

SKRIPTUM

BAUGESCHICHTE

Studienjahr 2021/22, Departement Architektur, ETZ Zürich
Prof. Dr.-Ing. Stefan M. Holzer, Professur Bauforschung und Konstruktionsgeschichte

1. Einführung und Überblick

Die Städte und Landschaften Europas sind unauslöschlich durch die Bautätigkeit vergangener Jahrhunderte geprägt. Der Erhalt historischer Bausubstanz und deren Weiterentwicklung durch Unterhalt, Renovierung, Umnutzung, Umbau, Erweiterung haben seit langer Zeit einen hohen Stellenwert. Um zu einem angemessenen Umgang mit historischer Bausubstanz zu finden, sind Grundkenntnisse über die Entwicklung der Baukunst unabdingbar. Dies gilt gleichermassen für Architektinnen und Ingenieure,¹ die am historischen Bauwerk tätig werden wollen – also für alle Vertreter der planenden Berufe, denn kaum einer von ihnen wird seine Karriere durchlaufen, ohne jemals mit einem Bestandsbauwerk konfrontiert zu werden. Die vorliegende Vorlesung hat sich um Ziel gesetzt, die notwendigen Grundkenntnisse der europäischen Baugeschichte zu vermitteln.

Die Rezeption historischer Architektur durch Laien geht meist vorwiegend vom äusseren Erscheinungsbild aus. Auch bei Streitigkeiten über Erhaltungsprobleme wird oft gefragt, ob ein Bauwerk «schön» sei, eine «Bereicherung für das Ortsbild», ob es eine stadtbild- oder landschaftsprägende Funktion habe, ob es gut proportioniert und gegliedert sei. Bauherren der heutigen Zeit gehen wie die Bauherren der Geschichte oft davon aus, dass sie sich mit dem eigenen Bau in besonderer Weise in Szene setzen können, dass sie mit ästhetischen Mitteln einen Anspruch zur Geltung bringen können. Das gilt für private Wohn- und Geschäftshäuser nicht weniger als für öffentliche Bauten wie ein Sportstadion oder ein Parlament, oder für Sakralbauten wie einen Dom oder eine Nonnenklosterkirche. Die Bereitschaft sowohl privater als auch öffentlicher Bauherren, Geld in ein Bauwerk und seine architektonische Gestaltung zu investieren, wird oft massgeblich durch den Wunsch zur Repräsentation und Selbstdarstellung getragen. Tatsächlich hat Architektur eine Rolle, die mit jener der bildenden Künste vergleichbar ist: Der Auftraggeber macht sich die kreativen Fähigkeiten des Künstlers zunutze, um sich selbst besonders günstig ins Bild zu rücken – im wörtlichen Sinn bei einem Porträt, im übertragenen bei einem Bauwerk. Das Entziffern und Dekodieren der in einem Bauwerk vorgelegten «Bedeutung» ist selbstverständlich ein wichtiger Teil des Verständnisses historischer Architektur. Das Bauwerk wird als ästhetischer Ausdruck seiner Zeit gelesen und ist eng mit der allgemeinen geistesgeschichtlichen Entwicklung verzahnt. Die Hilfsmittel zu dieser Art der Lektüre historischer Architektur stellt die Kunstgeschichte in ihrer speziellen Ausprägung als Architekturgeschichte zur Verfügung. In gewisser Weise wird bei diesem

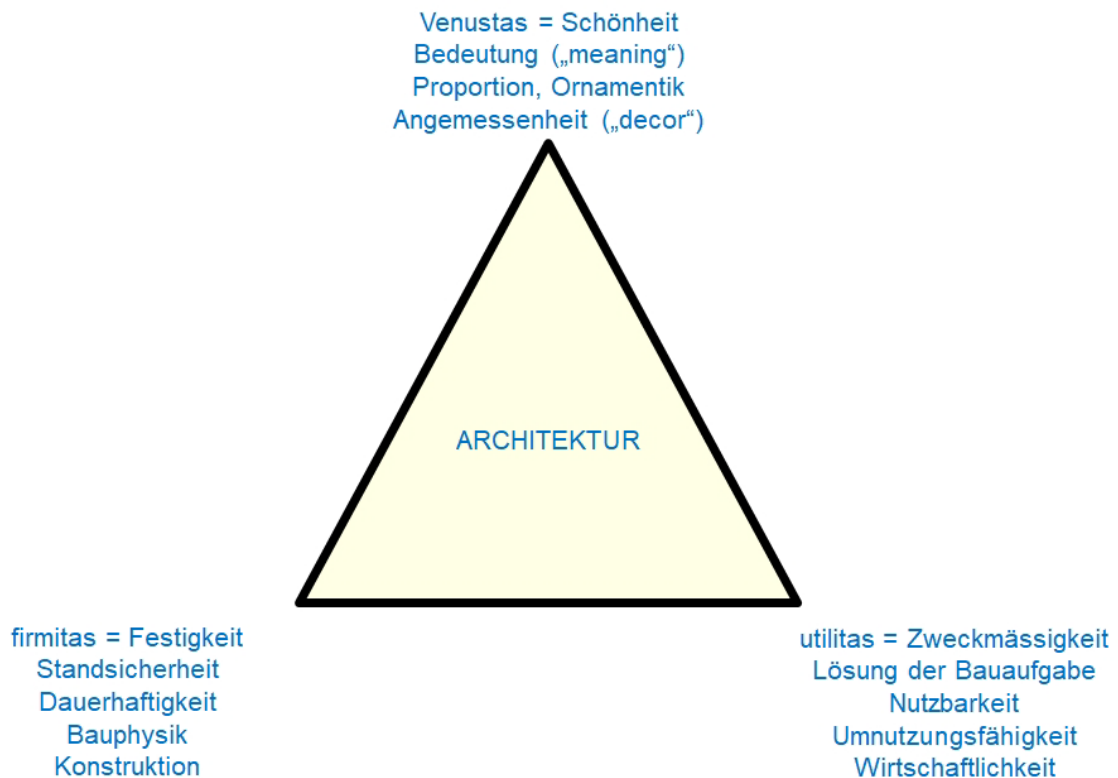
¹ Das vorliegende Skriptum verzichtet auf eine durchgehende «gendergerechte» Sprache. Dieses Vorgehen findet seine geschichtliche Begründung darin, dass das gesamte Bauwesen bis etwa um 1900 eine fast ausschliessliche Männerdomäne war, wie kaum ein anderes Berufsfeld. Es macht also keinen Sinn, diese historische Tatsache durch eine vermeintlich «gendergerechte» Sprache verschleiern zu wollen und somit falsche Verhältnisse vorzuspiegeln und in die Irre zu führen. Nur die genaue Kenntnis der geschichtlichen Gegebenheiten ermöglicht eine angemessene Würdigung der historischen Entwicklung.

Zugang das Bauwerk völlig gleichartig wie ein Bild oder eine Skulptur betrachtet und interpretiert.

Ein Bauwerk ist aber kein Gemälde und auch nicht nur eine Skulptur. In der Regel erfüllt es auch ganz praktische Nutzungserfordernisse: Es schützt gegen übermässige Kälte oder Wärme und Feuchtigkeit; es bietet einen angemessen belichteten, den akustischen Anforderungen gerecht werdenden Innenraum. Es kommuniziert mit seiner Umgebung durch eine adäquate Anbindung und Zugänglichkeit. Dazu kommt, dass man nur das bauen kann, was auch einigermassen sicher über einen absehbaren Zeitraum stehen bleiben wird, den Witterungseinflüssen trotzt, und mit den verfügbaren technischen Mitteln mit einigermassen begrenztem Aufwand an Zeit und Geld hergestellt werden kann. Gegenüber der ästhetischen Aussage eines Bauwerks mögen diese profanen Aspekte bei der Rezeption historischer Architektur zunächst in den Hintergrund treten; für die Akteure der planenden Berufsfelder sind sie aber mindestens genauso wichtig und relevant.

Man kann weder zeitgenössische noch gar historische Architektur vollständig verstehen, ohne auf die Fragen der Nutzungserfordernisse, der Konstruktion und der Herstellungstechnik gebührende Rücksicht zu nehmen. Heute ist es dank leistungsfähiger Werkstoffe und Berechnungsmethoden zwar möglich, fast «alles» zu bauen, was man auch zeichnen oder mit dem Computer simulieren kann; gute Architektur zeichnet sich aber nicht dadurch aus, dass sie phantasievolle Luftschlösser um jeden Preis realisiert, sondern durch eine Einheit und Gleichwertigkeit von Ausdruck, Konstruktion und Nutzbarkeit. Das ist keineswegs eine neue Erkenntnis. Schon der altrömische Architekturschriftsteller Marcus Vitruvius Pollio, kurz «Vitruv», der im 1. Jahrhundert vor Christus seine *De architectura libri decem* verfasste (die älteste erhaltene Schrift zur Architekturtheorie), erwähnte in einem kurzen Abschnitt die sogenannte «Trias» von Schönheit (*venustas*), Standsicherheit und Dauerhaftigkeit (*firmitas*) und Zweckmässigkeit (*utilitas*).² Vollends zum kategorischen Imperativ der Architektur erhoben wurde die Forderung nach Einhaltung dieser drei Kriterien sodann in der ersten Architekturlehrschrift der Neuzeit, der von dem italienischen Humanisten Leon Battista Alberti um 1450 verfassten *De re aedificatoria*, die die theoretische Grundlage der Architektur der Renaissance und der frühen Neuzeit legte. Alberti hob die drei vitruvianischen Kriterien schon in der Einleitung seines Werkes besonders hervor.

² Vitruv: *De architectura libri decem*. Iterum edidit Valentinus Rose. Lipsiae: Teubner, 1899, S. 14. Diese Ausgabe von Valentin Rose ist die bis heute philologisch massgebliche Version des antiken Textes.



Im Spektrum der durch die sogenannte «vitruvianische Trias» aufgespannten Kategorien konzentriert sich die kunstwissenschaftliche Architekturgeschichte auf den Aspekt der venustas. Heute können wir diese Vitruv'sche Kategorie umschreiben mit «Schönheit», «Proportion», «Symbolgehalt», «Bedeutung», usw. Die Baugeschichte hingegen betont vor allem die beiden verbleibenden Kategorien der firmitas, die wir mit modernen Begriffen ausbuchstabieren können als «Standsicherheit», «Dauerhaftigkeit», «Nachhaltigkeit», «Wartungsfreundlichkeit», und der utilitas, die die Aspekte der «Zweckmässigkeit», «Nutzungsfreundlichkeit», «Umnutzungsfähigkeit» und «Wirtschaftlichkeit» umfasst. Entsprechend dieser Zielsetzung steht in der vorliegenden Vorlesung der ästhetische Ausdruck des Bauwerks nicht im Vordergrund, obwohl sich die Aspekte der künstlerischen Umsetzung der Architektur natürlich nicht von den anderen Aspekten trennen lassen.

Die historische Baukunst arbeitete jahrhundertlang vor allem mit den Materialien Holz, Naturstein, Backstein und – wenn auch lange in begrenzter Masse – Eisen. Diese Materialien waren von China bis Portugal, von Argentinien bis Japan, von Mohenjo Daro bis zur Hamburger Speicherstadt bestimmend für das Bauen. Unsere Vorstellungen von «wohlproportionierten» Bauwerken sind massgeblich mitgeprägt durch die Proportionen, die die traditionellen Baumaterialien ermöglichen, und nicht nur von ästhetischen Idealen wie der Orientierung an menschlichen oder mathematisch einfachen Verhältnissen. Die Materialien gaben zum Grossteil vor, wie dauerhaft ein Bauwerk sein konnte, welche Lasten es aufnehmen und welche Spannweiten es erreichen konnte. Die Materialien gaben aber auch zu einem Gutteil die Herstellungstechnik vor. Vergleichsweise einfach liessen sich Ton und Holz in die gewünschten Formen bringen; Stein stellte schon deutlich höhere Anforderungen, vor allem dann, wenn es darum ging, grosse und möglichst unbeschädigte Blöcke aufeinanderzutürmen oder gar quasi «monolithisch» (fugenlos) oder «megalithisch», also mit riesenhaften Einzelsteinen, zu bauen. Die «Baugeschichte» ist gleichzeitig die Geschichte der Bearbeitungs- und

Handwerkstechniken, heute auch als «Bautechnikgeschichte» oder «Konstruktionsgeschichte» bezeichnet. Als solche ist sie nicht weniger als die Architekturgeschichte mit dem allgemeinen historischen Hintergrund der jeweiligen Entstehungszeit verbunden. In gewisser Weise ist die «Baugeschichte» allerdings mehr «Geschichte von unten», da sie die Geschichte der Architektur nicht vorwiegend aus der Perspektive der Bauherren und Potentaten, sondern auch aus der Perspektive der Ausführenden – vom Planer bis zum Handlanger, vom Künstler-Architekten bis zur Mörtelträgerin oder dem Säger – erzählt. Das historische Bauwesen kannte gerade auf dieser unteren Ebene eine heute kaum mehr vorstellbare Breite spezialisierter handwerklicher Bauberufe.

Da die «Baugeschichte» sich mit der Materialisierung von Architektur beschäftigt, spielt bei ihr derjenige Teil der Architekturgeschichte, der «auf dem Papier geblieben» ist, eine geringere Rolle: historische Pläne und Architekturzeichnungen geben oft faszinierende Einblicke in den Dialog zwischen Entwerfer und Auftraggeber, lassen das Spektrum der gestalterischen Varianten ahnen und ermöglichen es, die Genese des Personalstils einzelner herausragender Entwerfer nachzuvollziehen. Architekturzeichnungen sind oftmals künstlerische Produkte, für deren Analyse der Kunsthistoriker prädestiniert ist. Im Gegensatz dazu beschäftigt sich der «Baugeschichtler» in ganz besonderer Weise auch damit, den erhaltenen historischen Bau selbst als Quelle auszuwerten. Spurenlese am Bau ermöglicht es, Herstellungstechniken und Arbeitsvorgänge zu rekonstruieren, Umbauten nachzuweisen und Bauphasen zu identifizieren. Die Interpretation des Bauwerks selbst als historische Quelle ist Gegenstand der sogenannten «historischen Bauforschung», einer Disziplin, die aus der Beschäftigung mit den antiken Ruinen entstanden ist, zu denen meist keinerlei zusätzliche Bild- oder Schriftquellen vorliegen. Die Methodik der historischen Bauforschung ist aber auch auf andere Baubestände anwendbar und füllt dann als Komplement die Lücken, die die archivalischen und literarischen Quellen offen lassen. Selbstverständlich helfen allerdings historische Beschreibungen, Abrechnungen (Löhne und Material) sowie Zeichnungen (vor allem Ausführungszeichnungen, Konstruktionszeichnungen) und historische Fach-Lehrbücher wesentlich bei der Interpretation der Spuren am Bauwerk selbst, so dass auch für die Baugeschichte die schriftlichen und bildlichen Quellen wesentliche Erkenntnisse beisteuern. Es geht dabei aber weniger um die sogenannte «Architekturtheorie», sondern eher um die Geschichte des praktischen Bauwissens, der Bauwissenschaft und der Bautechnologie.

Die Baugeschichte ist unendlich reich und komplex. Manch ein Gebäude, das aus rein ästhetisch-künstlerischer Sicht wenig zu bieten scheint, erweist sich bei der Betrachtung aus dem Blickwinkel der Baugeschichte und Bautechnikgeschichte als wahre Goldgrube der Erkenntnis und auch als kostbares geschichtliches Dokument. Im Rahmen einer Einführungsvorlesung können selbstverständlich nur einzelne Schlaglichter gesetzt werden. Eine Vollständigkeit ist weder möglich noch auch nur angestrebt. Im Vordergrund steht vielmehr die exemplarische Betrachtung einzelner besonders charakteristischer Beispiele. Den Zuhörenden und Lesenden ist es dann selbst überlassen, das erworbene Wissen auch auf analoge Beispiele anzuwenden und zu erweitern. [Um dies gerade auch im regionalen Umfeld der ETH Zürich zu ermöglichen, werden charakteristische Beispiele aus der Schweiz und dem benachbarten Ausland überall dort eingeflochten, wo es sich anbietet.](#)

Die vorliegende Vorlesung behandelt die Baugeschichte aus einer «eurozentrischen» Perspektive. Das kann nicht geleugnet werden, sollte aber auch nicht naiv und ohne

Erläuterung akzeptiert werden. Durch den Kolonialismus sind vor allem vom 16. bis zum 19. Jahrhundert historische europäische Bauformen über den ganzen Erdball verbreitet worden; dabei wurden vielfach blühende Kulturen der eroberten Länder ausgelöscht, die zugehörigen Monumente zerstört und durch nicht immer hochrangige Produkte europäischer Tradition ersetzt: Man denke zum Beispiel an Mittel- und Südamerika mit seinen durchaus achtbaren kolonialzeitlichen spanischen und portugiesischen Architekturimporten, denen allerdings oftmals ungleich grandiosere Inka- und Aztekenbauten geopfert wurden.

Einen weniger kritisch zu sehenden Beitrag zur weltweiten Proliferation europäischer Bauformen hat ausserdem – quasi als Nebeneffekt – die Industrialisierung des Bauens um 1900 mit sich gebracht: Erst mit dem Siegeszug der Stahlbetonbauweise, der von Europa und den europäisch geprägten Städten Nordamerikas ausgegangen ist, wurden weltweit die jahrtausendealten Methoden des handwerklichen Bauens abgelöst; gleichzeitig wurden damit auch Bauformen verbreitet, die – bewusst oder unbewusst – tief in der europäischen Architekturgeschichte wurzelten, und in Europa selbst und auch allen anderen Kontinenten gingen viele traditionsreiche Bauformen und Konstruktionen verloren, die durch industrialisierte Baumaterialien und Bauweisen «westlicher» Prägung abgelöst wurden.

Man kann es einseitig oder bedauernswert finden, dass weltweit lokale und regionale Traditionen des Bauens durch europäischen Einfluss zurückgedrängt worden sind; die über lange historische Zeiträume hinweg global dominante Rolle der europäischen Baugeschichte ist aber eine historische Tatsache, die sich heute zwar durch Wiederaufgreifen anderer Traditionen im Bauen der Gegenwart relativieren, aber nicht ungeschehen machen lässt.

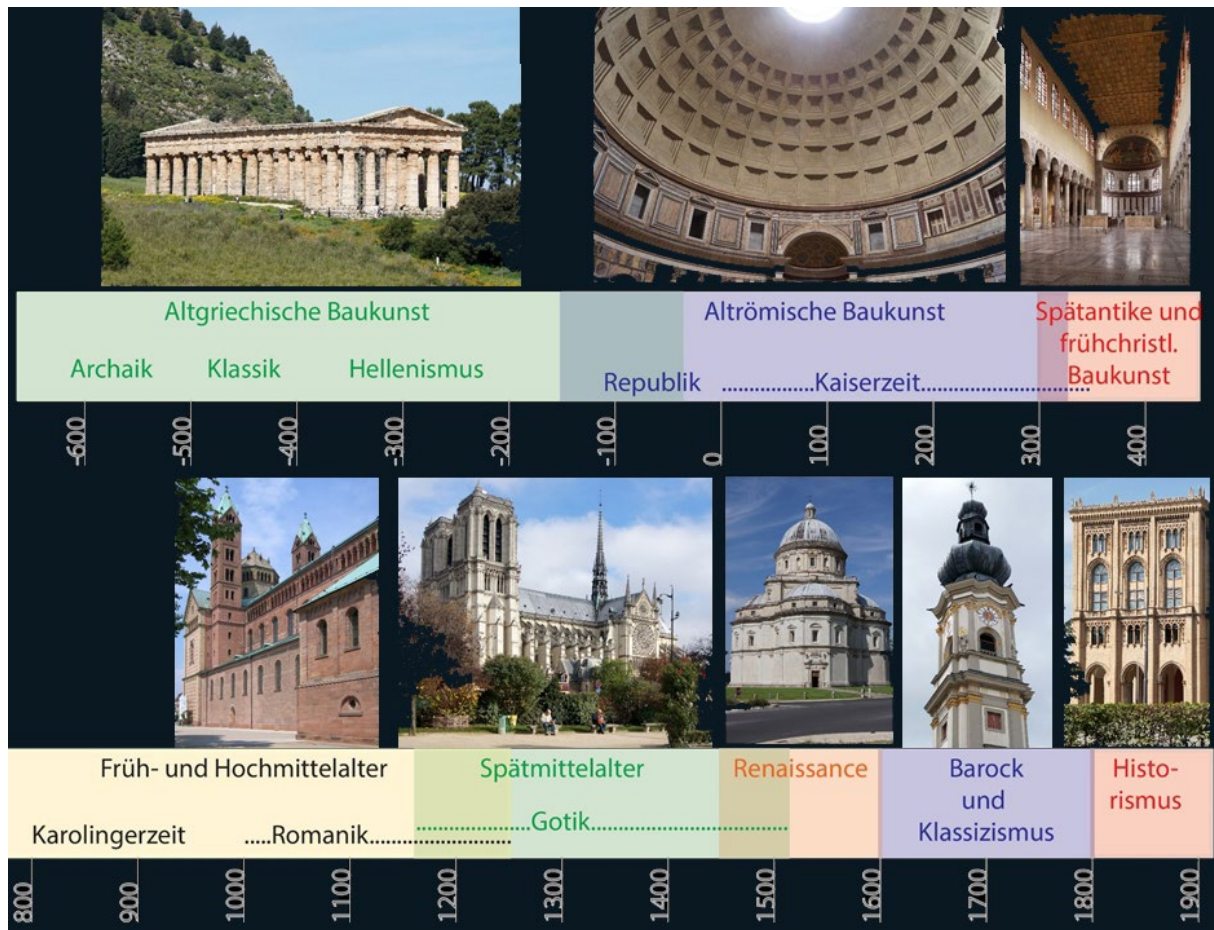
Die am weitesten zurückreichenden Wurzeln der europäischen Baugeschichte führen andererseits zurück in das östliche Mittelmeergebiet und in den nordostafrikanischen und vorderasiatischen Raum, von Ägypten bis zum Zweistromland. Europa hat die Architektur also nicht erfunden, sondern auch aus fremden Händen empfangen. In der Antike entstanden auch in Vorder- und Südasiens sowie natürlich in China und Südostasien sehr bedeutende Bauwerke. Aus dieser Tradition hat sich auch später eine faszinierende Baugeschichte entwickelt, die punktuell sogar in einen Dialog mit der europäischen Architektur getreten ist.

In einer umfassenden Baugeschichte der Welt müssten auch die noch erhaltenen Zeugnisse der hochrangigen aussereuropäischen Architekturtraditionen ausführlich gewürdigt werden. Zu den Baudenkmälern von Weltrang zählen selbstverständlich auch die chinesische Mauer, Hindu-Tempel und Moscheen in Indien, die Altstädte von Timbuktu und Marrakesch, die Pyramiden von Mexiko, die Inka-Bauten in Peru und vieles anderes mehr, was eine eingehende Würdigung verdienen würde. Wenn all diese Bautraditionen in der Vorlesung behandelt werden sollten, müsste sie allerdings eine äusserst oberflächliche und damit sehr langweilige Veranstaltung sein, die keinen rechten Nutzen mehr böte.

Es ist noch nicht einmal möglich, in einer Einführungsvorlesung wenigstens die europäische Baugeschichte auch nur einigermaßen umfassend zu behandeln. Trotzdem soll in dieser Vorlesung ein vielseitiges und abwechslungsreiches Bild geboten werden, und der Fokus soll immer wieder zwischen verschiedenen Regionen und Ländern

wandern, ohne den chronologischen Faden aus der Hand zu verlieren oder die Kontinuität der Entwicklung zu missachten. In dieser Situation hat es sich angeboten, dass der Verfasser vor allem auf solche Bauwerke näher eingegangen ist, die er selbst aus eigener Erfahrung oder gar Forschung besonders gut kennt. Es handelt sich also durchaus um einen individuellen, in gewisser Hinsicht auch unausgewogenen und willkürlichen Rundgang durch Teilaspekte der europäischen Baugeschichte, dafür aber einen, der die Chance zur exemplarischen Vertiefung bietet und somit den Hörer oder die Leserin zur analogen Anwendung auf andere Regionen oder Zeiten ermuntert und befähigt. Es werden für jede Epoche exemplarische Realisierungen ausgewählt. Zum Beispiel liegt der Schwerpunkt bei der Behandlung der altgriechischen Architektur auf den Sakralbauten Siziliens, die jenen des Mutterlandes kaum nachstehen; römische Architektur wird vor allem am Beispiel der Hauptstadt selbst betrachtet, obwohl auch die Provinzen interessantes und manchmal sogar besser erhaltenes Material geboten hätten. Für die Spätantike und das frühe Christentum weitet sich der Horizont auch auf andere Gebiete Italiens. Das Hochmittelalter mit der romanischen Baukunst wird schwerpunktmässig am Beispiel herausragender Sakralbauten des Oberrheingebietes und Frankreichs erläutert, obwohl man gleich faszinierende Architektur andernorts gefunden hätte. Die Früh- und Hochgotik behandeln wir am Beispiel derjenigen Bauwerke Frankreichs, die für ganz Europa zum leuchtenden Vorbild werden sollten. Für den Wohnbau im Spätmittelalter hat gerade die Schweiz mit dem weltweit einmaligen Bestand von Holzhäusern des 13. und 14. Jahrhunderts im Schwyzer Talboden ausgezeichnete Beispiele zu bieten. Die Renaissance führt uns zurück nach Italien, von wo aus wir auch der Ausbreitung der Barockarchitektur folgen. Für die Architektur der Zeit der Industrialisierung und des Historismus lenken wir den Blick vorwiegend auf die europäischen Metropolen von London über Paris bis Berlin und Wien.

Inhaltlich geht es in der Baugeschichte um immer wiederkehrende elementare Fragen des Bauens: Wie konstruiert man materialgerecht eine Stütze, eine Wand, eine Decke? Wie steuert man den Weg eines Besuchers im Bauwerk? Wie belichtet man den Bau zweckmässig? Wie erzeugt man maximalen repräsentativen Effekt, ohne dass die Baukosten durch die Decke gehen? Wie sichert man bei statisch anspruchsvollen Bauten die Langlebigkeit und Standsicherheit, auch in Sonderereignissen wie Erdbeben oder Feuersbrunst?



Der Ausgangspunkt der vorliegenden Vorlesungen ist die altgriechische Sakralarchitektur, besonders jene der Zeitphasen der griechischen Archaik (6. Jh. v. Chr.) und Klassik (5. Jh. v. Chr.). An den altgriechischen Tempeln wurde zum ersten Mal auf europäischem Boden das Thema des maximal repräsentativen und dauerhaften Bauens mit sehr grossen Steinen aufgegriffen und zur Blüte entwickelt. Die europäische Baugeschichte ist ohne das leuchtende Vorbild der altgriechischen Tempel nicht denkbar. Der altgriechische Tempel kommt als Architektur der Vorstellung einer «begehbaren Skulptur» näher als alle anderen Bauaufgaben der Folgezeit: Das Innere des Bauwerks spielt gegenüber dem Äusseren eine deutlich kleinere Rolle. Das Äussere des altgriechischen Sakralbaus wurde bestimmt durch die Säule-Gebälk-Architektur, die als geregelt und vermeintlich formalisierbares «System» in Form der sogenannten «Säulenordnungen» die gesamte europäische Architekturgeschichte bis zum 20. Jahrhundert mitgeprägt hat.

Fast das direkte Gegenbild zu diesen Hauptcharakteristika der altgriechischen Tempelbauten bietet die altrömische Architektur. Zum einen war in römischer Zeit der Tempel bei weitem nicht die bedeutendste Bauaufgabe – weder von der Grösse noch vom technischen Anspruch, ja selbst nicht vom Repräsentationsgrad her. Ausserdem ist die altrömische Architektur zu weiten Teilen eine Architektur der Innenräume, so dass die Probleme der Besucherführung, der Beleuchtung, Heizung, Be- und Entwässerung eine Schlüsselrolle einnehmen. Das gilt für das römische Wohnhaus nicht weniger als für die riesigen Thermenanlagen der Kaiserzeit. Das schiere Bauvolumen war nur mit Hilfe des extensiven Einsatzes billiger, kleinformatiger Baumaterialien zu bewältigen, während man die grossen und kostbaren Steine in erster Linie dafür heranzog, dem Bauwerk zum Schluss eine edle Hülle umzulegen, bei deren Gestaltung man sich am repräsentativen

Glanz der altgriechischen Bauten orientierte. Die höchste Blüte erlebte die altrömische Architektur nach relativ bescheidenen Anfängen in der römischen Republik erst in der frühen und hohen Kaiserzeit (1.–3. Jh. n. Chr.), ganz besonders unter der julisch-claudischen Dynastie (von Augustus bis Nero), in flavischer Zeit (Vespasian, Titus, Domitian), unter den Adoptivkaisern (Traian, Hadrian, Antoninus Pius) und dann noch einmal in der späten Kaiserzeit.

Die Architektur der Spätantike und des frühen Christentums (4.–6. Jh. n. Chr.) zeichnet sich durch völlig neue Bauaufgaben des Sakralbaus aus, der nunmehr das gesamte gläubige Volk aufnehmen muss. Die frühchristliche Architektur ist primär eine Architektur der grossen Innenräume, die weitgespannte stützenfreie Decken- und Dachkonstruktionen erfordern.

Nach dem Niedergang des Römischen Reiches brach auch die Baukultur zunächst dramatisch ein. Einen zaghaften Neubeginn, der über reine Holzkonstruktionen und bescheidene Bruchsteinbauten hinausging, wagte man erst wieder in der Merowinger- und Karolingerzeit. Mit der Pfalzkapelle, die Karl der Grosse um 800 in Aachen errichten liess, und einigen anderen Repräsentationsbauten der Zeit, gelang es punktuell, an die spätantik-frühchristliche Tradition anzuschliessen oder diese in direkter Kontinuität fortzusetzen. Auch bei grossen Kloster- und Bischofskirchen stieg die Architektur wieder zu monumentaler Grösse auf. Zu den Charakteristika der frühmittelalterlichen Architektur zählte die neue Beachtung des Aussenbaus, die sich vor allem in mächtigen Westbauten (Turmgruppen) der Kirchen ausdrückte.

Das allzeit erwünschte «monolithische» Erscheinungsbild des monumentalen Sakralbaus konnte im Frühmittelalter zunächst nur durch Verputz erreicht werden, da die Bauwerke überwiegend in kleinen Materialien (vor allem Bruchstein) errichtet wurden. Höchsten Rang eines Bauwerkes signalisierten allerdings – wieder nach spätantiker Vorbild – monolithische Säulen, während bei kleineren Sakralbauten zwar oft auf das Schema der frühchristlichen Basilika zurückgegriffen wurde, jedoch mit gemauerten Pfeilern anstelle der aus einem Stück bestehenden Säulen. Von der Karolingerzeit bis zur Ottonenzeit (bis ins frühe 11. Jh.) entwickelte sich das architektonische Erscheinungsbild des Sakralbaus deutlich weiter, technisch kann man hingegen keine grossen Fortschritte konstatieren.

Dies änderte sich erst im Hochmittelalter mit der Baukunst der «Romanik», die gegen Ende des 10. Jahrhunderts einsetzte und bis weit ins 12., in manchen Ländern sogar bis zur Mitte des 13. Jahrhunderts reichte. Kennzeichen dieser Epoche war die Rückkehr des sichtbaren Werksteins, zunächst nur an hervorgehobenen Baugliedern wie Baukörperkanten, Gliederungselementen und Bauplastik, später dann flächendeckend im Zusammenhang mit dem Aufkommen der mehrschaligen Wandkonstruktionen, bei der sich steinsichtige Werkstein-Aussenschalen mit einem unregelmässigen Wandkern aus Bruchsteinmaterial verbinden. Die zweite grosse Errungenschaft des 11. Jahrhunderts war die Wölbung, vor allem im Sakralbau. Zur ersten Hochblüte gelangte sie mit der Einwölbung des Mittelschiffes des Speyerer Domes mit Kreuzgratgewölben um die Wende vom 11. zum 12. Jahrhundert. In der Spätromanik des 12. Jahrhunderts entwickelte sich schliesslich noch eine reiche Blüte der Bauplastik. Diese Schritte gingen alle einher mit deutlichen Fortschritten in der Steinbearbeitungstechnik, zum Teil in Rückgriff auf römische Vorbilder, zum Teil auch mit ganz neuen Methoden.

An dieser Stelle ist ein Wort zu den Bezeichnungen der unterschiedlichen «Baustile» angebracht: Von der Architekturgeschichtsschreibung wurden im 19. Jahrhundert einfache Periodisierungssysteme entwickelt, die mit «Stilphasen» wie «Frühromanik», «Spätgotik» identifiziert wurden. Diese Periodisierungssysteme, die mit der naiven Vorstellung einer «Frühphase», in der die Entwicklung langsam einsetzte, einer «Hochphase» der Blüte und Ausbreitung und einer zunehmend «dekadent» werdenden «Spätphase» einhergehen, können der geschichtlichen Entwicklung, die oft komplex war, unterschiedliche Erscheinungsformen und Techniken zur gleichen Zeit hervorgebracht hat, in jeder Region anders verlief und keineswegs einem Modell Aufstieg–Blüte–Verfall entsprach, nicht gerecht werden. Manchmal war die bautechnisch-architektonische Entwicklung gerade in den Spätphasen besonders intensiv. Beinahe jede Generation hat sich als Generation der Neuerer empfunden, die im Wettstreit mit den überlieferten Leistungen der Architektur neue, innovative Ideen umgesetzt hat. Daher sind all diese «Stilphasen» in der vorliegenden Vorlesung nur als «Grobcharakterisierung» der bautechnisch-architektonischen Entwicklung zu sehen, mit der ungefähr die Zeitstellung bezeichnet wird. Von einer «stilistischen Einheit» innerhalb der Phasen kann ebenso wenig ausgegangen werden wie von einer festen zeitlichen oder räumlichen Eingrenzung. Eine auf Jahrzehnte oder gar Jahre genaue Eingrenzung der Stile ergibt keinerlei Sinn.

Während die Gewölbebauten der Romanik noch sehr dicke und daher schwere Gewölbe zeigten, ging in der Folgezeit die Entwicklung hin zu dünneren Gewölbeschalen, was gleichzeitig schwächere Widerlager, grössere Fenster und somit eine reichere Belichtung der Innenräume ermöglichte. Dünnere Gewölbeschalen setzten die Verwendung regelmässigeren Steinmaterials voraus, um den Mörtelanteil im Gewölbemauerwerk zu reduzieren. Die Gewölbe wurden nunmehr vorwiegend in Backstein oder regelmässig bearbeitetem Naturstein errichtet. Aus den vorliegenden Ansätzen der romanischen Baukunst entwickelte sich – ausgehend von Frankreich – um die Mitte des 12. Jahrhunderts ein grosser Gegenentwurf zum auf die Säulenordnungen gegründeten Architektursystem der Antike – die Gotik (ca. 1150–1530). Die leuchtendsten Monumente der Gotik sind die grossen französischen Kathedralen, die in ganz Europa Nachahmung fanden und der gotischen Bautechnik und Konstruktion zum Siegeszug verhelfen. Architektonisch wie technisch ist die Gotik geprägt durch den systematischen Einsatz von Werkstein vom Sockel bis zur Turmspitze und durch die Einbindung aller Bauteile in ein durchgängiges System, in dem die ästhetische Gliederung des Bauwerks und seine statisch-konstruktive Realisierung zu einer gewissen Einheit fanden. Man hat an der Schwelle zur Moderne diese Einheit als Ausdruck eines «gotischen Rationalismus» interpretiert (Eugène-Emanuel Viollet-le-Duc, Étienne Boileau, Auguste Choisy) und in diesem zukunftsweisende Elemente erblickt, eine Interpretation, die durchaus einige Berechtigung hat. Als Inspirationsquelle der Moderne hat die Gotik daher bis heute grosse Bedeutung.

Die grösste internationale Verbreitung erreichte die gotische Architektur im 13. und 14. Jahrhundert, sie bestimmte das Bauen vom Baltikum bis Spanien, von England bis Sizilien. Aus dem ursprünglichen geschlossenen Architektursystem entwickelten sich unterschiedliche Varianten, vielfach auch als Reduktionen des ursprünglichen Konzeptes, welche die Übernahme in weniger monumentale Bereiche ermöglichten, von den Klosterkirchen der neuen, am Armutsideal orientierten Ordensgemeinschaften bis hin zu kleinen Stadtpfarrkirchen und Dorfkirchen, ja sogar bis zur Errichtung profaner Bauten wie namentlich Rathäuser. Im 15. Jahrhundert kam es nördlich der Alpen sowie in England und auf der iberischen Halbinsel zu einer zweiten Blüte der Gotik, der

sogenannten «Spätgotik», die aber in vielfacher Hinsicht ein ganz neues Kapitel in der Baukunst aufschlug, insbesondere in der nunmehr souveränen Beherrschung des Wölbens, in der Entwicklung neuer sakraler und profaner Bautypologien, was einherging mit deutlichen Fortschritten im Bau grosser hölzerner Dachkonstruktionen, aber auch im aufkommenden Einsatz des Materials Eisen für Verstärkungen von Mauerwerks- und Holzkonstruktionen. Auch ausführungstechnisch brachte das 15. Jahrhundert vielfache Neuerungen von der Hebeteknik bis zur Steinbearbeitung.

Während im «Norden», «Westen» und «Osten» die Spätgotik aufblühte, entstand im mediterranen «Süden», in Italien, im 15. Jahrhundert die «Renaissance». Sie knüpfte ästhetisch an die Antike an, setzte die bautechnisch-konstruktiven Errungenschaften des Spätmittelalters jedoch bruchlos fort. Jedoch kamen neue Leistungen hinzu, namentlich die Krönung des Sakralbaus durch die Kuppel, gewölbte säulengetragene Portiken als stadtbildprägende Elemente und die Entwicklung einer systematisch an den Erfordernissen der neuen Feuerwaffen orientierten Festungsbaukunst, die ähnlich stringente Regeln wie die Säulenordnungen oder das Wölbsystem der Gotik hervorbrachte. Ab dem 15. Jahrhundert tritt der Profanbau dem Sakralbau architektonisch und bautechnisch gleichrangig zur Seite, zunächst in den Palästen und Villen des Adels und des städtischen Patriziats.

Unsere Vorlesung wirft aber auch einen Blick auf die architektonisch vergleichsweise bescheidene Wohnbaukultur des Hoch- und Spätmittelalters. Trotz des geringeren Repräsentationsanspruchs wurden auch hier technisch ausgefeilte Bausysteme entwickelt, die optimal auf die Bedürfnisse des Wohnens und auf die lokal verfügbaren Ressourcen abgestimmt waren. Die daraus sich fast zwangsläufig ergebende besondere «Nachhaltigkeit» hat dazu geführt, dass hoch- und spätmittelalterliche Wohnbauten vielerorts bis ins 20. Jahrhundert ohne grundlegende Veränderung weitergenutzt werden konnten. Als Beispiel werden die Blockbauten des 13. und 14. Jahrhunderts im Schwyzer Talboden behandelt.

Das 16. und 17. Jahrhundert stehen ganz im Banne der Ausbreitung der neuen italienischen Architektursprache über ganz Europa. Die sogenannte «Renaissance», der «Barock» und der «Klassizismus» sind letztendlich unterschiedliche Facetten derselben Erscheinung. In dieser Epoche entwickelte sich eine Vielzahl von Bauaufgaben, die in repräsentativer Gestalt realisiert wurden. Die Zeit der Reformation und Gegenreformation und der Glaubenskriege in Europa leitete trotz aller Krisen und Notsituationen einen fundamentalen Aufstieg der Wissenschaft, eine Emanzipation vom Primat der Kirche und einen wirtschaftlichen und technologischen Aufschwung sondergleichen ein. Auch bautechnisch entfaltete sich eine Vielfalt neuer Konstruktionsarten, die in der Vorlesung schlaglichtartig beleuchtet werden.

