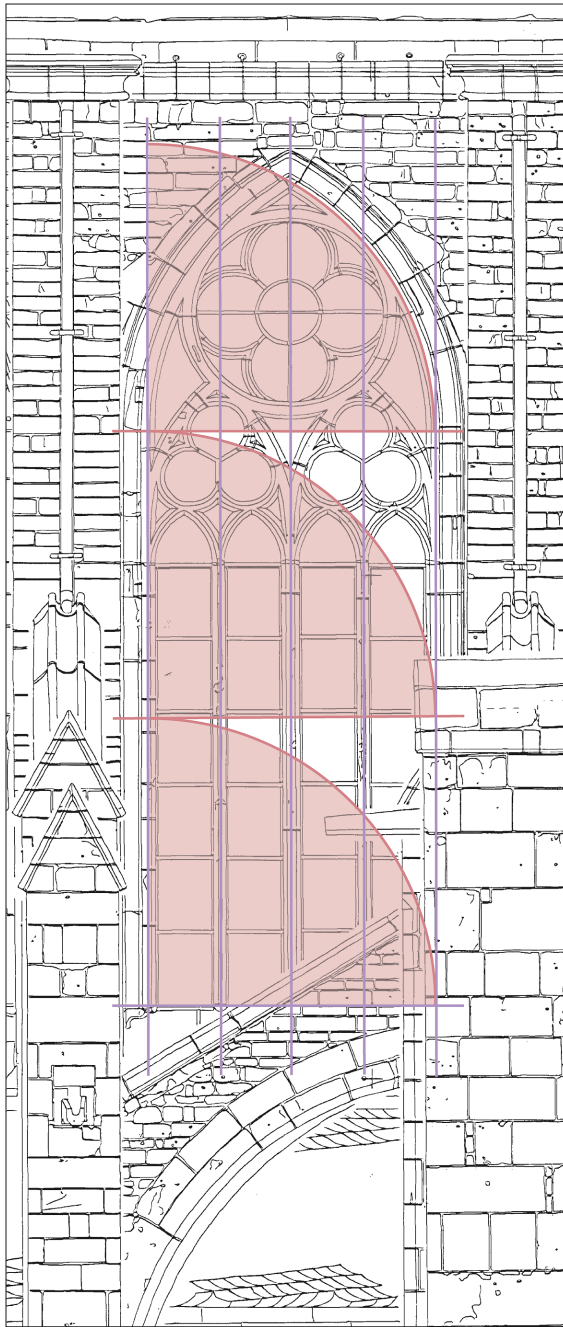


1 Altenberg, ehemalige Zisterzienserabteikirche, Maßwerkfenster der nördlichen Querhausfront. Proportionierung durch zwei auf die Spitze gestellte Quadrate.

¹⁴ Lepsky/Nußbaum 2012, S. 67–71.

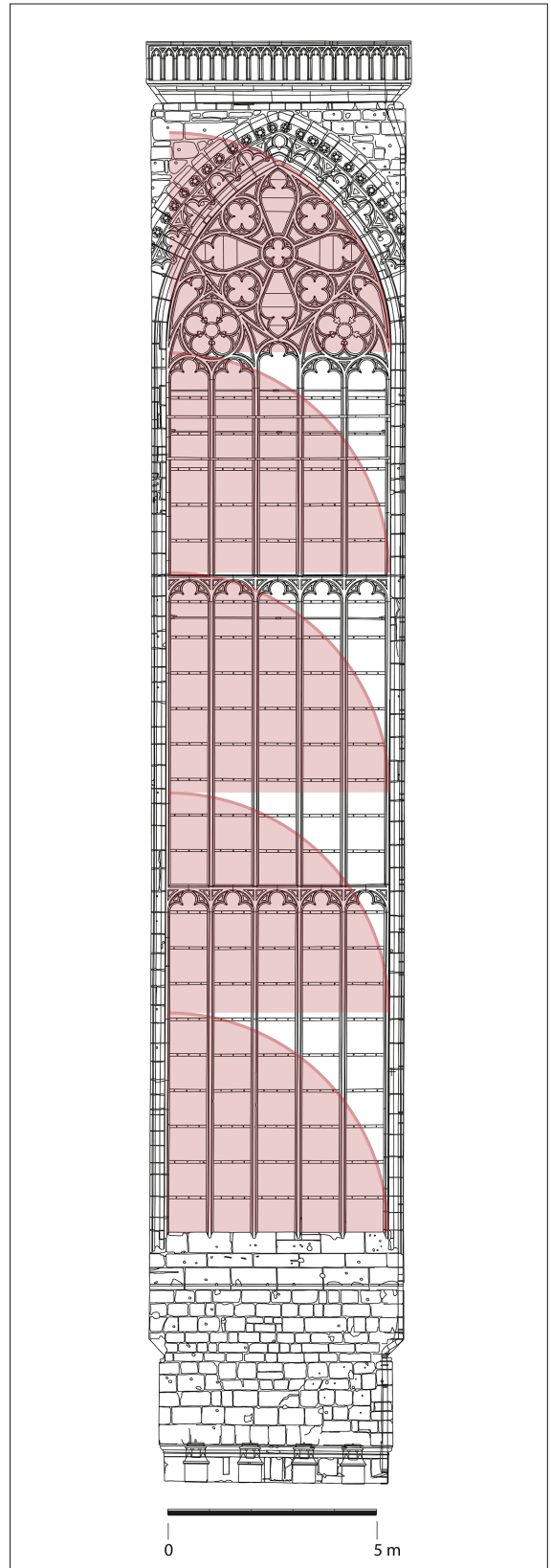
¹⁵ Bork/Nußbaum 2014, S. 40.

¹⁶ Köln, Dombauarchiv, Riss E (Erdgeschoss der Westtürme); Nürnberg, Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, HZ 3813 (Freiburger Münsterturm); Straßburg, Musée de l'Œuvre Notre-Dame, Plan D



2 Altenberg, ehemalige Zisterzienserabteikirche, Maßwerkfenster des nördlichen Chorbergadens. Proportionierung durch drei Zirkelschläge über die Konstruktionsbreite des Fensters.

3 Aachen, Münster, Fenster der gotischen Chorhalle. Proportionierung durch fünf Zirkelschläge über die Konstruktionsbreite des Fensters.





4 Riss E des Kölner Domes, Außenaufriß des unteren Turmgeschosses. Fensterproportionierung durch fünf Zirkelschläge über die Konstruktionsbreite des Fensters.

portionierung von Fenstern die Konstruktionsbreite des Fensters als erste Bezugsgröße zu nehmen, scheint sich demnach in räumlicher und zeitlicher Streuung einer gewissen Beliebtheit erfreut zu haben – unabhängig davon, ob die weiteren Entwurfsschritte der Detaillierung arithmetisch oder geometrisch gelenkt waren.