Die ersten Erkenntnisse der «zwei neuen Wissenschaften» (Galilei 1638, *Discorsi e dimostrationi intorno a due nuove scienze*, gemeint sind Festigkeitslehre und Kinetik), die für das Bauwesen im 19. Jahrhundert grosse Bedeutung erlangen sollten, drangen nur langsam in die Baupraxis ein. Im 18. Jahrhundert prägte noch die erfahrungsbasierte Anwendung etablierter und neuer Bautechniken das Bild, während sich systematische Materialforschung, Statik und wissenschaftlich begründete Tragwerksentwürfe und Bemessungsverfahren erst im 19. Jahrhundert auf breiter Front durchsetzen konnten. Trotzdem lassen sich schon im 18. Jahrhundert eine vorher beispiellose Ausbreitung der Eisenverwendung in «bewehrtem Mauerwerk» und vielfältige Versuche zur Etablierung

neuer, «kostensparender» oder in irgendeiner Hinsicht «optimierter» Baukonstruktionen beobachten, von den eisenbewehrten Architraven der klassizistischen Portiken über Versuche, den Stampflehmbau auf breiter Front zu etablieren, bis zu innovativen Holzkonstruktionen aus Bohlenbögen, Gusseisentragwerken und ersten Konstruktionen aus geschmiedetem Eisen.

Im 18. Jahrhundert setzte mit Kernerrungenschaften wie der Eisenverhüttung mit Holzkohle, später dem Puddlings-Frischverfahren (Umwandlung von Roheisen in schmiedbaren, kohlenstoffarmen Stahl) und der Erfindung und Ausbreitung der Dampfmaschine in Europa die Industrialisierung ein. Die Industrialisierung brachte im 19. Jahrhundert eine Explosion der Vielfalt neuer Bauaufgaben mit sich, vom Bau von Bahnhöfen, Markt- und Fabrikhallen, öffentlichen Gebäuden bis hin zur kostengünstigen Produktion von Mietshäusern in den rasch wachsenden urbanen Zentren, zur Einführung von Infrastrukturen wie Wasserver- und -entsorgung, Häfen, Lagerhallen, Bildungsbauten wie Hochschulen und Bibliotheken. Die Vielfalt des «langen 19. Jahrhunderts», welches den Zeitraum 1789 (französische Revolution) bis 1914 (Ausbruch des Ersten Weltkrieges) umfasst, wäre nur in einer dezidierten Spezialvorlesung in der Tiefe zu erfassen. Hier begnügt sich die vorliegende Vorlesung mit einigen exemplarischen Schlaglichtern vor allem im Umfeld der Tragwerkskonstruktion mit den emanzipierten Baustoffen Stahl und Beton. Die Vorlesung endet mit dem Siegeszug, in dem die Kombination aus diesen beiden Werkstoffen die Industrialisierung des Bausektors als letzten grossen Sektors der Primärwirtschaft innerhalb weniger Jahre etwa zwischen 1900 und 1910 radikal vollzog.

Im vorliegenden Skriptum ist jedem Kapitel eine Zusammenfassung der wichtigsten Punkte nachgestellt. Diese Zusammenfassungen sollen den Stoff noch einmal kurz rekapitulieren. Sie sind grau hinterlegt. Ausserdem wurde – wenn dies möglich war – Baudenkmälern, die von Zürich aus im Rahmen eines Ausflugs erreichbar sind, eine gewisse «Vorzugsbehandlung» zuteil. **Diese Abschnitte des Skriptums sind durch blaue Schrift besonders hervorgehoben.** Wenn die Studierenden tatsächlich nach der Lektüre des vorliegenden Skriptums das eine oder andere dieser Bauwerke besuchen und vielleicht mit «neuen Augen» ansehen würden, wäre der Zweck der Einführungsvorlesung in vollem Umfang erreicht. Besonders wichtige Eigennamen, Fallbeispiele, Fachbegriffe oder Jahreszahlen, an deren Auswendiglernen nichts vorbeiführt, sind im vorliegenden Skriptum durch Unterstreichen hervorgehoben.

2. Der griechische Tempel – Grosssteinbauweise in Perfektion (6.–3. Jh. v. Chr.)

Zu den ganz wenigen Bauwerken aus altgriechischer Zeit, die in gutem Erhaltungszustand überliefert sind, gehören die Sakralbauten, also die «Tempel». Errichtet aus Steinen wahrhaft zyklischer Dimension, haben sie sich allen mutwilligen Zerstörungen wie Brandschatzung oder Steinraub, aber auch natürlichen Einflüssen wie Erdbeben und Witterung zum Trotz bis heute in anschaulicher Form erhalten. Genau dieses «Bauen für die Ewigkeit» war natürlich seinerzeit in der Antike beim Sakralbau auch primär intendiert. Heute dominieren diese Sakralbauten – die Tempel – unsere Vorstellung vom altgriechischen Bauwesen. In Wirklichkeit errichtete man aber natürlich auch damals eine Vielzahl von Gebäuden unterschiedlichster Typologie, vom privaten Wohnhaus über öffentliche Gebäude (Rathäuser, Theater, etc.) bis hin zu Infrastruktureinrichtungen wie Brücken oder Markthallen. Bei all diesen Bauaufgaben wurden allerdings leicht zu beschaffende und vor allem zu transportierende und daher weitaus kostengünstigere Materialien wie Steine kleineren oder kleinsten Formates, Lehmziegel oder Holz bevorzugt. All diese Bauwerke haben den zerstörerischen Kräften viel weniger widerstehen können als die Grosssteinkonstruktionen der Tempel, die somit heute das Bild der griechischen antiken Architektur bestimmen.

Mit dem «für die Ewigkeit» konzipierten Tempel hat man in altgriechischer Zeit ein Thema gesetzt, das für die gesamte nachfolgende europäische Baugeschichte massgeblich bleiben sollte. Der ewige Tempel zeichnet sich insbesondere durch eine quasi «fugenlose» (monolithische, wie aus einem einzigen Stein wirkende) Grosssteinbauweise aus, bei der die schiere Grösse der Blöcke eine Zerstörung schwierig macht. Auch bei Sakralbauten späterer Zeit – egal ob heidnisch oder christlich – eiferte man diesem Vorbild noch viele Jahrhunderte lang nach: Das Idealbild des Sakralbaus blieb das «wie aus einem einzigen Guss» aussehende Steinbauwerk.

Die Entstehung der Architektur des griechischen Tempels war eng verknüpft mit der kultischen Gesamtsituation: Der Gottesdienst fand in aller Regel unter freiem Himmel als Opferfest statt. Auf einem Altar wurde ein Brandopfer gegeben («Grillieren» eines Opfertieres); an die Opferhandlung schloss sich sodann ein Festmahl an. Ein Tempelgebäude mit einem Kultbild benötigte man dazu nicht zwingend, es reichte ein in der Regel durch eine Ringmauer (Peribolos) abgeschränkter heiliger Bezirk (Temenos) unter freiem Himmel. Der Tempel war lediglich die Wohnung des Gottesbildes, er wurde (fast) nur von den Priestern betreten, war aber nicht der Ort der religiösen Versammlung. Zwar gab es auch im Inneren der Tempel manchmal Altäre, diese dienten aber nur dem privaten Opfer im engsten Kreis (z.B. Gabe von Votivgegenständen oder Libation, also flüssiges Opfer), nicht dem Brandopfer oder dem allgemeinen Gottesdienst. Schon in der Antike spottete man über die sehr beengten Platzverhältnisse im Inneren der Tempel, die nur gerade knapp ausreichten, um das Götterbild zu beherbergen: Der Zeus im Tempel von Olympia würde sich den Kopf an der Decke anstossen, wenn er von seinem Thron aufstünde, schrieb der Historiker Strabon im 1. Jh. v. Chr. Dabei handelte es sich gerade beim Zeustempel von Olympia um einen derjenigen griechischen Tempel mit der aufwendigsten Innenraumgestaltung.

Es ergab sich also fast von selbst eine Tempelarchitektur, bei der die Aussenwirkung viel bedeutender war als die Innenraumszenierung. Der griechische Tempel, wie wir ihn heute kennen, entstand um 600 v. Chr. aus bescheidenen Vorläufern: Diese waren noch in Bruchstein, Lehmziegeln und Holz konstruiert. In der Regel umgab als Witterungsschutz

eine nach aussen offene, von hölzernen Stützen getragene, rings umlaufende «Ringhalle» (Peristasis) den eigentlichen Wohnraum des Kultbildes, der dem Urbild des altgriechischen Wohnhauses nachgebildet war (Megaron, Einraum-Haus mit offener Vorhalle).

Mit der Übersetzung dieses Modells des Sakralbaus in Steinarchitektur ging eine weitgehende «Normung» des Erscheinungsbildes einher: Der Tempel wurde zu einem in der Regel West-Ost orientierten, länglich-rechteckigen, mit einem Satteldach überdeckten Gebäude, das auf einen in der Regel dreistufigen Unterbau aufgesockelt war. Der innere Raum (Naos) war durch eine Ringhalle (Peristasis) umgeben, die gegen Westen und Osten gleichartige Giebelfassaden aufwies. Das Tempelinnere wurde von der östlichen Giebelfassade her betreten. Östlich vor dieser Eingangsfassade – manchmal axial ausgerichtet – stand der grosse Brandopferaltar. Das Innere des Tempels war nur schwach belichtet, da der Tempel in der Regel keine Fensteröffnungen aufwies, sondern nur durch die Eingangstür und allenfalls durch die Dachdeckung aus durchscheinenden Marmorplatten Licht empfing. Im Inneren des Naos fanden sich nur bei ganz besonders monumentalen Tempeln (z.B. in Olympia, Athen, Paestum, Selinunt) Säulenstellungen. Sie dienten einerseits der Inszenierung besonders prachtvoller Kultbilder, andererseits waren sie aber auch rein technisch notwendig, um besonders grosse Innenräume überhaupt überdachen zu können (bei manchen Tempeln, den «Hypäthraltempeln», blieb der Innenraum aus diesem Grund ganz ohne Dach, z.B. beim gigantischen Apollon-Heiligtum von Didyma in Kleinasien).

Schon im späten 7. Jh. v. Chr., also mit den ersten Steintempeln überhaupt, bildeten sich einige wenige «Standardformen» der Tempelarchitektur heraus, deren Verbreitungsräume etwa mit den Siedlungsgebieten der verschiedenen griechischen Stämme übereinstimmten: In der Ägäis und im östlichen Mittelmeerraum etablierte sich die ionische Säulenordnung, im Mutterland und in den durch griechische Siedler gegründeten Kolonien im Westen (Italien, Sizilien) hingegen die dorische. Schon die ältesten erhaltenen steinernen dorischen Tempel zeigen Charakteristika, die sodann über Jahrhunderte erhalten blieben: Die Giebelfronten weisen typischerweise 6 Säulen auf, die Längsseiten mindestens 13 (in Sizilien und bei allen frühen Tempeln teils auch deutlich mehr). Der Naos ist in diese Ringhalle durch axiale Bezugnahme auf die Säulenstellung eingespannt. In der Regel gibt es eine innere Vorhalle (Pronaos), die zwischen Wandzungen (Anten) noch einmal zwei Freisäulen aufweist. Von hier aus betritt man den eigentlichen Innenraum (Cella). Aus Symmetriegründen trat manchmal auf der westlichen «Rückseite» des Tempels eine ähnliche, jedoch blinde (nicht mit dem Inneren verbundene) innere Vorhalle (Opisthodom) hinzu. Innen in der recht engen Cella stand die Skulptur der verehrten Gottheit. Hinter dem Götterbild versteckte sich insbesondere bei den Tempeln Siziliens oft noch eine Art «Schatzkammer» oder «Allerheiligstes» (Adyton), wohl zur Aufbewahrung der wertvollsten Votive (Opfergaben). Typische Gesamtabmessungen eines monumentalen altgriechischen dorischen Tempels sind etwa 24 x 50 m (es gibt natürlich auch deutlich grössere und kleinere). In Sizilien nahmen die Tempel schon im 6. Jh. v. Chr. teils gigantische Ausmasse an und wiesen dann auch 8 anstatt nur 6 Frontsäulen auf (z.B. Tempel G in Selinunt). Die Zahl der Frontsäulen war jedoch immer gerade (einzige Ausnahme ist die fälschlich «Basilica» genannte Tempelruine in Paestum in Mittelitalien, die 7 Frontsäulen hat). 6 Frontsäulen waren andererseits das Minimum, um eine Ringhalle zu ermöglichen. Die Anzahl der Säulen an den Längsseiten ist meist ungerade.

In wenigen Jahrzehnten um 600 v. Chr. herum entstand quasi «aus dem Nichts» der monumentale Tempel in Grosssteinbauweise. Dabei handelte es sich jedoch um keinen Zufall. Einerseits begann um diese Zeit der Aufstieg der griechischen Städte rings um die Ägäis zu den massgebenden politischen und wirtschaftlichen Mächten im östlichen Mittelmeerraum. Zudem hatten die Griechen die monumentalen Tempel des alten Ägypten kennengelernt, die zwar ganz andere Formen aufwiesen, jedoch ebenfalls aus gigantischen Steinen bestanden und bei den Griechen tiefen Eindruck hinterlassen haben müssen. In Ägypten genau wie in weiten Teilen der griechischen Welt war insbesondere Langholz ein knapper Baustoff, während Lehm und Steine jeglicher Dimension meist in erreichbarer Nähe der Städte gewonnen werden konnten. Somit war Stein ein sich anbietender Baustoff für die Bauwerke höchsten Ranges und höchster Dimension.

Zu den ältesten erhaltenen griechischen Steintempeln gehören der Apollon-Tempel in Korinth und der Apollon-Tempel von Syrakus auf Sizilien. Diese Bauten leiten das Jahrhundert der «Archaik» ein, das Zeitalter Solons (6. Jh. v. Chr.). Es folgte im 5. und 4. Jh. v. Chr. die «Klassik», die Hochzeit Athens unter Perikles, die Zeit der grössten Blüte der altgriechischen Kultur, die Epoche der Philosophen Sokrates und Platon, der Dichter Aischylos, Euripides, Sophokles und Aristophanes und des Bildhauers Phidias.

Gerade die allerersten archaischen Tempel zeigen die Grosssteinbauweise besonders eindrucksvoll. Ihre Säulen sind «Monolithe», d.h. die Schäfte bestehen jeweils aus einem einzigen Stein. Ein solcher Säulenschaft von rund 1.5 m Durchmesser und rund 6–7 m Höhe wiegt knapp 30 t. Das Kapitell (beim dorischen Tempel bestehend aus Echinus und Abakus) ist natürlich aus einem eigenen Steinblock gefertigt. Ein Kapitellblock einer dorischen Säule mittlerer Grösse wiegt etwa 5–6 t. Um einen Säulenschaft von 30 t Gewicht aufzustellen, ist nicht unter allen Umständen besonders ausgefeilte Technologie nötig, da man ihn dazu ja nur in die Vertikale kippen, jedoch nicht anheben muss. Das Aufsetzen des Kapitells hingegen erfordert einigermaßen leistungsfähige Hebezeuge und entweder eine grössere Anzahl von Arbeitern, die alle koordiniert arbeiten, oder den Einsatz von Hilfsmitteln wie Flaschenzügen (literarisch sicher nachgewiesen ist der Flaschenzug erst in der pseudoaristotelischen Mechanik, die im frühen 3. Jh. v. Chr. entstanden ist). Diese Überlegungen verdeutlichen, dass der Bau eines Tempels mit monolithischen Säulen eine hochentwickelte arbeitsteilige Gesellschaft und Technologie voraussetzt. Die Dimensionen der Tempel nahmen bald derart zu, dass man schnell von monolithischen Säulenschäften zu «aufgebauten» Säulenschäften aus aufgeschichteten zylindrischen Säulentrommeln überging. Am Tempel C der Akropolis in Selinunt (6. Jh. v. Chr.) wechselte man während der Bauzeit von der einen Technik zur anderen. Ab der Mitte des 6. Jh. v. Chr. verwendete die griechische Architektur kaum mehr monolithische Säulen, vielmehr wurden die Säulen aus Trommeln zur Regel. Durch die Verwendung von Trommeln erleichterte man zwar die Steingewinnung und den Transport, handelte sich jedoch neue Probleme des ausreichend genauen Versatzes grosser Stücke in grosser Höhe ein.

Die gesamte Grosssteinbauweise des altgriechischen Tempels ist darauf abgestimmt, ein möglichst fugenloses und monolithisches Erscheinungsbild zu bewirken. Dies äussert sich zunächst im nahezu völligen Verzicht auf Mörtel. Beim Mauerwerksbau ist der Mörtel eigentlich unentbehrlich, um einen gleichmässigen Abtrag der Lasten von Steinschicht zu ermöglichen. Der Mörtel, der üblicherweise viel weicher (verformbarer)³ und viel

³ Hier reden wir mit dem Ingenieur-Fachbegriff von «Elastizität».

weniger fest (tragfähig)⁴ als das Steinmaterial ist, gleicht die Unebenheiten der aufeinandergesetzten Steine aus und verhindert deren konzentrierten, punktuellen Kontakt, der gerade bei grossen Natursteinblöcken schnell zum Brechen infolge lokaler Biegebeanspruchung und Überlastung führt. Will man nun gänzlich ohne Mörtel bauen, so müssen die Steine passgenau mit völlig glatten Kontaktfugen auf- und aneinandersitzen. Das setzt einen hohen Stand der Steinbearbeitung voraus. Da es mit grossem Aufwand verbunden ist, die gesamte Kontaktfläche derart perfekt zu bearbeiten, wurde (vor allem an den Stossfugen, also den vertikalen Fugen zwischen nebeneinanderliegenden Steinen derselben Schicht) Gebrauch gemacht vom Trick der «Anathyrose» (Fugensaum, Pressfuge), also der ganz exakten Ausarbeitung eines glatten Randsaums und einer leicht vertieften restlichen Fugenfläche.

Der griechische Tempel zeigt alle nur denkbaren Finessen des mörtellosen Bauens mit sehr grossen Steinen. Die Schwierigkeiten beginnen schon im Steinbruch. Man benötigt ausreichend grosse, homogene und fehlerfreie Steinblöcke. Steinblöcke werden vorzugsweise so ausgearbeitet, dass die Form und Abmessung des Blocks sich nach der natürlichen Schichtung und Klüftung des Gesteins⁵ richtet und der fertige Block längs einer Schichtfuge vom anstehenden Fels gelöst werden kann. Bei Quadern erfolgt das Abspalten durch Keile, die in schmale und flache Rinnen eingetrieben werden, die mit dem Pickel geschlagen werden («geschrotet»). Säulen und Säulentrommeln wurden hingegen in voller Höhe durch Schrotgräben vom anstehenden Gestein getrennt und dann erst abgespalten und umgelegt.

Als nächstes mussten die Blöcke zur Baustelle transportiert werden. Dieser Transport stellte stets das grösste Risiko für den Block dar. Ganz grosse Steine wie Säulenschäfte oder Säulentrommeln mussten zum Zielort gerollt werden, entweder direkt (Säulentrommeln, versehen mit einer Art «Nabe», in die eine Deichsel eingehängt werden konnte) oder eingespannt in einen entsprechenden Rahmen (lange Steinbalken, z.B. Architrave). Da die Gefahr einer Beschädigung auf dem Transportweg gross war, liess man an allen Werkstücken einen «Werkzoll», eine Schutzschicht («Bosse») von einigen Zentimetern Stärke. Dieser «Werkzoll» verblieb so lange wie möglich am Stein. Nur an den direkt beim Aufschichten benötigten Fugen (Lagerfugen, Stossfugen) wurden die Blöcke schon vor dem Versatz perfekt geglättet, alle anderen Seiten wurden erst auf der Baustelle oder sogar erst in eingebautem Zustand endgültig bearbeitet. Besonders lange liess man den «Werkzoll» oder die «Bosse» an denjenigen Bauteilen stehen, die sich weiter unten am Bauwerk befanden – fiel ein Stein von weiter oben herunter, dann waren diese Bauteile besonders gefährdet, und überdies waren weit unten eingebaute Teile bei einem fortgeschrittenen Bau kaum mehr auszutauschen. Wollte man nicht in Kauf nehmen, schon am halbfertigen Tempel beschädigte Bauteile zu haben, mussten die unteren Bauteile wirkungsvoll geschützt werden – eben durch Belassen des «Werkzolls» bis kurz vor Fertigstellung.

Die grössten Bauteile, die am Kran hängend in der Höhe versetzt werden mussten, waren die Architrave (die tragenden Steinbalken, die von Säule zu Säule spannen und den Rest des «Gebälkes» tragen), und die Eckstücke der weit vorspringenden Kranzgesime

⁴ Hier reden wir von «Festigkeit».

⁵ In der Geologie sind Schichtfugen solche Fugen/Diskontinuitäten, die durch den natürlichen Ablagerungsvorgang eines Sedimentgesteins entstehen. Klüfte sind Risse/Fugen/Diskontinuitäten, die mehr oder weniger orthogonal auf den Schichtfugen stehen und durch thermisch-mechanische Beanspruchung, Gesteinsbildung und Erosion entstehen.

(Geison-Eckstücke). Diese Blöcke wurden fertig ausgearbeitet versetzt, da ja nicht zu befürchten war, dass irgendetwas von oben auf sie herabfallen würde. Die Spannweite der Architrave musste materialbedingt gering bleiben: Naturstein besitzt zwar eine grosse Druckfestigkeit, kann jedoch bei Zugbelastung nur etwa 10% der auf Druck übertragbaren Last aufnehmen. Bei einem balkenartig freitragend angeordneten, auf Biegung beanspruchten Steinblock treten sowohl Druck- als auch Zugbeanspruchungen auf. Der limitierende Faktor für die Spannweite und Tragkraft eines steinernen Balkens ist die Zugfestigkeit des Steines. Obwohl manche Natursteine – vor allem Hartgesteine wie Marmor oder Granit – eine durchaus beachtliche Zugfestigkeit aufweisen können, lässt sich die Grösse und Spannweite eines steinernen Balkens nicht beliebig steigern: Je grösser der Steinbalken wird, desto grösser ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass er irgendeine unsichtbare Schwachstelle aufweist, z.B. eine kleine Störung durch einen Einschluss oder einen Haarriss, an der er dann unvorhersehbar bricht. Daher werden Steinbalken sehr selten für freie Stützweiten von mehr als etwa 3 m verwendet. Das entspricht etwa den Stützweiten der Architrave an den gewaltigsten griechischen Tempeln.

Entsprechend der Position am Bauwerk und dem Schutz durch eine «Bosse» konnten bei Heben und Rücken der Blöcke unterschiedliche Techniken angewendet werden: Steine im Unterbau (z.B. am Fundament oder am Stufenbau) konnten mittels unterlegter Rollen herbeigebracht und sodann mit Hebeln und Stangen an die präzise endgültige Position gewuchtet werden. Bei dieser Art des Versatzes halfen nasenartige Vorsprünge, die man auf den Sichtseiten der Steine noch stehen liess (Hebebossen), und «Wuchtekehlen» an der Steinunterseite, die nachher nicht mehr einsehbar waren. Ausserdem konnte man an später nicht mehr einsehbaren Steinoberseiten kleine Löcher zum Ansetzen der Hebel zur Positionierung der nächsten Steinschicht anbringen (Stemmlöcher). Die genaue Position des Steinversatzes wurde auf der Oberfläche der darunterliegenden Schicht durch Ritzlinien angegeben. All diese Vorkehrungen erlauben auch heute noch eine präzise Rekonstruktion der Methode und Reihenfolge des Steinversatzes. Die Lektüre und Interpretation der Versatzspuren gehörte zu den ersten Leistungen der sogenannten «historischen Bauforschung», einer Disziplin, die anlässlich der archäologischen Untersuchungen an altgriechischen Tempelbauten entstanden ist (u.a. Robert Koldewey um 1900).

Weiter oben am Bauwerk befindliche Steine mussten mit Hilfe eines Kranes und vermutlich unter Verwendung von Flaschenzügen versetzt werden. Zum Anhängen der grossen Blöcke an das Kranseil kamen verschiedene Techniken zum Einsatz: Wieder konnte man das Seil z. B. an extra stehengelassenen «Nasen» des Blockes befestigen; bei Architrav- und Geisonblöcken brachte man hingegen typischerweise in den künftigen Stossfugen u-förmige «Seilrinnen» an, in die das Seil zum Versatz eingelegt und aus denen es nachher problemlos herausgezogen werden konnte. Die elaborierteste Technik schliesslich war das Anhängen der Blöcke an das Seil mit Hilfe eines «Wolfes», einer keilförmigen Holz- oder Metallvorrichtung, die in ein entsprechendes Loch auf der Oberseite des Blockes eingesetzt wurde. Auch der Wolf kam spätestens im 5. Jh. v. Chr. schon zum Einsatz.

Wo es ging, verzichtete man natürlich auf das Heben allzu grosser Blöcke und «mauerte» mit kleineren Quadern. Möglich war dies vor allem in der mittleren Zone des Gebälkes, dem sogenannten «Fries», der ohnehin eine feinteiligere Gliederung und Dekoration aufwies. Die Grösse der als Architrav verwendeten Blöcke konnte ohne Einbusse bei der

Tragfähigkeit halbiert werden, wenn der Architrav «zweireihig» aus zwei hochkant nebeneinander gestellten Steinen gebildet wurde, eine Bautechnik, die im 5. Jh. v. Chr. allgemein üblich war. Das Kranzgesims hingegen erforderte grosse Blöcke, weil es nach aussen weit vorkragen sollte und die auskragenden Steine durch ein entsprechend grosses und schweres hinteres, auf dem Fries aufliegendes Stück im Gleichgewicht gehalten werden mussten. Um den Zusammenbau des Kranzgesimses zu erleichtern, wurde das Kranzgesims allerdings meist aus vielen schmalen auskragenden Blöcken nebeneinander gebildet. Nur der Eckstein des Geisons musste ein ungewöhnlich grosser Block bleiben, da er ja zweiseitig auskragte und daher ein adäquates Gegengewicht in der inneren Ecke brauchte.

Aus je mehr Stücken und je kleinteiliger eine Natursteinarchitektur zusammengesetzt wird, desto mehr ist sie in Gefahr, bei Einwirkungen wie Sturm oder Erdbeben «aus den Fugen» zu geraten. Bei einem vermörtelten Mauerwerk sorgt die Kohäsion des Mörtels und dessen Adhäsion an den Steinen dafür, dass die Einzelteile sich nicht so leicht gegeneinander verschieben können und Erschütterungen durch Mörteldeformation gedämpft werden. Bei unvermörteltem Mauerwerk machen sich hingegen schon kleine Verschiebungen hässlich bemerkbar. Daher wurde die altgriechische Grosssteinarchitektur durch allerlei metallische Verbindungsmittel verstärkt, die unsichtbar eingebaut wurden. Zu unterscheiden sind «Dübel», das sind eiserne Stifte, die über die Lagerfuge hinweg die Steine zweier Schichten miteinander verbinden, und «Klammern», das sind eiserne Haken, die über die Stossfuge hinweg die Steine derselben Schicht zusammenhalten. Dübel finden sich im altgriechischen Tempel zum Beispiel zwischen den Trommeln der Säulen. Klammern sind insbesondere bei hochkant eingebauten Steinplatten wie beim zweireihigen Architrav unverzichtbar, um ein Kippen der schmalen Steine zu verhindern.

Die Dübel und Klammern der altgriechischen Steinarchitektur wurden auch in späteren Zeiten noch unendlich oft kopiert. Um zwei grosse Steinblöcke durch einen Dübel zu verbinden, müssen die Steine an der gemeinsamen Fuge eine entsprechende Bohrung aufweisen, in die der Dübel eingesetzt werden kann. Sodann muss der Dübel vor dem Versatz des oberen Blocks in der Bohrung eines der beiden Blöcke befestigt werden. Hat man den oberen Block abgelassen, so muss der Dübel auch im anderen Block fixiert werden. Dübel können aus Holz oder Metall sein. Als «Kleber» zwischen Stein und metallischen Dübeln hat man in der Antike und auch in späterer Zeit sehr oft Blei verwendet. Blei wird schon bei relativ niedriger Temperatur flüssig. Somit kann man z.B. in die Bohrung des unteren Blockes heisses, flüssiges Blei einfüllen und sodann den oberen Block mit dem daran schon vorab befestigten Dübel ablassen, so dass der Dübel in das heisse Blei eintaucht und dadurch automatisch innerhalb weniger Sekunden befestigt wird. Oftmals findet man gerade in der Fuge zwischen Basis und Säulenschaft oder in derjenigen zwischen Kapitell und Schaft auch extra ausgearbeitete «Vergusskanäle», durch die das heisse Blei noch nachträglich von aussen in die Fuge bzw. deren untere Bohrung eingegossen werden konnte. Einfacher – jedoch oft ebenfalls unter Verwendung von Blei – liessen sich Klammern in entsprechenden Bohrungen der zusammenzuhaltenden Blöcke fixieren. In manchen Fällen sorgte auch die Form des Hakens selbst schon für ausreichenden Zusammenhalt (Schwalbenschwanzklammern aus Metall oder Hartholz).

Sobald der Tempel im Rohbau fertig war – sobald also die letzten Blöcke ganz oben auf das Kranzgesims aufgesetzt waren –, konnten die noch als «Rohlinge» belassenen, weiter

unten liegenden Bauteile ebenfalls in ihren Endzustand gebracht werden. Insbesondere wurden erst jetzt die Säulen mit ihren Rillen («Kanneluren») versehen und die Blöcke des Unterbaus von ihrem «Werkzoll» befreit. Schon in der Antike kamen bei den Steinmetzen für diese «Feinarbeiten» des Einebnens und Glättens dieselben Werkzeuge zum Einsatz wie auch in späterer Zeit, nämlich zum einen der durch einen Holzhammer («Klüpfel») angetriebene Meissel («Eisen» genannt), zum anderen ein beilartiges Werkzeug (von den Steinmetzen «Fläche» genannt), das beidhändig geführt wurde.

Je nach Beschaffenheit des lokal vorhandenen Steinmaterials wirkte der Tempel nach diesen Arbeiten mehr oder weniger «monolithisch», d.h. die Steine lagen passgenau und ohne sichtbare Fugen neben- und übereinander. Besonders präzise bearbeitbar und dauerhaft sind Hartgesteine, insbesondere der in der Ägäis vielfach verfügbare Marmor. Marmor ist ein sehr dichtes metamorphes Gestein, das in geologischen Prozessen aus Kalkstein entstanden ist. Unter hohem Druck und unter hoher Temperatur bilden sich in diesem Ausgangsmaterial Kristalle aus Calcit (Kalkspat, CaCO_3). Marmor ist somit ein feinkörnig-kristallines Material. Im griechischen Mutterland bevorzugte man wegen seiner Präzision und Haltbarkeit Marmor als Material für den Tempelbau. Im Westen, in Sizilien, war bestenfalls ein harter Kalkstein verfügbar, der den Eigenschaften eines Marmors entfernt nahekam (Syrakus). Meist hatte man es jedoch mit porösen Sedimentgesteinen zu tun, die verwitterungsanfällig waren (Agrigent, Selinunt, Paestum). Um den mit diesen Steinen errichteten Tempeln dennoch das Aussehen eines präzise gefügten Marmorbaus zu verleihen, wurde die gesamte Tempelarchitektur in einem letzten Schritt mit einer dünnen Putzschicht aus feinstem Kalkmörtel überzogen. So wirkte auch der aus mässigem Steinmaterial errichtete Tempel wie ein sorgfältig ausgeführter Marmorbau. Punktuell wurde die weisse Haut des Tempels – auch beim unverputzt bleibenden Marmorbau – dann noch farbig bemalt («gefasst»).

Die aus den grossen Steinen gefügten Tempel des 6. und 5. Jahrhunderts v. Chr. haben bei der Nachwelt einen unauslöschlichen Eindruck hinterlassen. Nicht nur ihre stringente architektonische Gestaltung in Grund- und Aufriss (ionische und dorische Säulenordnung), sondern auch ihre Bautechnik ist später oftmals imitiert worden – meist jedoch mit ganz anderen technischen Mitteln. Manche technologischen Errungenschaften der mörtellosen Fügung von Naturstein haben aber auch die Jahrtausende überdauert und sind in ähnlicher Form auch in späteren Zeiten immer wieder angewendet worden. Das gilt insbesondere für die passgenaue Ausarbeitung des Fugensaums (Pressfuge) und die Verwendung von metallischen, mit Blei vergossenen Dübeln und Klammern sowie für die Hilfsmittel, mit denen die grossen Blöcke am Bauwerk versetzt wurden sind (Wolf, Steinzange).

Zusammenfassung:

Dank der Bauweise mit riesenhaften Steinblöcken haben sich von der altgriechischen Baukunst vor allem die Sakralbauten bis heute erhalten. Das Bauen mit grossen Steinen bringt besondere technische Ansprüche von der Steingewinnung im Steinbruch über den Transport zur Baustelle bis zur Steinbearbeitung und dem Versatz der Werkstücke vor Ort mit sich. Diese wurden am Beispiel des altgriechischen Tempels erläutert, der als reine Grosssteinkonstruktion ohne Verwendung von Mörtel errichtet worden ist und in dieser Bautechnik ausgezeichnete Konstruktionsmöglichkeiten gefunden hat. Die altgriechischen Grosssteintempel sind eines jener Paradigmen, die die nachfolgende europäische Baugeschichte über Jahrtausende hinweg immer wieder befruchtet haben.

3. Bauen in altrömischer Zeit (2. Jh. v. Chr.–3. Jh. n. Chr.) – «kleine Materialien» und Mörtel

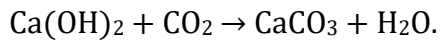
Die baugeschichtlichen Hinterlassenschaften der altrömischen Zeit bilden ein fast perfektes Gegenstück zu jenen der altgriechischen Antike: Überall im ehemaligen römischen Weltreich finden sich bis heute zahlreiche Ruinen von Bauwerken unterschiedlichsten Typs: Zweckbauten wie Wasserleitungen, Brücken, Stadtmauern und Stadttore; öffentliche Bauten wie die Badeanlagen (Thermen), Theater und Amphitheater; Sakralbauten (Tempel); Grabbauten und Siegesmonumente. Die vergänglichsten Konstruktionen waren natürlich wiederum jene der privaten Wohnhäuser. Dennoch haben sich selbst Ruinen von Mietskasernen und privaten Häusern unterschiedlichen Rangs erhalten, die letztgenannten allerdings vor allem in den Städten Pompei und Herculaneum, die durch den einzigartigen Unglücksfall des Vesuvausbruchs im Jahre 79. n. Chr. sozusagen mitten aus dem Leben gerissen und für die Nachwelt konserviert wurden. Selbst dort, wo heute oberirdisch nur noch geringe römische Reste zu sehen sind, sind oftmals ganze Stadtanlagen von der römischen Ursprungsplanung geprägt.

Wie konnte es nun dazu kommen, dass sich von den Bauten der Römerzeit so viel mehr Substanz erhalten hat als von den altgriechischen Bauten? Dafür sind nicht nur ein paar Jahrhunderte Altersunterschied und die ungleich grössere und tiefergehende Ausbreitung der römischen Kultur rings um den Mittelmeerraum und weit darüber hinaus (von England bis ins Zweistromland) massgebend, sondern vor allem auch die römische Bautechnik und die oftmals problemlose Adaption altrömischer Bauwerke für neue Zwecke.

Plakativ und vereinfachend könnte man die altrömische Epoche als die ganz grosse Zeit des Bauens mit ganz «kleinen Materialien» bezeichnen. Dieser Begriff («petits matériaux») bezeichnet im Französischen die Baustoffe Bruchstein, Kleinquader, Beton, Lehm und Backstein. «Kleine Materialien» sind all jene Baustoffe, die in handlichen Einheiten verfügbar sind und von einem einzelnen Arbeiter ohne Hilfe direkt transportiert und eingebaut werden können. Zum Beispiel orientiert sich bis heute das Format von Backsteinen an diesen Vorgaben: Historische Vollziegel ohne Löcher hatten jahrhundertlang etwa Abmessungen von 1 Fuss \times $\frac{1}{2}$ Fuss \times $\frac{1}{4}$ Fuss. Solch ein Stein wiegt etwa 6 kg und kann daher vom Maurer in der einen Hand gehalten und versetzt werden, während die andere Hand mit der Kelle den Mörtel aufträgt. Auch die Grösse des Steines ist so, dass man ihn mit einer einzigen Hand gut halten kann.

Allein mit lose aufgeschichteten «kleinen Materialien» lässt sich allerdings kein dauerhaftes Gebäude errichten. Der kleinste Stoss wirft alles durcheinander und bringt das Bauwerk zum Einsturz. Schlüssel zum Bauen mit «kleinen Materialien» ist daher die Verwendung von Mörtel: Mörtel füllt die Räume zwischen den kleinen Steinen, gleicht ihre Unregelmässigkeiten aus, sorgt durch seine Kohäsion und Festigkeit für den Zusammenhalt der ganzen Konstruktion und ermöglicht einen gleichmässigen Lastabtrag. Kernbestandteil jeden Mörtels ist das Bindemittel. Im Verlaufe der Baugeschichte hat man mit unterschiedlichsten Bindemitteln experimentiert, von Lehm über Asphalt bis zu Gips und Zement. Die bei weitem grösste Erfolgsgeschichte war dabei dem Kalk beschieden. Kalkmörtel wird aus sogenanntem gelöschtem Kalk (Calciumhydroxid Ca(OH)_2) und Sand hergestellt. Das Bindemittel ist hierbei der gelöschte Kalk, während der Sand als Füllstoff (Einsparung von Bindemittel) und zur

Verhinderung von Schwundrissen beim Erhärten des Bindemittels dient. Das Erhärten von Kalkmörtel erfolgt durch die Reaktion des Calciumhydroxids $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mit dem Kohlendioxid (CO_2) der Atmosphäre:

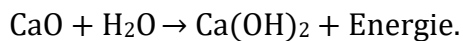


Es entstehen dabei dicht verfilzte mikroskopisch kleine Kalkspatkristalle (CaCO_3 , Calcit), die den Zusammenhalt der Mörtelmasse bewirken. Kann kein Kohlendioxid zutreten, so wird der Mörtel nicht erhärten. Dies bedeutet: Kalkmörtel wird niemals fest, wenn man ihn zum Beispiel im Unterwasser-Bau einsetzt. Er wird nur extrem langsam fest, wenn man ihn in dickwandigen Bauteilen einsetzt. Ausserdem wird er auch nicht fest, wenn der Mörtel zu trocken oder zu nass eingebaut wird. Ist der Mörtel zu nass, kann wiederum keine Luft zutreten. Ist der Mörtel völlig staubtrocken, so findet die oben dargestellte Reaktion nicht statt, weil diese voraussetzt, dass das Calciumhydroxid wenigstens teilweise in wässriger Lösung vorliegt. Alle diese Bedingungen schränken den Einsatzbereich von Kalkmörtel deutlich ein. Wunderbar eignet er sich zum Beispiel zum Verputzen (dünne äussere Wandbekleidung) oder für vergleichsweise dünne Wand- und Gewölbekonstruktionen, vor allem dann, wenn diese auch noch aus porösen Steinen wie Backsteinen bestehen, die zusätzlich den Luftzutritt erleichtern. Das Erhärten des Kalkmörtels dauert recht lange. Während ein oberflächlich auf die Wand als Putz aufgetragener Mörtel wegen des freien Luftzutritts recht schnell fest wird, kann es im Inneren einer Wand einige Wochen dauern, bevor der Mörtel einigermassen erhärtet ist. Während der ganzen Zeit muss ein günstiges Regime von Feuchtigkeit und Luftaustausch mit genügend CO_2 herrschen.

Kalkmörtel wird in einem energieintensiven Prozess aus Kalksteinbrocken (zu grossen Teilen bestehend aus Calciumcarbonat, Calcit, CaCO_3) gewonnen. Unter grosser Hitze (ca. 1000°C) spaltet sich Calciumcarbonat in Calciumoxid und Kohlendioxid auf («Brennen» des Kalkes):



Während das abgespaltene CO_2 in die Atmosphäre entweicht (und beim Erhärten des Kalks wieder zurückgebunden wird), bleibt das Calciumoxid CaO als Feststoff zurück, der sogenannte Branntkalk. Die Brocken sehen noch ähnlich aus wie vor dem Brand, sind aber erheblich leichter. Unter Zusatz von Wasser verwandelt sich der Branntkalk unter grosser Hitzeentwicklung in Calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



Dieser Vorgang wird als «Löschen» des Kalkes bezeichnet und liefert den Ausgangsstoff für die Mörtelbereitung. Man kann das Löschwasser einfach mit Giesskannen und Eimern aufbringen. Zuviel Wasser schadet nicht. Als Nebeneffekt der chemischen Reaktion zerfallen die Branntkalkbrocken beim Löschen in ein feines Pulver, bzw. es entsteht zusammen mit dem Löschwasser ein schlammartiger Kalkbrei, den man dann entsprechend abfangen und abfüllen kann. Will man das Löschen des Kalkes perfektionieren, so gibt man den Kalkbrei direkt nach dem Löschen in eine Grube und lässt ihn dort längere Zeit stehen. Dadurch werden auch die letzten ungelöschten Partikel gelöscht, und unzureichend gebrannte Kalkteilchen (CaCO_3) und sonstige Fremdkörper sinken in der Grube zu Boden, während oben der reine Kalkbrei abgeschöpft oder

abgelassen werden kann («Sumpfkalk»). Kalkgruben gehörten zu fast allen Zeiten der Geschichte untrennbar zum Bauen dazu. Man deckte den dickflüssigen Kalkbrei in den Gruben mit möglichst dichtem Material (z.B. Lehm) auch von oben ab, damit die Luft nicht vorzeitig Zutreten konnte und schon zum Erhärten des Kalkes führte, bevor dieser überhaupt eingebaut war. Alternativ zur Aufbewahrung in einer Grube kann man den Kalk auch direkt beim Löschen mit einer Schicht nassen Sandes abdecken. Auch bei dieser Methode wird der Kalk gelöscht, allerdings weniger gründlich als bei der direkten Löschung mit Wasser. Man muss die Sandschicht immer wieder mit Wasser übergießen, bis der gesamte Branntkalk gelöscht ist.

Im ausgehenden 18. Jahrhundert entwickelten sich verschiedene Theorien, wie man durch den Einsatz spezieller Lösungsverfahren besonders guten Kalkmörtel erzielen könne.⁶ Zum Beispiel glaubte man, dass durch das gerade beschriebene sogenannte «Trockenlöschen» durch Überdecken mit feuchtem Sand der Kalkmörtel nachher besser wirke. Diese Theorien beruhten aber alle auf Irrtum (trotzdem werden sie zum Teil heute noch nach Quellen des 19. Jahrhunderts nacherzählt!). Auslöser zum Suchen der Herstellungstechnik eines besonders guten Mörtels war die Beobachtung, dass der römische Mörtel besser als alle anderen historischen Einflüssen der Witterung widerstanden hatte. Man suchte also das Geheimnis des römischen Mörtels.

Nach diesem Exkurs in die Bauchemie sind wir also zurück bei der altrömischen Bautechnik mit «kleinen Materialien»: In der Tat hatten die Römer einen besonders widerstandsfähigen Mörtel gefunden, der ihrer Bautechnik den Weg bereitete. Wahrscheinlich beruhte die Entdeckung auf einem blossen geographisch-geologischen Zufall: In der näheren Umgebung von Rom findet man kaum den zur Mörtelbereitung begehrten reinen Quarzsand. Man musste sich daher bei der Mörtelherstellung mit einem anderen Füllstoff begnügen. Der Zufall wollte es, dass rings um Rom überall ein feinkörniges, leicht zu zerkleinerndes Gestein anstand, vulkanischer Tuff. Diesen konnte man mahlen und wie Sand mit Kalk mischen, um Mörtel zu erzeugen. Vulkanischer Tuff ist ein Eruptivgestein, das dadurch entsteht, dass sich feiner vulkanischer Staub in Schichten ablagert und zu Stein verfestigt. Der vulkanische Staub enthält fast alle nur denkbaren anorganischen chemischen Bestandteile, unter anderem auch Verbindungen mit Silizium und Aluminium. Durch die grosse Hitze im Vulkan sind die Silikate und Aluminiumoxide des Vulkanstaubs chemisch derart aufgeschlossen, dass sie sich mit dem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ des Kalkmörtels auch ohne Zutritt von Kohlendioxid verbinden können. Dabei entstehen noch viel stärker vernetzte und verfilzte mikrokristalline Strukturen als bei der normalen Erhärtung des Mörtels. Deswegen ist der Mörtel, der mit vulkanischem Tuffstaub angemacht wird, viel fester und steifer als normaler Kalkmörtel. Ausserdem wird er – ein sensationeller Vorteil – auch unter Wasser fest oder im Inneren dickwandiger Bauteile (Fundamente, dicke Wände, usw.). Er erhärtet überdies auch noch viel schneller als normaler Kalkmörtel und lässt daher beschleunigtes Bauen zu. Da man den passenden vulkanischen Tuff in Italien nicht nur in Rom findet,⁷ sondern auch in der Nähe von Pozzuoli am Golf von Neapel, wird der zur Mörtelbereitung geeignete Tuff als

⁶ Lorient, Antoine Joseph : Mémoire sur une découverte dans l'art de bâtir. Paris, 1774 ; Lafaye : Recherches sur la préparations que les Romains donnoient à la chaux dont ils se servoient pour leurs constructions, & sur la composition & l'emploi des leurs mortiers. Paris, 1777 ; eine deutsche Übersetzung dieses Traktätchens erschien noch 1854 m Notizblatt der Allgemeinen Bauzeitung, Wien; Fleuret, Pierre: L'art de composer des pierres factices aussi dures que le caillou. Pont-à-Mousson, Nancy und Paris, 1807 ;

⁷ Heute noch sichtbar sind die Gruben zur Gewinnung der begehrten «pozzolana rossa» im Park «Tenuta Tor Marancia» zwischen San Paolo fuori le mura und der Via Appia Antica an der südlichen Stadtgrenze.

«Puzzolane» oder «Puzzolanerde» bezeichnet. Mit Zugabe von Puzzolane wird aus dem Kalkmörtel ein «hydraulischer Mörtel», also ein Mörtel, der zum Bauen im Wasser geeignet ist.

Schon vor den Römern hatten deren Erzfeinde, die Phönizier bzw. die Punier (aus Karthago) entdeckt, dass man einen ähnlichen Mörtel auch erhielt, wenn man dem Kalkmörtel fein gemahlenes Ziegelmehl zusetzte. Auch diese Idee griffen die römischen Baumeister sofort auf, obwohl dieses sogenannte *opus signinum* oder *cocciopesto* nur schwach hydraulische Eigenschaften aufwies, also ganz ohne Luftzutritt nur langsam erhärtete (meist verwendet für wasserdichte Putze und Estriche, da der fertig erhärtete Mörtel wasserunlöslich ist). In der Kaiserzeit (n. Chr.) entdeckte man sodann auch in manchen Provinzen geeignete Mörtelzusätze, z.B. den Trass in Rheinland, der ebenfalls ein vulkanischer Tuff ist und dem Mörtel ähnliche Eigenschaften verleiht wie die Puzzolane.

Die Verfügbarkeit des hydraulischen Puzzolanmörtels war eine Schlüsselbedingung für die Entfaltung der altrömischen Bautechnik. Mit dem leistungsfähigen Mörtel war es möglich, überall mit dem lokal anstehenden Gesteinsmaterial – aufbereitet zu kleinen, leicht transportablen Stücken – grosse Strukturen zu errichten. Die Bauweise mit Bruchstein und hydraulischem Mörtel wurde in der Römerzeit als *opus caementicium* bezeichnet (mörtelreiches Bruchsteinmauerwerk). Die einzige Schwierigkeit, die dabei zu überwinden war, war die Formgebung. Heute sind wir es gewöhnt, fertig gemischten «Beton» in eine Schalung einzufüllen und so fast beliebige Formen bauen zu können. Der Schalenaufwand ist allerdings erheblich. Manche Formen können mit einfachen geraden Brettern geschalt werden, manche machen kompliziertere Schalungen und aufwendige Schalungstragwerke nötig. Da Bretter in historischer Zeit immer ein kostbares Gut waren – sie mussten mühevoll von Hand aus ganzen Balken gesägt werden –, war es für geometrisch einfache Strukturen wie insbesondere Wände keine wirklich attraktive Methode, zunächst eine Holzschalung aufzubauen, deren Bretter später nur noch eingeschränkt anderweitig einsetzbar waren. Die Römer verwendeten das *opus caementicium* daher primär als «Füllmaterial» im Kern mehrschaliger Wände, deren Aussenschalen die Rolle der formgebenden Brettschalung übernahmen und in einer anderen Technik errichtet wurden.

Beispielsweise kann man eine Struktur errichten, die nach aussen wie eine Werksteinkonstruktion aussieht, bei der aber die Werksteine nur eine Hülle für den Bruchsteinkern bilden. Viele monumentale altrömische Gebäude – ganz besonders aus der augusteischen Zeit (um Christi Geburt) wurden so gebaut, zum Beispiel das Grabmal der Caecilia Metella an der Via Appia südlich von Rom oder die Brücke von Narni. Die Quaderschalen sind in sich ausreichend tragfähig, um den Einbau des Bruchstein-Mörtel-Kerns zu ermöglichen. Man schreitet im Aufmauern der Aussenschalen immer ein Stück voraus und füllt dann jeweils im Nachgang lagenweise die Bruchsteinmasse ein. Damit nachher am fertigen Bauwerk die Werksteinschale nicht einfach abfällt, muss sie wenigstens hier und dort durch «Binder» mit dem Kern verzahnt werden, also durch längliche Steine, die nur mit dem Kopfende in der Mauerschale zutage treten und tiefer als die übrigen Steine in den Bruchsteinkern hineinragen. Diese Bautechnik kann man an den genannten Objekten wunderbar beobachten.

Das Bauen mit unvermörtelten Werksteinschalen aus grossen Blöcken kam nur an ausgesprochenen Monumentalbauten in Frage; bei allen anderen Bauaufgaben wäre es

viel zu teuer gekommen. Alternativ zur Werksteinschale kann man aber auch mehr oder weniger simultan zum Einbringen des Bruchsteinkerns Aussenschalen aus kleineren, jedoch regelmässigen Materialien mit Mörtel aufmauern. Für diesen Zweck eignen sich kleine, einigermaßen in Form gebrachte Natursteine sowie Backsteine. In jedem Fall ist allerdings die Verzahnung mit dem Bruchsteinkern wichtig. Eine reine Kleinquader- oder Backsteinschale ohne Rückbindung an den Wandkern würde einfach grossflächig abfallen.

Zur Römerzeit entwickelten sich zwei verschiedene Bautechniken zur Errichtung einer leicht herstellbaren, simultan mit dem Bruchsteinkern aufwachsenden und gut an den Kern angebundenen Wandschale: das *opus reticulatum* und das *opus testaceum*. Das *opus reticulatum* (Netzmauerwerk) besteht aus kleinformatigen (ca. 6 × 6 × 20 cm) quadratischen Steinprismen, die mit der quadratischen Fläche nach aussen unter 45°-Winkel aufgeschichtet werden. Um eine Verzahnung dieser Prismen mit dem Kern zu ermöglichen, sind die Steine unterschiedlich lang und an dem einbindenden Ende keil- oder pyramidenförmig zugespitzt. Die Wandschale aus *opus reticulatum* wird mit vermörtelten Fugen aufgemauert. Der Kern aus *opus caementicium* wird lagenweise eingebracht, Bruchstein- und Mörtelschüttungen wechseln sich ab. Das *opus reticulatum* entstand in der Zeit der römischen Republik (2.-1. Jh. v. Chr.). Es existieren auch Varianten mit Wandschalen aus grob bearbeiteten, unregelmässiger aufgeschichteten Bruchsteinen (sogenanntes *opus incertum*). Das *opus reticulatum* dominierte das römische Bauwesen bis ins 2. Jh. n. Chr. stark: Das diagonale «Karomuster» des *opus reticulatum* ist an vielen Bauten sichtbar und bestimmt heute deren Erscheinungsbild. Noch an den heute freiliegenden Wandflächen der Villa des Kaisers Hadrian bei Tivoli ist es überall zu beobachten (2. Jh. n. Chr.).

An Wandecken muss die Wandschale aus *opus reticulatum* durch eine andere Technik ergänzt werden, z.B. durch Verwendung von rechteckigen Werksteinen (Klein- oder Grossformat) oder Backsteinen. Man kann die Wandaussenschale aber auch gleich komplett aus Backstein erstellen. In der typischen altrömischen Form der backsteinverkleideten Bruchsteinwand – *opus testaceum* – kamen dabei nicht etwa rechteckige Backsteine zum Einsatz, sondern relativ grosse dreieckige Backsteine, die durch diagonale Teilung quadratischer Platten gewonnen wurden. Die so entstehenden rechtwinkligen Dreiecke wurden mit der Hypotenuse nach aussen vermauert, so dass die Spitze des Dreiecks in den Bruchsteinkern hineinragte. Durch Verwendung unterschiedlich grosser Formate konnte eine optimale Verzahnung der Wandschale mit dem Kern erreicht werden. An den Ecken und Kanten sowie an Öffnungen (Wandbögen) wurden rechteckige Backsteine verwendet. Somit sehen die altrömischen Wände aus *opus testaceum* ganz so aus, als bestünden sie durch und durch aus Backstein. In Wirklichkeit sind sie aber fast immer dreischalig – zwei Backsteinaussenflächen und ein Bruchsteinkern. Nur Pfeiler und ähnliche hochbelastete schlanke Bauteile (z.B. Entlastungsbögen) wurden ganz in Backstein durchgemauert. Bei hohen Backsteinwänden liess man ab und zu eine Backsteinschicht über die ganze Wandstärke durchlaufen, um die beiden Schalen miteinander zu verklammern und zu nivellieren. Auch um Wandöffnungen herum mauerte man natürlich mit durchgehenden Backsteinschichten. Das Bauen mit Backstein eroberte die römische Bautechnik erst in der Kaiserzeit (ab dem 1. Jh. n. Chr.), dominierte dann aber im 2.-5. Jh. n. Chr. fast völlig.

Keine Schalung benötigte man selbstverständlich, wenn man die Bruchstein-Mörtel-Schüttung z.B. in einen Fundamentgraben einbrachte. In diesen Fällen konnte man direkt

gegen das Erdreich schütten. Allerdings benötigt ein tiefer Fundamentgraben auch einen Baugrubenverbau mit Brettern zur Stützung des Erdreiches. Manchmal kann man daher bei altrömischen, heute freiliegenden Fundamentmauern aus *opus caementicium* den Abdruck des Baugrubenverbaues sehen.

Mit der Einführung des *opus caementicium* waren der römischen Bautätigkeit Tür und Tor geöffnet – von der Hauptstadt bis in die fernsten Provinzen. Dank des sehr guten Mörtels haben sich heute oftmals die Wandkerne noch erhalten, während die Aussenschalen fehlen – meist wegen Materialraubs und weniger wegen der geringeren Dauerhaftigkeit des Materials.

Die römische Baukunst hätte aber nicht den immensen Einfluss entfalten können, den sie später haben sollte, wenn nicht noch eine weitere wesentliche Komponente hinzugekommen wäre: die Wölbung. An sich ist kleinsteiniges mörtelreiches Material keineswegs optimal zum Wölben geeignet. Vielmehr beruht das Wölben auf der Grundidee von «Keilsteinen», zwischen denen die Kräfte mehr oder weniger senkrecht zu den radial ausgerichteten Lagerfugen übertragen werden. Einen Bogen kann man idealerweise aus präzisen Keilsteinen ganz ohne Mörtel errichten. In der Tat baute man in römischer Zeit Bögen genau in dieser Technik – in direkter Fortsetzung der altgriechischen Grosssteinkonstruktion. Zahlreiche berühmte römische Monumente wie der Aquädukt «Pont du Gard» in Südfrankreich oder Stadttore wie die Porta Nigra in Trier zeugen heute noch von dieser Bauweise.

Zur Errichtung raumabschliessender Konstruktionen über grösseren Innenräumen ist die Grossquaderbauweise aber meist zu aufwendig. Die Herstellung und der Versatz der grossen Steine sind langwierig und teuer und benötigen aufwendige Hebezeuge. Trotzdem haben die Römer hier und da auch komplette Räume mit Werksteingewölben überdeckt – zum Beispiel den Hauptraum des sogenannten «Dianatempels» in Nîmes. Südfrankreich ist allerdings eine Region, in der allerorten relativ leicht verarbeitbarer Kalkstein verfügbar ist. Nicht überall waren die Voraussetzungen für den Werksteinbau so günstig.

Den eigentlichen Durchbruch in der Technik des Wölbens in römischer Zeit brachte daher wiederum die Verwendung von *opus caementicium*: Dank des hydraulischen, schnell fest werdenden Mörtels war es möglich, dickschalige Gewölbe aus unstrukturiertem Bruchsteinmauerwerk zu schütten – anstatt mit Keilsteinen zu mauern. Das einzige, was man dafür benötigte, war eine formgebende Schalung mit ausreichend verformungsresistenter und tragfähiger Unterkonstruktion («Lehrgerüst»). Beim Gewölbe fiel die «mehrschalige» Konstruktion also weg, und man brachte das Material direkt in eine temporäre Brettschalung ein, fast wie beim heutigen Betonbau (daher auch die irreführende Bezeichnung «römischer Beton» für das mörtelreiche Bruchsteinmauerwerk). Der Mörtel sorgte nach Erhärtung dafür, dass die Mauerwerksmasse eine ausreichende Kohäsion besass, so dass trotz fehlender Keilsteine ein Lastabtrag wie in einem gemauerten Gewölbe möglich wurde. Die Stein- und Mörtelschichten wurden in römischer Zeit bei Gewölben sogar meist in horizontalen Lagen eingebracht, unabhängig von der genauen Form der Innenlaibung des Gewölbes.

Die römische Wölbkunst nahm schon zur Zeit der Republik ihren Anfang beim Bau grosser Plattformen für Tempel. Nach spätgriechischem («hellenistischem») Vorbild errichtete man in Italien vor allem im 2. und 1. Jahrhundert v. Chr. Tempelanlagen, deren

Hauptbau sich – meist auf einem Hügel – über einer Reihe künstlich angelegter Terrassen erhob. Anstatt diese Terrassen ringsum mit Stützmauern zu umgeben und sodann innen mit Erde aufzufüllen, wurden sie oftmals materialsparend auf einem Raster tonnengewölbter «Kellerräume» errichtet. Berühmte Beispiele – alle aus der Zeit der römischen Republik – sind die Tempel des Jupiter Anxur in Terracina, das Heiligtum der Fortuna Primigenia in Palestrina und das Heiligtum der Hercules Victor in Tivoli. All diese Sanktuarien weisen bereits Gewölbe aus mörtelreichem Bruchsteinmauerwerk – *opus caementicium* – auf. Diese Gewölbe tragen die horizontale Plattform und sind daher entsprechend bis zur Plattformebene horizontal geschüttet. Das «Auffüllen» der Gewölbe bis zu einer horizontalen oder flachgeneigten Terrasse oder das direkte Auflegen der Dachdeckung auf einen entsprechend dachartig geformten Gewölberücken blieb ein Charakteristikum der römischen Wölbkunst.

Da die römischen Bruchsteingewölbe sehr dick waren, wiesen sie ein hohes Gewicht auf und benötigten somit einen massiven, ebenfalls dickwandigen Unterbau und gegebenenfalls seitliche Strebepfeiler. Andererseits ermöglichte die relativ dickwandige Bauweise eine fast unbegrenzte Formenvielfalt, der nur durch die Konstruktion der Schalung und des Lehrgerüsts sowie natürlich durch die Grundgesetze der Statik Grenzen gesetzt waren.

Die römische Baukunst ist also eine Baukunst mit folgenden herausragenden Eigenschaften:

- relativ kostengünstige Massenproduktion durch vorwiegenden Einsatz kleinformatischen Materials,
- Entwicklung der mehrschaligen Wand,
- dickschalige Gewölbe,
- all das ermöglicht durch Verwendung ausgezeichneten «hydraulischen» Mörtels.

In der architektonischen Wirkung wollte man allerdings auf keinen Fall gegenüber dem quasi «monolithischen» Erscheinungsbild der altgriechischen Bauten zurückstehen, schon gar nicht bei Sakral- oder Repräsentationsbauten. Daher wurden die römischen Bauwerke vielfach mit kostbaren Materialien oder wenigstens mit einem bemalten Putz verkleidet – innen wie aussen. Das, was wir heute sehen – riesige nackte Ziegelflächen zum Beispiel an den Caracallathermen oder den Kaiserpalästen auf dem Palatin in Rom – , war in römischer Zeit alles unter kostbaren Wandverkleidungen versteckt. Beispiele der eingesetzten Techniken sind Fresko (Wandmalerei auf dem Wandputz), Marmorverkleidung (Inkrustation) bzw. Einlegearbeiten aus weissem oder buntfarbigem Marmor, meist nur wenige Zentimeter stark (*opus sectile*), Mosaik, ornamentierter oder sogar figürlicher Stuck (vor allem an Gewölben). Diese Arten der Wandverkleidung wurden wiederum vor allem in der Kaiserzeit vielfach ausgeführt. Wo sich der Monumentalbau mit Säulenstellungen zu seiner Umgebung öffnete, brachte man ausserdem mit besonderer Vorliebe wieder monolithische Säulen aus kostbaren Steinsorten an. Man scheute insbesondere in der Kaiserzeit keine Mühen und Kosten, um farbige Hartgesteine (oft geologisch unzutreffend als «Buntmarmore» bezeichnet) aus dem ganzen Mittelmeerraum nach Rom zu schaffen: Cipollino, einen schwarz-weiss gebänderten Marmor von der griechischen Insel Euböa, rosa Granit von Assuan am Nil in Ägypten, grauen Granit vom Mons Claudianus in Ägyptens Wüste, roten Porphyrt vom Mons Porphyrites ebenfalls aus der ägyptischen Wüste, grünen Serpentin aus Lakonien («verde antico»), gelben Kalkstein («giallo antico») aus Tunesien, buntgefleckten

Pavonazzetto aus Phrygien (Kleinasien) und natürlich strahlend weissen Marmor aus Carrara (Luni). Alle diese Hartgesteine (und noch einige andere mehr, die seltener angewendet wurden), ermöglichten es, bis zum Hochglanz poliert zu werden. Um die Steinfarbe und Steinstruktur voll zur Geltung zu bringen, wurde meist auf die Kannelierung der bunten Säulen verzichtet.

Das paradigmatische Monument schlechthin, an dem alle genannten Errungenschaften der römischen Bautechnik ablesbar sind, ist das Pantheon in Rom. Dieses abstrakte Heiligtum (wörtlich «All-Heiligtum»), das nicht einem einzelnen Gott gewidmet war, war in augusteischer Zeit auf dem Marsfeld errichtet worden. Unter den Kaisern Traian und Hadrian wurde er im 1. Drittel des 2. Jh. n. Chr. durch einen völligen Neubau ersetzt. Das Gebäude nahm die südliche Schmalseite eines von Säulengängen umgebenen Platzes auf dem Marsfeld ein. Mit seiner Nordfassade wandte es sich diesem Platz zu. Vom Platz aus konnte man nicht ahnen, welche Gestalt das Bauwerk hatte: Man sah nämlich nur eine achtsäulige Tempelfront mit monolithischen Säulenschäften von 40 Fuss (rund 13 m) Höhe. Der mächtige Giebel über dieser Säulenvorhalle verdeckte in der Ansicht vom Platz weitgehend das, was sich dahinter befindet: Tritt man durch die Vorhalle ein in das Bauwerk, so gelangt man nämlich in einen spektakulären kreisrunden Innenraum von rund 44 m Durchmesser, der durch eine halbkugelförmige Kuppel nach oben abgeschlossen wird (innere Gesamthöhe ebenfalls rund 44 m). Zum Abtrag der grossen Gewichtskräfte dieser Kuppel wurde der Innenraum des Kuppelraums durch einen massiven «Mauermantel» umschlossen, dessen Grundstruktur aus *opus caementicium* mit einer Backsteinverkleidung besteht. In den Mauermantel sind acht «Seitenkapellen» eingelassen, die jeweils abwechselnd als halbkreisförmige und rechteckige, gewölbte Nischen ausgeführt sind. Auch sonst hat man sich bemüht, die Mauermaße des zylindrischen Mantels durch diverse Räume in der Mauerstärke zu verringern, ohne Kompromisse bei der Standsicherheit in Kauf nehmen zu müssen.

Das Pantheon hat weitgehend seine originale Innenverkleidung aus kostbaren Buntmarmoren bewahrt. Selbst der unversehrt erhaltene Fussboden besteht aus grossformatigem *opus sectile*. Die Nischen werden durch korinthische Säulenstellungen mit Schäften aus *giallo antico* und prachtvollen korinthischen Marmorkapitellen abgeschlossen. Auch das Attikastockwerk war durch farbige Marmorverkleidungen verziert (in der Barockzeit abgeändert). Die Vorhalle hat glatte Säulen aus rosa und grauem Granit, wieder mit hochwertigen korinthischen Marmorkapitellen. Die grosse Kuppel des Hauptraumes besteht aus *opus caementicium*. Viereckige, gestuft vertiefte Felder (Kassetten) gliedern die Innenfläche und sorgen dafür, dass das Gewicht der Kuppel etwas geringer ausfällt als bei voller Wandstärke. Eine mittlere runde Lichtöffnung (Opaion) sorgt für die Belichtung des Innenraumes. Die Kuppel, die sich heute in einem modernen grauen Putz zeigt, war ursprünglich mit Stuckornamenten verziert.

Umschreitet man das Pantheon heute aussen, so kann man auch die nicht auf Sicht berechnete Aussenseite des zylindrischen Hauptraumes betrachten. Dort tritt das *opus testaceum* offen zutage; nur am Übergangsbereich zwischen Vorhalle und Hauptraum sieht man noch Reste von Marmorinkrustation (Verkleidung durch Marmorplatten). Somit kann man am Pantheon hervorragend die Machart römischer Monumentalbauten studieren.

Die ausgezeichnete Erhaltung des Pantheons verdankt sich der Tatsache, dass der antike Bau schon 609 in eine Kirche *Sancta Maria ad martyres* verwandelt worden ist. Trotzdem hat das Bauwerk grosse Eingriffe erdulden müssen. Der berühmteste war die Entfernung des originalen Dachstuhls der Säulenvorhalle: Dieser Dachstuhl hatte nicht aus Holz bestanden, sondern aus Bronzeträgern mit u-förmigem Querschnitt. Diese wurden im 17. Jahrhundert abgebaut, vorgeblich, um Kanonen für die päpstliche Festung «Engelsburg» in Rom zu giessen und die Bronzesäulen des Petersdoms herzustellen. Der Bronzedachstuhl war in antiker Zeit von innen nicht sichtbar gewesen, sondern durch ein «leichtes Gewölbe» – in Holz- und Putzkonstruktion – verdeckt. Heute wird die Stelle des antiken Dachstuhls durch einen wenig ansehnlichen Holzdachstuhl des 17. Jahrhunderts eingenommen, den man damals als Ersatz anbrachte. Man griff im 17. Jahrhundert aber nicht nur schädigend in das antike Bauwerk ein, sondern kümmerte sich auch um dessen Erhalt: Die linke Ecksäule der Front, die stark beschädigt war, wurde ersetzt (erkennbar daran, dass sie als einzige Säule der Front aus rosa Granit besteht, die anderen Säulen sind grau; ausserdem brachte der damalige Barberini-Papst Urban VIII. am Kapitell sein Wappentier, die Biene, an). Im 18. Jahrhundert setzte man auf den Zwischenblock zwischen Säulenfront und Rotunde zwei Glockentürmchen auf, die aber im späten 19. Jahrhundert wieder entfernt worden sind.

Das Pantheon ist sicher dasjenige altrömische Bauwerk, das die Nachwelt am stärksten beeindruckt und beeinflusst hat. Unzählige Male hat es als Inspiration gewirkt, von freier Abwandlung bis zu fast archäologisch genauer Kopie. Seit dem 16. Jahrhundert wurde das Pantheon auch durch die gedruckte Literatur verbreitet. Zum Beispiel wurde es in den einflussreichen Architekturtraktaten von Sebastiano Serlio und Andrea Palladio abgebildet und in den Rom-Ansichten von Antonio Dosio dargestellt sowie auch von Giambattista Piranesi und Francesco Piranesi im 18. Jahrhundert in prachtvollen Kupferstichen wiedergegeben. Es inspirierte Bramante zum Entwurf der Petersdomkuppel, Michel d'Ixnard zu jenem der Abteikirche St. Blasien und viele andere Architekten zur Nachahmung. Besonderen Eindruck hat dabei stets der Innenraum hinterlassen. Die gesamte ägyptische und griechische Architekturgeschichte hat kein einziges Bauwerk mit einer auch nur annähernd vergleichbaren Innenraumwirkung geschaffen. Die Entdeckung des monumentalen Innenraums kann als originäre Errungenschaft der römischen Baukunst betrachtet werden – ermöglicht durch weitgespannte Deckentragwerke, sei es in Form von Gewölben oder auch (wie in der Vorhalle) von leistungsfähigen Dachtragwerken.

Das Pantheon ist ein Sakralbau; sein Hauptakzent liegt trotz der prunkvollen achtsäuligen Front auf dem Innenraum. Im Falle des Pantheons hatte sich der kreisförmige Innenraum aus dem Vorgängerbau ergeben, der sich noch um einen offenen kreisförmigen Hof, rings umgeben von «Kapellen», entwickelt hatte. Der Innenraum des römischen Tempels war aber allgemein zugänglicher als jener der griechischen Tempel: Da die römische Religion und der Staat eng verzahnt waren, fanden auch staatliche Veranstaltungen – bis hin zu politischen Diskussionsrunden – im Inneren von Sakralbauten statt, und z.B. wurde der Staatsschatz im Sockel eines Tempels aufbewahrt, und andere Tempel dienten zugleich als Archive. Auch ganz weltliche Nutzungen wurden manchmal im Unterbau von Tempeln untergebracht. In der römischen Architektur steht der Tempel also mitten im Leben. Er ist nur durch das hohe Podium (Unterbau) von der weltlichen Sphäre entrückt, in der Regel jedoch nicht durch einen heiligen Bezirk nach aussen abgeschirmt.

Die hauptsächliche Entwicklung des Innenraums in der Römerzeit fand allerdings nicht im Tempelbau statt – dieser folgte vielmehr weitgehend dem griechischen Vorbild und bot daher im Inneren nur beschränkten Platz und meist bescheidene Belichtung. Vielmehr entwickelte sich der römische Innenraum vor allem im Profanbau: Man errichtete Markt- und Gerichtshallen (Basiliken), die *Curia* im Stadtzentrum (Versammlungsort des Senates), Wahl- und Abstimmungsgebäude (die *Saepta Julia*), Palastaulen und Empfangsgebäude, monumentale Speisesäle (z.B. im Goldenen Haus des Nero und später im Kaiserpalast auf dem Palatin). Ein Grossteil der erhaltenen römischen Monumente sind solche öffentlichen oder repräsentativen Gebäude.

Unter den Monumentalbauten der Römerzeit ragen die Thermen heraus. Die Thermen waren Badeanlagen, darüber hinaus aber auch multifunktionale Sport- und Freizeitparks. Der Betrieb einer öffentlich zugänglichen Badeanlage setzt eine komplexe Infrastruktur voraus: Man benötigt eine zuverlässige Wasserversorgung; da man ausserdem die Thermenanlage in einem abgestuften Programm von Kalt- bis Heissbad durchlief, waren überdies effektive Heizanlagen, eine geregelte Zufuhr des Brennmaterials und Abfuhr der Asche und ein möglichst unsichtbar hinter den Kulissen ablaufender technischer Betrieb nötig. Um das eigentliche «Hallenbad» herum gruppieren sich Umkleideräume, Sportplätze, kleine Räume für die individuelle Körperhygiene, aber auch Bibliotheken, Vortragssäle und Läden.

Die Thermen entwickelten sich aus relativ bescheidenen Anfängen: Die ältesten erhaltenen Anlagen, die noch aus dem 2. Jh. v. Chr. stammen, finden sich in Pompei. Sie sind noch kleine, relativ unregelmässig angeordnete Baugruppen. In der Hauptstadt Rom selbst hielten grosse öffentliche Thermen erst in augusteischer Zeit Einzug. Zwar versorgte schon seit langer Zeit die erste Fernwasserleitung, die Aqua Appia, die Stadt mit Trinkwasser. Den enormen Wasserbedarf einer Thermenanlage konnte sie aber nicht decken. Für die erste grosse öffentliche Badeanlage, die Agrippathermen, die sich auf dem Marsfeld in unmittelbarer Nähe des Pantheons befanden, wurde ein eigener Aquädukt errichtet, und auch die späteren grossen Thermen machten meist den Bau einer weiteren Fernwasserleitung nötig. Mit diesen Thermen hielt der Typus der sogenannten «Kaiserthermen» Einzug in die römische Architektur: Symmetrisch längs einer Hauptachse angeordnet, präsentieren sich in logischer Abfolge die Haupträume apodyterium (Umkleideraum), frigidarium (Kaltbad), tepidarium (meist mehrere Räume in Folge, mit verschiedener Temperatur und entsprechenden Wasserbecken) und caldarium (Heissbad). Die Räume waren so angeordnet, dass sich sowohl eine zwanglose Führung der Besucherströme ergab, als auch die Ausrichtung der Räume den Temperaturerfordernissen gerecht wurde (Caldarium als grossflächig befensterter Raum nach Süden oder Südwesten ausgerichtet und nahe an der Heizzentrale, Frigidarium im Nordosten, dazwischen die Tepidarien). Zu den Haupträumen traten weitere Badeeinrichtungen wie Saunen (sudatorium, heliocaminus), Freischwimmbekken (natatio) und natürlich Sportplätze (palaestra) hinzu. Letztere (die nicht überdeckten Schwimmbekken und Sportplätze) waren manchmal mit in die Umfassungsmauern des Hauptgebäudes integriert und von Säulenhallen umgeben. Das Hauptgebäude der klassischen Kaiserthermen erhob sich freistehend in einem grosszügigen Park, der durch die Randbebauung gegen das Stadtgebiet abgegrenzt war. In dieser Randbebauung befanden sich Bibliotheken und Vortragssäle, aber auch die Wasserspeicher (Zisternen), die durch die Aquädukte gespeist wurden (in Rom heute noch erhalten an den Caracallathermen und als «Sette Sale» bei der Ruine der Traiansthermen).

Das Heizsystem der Thermen machte sich die konzeptionell «mehrschalige» Wandkonstruktion der römischen Architektur zunutze: Auch die Thermensäle zeichneten sich durch Boden- und Wandverkleidungen aus Marmor und Mosaik aus. Zu Heizzwecken liess man zwischen der Wandverkleidung und der tragenden Wandstruktur einen Zwischenraum, in den man Heissluft einleitete: Am Boden sorgten kleine Pfeilerchen (*suspensurae*), die den eigentlichen Fussbodenaufbau trugen, für diesen Zwischenraum («Hypokaustenheizung»). An der Wand verwendete man entweder eine Vorsatzschale aus hohlen, röhrenförmigen Ziegeln, durch die die Heissluft nach oben abziehen konnte, oder Ziegelplatten, die mit kleinen «Füsschen» auf der Rückseite entsprechenden Abstand von der tragenden Wand hielten. Die Befestigung der Wandverkleidungen erfolgte durch metallische Haken. Die Heissluft wurde in Brennkammern (*prae-furnium*) im Kellergeschoss der Thermen erzeugt und dann unmittelbar unter den Fussboden der Heissräume geleitet. Zwecks Zufuhr der Brennstoffe und Abfuhr der Asche war unter den Thermenanlagen ein ausgedehntes System unterirdischer Gänge angeordnet, die dem Bedienpersonal (meist Sklaven) den Zugang zu all diesen Heizkammern ermöglichten. Gut erhaltene Reste einer Hypokaustenheizung können bei Schleitheim (SH) in der Ausgrabung der Thermenanlage der römischen Provinzstadt *Iuliomagus* besichtigt werden. Die kleinen Backsteine, aus denen die *suspensurae* meist gemauert worden sind, sind stets ein untrügliches Zeichen einer Raumheizung und verweisen meist auf Thermenanlagen.

Die Räume der Kaiserthermen waren komplett eingewölbt. Es bildete sich eine gewisse Normierung der Raumformen heraus: Das Caldarium war oft ein kreis- oder kreuzförmiger Zentralbau. In den Caracalla-Thermen handelte es sich beispielsweise um einen runden Kuppelraum. Auch die ausgesprochenen Heissbäder (Sudatorien) waren oft überkuppelte Rundräume (z.B. in den Thermen der Villa des Kaisers Hadrian bei Tivoli). Während die Tepidarien meist untergeordnete räumliche Wirkung entfalteten (oft kleinere Kuppelsäle), stellte das Frigidarium bei den Thermen der Kaiserzeit den eigentlichen räumlichen Höhepunkt der Badeanlage dar. Bei den Thermen des Titus, Traian, Caracalla, Diokletian und Konstantin in Rom, aber auch bei den Thermen in Trier und anderswo in den Provinzen, war das Frigidarium ein dreijochiger Raum, der von weitgespannten Kreuzgewölben überdeckt wurde (24 m Spannweite). An dieses zentrale Raumkompartiment schlossen sich beidseitig je drei *tonnengewölbte* Nischen an, die als Widerlager für das kreuzgewölbte Mittelschiff fungierten. Das Mittelschiff wurde durch halbkreisförmige Fenster über den Dachterrassen dieser tonnengewölbten Räume belichtet (dreigeteilte Halbkreisfenster, sogenannte «Thermenfenster»). Das System aus kreuzgewölbtem, überhöhtem Mittelschiff und quertonnengewölbten «Seitenkapellen», das sich als statisch überaus sinnvoll erwies, bot späteren Architekten vielfache Anregung – vor allem im monumentalen Kirchenbau der Frühen Neuzeit. Auch die Gesamtdisposition der Thermenanlagen wurde – vor allem seit der Rekonstruktion des ursprünglichen Erscheinungsbildes durch archäologische Forschungen – zum direkten Vorbild neuzeitlicher Architektur, namentlich bei grossen Bahnhöfen.

In besonders eindrucksvoller Form kann man heute noch die Raumwirkung eines Frigidariums in den Diokletiansthermen in Rom erleben. Dieser Raum wurde im 16. Jahrhundert unter Michelangelos Bauleitung als Kirche des Kartäuserklosters Santa Maria degli Angeli wieder hergerichtet. Spätere Ausstattungsarbeiten haben dem Kirchenraum eine Innenraumwirkung verliehen, die sich frei von der ursprünglichen antiken Gestaltung inspirieren liess. Die grossen Kreuzgewölbe werden scheinbar von monumentalen farbigen Freisäulen getragen, und Wand und Boden sind lückenlos mit

kostbaren Materialien bedeckt. Die Kreuzgewölbe des Frigidariums stellen die römische Gewölbekunst exemplarisch vor Augen: Geometrisch sind sie als «Durchdringung zweier gerader Zylinder» gebildet, wodurch sich abwickelbare, also mit geraden Brettern einschaltbare Gewölbekappen ergeben, der «Kreuzgrat» (Verschneidung der beiden Zylinder) jedoch einen elliptischen Verlauf erhält, der in grossem Massstab nicht einfach zu zeichnen ist (an den Diokletiansthermen auch recht unpräzise ausgeführt). Die Gewölbeshale ist enorm dick: Die Dachdeckung, die sich mit einander verschneidenden Satteldächern direkt der Gewölbeform anpasst, liegt ohne Luftzwischenraum direkt auf dem entsprechend abgeschrägten Gewölberücken. Das gerade Kreuzgewölbe der römischen Baukunst ermöglicht die Anbringung sehr grosser Fenster – eben der genannten «Thermenfenster» - in den Schildbögen und somit eine reiche Belichtung des Innenraumes. Der horizontale Schub aus den grossen Kreuzgewölben des Mittelschiffes wird durch Strebe Pfeiler auf den Dachterrassen der tonnengewölbten Seitenräume aufgenommen.

Das neben dem Pantheon vielleicht wirkungsmächtigste römische Bauwerk überhaupt, die sogenannte Maxentiusbasilika (oder Konstantinsbasilika) an der Via Sacra in Rom – zwischen dem Kolosseum und dem Forum –, ist nicht aus der Bautypologie der Marktbasilika entwickelt, sondern präsentiert sich ebenfalls als eine Art freistehendes Frigidarium. Zwar ist sowohl das Mittelschiff als auch die südliche Reihe der quertonnengewölbten Seitenkapellen durch Erdbeben zerstört worden, doch stehen noch die drei nördlichen Seitenkapellen. Sie werden durch gigantische kassettierte Tonnengewölbe aus *opus caementicium* überdeckt. Die Ruine mit den drei nebeneinanderliegenden tonnengewölbten Räumen wurde in der frühen Neuzeit unzählige Male gezeichnet, gemalt und in gedruckten Ansichten verbreitet. Sie wurde so ab dem 15. Jahrhundert zur wichtigen Inspirationsquelle für frühneuzeitliche Architektur, zum Beispiel bei Leon Battista Alberti. Auch an der Maxentiusbasilika kann man noch die Dachterrasse über den seitlichen Tonnengewölben und die darauf stehenden Strebe Pfeiler des heute verschwundenen Kreuzgewölbes des Mittelschiffes sehen. Eine der monumentalen Marmorsäulen, die scheinbar die Anfänger des Kreuzgewölbes trugen, steht heute als Mariensäule vor der Kirche Santa Maria Maggiore.