Entwurf und Ausführung

In vielen Fällen erweist sich, dass für die Ausführungsplanung die geometrischen Komponenten der maßstäblichen Entwurfszeichnung, deren Nachzeichnen im Maßstab 1:1 auf der Baustelle ganz impraktikabel war, durch Nachmessen der markantesten Strecken in der Zeichnung und durch deren Fixierung als Vielfache eines Werkfußes in ein arithmetisches Maßgefüge transformiert wurden. So würde etwa niemand erwarten, dass die beiden gestapelten Quadrate über der Breite des Altenberger Nordquerhaus-Fensters auf der Baustelle nachkonstruiert wurden. Nils Prak, Stephen Murray und Peter Kidson haben die Relevanz von Maßketten, die aus dem Modul eines Werkfußes generiert wurden, für die Kathedralen von Amiens, Beauvais und Salisbury nachgewiesen.¹⁷ Ein Kontrakt für den Palazzo Sansedoni in Siena veranschaulicht gar die Übertragung geometrisch konstruierter Fassadenproportionen in ein Zahlengefüge zwecks Handhabbarkeit auf der Baustelle.¹⁸ Das Erzielen harmonischer modularer Intervalle, wie sie etwa die Architektur der Renaissance aus der pythagoreischen Musiklehre ableitet, ist jedoch nicht der Sinn dieser Übertragung, sondern lediglich das Umsetzen der – weil geometrischen und deshalb vielfach irrationalen – Werte in ein Bezugssystem rationaler Streckenmaße, die lediglich Annäherungswerte an die geometrisch definierten Sollwerte bilden. Franklin Toker präziserte zu Recht, ein solches System sei nicht wirklich modular zu nennen, sondern „pseudo-modular“ wegen seiner pragmatischen Inkonsistenz.¹⁹ Wir können vermuten, dass es in

Der arithmetischen Hilfe für die Fenstergeometrie liegt ein Praxisbezug inne, denn komplexere geometrische Bezüge des Entwurfes ließen sich in der Bauausführung nur schwer nachkonstruieren. Sie wurden offenbar gern in arithmetischen Streckenbezügen ausgedrückt.

vielen gotischen Bauhütten für die Errichtung der baulichen Großstrukturen angewandt wurde.

Diente für jene die Geometrie neben der Arithmetik als Entwurfshilfe zum Proportionieren variantenreicher Formsyste-me, so erzeugten die auf dem Bauplatz die geometrischen Konstruktionen der Entwurfszeichnung substituierenden Modulketten gleichsam objektivierende Passpunkte für das eigentliche Bauen. Im schriftlosen Informationstransfer, wie er für die hochmittelalterlichen Bauhütten vorausgesetzt werden muss, produziert ein solches Bezugsverfahren an Stelle textlicher Fixierungen Sollwerte, welche die Proportionalität der Entwürfe für den Prozess der Bauausführung gewährleisten. Sie sind Spuren einer qualitätssichernden Rückbindung von Ausführungsplanung und handwerklichem Bauen an den formgebenden Entwurf. Das Bauwerk sollte demnach sowohl Spuren seiner Entwurfsgemetrien als auch Hinweise auf deren arithmetische Näherungswerte enthalten. Am Chor der Abteikirche Altenberg sind sie leicht aufzufinden.

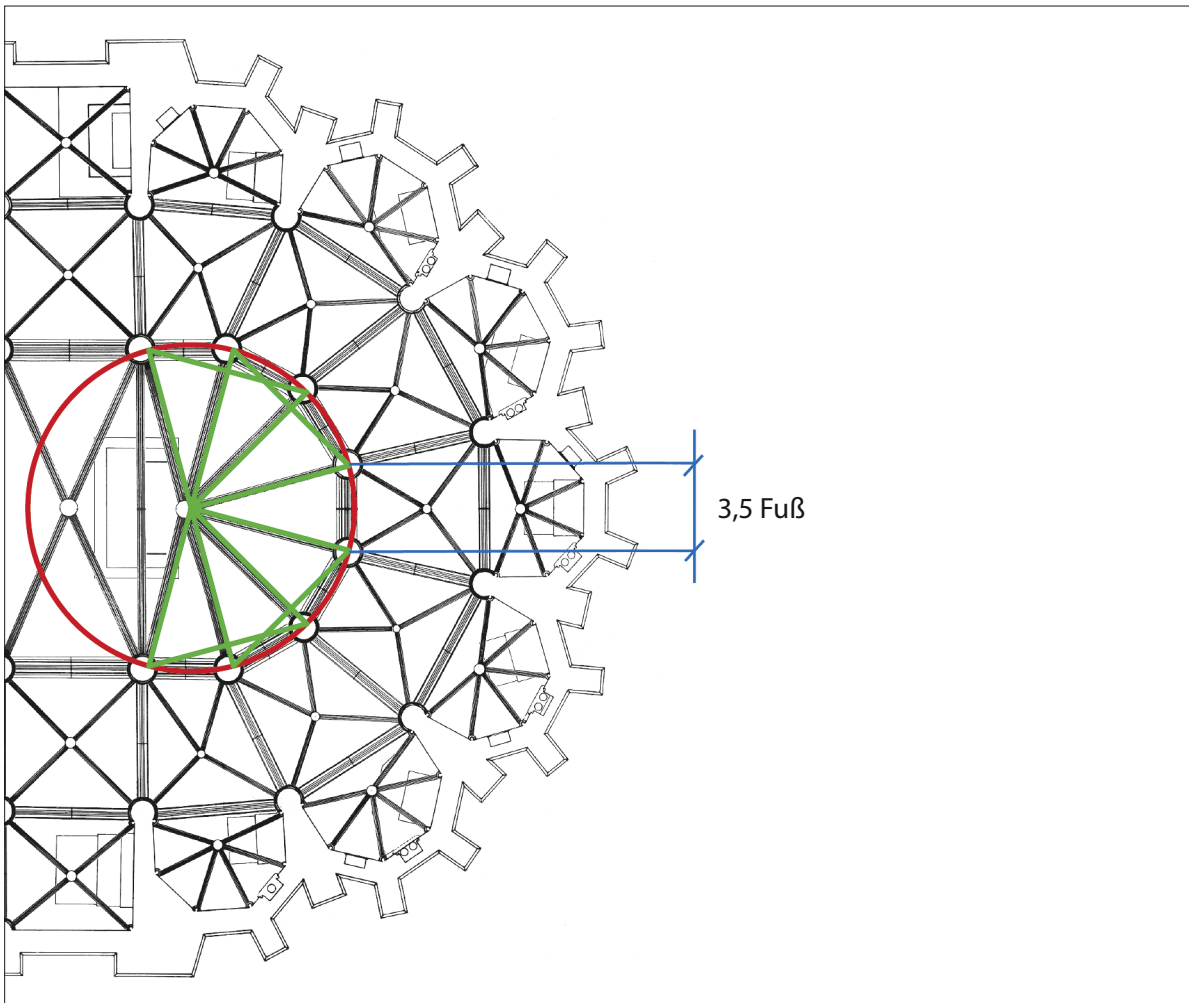
Das Altenberger Chorhaupt ist als $\frac{7}{12}$ -Schluss kreisgeometrisch durch Höhenfällung in einem Fächer gleichseitiger Dreiecke

(Innenfassade des Straßburger Münsters); Ulm, Stadtarchiv, Riss A des Ulmer Münstersturmes; Wien, Akademie der Bildenden Künste, Riss 16865 (Fragment zum Nordturm des Wiener Stephansdomes).

¹⁷ Prak 1966; Kidson 1993; Murray 2002.

¹⁸ Toker 1985.

¹⁹ Toker 1985, S. 83.



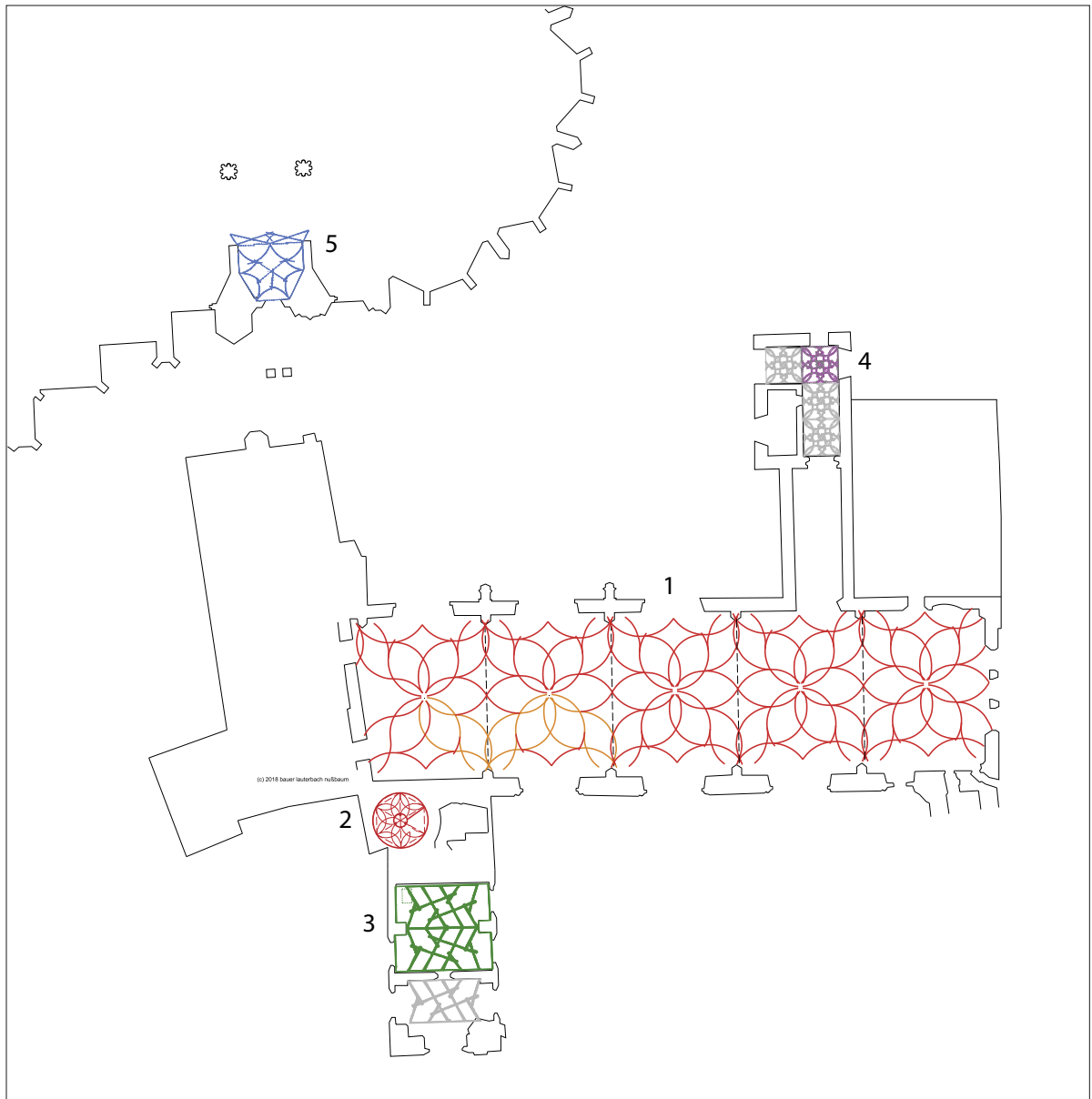
5 Altenberg, ehemalige Zisterzienserabteikirche, Chorgrundriss. Geometrische Konstruktion des Chorschlusses aus dem Zwölfeck und Ausführung der Pfeilerabstände als Streckenverhältnisse mit dem 3,5-fachen des Pfeilerdurchmessers.

konstruiert (Abb. 5). Ein Nachkonstruieren der Fächerfigur auf dem Bauplatz wäre zwar mithilfe eingepflockter Messeile möglich gewesen, wurde aber offenbar unterlassen, weil der gesamte Chorgrundriss durch ganzzahlige Verhältnisse eines Werkfußes von 33,2 cm definiert ist. Auch die Position der acht Chorhauptpfeiler wurde folglich durch Operationen mit dem Werkfuß auf der Kreislinie des Binnenchores bestimmt.²⁰

Der Pfeilerdurchmesser von 83 cm misst 2,5 Werkmoduln, die lichten Pfeilerabstände exakt das 2,5-fache der Pfeilerdurchmesser

(2,07–2,08 m), die Achsabstände der Pfeiler somit das 3,5-fache. Der Bezug der Interkolumnien zum Werkmodul blieb folglich erhalten. Er wurde lediglich durch den „Metamodul“ des Pfeilerdurchmessers erweitert. Die so festgelegten Pfeilerachsen bilden jedoch die geometrischen Verhältnisse des Zwölfecks nicht präzise ab, denn die Pfeilerabstände sind etwas zu weit – eine Differenz, die im gebauten Gefüge nicht weiter auffällt.