Zusammenfassung:

Die römische Baukunst ist die Baukunst der «kleinen Materialien»: Die wichtigsten Monumente wurden im tragenden Kern aus kleinformatigem Bruchsteinmauerwerk mit reichlich Mörtel errichtet (*opus caementicium*). Bei Wandkonstruktionen wurde dieses Bruchsteinmauerwerk lagenweise mit Mörtel und Steinen in das Innere einer mehrschaligen Wandkonstruktion eingefüllt. Für die Konstruktion der Aussenschalen, die als eine Art permanente formgebende «Schalung» dienten, kamen neben Werkstein vor allem kleinformatige, diagonal aufgeschichtete Steinprismen (*opus reticulatum*) und Backstein (*opus testaceum*) zum Einsatz. Ermöglicht wurde der massive Einsatz des mörtelreichen Bruchsteinmauerwerks durch den speziellen römischen Mörtel, einen Kalkmörtel mit Zusatz vulkanischer Asche (Puzzolane). Dieser Zusatz verlieh dem Mörtel hydraulische Eigenschaften, also Erhärtung auch ohne Luftzutritt, z.B. im Inneren dicker Bauteile. Der hydraulische Mörtel ermöglichte auch – erstmals in der Baugeschichte – die Überdeckung grosser Räume durch Gewölbe. Auch diese wurden als dickschalige Konstruktion in lagenweise geschüttetem, regellosem *opus caementicium* ausgeführt. Mit diesen technischen Errungenschaften trat der Innenraum in den Fokus der Architektur. Die durch Gewölbe überdeckten römischen Innenräume – allen voran das Pantheon in Rom und die Frigidarien der Thermen sowie die gleichartig gestaltete Maxentiusbasilika

– übten einen prägenden Einfluss auf die gesamte nachfolgende europäische Architektur aus. Mit der schnellen, kostengünstigen und vielseitigen Opus-caementicium-Bauweise und der Wölbung verschob sich der Schwerpunkt der Bautätigkeit weg vom Sakralbau. In der römischen Architektur treten öffentliche Bauten in jeder Hinsicht gleichwertig neben die Tempel. Zum Beispiel konnte sich die römische Innenraum-Architektur in den monumentalen Thermenanlagen zu höchster Blüte entfalten. Sakral- und Profanarchitektur bedienten sich gleichermassen der Wandverkleidung: Die aus «unedlen Materialien» konstruierte tragende Konstruktion wurde im letzten Schritt mit kostbaren Stuck-, Fresko- oder Marmorverkleidungen versehen. Dazu wurden farbige Steine auch aus grosser Ferne beschafft, vor allem in der Kaiserzeit. Bei den freistehenden Säulen griff man ebenfalls aus Repräsentationsgründen gerne wieder auf Monolithe zurück. Um die Farben und Musterung der Steine zu voller Geltung zu bringen, verzichtete man dabei gerne auf die Kannelierung und versah die aus Hartgesteinen wie Marmor und Granit bestehenden Säulenschäfte häufig mit einer Hochglanzpolitur. Bauten, die in der Substanz weitgehend aus Bruchsteinmaterial bestanden, wurden mit Werksteinfassaden verziert. Die Glanzleistungen der römischen Bautechnik, die im Mittelalter und in der Frühen Neuzeit unzähligen Bauherren und Architekten als Vorbild dienten, werden vor allem durch das Pantheon, die Diokletiansthermen und die Maxentiusbasilika in Rom exemplarisch vertreten.

4. Spätantike und frühes Christentum (4.–6. Jh.) – Genese des christlichen Sakralraums

Mit dem Sieg an der Milvischen Brücke über den Tiber direkt nördlich von Rom konnte sich im Jahre 312 Konstantin d. Gr. als alleiniger Kaiser des römischen Reiches gegen seinen Mitregenten und Konkurrenten Maxentius durchsetzen. Der Legende nach verdankte Konstantin seinen Sieg dem Vertrauen in das Kreuzzeichen als Symbol der christlichen Religion (Traumvision des Kreuzes mit der Botschaft «In hoc signo vinces»). In der Tat wurde das Christentum unter der Regentschaft Konstantins nach jahrhundertelangem Verbot und den heftigen Christenverfolgungen (noch im ausgehenden 3. Jh. unter Kaiser Diokletian) sehr schnell legalisiert (sogenanntes Mailänder Toleranzedikt von 313). Mit dem Recht auf freie Religionsausübung entstand sofort auch das Bedürfnis, Sakralgebäude für die neue Religion zu errichten, mit der sie im öffentlichen Raum wahrnehmbar wurde. Von Seiten des Kaiserhauses wurde der Kirchenbau kräftig unterstützt, auch wenn der Kaiser selbst sich erst viel später taufen liess.

In Rom hatte man die christliche Religion bis dahin nur im Verborgenen in Privathäusern ausüben können. Mit der plötzlichen Wende der römischen Religionspolitik entstanden nun aber innerhalb kürzester Zeit anspruchsvolle Kirchengebäude, allen voran die Bischofskirche und erste Pfarrkirche Roms, die Kirche San Giovanni auf dem Lateranshügel (damals *Basilica Salvatoris* genannt, also Erlöserkirche), die heute durch eine barocke Umgestaltung im 17. Jahrhundert durch Francesco Borromini bis zur Unkenntlichkeit verändert ist. Am Lateran im Südosten der Stadt hatte sich zur Zeit des Maxentius eine Kaserne seiner Leibgarde befunden, die nun dem Erdboden gleichgemacht wurde. Der freie Bauplatz wurde von Kaiser Konstantin an die Kirche übergeben.

Die christliche Sakralarchitektur konnte sich aus vielerlei Gründen nicht an der Architektur des heidnischen Tempels orientieren. Zum einen existierte natürlich ein direkter Gegensatz in der religiösen Haltung: Die neue Religion kannte weder Brandopfer noch die Anbetung von Götterbildern, und sie stand dem heidnischen Polytheismus mit seiner Mythologie und Ikonographie diametral entgegen. Im Zentrum des neuen Kultes stand die gemeinsame Mahlfeier, also die Versammlung der gesamten Gläubigen in einem Innenraum. Die altgriechische und altrömische Religion sahen solche Versammlungen der ganzen Gemeinde in geschlossenen Räumen nicht vor. Auch von den in der späten Kaiserzeit verbreiteten orientalischen Mysterienkulten mit ihren in dunklen Gelassen im Fackelschein gefeierten Geheimgottesdiensten (Kybele-, Mithras-, Isiskult) hob sich das legalisierte Christentum des 4. Jahrhunderts deutlich ab.

Somit lag es nahe, dass sich die neu entstehende christliche Sakralarchitektur nicht an der heidnischen Sakralarchitektur, sondern an profanen römischen Bautypologien ausrichtete. Dabei wurden weniger die gewölbten Monumentalbauten als Vorbild herangezogen, sondern vielmehr die Versammlungsräume der öffentlichen römischen Architektur. Die Aussenerscheinung der neuen Sakralbauten blieb der Innenwirkung untergeordnet – eine genaue Umkehrung der Verhältnisse des griechischen Tempels: Der Siegeszug des Innenraums in der römischen Architektur eroberte nun also auch den Sakralbau. Die Bautechnik blieb im Grundsatz dieselbe wie schon vorher bei den vielfältigen Bauaufgaben der Kaiserzeit: *opus caementicium* mit Backsteinverkleidung

(*opus testaceum*), im Inneren jedoch kostbare Boden- und Wandverkleidung mit Marmor, Stuck, Mosaiken und Fresken.

Für die Gesamtdisposition setzte sich schnell ein ganz bestimmter Typus durch, die «Säulenbasilika». Das erste Beispiel dafür bildete die Lateranskirche: Die frühchristliche Lateranskirche bestand aus einem hohen, längsrechteckigen «Mittelschiff», das beidseitig durch je zwei niedrigere «Seitenschiffe» begleitet wurde (alle diese Schiffe zusammen werden wegen der longitudinalen Ausrichtung als «Langhaus» bezeichnet). Insgesamt war der Bau also fünfschiffig. Das mit einem Satteldach gedeckte Mittelschiff überragte die mit Pultdächern überdeckten Seitenschiffe derart, dass es durch eine Fensterreihe («Obergaden») über den Dächern der Seitenschiffe direkt belichtet werden konnte. Der Innenraum aller frühchristlichen Kirchen war durch die dichte Folge der grossen Obergadenfenster sehr hell – ein weiterer Gegensatz zu den sonstigen antiken Kulträumen, die meist völlig dunkel oder nur schwach belichtet waren, um eine entsprechende «mystische» Stimmung zu erzielen. Die fünf Schiffe standen durch Säulenstellungen miteinander in Verbindung. Wie bei kaiserlichen Repräsentationsbauten, so konnte man auch schon bei der Basilica Salvatoris auf dem Lateran bei diesen Säulen auf kostbare monolithische Schäfte aus Hartgestein zurückgreifen (rosa Granit im Mittelschiff und Verde Antico im Seitenschiff). Fast immer verwendete man im Kirchenbau Säulen der prachtvollsten Ordnung, der korinthischen. Ohne kaiserliche Schirmherrschaft wäre es sicher unmöglich gewesen, dass die junge Christengemeinde auf derart kostbares Material – vermutlich aus einem kaiserlichen Bauhof oder Materiallager – hätte zugreifen können. Wie auch die direkt nachfolgenden frühchristlichen Kirchen war die Lateranskirche Richtung Westen ausgerichtet (im 5. Jahrhundert kehrte sich die Ausrichtung dann um, die Kirchen wurden gegen Osten orientiert!). Man betrat sie also auf der östlichen Schmalseite (Giebelseite) und gelangte so in die parallelen Schiffe. Der westlichste Abschnitt der Kirche war den Klerikern vorbehalten. Das Mittelschiff schloss an der westlichen Schmalseite in einer halbrunden Nische (Apsis), vor der sich der Altar bzw. der Tisch für das heilige Mahl erhob und in der auf einer halbkreisförmigen Bank die Priester sassen. Die Seitenschiffe endeten nicht in derartigen Apsiden, sondern an einer kleinen Querausweitung des Baus. Der gesamte Teil der Kirche rings um den Altar (Presbyterium), der den Priestern vorbehalten war, war gegen den für jedermann zugänglichen Rest des Gebäudes quer durch niedrige Schranken abgetrennt. Am Ende der Seitenschiffe standen längs dieser Abschrankung kleine Gabentische (*altaria*), auf denen die Gläubigen vor Beginn der Mahlfeier Brot und Wein für das Mahl und Gaben für die Armen ablegen konnten. Im Mittelschiff war in der Mitte zusätzlich ein Gang abgeschränkt, der das Hauptportal der Kirche direkt mit dem Presbyterium verband (*solea*). Durch diesen Mittelgang zog der Bischof mit seinem Klerus zum Gottesdienst in den Bau ein, während die Gemeinde die seitlichen Türen benützte. Im Mittelschiff der Lateransbasilika wurde die Grenze zwischen dem Gemeinderaum und dem Presbyterium durch eine prunkvolle triumphbogenartige Innenarchitektur bezeichnet (*fastigium*). Um den Altar herum nahmen während des Gottesdienstes auch die Diakone (Priesterhelfer) Platz, die den Gottesdienst mit Chorgesang begleiteten.

Während die Säulenstellungen im Mittelschiff der Lateransbasilika nach antiker Norm ein horizontales, gerades Gebälk trugen, waren die beiden Seitenschiffe jeweils durch Arkadenreihen auf Säulen miteinander verbunden – ein für die damalige römische Architektur noch ungewohntes Motiv, das erst in diokletianischer Zeit aufgekommen war, sich aber im 4. Jahrhundert schnell ausbreiten sollte. Der statisch relativ schwache

Unterbau mit den Säulenstellungen zwischen den Schiffen hätte keine Wölbung der Basilika ermöglicht. Tatsächlich waren das Mittelschiff und die Seitenschiffe nicht durch Gewölbe überdeckt, sondern wiesen hölzerne Dachbinder auf, die wahrscheinlich von innen sichtbar und entsprechend dekoriert waren.

Die Architektur der neuen Lateransbasilika fiel nicht als völlige Neuerfindung vom Himmel: Manche der städtischen Markt- und Gerichtsbasiliken hatten auch schon eine ähnliche Bauform aufgewiesen, zum Beispiel die Basilica Ulpia, die Kaiser Traian auf seinem Forum hatte errichten lassen. Allerdings fehlte diesen Zweckbauten meist die strenge axiale, longitudinale Ausrichtung der späteren christlichen Versammlungsräume. Oft wurden die Marktbasiliken von der Längsseite her erschlossen. Sicher vorbildhaft für den christlichen Kultbau waren aber die weitgespannten hölzernen Dachwerke der profanen römischen Versammlungshallen, die die grossen überdachten Innenräume der christlichen Kirchen erst möglich machten (mehr als 20 m Lichtweite im Mittelschiff der Lateransbasilika, der Basilika St. Peter und der Basilika St. Paul vor den Mauern).

Das Modell der Lateransbasilika stand für unzählige Kirchenbauten der folgenden Jahrhunderte Pate. Die wichtigsten weiteren Beispiele in Rom sind die alte Peterskirche, ebenfalls noch unter Konstantin um die Mitte des 4. Jahrhunderts errichtet, die Basilika Sankt Paul vor den Mauern (erbaut Ende des 4. Jahrhunderts unter Kaiser Theodosius I.) und die Basilika Santa Maria Maggiore, errichtet Mitte des 5. Jahrhunderts unter der Bauherrschaft des christlichen Bischofs von Rom, des Papstes, der inzwischen – nach dem Niedergang des Kaisertums, der Trennung des Reiches in Ost- und Westrom und der Verlegung des Regierungssitzes nach Konstantinopel und zunächst Mailand, später Ravenna – zur massgeblichen Macht in der Stadt Rom avanciert war. Alle diese Bauwerke sind wiederum mehrschiffige Säulenbasiliken mit prachtvoll dekoriertem Inneren und einer mit Mosaiken verzierten Apsis hinter dem Altar. Über das Aussehen und die Ausstattung sind wir bei Alt St. Peter – dem Vorgänger des heutigen Petersdoms – durch zahlreiche Bildquellen unterrichtet, während St. Paul vor den Mauern bis zu einem Grossbrand 1823 erhalten blieb und die Kirche Santa Maria Maggiore (diese nur dreischiffig) einschliesslich eines Teils der frühchristlichen Mosaikausstattung sogar bis heute existiert, wenn auch mit späteren Eingriffen. Selbst die mit der Zeit notwendig werdenden zusätzlichen Pfarrkirchen, die über das ganze Stadtgebiet von Rom ab dem 5. Jahrhundert entstanden, orientierten sich – wenn auch in Reduktion auf drei Schiffe – am Modell der Lateransbasilika. Einige dieser Bauten in Rom und auch rings um die Adria können heute noch einen guten Eindruck von der Raumwirkung der frühchristlichen Kirchen vermitteln (Santa Sabina und weitere Kirchen in Rom; Kirchen in Ravenna, Grado und Parenzo/Poreč, aus dem 5.–7. Jh.). Bei späteren Umbauten wurden allerdings oft die grosszügigen Fenster teils verschlossen (so bei Santa Maria Maggiore in Rom) oder nachträglich Kassettendecken oder Gewölbe eingezogen, so dass der Raumeindruck verändert ist.

Die Peterskirche brachte noch ein weiteres zukunftsweisendes Motiv in den basilikalischen Kirchenbau ein: Zwischen das fünfschiffige Langhaus der Säulenbasilika und die Apsis schob sich hier ein grosser querrrechteckiger Raum – ein durchgehendes «Querschiff» (auch «Querhaus»). Im speziellen Fall des Petersdoms hatte diese Anlage damit zu tun, dass sich vor dem Altar der Kirche der Ort des Grabmals des ersten Papstes, des Apostels Petrus, befand, der der Legende nach ganz in der Nähe den Märtyrertod erlitten hatte. Das Petrusgrab war der Anlass zur Erbauung der ganzen Kirche. Es zog schon bald wachsende Pilgerscharen an. Zu deren Besucherführung rund um das Grab war das Querschiff fast

unentbehrlich. Auch bei anderen Pilgerbasiliken wurde das Querschiff bald ein unverzichtbarer Bestandteil. Das Mittelschiff öffnete sich mit einem weiten Bogen (modern als «Triumphbogen» bezeichnet) in das durchgehende Querhaus. An diesem Bogen wurde oft eine Mosaikdekoration angebracht.

Bei der Peterskirche wurde das architektonische Gesamtprogramm durch weitere Elemente bereichert, die später zu Grundkomponenten jeder anspruchsvollen Kirchenanlage wurden: Direkt vor der Eingangsseite der Basilika wurde eine Vorhalle (Narthex) angelegt, an die seitlich auch der Vorbereitungsraum anschloss, in dem die Priester ihre Gottesdienstgewänder anlegten (*segretaria*, später als Sakristei bezeichnet). Vor dem Narthex nahm ein von Säulenhallen umstandener Vorhof (Atrium) die ganze Breite der Kirche ein. Zur Stadt hin öffnete sich dieses Atrium in einem architektonisch hervorgehobenen Eingangstor – erster Schritt zu einer monumentalen Gestaltung des bis dahin völlig vernachlässigten Äusseren des christlichen Kultbaus.

Mit dem Petrusgrab und der Peterskirche erhielt Rom ein christliches Monument, das ein Gegengewicht zu den Originalschauplätzen der christlichen Geschichte im Heiligen Land bilden konnte. Hatte Jerusalem das Grab Christi, so konnte man in Rom nun wenigstens zum Grab des ersten Apostels und Papstes wallfahren. Eine ähnlich zentrale Bedeutung in der christlichen Lehre wie der «Apostelfürst» Petrus hatte zudem Paulus, der erste grosse Theologe der neuen Religion, an dessen Grabstätte südlich ausserhalb Roms deswegen konsequenterweise der in Konstantinopel herrschende oströmische Kaiser Theodosius I. die nächste grosse Basilika errichtete, als er kurzzeitig Herrscher des Gesamtreiches wurde, die Kirche St. Paul vor den Mauern. Sie orientierte sich architektonisch weitgehend am Vorbild von St. Peter. Allerdings verzichtete man hier erstmals komplett auf die statisch ungünstigen, grosse Steinarchitrave erfordernden horizontalen Gebälke auf den Säulenstellungen und verband alle Säulen durch Arkaden.

Alte Ansichten der Peterskirche (vor dem Neubau im 16. Jahrhundert) und der Paulusbasilika (vor der Zerstörung durch einen Brand 1823) vermitteln einen gewissen Eindruck von der Konstruktion der weitgespannten Dachwerke dieser grossen Versammlungsräume. Natürlich ist nicht sicher, dass die Dachkonstruktionen, die in der Frühen Neuzeit in diesen Kirchen sichtbar waren, den spätantiken Originalkonstruktionen glichen. Schliesslich müssen Dachwerke immer wieder einmal renoviert und repariert werden. Jedoch gibt es in Rom ausserdem eine Reihe beeindruckender Dachkonstruktionen des 15. Jahrhunderts (Kirchen San Saba, Santa Balbina), von denen man vielleicht annehmen kann, dass sie in einer ungebrochenen Tradition der Antike stehen. Alle diese Bild- und Sachzeugnisse zeigen Dachkonstruktionen, die auf relativ weit voneinander entfernten dreiecksförmigen «Dachbindern» ruhen. Diese quer zur Raumachse spannenden Tragwerke unterstützen eine Reihe parallel zum First verlaufender Balken (sogenannte «Pfetten»), auf denen die Dachdeckung ruht. Solche Dachwerke auf relativ weit voneinander angeordneten lastabtragenden Dreiecksbindern werden als «Pfettendächer» bezeichnet. Ist der zu überdachende Raum nur kurz, so können die Pfetten von einer Giebelwand bis zur gegenüberliegenden gelegt werden (ausreichende Stärke der Pfetten vorausgesetzt). Das so vereinfachte Dach wird als «Balkendach» bezeichnet.

Bis heute besteht die typische Dachdeckung der Region rings um Rom aus flachen Dachpfannen («tegola» genannt) und Deckziegeln in Form einer viertelkreisförmigen, mit der offenen Seite nach unten auf die Stösse der Pfannen aufgelegten Rinne («canale»).

Diese aussen sichtbare Dachdeckung wird in der Regel als zweite Schicht über einer ersten Schicht aus völlig flachen, in Mörtel verlegten Terrakottaplatten aufgebracht. Das römische Dach ist daher sehr schwer, die Dachdeckung jedoch steif. Entsprechend müssen die Dachbinder sehr tragfähig konstruiert werden. Sie sind immer als «Hängewerke» konzipiert: Zwei «Hauptsparren» («puntoni») sind unter den Dachflächen schräg aufsteigend angeordnet und am Kopfpunkt in die vertikale Hängesäule («monaco») unter dem First eingesetzt. Die Füsse der beiden Hauptsparren sind durch einen auf Zug beanspruchten Balken miteinander verbunden, der die Hauptsparren in Position hält und dafür sorgt, dass die Hauptsparren die Obergadenwände der Basilika nicht nach aussen drücken, den sogenannten Bundbalken oder Zerrbalken («catena»). Bei den grossen Spannweiten der Peterskirche (24 m Lichtweite) und anderer spätantiker Basiliken war diese Konstruktion nur möglich, wenn der Zerrbalken aus zwei zugfest miteinander verbundenen Balken erstellt werden konnte, also aus zwei Stücken, die unter dem Firstpunkt aneinander befestigt waren. Diese Konstruktion war möglich, wenn die Stossstelle an der Hängesäule aufgehängt werden konnte. Bei den grössten weitgespannten Tragwerken wurde überdies der Dachbinder als «Doppelbinder» ausgeführt, also aus zwei gleichartigen Dreiecksträgern, zwischen denen die Hängesäule eingeklemmt wurde.⁸ Auf diese Weise war es möglich, die Balken ganz ohne traglastmindernde Einschnitte miteinander zu verbinden. Die stadtrömisch-altrömische Dachkonstruktion der frühchristlichen Basiliken wurde in ganzen Mittelmeerraum in Mittelalter und Früher Neuzeit zum Standard und bildete ab dem 17. Jahrhundert das Vorbild für moderne Dachkonstruktionen auf der ganzen Welt, die die in anderen Gegenden Europas üblichen sogenannten «Sparrendächer» schrittweise ablösten.

Die Grabstätten der ersten Christen entwickelten sich ab dem 4. Jahrhundert allgemein zu wichtigen Anziehungspunkten. In der Nähe der berühmten Apostel und Märtyrer wollten auch nachfolgende Christen bestattet sein, von Mitgliedern des Kaiserhauses bis zu ganz gewöhnlichen Gläubigen. Die Grabstätten befanden sich im römischen Reich immer ausserhalb der Städte, längs der grossen Ausfallstrassen. Hier waren die Märtyrerbasiliken wie St. Peter und St. Paul entstanden. Sie blieben aber nicht lange allein. Um sie herum gruppieren sich rasch allerlei private Grabbauten unterschiedlichsten Ranges. Regelmässig fanden in der Nähe der Gräber Gedächtnisfeiern statt. Bei manchen Grabstätten errichtete man eigens für diese Feiern ebenfalls grosse Versammlungshallen, die sich ebenfalls am Modell der «Basilika» mit überhöhtem, belichtetem Mittelschiff orientierten, jedoch nicht eigentliche Kirchen, sondern eine Zwischenstellung zwischen Sakral- und Profanraum einnahmen, die sogenannten Coemeterialbasiliken. Sie brachten ein weiteres zukunftsträchtiges Element in die christliche Sakralarchitektur, nämlich die halbkreisförmig um die eine Schmalseite des Mittelschiffs herumgeführten Seitenschiffe, aus denen später, als die Coemeterialbasiliken wie normale Kirchen genutzt wurden, der «Chorumgang» rings um das Presbyterium entstand. Die Coemeterialbasiliken waren im Gegensatz zu den eigentlichen Kirchen architektonisch schlicht: Die Schiffe wurden nicht durch kostbare monolithische Säulenstellungen, sondern durch Pfeilerarkaden miteinander verbunden. Auch wertvolle Wandverkleidungen waren nicht vorhanden. Man betrachtete sie offenbar als reine Zweckbauten. Viele der Coemeterialbasiliken wurden trotzdem später in normale Kirchen umgenutzt und führten damit einen «reduzierten» Basilikentypus in die christliche Sakralarchitektur ein (zum Beispiel die Kirche San Sebastiano an der Via Appia in Rom, heute ohne die Seitenschiffe).

⁸ Wie ein Bratwürstchen in den zwei Hälften einer Semmel.

Die Grabstätten spielten auch architektonisch eine wichtige Rolle. Schon in vorchristlicher Zeit hatten die Römer grossen Aufwand beim Bau beeindruckender Grabmonumente getrieben. Ausgehend vom Modell des vorgeschichtlichen runden Grabhügels hatten sich zunächst Grabbauten (Mausoleen) in Form runder Türme (z.B. Grabmal der Caecilia Metella an der Via Appia, Mausoleen der Kaiser Augustus und Hadrian in Rom) entwickelt. Bei diesen Mausoleen spielte der Innenraum noch kaum eine Rolle – er war gerade gross genug, um den Sarkophag aufzunehmen. Die Grabkammer war in eine Erdschüttung im Inneren des «Turmes» eingebettet.

Schon im vorrömischen Italien hatte allerdings (z.B. bei den Etruskern) das jährliche Gedächtnismahl am Grab eine grosse Rolle gespielt. Es entwickelte sich daher (vor allem in der Kaiserzeit) eine Mausoleumsarchitektur, in der die Grabkammer im Sockel eines meist runden Gebäudes untergebracht wurde, während sich darüber ein ebenso kreisrunder Versammlungsraum erhob, in dem das jährliche Totengedächtnis gefeiert werden konnte. Auch andere Zentralbauten wie Achtecke oder Quadrate mit ausgenischten Ecken wurden häufig ausgeführt. Achteckig war zum Beispiel das Mausoleum, das sich Kaiser Diokletian in seinem Alterssitz Split (Spalato) errichtet hatte.

Die christliche Grabmalsarchitektur übernahm viele Anregungen von der heidnisch-römischen, insbesondere die Wahl des Zentralbaus als Leitmotiv der Sepulkralarchitektur. Neben freistehenden kuppelgekrönten Sälen in der Art eines Thermensaales wurden auch «ringförmige Basiliken» errichtet, also Mausoleen mit einem basilikal überhöhten, direkt belichteten zylinderförmigen Mittelraum, der durch Säulenumgänge umgeben wurde. Zum Beispiel liess sich eine Tochter des Kaisers Konstantin, Constantina, in unmittelbarer Nähe des Grabes der christlichen Märtyrerin Agnes einen solchen Grabbau errichten. Im Gegensatz zu den heidnischen Mausoleen waren in den christlichen die Sarkophage allerdings nicht im Untergeschoss, sondern im Hauptraum aufgestellt.

Auch das berühmteste christliche Mausoleum überhaupt – die Grabeskirche (Anastasis) über dem Grab Christi in Jerusalem – hatte die Form einer solchen «ringförmigen Basilika». Allerdings schloss nicht eine Kuppel den Mittelraum ab, sondern ein kegelstumpfförmiges hölzernes Dach mit zentraler Lichtöffnung. In Rom errichtete am in der Mitte des 5. Jahrhunderts eine monumentale Kirche zu Ehren des ersten Märtyrers des Christentums, des heiligen Stephanus (Santo Stefano rotondo). Bei dieser ringförmigen Säul basilika mit doppeltem Umgang handelte es sich nicht um ein echtes Grabmonument – die Kirche beherbergte noch nicht einmal Reliquien des Heiligen –, sondern um einen reinen Memorialbau, eine symbolische Gedächtnisstätte, die im architektonischen Aufwand aber die Grabeskirche in Jerusalem sogar noch übertraf (die privaten Bauherren dieses Monumentalbaus entstammten dem unmittelbaren engsten Umkreis des inzwischen christlich gewordenen Kaiserhauses).

Neben den Bischofs-, Pfarr- und Coemeterialbasiliken und den Mausoleen und Memorialbauten benötigte man schon in konstantinischer Zeit weitere Bauten sakraler Funktion. In erster Linie sind hier die Taufhäuser (Baptisterien) zu nennen. Mit dem Augenblick der Legalisierung des Christentums und der erkennbaren Zuwendung des Kaisertums zu dieser neuen Religion wollten zahlreiche Menschen beitreten, sich also taufen lassen – sei es, weil sie schon vorher mit dem Christentum sympathisiert hatten, sei es aus purem Opportunismus. Die Ungetauften hatten keinen Zutritt zum Inneren der Basilika. Der Taufakt musste also ausserhalb stattfinden. Die Taufe war mit dem

Eintauchen in ein Wasserbecken und der Neueinkleidung in weisse Gewänder verbunden. Für die Taufe war daher ein eigenes Gebäude – wiederum keine Kirche im konventionellen Sinn – notwendig. Das erste Baptisterium überhaupt entstand logischerweise in unmittelbarer Nähe der Lateransbasilika. Aus praktischen Gründen hätte eine Anordnung in der Nähe des Haupteingangs der Basilika nahegelegen, da die Neugetauften in der Osternacht zum ersten Mal feierlich in die Kirche einzogen. Der Platz am Atrium oder vor dem Narthex der Basilika wurde daher bald zum Standardplatz des Baptisteriums (heute noch anschaulich ablesbar in Parenzo oder Novara). Speziell bei der Lateransbasilika verlief allerdings dicht hinter der Apsis ein Aquädukt, aus dem das notwendige Wasser bequem bezogen werden konnte. Daher entstand das Lateransbaptisterium an diesem etwas ungewöhnlichen Ort.

Bei der Architektur der Taufhäuser griff man auf dieselben Architekturtypologien wie beim Mausoleum zurück – Zentralbauten über rundem oder achteckigem Grundriss oder ringförmige Basiliken. Die gestalterische Nähe von Mausoleum und Baptisterium mag verwundern. Sie ist aber nicht ganz so überraschend, wenn man bedenkt, dass die Taufe als «Tod des alten, sündigen Menschen» und als «Wiedergeburt in Christus» betrachtet wurde.⁹ In der Qualität der Innenausstattung stand das Lateransbaptisterium der benachbarten Basilika nicht nach, und auch an den vielerorts nun entstehenden Baptisterien wurde nicht an wertvollen Wandverkleidungen gespart. Den zentralen Raum nahm stets ein Wasserbecken ein, in das die Täuflinge eintauchten (nicht ein Taufstein, wie er später üblich wurde). Aus spätantiker Zeit hat sich eine ansehnliche Anzahl meist achteckiger Baptisterien erhalten. Meist ist der zentrale Raum durch eine Kuppel gewölbt; einen Umgang in Art einer Basilika gibt es meist nicht. [Ein besonders gut erhaltenes spätantikes Beispiel eines Baptisteriums ist in Riva San Vitale \(TI\) zu bewundern. Es erhebt sich auf dem Grundriss eines Quadrates mit ausgenischten Ecken und wird von einem achtseitigen Klostergewölbe überdeckt.](#)

Im weiteren Verlauf der Spätantike gerieten die zunächst aus politischen Gründen noch sorgfältig gepflegten heidnischen Tempel zusehends in Verfall und konnten dann zugunsten der neuen christlichen Sakralbauten ihrer wertvollen Marmorbauteile beraubt werden (sog. «Spolienverwendung»), also Raub einzelner Werkstücke und Wiedereinbau in neuem Zusammenhang). Viele hochinteressante antike Werkstücke wie zum Beispiel Säulenschäfte und Kapitelle sind auf diese Weise erhalten geblieben.

Zusammenfassung:

Die frühchristliche Sakralbaukunst führte in der Spätantike neue Bautypen in die römische Architektur ein. Sie alle waren von den Nutzungsanforderungen der neuen Religion bestimmt: Der Gottesdienst als Mahlfeier unter einem Dach in einem hell belichteten Innenraum führte zur Einführung des Bautyps der Säulenbasilika mit überhöhtem Mittelschiff, Apsis und vorgelagertem Atrium. In der Bautechnik genauso wie in der reichen Oberflächengestaltung mit edlen Materialien schloss die frühe

⁹ So der hl. Ambrosius von Mailand. In seinen Predigten führte er aus: „Sic ergo et in baptisate, quoniam similitudo mortis est, sine dubio, dum mergis et resurgis, similitudo fit resurrectionis.“, d.h.: „So also entsteht in der Taufe, da sie ein Sinnbild des Todes ist, wenn du untertauchst und dich wieder aufrichtest, ohne Zweifel auch ein Sinnbild der Auferstehung.“ (zitiert nach: Schmitz, Josef: Gottesdienst im altchristlichen Mailand. Eine liturgiewissenschaftliche Untersuchung über Initiation und Meßfeier während des Jahres zur Zeit des Bischofs Ambrosius (+397). Köln und Bonn: Peter Hanstein, 1975, S. 144–145). Damit war auch die Anknüpfung an den achteckigen Grundriss der spätantiken Mausoleen gerechtfertigt. Achteckig war z.B. das Baptisterium, das Ambrosius selbst neben seiner Mailänder Bischofskirche errichten liess.

Kirchenarchitektur bruchlos an die kaiserzeitliche Architektur an. Die Bauweise mit *opus caementicium* wurde fortgeführt. Die Techniken zur Konstruktion der notwendig werdenden weitgespannten hölzernen Dachwerke waren schon bei kaiserzeitlichen Marktbasiliken, Audienzhallen und sonstigen öffentlichen Bauwerken entwickelt worden; sie folgen dem Prinzip des Pfettendaches, das von Hängewerksbindern getragen wird. Gerade bei den ersten Kirchenbauten ermöglichte die Förderung durch das Kaiserhaus die Verwendung repräsentativer Bauteile wie monolithischer Säulen aus bunten Hartgesteinen. Ab dem 5. Jahrhundert nahm die Bedeutung der erhaltenen heidnischen Tempel wegen der gänzlichen Hinwendung des Kaiserhauses zum Christentum kontinuierlich ab, so dass bald auch die bedeutenden heidnischen Sakralbauten zugunsten neuer Kirchen spoliert (beraubt) werden konnten und sich der Einsatz repräsentativer Steinbauteile zur Innendekoration fortsetzte. Neben der Basilika als Ort der Eucharistie (gemeinsame Mahlfeier) führte das Christentum weitere wichtige Bautypen in den Sakralbau ein. Beim Mausoleum (Grabbau) konnte man fast bruchlos an die heidnische Tradition des überkuppelten, gegebenenfalls durch einen ringförmigen Umgang umgebenen Zentralbaus anknüpfen. Auch für die Taufhäuser (Baptisterien) dienten die kaiserzeitlichen Mausoleen infolge einer theologischen Deutung der Taufe als «Tod und Neugeburt» als architektonisches Modell. Die Form des Zentralbaus wurde überdies – angeregt durch die Grabeskirche in Jerusalem – zur Regelform der Memorialkirche oder des «Martyrions», also der Gedächtniskirche an bedeutende Glaubenszeugen.

5. Zwischen Antike und Mittelalter – die Baukunst zur Zeit Karls des Grossen (um 800)

Mit dem Ende der Verwaltungsstrukturen des römischen Reiches und den kriegerischen Wirren der sogenannten Völkerwanderungszeit brach die römische Kultur in weiten Teilen des ehemaligen Herrschaftsgebietes der Römer zusammen. Besitzer von Gutshöfen in den Provinzen gaben angesichts wiederholter Plünderungen auf, römische Städte verloren drastisch Einwohner, die Bauwerke und Infrastruktur nahmen mangels kontinuierlicher Pflege Schaden und begannen zu verfallen. In den wichtigen Städten des Reiches konnte sich die römische Kultur natürlich länger halten als in den Randzonen. In Rom, Mailand oder Ravenna entstanden auch im 6. oder 7. Jahrhundert noch bedeutende Bauten in direkter spätantiker Tradition, zum Beispiel das Mausoleum des Ostgotenkönigs Theoderich in Ravenna. Eine wirkliche Stabilisierung der politischen Lage setzte erst wieder mit dem Aufstieg des Frankenreichs unter den Merowinger- und Karolingerherrschern im 8. Jahrhundert ein. Bauliche Hinterlassenschaften aus der Zeit vom 6. bis zum 8. Jahrhundert sind ausserhalb der grossen Zentren Rom und Ravenna überaus selten.¹⁰ Man wohnte in einfachen Hütten, und selbst die Kirchenbauten in Mitteleuropa bestanden damals meist aus Holz, Bruchsteinen, Flechtwerk und Lehm und haben sich daher nicht erhalten. Insbesondere im Reich Karls des Grossen kam es aber

¹⁰ Die Sakralbauten dieser Zeit in Rom und Ravenna schreiben die Tradition der Säulenbasilika des 4. Jahrhunderts kontinuierlich und ohne grosse Neuerungen fort: Neben und nach der bereits erwähnten Kirche Santa Sabina (5. Jh.) entstanden in Rom vom 5. bis zum 9. Jh. die folgenden substantiell noch erhaltenen Säulenbasiliken: 5. Jh.: San Lorenzo fuori le mura, Santa Pudenziana, Sant'Agata dei Goti, San Pietro in Vincoli; 7. Jh.: Sant'Agnese fuori le mura; 8. und 9. Jh.: San Giovanni a Porta Latina, Santi Quattro Coronati, Santi Nereo e Achilleo, Santa Maria in Domnica, Santa Prassede, San Giorgio in Velabro, Santa Cecilia in Trastevere, San Marco, Santa Maria in Cosmedin. Die Lücke des 6. Jahrhunderts in Rom wird durch den Adriaum gefüllt: Ravenna: San Francesco, Sant'Apollinare Nuovo, Sant'Apollinare in Classe; ebenso in Grado: Sant'Eufemia, Santa Maria delle Grazie; in Parenzo (Poreč): Basilica Eufrasiana.

wieder zu einem Aufschwung des Monumentalbaus. Es gab in dem von Frankreich bis Osteuropa reichenden Herrschaftsgebiet Karls genügend Zentren, in denen die antike Tradition der Technik noch nicht ganz abgerissen war und bautechnisches Wissen und Können noch verfügbar war. In der Fläche des Reiches mussten Infrastruktur und Architektur aber von Grund auf neu aufgebaut werden. Natürlich standen vielerorts noch antike Bauwerke herum – als Ruinen oder auch als noch benutzbare Gebäude –, an denen sich die Architekten und Bauhandwerker Details anschauen konnten, umso mehr, wenn diese Bauwerke bereits beschädigt waren und daher einen Einblick in die Konstruktion erlaubten.

Das 8. Jahrhundert sah die breite Christianisierung Mitteleuropas, die vor allem durch angelsächsische Missionare vorangetrieben wurde. Der bedeutendste von ihnen war Bonifatius. Die Missionare gründeten Klöster und Bistümer, die schnell zu Keimzellen der religiösen, kulturellen und wirtschaftlichen Entwicklung im Frankenreich werden sollten. Spätestens mit der Kaiserkrönung Karls des Grossen im Jahre 800 in der Peterskirche in Rom setzte in vielen dieser neuen christlichen Zentren eine ausgedehnte und wiederum monumentale Sakralbaukunst ein. In Fulda errichtete man rings um das Grab des Bonifatius eine Basilika, die in jeder Beziehung der Peterskirche in Rom nacheiferte und so den Rang des Bonifatius als «Apostel der Deutschen» unterstreichen sollte. Gleichzeitig entstand in Saint-Denis bei Paris eine monumentale Klosterkirche über dem Grab des Hl. Dionysius, der schon im 3. Jh. von Rom aus Gallien missioniert hatte. Weitere Grosskirchen baute man beispielsweise in Köln oder St. Gallen.