²⁰ Nußbaum 2003; Lepsky/Nußbaum 2005, S. 57.



6 Prag, Hradschin, Gewölbe Benedikt Rieds in der königlichen Burg und im Kapellenkranz des Veitsdomes. 1: Wladislawsaal; 2: Wendeltreppe; 3: Böhmisches Kanzlei; 4: Reiterstiege; 5: Wladislaw-Oratorium.

Arithmetik und Geometrie am Profil

Modulare Systeme entwickeln die größte Wirkung, wenn die Moduln nicht nur zu Strecken verkettet sind, sondern ein flächendeckendes Raster bilden. Christian Freigang hat dem Plan D des Kölner Domes, der einen Erdge-

schosswurf des südwestlichen Domturmes in Erdgeschosshöhe präsentiert, ein solches Schema nach Auswertung von Blindrillen mit überzeugenden Ergebnissen unterlegt, indem er aufzeigen konnte, dass sogar die Konturen der

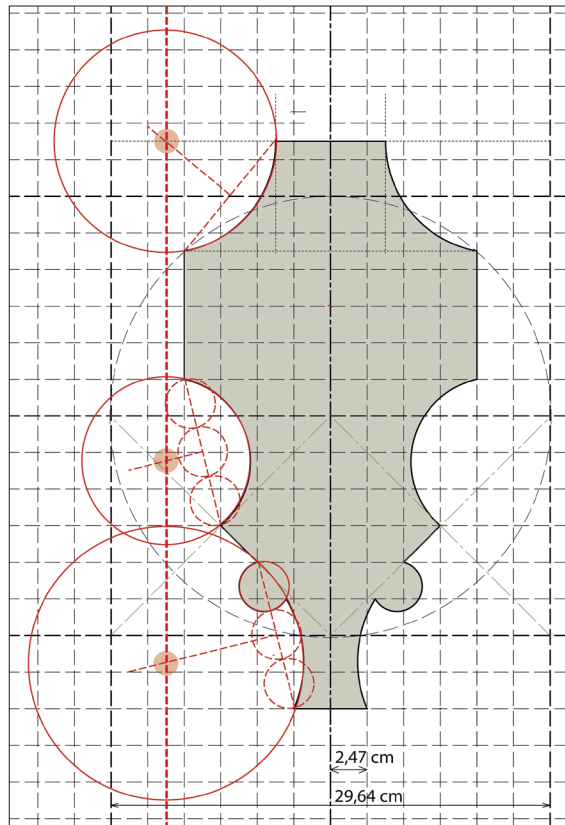


7 Prag, Hradschin, Wladislawsaal (Foto 2014).

Strebepfeilerfronten, die Blendmaßwerkachsen und die Absätze, die einzelne Profilgruppen der Turmhallenlaibungen trennen, den Teilungen des Rasters Rechnung tragen.²¹

Selbst für kleinste, schablonierbare Bauelemente scheint der Entwurf auf der Grundlage eines Modulrasters nicht ganz unüblich gewesen zu sein. Als Benedikt Ried in den frühen 1490er Jahren ein Rippenprofil für den großen Turniersaal des böhmischen Königs Wladislaw II. auf dem Prager Hradschin konzipierte (Abb. 6 und 7), verfiel er jedenfalls auf diese Methode auf der Basis des Maßsystems, das 1268 von Premysl II. in Böhmen eingeführt worden war und bis 1756 dort gültig blieb. Ein böhmischer Zoll misst 2,4696 cm, zwölf Zoll ergeben einen böhmischen Schuh (29,6355 cm).

Für die Rippe des Wladislawsaales (Abb. 8) rasterete Ried sein Blatt in Zollmaßen.²² Die Rippe ist insgesamt 15,5 Zoll hoch. Ihr Steg ist 2 Zoll, ihr Rücken 3 Zoll und die geraden Flanken der Rücklage 8 Zoll breit. Um die Fasen und Kehlen des Profils anzusetzen, schlug er sodann einen Kreis mit dem Durchmesser eines böhmischen Schuhs um das Zentrum, wobei er für den Einstichpunkt nicht die Hälfte der exakten Profilhöhe wählte, sondern vom Steg aus 8 Zoll abtrug. Die Schnittpunkte des Kreises mit den geraden Flanken geben den Ansatz der Rücklagenkehle an. Ein dem Kreis eingeschriebenes, auf die Spitze gedrehtes Quadrat markiert die 45°-Fasen des Unterzuges.



8 Wladislawsaal, Gewölberippe. Entwurf des Rippenprofils auf einem Raster böhmischer Zollmaße.

Die Einstichpunkte für die Radien der Profilkehlen liegen alle auf einer Vertikalachse $\frac{1}{2}$ Zoll außerhalb des Profils. Derjenige für die Rücklagenkehle liegt im Schnittpunkt zwischen der Vertikalen und der verlängerten Horizontalen des Profilirückens. Für die beiden Unterzugkehlen verband der Zeichner die Schnittpunkte der durch die vorangehenden Konstruktionen erzeugten Konturen mit dem Modulraster und fällte auf den Verbindungslinien Mittelsenkrechte. Die Schnittpunkte der Senkrechten mit der vertikalen Konstruktionsachse sind die Einstichpunkte der Kreisschläge für die Profilkehlen.

²¹ Freigang 2010, S. 382–387.

²² Bauer/Lauterbach/Nußbaum 2015, S. 65 f. Petr Chotěbor, Prag, stellte dankenswerterweise einen Profilarbrieb der Wladislawsaal-Rippe zur Verfügung.



9 Prag, Veitsdom, Front des Wladislaw-Oratoriums (Foto 2016).

Die Sehnen der beiden Kreissegmente sind in Winkellage und Länge identisch. Die kleine Rolle, welche der unteren Kehle eingesetzt ist, hat als Durchmesser ein Drittel der Sehnenlänge.

Es ist leicht möglich, dass Ried die Anlage des Rasters als Konstruktionshilfe empfand und



10 Unterwölbung des Wladislaw-Oratoriums (Foto 2016).

für eine leichte Reproduzierbarkeit des Profils Sorge tragen wollte. Rippen zählen zu den wiederholt zu schablonierenden Bauelementen, weil sie sich beim häufigen Anlegen an das Werkstück abnutzen.

Dekonstruktion durch modulares Verschieben

Dem Prager Rippenprofil ist die große Virtuosität, mit der Benedikt Ried die Räume des Hradschin einwölbte, nicht anzusehen. Seine Stellung als Hofarchitekt Wladislaws II. bot ihm die Chance, Außergewöhnliches und Extravagantes für einen anspruchsvollen Fürsten zu schaffen, das seinem Rang als einer der bedeutendsten Fürsten Europas gerecht wurde und Aufmerksamkeit in der höfischen Gesellschaft erweckte. Ried kaprizierte sich darauf, die Systeme des gotischen Gliederapparates aufzubrechen und seine konstruktive Logik in Frage zu stellen. Paradoxerweise bediente sich diese Kunstübung der althergebrachten Entwurfspragmatiken, auf deren Autorität sich die Werkmeisterbücher jener Periode programmatisch beziehen. So erweisen sich auch die spektakulärsten unter den damaligen Steinmetz-Kreationen bei analy-

tischer Betrachtung als Repertoire der Interaktion von Geometrie und Arithmetik.

Für das in eine der südlichen Chorkapellen des Prager Domes einzubauende und ganz aus Astwerk gebildete Oratorium Wladislaws (Abb. 9) musste Ried die hochgelegene Loge durch ein Gewölbe unterfangen.²³ Der aus dem Sechseck konstruierten Kontur der dem Dombau Karls IV. entstammenden Kapelle entsprechend, wählte Ried als Gewölbefigur einen sechszackigen Rautenstern, den er freilich, der Gestaltung der Empore entsprechend, mit Astwerkrippen ausstattete (Abb. 10). Sein erklärtes

²³ Zu Datierung und Autorenschaft des Wladislaw-Oratoriums siehe Bauer/Lauterbach/Nußbaum 2017, S. 29–31 und 40f.



11 Wladislaw-Oratorium, vertäute Astwerkrippen unter der Frontarkade (Foto 2016).



12 Wladislaw-Oratorium, „Triangelknoten“ der Emporenunterwölbung (Foto 2016).

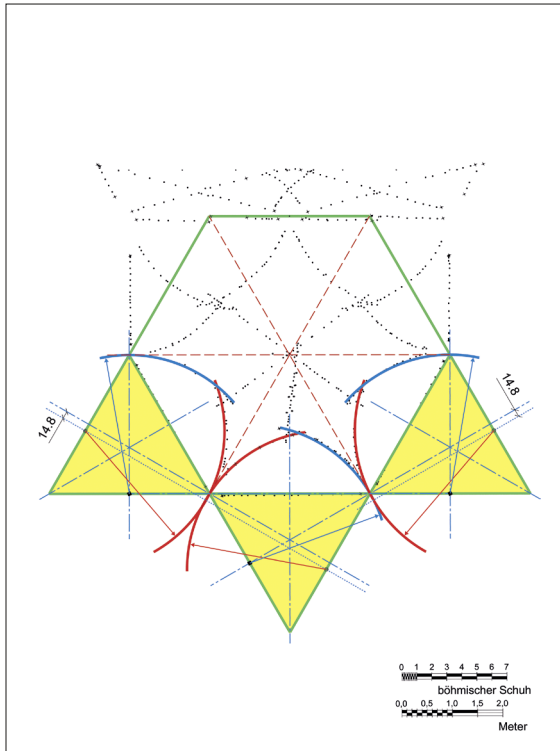
Ziel war es, dass alle Rippenenden die Knoten verfehlten, wo sie sich konventionellerweise zur Herstellung eines kohärenten Gefüges mit den anderen Rippen verbunden hätten. Stattdessen verfehlen alle Rippenäste die Knoten und schießen über jene hinaus, um dann gekappt zu werden. Die geometrische Regelfigur des Gewölbes musste zum Erzielen dieses Effektes systematisch deformiert werden. Dies erledigte Benedikt Ried mit dem einfachen Mittel der Verschiebung von Konstruktionpunkten durch ein aus dem Böhmischem Schuh gewonnenes Streckenmaß.

Vier der Sternzacken sollten sich auf die Winkel zwischen den Polygonseiten der Kapelle niedersenken. Gegen Norden, wo sich die Kapelle zum Chorseitenschiff öffnet, brach Ried den Stern auf, um die Doppelarkade mit ihrem zentralen Abhängling, welche die Frontbrüstung des Oratoriums trägt, in die Figur zu integrieren. Die Achse der Arkade stimmt mit der nördlichen Seite des Grundhexagons überein, der Abhängling schwebt über der Seitenmitte. An das Hexagon ist das einhüftige Stützgewölbe angesetzt, das die in das Seitenschiff vorkragende Emporenbrüstung trägt.

Die Scheitelrippen, welche die Sternrauten trennen, die Rippen, welche die Kanten der Eingangsarkaden und die beiden Außenkanten des Brüstungsgewölbes konturieren und jeweils bis an die Unterkante der Emporenbrüstung reichen und die kleinen Radialrippen des Ab-

hänglings unter der Kanzel sind im Grundriss als Geraden konzipiert. Die anderen Rippen hingegen – jene, welche die Zacken des Sterns nachzeichnen und somit die Stichkappen über den Polygonseiten ausbilden sowie die Rippenpaare, die der Anbindung der Frontarkaden an den Stern dienen, sind im Grund- wie im Aufriss gebogene Schlingrippen, die das in Stein illusionierte Holzmaterial des Astwerkes durch ihre Krümmung glaubwürdig erscheinen lassen.²⁴ Weil rohe Äste nicht wie Bauholz verzimmert werden, sind die Enden der über ihren Zielpunkt hinauschießenden Rippen buchstäblich miteinander vertäut, wenn sich zwei Rippenschenkel 180° gegenüberstehen, wie es unter den Eingangsarkaden der Fall ist (Abb. 11). Wo drei oder gar vier Rippenenden verbunden werden müssen, sind sie miteinander verschränkt, so dass der Schnittpunkt ebenfalls als ein Provisorium interpretiert ist (Abb. 12). Anstelle plastischer Knoten, in welche die Rippen normalerweise einbinden – oder die sie im Fall gekappter Rippenenden durchdringen – verblei-

²⁴ Die Forschung hat die räumliche Krümmung der Rippen bislang nicht thematisiert, sondern lediglich auf die Kurvierung der Rippen in der Planfigur hingewiesen. Pavel Kalina spricht in seiner Werkmonographie Benedikt Rieds gar lediglich von einem „Halbstern“ (Kalina 2009, S. 112 f.). Infolge dessen sind in den bisher publizierten Grundrissen des Oratoriumsgewölbes alle Rippen als Geraden gezeichnet.



13 Wladislaw-Oratorium, Rekonstruktion des Gewölbeentwurfes. Herleitung der Stichkappenrippen.

ben auf diese Weise jeweils kleine Restflächen der Gewölbekappe zwischen den miteinander verschränkten Astenden.²⁵ Alle Bogenrippen haben gleiche Grundrissradien von 2,75 m.