Die meisten Bauten der Karolingerzeit sind trotz des manchmal monumentalen Massstabs und der am antiken Vorbild orientierten Bautechnik heute verschwunden, vor allem die Profanbauten, unter denen die Pfalzen (Burgen/Verwaltungssitze) eine herausragende Rolle einnahmen (geringe Reste erhalten in Ingelheim am Rhein). Sie fielen Kriegen, Bränden, vor allem aber auch Umbau- und Vergrösserungsmassnahmen zum Opfer. Daher sind heute nur noch wenige Bauwerke vorhanden, die eine anschauliche Vorstellung von der Architektur um 800 vermitteln können. Archäologisch sind aber zahlreiche karolingische Kirchen- und Klosterbauten erforscht. Bei den Grossprojekten wie in Fulda blieb für den Kirchenbau das Vorbild der spätantiken Basilika massgebend. Das weit ausladende Querschiff der Peterskirche in Rom wurde vielfach kopiert, ebenso das vorgelagerte Atrium. Wo immer es möglich war, griff man immer noch zur Nobilitierung des Innenraums mit monolithischen Säulen. Neu kam allerdings auch der Aussenbau der Kirche in den Fokus: Die westliche Eingangsseite bezeichnete man nun sehr häufig durch eine Turmgruppe oder ein hohes turmartiges Massiv, auch als «Westwerk» bezeichnet. Dieses Westwerk enthielt innen meist eine mehrstöckige Anlage – eine Eingangshalle im Erdgeschoss und darüber einen Kapellenraum mit Emporen, der mit dem Mittelschiff der Kirche durch eine grosse Öffnung in Verbindung stand. Die Ergänzung der Basilika durch eine Turmgruppe auf der Eingangsseite war eine wesentliche Neuerung, die den Kirchenbau des ganzen Mittelalter massgeblich beeinflussen sollte. Der Kirchenbau erhielt dadurch eine prononcierte Fernwirkung, die der antiken Säulenbasilika völlig gefehlt hatte.

Leider hat sich kaum ein karolingisches Westwerk erhalten. Eine Ausnahme macht das Westwerk der Klosterkirche von Corvey an der Weser. Es handelt sich dabei um einen turmartigen zentralen Baukörper, der seitlich von schlankeren Treppentürmen flankiert wird. In der Fassadenansicht schliessen sich diese Bauteile zur einer einheitlichen Front zusammen. Wie bei den meisten karolingischen Bauten, so wurde auch in Corvey

vorwiegend kleinsteiniges Quader- bzw. Bruchsteinmauerwerk verwendet. Das Äussere des Westwerks muss man sich verputzt vorstellen (Putz später entfernt). In den verschiedenen Räumen des Inneren des Westwerkes finden sich architektonische Gliederungselemente in Werkstein und monolithische Säulen (allerdings in bescheidener Dimension). Die Qualität der Steinbearbeitung kann sich mit spätantiken Beispielen messen, und auch die Gestaltung der Säulen mit korinthischen «Zungenblattkapitellen» (grob ausgearbeiteten Kapitellen ohne Details der Blattstruktur) kann mit spätantiken Bauten verglichen werden und zeugt davon, dass die Steinmetze mit den antiken Vorbildern wenigstens einigermaßen vertraut waren. Die eigentliche Klosterkirche, die sich in Corvey östlich an das Westwerk anschloss, war eine Basilika. Sie ist heute vollständig durch spätere Neubauten ersetzt.

Steinmetzmässig ähnlich aufwendig gestaltet wie das Innere des Westwerks von Corvey ist auch der letzte Rest des einst bedeutenden Klosters Lorsch in der Rheinebene, die sogenannte «Torhalle» (ein Bau unklarer Zweckbestimmung im Vorfeld der Klosterkirche). Auch hier griff man auf antike Bearbeitungstechniken der Quader und Bauplastik (u.a. Verwendung gezahnter Meissel, sogenannter «Zahneisen») zurück und ahmte ebenfalls spätantike Formen nach. Eine neue Note erhielt die Torhalle in Lorsch durch die polychrome Gestaltung in rotem und weissem Naturstein. Mit den diagonal angeordneten quadratischen Steinen der Fassade wollte man möglicherweise auf das römische *opus reticulatum* anspielen. Auf jeden Fall ist der Anspruch unverkennbar, sich direkt in die Tradition der antiken Architektur zu stellen. Aus der nicht weit entfernten Römerstadt Ladenbrug konnte man sich überdies noch geeignete Spolien beschaffen. Das kleine und sorgfältig geplante Bauwerk hebt sich von fast allen anderen bekannten karolingischen Bauwerken durch seine flächendeckende kostbare Fassadenausführung in hochwertigem Werkstein ab. Es gehört nach neuesten Forschungen in die spätkarolingische Zeit (um 900).

Neben den grossen Kloster- und Bischofskirchen entstanden auch in karolingischer Zeit kleinere Kirchen. Von diesen haben sich einige erhalten. Auch bei den kleineren Kirchen eiferte man dem Vorbild der grossen römischen Säulenbasiliken nach. Ein hervorragendes Beispiel ist die Justinuskirche in Höchst bei Frankfurt, die ausserdem hervorragende korinthische Zungenblattkapitelle nach Vorlage spätantiker Kapitelle Oberitaliens und des Adriaarums aufzuweisen hat. Monolithische Säulenschäfte wurden in St. Justinus hingegen nicht verbaut. Bei vielen kleineren Anlagen musste man auf diese Auszeichnung verzichten, und auch auf die teure und einen hohen Stand der Steinmetzkunst voraussetzende Kapitellplastik. So kam man zum Typus der Pfeilerbasilika: Anstelle von Säulen tragen in der Pfeilerbasilika gemauerte rechteckige Stützen die Arkaden zwischen den Schiffen. Ein hervorragendes Beispiel für eine solche reduzierte Basilika ist die Kirche, die Einhard, ein hoher Beamter und Berater Karls des Grossen, in Steinbach bei Michelstadt im Odenwald errichten liess, einem Ort, den sich Einhard als «Altersruhesitz» gewählt hatte. An dieser kleinen, aber anspruchsvollen Kirche kam als Baumaterial an den aussen gut sichtbaren Flächen vorwiegend kleinformatiger Werkstein zum Einsatz, der sorgfältig bearbeitet wurde und nicht zum Verputzen bestimmt war. Weiter oben am Bau und im Inneren verbaute man hingegen weniger sauber bearbeiteten Bruchstein, der verputzt wurde. Die Pfeiler der kleinen Basilika wurden aus Backstein errichtet – ein einmaliges Experiment in dieser Zeit, in der man allenfalls römische Backsteine aus Ruinen beschaffte, jedoch kaum neue Backsteine produzierte (die Qualität der Backsteine fiel auch entsprechend mässig aus).

Die kleine Basilika Einhards ist dreischiffig. Sie besitzt kein Querschiff, sondern seitlich von der zentralen Apsis schliessen sich an das Mittelschiff rechteckige kapellenartige Anbauten an, die ebenfalls nach Osten mit jeweils einer Apsis geschlossen sind. Die Kapellen führen ein gewisses räumliches Eigenleben. Ähnlich eigenständige Anbauten nahmen auch die Westseite der Kirche ein (nur noch in Grundmauern erhalten, genaue Struktur dieses Westbaus daher unklar). Die Addition relativ stark abgeschlossener Teilräume ist auch bei anderen karolingischen Sakralbauten öfters zu beobachten. Die ganze Kirche von Steinbach erhebt sich über einem hohen Unterbau, in dem eine «Krypta» untergebracht ist: Dabei handelt es sich um ein System von drei gewölbten Gängen unter den Schiffen; unter dem Altarbereich der Kirche sind diese drei parallelen Gänge durch einen Quergang verbunden (sogenannte «Gangkrypta»). In der Krypta sollten eigens (nicht ganz legal) aus Rom «beschaffte» Heiligenreliquien untergebracht werden, in deren unmittelbarer Nähe auch Einhard und seine Frau beigesetzt werden wollten. Man ahmte bei dem kleinen Bauwerk also die Gesamtkonzeption einer grossen Märtyrerbasilika wie St. Peter in Rom nach. Auch in Saint-Denis oder in Saint-Germain in Auxerre baute man in karolingischer Zeit Krypten unter dem Altarraum zur Aufbewahrung der Gebeine der verehrten Heiligen. Die Gangsysteme machten es Pilgern möglich, sich der Grabstätte des Heiligen bis auf «Tuchföhlung» zu nähern. Einhards Plan, sich in Steinbach niederzulassen, zerschlug sich später, und er errichtete in Seligenstadt am Main ein Kloster, in dessen Kirche dann auch die Reliquien transferiert wurden. Die Kirche von Seligenstadt, von der nur noch die westlichen Teile erhalten sind, wies eine ähnliche Struktur wie jene von Steinbach auf, nur in deutlich grösserem Massstab. Wieder hatte das «Langhaus» der Kirche die Gestalt einer Basilika mit Pfeilerarkaden, und auch hier wurde neben verputztem Bruchstein auch Backstein verbaut.

Im Alpenraum haben sich mehrere Beispiele von karolingischen Kirchenbauten erhalten, die einem ganz anderen Typus als jenem der Säulen- oder Pfeilerbasilika folgen. Es handelt sich dabei um einfache rechteckige Räume (Saalkirchen), an deren östlicher Schmalseite nebeneinander mehrere Apsiden mit jeweils einem Altar angeordnet sind («Dreiapsidensaal»). [Die bedeutendsten noch erhaltenen Beispiele für diese Bauform finden sich in der Schweiz, im Kloster Sankt Johann in Müstair \(Graubünden\) und in Mistail bei Tiefencastel \(Graubünden\). Auch diese Bauten wiesen räumlich vom Hauptraum abgetrennte oder nur durch schmale Durchgänge verbundene Annexe \(Anbauten\) auf, deren Funktion nicht ganz klar ist.](#) Auch die Frage, wieso man in einem einzigen Kirchenraum mehrere Apsiden und Altäre nebeneinander benötigte, lässt sich nicht einfach beantworten. Der Bautypus, der auf den ersten Blick sehr simpel wirkt, stellte bautechnisch durchaus bemerkenswerte Anforderungen, denn der rechteckige Innenraum der Saalkirche musste einigermaßen grosse Dimensionen annehmen, um für die Nutzung ausreichend Platz zu bieten, und setzte bei der Konstruktion des stützenfreien Dachtragwerkes durchaus ausgereiftes Zimmermannskönnen voraus, zumal der Konstruktionsraum über dem Saal wegen der damals üblichen recht flachen Dachneigung beschränkt war. Leider hat sich keines dieser Dachwerke erhalten, doch wird man sich auch bei ihnen an antiken römischen Vorbildern orientiert haben. Die ansehnlichen Dimensionen werden in Müstair dadurch unterstrichen, dass man im 15. Jahrhundert bei der Einwölbung der im späten 8. Jahrhundert entstandenen Kirche zwei Stützenreihen einzog und die Kirche so in einen dreischiffigen Raum verwandelte.

[Am Aussenbau finden sich an der Kirche von Müstair und an der benachbarten, ebenfalls im späten 8. Jahrhundert entstandenen Kapelle Hl. Kreuz – einem Bau mit Kleeblattgrundriss – keine Werksteine, sondern nur verputzte Bruchsteinflächen. Die](#)

Aussenarchitektur ist aber durch flache Blendbögen gegliedert – ganz besonders wirkungsvoll heute noch an den unverändert erhaltenen Apsiden. Solche Wandgliederungen durch flache Wandvorlagen und Blendbögen tauchten schon in der spätantiken Architektur gelegentlich auf (Palastaula Konstantins in Trier, San Simpliciano in Mailand, Sant'Apollinare in Classe, Ravenna) und sollten später in der Architektur des Mittelalters eine grosse Bedeutung erlangen. Innen war die Kirche von Müstair flächendeckend mit Fresken verziert, die heute grossenteils noch erhalten sind.

Der bedeutendste erhaltene Bau der Karolingerzeit und vielleicht auch der bedeutendste zur Karolingerzeit überhaupt ausgeführte Bau aber ist die Palastkapelle, die sich Karl der Grosse in Aachen errichten liess, seiner Hauptresidenzstadt. In unmittelbarer Nachbarschaft der warmen Quellen, die Aachen schon in antiker Zeit berühmt gemacht hatten, errichtete man eine grosse Burg- oder Palastanlage («Pfalz»). Diese entwickelte sich zwischen zwei Polen: Im Norden befand sich eine Audienz- oder Ratshalle (heute nach vielfachen Umbauten das Rathaus von Aachen), im Süden die Palastkirche, das heutige Münster. Beide Bauten waren durch einen langen Korridor miteinander verbunden.

Bei der architektonischen Gestaltung dieser Palastkirche folgte Karl nicht dem Modell der antiken Säulenbasilika. Vielmehr griff er auf die breit einsetzbare Typologie des Zentralbaus zurück, wie wir sie am Beispiel frühchristlicher Mausoleen, Memorialbauten und Baptisterien kennengelernt haben. Es handelt sich um einen Zentralbau mit basilikalem Querschnitt. Ein achteckiger, schachtartiger und von einer Kuppel gekrönter Mittelraum wird rings herum durch einen doppelstöckigen Umgang umgeben, der seinerseits sechzehneckigen Grundriss aufweist. Die Kapelle ist also doppelstöckig: Die obere Ebene war dem Kaiser selbst und seinem engsten Hofstaat zugedacht, während sich die übrigen Gottesdienstbesucher auf der unteren Ebene bewegten. Das obere Stockwerk ist wesentlich höher als das Erdgeschoss, welches wie ein Sockel für den oberen Teil der Kapelle wirkt. In beiden Stockwerken öffnet sich der Umgang in grossen Arkaden zum zentralen Oktogon. Im oberen Stockwerk sind in diese hohen und weiten Bögen gitterartig monolithische Freisäulen in zwei Ordnungen übereinander eingestellt (heutiger Zustand Rekonstruktion des 19. Jahrhunderts, unter teilweiser Verwendung der originalen Säulenschäfte, jedoch durchwegs mit neuen Kapitellen und Basen). Auf allen Ebenen ist die Pfalzkapelle vollständig eingewölbt: Im Erdgeschoss ist der Umgang durch Kreuzgewölbe überdeckt; im Obergeschoss führen steigende Tonnengewölbe zu den Arkaden des Oktogons hinauf; sie tragen zugleich die Dächer des Umgangs. Das zentrale Oktogon wird, wie schon erwähnt, über den Fenstern des Obergadens durch eine Kuppel – genau gesprochen durch ein achtseitiges Klostersgewölbe – abgeschlossen, dessen Schalenstärke mit 86 cm angesichts der relativ geringen Lichtweite beträchtlich ist. Als vollständig gewölbter Bau steht die Pfalzkapelle von Aachen in ihrer Zeit singulär da, und dies unterstreicht ihren Anspruch als kaiserliches Projekt ersten Ranges.

Wie schon bei den anderen besprochenen Bauwerken der Karolingerzeit kam auch an Karls Pfalzkapelle vorwiegend Kleinquader- und Bruchsteinmauerwerk zum Einsatz, allerdings punktuell an architektonisch wichtigen Stellen ergänzt durch Werksteinquader grösseren Formates, namentlich an den äusseren Bauwerksecken und innen an den Pfeilern. Der Kalkmörtel wurde nach römischer Manier mit Zusatz von Ziegelmehl angerührt und hatte daher leicht hydraulische Eigenschaften. Um die für die Entstehungszeit singuläre vollständige Einwölbung zu ermöglichen, wurden für die Pfalzkapelle besonders tiefe Fundamente aus sauber gearbeiteten Quadern gelegt.

Ausserdem wird der Bau durch mehrere eiserne Ringanker in verschiedener Höhenlage zusammengehalten. Die Kuppel ist bis zu ihrer halben Höhe in ein Mauerwerksmassiv eingebettet und wird durch einen eisernen Ringanker zusätzlich gesichert.

Wie bei den Basiliken in der Nachfolge der Laterans- und Peterskirche in Rom lag westlich vor der Pfalzkapelle ein Atrium bzw. Vorhof. Wie bei den karolingischen Klosterkirchen trat man von diesem Hof durch ein «Westwerk» in das Innere ein, eine massige Turmgruppe, die zusammen mit dem Zeltdach des Oktogons das äussere Erscheinungsbild des Bauwerkes bestimmte (oberstes Turmstockwerk 20. Jh.). Aussen war das uneinheitliche Mauerwerk der Kapelle verputzt; innen findet sich heute eine reiche Marmor- und Mosaikdekoration, die jedoch erst im 20. Jahrhundert angebracht worden ist, aber dennoch eine ungefähre Vorstellung von einem möglichen originalen Raumeindruck vermitteln kann (jedenfalls war wohl ein Kuppelmosaik vorhanden, Marmorinkrustation der Wände jedoch wohl nicht). Im Emporenstockwerk des Umgangs steht unter dem Westwerk der sogenannte «Karlsthron», ein steinerner, erhöht angebrachter Sitz, auf dem die im Aachener Münster gekrönten frühmittelalterlichen Könige Platz nahmen. Ihm gegenüber, auf der Ostseite des Zentralbaus, war an den Zentralbau eine kleine Altarnische angebracht, die im 14. Jahrhundert durch den heutigen, auf ganzer Höhe durchfensterten gotischen Choranbau ersetzt ist.

Die Pfalzkapelle Karls des Grossen in Aachen demonstriert, dass auch im Frühmittelalter das technische Wissen der Spätantike noch einmal aufgeboren werden konnte, wenn es um einen Monumentalbau höchsten Ranges ging. Aus der Spätantike sind ähnlich disponierte Kirchen bekannt, zum Beispiel die Märtyrergedächtniskirche San Vitale in Ravenna. Die ungewöhnliche Typologie der Aachener Pfalzkapelle zielte auf jeden Fall darauf ab, die Assoziation zu diesen damals schon historischen Monumenten der Spätantike zu evozieren und Karls Position in der Nachfolge der antiken christlichen Kaiser zu unterstreichen.

Zusammenfassung:

Aus der merowingisch-karolingischen Zeit des Frühmittelalters sind nur wenige Baudenkmäler erhalten, fast ausschliesslich Sakralbauten, die meisten von ihnen aus der Zeit 750–900. Die erhaltenen Bauwerke demonstrieren, dass weder technisch noch architektonisch ein Bruch mit der Spätantike stattgefunden hatte. Vielmehr griff man bewusst und selbstbewusst auf die spätantiken Vorbilder der Basiliken und der Zentralbauten zurück, wenngleich man sich bei der Realisierung teils mit einfacheren Mitteln behelfen musste. Insbesondere war die mehrschalige Wand der Römerzeit verschwunden, und man baute vorzugsweise mit kleinen, grob in Quaderform gebrachten Bruchsteinen, die mit viel Mörtel vermauert und flächendeckend verputzt wurden. Punktuell wurden aber auch noch bemerkenswerte Leistungen der Steinmetzkunst erbracht. Die meisten Kirchenbauten lehnten sich an das Modell der spätantiken Basilika Roms an, jedoch musste man oft auf monolithische Säulen und aufwendige Kapitelle verzichten und reduzierte daher die Säulenbasilika zur Pfeilerbasilika, bei der die Arkaden von gemauerten Rechteckpfeilern getragen wurden. Punktuell experimentierte man mit einer Wiederbelebung der römischen Backsteintechnologie, ohne dass Backstein sich durchsetzen konnte. Vollständige Einwölbung kam nur im absoluten Ausnahmefall der Pfalzkapelle in Karls Hauptregierungssitz Aachen zur Anwendung, und auch hier in relativ bescheidenen Dimensionen, jedoch mit hochstehender Technologie (eiserne Ringanker). Neben dem Innenraum wandte man nun auch der Aussenwirkung der Kirchenbauten gesteigerte Aufmerksamkeit zu. Insbesondere wurde das turmartige

«Westwerk» zu einem weithin sichtbaren Zeichen des Sakralbaus. Aussengliederungen mit flachen Wandvorlagen und Blendbögen kamen auf.

6. 950–1050: «Frühromanik»

Das Jahr 955 markierte das vorläufige Ende einer ganz grossen Krise Europas, die nach der karolingischen Blütezeit eingesetzt hatte: Auf dem Lechfeld siegte damals der ostfränkische König und spätere Kaiser Otto der Grosse entscheidend über die ungarischen Reiterheere, die Mitteleuropa seit einem halben Jahrhundert in Unruhe versetzt hatten. Plündernde und brandschatzende Völker bedrohten damals auch an anderen Grenzen den wirtschaftlichen und kulturellen Wiederaufstieg Europas, im Westen zum Beispiel die normannischen Seeräuber. Erst mit der Regentschaft Ottos des Grossen und mit den kapetingischen Königen im westfränkischen Territorium setzte wieder eine Stabilisierung ein, mit der auch ein erneutes Aufblühen der Bautätigkeit gegen Ende des 10. Jahrhunderts einherging. Allerdings waren wohl inzwischen auch die letzten Reste einer Tradition der technischen Fertigkeiten, Fähigkeiten und Leistungen der römisch-antiken Bautechnik verloren gegangen. Wir sehen daher gegen Ende des 10. Jahrhunderts architektonisch und bautechnisch den Beginn einer ganz neuen Epoche, des Mittelalters. In baugeschichtlicher Hinsicht grenzt sich diese neue Phase von der letztlich noch spätantik geprägten Karolingerzeit deutlich ab.

Die Leistungen der Spätantike und der Karolingerzeit blieben für die architektonische Entwicklung allerdings weiterhin vorbildlich. Mit den Sakralbauten der Karolingerzeit war auch nördlich der Alpen die Säulenbasilika des römisch-spätantiken Typs eingeführt worden. Daneben hatte sich – vor allem bei kleineren Kirchen – die reduzierte Version der Pfeilerbasilika etablieren können. Diese beiden Bautypen wurden von der Sakralarchitektur des 10. und 11. Jahrhunderts weiterentwickelt und auch bei Bauten monumentaler Dimension angewendet. In Form flachgedeckter Pfeilerbasiliken in nunmehr allerdings monumentalem Massstab wurden im ausgehenden 10. oder beginnenden 11. Jahrhundert die Kirche Sainte-Gertrude in Nivelles, die Servatiusbasilika in Maastricht und die Kirche Saint-Denis in Lüttich errichtet. Bei allen diesen Kirchen des Rhein-Maas-Raumes ist das Äussere durch flache Wandvorlagen und Blendbögen gegliedert. Ausserdem wiesen die genannten Bauwerke allesamt Westwerke in Nachahmung der karolingischen Bauten auf (teils heute zerstört oder später ersetzt). Dasselbe gilt auch für die Kirche St. Pantaleon in Köln, die allerdings nicht basilikal war, sondern in ihrer ursprünglichen Gestalt nur über einen rechteckigen Saalraum ohne Seitenschiffe (aber mit seitlichen Kapellen neben dem Altarraum wie in Steinbach bei Michelstadt) verfügte. Alle genannten Kirchenbauten bestehen aus wenig sorgfältig bearbeitetem Stein und waren – ganz im Gegensatz zum heutigen «rustikalen» Zustand, der durchwegs auf Restaurierungen oder Rekonstruktionen der Mitte des 20. Jahrhunderts nach Kriegsbeschädigung zurückgeht – ursprünglich vollflächig verputzt. Da die genannten Bauten alle stark überformt worden sind, werden sie hier nicht näher betrachtet.

Eine im 10. Jahrhundert häufiger vorkommende Besonderheit bei Basiliken war der regelmässige Wechsel zwischen Säulen und Rechteckpfeilern bei den Arkaden zwischen Mittel- und Seitenschiff. Die berühmtesten Beispiele dafür sind die Kirche St. Michael in Hildesheim (nach nahezu vollständiger Zerstörung im II. Weltkrieg rekonstruierend im Erscheinungsbild des 10. Jahrhunderts wiederaufgebaut) und die Damenstiftskirche St. Cyriakus in Gernrode (nahezu unverändert erhalten), die sich von den anderen genannten Basiliken dadurch unterscheidet, dass sie über den Seitenschiffen Emporen besitzt, die sich zum Mittelschiff durch kleine Säulenarkaden öffnen. Beide genannten Kirchen sind doppelchörig, d.h. der Apsis und dem Querschiff im Osten steht am Westende

des Innenraums eine zweite Apsis gegenüber. Derartige «doppelhörige» Anlagen (mit in das Westwerk integrierter Gegenapsis) hatte es schon in karolingischer Zeit gegeben (Fulda); sie erfreuten sich im 11. Jahrhundert grosser Beliebtheit.

Alle die genannten architektonischen Leistungen des 10. und frühen 11. Jahrhunderts – der Zeit der Kaiserdynastie der sogenannten «Ottonen» (Kaiser Otto I. bis Otto III.) – werden unter dem Begriff der sogenannten «Frühromanik» zusammengefasst. Etwa um das Jahr 1000 herum fanden die verschiedenen geographisch weit verstreuten Anregungen der karolingischen und ottonischen Sakralarchitektur zu einer neuen Baukunst zusammen, die in vergleichbarem Erscheinungsbild weite Teile Europas zu erobern begann – von Nordspanien bis in die Normandie und auf die britischen Inseln, von Latium bis nach Polen. Diese Baukunst wird unter dem stilistischen Kunstbegriff der «Romanik» zusammengefasst, weil man in der Architekturgeschichtsschreibung des 19. Jahrhunderts in den baukünstlerischen Leistungen des 11. und 12. Jahrhunderts vor allem einen Rückgriff und eine Anknüpfung an die altrömische Architektur sehen wollte.

Eine gute Einführung in die Baukunst des frühen 11. Jahrhunderts kann ein Besuch auf der Insel Reichenau im Bodensee bieten. Dort errichtete man zwischen dem 8. und dem 12. Jahrhundert mehrere Kirchenbauten; teilweise ersetzte man die Kirchen nach kurzer Zeit durch Neubauten, teils blieben aber auch bedeutende Teile erhalten. Noch dem Übergang von der karolingischen in die ottonische Phase gehört die Kirche St. Georg in Oberzell an, die eine kleine Säulenbasilika ist. Sie entspricht in der Gruppierung stark voneinander «abgeschnürter» Räume noch dem karolingischen Prinzip der Addition weitgehend selbständiger Raumzellen. Das Mittelschiff der Basilika stösst an einen über einer Gangkrypta erhöhten Altarraum, der an drei Seiten kleeblattartig durch Apsiden erweitert wurde (heute verändert). Die Säulen der Basilika sind nicht monolithisch, sondern verputzte und bemalte gemauerte Stützen. Die ganze Kirche ist aussen verputzt und wird innen fast vollflächig durch Fresken aus der Zeit um 1000 geziert, so dass das fast ausschliesslich in Bruchstein ausgeführte Mauerwerk weder aussen noch innen sichtbar ist.

In der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts wurde die viel grössere Hauptkirche der Klosterinsel Reichenau weitestgehend neu errichtet, das Münster St. Maria und Marcus in Mittelzell, das schon mehrere Vorgängerbauten gehabt hatte: Hier wählte man die Form einer Pfeilerbasilika. Sie weist zwei Querschiffe auf – eines im Westen und eines im Osten des dreischiffigen basilikalischen Langhauses. Die westliche Front wird durch einen mächtigen, an die karolingischen und ottonischen Westwerke erinnernden Turm markiert, der dem Westquerschiff vorgelegt ist. Er umschliesst eine westliche Apsis. An das östliche Querschiff schloss ebenfalls ein Chor an (heute durch einen spätgotischen Bau ersetzt). In der Gesamtdisposition greift das Münster also auf karolingische doppelhörige Anlagen zurück. Im Gegensatz zu diesen steht allerdings die einheitliche Höhe und Breite von Mittel- und Querschiffen sowie die «ausgeschiedene Vierung»: Da Mittelschiff und Querschiffe gleich breit sind, ergibt sich an der Kreuzung ein quadratisches Raumkompartiment («Vierung»), das sich auf allen Seiten zu den anschliessenden Räumen mit vier gleich weiten Bogen öffnet. Auch die seitlichen Arme der Querschiffe nähern sich der quadratischen Form und Dimension der Vierungen. Damit war der Keim zu einer Systematisierung des Grund- und Aufrisses gelegt, die in karolingischer Zeit noch nicht stattgefunden hatte: Damals waren die Querhausarme meist niedriger als das Mittelschiff gewesen, es hatte also keine «Vierung» gegeben; alternativ lief bei den karolingischen Kirchen das Querschiff durch, ohne sich mit dem

Mittelschiff zu verschneiden, das stattdessen nur mittels eines «Triumphbogens» mit dem Querschiff in Verbindung stand. In der neuen Baukunst des 11. Jahrhunderts gibt es keine derartige Addition von zellenartigen Räumen mehr, sondern die Vierung öffnet sich mit Bögen zu den angrenzenden Räumen, wird dadurch optisch ablesbar und trotzdem räumlich eng mit den anschliessenden Raumkompartimenten verbunden. Diese sogenannte «ausgeschiedene Vierung» als bestimmende Einheit des Grundrisses hatte man schon im 10. Jahrhundert in St. Michael in Hildesheim zur Grundlage des Entwurfes gewählt; bei unzähligen Kirchenbauten des 11. und 12. Jahrhunderts wurde dieses Konzept dann wiederholt. Meist wurde die quadratische Vierung sogar noch durch einen Turm überhöht (Vierungsturm), der auch nach innen offen sein konnte.

In Mittelzell zeigen sich aber noch weitere Elemente einer neuen Zeit: Zwar besteht der Bau in grossen Teilen immer noch aus kleinformatigem, verputztem Mauerwerk. An architektonisch wichtigen Stellen am Aussenbau und im Inneren finden sich jedoch unverputzte Werksteinelemente, die insbesondere die Bauwerkskanten bezeichnen. Der Westturm wird durch schmale Wandvorlagen («Lisenen») gegliedert, die durch Reihen von kleinen Blendbögen («Rundbogenfriese») verbunden sind. Der einfache Rundbogenfries ist ein architektonisches Leitmotiv der Frühromanik. Im Inneren der Kirche von Mittelzell findet sich an den Vierungsbögen sogar ein Farbwechsel von roten und weissen Werksteinen.

Im Verlaufe des 11. Jahrhunderts eroberte der Werkstein immer grössere Teile der Sakralbauten. Sauber steinmetzmässig bearbeiteter Naturstein wurde zu einer Auszeichnung des Sakralbaus. Die neue Beachtung des Natursteins ging einher mit einer gesteigerten Sorgfalt der Steinbearbeitung und einer langsamen Evolution der Steinbearbeitungstechnik. Nach der langen Phase der überwiegenden Verwendung von nur grob zugerichteten kleinformatigen Steinen musste man die Herstellung grosser Quader offenbar neu lernen. Im Gegensatz zur antiken und karolingischen Baukunst, wo man zur Glättung der Quaderflächen vorwiegend eine differenzierte Auswahl verschiedener Meissel («Eisen») und Beile («Fläche») verwendet hatte, versuchte man nun zunächst, mit denselben Werkzeugen, die man auch zum groben Zurichten der Steine benützte, eine ansprechende endgültige Werksteinoberfläche zu erzeugen: Vorwiegend kam der spitze Meissel («Spitzeisen») zum Einsatz, der mit einem hölzernen Klüpfel vorgetrieben wurde und so die Erzeugung langer Rillen auf der Steinoberfläche ermöglichte. Mit ihm gestaltete man dekorative Muster auf den Sichtflächen der Quader (z.B. Fischgrätmuster), anstatt den Meissel ungerichtet anzuwenden oder gar die Oberfläche mit der Spitzhacke abzarbeiten. In Mittelzell finden sich herausragende Beispiele für diese Art der Natursteinbearbeitung, ebenso in der etwas älteren, schlichten Pfeilerbasilika des Klosters Schienen auf der nahegelegenen Halbinsel Höri, bei der alle Pfeiler und Bögen in sichtbarem Naturstein ausgeführt wurden.

Bei Bauten allerhöchsten Ranges griff man auch im 11. Jahrhundert wieder auf das Vorbild der antiken und karolingischen Säulenbasiliken mit monolithischen Säulenschäften zurück. Die bedeutendsten wenigstens noch als Ruine erhaltenen Bauwerke dieser Zeit sind die Stiftskirche in Bad Hersfeld und die Klosterkirche Limburg an der Haardt am Abhang des Pfälzer Waldes zur Rheinebene hin. Die beiden Kirchen sind sehr gut geeignet, sowohl die Tradition als auch die innovativen Elemente zu verdeutlichen: Während die Hersfelder Kirche im Grundriss noch fast wie die Alte Peterskirche in Rom mit einem durchgehenden Querschiff ausgestattet ist, zeigt die Klosterkirche Limburg an der Haardt eine ausgeschiedene Vierung wie in Hildesheim

oder Mittelzell. Bei beiden Kirchen (Hersfeld und Limburg) gibt es einen eigenen, rechteckigen Altarraum, der östlich (als Fortsetzung des Mittelschiffes) an das Querschiff anschliesst («Chor») und über einer Krypta erhöht ist. Ausserdem weisen beide Kirchen eine ausgeprägte Westturmgruppe auf, die mit der im Erdgeschoss angeordneten niedrigen Eingangshalle noch an das mehrstöckige karolingische Westwerk gemahnt. Wie in Mittelzell sind bei beiden Bauten die Bauwerkskanten und architektonischen Gliederungselemente in sorgfältig mit dem Spitzeisen bearbeitetem Naturstein ausgeführt, während die grossen Wandflächen verputzten Bruchstein, gegliedert durch Lisenen und Rundbogenfriese (auch diese verputzt), zeigen.

Während Hersfeld und Limburg nur als Ruinen erhalten sind, existiert die Domkirche (Münster) von Konstanz noch heute. Sie gehört exakt in denselben Zusammenhang wie die beiden vorgenannten grossen Säulenbasiliken. Auch das [Konstanzer Münster](#) hat monolithische Säulen aufzuweisen (im [heutigen Bau des 11. Jahrhunderts](#) wiederverwendete Monolithe des schon sehr ähnlichen Vorgängerbaus des 10. Jahrhunderts). Im Konstanzer Münster überlagern sich, wie es für derartige tausendjährige Bauten typisch ist, zahlreiche Bau-, Erweiterungs- und Renovierungsphasen. Trotzdem lassen sich bei genauer Betrachtung leicht die Bauteile des 11. Jahrhunderts identifizieren – zum Beispiel anhand der Bearbeitung der Natursteine.

Zu den «Leitfossilien», anhand derer man Architektur des 11. Jahrhunderts identifizieren kann, gehört jedoch auch die spezielle Art der Säulenordnung. Während bis dahin meist das antike korinthische Kapitell in diversen mehr oder weniger geglückten Abwandlungen als Vorbild gedient hatte, konnte sich nun ein sehr charakteristisches Element durchsetzen, das «[Würfelkapitell](#)»: Es handelt sich dabei um ein Kapitell, das mit dem korinthischen keine Ähnlichkeit mehr besitzt, sondern sehr abstrakt gestaltet ist: Das Kapitell besteht aus einem würfelförmigen Körper, der nach unten kugelförmig abgerundet ist und daher auf jeder der vier Ansichtsseiten einen halbkreisförmigen «Schild» aufweist. Nach oben abgeschlossen wird das Kapitell durch eine schlicht profilierte Deckplatte.¹¹ Ansonsten orientiert sich auch die Säulenordnung der Romanik noch am antiken Vorbild: Die Basis besteht aus Wulst-Kehle-Wulst und ruht auf einer quadratischen Platte ([Plinthe](#)); neu ist allerdings die Verbindung zwischen Plinthe und Basis durch «[Eckblätter](#)» oder «Eckzehen». [Beim Konstanzer Münster wurde das viereckige Würfelkapitell zu einer achteckigen Variante weiterentwickelt.](#)

Neben die Sakralbaukunst in der spätantik-karolingischen Tradition traten aber bald neue Ansätze. In einigen Gebieten – namentlich sind Burgund und das Rheingebiet zu nennen – entstanden Bauten mit neuem Anspruch. Anspruch wurde vor allem dokumentiert durch [Wölbung](#) sowie durch möglichst weitgehende Elimination von unregelmässigem Mauerwerk. Zu den allerersten Versuchen, eine derartige neue Baukunst zu etablieren, sind die Abteikirchen von Tournus an der Saône (Burgund) und Romainmôtier (Kanton Waadt) zu zählen.

In [Tournus](#) begann man kurz nach 1000 mit dem Neubau einer grossen Abteikirche nach einem Brand des Vorgängerbaus. Unter dem Chorraum wurde in einer Krypta die Grablege des Gründers der Ordensgemeinschaft, des hl. Philibert, angeordnet. Die

¹¹ In einem neueren Aufsatz hat der Architekturhistoriker Matthias Untermann das Würfelkapitell als mittelalterliche Anverwandlung der dorischen Säulenordnung interpretiert.

Gewölbe¹² der dreischiffigen Krypta werden von monolithischen Säulen getragen. Im Verlaufe des 10. und frühen 11. Jahrhunderts hatte sich die Gangkrypta der Karolingerzeit zur sogenannten «Hallenkrypta» entwickelt – meist ein dreischiffiger gewölbter Raum mit Säulen als Stützen. Rings um den zentralen Raum der Krypta von Tournus führt u-förmig ein tonnengewölbter Umgang herum, an den sich wiederum radial ausgerichtete rechteckige Kapellen anschliessen. Dieselbe Struktur – ein «Umgangschor» - wiederholt sich auch in der Kirche selbst. Welche Gründe zur Anlage des Umgangschores Anlass gaben, darüber kann man nur spekulieren. Wahrscheinlich dienten die Umgänge dazu, den Pilgern einen Zugang zum Grab oder Reliquien des Heiligen zu ermöglichen, ohne dass dadurch der Gottesdienst im Altarraum gestört wurde oder der Altarraum überhaupt betreten werden musste.

Nachdem man den grossen Umgangschor von Tournus und vermutlich auch das Querschiff der Kirche fertiggestellt hatte und somit den Gottesdienst von dem brandgeschädigten Vorgängerbau in den Neubau verlegen konnte, begann man um 1025 am anderen Ende der Kirche, im Westen, mit dem Bau eines grossen doppelstöckigen Massivs mit Zweiturmfassade, einer Anlage also, die an karolingische Westwerke erinnert. In beiden Stockwerken ist diese dreischiffig angelegte, wohl gegen 1050 fertiggestellte sogenannte «Vorkirche» gewölbt: Im unteren Stockwerk, also der eigentlichen Eingangshalle der Kirche, finden wir im Mittelschiff Kreuzgratgewölbe und in den Seitenschiffen quer zur Kirchenachse ausgerichtete Tonnengewölbe, das ganze getragen von massiven gemauerten Rundstützen. Es wiederholt sich hier im Grunde das Modell der römischen Thermensäle oder der Maxentiusbasilika, allerdings nicht mit überhöhtem, direkt belichtetem Mittelschiff. Die Tonnengewölbe in den beiden Seitenschiffen wirken als perfektes Widerlager für die Kreuzgewölbe in der Mitte. Das obere Stockwerk der Vorkirche ist hingegen als Basilika gestaltet: Das Mittelschiff wird durch grosse Fenster belichtet und durch ein längs gerichtetes halbkreisförmiges Tonnengewölbe überdeckt. Dieses wird durch untergelegte Gurte verstärkt. Ausserdem sind hölzerne Anker vorhanden, die die beiden Obergadenwände zusammenhalten sollen. Trotzdem traute der Baumeister dem grossen Tonnengewölbe im Mittelschiff wohl nicht ganz, denn in den Seitenschiffen verwendete er zur Wölbung viertelkreisförmige «halbierte» Tonnen, die sich gegen die Mittelschiffswand stemmen und diese davor bewahren sollen, sich nach aussen zu neigen. Als Stützen kamen wiederum gemauerte Rundpfeiler zum Einsatz.

Nachdem die Baumeister von Tournus genügend Erfahrungen mit dem Bau der Tonnengewölbe im Ost- und Westteil der Kirche gewonnen hatten, wurde im mittleren Drittel des 11. Jahrhunderts auch das Langhaus errichtet. Es hat ebenfalls basilikalen Querschnitt und wieder massive gemauerte, hier nun sehr hohe Rundstützen. Während in den Seitenschiffen Kreuzgewölbe zum Einsatz kamen, wählte man im Mittelschiff eine einmalige Lösung für die Überdeckung: Das Mittelschiff wird von quer zur Raumachse stehenden Tonnengewölben überdeckt, die auf grossen «Schwibbögen» ruhen. Auf diese Weise erzielte der Baumeister ein reich belichtetes, saalartig weiträumiges und dennoch statisch völlig problemloses Langhaus. Tournus war eine der ersten komplett eingewölbten Grosskirchen des Mittelalters – trotzdem fand die eigenwillige Wölbungskonzeption praktisch keine Nachfolge.

¹² Heute sind die Gewölbe der Krypta „schalungsrauh“. Die extrem unregelmässige Gewölbeoberfläche wurde wohl absichtlich so ausgeführt, um das Anhaften eines späteren, ausgleichenden glatten Putzes zu erleichtern.