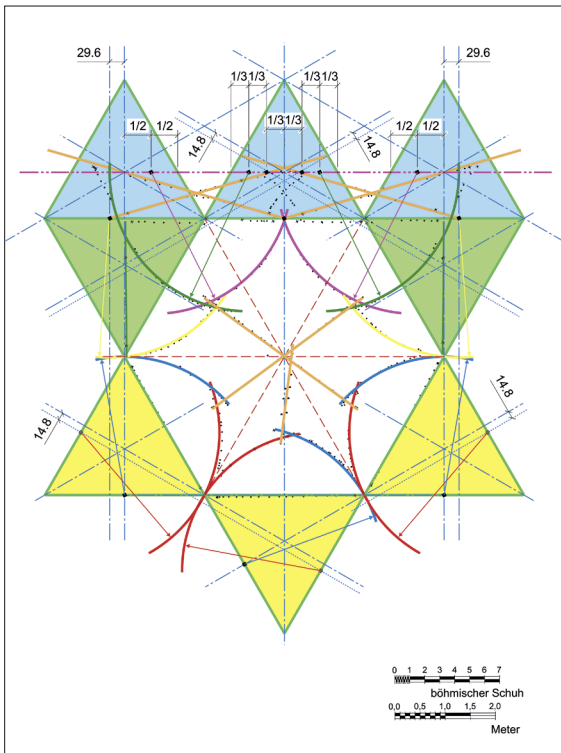
In einem ersten Entwurfsschritt konstruierte Benedikt Ried ein regelmäßiges Sechseck (Abb. 13) – eine Figur, die als Grundform jedweder Groß- und Kleinarchitektur vom Chorschluss über Sakramentshäuser oder Taufbrunnen bis hin zu liturgischem Gerät zum Standardrepertoire zählte, und die sich aus gleichseitigen Dreiecken zusammensetzt. Alle Kreismittelpunkte für die Schlingrippenradien des Emporengewölbes liegen allerdings außerhalb dieses Sechsecks. Es ist also unbestreitbar, dass Ried die Figur erweitern musste, um diese Punkte geometrisch zu definieren. Er tat dies in verblüffend einfacher Weise, indem er das Raster der gleichseitigen Dreiecke rings um das Sechseck nach Bedarf nach außen erweiterte. Die Einstichpunkte für die Bogenschläge, welche

die aus den Polygonwinkeln aufsteigenden Stichkappenrippen über den äußeren Polygonseiten der Kapelle bilden, liegen für jeweils eine Rippe (blaue Bogenlinien) der drei spiegelsymmetrisch angeordneten Paare auf der Seitenmitte der den äußeren Polygonseiten angesetzten (gelb gefüllten) Dreiecke. Die jeweiligen Pendants (rote Bogenlinien) haben den gleichen Radius, doch ist der Einstichpunkt ihrer Bogenkonstruktion auf der jeweils gegenüberliegenden Dreiecksseite absichtsvoll um sechs Böhmisches Zoll ($6 \times 2,4696$ cm) beziehungsweise einen halben Böhmisches Schuh ($\frac{1}{2} \times 29,6355$ cm) aus der Seitenmitte nach außen verschoben. Die Schlingrippenpaare schneiden sich deshalb nicht mittig über den Polygonseiten der Kapelle, und die Stichkappen sind verzogen.

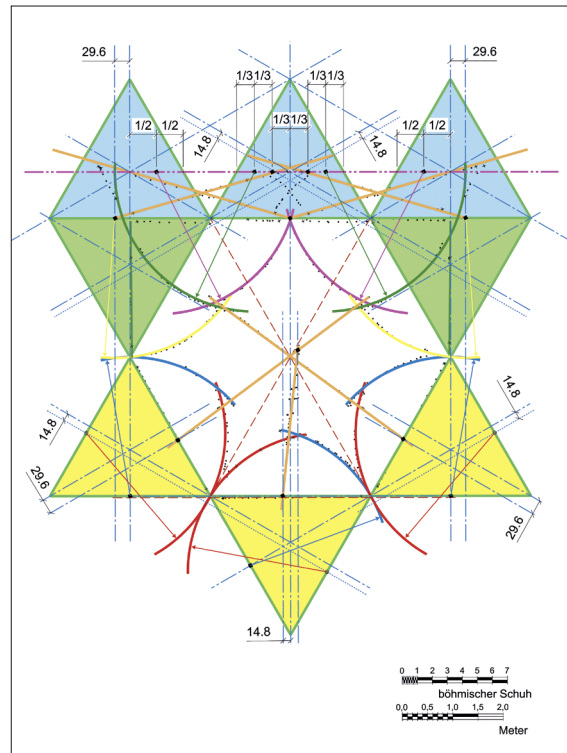
Die von der Eingangsseite der Kapelle ausgehenden Schlingrippen bedurften vierer weiterer angesetzter Dreiecke (Abb. 14, blau und grün gefärbt²⁶). Die Einstichpunkte für ihre Radien liegen alle auf einer Achse, welche die Mittelpunkte der drei blauen Dreiecke verbindet (violette Strichpunktlinie) – jene bildet eine Parallele zur Achse der Doppelarkade, die den Kapelleneingang überspannt. Die Zirkelpunkte der Stichkappenrippen über der Eingangssarkatur sind auf ähnliche Weise auf dieser Achse gegeneinander disloziert wie diejenigen über den Polygonseiten, die ja auf den Seitenlinien ihrer Konstruktionsdreiecke um 6 Zoll verschoben sind. Zwei der Rippen (violette Bogenlinien) erhalten die Mitte zwischen Dreiecksmittelpunkt und Dreiecksseite als Zirkelpunkt. Für die beiden jeweils zugeordneten (dunkelgrüne Bogenlinien) wurde diese Strecke auf der Kon-

²⁵ Die unten zu liegen kommenden Astripfen drohten dabei zwangsläufig den Kontakt zu den Wölbkappen umso mehr zu verlieren, je stärker sie sich den Knoten annähern. Größere Luftrippensegmente vermied Ried jedoch – einerseits durch Anböschungen der Kappen an die Rippen, andererseits durch kleines Zweiggest, das mitunter die Lücken zwischen Astripfen und Wölbgrund schließt.

²⁶ Die grünen Dreiecke sind ausschließlich Konstruktionshilfen für die blauen.



14 Herleitung der weiteren Schlingrippen und der ungekrümmten Rippen unter der Eingangsarkade



15 Herleitung der Scheitelrippen in der Zentralfigur.

struktionsachse gedrittelt. Verlängert man diese Bögen über ihre Anfänger in den Kapellenwinkeln hinaus auf die violette Konstruktionslinie, dann liegt der Ansatz dieses Viertelkreises einen Böhmischen Schuh (29,6355 cm) außerhalb der sechseckigen Grundfigur beziehungsweise der Kapellenwandfluchten. Es tritt durch das Verschieben der Radienmittelpunkte auf der violetten Konstruktionsachse auch in diesem Fall der schon über den Polygonwänden erzeugte Effekt der verzogenen Stichkappen ein.

Es bleiben zwei weitere Schlingrippen zu bestimmen, die von den Ansatzwinkeln der beiden geschrägten Polygonwände ausgehen und die Stichkappenscheitel über den beiden Eingangsarkaden anzielen (gelbe Bogenlinien). Sie bilden spiegelsymmetrische Entsprechungen der beiden Stichkappenrippen (blaue Bogenlinien), mit denen sie sich die Anfängerpunkte in zwei Winkeln des Grundsechsecks teilen. Hätte Ried die exakte Spiegelsymmetrie nicht aufgehoben,

so lägen ihre Radienmittelpunkte genau in den rechten Winkeln, die von der Eingangsarkatur und den beiden an sie anschließenden Kapellenwänden geformt werden. Ried schiebt indessen die Radienmittelpunkte um je einen Böhmischen Schuh nach außen; bis dahin reichen auch – wie eben angemerkt – die Viertelkreise der violetten Bogenkonstruktionen.

Alle Schlingrippen waren auf diese Weise durch das unterlegte Dreiecksraster und einfache Konstruktionsschritte triangularer Geometrie und modularer Maßverschiebungen bestimmt. Die ungekrümmten Rippenzüge, welche die zum Chorseitenschiff geneigten Arkadenkanten konturieren (orange Linien, die blauen Dreiecke durchquerend), ließen sich leicht in dieses System integrieren. Die Anfänger der beiden äußeren Rippen an den Kapellenfeilern liegen im Grundriss in den Schnittpunkten der Arkadenachse mit den Konstruktionsachsen, welche die an der Arkade rechtwinklig ansetzenden

Kapellenwände um 1 Schuh parallel nach außen verschoben. Die Anfänger der beiden inneren Arkadenschenkel entspringen dem Abhängling. Letztere sind durch die Mittelpunkte der äußeren blauen Konstruktionsdreiecke geführt. Nicht so die beiden äußeren Rippenschenkel, die in der plastischen Ausführung der Arkadenscheitel die beiden inneren Rippen überkreuzen und damit im Grundriss eines größeren Öffnungswinkels zur Arkadenachse bedurften. Sie verfehlen daher den Mittelpunkt des mittleren blauen Dreiecks um etwas mehr als das Querschnittsmaß des Astwerkprofils.²⁷

Die geraden Scheitelrippen der zentralen Sternfigur, die an den Scheitelknoten der Stichkappen ansetzen und den Sternmittelpunkt durchkreuzen, sind so gegenüber der Grundfigur gedreht und verschoben, dass durch die Überlagerungen ihrer Enden mit denjenigen der Stichkappenrippen möglichst schöngestaltige und gleichformatige Dreiecks-Restflächen – wir führen für sie die Bezeichnung „Triangelknoten“ ein – erzeugt werden (Abb. 15). Eine von ihnen verfehlt aus gleichem Grund das Sternzentrum, um auch hier einen Dreiecksknoten her-

zustellen. Auch diese „Verfehlungen“ legte Ried durch rationale Maße fest: Die Scheitelrippen der östlichen und westlichen Polygonkappe entspringen ein Schuhmaß neben der Seitenmitte der jeweiligen Polygonwand und kreuzen den Mittelpunkt der Sternfigur. Diejenige der südlichen Polygonkappe trifft die Schildwand $\frac{1}{2}$ Schuh außermittig und zieht um das gleiche Maß am Sternmittelpunkt vorbei. Der Verzug der südlichen Stichkappe unterscheidet sich also von demjenigen der Nachbarkappen, und eine weitere kalkulierte Irregularität ist in den Gewölbeplan eingeführt.

Das Prinzip der Dislokation von Konstruktionspunkten durch Bruchteile oder Vielfache eines Werkmaßes ist für Rieds dekonstruktivistische Gewölbeentwürfe konstitutiv. Er verwendet Zahlenwerte als Störfaktoren einer Geometrie, die, sich selbst überlassen, ihre figurative Homogenität bewahrt hätte. Die hohe Kunst der Dekonstruktion bedurfte demnach einer Neuinterpretation der Arbeitsteilung zwischen den beiden Hilfswissenschaften des architektonischen Entwurfes.

Fazit

Der gotischen Architekturproduktion fehlte über weite Strecken der Impuls, ihr durch lange Lehrzeiten in der Baupraxis vermitteltes, prozessorientiertes Handlungswissen durch strikte Festlegungen verbindlich zu machen. Baugeometrie und Arithmetik dienten nicht der Herstellung eines allumfassenden „Maßgrundes“, der als symbolische Figur das Bauwerk semantisch auflädt. Die Prozeduren waren so provisorisch wie pragmatisch. Sie erzeugten wegen der beschränkten Größe der „toolbox“ und wegen der Axiomatik der Konstrukte einerseits Elemente mit der Tendenz zur Serie, andererseits aber mangels normativer Steuerung der Prozesse eine große Varietät möglicher Ergebnisse. Was wir Formentfaltung nennen, hat im offenen,

dynamischen Prozesscharakter des gotischen Planens und Bauens seine Wurzeln. Lon Shelby hat der Planungsforschung deshalb 1972 ins Stammbuch geschrieben, dass sie nach einer

²⁷ Es ist denkbar, dass Benedikt Ried sogar diese kleine Abweichung rational definierte. Er operierte dabei möglicherweise wie an den Stichkappenrippen der Polygonwände (rote Bogenlinien) mit Parallelverschiebungen um sechs Zoll. Verschiebt man die Seitenbeziehungsweise Winkelhalbierenden des über dem Abhängling der Eingangsarkatur liegenden blauen Konstruktionsdreiecks um eben dieses Maß in Richtung Kapellenraum, dann sind die beiden inneren Rippengeraden auf die Schnittpunkte zwischen den gewonnenen Parallelen und den jeweiligen Dreiecksseiten hin ausgerichtet.

universalen Baugeometrie nicht fahnden sollte: „The nature of that geometry suggests that these canons, when recovered, will not be universal laws which will at last provide the key to mediaeval architecture; rather, they will be particu-

lar procedures used by particular master masons at particular times and places.“²⁸

²⁸ Shelby 1972, S. 53.