Auch in der Steinbearbeitung folgte man in Tournus gesteigerten Ansprüchen: Schon in der Krypta sind zahlreiche mit dem Beil bearbeitete grössere Quader verbaut. Der restliche Bau besteht vorwiegend aus einigermaßen sorgfältig in Form gebrachten Natursteinen im handlichen Format von Backsteinen. Die in dieser Technik erbauten Bauteile (Stützen und Wände) wurden in der sogenannten «Pietra-Rasa-Technik» vermauert, d.h. man verwendete reichlich Fugenmörtel, den man auch über die unregelmässigen Teile der Kleinquaderstirnen verstrich. Um dem Ganzen nachher das Aussehen eines regelmässigeren Quaderwerks zu geben, wurde sodann abschliessend mit der Kelle ein Fugennetz in den noch weichen Mörtel gezogen. Die so hergestellten Flächen muss man sich allerdings wahrscheinlich im Originalzustand zusätzlich verputzt und bemalt vorstellen. – Nur an den Gewölben verwendete man fast ganz unbearbeitete Bruchsteine, fast in der Art des römischen *opus caementicium*, die allerdings in ungefähr radialer Ausrichtung versetzt wurden.

Ganz ähnliche Strategien – nur ohne Einsatz von Quertonnen – kamen auch im 1. Drittel des 11. Jahrhunderts beim Bau der Kirche von Romainmôtier in der Westschweiz zum Einsatz. Allerdings bewährte sich das System der Tonnenwölbung nicht, und die Aussenwände der Kirche wurden durch die Gewölbe nach aussen gedrückt.

Noch höher als in Tournus oder Romainmôtier war das Anspruchsniveau beim Bau des Domes in Speyer (1027–61) (Bauphase Speyer I, Frühromanik), der bis dahin monumentalsten Kirche des Mittelalters überhaupt: Es handelte sich um eine Basilika mit östlichem Querschiff, einem von zwei Türmen flankierten Chor und einem ebenfalls mit zwei weiteren Türmen ausgestatteten, nach aussen wie ein zweites Querschiff aussehenden Westwerk. Die Vierung von Mittel- und Querschiff bezeichnete ein fünfter Turm, so dass sich Ost- und Westgruppe des Baus nahezu gleichwertig gegenüberstanden. Für den ganzen Dom wählte man das System der Pfeilerbasilika: Zwei mächtige gleichförmige Reihen von Pfeilern tragen die Scheidarkaden zwischen dem Mittelschiff und den Seitenschiffen. Die Mittelschiffswand wurde – wie manchmal schon am Äusseren der vor- und frühromanischen Kirchenbauten und wie in St. Pantaleon in Köln auch innen – durch eine Reihe von Blendbögen gegliedert. Jeder dieser Blendbögen ruhte auf einer schlanken Halbsäule, die der Mittelschiffswand vorgelegt war. Durch die Reihe dieser auf die Jochfolge abgestimmten Blendbögen wurde auch den Obergadenfenstern der dichte Rhythmus der Scheidarkaden aufgezwungen, und die Wand wurde in ganzer Höhe in einem architektonischen System gefasst, während man bei den flachgedeckten Basiliken Obergadenfenster und Scheidarkaden häufig ganz unbekümmert völlig unabhängig voneinander angeordnet hatte (heute oft durch spätere Eingriffe reguliert).

Unter dem östlichen Chorraum und dem Querschiff des Speyerer Domes erstreckt sich eine riesige Krypta. Die Krypta findet in Speyer eine monumentale Form: Entsprechend der Vierung, den quadratischen Querhausarmen und dem quadratischen Chor weist die Krypta vier miteinander verbundene Räume auf, deren jeder vier Säulen mit Würfelkapitellen hat, die jeweils 3 x 3 Kreuzgewölbe tragen. Diese grossartige unterirdische Anlage war als Grablege der Kaiser geplant.

Auch in der Kirche selbst sind grosse Teile gewölbt: Die Seitenschiffe, deren Grösse es mit dem Mittelschiff einer durchschnittlichen Kirche aufnehmen kann, sind ebenfalls durch Kreuzgratgewölbe überdeckt (Spannweite 9 m, also mehr als im Mittelschiff von Tournus!). Die von Anfang an geplante Wölbung der Seitenschiffe war sicher der wichtigste Grund für die massive Ausführung der Pfeilerarkaden des Doms. Im

Mittelschiff allerdings traute man sich die Wölbung zunächst noch nicht zu, das Mittelschiff und das Querschiff hatten flache hölzerne Decken (ganz ähnlich auch an der etwa gleichzeitigen Abteikirche von Jumièges in der Normandie). Als Baumaterial verwendete man an Speyer I in grossen Teilen verputztes Bruchstein- und Kleinquadermaterial; die architektonischen Gliederungselemente wurden hingegen durchwegs in sichtbarem, sorgfältig bearbeitetem Werkstein ausgeführt. Zum Beispiel präsentiert sich die Krypta weitgehend in sichtbarem Werkstein, und zum Aufsetzen der Würfelkapitelle auf die allerdings aus Trommeln erbauten Säulen der Krypta waren sicher leistungsfähige Hebezeuge nötig. Die Gewölbe der Krypta und der Seitenschiffe wurden in dickschaliger (etwa 50–60 cm) Konstruktion aus kleinformatigen Natursteinen gemauert und vollflächig verputzt. Nur die Gurtbögen, die die einzelnen Gewölbefelder voneinander trennen, sind aus Werkstein. Sowohl in den Seitenschiffen als auch in der Krypta ist die Gewölbegeometrie so gestaltet, dass die Kreuzgrate einen etwa halbkreisförmigen Verlauf aufweisen.¹³ Bei einer Konstruktion des Kreuzgewölbes nach dem römischen Modell der «Durchdringung zweier gerader Zylinder» ergeben sich hingegen elliptische Kreuzgrate. Die Verwendung halbkreisförmiger Kreuzgrate führt zu einer mittigen, kuppelartigen Überhöhung des Kreuzgewölbes, die für grosse Teile der mittelalterlichen Baukunst typisch bleiben sollte.

Zusammenfassung:

Zwischen etwa 950 und 1050 bewegte sich die Frühromanik zunächst im Wesentlichen auf den durch die karolingische Baukunst vorgezeichneten Pfaden. Vor allem der Bautypus der Pfeilerbasilika sowie jener der Basilika mit Stützenwechsel bestimmte die Sakralarchitektur. Auch das neu erwachte Interesse an einer prononcierten Aussenwirkung – erreicht durch die Anordnung einer westlichen Turmgruppe (Westwerk) und durch die Gliederung des Äusseren durch Lisenen und Rundbogenblenden bzw. Rundbogenfriese setzte sich fort. In der Gesamtanlage wurde bei grösseren Kirchen oftmals eine doppelchörige Form gewählt. Als Baumaterial hielt man vorwiegend am wenig bearbeiteten Bruchstein und kleinformatigen Quaderwerk fest, also an einschaligem Mauerwerk, das verputzt wurde. Gegen 1000 zeichnen sich neue Tendenzen ab: Es entsteht die «ausgeschiedene Vierung», deren Grundrissquadrat schnell zum Modul des Gesamtgrundrisses avanciert. Ausserdem setzt ein Wiederaufstieg des Werksteins ein: Zunächst werden Bauwerkskanten und architektonische Gliederungselemente an ansonsten flächig verputzten Bauten wieder in sichtbarem Werksteinmauerwerk ausgeführt. Die Bearbeitung erfolgt vorzugsweise mit dem Spitz Eisen (Meissel), das so geführt wird, dass die Bearbeitungsspuren dekorative Muster ergeben. Als Leitmotiv der Epoche kann sich das schlichte «Würfelkapitell» etablieren, das zum ersten Mal eine radikale Loslösung von dem bis dahin dominierenden Modell des antiken korinthischen Blattkapitells vollzieht. Bei besonders monumentalen Kirchenbauten kehrt in der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts auch die Säulenbasilika mit monolithischen Säulen wieder.

Bedeutende technologische Innovationen brachten einige Grossbauten der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts, namentlich die Abteikirche Tournus und der Kaiserdom in Speyer (Speyer I). In diesen Bauten wagte man erste Experimente mit weitgespannten Gewölben. Zunächst wagte man allerdings nur in Seitenschiffen und Krypten den Bau von Kreuzgewölben, während man sich sonst, so gut es ging, mit den vermeintlich einfacheren Tonnengewölben zu behelfen versuchte. In der Ausführung der Bauten ist auch hier

¹³ Diese Angaben werden bestätigt durch einen Aufsatz von David Wendland und Mark Gielen 2022.

deutlich das Bestreben zu gleichmässigerem Mauerwerk und dem Einsatz von Werkstein wenigstens an herausgehobenen Bauteilen zu erkennen.

7. 1050–1120: Speyer II, Jumièges, Nevers und die «Hochromanik»

Den architektonischen und bautechnischen Umbruch von der sogenannten «Frühromanik» zur «Hochromanik»¹⁴ markiert in der Mitte des 11. Jahrhunderts in exemplarischer Weise die Abteikirche von Jumièges in der Normandie, dann die Prioratskirche Saint-Étienne in Nevers an der Loire, und schliesslich der tiefgreifende Umbau des Speyerer Domes, den man in Angriff nahm, als der Bau noch kaum fertig war (Bauphase Speyer II, 1080–1110, Hochromanik).

In Jumièges (ca. 1040–67) folgte man zwar in der Grundkonzeption der Kirche ähnlichen Ideen wie bei Speyer I – kreuzgratgewölbte Seitenschiffe, Mittelschiff und Querschiff hingegen mit hölzerner Flachdecke. Allerdings präsentiert sich diese Kirche innen wie aussen fast komplett als Werksteinbau! Erreicht wurde dies durch konsequente Anwendung der mehrschaligen Wand: Aussen- und Innenfläche der Wand sind in sorgfältig bearbeiteten, quaderförmigen Steinen ausgeführt, während sich im Mauerkerne eine geschüttete Masse aus Bruchsteinen, Steinabfällen und Mörtel befindet. Die sichtbar bleibenden, also nicht zur Verputzung vorgesehenen Quader wurden nicht nur mit dem Spitzisen bearbeitet, sondern danach in einem zweiten Arbeitsgang mit dem Beil («Glatfläche») weiter geglättet. Architektonisch zeichnet sich die Abteikirche von Jumièges ausserdem durch eine Empore über den Seitenschiffen und eine Gliederung der Mittelschiffswand durch vorgelegte Halbsäulen aus.

Der wenig später sich anschliessende Umbau des Domes von Speyer (Speyer II, 1080–1110) folgte einem ähnlichen Anspruchsniveau. Nun, an der Wende vom 11. zum 12. Jahrhundert, wurde auch das rund 14 m breite Mittelschiff gewölbt, und zwar – zum ersten Mal nach der Antike! – mit monumentalen Kreuzgratgewölben. Dazu musste allerdings auch die Mittelschiffswand verändert werden. Der bestehenden Wand wurde eine weitere Schicht von Wandvorlagen vorblendet. Jeweils zwei Joche des bestehenden Baus wurden zu einem grossen, fast quadratischen Joch zusammengefasst. Diese Raumkompartimente, deren Grösse nunmehr etwa jener der Vierung entsprach, wurden jeweils mit einem einzigen grossen Kreuzgewölbe überdeckt. Die Zuordnung eines etwa quadratischen Kreuzgewölbes im Mittelschiff zu jeweils zwei halb so grossen in den Seitenschiffen, die sich in Speyer aus der speziellen Baugeschichte ergab, wurde schnell zur Norm bei gewölbten Neubauten – sie wird als «gebundenes System» bezeichnet. Die Joche werden üblicherweise durch Gurtbögen (quer zur Raumachse spannend) voneinander getrennt (in starkem Gegensatz zu den römischen Kreuzgewölben z.B. in den Thermen!). Diese Gurtbögen sind immer in Werkstein ausgeführt und stellen den ersten Schritt zu einer Einbindung auch der Gewölbeschale in das übergreifende Architektursystem der Wand dar. Konsequenterweise wird schon in Speyer jeder Gurtbogen durch ein eigenes, vor die Wand gelegtes Paar von Halbsäulen abgefangen und getragen.

Das Mittelschiff musste etwas erhöht werden, um die Gewölbe noch unter der Dachtraufe unterbringen zu können. Das ohnehin schon hohe Mittelschiff erhielt dadurch noch schlankere Proportionen. Unter allen Dachtraufen – auch an der im Osten an den bestehenden Chor angebauten Apsis – wurden sogenannte «Zwerggalerien» angebracht, aussen umlaufende kleine gewölbte Laufgänge, die zu einem Markenzeichen der rheinischen Romanik werden sollten. Das Mittelschiff wurde mit derselben Bautechnik

¹⁴ Die Bezeichnungen der Stilphasen gehen auf Periodisierungsmodelle zurück, die von der Kunstgeschichte im 19. Jahrhundert entwickelt wurden. Sie können die sehr vielseitige architektonische und bautechnische Entwicklung nur grob wiedergeben.

eingewölbt, die man auch schon in der Krypta und den Seitenschiffen angewendet hatte: kuppelig überhöhte Kreuzgewölbe mit etwa halbkreisförmigen Kreuzgraten, in verputzter, dickschaliger Bauweise aus kleinen Natursteinen. Im Gegensatz zu den römischen Gewölben sind die Gewölbe der Romanik aber nicht aus völlig unbearbeitetem, geschüttetem Bruchstein in betonartiger Bauweise ausgeführt, sondern aus einigermassen quaderförmigen Steinen regelmässig mit radial ausgerichteten Schichten gemauert. Obwohl die Schale der Gewölbe immer noch «dick» ist im Vergleich zu den spätmittelalterlichen Gewölben, ist sie doch viel dünner als bei den mit regellosem Material geschütteten Gewölben der Römerzeit. Mit dem Mörtel des Mittelalters – ohne Kenntnis der Puzzolane! – hätten sich Gewölbe in *opus caementicium* nach antikem Vorbild ja auch gar nicht ausführen lassen. Mit den in regelmässigem Verband aus kleinen Quadern gemauerten Gewölben, die ihren eigenen, vom antiken Vorbild abweichenden geometrischen Regeln folgen, hatte man eine Technik gefunden, mit der sich das Erscheinungsbild der bewunderten römischen Monumentalbauten nachahmen liess, ohne dass die Technik direkt übernommen wurde. Der Mörtel hat bei einer radialen Ausrichtung der Steine überwiegend die Funktion, den gleichmässigen Lastabtrag zu gewährleisten, während das prinzipielle Standvermögen der Konstruktion schon durch die Geometrie des Mauerwerksverbandes alleine gegeben ist.

Der komplett im «gebundenen System» mit Kreuzgewölben überdeckte Kirchenraum wurde zum Idealbild der Hochromanik und Spätromanik. Gleichzeitig stellte man auch an das Mauerwerk neue, höhere Ansprüche: Anstatt wie bisher nur ausgezeichnete Bauglieder (Pfeiler, Pfeilervorlagen, Säulen, Gesimse, Lisenen, Eckquaderung der Bauwerkskanten) in Werkstein auszuführen, den Rest des Bauwerks hingegen in verputztem Bruchstein, kam man nun immer mehr dazu, ganze Wandflächen komplett in Werkstein herzustellen, so dass keine verputzten Wandteile mehr übrig blieben. An die Stelle der noch bei Speyer I üblichen recht groben Steinbearbeitung mit dem Spitzisen oder dem Steinbeil trat nun eine sehr sorgfältige Glättung der sichtbaren Steinoberflächen mit dem Beil («Glattfläche»). Die Bearbeitungsspuren solcher Quader sind nur noch aus unmittelbarer Nähe und im Streiflicht zu sehen. Offenbar strebte man den Eindruck einer quasi «monolithischen» und gleichmässigen Wand an. Dazu wurden die Steine auch mit sehr schmalen sichtbaren Fugen («Pressfugen») vermauert; zum Inneren der Wand hin erweitern sich die Fugen allerdings meist keilförmig und sind mit reichlich Mörtel gefüllt. Den hohen Aufwand der Steinbearbeitung beschränkte man also auf die Sichtseite der Quader und die vier umgebenden Kanten. Seiten- und Rückflächen der Steine sind viel weniger sorgfältig bearbeitet. Bei der Wand als ganzer griff man auf eine Wiederbelebung oder Weiterentwicklung der antiken mehrschaligen Konstruktion zurück: Nur die Aussenseiten der Wand wurden in sorgfältigem Quaderwerk gefertigt, während man im Inneren die Abschlüge und Bruchstücke einfüllen konnte, die bei der Quaderherstellung ohnehin anfielen – eine Art *opus caementicium*, aber ohne Puzzolane. Der Wandkern einer mehrschaligen mittelalterlichen Wand ist daher ungleich weniger tragfähig und dauerhaft als der einer antik-römischen mehrschaligen Konstruktion, zumal man im Füllmaterial den teuren Kalkmörtel (Brennaufwand!) oft mit Lehm und anderen Bindemitteln streckte. Die Lasten werden bei mittelalterlichen Wandkonstruktionen somit oft vorwiegend durch die Aussenschalen abgetragen, während der Wandkern fast wie eine passive Füllung wirkt. Die präzise gearbeiteten Werkstein-Aussenschalen der mittelalterlichen mehrschaligen Konstruktion sind allerdings deutlich tragfähiger als z.B. die kleinen diagonal aufgeschichteten Steinprismen des römischen *opus reticulatum*. Das Verhältnis von Aussenschale und Füllung hatte sich also gegenüber der altrömischen Baukunst auch in der statischen Wirksamkeit umgekehrt. Die mehrschalige Konstruktion

ermöglichte die ökonomische Ausführung der für die Gewölbe notwendigen dickwandigen und schweren Wände.

Der kaiserliche Bau in Speyer wurde weithin beachtet. In schneller Folge entstanden auch andernorts Neubauten und Umbauten in ähnlichem Stil, zum Beispiel am Dom in Mainz, aber auch in Frankreich. Auch kleinere Bauten eiferten den grossen Vorbildern nach. Ein besonders gut erhaltenes Beispiel aus der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts ist die Kirche des Nonnenklosters Lippoldsberg an der Weser, eine im gebundenen System mit Kreuzgratgewölben gedeckte Pfeilerbasilika, die im Inneren grossflächig Werkstein zeigt, während der Aussenbau in kleinsteinigerem Material wohl ursprünglich gossenteils verputzt war.

Idealtypisch gelang etwa gleichzeitig zum Bau von Speyer II die Verbindung von Werksteinkonstruktion und Wölbung aller Bauteile in der 1068–92 erbauten Prioratskirche Saint-Étienne in Nevers an der Loire. Zwar hielt man hier – wie auch sonstwo in Burgund – noch lange an der ausschliesslichen Verwendung von Tonnengewölben in den Haupträumen fest. Mit der durchgängigen Verwendung sorgfältig bearbeiteter Werksteine erreichte man allerdings eine ganz neue Qualität der Architektur.

Neben dem Dom von Speyer war die neue Abteikirche von Cluny in Burgund (sog. Cluny III, 1088–1130) die bedeutendste Baustelle der Zeit um 1100. Cluny, ein im frühen 10. Jahrhundert gegründetes Benediktinerkloster, war im 11. Jahrhundert unter der Herrschaft zweier Langzeit-Äbte zum wichtigsten Kloster der europäischen Christenheit aufgestiegen. Direkt dem Papst in Rom unterstellt und somit unabhängig von den lokalen Machthabern der Umgebung, entwickelte sich das Kloster zu einem der mächtigsten Faktoren im Gefüge der Kirche. In Cluny vertrat man eine strenge Auffassung vom klösterlichen Leben und setzte in den assoziierten Klöstern, die als Priorate allesamt direkt von Cluny aus regiert wurden, diese strenge Auffassung auch rigoros durch. Schon um 1000 hatte man in Cluny eine ansehnliche Abteikirche errichtet (Cluny II), über deren Aussehen allerdings wenig bekannt ist, da nur die Fundamente als Grabungsbefund vorliegen. [Man kann sich allerdings anhand der von Cluny II abhängigen Kirchen von Romainmôtier und Payerne in der Westschweiz einigermassen einen Eindruck verschaffen, wie Cluny II ungefähr ausgesehen haben muss. Beide Kirchen wiesen wie Cluny II einen «Staffelchor» auf, also einen Ostabschluss mit einer dreischiffigen «Fortsetzung» der Basilika jenseits des Querschiffs und drei zugehörigen, gestaffelten Apsiden.](#)

1088 legte man in Cluny unter der Herrschaft des Abtes Hugo von Semur den Grundstein zu einem gigantischen Neubau, der die grösste Kirche der Welt werden sollte. Über das Aussehen dieser Kirche sind wir ziemlich genau im Bilde, weil sie bis ins 19. Jahrhundert existierte, von zahlreichen Zeichnern abgebildet wurde und ausserdem wenigstens in einem kleinen Rest bis heute erhalten ist und zudem als Ruine hervorragende Einblicke in das Innenleben der Konstruktion ermöglicht. Es handelte sich um eine fünfschiffige Basilika mit Umgangschor und gleich zwei weit ausgreifenden Querschiffen. Der Ostteil wurde durch zahlreiche Türme ausgezeichnet, und der Umgangschor mit seinen fünf radial ausgerichteten Kapellen bot ein reiches Bild. Im Westen war der Abteikirche eine eigentliche «Vorkirche» in Form einer dreischiffigen Basilika mit Doppelturmfront vorgelagert (erst wesentlich später vollendet), die in die Liturgie der Prozessionen eingebunden war. Wölbungstechnisch blieb Cluny III weit hinter Speyer II zurück, denn

man verwendete nur Tonnengewölbe, nun allerdings nicht mehr in halbkreisförmiger Ausbildung, sondern mit dem statisch günstigeren spitzbogigen Querschnitt. Trotzdem musste man sich auf eine relativ niedrige Fensterzone beschränken, um die Standsicherheit der Obergadenwände nicht zu gefährden. Das steile Mittelschiff wurde beidseitig von je zwei Seitenschiffen abgestufter Höhe begleitet und gestützt. Auch in Cluny III sind alle Gliederungselemente Werkstein ausgeführt. In der aufwendigen Grosssteinbauweise konnte allerdings allein schon aufgrund fehlenden geeigneten Steinmaterials unmöglich die gesamte Anlage ausgeführt werden. Auch die Werksteinelemente sind als «Steinkisten» aus hochkant stehenden Platten mit Bruchsteinfüllung ausgeführt. Die Umfassungswände bestehen hingegen aus kleinformatigen Quaderschalen mit Bruchsteinfüllung. Eine Vorstellung vom Innenraumeindruck der Abteikirche von Cluny III kann man anhand der kleinen «Replik» gewinnen, die man heute noch in der zu Cluny gehörigen Prioratskirche Paray-le-Monial besichtigen kann. In Burgund zeigte man sich auch im 12. Jahrhundert noch nachhaltig beeindruckt von Cluny, so dass auch die Kathedrale von Autun und die Stiftskirche von Beaune noch der Vorlage der spitztonnengewölbten Basilika folgten und nicht dem Muster Speyer II. Hohes Gewicht kam in allen diesen Bauten aber der feinen Steinbearbeitung und der am altrömischen Vorbild orientierten Wandgliederung mit Pilastervorlagen, einer Blendgalerie vor dem Dachanschlag der Seitenschiffsdächer und einer manchmal auf antike Vorbilder zurückgreifenden Kapitellplastik zu. Umgekehrt findet man nun allerdings auch allerhand völlig frei erfundene neue Kapitelltypen, zum Beispiel «Figuralkapitelle», die in kleinen Szenen allegorische Darstellungen oder biblische Geschichten wiedergeben. Erst in der Wallfahrtskirche von Vézelay und in der Kathedrale von Langres wagte man in Burgund gegen Mitte des 12. Jahrhunderts im Mittelschiff die Wölbung mit Tonnengewölben mit grossen, fast bis zum Scheitel der Haupttonne reichenden «Stichkappen» über den Fenstern, also einer Wölbung, die optisch einem Kreuzgewölbe gleicht und auch dessen statischer Wirkung nahekommt. In der Steinbearbeitung perfektionierte man inzwischen die Technik, und der diagonal durch feine «Schraffuren» mit dem Beil bearbeitete Stein wurde zum Leitmotiv.

Die Kunst der Werksteinbearbeitung nahm überall in Mitteleuropa derart steilen Aufschwung, dass man sich sogar erneut an die Kopie und Weiterentwicklung der römischen Bauplastik wagen konnte. Zum Beispiel erhielten die neuen, zusätzlichen Wandvorlagen im Mittelschiff von Speyer II nunmehr keine Würfelkapitelle mehr, sondern ungleich aufwendiger zu bearbeitende korinthische Kapitelle. Auch sonst entfaltete sich an den grossen Werksteinflächen von Speyer II eine reiche, dekorative Bauplastik. Die Blüte der Bauplastik war ein Leitmotiv der Hochromanik und ganz besonders der Spätromanik des 12. Jahrhunderts. Neben einer Wiederaufnahme von Blattkapitellen findet man auch figürliche Kapitelle mit kleinen Szenen, allerlei Abwandlungen des Würfelkapitells mit dekorativ bereicherten Flächen und Friese verschiedener Art (nicht nur Rundbogenfriese, sondern auch Schachbrettfriese, Blattranken- und Blütenfriese, Zahnschnitte usw.) zum Schmuck der horizontalen Gesimse, und Fenster werden zum Beispiel in Speyer II von reichem Rankendekor gerahmt.

Trotz der Fortschritte in der Wölbung ging auch die im frühen 11. Jahrhundert geprägte Version der flachgedeckten Säulenbasilika mit monolithischen Säulen nicht verloren. Gerade bei den Kirchen von Klöstern strengerer monastischer Ausrichtung empfand man die neuen Gewölbebauten als zu präventiös und setzte daher bewusst die architektonische Tradition des 11. Jahrhunderts mit flachgedeckten Basiliken fort. Beispiele sind die

Klosterkirchen von Hirsau und Alpirsbach im Schwarzwald oder Paulinzella in Thüringen. Ein herausragendes Beispiel stellt auch die ehemalige [Klosterkirche Allerheiligen in Schaffhausen](#) dar, die neben Payerne das bedeutendste Schweizer Baudenkmal des 11. Jahrhunderts ist. Die Bautechnik und Dekorationsformen wurden hier bewusst «historisierend» in Anlehnung an die altherwürdigen Säulenbasiliken gewählt (monolithische Säulen mit schlichten Würfelkapitellen), während in der hohen Qualität der Steinbearbeitung der Stand der Zeit aufgegriffen wurde. Ein weiteres, ähnliches Beispiel gleich in der Nähe ist die ehemalige Abteikirche des Klosters St. Georgen von Stein am Rhein, auch hier mit monolithischen Säulen und achteckigen «Würfelkapitellen» nach Vorbild des Konstanzer Münsters.

Zusammenfassung:

Um 1050 entwickelte sich die Bautechnik des hochmittelalterlichen Sakralbaus rasch. Der Umbruch ist an den beiden Bauphasen des Kaiserdomes von Speyer anschaulich abzulesen. Die entscheidenden Neuerungen waren zum einen die Wiedererweckung der monumentalen Wölbung mit Kreuzgewölben, zum anderen der Siegeszug des Werksteins. Den entscheidenden Schritt zur Wölbung vollzog man in Speyer in der zweiten Bauphase mit der nachträglichen Einwölbung des Mittelschiffs. Dort baute man kuppelartig überhöhte Kreuzgratgewölbe, die in kleinformatigen Natursteinen mit reichlich Mörtel und in recht dickschaliger Ausführung (ca. 50–60 cm) gemauert wurden. Die so entstehenden schweren Gewölbe erforderten massive Wandstrukturen als Widerlager. Die grossen Wandstärken wurden zur Wandgliederung durch mehrschichtige Vorlagen und Bogenblenden genutzt. Das Vorbild Speyer mit der strengen Zuordnung jeweils eines quadratischen, kreuzgewölbten Mittelschiffsjoches zu zwei ebenfalls kreuzgewölbten Seitenschiffsjochen im «gebundenen System» machte weithin Schule. In Burgung hingegen – im Umfeld von Cluny – blieb auch im 12. Jahrhundert die Tonnenwölbung dominierend.

In den sichtbaren Bauwerksoberflächen breitete sich der Werkstein immer mehr aus, der nunmehr in der Regel nach dem Abspitzen mit Zweispietz oder Spitzeisen einem weiteren nachfolgenden Glättungsschritt mit Hilfe des Steinbeils (Glattfläche) unterzogen wurde. Der Wiederaufstieg der Werksteinwand und die Notwendigkeit dicker Wände als Gewölbewiderlager brachten eine Wiederbelebung des mehrschaligen Wandaufbaus mit sich: Das Wandinnere wurde nunmehr mit unregelmässigen Bruchstücken in Mörtel gefüllt, während die Wandschalen mit Pressfugen in sorgfältig gefügten, zunehmend grossformatigen Quadern ausgeführt wurden. Der allgemeine Aufstieg des Steinmetzhandwerks löste auch eine neue Blüte der Bauplastik aus. Neben das schlichte Würfelkapitell traten im späten 11. Jahrhundert diverse Arten dekoriertes Kapitelle und auch figürliche Bauplastik.

8. Das 12. Jahrhundert, das Rippengewölbe und die Geburt der Gotik

In weiten Teilen Europas setzten sich im 12. Jahrhundert die Entwicklungen des späten 11. Jahrhunderts bruchlos fort. Im Sakralbau der «Spätromanik» entwickelte man eindrucksvolle, ganz in Werkstein ausgeführte, turmbestückte Aussenbauten mit Gliederung durch Lisenen, Rundbogenfriese und reiche Bauplastik, und komplett gewölbte Innenräume.

Manche der spätromanischen Aussenbauten des 12. Jahrhunderts gehören zu den unvergesslichen Architekturerelebnissen: So stellt sich zum Beispiel die Kirche der ehemaligen Benediktinerabtei Murbach im Oberelsass mit einer eindrucksvollen, mit zwei Türmen bestückten Ostfront vor demjenigen auf, der durch das stille Waldtal zum Kloster hinaufkommt. Im Detail lassen sich zahlreiche originelle und variantenreiche Bauskulpturen beobachten. Ähnlich imposant ist die westwerksartige Dreiturmgruppe der ehemaligen Klosterkirche Maursmünster im Unterelsass. Berühmt sind auch die turmreichen, unverkennbar von Speyer inspirierten Aussenerscheinungen einiger Kirchen weiter stromab am Rhein, zum Beispiel an den Domen von Worms und Mainz (beide wegen älterer Vorgängerbauten doppelchörig) oder an der Klosterkirche Maria Laach in der Eifel sowie an diversen Kirchen in Köln, kulminierend in dem monumentalen Vierungsturm der Kirche Gross St. Martin, der die Silhouette Kölns neben dem gotischen Dom bis heute massgeblich bestimmt. Insgesamt ist das Einzugsgebiet des Rheines eine derjenigen Regionen, in denen die Spätromanik im 12. Jahrhundert eine besonders reiche Blüte erlebte – begünstigt nicht zuletzt auch durch das in dieser Region verfügbare gut zu bearbeitende Sandsteinmaterial.

Oft wurden die Kirchen der Spätromanik noch im gebundenen System eingewölbt. Das gebundene System mit seinen ungefähr quadratischen Mittelschiffsjochen gestattete meist nur eine relativ bescheidene Belichtung des Mittelschiffs, vor allem dann, wenn man nicht zu gleich schlanken und konstruktiv anspruchsvollen Proportionen greifen wollte wie in Speyer. [Das Grossmünster in Zürich \(erbaut in mehreren Bauabschnitten ab dem 12. Jahrhundert\) ist ein typischer Bau der Spätromanik.](#) Es präsentiert sich als im gebundenen System gewölbte Pfeilerbasilika mit Emporen und Zweiturmfassade. Aufgrund der über den Seitenschiffen angeordneten gewölbten Emporen ergeben sich wiederum sehr schlanke Raumproportionen und trotzdem schwache Belichtung (Die heutigen Fenster sind grösser als die originalen – sie wurden im 18. Jahrhundert vergrössert, als man auch die originalen Gewölbekappen, die einsturzgefährdet waren, durch Holzkonstruktionen ersetzen musste). Das ganze Münster ist grösstenteils in sauber mit der Glattfläche bearbeitetem Natursteinmauerwerk ausgeführt. Die Bauplastik des Grossmünsters – vor allem auch auf den wenig durch spätere Veränderungen betroffenen Emporen – vermittelt einen guten Eindruck von dem typischen Baudekor des 12. Jahrhunderts. Die Variantenbreite reicht von einfachen Modifikationen des Würfelkapitells bis zu Kapitellen mit Blattdekor, Nachahmungen korinthischer Kapitelle und zu Figural Kapitellen.

Wegen der schwierigen Belichtung der gewölbten Basiliken musste der Wunsch naheliegen, anstelle der quadratischen Mittelschiffsjoche auch bei Wölbung im Mittelschiff jedes Joch belichten zu können. Das setzt eine Abkehr vom «gebundenen System» und eine Hinwendung zum System der «Travée» voraus: Jeder Scheidarkade und somit jedem Joch im Seitenschiff entspricht in diesem System ein Gewölbejoch im Mittelschiff. Wenn man die Gewölbefelder im Seitenschiff nach wie vor etwa quadratisch

halten will, kommt man sodann im breiteren Mittelschiff automatisch zu queroblungen Gewölbefeldern. Wenn bei diesen sowohl die Gurtbögen (quer zur Mittelschiffsachse) als auch die Schildbögen (am Anschluss zwischen Obergadenwand und Gewölbe) sowie die Kreuzgrate allesamt halbkreisförmigen Verlauf behalten, erhält man bei stark querrechteckigen Gewölbefeldern allerdings ein fast tonnengewölbeartiges, in der Mitte stark überhöhtes Gewölbe, dessen Schildkappen nur mit sphärisch gekrümmten Steinschichten (also kuppelig) eingewölbt werden können und entsprechend schwer zu schalen sind. Der Scheitelbereich des Gewölbes bleibt trotz allem eine Dunkelzone. Will man einen einigermaßen horizontalen Gewölbescheitel in der Querrichtung, dann müssen irgendwie die Schildbögen und die Gurtbögen auf annähernd gleiche Höhe gebracht werden. Die ist möglich durch eine grob «elliptische» Überhöhung der Schildbögen und gleichzeitig «gedrückte» Form der Gurtbögen und Kreuzgrate.

Genau diese Art der Wölbung wurde schon gegen Mitte des 12. Jahrhunderts an mehreren Kirchen ausprobiert, zum Beispiel in Maria Laach oder auch an der Wallfahrtsbasilika Sainte-Madeleine in Vézelay (Burgund). In beiden Kirchen werden die einzelnen Gewölbejoche der Kreuzgewölbe durch gedrückte Gurtbögen voneinander getrennt, so dass die Höhe des Gewölbescheitels jene der Schildbögen nicht mehr ganz so weit überschreitet. Der Travée gehörte die Zukunft des Gewölbebaus, obwohl die Form der Gurtbögen in Vézelay und Maria Laach alles andere als elegant ist und keineswegs der mathematisch eigentlich geforderten Ellipse entspricht und die Gewölbe eher als Tonnengewölbe mit grossen Stichkappen denn als echte Kreuzgratgewölbe zu charakterisieren sind.

Mit der Ausbreitung der Wölbkunst wurden in der Spätromanik noch weitere Unzulänglichkeiten des Erreichten deutlich: Zwar war nunmehr fast der ganze Bau in gepflegter Werksteintechnik ausgeführt, doch ausgerechnet am Gewölbe musste man noch mit verputzten kleinsteinigen Flächen vorliebnehmen. Zwar konnten solche Putzflächen freskiert werden, doch auch eine Freskierung täuschte nicht über das zum Teil recht unbefriedigende Erscheinungsbild der Verschneidungsgrate zwischen den einzelnen Kappen des Gewölbes hinweg. Im Sinne einer logischen Weiterentwicklung des architektonischen Konzeptes lag es nahe, auch die entscheidenden Konturen des Gewölbes durch Werksteinkanten zu besetzen, so wie man schon in Speyer oder Payerne die Jochgrenzen durch Gurtbögen in Werkstein bezeichnet hatte. So entstanden (wohl um 1100) die Kreuzrippengewölbe: Anstatt die genaue Form der Verschneidungsgrate dem zufälligen Zusammentreffen und der Verzahnung des kleinsteinigen Mauerwerks in den Kappen zu überlassen, wurden vorab – vor dem Mauern der Kappen – die Verschneidungsgrate in sauberem Werksteinmauerwerk definiert. Der Verschneidungsgrat wurde mehr oder weniger halbkreisförmig geführt und durch eine Bandrippe rechteckigen Querschnitts bezeichnet. Zu den frühen Kreuzrippengewölben mit Bandrippen rechteckigen Querschnitts («Bandrippengewölbe») gehören die Gewölbe im Querschiff des Domes von Speyer, wohl entstanden als letzte Teile der Einwölbung um 1125 (oder auch schon um 1100?). Weitere frühe Bandrippengewölbe (alle aus der Zeit um 1100 oder aus der 1. Hälfte des 12. Jahrhunderts) finden sich in der normannischen Architektur Englands (Kathedrale Durham) und den Backsteingebieten Oberitaliens, zum Beispiel in den Kirchen Sant' Ambrogio und San Nazaro al Brolo in Mailand und in der Kirche von Rivolta d'Adda sowie in Frankreich (Westwerk der Abteikirche Moissac an der Garonne). Diese verschiedenen Beispiele früher Rippengewölbe sind offenbar voneinander unabhängig, die Idee des Rippengewölbes lag also «in der Luft». Insbesondere in der oberrheinischen Spätromanik wurde das Bandrippengewölbe

vielerorts aufgegriffen, so in Ostchor und Querhaus des Domes von Worms, aber auch in den bereits genannten Kirchen von Maursmünster und Murbach. Anfangs lief immer eine der beiden Kreuzrippen des Kreuzgewölbes durch, während die andere stumpf dagegen stiess (Moissac; Speyer und Worms, Querschiff). Bald fasste man den Kreuzungspunkt aber als eigenständiges Konstruktionselement auf und führte ihn als eigenen «Schlussstein» aus, von dem vier Bandrippenansätze ausgingen (Worms, Chorquadrat; die lombardischen Backsteinkirchen).

Um die Mitte des 12. Jahrhunderts entwickelte sich aus dem ganz schlichten Bandrippengewölbe in spätromanischen Kirchen auch das Wulstrippengewölbe, bei dem die Kreuzrippen keinen rechteckigen Querschnitt aufweisen, sondern einen runden. Bei vielen frühen Band- und Wulstrippengewölben wurden die Kappen nach wie vor in kleinformatigem Steinmaterial ausgeführt und verputzt; manchmal mauerte man die Kappen auch in unverputztem Werkstein. Neben den frühen Rippengewölben blieben auch – zum Teil am gleichen Bau – rippenlose Kreuzgratgewölbe in Gebrauch. Ein schönes Beispiel für eine mit Kreuzgratgewölben im Seitenschiff und Wulstrippengewölben im Mittelschiff im gebundenen System eingewölbte Basilika des 12. Jahrhunderts ist die Kirche im elsässischen Rosheim. Innen wie aussen ist diese Kirche gänzlich in Werkstein ausgeführt, lediglich die Gewölbekappen sind aus verputztem unregelmässigerem Mauerwerk.