Literaturverzeichnis

Binding, Günther/Annas, Gabriele/Jost, Bettina/Schunicht, Anne: Baubetrieb im Mittelalter. Darmstadt 1993.

Bauer, Thomas/Lauterbach, Jörg/Nußbaum, Norbert: Benedikt Rieds Schlingrippengewölbe auf der Prager Burg. Entwurf – Steintechnik – Kontext; in: *InSitu* 7, 2015, S. 59–76.

Bauer, Thomas/Lauterbach, Jörg/Nußbaum, Norbert: Das Wladislaw-Oratorium des Prager Veitsdomes. Ein Pilotprojekt der dekonstruktiven Gewölbeentwürfe Benedikt Rieds; in: *InSitu* 9, 2017, S. 29–42.

Bork, Robert: *The Geometry of Creation. Architectural Drawing and the Dynamics of Gothic Design*. Farnham-Burlington 2011.

Bork, Robert/Nußbaum, Norbert: Gotischer Baubetrieb am Aachener Münsterchor; in: „Sie glänzte wie ein kostbarer Edelstein, wie ein kristallklarer Jaspis.“ 600 Jahre Aachener Chorhalle (Schriftenreihe des Karlsverein – Dombauverein 16). Aachen 2014, S. 22–42.

Dürer, Albrecht: *Vnderweysung der messung mit dem zirckel vn[d] richtscheyt in Linien ebenen vnnd gantzen corporen*. Nürnberg 1525.

Euklid: *Die Elemente*. Buch I–XIII, nach Heibergs Text aus dem Griechischen übersetzt und herausgegeben von Clemens Thaer. 6. unveränderte Auflage, Darmstadt 1975.

Freigang, Christian: Bildlichkeit und Gattungstransparenz in der Architektur um 1300; in: Nußbaum, Norbert (Hrsg.): 1259. Altenberg und die Baukultur im 13. Jahrhundert. Regensburg 2010, S. 377–396.

Hecht, Konrad: *Maß und Zahl in der gotischen Baukunst*. Hildesheim 1979.

Kalina, Pavel: *Benedikt Ried a počátky záalpské renesance*. Praha 2009.

Kidson, Peter: *The Historical Circumstance and the Principles of Design*; in: Cocke, Thomas/Kidson, Peter (Hrsg.): *Salisbury Cathedral: Perspectives on the Architectural History*. London 1993, S. 31–97.

Kletzl, Otto: *Plan-Fragmente aus der deutschen Dombauhütte von Prag in Stuttgart und Ulm*. Stuttgart 1939.

Lepsky, Sabine/Nußbaum, Norbert: *Gotische Konstruktion und Baupraxis an der Zisterzienserkirche Altenberg*, Bd. 1: *Die Choranlage* (Veröffentlichungen des Altenberger Dom-Vereins 9). Bergisch-Gladbach 2005.

Lepsky, Sabine/Nußbaum, Norbert: *Gotische Konstruktion und Baupraxis an der Zisterzienserkirche Altenberg*, Bd. 2: *Quer- und Langhaus* (Veröffentlichungen des Altenberger Dom-Vereins 11). Bergisch-Gladbach 2012.

Murray, Stephen: *Reconciling the Feet at Beauvais and Amiens Cathedral*; in: Wu, Nancy Y. (Hrsg.): *Ad quadratum. The practical application of geometry*

in *medieval architecture* (AVISTA Studies in the History of Medieval Technology, Science and Art 1). Aldershot 2002, S. 169–182.

Nußbaum, Norbert: Der Chorplan der Zisterzienserkirche Altenberg. Überlegungen zur Entwurfs- und Baupraxis im 13. Jahrhundert; in: *Wallraf-Richartz-Jahrbuch* 64, 2003, S. 7–52.

Prak, Nils L.: Measurements of Amiens Cathedral; in: *Journal of the Society of Architectural Historians* 25, 1966, S. 209–212.

Shelby, Lon R.: Gothic Design Techniques. The fifteenth-century design booklets of Mathes Roriczer and Hanns Schmuttermayer. Carbondale u.a. 1977.

Shelby, Lon R.: The Geometrical Knowledge of the Mediaeval Master Masons; in: *Speculum* 47, 1972, S. 395–421 (Reprint in: Courtenay, Lynn T. (Hrsg.): *The Engineering of Medieval Cathedrals*. Aldershot 1997, S. 27–61).

Steinmann, Marc: Die Westfassade des Kölner Domes. Der mittelalterliche Fassadenplan F (Forschungen zum Kölner Dom 1). Diss. Bonn 1999, Köln 2003.

Strohmayr, Wolfgang: Das Lehrwerk des Matthäus Roriczer. Hürtgenwald 2004.

Suger von St-Denis: De consecratione ecclesiae Sancti Dionysii. Kommentierte Studienausgabe, herausgegeben von Binding, Günther/Annas, Gabriele (Veröffentlichung der Abteilung Architekturgeschichte des Kunsthistorischen Instituts der Universität zu Köln 56). Köln 1995.

Toker, Franklin: Gothic Architecture by Remote Control: An Illustrated Building Contract of 1340; in: *The Art Bulletin* 67, 1985, S. 67–95.

Vitruv: De architectura libri decem. Edidit et annotavit Curt Fensterbusch. 4. Auflage, Darmstadt 1987.

Abbildungsnachweis

Abbildung 1–3: Fotogrammetrie: Bildmessung GmbH, Müllheim; Graphik: Norbert Nußbaum, Köln

Abbildung 4: Böker, Johann Josef/Brehm, Anne-Christine/Hanschke, Julian/Sauvé, Jean-Sébastien: *Architektur der Gotik – Rheinlande. Ein Bestandskatalog der mittelalterlichen Architekturzeichnungen mit einem Beitrag von Peter Völke über die Zeichentechnik der Gotik*. Salzburg/Wien 2013; Graphik: Norbert Nußbaum, Köln

Abbildung 5: Planvorlage: A. Steinmetz 1910–1911, Planarchiv des Amtes für Denkmalpflege im Rheinland, Brauweiler; Graphik: Norbert Nußbaum, Köln

Abbildung 6, 7, 9, 11 und 12: Bauer-Lauterbach GmbH, Dresden

Abbildung 8: Bauer-Lauterbach GmbH, Dresden und Norbert Nußbaum, Köln

Abbildung 10: Rainer Böhme, Dresden

Abbildung 13–15: Bauer-Lauterbach GmbH, Dresden und Norbert Nußbaum, Köln