All die genannten Innovationen brachten zwar den Gewölbebau in kleinen Schritten voran, führten aber nicht zum ganz grossen Durchbruch. Vor allem war es noch nicht gelungen, das Würdemotiv der möglichst monolithischen Säule, die gewohnte grosszügige Befensterung der flachgedeckten Basiliken und die Wölbung zusammenzubringen und all das dann auch noch möglichst komplett in edlem Werkstein auszuführen. Diesen entscheidenden Schritt wagte man genau in der Mitte des 12. Jahrhunderts – also gleichzeitig mit Kirchen wie Maria Laach, Vézelay oder Rosheim – an einem monumentalen Bauvorhaben, der Abteikirche von Saint-Denis bei Paris (heute Kathedrale). Dort, an der Grabstätte des hl. Dionysius, erhob sich seit karolingischer Zeit eine gewaltige Basilika, die nun innerhalb von etwa 150 Jahren schrittweise durch einen spektakulären Neubau ersetzt wurde. Man begann mit dem Bau einer neuen Zweiturmfassade im Westen sowie dem Abriss und Neubau des östlichen Abschlusses über der Krypta mit dem Grab des Heiligen. Wie bei zahlreichen Pilgerkirchen des 12. Jahrhunderts errichtete man einen «Umgangschor» («chevet»), führte also die Seitenschiffe als Umgang rings um die Apsis des Presbyteriums (Chorraums) herum. Umgangschöre erleichterten die Besucherführung der in Wallfahrtskirchen zahlreichen Pilger; ausserdem erlaubten sie die Anlage radial an den Umgang anschliessender Nebenkappen (Radialkapellen) für privatere Andachten im kleineren Kreis. Romanische Kloster- und Pilgerkirchen wie Cluny, Saint-Étienne in Nevers, Saint-Sernin in Toulouse oder die Jakobuswallfahrtskirche Santiago de Compostela hatten dieses Schema schon in der Romanik weit verbreitet. Der Abt von Saint-Denis, Suger, griff daher diesen Bautyp auf, liess ihn von seinen Bauleuten aber entscheidend weiterentwickeln: Die Radialkapellen wurden räumlich mit dem Chorumgang verschmolzen, so dass de facto ein zweischiffiger Umgang rings um das polygonal geschlossene Presbyterium herum entstand. Die beiden Schiffe des Umgangs werden voneinander getrennt durch die so prestigeträchtigen monolithischen Säulen. Die ebenfalls polygonalen «Apsiden» der Radialkapellen sind in fast ganzer Höhe zu riesigen Fenstern geöffnet, so dass der zweischiffige Chorumgang in helles, dank der Farbverglasung buntes Licht getaucht ist – ein Element, das dem Abt besonders am Herzen lag, wie er in mehreren Schriften zu

«seinem» Bau erläuterte. Und schliesslich ist der ganze Raum komplett eingewölbt und vom Sockel bis zum Schlussstein auch noch in Werkstein ausgeführt. Mit den geometrisch wenig flexiblen und dickschaligen romanischen Gewölben wäre das kaum möglich gewesen. In Saint-Denis wurde jedoch ein neues System der Wölbung erprobt, das sich in der Ile de France aus den spätromanischen Kreuzrippengewölben entwickelt hatte:¹⁵ Alle Gewölbe des Chorumgangs sind mit Rippengewölben ausgestattet, und alle diese Rippen haben einen spitzbogigen Verlauf. Sobald man die Halbkreisform des Bogens zugunsten des Spitzbogens aufgibt, lassen sich fast beliebig komplizierte Grundrisse mit horizontalem Gewölbescheitel einwölben: Man gibt dazu einfach denjenigen Bögen mit geringerer Spannweite eine stärker zugespitzte Form, so dass sie die Scheitelhöhe der weiter gespannten Bögen erreichen. Der am weitesten gespannte Bogen des Gewölbes kann nach wie vor Halbkreisform behalten. Durch geeignete Rippenzüge lassen sich auch verzogene trapezförmige oder polygonale Grundrisskompartimente meist sehr einfach in dreieckige Teilflächen zerlegen, die rings herum durch Rippen begrenzt werden. Sobald man diese Rippen errichtet hat, bereitet es keine grösseren Schwierigkeiten mehr, die verbleibenden offenen Kappenflächen mehr oder weniger «im Kufverband» einzuwölben, also mit parallelen Steinschichten wie bei einem Tonnengewölbe. Dank der relativ einfachen Geometrie der dreieckigen Kappen konnte nun selbst am Gewölbe unverputzter Werkstein verwendet werden. Kappen aus passgenau gearbeiteten Werksteinen haben neben dem höherwertigen Erscheinungsbild den weiteren Vorteil, dass der Mörtelanteil solchen Mauerwerks geringer ist als bei grobem Bruchsteinmauerwerk und daher die Verformungen infolge nachgebenden Mörtels ebenfalls kleiner ausfallen. Dies ermöglicht die Herstellung dünnerer Kappen.

Ganz besonders bei der Einwölbung eines Chorumganges wie in Saint-Denis spielte die neu errungene Flexibilität der Wölbung natürlich eine Schlüsselrolle: Im ganzen Chorumgang gibt es dort kein einziges quadratisches oder auch nur rechteckiges Joch, sondern ausschliesslich verzogene Vierecke und ungleichseitige Polygone. Die meisten Rippen des Gewölbes des Chorumgangs weisen sogar denselben Krümmungsradius auf. Die grosszügige Befensterung des Chorumganges trotz der Wölbung wurde in Saint-Denis durch die Anordnung von innen nicht sichtbarer Strebepfeiler zwischen den Kapellen ermöglicht, die den dort konzentriert anfallenden Schub der Gewölbe aufnehmen. Zusammen mit den schlanken Stützen und den horizontalen Gewölbescheiteln gewährleisteten die grosszügig befensterten Aussenwände des Chorumganges von Saint-Denis eine gleichmässige farbige Belichtung des ganzen Raums.

Saint-Denis stand nicht allein. Zwei weitere Umbauten älterer Klosterkirchen, nämlich Saint-Germain-des-Prés und Saint-Martin-des-Champs in Paris, fanden fast zeitgleich statt. Beide weisen ebenfalls Umgangschores und Rippengewölbe auf, Saint-Germain-des-Prés sogar zusätzlich ein neues Konstruktionselement, nämlich das nach aussen verlegte «Strebewerk» zur Stützung des hoch aufragenden gewölbten Mittelschiffs, während man in der zu Cluny gehörigen Prioratskirche Saint-Martin-des-Champs das Mittelschiff des Umgangschores noch durch Strebemauern stützte, die man unter den Seitenschiffsdächern versteckt anordnete. Saint-Denis, Saint-Germain-des-Prés und Saint-Martin-des-Champs konstituierten mit ihren technischen und ästhetischen Innovationen einen gänzlich neuen Baustil, die Gotik (weitere Details dazu siehe Kapitel 11). Die Gotik breitete sich zunächst von den französischen Kernlanden bis nach Burgund und in die

¹⁵ Zum Beispiel im Chorjoch der Kirche Saint-Pierre-de-Montmartre in Paris (um 1145), hier allerdings noch mit gebusten und überhöhten, aus Bruchstein gemauerten Kappen. Die Rippen haben hier «dreipassförmigen» Querschnitt.

Normandie aus, eroberte jedoch ab 1200 sukzessive auch das ganze übrige Europa. Bis etwa 1250 konnten sich aber neben den innovativen gotischen Neubauten noch ganz im spätromanischen Modus konzipierte Kirchenbauten halten, bei denen dann lediglich einzelne Elemente der neuen Baukunst – typischerweise das spitzbogige Rippengewölbe – aufgegriffen und in die tradierte Architektur und Konstruktion integriert wurden (zum Beispiel in weiten Teilen des deutschen Sprachraumes). [Ein typisches Beispiel ist die Domkirche von Chur \(GR\). Auch das Basler Münster gehört grösstenteils in die Zeit der bereits durch gotische Elemente beeinflussten Spätromanik.](#)

Die Zeit von 1150 bis ca. 1250 zeigt somit ein Phänomen, das in der Baugeschichte keinesfalls selten ist: die Gleichzeitigkeit des «Ungleichzeitigen»: Innovative Bauten stehen ein Jahrhundert lang neben traditionelleren, und einzelne traditionelle Bauten enthalten hochgradig innovative Elemente, genau wie innovative Bauten einzelne höchst traditionelle Konstruktionstechniken fortsetzen können. Die neuen Ideen von Saint-Martin-des-Champs, Saint-Germain-des-Prés und Saint-Denis bargen aber in sich den Samen zu einem ganz umfassenden, in sich stimmigen, neuen Architektur- und Konstruktionssystem, das als der eine und einzige ganz grosse Gegenentwurf zur Säule-Architrav-Architektur der alten Griechen betrachtet werden kann und in den folgenden Bauten der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts und des frühen 13. Jahrhunderts seine vollkommene Ausformung fand. Der gotische Baustil sollte schliesslich ganz Europa erobern.

Zusammenfassung:

Das 12. Jahrhundert setzte in vielerlei Hinsicht die Ideen des 11. Jahrhunderts fort («Spätromanik»). Insbesondere experimentierte man in unterschiedlichster Hinsicht mit der Weiterentwicklung der Wölbung, vor allem mit dem Ziel einer reichen Belichtung des Innenraumes, der Einbindung des oberen Raumabschlusses in ein einheitliches System des Werksteinbaus, und der Wiedereinführung der schlanken monolithischen Stütze. In einer Phase der «Gleichzeitigkeit des Ungleichzeitigen» standen kontinuierliche, inkrementelle Fortentwicklungen der spätromanischen Konstruktionssysteme unvermittelt neben zukunftsweisenden neuen Experimenten. Die Zukunft gehörte insbesondere der durchgehenden Anwendung des spitzbogigen Rippengewölbes mit horizontalen Kappenscheiteln und auf schlanken Stützen, das genau in der Mitte des 12. Jahrhunderts mit den Umgangschören dreier Abteikirchen im näheren Umfeld von Paris erstmals umfassend in die europäische Architekturgeschichte eingeführt wurde und den neuen Stil der «Gotik» massgeblich prägen sollte.

9. Das mittelalterliche Kloster

Zu den eindrucksvollsten und prägendsten Bauaufgaben des europäischen Mittelalters zählt das Kloster. Im Laufe der Jahrhunderte bildete sich ein weitgehend standardisiertes Raumprogramm aus, das in ebenfalls weitgehend standardisierter Weise gruppiert wurde. Das Kloster als spezielle Form des Wohnbaus hat die europäische Architekturgeschichte tiefgreifend geprägt. Zugleich wurden gerade im Klosterbau technische Neuerungen oft sehr früh eingeführt, so dass auch aus konstruktionsgeschichtlicher Perspektive das Kloster eine nähere Betrachtung lohnt.

Das abendländische Mönchtum blühte erst in der karolingischen Zeit so richtig auf. Zwar gab es in Vorder- und Südasien schon vorher eine jahrhundertlange religiöse Tradition des Eremiten- und Asketentums, die auch von der jungen christlichen Religion aufgegriffen worden war (man denke an spektakuläre Einzelfälle wie den hl. Simeon Stylites, der in Syrien jahrelang auf einer Säule stehend ausharrte ...). Schon in der biblischen Erzählung spielen Einsiedler in der Wüste eine hervorgehobene Rolle – es sei nur an Johannes den Täufer oder an Christus selbst erinnert. Diese Asketen zogen aber nahezu ohne jede bauliche Infrastruktur in die Wildnis und wohnten in Höhlen oder primitiven Hütten. Gelegentlich siedelten sich auch ganze Gruppen von Eremiten gemeinsam irgendwo an, ohne dass aus dieser losen Gemeinsamkeit eine echte Gemeinschaft entstanden wäre, geschweige denn eine zentral organisierte Bewegung. Trotzdem waren in den sehr frühen Klöstern Ägyptens, Syriens und des östlichen Mittelmeerraumes viele Ideen angelegt, die später auch in das westliche Mönchtum eingingen.

Die eigentliche Geburt des abendländischen Mönchtums wird jedoch in eurozentrischer Sicht in der Regel mit Benedikt von Nursia (Norcia/Umbrien) in Verbindung gebracht, der im 6. Jh. das Kloster Montecassino zwischen Rom und Neapel gründete und der Gemeinschaft eine verbindliche Regel gab, nach der das Zusammenleben organisiert wurde. Auch wenn vieles über die frühe Geschichte des so entstandenen, vom Papst offiziell anerkannten «Benediktinerordens» im Dunkeln bleibt, wurde damit doch der eigentliche Startschuss zur Ausbreitung der Klöster gegeben. Alle späteren Ordensgründungen der westlichen christlichen Welt rekurrten letztlich auf den benediktinischen Gedanken. Die Ordensregel des Benedikt, die plakativ zum Wahlspruch *ora et labora* («bete und arbeite») zusammengefasst wurde, wurde durch spätere Regeln lediglich immer wieder aktualisiert und präzisiert. In karolingischer Zeit breiteten sich die Benediktinerklöster über ganz Europa aus. In Zusammenarbeit mit den irisch-schottischen und angelsächsischen Missionaren leisteten die benediktinischen Klöster Grundlagenarbeit in der Urbarmachung und Christianisierung weiter Teile Festlandeuropas, vor allem nördlich der Alpen. Am nördlichen Alpensaum entstanden in damals noch unwirtlicher Umgebung zahlreiche Klöster, die später jahrhundertlang Zentren des Wissens, der Kultur und der Ausbildung darstellen sollten (in der Schweiz z.B. das Kloster St. Gallen).

Das Kloster war zunächst eine Lebensgemeinschaft von Klerikern, also geweihten Priestern. Die Benediktsregel strukturierte den Tagesablauf mit festen Gebetszeiten und dazwischen angeordneten Zeiten für andere Tätigkeiten, die zunächst von der praktischen Haus- und Feldwirtschaft (die frühen Benediktinerklöster versorgten sich selbst, betrieben also Subsistenzwirtschaft und waren ökonomisch völlig autark) bis zur theologischen Wissenschaft das gesamte Spektrum umfassten. Auch die Organisation des

Klosters mit einem Abt als Oberhaupt der Gemeinschaft und klaren Massgaben zur Entscheidungsfindung bei anstehenden Problemen waren in der Benediktsregel definiert. Bauliche Vorschriften hingegen waren in der Regel nicht enthalten. Trotzdem bildeten sich schon sehr früh klare Vorstellungen darüber aus, wie ein Kloster auch architektonisch zu strukturieren war.

Den besten Einblick in die Idealvorstellungen, die man in karolingischer Zeit von der baulichen Organisation eines Klosters hatte, bietet eine einzigartige Zeichnung, der sogenannte «St. Galler Klosterplan» aus dem frühen 9. Jahrhundert. [Dieser auf Pergament gezeichnete Plan, der heute als Codex Sangallensis 1092 in der Stiftsbibliothek St. Gallen verwahrt wird und dort auch besichtigt werden kann](#), entstand nicht in St. Gallen, sondern auf der ebenfalls bereits in karolingischer Zeit bedeutenden Klosterinsel Reichenau im Bodensee. Es handelt sich nicht um einen konkreten Ausführungsplan, sondern eher um die Fixierung einer Idealvorstellung von der baulichen Organisation eines Klosters. Die im St. Galler Plan niedergelegten Ideen finden sich aber auch in realen ausgeführten Klosteranlagen. Der St. Galler Plan ist einer der ältesten erhaltenen Baupläne überhaupt. Er stellt alle Baulichkeiten des Klosters im Grundriss dar, wie man dies auch schon in altrömischer Zeit getan hatte, z.B. auf dem Marmorstadtplan der Stadt Rom (*forma urbis*), der an einem öffentlichen Gebäude am Forum befestigt war. Der St. Galler Plan kann gut mit den späteren Ausprägungen der abendländischen Klosteranlage verglichen werden.

Herzstück jedes Klosters ist natürlich die Kirche. Direkt nach dem Aufwachen und noch vor Sonnenaufgang zogen die Mönche in die Kirche zum gemeinsamen Frühgebet mit Chorgesang (*Laudes*). Gemeinsame Stundengebete in der Kirche strukturierten sodann den ganzen Tag (*Horen*) und schlossen abends nach Sonnenuntergang mit der *Komplet* den Tagesablauf ab. Der unmittelbare Zugang zum Chor der Kirche vom Schlafräum (*Dormitorium*) aus war daher eine essentielle bauliche Voraussetzung. Das religiöse Leben der Klostersgemeinschaft spielte sich unter Ausschluss der Öffentlichkeit ab. Daher lag es nahe, die Klosterräume um einen geschlossenen Hof zu gruppieren, zu dem nur die Mitglieder der Gemeinschaft Zutritt hatten (*Klausur*), während die Wirtschaftsgebäude und Wohnungen für Angestellte nach praktischen Erfordernissen in loser Gruppierung um dieses Herzstück des Klosters herum angeordnet werden konnten (*Wirtschaftshof*). Da die Gottesdienste im Kloster naturgemäss auch Laien zugänglich waren (nur so konnte ja der Gedanke der Missionierung erfüllt werden), war es notwendig, den den Mönchen vorbehaltenen Teil der Kirche (Chor), der sich um den Hauptaltar im Osten gruppierte, von dem öffentlich zugänglichen Westteil durch Chorschranken abzutrennen (physisch oder auch sogar optisch). Der Gottesdienst für die Laien wurde zum Teil an einem gesonderten Altar gehalten, der vor den Chorschranken seinen Platz fand (Kreuzaltar). Die Laien betraten und verliessen ohne physischen Kontakt zu den Klosterbewohnern die Kirche durch das Westportal. Der westlich der Kirche gelegene Bereich bot sich daher auch zur Anlage des Wirtschaftshofes an. Zum Wirtschaftshof konnten allerlei landwirtschaftliche Einrichtungen wie Scheunen, Mühlen und Ställe gehören, aber auch gewerbliche wie Schmiede, Bäckerei usw. Der St. Galler Klosterplan bietet eine ganze Vielfalt solcher Nebengebäude auf.

Ausserhalb der eigentlichen Klausur wurden oft auch das Noviziat – die Schule für die noch in Ausbildung befindlichen Anwärter auf das Mönchsleben –, die Abtswohnung und die Räume für Gäste angeordnet, ausserdem Einrichtungen für die Armen- und Pilgerseelsorge. Für alle diese Bauten ausserhalb der Klausur bildeten sich keine strengen Regeln. Ganz anders sieht es aus mit der eigentlichen Klausur. Sowohl die Differenzierung

in unterschiedliche Funktionsräume als auch die Anordnung der Räume im Geviert der Klausur erlebte eine fast «verbindliche» Normalisierung.

Die Klausurgebäude bilden in der Regel zusammen mit der Kirche eine Vierflügelanlage um einen quadratischen Hof südlich der Kirche.¹⁶ Es handelt sich in der Regel um eine teilweise doppelstöckige Hofumbauung. Im Erdgeschoss wird der Hof auf allen vier Seiten – auch entlang der Südwand der Kirche – von einem Wandelgang umzogen, dem sogenannten *Kreuzgang*. Er erschloss sowohl die Erdgeschossräume, als er auch als eigenständiger Raum für Versammlungen der Klostersgemeinschaft und als Wandelgang für die individuelle Kontemplation genutzt wurde. Der Kreuzgang öffnet sich zum Kreuzhof mit Arkaden, später auch verglasten Fenstern. Für eigentliche Versammlungen der Klostersgemeinschaft konnte sich bald ein eigener, dezidierter Raum etablieren, der *Kapitelsaal*. Er diente nicht nur der namengebenden täglichen Lesung eines Kapitels aus der Ordensregel oder einer theologischen Schrift, sondern auch ganz profanen Treffen für Entscheidungen über alltägliche praktische Fragen des Klosterlebens. Der Kapitelsaal liegt normalerweise direkt im Anschluss an die Kirche im Ostflügel der Klausur. Direkt neben dem Kapitelsaal führte eine Tür aus dem Kreuzgang in den Chorbereich der Kirche. Neben dieser Tür konnte sich das *Armarium*, der Aufbewahrungsort der Chorbücher, etablieren. Südlich des Kapitelsaals wurde der Ostflügel durch Arbeitsräume eingenommen («Mönchssaal», «Scriptorium», «Wärmestube» und dergleichen), von denen aus auch die meist im Osten des Flügels ausserhalb des Klausurgeviertes befindlichen Wirtschaftsgärten betreten werden konnten. Im Obergeschoss des Ostflügels der Klausur sind in der Regel die Schlafräume (*Dormitorium*) untergebracht. Sie waren oft durch eine direkte Treppe mit der Kirche verbunden.

An der Südseite des Kreuzganges konnte sich der Speisesaal (*Refektorium*) etablieren. Zwischen Speiseaal und Mönchssaal fand in der Regel die Küche ihren Platz. So war gewährleistet, dass wenigstens der Mönchssaal und das Refektorium an der Wärme der Küche partizipieren und von der Sonnenwärme profitieren konnten, denn häufig waren alle anderen Räume des Klosters unbeheizt. Gegenüber dem Eingang zum Refektorium vom Kreuzgang aus ist dieser oft zu einer «*Brunnenkapelle*» erweitert, also einem Raum mit einem Laufbrunnen, an dem man sich vor dem Eintritt zur Mahlzeit waschen konnte. Den Westflügel der Klausur nahmen schliesslich Vorratsräume ein, z.B. der Wein- oder Bierkeller (*Cellarium*), und andere Aufbewahrungsräume für wertvollere Lebensmittel. Zwischen dem Westende der Kirche und dem Westflügel der Klausur erlaubte die Klosterpforte kontrollierten Zutritt in die Klausurbereiche. Nördlich der Kirche liegt normalerweise der Friedhof der Mönche, der durch eine eigene Pforte aus dem Ostteil der Kirche direkt zugänglich ist. Vor der Westfassade der Kirche ist in der Regel eine Vorhalle (Narthex, manchmal auch als «Paradies» bezeichnet) angeordnet.

Das bauliche Grundschema des Klosters etablierte sich schon in vorromanischer Zeit (vgl. St. Galler Plan) und prägte die abendländische Klosterbaukunst bis zur Moderne (Le Corbusier, Kloster La Tourette). Das Klosterschema färbte in der späteren Architekturgeschichte aber auch auf andere Bauaufgaben ab und hat so unter anderem den Kasernen-, Schulen- und Hospitalbau massgeblich beeinflusst, also Einrichtungen, die in ähnlicher Weise wie das Klostergebäude dem (temporären) Zusammenleben einer

¹⁶ In besonders heissen Regionen auch auf der schattigen Nordseite der Kirche; es gibt aber sowohl im Norden als auch im Süden Abweichungen von dieser Regel. Im Folgenden wird von der Situation mit der Kirche im Norden ausgegangen. Allenfalls muss man sich die ganze Anlage an der West-Ost-Hauptachse der Kirche gespiegelt vorstellen.

Gemeinschaft dienen und die manchmal auch aus der naheliegenden Umnutzung von Klosteranlagen hervorgingen.

Bislang war nur von Mönchklöstern die Rede. Spätestens im 10. Jahrhundert stiegen jedoch auch die Frauenklöster zu grosser Bedeutung auf. Ihre bauliche Grundanlage folgte aber denselben Dispositionen wie jene der Mönchsklöster. Kompliziert wurde die bauliche Konzeption des Frauenklosters nur dadurch, dass zum Priestertum nur Männer zugelassen waren. Daher wurde der «Chorraum» der Frauen, also der den Nonnen vorbehaltene Bereich der Kirche, nicht rings um den Hauptaltar angeordnet, sondern davon baulich getrennt, aber vorzugsweise mit direkter Sichtverbindung. Eine gewisse «Standardposition» fand der Nonnenchor auf einer ausgedehnten Empore, die einen grossen Teil oder sogar den ganzen Westabschnitt der Klosterkirche einnahm und oft von einer kryptaartig niedrigen, mehrschiffigen gewölbten Halle getragen wurde.¹⁷ Auch auf seitlichen Emporen am Mittelschiff konnte der Nonnenchor untergebracht werden. Das Vorhandensein solcher Emporen («Nonnenemporen») steht oft – aber keinesfalls immer – in Zusammenhang mit der Bestimmung einer Kirche als Gotteshaus eines Nonnenklosters.¹⁸

Die Organisation der Klausurräume rund um den Kreuzgang wurde durch praktische Überlegungen suggeriert. Spätere Orden griffen aber durchaus auch zu Bauvorschriften, um ein einheitliches Bild aller Niederlassungen desselben Ordens zu gewährleisten. Besonders streng waren die im 12. Jahrhundert aufblühenden Reformorden der Prämonstratenser (gegründet durch Norbert von Xanten) und Zisterzienser (gegründet von Robert von Molesme in Cîteaux, massgeblich befördert jedoch vor allem durch Bernhard von Clairvaux, den Abt eines Tochterklosters von Cîteaux, der auch die Zisterzienserregel verfasste). Diese neuen Ordensgemeinschaften, die eine rigorose Askese und Befolgung der Benediktsregel im Sinn hatten, waren streng zentralistisch organisiert (mit Hilfe des Systems der sogenannten «Filiation», also der rekursiven Gründung von Tochterklöstern, im Falle der Zisterzienser von den allesamt in Burgund gelegenen Gründungsabteien Cîteaux, Pontigny, Morimond und Clairvaux aus). Insbesondere der hl. Bernhard von Clairvaux setzte sich für radikalen Verzicht auf baulichen «Luxus» ein; so war der Bau von Kirchtürmen in seinen Klöstern verboten (erlaubt war nur ein – hölzerner – «Dachreiter», also ein kleines, auf den Dachfirst der Kirche aufgesetztes Türmchen), ebenso figuraler Bauschmuck und Farbfenster. Die Klostergründungen erfolgten in der Regel in bis dahin noch möglichst unberührten Waldtälern, stets an einem Bach, der sowohl für die Wasserversorgung als auch für hygienische Zwecke und für den Betrieb von Mühlen genutzt wurde.

Die Reformorden zeichneten sich aus durch Einführung einer neuen Klasse von Klostermitgliedern, der sogenannten «Konversen». Dabei handelte es sich nicht um geweihte Priester, sondern um Laien, die aber auch unter klösterlicher Disziplin lebten. Ihnen war in der Kirche ein Bereich westlich des Chorraumes der Priestermonche zugewiesen; die zisterziensischen Kirchen besitzen oftmals grosse Länge, um neben den

¹⁷ Da der Raum unter der Nonnenempore meist in nachklösterlicher Zeit nur schlecht nutzbar war und viele Nonnenklosterkirchen barockisiert worden sind, gibt es nur wenige Beispiele, die einen einigermaßen authentischen Eindruck von der mittelalterlichen Anlage derartiger Kirchen vermitteln können, zumeist aus dem 13./14. Jh.: Klosterkirchen Heiligkreuztal, Mariaburghausen, Birkenfeld bei Neustadt a.d. Aisch, Seligenporten in der Oberpfalz, St. Thomas an der Kyll.

¹⁸ Ein typisches Gegenbeispiel ist das Grossmünster in Zürich, das als Mönchsklosterkirche mit Emporen ausgestattet war, während die gegenüber auf der anderen Seite der Limmat liegende Fraumünsterkirche als Nonnenkirche keine Emporen hatte.

Mönchen auch die Schar der Konversen unterbringen zu können. Die Schlaf- und Speiseräume der Konversen befanden sich ebenfalls im Westtrakt des Klausurgeviertes, so dass sich die Wege der Konversen und der Mönche nicht kreuzten. Die Konversen (bäuerlicher oder bürgerlicher Abkunft) entlasteten die Mönche (oftmals adeliger Abkunft) von den manuellen Tätigkeiten und ermöglichten ihnen die Vertiefung des religiösen Lebens. Die Aufgliederung in Mönche und Konversen spiegelte die inzwischen streng ständisch organisierte mittelalterliche Gesellschaft (Feudalgesellschaft). Die Konversen waren vielfach Handwerker. Bei Gründung von Tochterklöstern zog eine Gruppe von Mönchen und Konversen gemeinsam in die neue Niederlassung und baute diese von Grund aus auf. Trotz der hierarchischen Struktur der Reformorden, die der schnellen Verbreitung gewisser Gebäudetypologien Vorschub leistete, musste man beim aufwendigen Bau einer neuen Klosteranlage allerdings dennoch immer auch lokale Bauhandwerker und Baumeister beiziehen, so dass die Zisterzienser- und Prämonstratenserklöster trotz enger Bezüge zu gewissen vorbildlichen Klosteranlagen in Burgund immer auch die lokale baugeschichtliche Tradition und Entwicklung des jeweiligen Standortes spiegeln. Inwieweit die Mönche selbst beim Bau Hand anlegten, ist zweifelhaft; entsprechende spätmittelalterliche Bildquellen geben wohl eher eine rückblickende Fiktion wieder.

Einige zisterziensische Klöster aus der Mitte des 12. Jahrhunderts haben sich in besonders perfekter Form erhalten und können daher in gewisser Weise heute noch eine «Idealvorstellung» eines mittelalterlichen Klosters vermitteln. Die Nutzungskontinuität der Klöster bis zur Reformation oder gar bis zur Säkularisation, die baulichen Auflagen durch die Regel des hl. Bernhard von Clairvaux und die abgelegene Lage der Klöster in der Einöde haben oftmals den Fortbestand der mittelalterlichen Anlagen bis heute ermöglicht. Im deutschen Kloster Maulbronn folgte beispielsweise auf die klösterliche Nutzung nach der Reformation eine Nutzung als Internatsschule für die protestantischen Pfarrer, die kaum bauliche Anpassungen am mittelalterlichen Bestand erforderlich machte.

In Burgund selbst ist das Kloster Fontenay ein mustergültiges Beispiel einer zisterziensischen Anlage.¹⁹ Es weist eine komplett mit Tonnengewölben überdeckte Kirche (Spitztonne im Mittelschiff und ebenfalls spitze Quertonnen in den miteinander zu «Seitenschiffen» verbundenen Seitenkapellen) auf; im Gegensatz zu dieser eher «antiquierten» Wölbung zeigen die Mönchräume (Kapitelsaal, Mönchssaal) hingegen deutlich modernere (noch rundbogige) Kreuzrippengewölbe, und die Wirtschaftsgebäude sind mit spitzbogigen Kreuzrippengewölben ausgestattet. In Deutschland sind die ehemaligen Zisterzienserklöster von Maulbronn bei Pforzheim, Bronnbach an der Tauber und Eberbach im Rheingau besonders gut erhaltene Beispiele von Anlagen, deren Baubestand bis in die Mitte des 12. Jahrhunderts zurückreicht, wenn auch zum Teil mit späteren Ergänzungen. Auch in Maulbronn und Bronnbach findet man gerade in den Klausurräumen äusserst «moderne» Kreuzrippengewölbe, während die Architektur von Eberbach eher der rheinischen Romanik folgt.

Auch die im 13. Jahrhundert aufblühenden «Bettelorden» - die Orden des hl. Franziskus von Assisi («Franziskaner», «Barfüsser») und des hl. Dominikus («Dominikaner», «Prediger») orientierten sich in ihren Klosterbauten an ähnlichen Vorstellungen wie die Zisterzienser und Prämonstratenser. Im Gegensatz zu den Reformorden des 12.

¹⁹ Weitere bedeutende Beispiele: Le Thoronet, Silvacane und Sénanque in der Provence; Fontfroide in Languedoc.

Jahrhunderts verzichteten diese neuen Orden allerdings gänzlich auf die Subsistenzwirtschaft. Sie widmeten sich ausschliesslich der Stadtseelsorge und der Armenbetreuung. Dazu gründeten sie ihre Niederlassungen nicht wie die älteren Orden in der Wildnis, sondern mitten in den Städten. Die «Bettelmönche» lebten ausschliesslich von Almosen der Stadtbevölkerung. Entsprechend fielen ihre Kirchen- und Klostergebäude auch schlicht aus (turmos wie bei Zisterziensern und Prämonstratensern). Bauliche Neuerungen brachte vor allem der Akzent auf den Predigtgottesdienst. In der typischen «Bettelordenskirche» ist der Chorraum der Mönche durch den «Lettner», eine von Arkaden getragene Bühne quer im Langhaus, vom Bereich der Laien (Stadtbewohner) getrennt. Auch hier stand wieder vor dem Lettner der Kreuzaltar, an dem ein Teil des Gottesdienstes für die Stadtbevölkerung gefeiert wurde. Die Bühne des Lettners diente als «Kanzel» für die Predigt («Lettner» ist abzuleiten von «lectorium»=Leseplatz). Das Kloster gruppierte sich wie bei allen anderen Orden um den Kreuzgang, doch die die Klausur umgebenden Wirtschaftshöfe entfielen, Konversen gab es selbstverständlich nicht.

Zusammenfassung:

Das mittelalterliche Kloster ist eine der klassischen Architekturtypologien. Entstanden aus durchaus praktischen Erwägungen, wurde die Anordnung der Klausur rund um den Kreuzgang zu einer fast kanonischen Anlage. Meist im besonnten Süden der Kirche gelegen, verband der Kreuzgang die Versammlungsräume der Mönche (Kapitelsaal und Arbeitsräume) im Ostflügel, den Speisebereich mit Küche im Süden und die eher weltlichen Zwecken dienenden Räume im Westflügel miteinander. Das Dormitorium fand im oberen Stockwerk des Ostflügels Platz, um den Mönchen einen direkten Zugang zum morgendlichen und abendlichen Chorgebet im Chorraum der Kirche zu ermöglichen. Den Laien (sowohl Aussenstehenden als auch Konversen des Klosters selbst) war der Westteil der Kirche vorbehalten, der durch eine Schranke bzw. einen Lettner vom Chor abgetrennt war.

10. Wohnbau im Mittelalter: von der Pfostenhütte zum Fachwerk- und Blockhaus

Im römischen Reich existierte eine hochstehende städtische Wohnarchitektur (Atrium- und Peristylhaus, bekannt z.B. aus Pompei, Herculaneum und Ostia; mehrstöckige Mietskaserne «Insula», bekannt vor allem aus Ostia und Rom sowie aus den Provinzen des Reiches), bei der auch auf die gängige Massivbauweise mit *opus caementicium*, im Privathaus allenfalls mit kostbarer Wandverkleidung, zurückgegriffen worden war. Die Massivbauten bildeten in den Städten geschlossene Baublöcke. Sogar die in der Kulturlandschaft verstreut angeordneten ländlichen Gutshöfe der Römerzeit (*villae rusticae*) waren in Massivbauweise errichtet und wiesen ansprechende architektonische Gestaltung und diverse Annehmlichkeiten (z.B. private Thermen) auf.

Im Vergleich dazu wohnte man in grossen Teilen des Mittelalters unter einfachsten Verhältnissen. Die städtische Kultur der Antike war im Westteil des ehemaligen römischen Reiches weitgehend zugrunde gegangen. Die Einwohnerzahlen der grossen römischen Städte hatten sich dramatisch reduziert. So schrumpfte sogar Rom von rund einer Million auf eine Grössenordnung von zehntausend Einwohnern. Ähnliche Situationen ergaben sich wenig später auch in Mailand und anderen grossen Städten des Reiches.

Die neugegründeten Siedlungen jenseits der Alpen und auch die weiter existierenden, notdürftig in den immer weiter verfallenden römischen Ruinen eingerichteten «Städte» hatten meistens allenfalls einige wenige hundert Einwohner. Selbst spätere Weltstädte begannen im Frühmittelalter als Siedlungen mit lose gruppierten Einzelbauten, die wir heute als Weiler oder allenfalls Dörfer charakterisieren würden. Man kann als Faustregel davon ausgehen, dass heutige Siedlungen in Mitteleuropa mindestens etwa die hundertfache Bevölkerungszahl haben wie im Frühmittelalter. Zwar fehlen wegen der späteren Überbauung grossflächige Siedlungsbefunde aus dem frühen Mittelalter weitgehend, doch reichen auch die punktuell durch archäologische Grabungen erschlossenen Funde aus, um eine ungefähre Vorstellung von den damaligen Siedlungsstrukturen zu gewinnen. Vom 6. bis weit ins 11. Jahrhundert gab es kaum eine Ansiedlung, die wir auch nach heutigen Massstäben als «Stadt» ansprechen würden. Entsprechend dörflich waren Infrastruktur und Gesamtanlage dieser Siedlungen: Man wohnte in Hütten, die kleine Gehöfte bildeten und sich locker um die oft in der Mitte gelegene Kirche herum anordneten.

Die Bauart der Hütten blieb über lange Zeit nahezu unverändert: In waldreichen Gegenden (also damals fast überall nördlich der Alpen) dominierte die «Pfostenbauweise». Ein Pfostenbau entsteht, indem vertikale Hölzer mit dem Fussende in den Boden eingegraben werden («Pfosten»). In der Regel errichtet man in der Mittelachse eines längsrechteckigen Baus eine Reihe gleich hoher «Firstpfosten», auf die dann ein horizontales Holz – der Firstbalken oder die «Firstpfette» aufgelegt werden kann. Die Firstpfette bildet den höchsten Punkt eines Satteldaches. Von der Firstpfette aus laufen in der Falllinie der Dachfläche Hölzer nach unten, die als «Rafen» oder «Rofen» (nicht «Sparren»!) bezeichnet werden. Die Rofen tragen die Dachdeckung. Allein mit einer Firstpfostenreihe und den Rofen erhält man eine zeltartige Nur-Dach-Hütte ohne Aussenwand. Solche Konstruktionen wurden vor allem bei den sogenannten «Grubenhäusern» angewendet, bei denen der eigentliche Innenraum in den Erdboden eingetieft wurde (meist als Arbeitsräume genutzt). Normalerweise wünscht man allerdings eine Aussenwand, die den Raum rings umgibt und bequemen Zutritt und auch ein Mindestmass an Belichtung ermöglicht. Um eine solche Aussenwand zu erzeugen, muss die Firstpfostenreihe rings herum durch eine Reihe niedrigerer «Wandpfosten» umgeben werden, die ihrerseits einen umlaufenden Balkenzug tragen (Wandpfette), auf den die Rofen an ihrem unteren Ende aufgelegt werden können (so entsteht das sogenannte «Pfettendach»). Die Wandpfosten folgen entweder ohne explizite Eckausbildung einem rundlich-länglichen Grundriss, oder aber man legt die Hütte längsrechteckig an. In letzterem Falle kann das Dach entweder an den Schmalseiten abgewalmt sein oder einen Giebel ausbilden. Die Wände können z.B. durch Flechtwerk oder aufgestapelte Grassoden oder Lehmputzen ausgefüllt werden. Das Dach muss ausreichend weit vorspringen, um die Wände gegen Witterungseinflüsse zu schützen; gegebenenfalls ist mit dünneren Pfosten eine Art Laube oder Umgang ausgebildet, um den Dachüberstand zu stützen.

Im Inneren ist das Pfostenhaus oft ein Einraumhaus. Es gibt also keine baulichen inneren Einteilungen. Irgendwo im Inneren befindet sich die Feuerstelle, die sowohl der Heizung als auch dem Kochen dient. Der Rauch zieht durch die Dachdeckung (z.B. Stroh oder Schilfrohr oder Schindeln, hingegen keine Hartdeckung) ab. Gegebenenfalls gibt es ein Rauchloch in der Spitze des Giebels. Der Boden der Hütte besteht z.B. aus gestampftem Lehm. Er wird mit Matten oder Teppichen belegt.

Der beschriebene Grundtypus des Pfostenhauses muss trotz der elementaren Bauweise nicht unbedingt eine «primitive» und unwohnliche Behausung sein. Die «Pfosten» können durchaus auch sorgfältig behauene Kanthölzer sein, die Wände durch regelmässiges – auch verputztes und getünchtes – Flechtwerk oder durch Bretter oder Bohlen gebildet werden. An den Holzverbindungen können zimmermannsmässige Anschlüsse (Zapfen, Blatt) zum Einsatz kommen, die der Konstruktion eine erhebliche Steifigkeit und auch eine gewisse Dauerhaftigkeit verleihen. Inwendig kann die Hütte durch Wandtäfer, Bodenbeläge, geschreinerte Möbel und weitere Ausstattung durchaus angenehm gestaltet werden.²⁰ Allerdings ist der gesamte Innenraum durch die Feuerstelle rauchig und daher auch russig. Er lädt daher nicht wirklich zum dauernden Aufenthalt ein, sondern dient vor allem dem Schutz vor der Witterung und anderen unliebsamen Einwirkungen. Gearbeitet wird in einer Siedlung aus Pfostenbauten tagsüber vorwiegend draussen oder in den Grubenhäusern. Im Inneren der Haupthütte wird gekocht, gegessen und geschlafen, und es werden Tätigkeiten ausgeübt, die im Freien problematisch sind. In manchen Fällen bestanden Siedlungen aus «Wohnstallhäusern», in denen Vieh und Mensch unter einem Dach untergebracht waren; in anderen Fällen gruppierten sich gleichartig konstruierte Häuser mit spezialisierter Zweckbestimmung zu einem kleinen Gehöft.

Pfostenbauten aus historischer Zeit haben sich nicht erhalten. Die in den Boden eingegrabenen Pfosten beginnen nach kurzer Zeit zu verfaulen, der Pfostenbau muss also regelmässig neu errichtet werden. Man kann die maximale Lebensdauer eines gut gepflegten Pfostenbaus mit etwa einer Generation (20–30 Jahre) abschätzen. Im Boden bleiben die Spuren der Pfosten allerdings jahrhundertlang ablesbar, weshalb die Verbreitung des Pfostenbaus durch archäologische Grabungen recht gut bekannt ist. Je nach Durchmesser und Tiefe der Pfostenlöcher kann man auf hohe Pfosten (z.B. Firstpfosten), niedrigere (Wandpfosten) und sehr dünne Pfosten (Lauben längs der Traufen, innere Abtrennungen) schliessen. Trotzdem sind alle Rekonstruktionen der aufgehenden Strukturen letztlich spekulativ. Neben den einfachen zweischiffigen Pfostenhäusern mit mittlerer Firstpfostenreihe kamen natürlich ebenso auch grössere Häuser mit mehreren parallelen Pfostenreihen im Inneren vor (drei- oder vierschiffige Grosshäuser). Waren mehrere Pfostenreihen im Hausinneren angeordnet, so konnten die langen Rofen des Daches zwischen First und Traufe durch «Mittelpfetten»

²⁰ Der frühmittelalterliche Dichter Venantius Fortunatus lobte (um 560) in dem Gedicht Carmina IX.15 «De domo lignea» – mit leicht ironischem Unterton – sein eigenes wohnliches Holzhaus. Man erfährt aus dem Gedicht einige Details über die Architektur und Ausführung:

*Cede parum paries lapidoso structe metallo:
artificis merito praefero ligna tibi.
Aethera mole sua tabulata palatia pulsant,
quo neque rima patet consolidante manu.
Quidquid saxa, sablo, calces, argila tuentur,
singula silva favens aedificavit opus.
Altior inmitior quadrataque porticus ambit
et sculpturata lusit in arte faber.*

(zit. nach der Werkausgabe von Friedrich Leo, Berlin 1881, in den Monumenta Germaniae Historica).

Also etwa: «Weg mit dir, du aus steinernem Erz geschichtete Wand – ich ziehe dir mit gutem Grund das Holz des Zimmermeisters vor! Seine getäferten Stuben trotzen dem Sturmwind, denn seine Hand hat keine Ritze offengelassen. Wozu sonst Steine, Sand, Kalk und Lehm nötig sind, das hat er allein mit dem errichtet, was der freigebige Wald bietet. Eine recht hohe, grob gezimmerte Laube zieht sich aussen im Viereck herum, vom Künstler spielerisch mit Schnitzereien verziert.» (Übers. S.H.). Die Deutung des Wortes *parum/Parum* ist unklar. Manche Kommentatoren wollen eine Anspielung auf Paros, den Herkunftsort einer berühmten Marmorart, herauslesen. Das «metallum lapidosum» ist eine poetische Beschreibung von Quadermauerwerk bzw. Mauerwerk aus Marmorsteinen. Das Wort «inmitior» ist von «mitis» = sanft abzuleiten (es gibt auch andere Lesarten der Stelle).

zwischengestützt werden, eine Bauweise, die echte Grossbauten ermöglichte. Einschiffige Pfostenbauten ohne innere Stützenreihe setzen eine Dachkonstruktion voraus, die nicht nach dem System des Pfettendaches konzipiert ist, sondern aus «Gespärren» besteht, die aus drei fest zum Dreieck miteinander verbundenen Hölzern bestehen («Sparrendach»).

Der Pfostenbau dominierte nördlich der Alpen den Wohnbau bis ins Hochmittelalter (11. Jh.). Im Alpenraum und südlich der Alpen spielte wohl immer auch der Massivbau (Hütten mit Aussenwänden aus Bruchstein) eine gewisse Rolle, wenngleich der Bau hölzerner Hütten auch z.B. in Italien im frühen Mittelalter weit verbreitet war. Auch bei der Hütte in Massivbauweise bietet es sich an, das Dach als «Pfettendach» zu konstruieren: Hat man zwei Giebelwände, so kann man die Firstpfette einfach auf die beiden Giebelspitzen auflegen. Ist die Spannweite zu gross dafür, so kann auch beim Massivbau eine Firstpfostenreihe angeordnet werden, um den Dachfirst zu stützen. Ebenso ist bei einer steinernen Hütte natürlich auch ein einseitiges Pfettendach ohne First (Pulldach) möglich.

Das Eingraben der Pfosten in den Boden hat vor allem den Zweck, das Gebäude gegen horizontale Einwirkungen (z.B. Wind) auszusteifen und zu sichern, da die in den Boden eingegrabenen Pfosten als eingespannte Stützen Biegemomente in den Boden ableiten können. Da die Pfosten aber im Kontakt mit dem Boden wegen der ständigen Durchfeuchtung nicht dauerhaft sind, lag es nahe, die Holzkonstruktion durch einen niedrigen gemauerten Sockel (z.B. aus Bruchstein) vom Erdniveau abzuheben, um sie so dauerhafter zu machen. Dieser an sich einfache Schritt setzt allerdings eine relativ hochentwickelte Zimmermannskunst voraus, da nunmehr die tragende Holzkonstruktion in sich selbst ausgesteift sein muss. Alle derartigen Konstruktionen können unter dem Oberbegriff der «Holzgerüstbauweise» zusammengefasst werden.

Im einfachsten Fall ist ein Holzgerüstbau ein «Ständerbau»: Seine Struktur gleicht jener des Pfostenbaus, nur sind die Pfosten nicht in den Boden eingegraben, sondern mit einer zimmermannsmässigen Holzverbindung (der Zapfenverbindung) in eine «Schwelle» eingesetzt. Die Pfosten werden in diesem Fall als «Ständer» bezeichnet. Der rundum laufende Schwellenkranz bildet die Basis der Hauskonstruktion. Er ruht auf einem Steinsockel, der ausreichenden Schutz gegen aufsteigende Bodenfeuchte und Spritzwasser bietet. Die Ständer, die unten in die Schwelle eingesetzt sind, werden auch am oberen Ende durch ein horizontales Holz gefasst, in das sie mit einer Zapfung eingesetzt sind, das sogenannte «Rähm». So entsteht die «Wand»: Eine Schwelle, zwei Eckständer und das Rähm fassen die Wandfläche ein, die sodann mit geeignetem Material geschlossen werden kann – zum Beispiel mit Flechtwerk (daher kommt übrigens das Wort «Wand»: Das Flechtwerk besteht z.B. aus «gewundenen» Weidenruten wie bei einem Korb). Die Wandfüllung übernimmt dabei die Aufgabe des Raumabschlusses (Wärme, Wind, Feuchtigkeit, Licht), muss aber gleichzeitig auch aussteifend wirken, da die Ständer allein durch ihre Zapfung in Rähm und Schwelle keine ausreichende Aussteifung bieten. Die Wandfläche kann durch weitere Zwischenständer zwischen den Eckständern («Wandständer») und durch weitere horizontale Hölzer («Riegel») in kleinere Gefache zerlegt werden. Solche Zusatzhölzer verbessern die Wandaussteifung und erleichtern die Konstruktion der Wandfüllung: Gängige Gefachfüllungen sind z.B. Flechtwerk (mit Verputz), Lehmwickel bzw. «Lehmstaken» (mit Stroh und Lehm umwickelte oder verputzte dünne Holzplatten), aber auch Bohlen (stehend oder liegend, verspundet und in Nuten der Ständer und Schwelle eingeschoben, der sogenannte «Bohlenständerbau» oder «Ständerbohlenbau»), schliesslich natürlich auch Mauerwerk.

In Abhängigkeit von der Steifigkeit der Gefachfüllungen muss der «Ständerbau» zusätzlich auch noch durch diagonal über die Wand verlaufende Streben («Steigbänder») oder durch kurze, diagonal zwischen Eckständer und Schwelle bzw. Rähm angeordnete Hölzer (Kopf- bzw. Fusshölzer, «Kopfstreben», «Kopfbänder», «Bügen», «Fussstreben», «Fussbänder») weiter versteift werden. Ein Ständerbau mit solcherart ausgesteiften Wänden bzw. Gefachen wird sodann als «Fachwerkbau» bezeichnet. Er wird nicht aus Rundholz, sondern aus Kantholz erbaut, um eine saubere und tragfähige Ausbildung der Holzverbindungen zu ermöglichen. Die notwendigen Kanthölzer wurden in der Regel durch Bebeilen aus Vollholzquerschnitten gewonnen (nicht gesägt).

Vier Fachwerkwände der beschriebenen Art umgeben das einfachste mögliche «Fachwerkhaus». Es stellen sich dabei abschliessend noch folgende Schwierigkeiten:

- Die vier Wände müssen an den Ecken miteinander verbunden werden.
- Man benötigt im Innenraum einen vom Erdboden abgehobenen Fussboden und evtl. eine Decke.
- Man muss eine Dachkonstruktion über den vier Wänden aufrichten.

Die Eckausbildung ist noch relativ einfach durch Zapfung und «Anblattung» der entsprechenden Wandhölzer an den Eckständer herzustellen. Um einen Fussboden zu erhalten, muss man eine Balkenlage unter der Wandschwelle einrichten. Damit auch diese Balken ausreichend gegen aufsteigende Feuchtigkeit gesichert sind, empfiehlt es sich, sie nicht direkt auf den Steinsockel zu legen, sondern wiederum auf einen geschlossenen Balkenkranz (sogenannte «Mauerlatte»). Die Fussbodenbalken sind dann zwischen zwei Balkenkranze eingeklemmt, die «Mauerlatte» und den «Schwellenkranz». Die Fussbodenbalken (typischerweise quer zum Raum, also über die kürzere Spannweite, verlegt) tragen einen entsprechenden Bretterfussboden. Eine Balken-Bretter-Decke zum oberen Abschluss des Innenraumes kann man herstellen, indem man – analog zur Fussbodenkonstruktion – quer zum Raum auch oben auf die Wandrähme eine Balkenlage auflegt. Diese Balken können dann auch direkt als Basisbalken («Zerrbalken», «Bundbalken») für geschlossene Balkendreiecke herangezogen werden, die ein Satteldach ausbilden. Aus dem «Bundbalken» und den zwei der Dachschräge folgenden «Sparren» entsteht das «Sparrendreieck» oder «Gespärre» - fertig ist die Grundform des sogenannten «Sparrendaches». Das Sparrendach ist die typische Dachform des voll ausgebildeten Fachwerkhauses.

Soll das Haus mehrere Wohn- und Nutzungsebenen übereinander aufweisen, so bieten sich beim Fachwerkbau zwei grundsätzlich verschiedene Alternativen der Konstruktion: Behält man wandhohe Eck- und Wandständer bei, so können die Balken eines Zwischenbodens auf einzelne «Ankerbalken» aufgelegt werden, die horizontal auf halber Höhe quer durch das Haus von einem Wandständer zu einem anderen, symmetrisch auf der anderen Hausseite angeordneten durchlaufen. Diese Ankerbalken, die an beiden Enden mit einer zugfesten Verbindung («Zapfenschloss», ein durchgesteckter Zapfen mit Sicherung durch einen Splint) angeschlossen sind, steifen das Hausgerüst zusätzlich aus, was bei hohen Wandständern dringend nötig ist. Die ältesten erhaltenen Fachwerkhäuser deutscher Städte (13. Jh.) sind auf diese Weise konstruiert. Man spricht dann von «Geschossbau», da die Wand- und Eckständer über die ganze Wandhöhe «durchschiesse». Oft enthalten diese Häuser im Erdgeschoss eine grössere ungeteilte Halle (z.B. Ladengeschäft oder Werkstatt), während im Obergeschoss Stuben (Aufenthaltsräume) und Kammern (Schlafräume) untergebracht sind.

Von «Stockwerksbau» hingegen spricht man, wenn die Umfassungswände der einzelnen Hausebenen jeweils für sich abgebunden sind und die Deckenbalken der Zwischenböden jeweils zwischen dem Wandrähm des unteren Stockwerks und der Schwelle des oberen Stockwerks «eingeklemmt» sind. Jedes der Stockwerke ist in diesem Fall eine in sich ausgesteifte Kiste, die auf die darunterliegende aufgelegt wird. Diese «Stapelbauweise» erlaubt fast beliebig hohe, gut ausgesteifte Hausgerüste und ausserdem das sukzessive Vorkragen jedes Stockwerks über das darunterliegende. Die flexiblere und einfacher aufzurichtende Stockwerksbauweise dominierte den Fachwerkbau ab dem 14. Jahrhundert zunehmend, und die vorkragenden Strassenfassaden der Stockwerksbauten bestimmten das Strassenbild vieler mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Städte.

Der Ständerbohlenbau und der Fachwerkbau waren im mittelalterlichen Wohnhausbau weit verbreitet. Zum Beispiel konnten bei archäologischen Flächengrabungen in Lübeck detaillierte Befunde zu Ständerbohlenbauten des 12. Jahrhunderts aufgedeckt werden. In der Schweiz ist ein Streifen des nördlichen Alpenvorlandes vom Bodensee bis zum Seenland durch die Verbreitung des Ständerbohlenbaus ([Beispiel «Haus zum Chranz», Zürich-Höngg](#)) bis zum 16. Jahrhundert gekennzeichnet. Nördlich davon (und in späteren Zeiten) dominiert das «Riegelhaus», also der Fachwerkbau, südlich, in den subalpinen und alpinen Zonen, findet sich hingegen der Blockbau (Massivholzbauweise). Die Mehrheit der heute als typisch «mittelalterlich» empfundenen «Fachwerkhäuser» bzw. «Riegelhäuser» mit dekorativer Anordnung der die einzelnen Gefache aussteifenden Hölzer und bunt bemalten Gefachfüllungen entstammt erst dem Spätmittelalter (meist ab 15. Jh.) und der Frühen Neuzeit ([zahlreiche Beispiele im Zürcher Unterland](#)). In den letzten Jahrzehnten konnten aber – vor allem mit den Mitteln der Jahrringdatierung von Holz (Dendrochronologie) – auch zahlreiche Ständer- bzw. Fachwerkbauten identifiziert werden, die schon bis ins 13. Jahrhundert zurückreichen. Noch ältere Fachwerk- oder Ständerbohlenbauten haben sich hingegen nicht erhalten.

[Ebenfalls bis ins 13. Jahrhundert gehen die ältesten erhaltenen Beispiele für Wohnhäuser in Blockbauweise im Alpenraum zurück. Eine ganze Ansammlung dieser hochmittelalterlichen Wohnbauten findet sich im Schwyzer Talboden zwischen Schwyz und Steinen \(z.B. das als Museum zugängliche «Haus Bethlehem» im Ortskern von Schwyz, 1287\).](#)

Im Gegensatz zur Ständer- bzw. Fachwerkbauweise weist der Blockbau (Massivbau aus Holz im Gegensatz zur Gerüstbauweise) einen enormen Holzbedarf auf. Er konnte sich daher nur in absolut holzreichen Gegenden durchsetzen. Beim Blockbau werden die Wände aus horizontal aufeinandergelegten Hölzern gebildet. Zur Stabilisierung des Gefüges ist es unabdingbar, dass die einzelnen Hölzer sich an den Ecken kreuzweise überlappen («Eckverschränkung»). Durch eine entsprechende Ausnehmung (Verkämmung) an der entsprechenden Stelle liegen sie unverschieblich aufeinander. An den Gebäudeecken stehen die aufeinandergelegten Hölzer etwas über, um die Eckverbindung zu ermöglichen («Eckvorstösse»). Die typische Bauweise mit der Eckverbindung nach dem Prinzip «eins rechts, eins links» (auch als «Gewätt» bezeichnet) hat dem Blockbau in der Schweiz auch die Bezeichnung «Strickbau» eingetragen. Der einfachste mögliche Blockbau hat einen rechteckigen Grundriss, wobei die Seitenlänge jeder der vier Wände einer nutzbaren Stammlänge bzw. der typischen Balkenlänge entspricht. Typische Abmessungen derartiger elementarer Blockhäuser sind rund 10 x 10 m.

Blockbauten können aus Rundhölzern (Rundholzblock) oder Kanthölzern (Kantholzblock) hergestellt werden. Vor allem beim Rundholzblock kommen auch Bauwerke vor, bei denen die einzelnen Lagen einer Wand nicht dicht aufeinanderliegen, sondern einen Luftspalt freilassen («offener Rundholzblock»). Diese Bauweise war selbstverständlich für Wohnbauten ungeeignet, wurde aber oft bei Scheunen (zum Beispiel in den Bündner Südtälern bei Stallscheunen mit gemauertem Stall im Erdgeschoss und darüberliegender Heulege in Holzbauweise) verwendet. Beim Wohnbau kommt nur die geschlossene Blockbauweise in Frage. Ein geschlossener Block kann sowohl mit Rundhölzern (an den Kontaktanten zum darüber- und darunterliegenden Wandholz leicht abgeplattet) als auch mit Kanthölzern (Vollholzbalken) oder Bohlen (schmalen hochformatigen, brettartig bearbeiteten Balken) hergestellt werden. Die Schwyzer Blockbau-Wohnhäuser des 13. und 14. Jahrhunderts bestehen aus ca. 10 cm dicken und 30 cm hohen Bohlen, deren jede einzelne aus einem ganzen Stamm gewonnen wurde und den Kern des Stammes in der Mittelachse enthält. Die Bohlen wurden beim Aufstapeln sehr sorgfältig und dicht aufeinander gesetzt und auch noch vertikal miteinander verdübelt («verdolt» durch hölzerne Verbindungsmittel). Verbleibende Zwischenräume zwischen den Lagen des Blockbaus wurden durch Einlegen von Moos oder anderen Dichtungsmaterialien in die leicht konkav gearbeiteten Lagerfugen verschlossen. Eine 10 cm dicke, winddichte Holzwand bietet sehr gute Wärmedämmeigenschaften und machte das Wohnen unter winterlichen Bedingungen in unwirtlichen Gebirgsgegenden erträglich.

Um eine typischerweise rund 2 m hohe Wand in Blockbauweise zu errichten, benötigt man etwa 7 Lagen Bohlen, für die Aussenwände eines einzigen Stockwerks eines rund 10 x 10 m messenden Baus also 28 Bäume. Sobald die Wände fertiggestellt sind, kann eine Lage Bohlen für die Decke (Bohlendecke, ohne stützende Balken) auf die Umfassungswände aufgelegt werden (etwa 35 Bohlen, ursprünglich so aufgelegt wie besprochen und daher «fassadensichtig»; später in die Umfassungswände eingenetet); dann folgt das nächste Stockwerk. Allerdings benötigt man selbstverständlich auch noch Innenwände zur inneren Aufteilung des Hauses in verschiedene Nutzungszonen und zur Stützung der Decke. Die Häuser im Schwyzer Talboden werden allesamt durch Eingänge in der Mitte der Traufseiten erschlossen. Diese Eingänge führen direkt in den hinteren Hausteil, dessen Zentrum die durch die ganze Haushöhe durchgehende Küche mit der Feuerstelle einnimmt – zugleich die Wärmequelle des Hauses. Der Rauch zog wohl auch hier durch die Dachdeckung ab, ohne Schornstein («Rauchküche»). Im vorderen Hausteil waren in jedem Stockwerk zwei rauchfreie Stuben untergebracht, in den hinteren Hausecken die ebenfalls rauchfreien Schlafkammern. Die Binnenwände sind an den Umfassungswänden befestigt, indem einzelne Balken der Binnenwände die Umfassungswände durchstossen und auf diese Weise in ihrer Lage fixiert sind («Einzelvorstösse»). Durchlaufend ist in aller Regel die unterste Wandbohle der Binnenwand (auf Höhe der Türschwelle), eine Bohle auf Höhe der Türstürze und die oberste Bohle unter der Decke. So stabilisieren die Binnenwände die Umfassungswände (jeweils ungefähr in der Mitte der Hausseiten). Die Eckkammern steifen die hinteren Hausecken zusätzlich aus. Die Aussteifung des Blockgefüges ist bei Blockbauten essentiell, da sich sonst bei leichten Setzungen des Fundamentes oder infolge Schwindens die Eckverbindungen lösen oder die Balken nicht mehr satt aufeinanderliegen. Kritisch sind alle Öffnungen, die die Wände durchstossen: Fenster nach draussen hielt man ohnehin sehr klein, da sie auch im Winter die Wärme nach draussen entweichen liessen. Für die Stabilität des Hauses kritischer sind Türen. Alle Türöffnungen verfügen dank der

durchlaufenden Schwellenbohle über eine hohe Schwelle, die neben der Stabilisierung des Gefüges auch den Vorteil hatte, Luftzug knapp über dem Boden zu verhindern. Die Türen sind überdies sehr niedrig. Um ein seitliches Ausweichen der an die Türöffnung stossenden Wandbohlen zu vermeiden, müssen diese dort in eine genutete Türleibung («Mantelstud») einbinden.

Es handelte sich also bei den Blockbauten um ein ausgeklügeltes und aufwendiges Bausystem. Auch wenn die Bauwerke später oft von Bewohnern sozial niedriger Schichten genutzt wurden, waren sie so aufwendig, dass sie bei ihrer Entstehung sicher von hochgestellten Bauherren errichtet wurden. Der an der Universität Zürich tätige Professor Georges Descœudres (emeritiert), der diese Bauten ins Bewusstsein der Öffentlichkeit gerückt hat, hat die Schwyzer Blockbauten daher 2007 als «Herrenhäuser aus Holz» charakterisiert.

Ebenfalls den oberen oder obersten Gesellschaftsschichten waren im Mittelalter massive Wohnhäuser vorbehalten. Ein Massivbau hatte immer den Charakter eines repräsentativen, ja fast schon wehrhaften Wohnbaus. In der Tat haben hochmittelalterliche steinerne Wohnbauten oft eine turmartige Gestalt, auf jedem Stockwerk gibt es nur einen einzigen Raum. Manche mittelalterlichen Steinhäuser sind sogar regelrechte «Wohntürme», wie man sie von Regensburg oder San Gimignano in der Toskana kennt, wie sie aber im 14. Jahrhundert auch in Zürich nicht selten waren. Die Decken dieser steinernen Wohnbauten waren wiederum als Balken-Bohlen-Decken ausgebildet. Unveränderte oder fast original erhaltene hochmittelalterliche Steinhäuser gehören zu den absoluten Seltenheiten der Baugeschichte, da diese Bauten späteren Zeiten nicht mehr bequem genug waren und daher fast immer umgestaltet wurden. Auch in Steinbauten findet man manchmal beheizbare Stuben, die in Block- oder Ständerbohlenbauweise in die massiven Umfassungsmauern eingestellt sind. Identifizierbare Elemente des Sakralbaus (Werksteinelemente, Bauplastik) kommen am steinernen Wohnhaus nur ganz sparsam vor. Oft stellten Steinbauten einer Wohnhausanlage nur deren Kern dar, an den sich bequemer nutzbare, aber geringere Sicherheit (gegen Feinde, Brand, Einbrecher usw.) bietende Fachwerkbauteile anschlossen.

Zusammenfassung:

Im Mittelalter entwickelten sich die Siedlungen zunächst lange Zeit in dorfartigem Charakter. Erst ab dem 12. Jahrhundert entstanden allmählich wieder städtischere Siedlungen in geschlossener Bauweise. Im Wohnbau dominierte das Baumaterial Holz. Die meisten Wohnhäuser wurden in Holzgerüstbauweise errichtet. Die Stabilisierung des Holzgerüsts erfolgte zunächst über Pfosten, die in den Boden einbanden. Die geringe Dauerhaftigkeit dieser Konstruktionsart führt aber bald zur Ständerbauweise, bei der die senkrechten Wandständer oben und unten liegende Hölzer (Schwelle und Rähm) eingezapft und durch Steigbänder, Kopf- und Fussbänder sowie Riegel ausgesteift sind. Bei der Ständerbauweise werden die Gefache durch Holzbohlen, leichtes Füllmaterial oder durch massive Ausmauerung geschlossen. Die zunächst übliche Geschossbauweise mit bauwerkshohen, durchlaufenden Wandständern wurde bald durch den flexibleren Stockwerksbau abgelöst. Für beheizte Stuben, aber auch für ganze Wohnbauten kam die Blockbauweise aus horizontal liegenden Bohlen oder Kanthölzern in Anwendung. Steinerne Wohnbauten blieben bis ins 14. Jahrhundert der Führungsschicht vorbehalten.

11. Gotik – die französische Kathedrale (1150-1250)

Mitte des 12. Jahrhunderts setzten im engeren Umfeld von Paris drei Klosterkirchen neue Massstäbe in der Architektur. In allen drei Fällen wurde an einen existierenden und bedeutenden älteren Bau ein neuer Umgangsschor angebaut. Wir sprechen vom cluniazensischen Benediktinerpriorat Saint-Martin-des-Champs in Paris, von der bereits diskutierten Abteikirche Saint-Denis sowie von der Benediktinerabteikirche Saint-Germain-des-Prés auf der Pariser Rive Gauche. In diesen drei Umbauten war es auf unterschiedliche Weise massgeblich erstmals gelungen, die Wölbung in das alle anderen Bauteile bestimmende, in Werkstein konstruierte Architektursystem einzubinden. Ausschlaggebend dafür war die ausschliessliche Verwendung des spitzbogigen Rippengewölbes. Die neue Konstruktionsart hatte den Weg zu einer Öffnung der Seitenschiffwände in riesigen Fenstern aufgezeigt, die mit farbigen Glasgemälden gefüllt werden konnten. Die Rippengewölbe ermöglichten auch neue räumliche Konzeptionen.

Aufgrund der erhaltenen Dokumente des als Bauherr fungierenden Abtes Suger von Saint-Denis hat dieser Bau in der Architekturgeschichte die grösste Aufmerksamkeit der drei auf sich gezogen. Die beiden anderen Bauten stehen aber im Zeugniswert der berühmten Abtei- und Wallfahrtskirche nicht nach. In Saint-Denis waren letztlich viele technische und ästhetische Fragen noch offengeblieben: Das durch die Rippen dezidiert gegliederte Gewölbe korrespondierte vorerst nur schlecht mit den tragenden Stützen, namentlich den monolithischen Säulen des Chorumgangs. Überdies war noch keine Lösung gefunden, die auch das Mittelschiff und den Obergaden der Basilika überzeugend in das System einband und eine ähnlich reiche Befensterung wie im Seitenschiff auch im Obergaden des Mittelschiffes ermöglichte. Auch die statischen Verhältnisse der Basilika – Lastabtrag der Mittelschiffsgewölbe in stark durchfensterte Obergadenwände, Wölbsystem des Mittelschiffes – waren noch nicht abschliessend geklärt. Zwar wissen wir nicht genau, wie die oberen Teile des Umgangsschores Sugers eigentlich ausgesehen haben; aber allein die Tatsache, dass sie schon im 13. Jahrhundert neu errichtet werden mussten, deutet darauf hin, dass entweder technische oder ästhetische Probleme ungelöst geblieben waren.

Fast gleichzeitig mit Saint-Denis – und schon unter dem Eindruck dieses grossen Neubaus – erneuerte das traditionsreiche Benediktinerkloster Saint-Germain-des-Prés in Paris die Ostpartie (Umgangsschor) seiner Kirche. Da diese im Gegensatz zu Saint-Denis später nicht mehr eingreifend umgebaut wurde, vermittelt sie einen wichtigen ergänzenden Eindruck von den neuen Lösungen. Im Gegensatz zu Saint-Denis hielt man in Saint-Germain-des-Prés noch an einem konventionellen Chorumgang mit Radialkapellen fest. Dafür baute man aber im inneren Chorpolygon einen sehr hohen Obergaden, der der Höhe der Scheidarkaden zwischen Mittelschiff und Umgang kaum nachsteht (heutige Fenster gegenüber dem Originalzustand noch etwas nach unten verlängert, dadurch heutiger Obergaden noch höher als ursprünglich). Das Mittelschiff wurde jochweise mit queroblungen Kreuzrippengewölben eingewölbt, die jeweils zwei grosse Fenster nebeneinander unter ihrem Schildbogen aufnehmen. Die Zone des Dachanschlusses des Chorumgangs wurde durch einen niedrigen «Laufgang» aufgelöst, dessen Arkaden sich in den dunklen Dachraum öffnen (in heutigem Zustand sind die Arkaden durch horizontale Architrave ersetzt, doch im Vorchorjoch ist die ungefähre ursprüngliche Anordnung noch ablesbar). Diese Art des zwischen Scheidarkaden und Obergaden eingeschobenen Laufganges – «Triforium» oder Scheinempore genannt – sollte zu einem Leitmotiv der folgenden gotischen Kirchenbauten werden. Die Rippen des Mittelschiffsgewölbes

werden alle einzeln durch eine Wandvorlage in Form einer überschlanken Säule aufgenommen – sowohl die Gurt- als auch die Kreuzrippen. Diese Wandvorlagen werden als «Dienste» bezeichnet. Sie führen optisch die Last der Rippen bis auf die Deckplatten der Kapitelle der monolithischen Säulen herab, die die Scheidarkaden zwischen Chorpolygon und Umgang tragen. Den nach aussen drückenden Schub der Mittelschiffsgewölbe nehmen gewaltige viertelkreisförmige Strebebögen auf, die die Last auf radial angeordnete Strebepeiler zwischen den Radialkapellen des Umgangs ableiten – über die Dächer des Umgangs hinweg, also aussen sichtbar. Die heute zwar vielfach reparierten, aber noch vorhandenen Strebepeiler und Strebebögen von Saint-Germain-des-Prés sind eines der ältesten noch vorhandenen Beispiele²¹ des typisch gotischen «Strebewerks», das wenige Jahre später schon allgegenwärtig sein sollte und die Aussenansicht der Basiliken prägte.

In der Realität bleiben gotische Gewölbbauten fast immer auch ohne die Strebebögen stehen (viele wurden später schadhaft oder auch ganz entfernt, ohne dass die Gewölbe einstürzten; die Strebepeiler am Seitenschiff sind hingegen in der Regel unverzichtbar). Es handelt sich bei den Strebebögen also mehr um eine optische als um eine real statisch wirksame Verstärkung des Gewölbebaus. Einen ausschlaggebenderen Einfluss auf die Möglichkeit der Wölbung bei gleichzeitig hoch aufragendem Obergaden mit grossen Fenstern hatte vielmehr vor allem die Verwendung regelmässig bearbeiteter Steine für die Gewölbeflächen und die damit einhergehende Reduzierung des Mörtelanteils sowie der Schalenstärke und damit des Gewichts der Gewölbe. Nicht nur optisch, sondern auch technisch bietet ein Werksteingewölbe (oder alternativ ein Backsteingewölbe, wobei die Backsteine geringes Gewicht mit regelmässigem Format verbinden) also bedeutende Vorteile.

Trotzdem leistete die Einführung des äusseren Strebesystems der schrittweisen kühnen Vergrösserung der Obergadenfenster starken Vorschub. Egal ob statisch nötig oder unnötig, funktioniert der Strebebogen in der Realität immer als «passives» Bauglied: Minimale Widerlagerverschiebungen oder Schrägstellungen der Strebepeiler reichen aus, um den Strebebogen in einen gerissenen, gewissermassen «schlaffen» Zustand zu versetzen, in welchem er auf seine beiden Widerlager – die Obergadenwand und den Strebepeiler – unabhängig von der einwirkenden Belastung eine konstante horizontale Kraftkomponente ausübt, die immerhin dem Gewölbeschub des Mittelschiffs entgegenwirkt und somit für einen günstigeren Lastabtrag sorgt. Man darf sich die Strebebögen allerdings nicht wie eine vorgespannte Feder zwischen Obergadenwand und Strebepeiler vorstellen, und etwaige Windbelastungen auf die Kirchenwand haben daher kaum Einfluss auf die im Strebebogen wirkende Kraft.

Die erste gänzlich im neuen gotischen Stil errichtete Grosskirche war die um die Mitte des 12. Jahrhunderts aufwachsende Kathedrale von Sens. Dort hielt man vorerst im Grundriss am «gebundenen System» mit der 1:2-Entsprechung zwischen quadratischen Mittelschiffs- und Seitenschiffsjochen fest. Im Mittelschiff griff man allerdings die ursprünglich schon in der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts in der Normandie (Caen, nachträglich eingewölbte Kirchen des Männerklosters Saint-Étienne und des Frauenklosters Sainte-Trinité) entwickelte Idee des «sechsteiligen Gewölbes» auf: Dieses

²¹ Weitere frühe Strebebögen wurden um 1150 z.B. an der Kirche Saint-Nicolas (früher Saint-Lomer) in Blois, an der Kathedrale von Langres und der Stiftskirche von Beaune, desweiteren versteckt unter dem Dach an der Abteikirche Saint-Germer-de-Fly errichtet. Die genaue Frühgeschichte des gotischen Strebebogens ist noch strittig.

ist ein Kreuzrippengewölbe, das in der Jochmitte durch eine Art zusätzlichen «Gurtbogen» in zwei Hälften gespalten ist. Anstelle der beim Kreuzgewölbe üblichen zwei «Schildkappen» an der Obergadenwand weist das sechsteilige Gewölbe also beiderseits je zwei stark verzogene Gewölbekappen auf. Es handelt sich um eine echte Kompromisslösung zwischen der romanischen Wölbtechnik und der gotischen. Das sechsteilige Gewölbe ermöglicht ebenfalls recht grosse Obergadenfenster. Die heutigen grossen Obergadenfenster in Sens sind allerdings auf einen Umbau im 13. Jahrhundert zurückzuführen, bei dem man auch die Gewölbe nochmals stark veränderte und der neuen Belichtungssituation anpasste. Dank eines wohl ähnlich wie in Saint-Germain-des-Prés gestalteten Strebewerks, das heute aber nicht mehr in der ursprünglichen Form erhalten ist, konnte man es wagen, mit den sechsteiligen Gewölben ein Mittelschiff von rund 15 m Breite zu überdecken – eine wahrhaft imperiale Spannweite wie am Dom von Speyer. Der Wandaufbau der Kathedrale von Sens gleicht jenem von Saint-Germain-des-Prés (dreizonig mit Scheidarkaden, Scheinempore/Triforium und Obergaden).

Sehr ähnlich wie in Saint-Germain-des-Prés gestaltete man im letzten Drittel des 12. Jahrhunderts auch bei der bereits genannten Wallfahrtskirche von Vézelay in Burgund den Umgangschor, mit dem man den Ostabschluss der erst wenige Jahrzehnte vorher fertiggestellten spätromanischen Basilika ersetzte. Auch in Vézelay wird das Mittelschiff durch grosse viertelkreisförmige Strebebögen über die Dächer des Chorumgangs hinweg gestützt. Der Dachanschlag des Chorumgangs wird innen durch ein zum dunklen Dachraum²² hin offenes Triforium eingenommen. Wieder führt ein sehr hoher Obergaden dem Innenraum reichlich Licht zu. Die Basilika von Vézelay bietet überdies eine hervorragende Möglichkeit, die Evolution der Steinbearbeitung nachzuvollziehen: Während die um die Mitte des 12. Jahrhunderts entstandenen romanischen Bauteile dieser Kirche alle eine sorgfältige Werksteinbearbeitung mit der Glattfläche aufweisen, kam an dem nur eine einzige Generation jüngeren frühgotischen Umgangschor durchwegs ein «neues» Werkzeug zum Einsatz, die «Zahnfläche»: Auch sie gleicht einem Beil, weist jedoch im Gegensatz zur Glattfläche eine fein gezahnte Schneide auf. Die Zahnung ermöglichte einen effizienteren Materialabtrag, daher setzte sich die Zahnfläche in weiten Teilen Europas im 12. Jahrhundert gegenüber der Glattfläche durch. Woher sie ursprünglich kam, ist unklar. Früh tauchte sie im deutschen Sprachraum schon an den spätromanischen Ostteilen des Doms von Worms auf. Insgesamt ist aber die Zahnfläche eines der herausragenden Leitmotive der Früh- und Hochgotik überhaupt. Bei manchen frühgotischen Kathedralen der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts treten die ältere Glattfläche und die moderne Zahnfläche nebeneinander auf (Noyon, Laon). In Frankreich blieb die Zahnfläche bis ins 17. Jahrhundert das massgebliche Steinmetzwerkzeug. Parallel zur Ausbreitung neuer Werkzeuge und Bearbeitungstechniken lässt sich in der Gotik ausserdem eine Tendenz zur «Serienfertigung» von Steinen beobachten, z.B. durch zunehmende Vereinheitlichung der Schichthöhen der Wandquader. Zur Markierung der eigenen Arbeit setzen die Steinmetze ab etwa der Mitte des 12. Jahrhunderts vermehrt individuelle «Steinmetzzeichen» ein, die der stolzen Kennzeichnung besonders komplizierter Werkstücke, aber vielleicht auch als Grundlage der Bestimmung der Arbeitsleistung und der Entlohnung dienten.

Obwohl insbesondere mit der Kathedrale von Sens und der Abteikirche Saint-Germain-des-Prés in Paris überzeugende Initialbauten der neuen Konstruktionsart vor Augen

²² Heute ist der Dachraum durch Rundfenster in der Umfassungswand belichtet. Diese Fenster wurden aber erst bei einer Restaurierung durch Viollet-le-Duc im 19. Jahrhundert geschaffen. Die ursprüngliche Situation ist unbekannt.

standen, kopierte man keineswegs bei allen direkt nachfolgenden Monumentalbauten diese Vorbilder, sondern suchte durchaus fast überall individuelle, eigene Wege. Ein Beispiel ist die gegen Ende des 12. Jahrhunderts entstehende Kathedrale von Laon in Nordwestfrankreich. Auch hier wölbte man (wie in Sens) im gebundenen System mit sechsteiligen Gewölben im Mittelschiff. Allerdings versuchte man den Einfluss der «Doppeljoche» des gebundenen Systems dadurch abzumindern, dass man im Verlaufe des Baufortschritts zu fast identischen Formen der Haupt- und Zwischenstützen des Doppeljoches überging. Zunächst hatte man noch das System der «Dienste» weiterentwickelt: Bei den Hauptstützen im Ostteil des Langhauses wurden die Dienste nicht nur bis zur Deckplatte der Hauptpfeiler, sondern bis zum Boden heruntergeführt. Die Dienste umgeben an diesen Stützen als dünne freistehende monolithische Säulchen rings herum den runden Hauptpfeiler. Bei den westlichen Pfeilern verzichtete man dann allerdings auf diese dünnen Säulchen und verwendete bei Haupt- und Nebenstützen gleichermassen gemauerte Rundpfeiler.

Um dem Mittelschiff reiches Licht zuzuführen, vergrösserte man nicht etwa den Obergaden überdimensional, sondern ordnete stattdessen über den Seitenschiffen geräumige Emporen an, die fast gleich hoch sind wie die Seitenschiffe. Diese Emporen werden wie die Seitenschiffe durch grosse Fenster beleuchtet, die dem Mittelschiff indirektes Licht zuführen, und die Emporen stützen das Mittelschiff bis weit hinauf. Den im Vergleich zur hohen Seitenschiffs- und Emporenzone ganz niedrigen Bereich des Dachanschlages versteckte man wiederum hinter einem Triforium. So entstand ein vierzoniger Wandaufbau, bei dem jedoch fast alle Mauerflächen komplett in Arkaden aufgelöst sind (Scheidarkade-Empore-Triforium-Obergaden). Während der vierzonige Wandaufbau im 13. Jahrhundert schnell wieder aufgegeben wurde und das sechsteilige Gewölbe in Frankreich ebenfalls fast ausschliesslich im 12. Jahrhundert zum Einsatz kam, war die völlige Öffnung der Wandflächen in Laon eine fortschrittliche Lösung. Zur zusätzlichen Sicherung des nicht besonders hohen Obergadens brachte man an der ganzen Kirche Strebepfeiler und Strebebögen an (wegen statischer Probleme im 19. Jahrhundert verändert und durch ein neues Strebewerk ersetzt), wie es am Beispiel des Chorbaus von Saint-Germain-des-Prés vorgegeben war. Das meiste Licht kommt durch die zwischen den Strebepfeilern grossflächig durchfensterten äusseren Umfassungswände in den Bau.

Im Aussenbild stellt sich die Kathedrale mit insgesamt sieben Türmen (zwei Westtürme, je zwei Türme an jeder Querhausfassade und ein Vierungsturm) wie ein spätromantisches Bauwerk dar.

Auch die wohl bekannteste Kathedrale Frankreichs, Notre-Dame in Paris, zeigt die typischen Merkmale der Frühgotik. Entsprechend dem Rang der Hauptstadt wählte man für die Pariser Bischofskirche einen nicht nur dreischiffigen, sondern fünfschiffigen Grundriss. Fast in der Mitte der Gesamtlänge wird der Bau durch ein Querschiff durchschnitten; der Chorbau ist ebenfalls fünfschiffig, weist also einen doppelten Chorumgang auf, der überdies durch Radialkapellen erweitert ist. Die Wahl der fünfschiffigen Basilika kann nur als Anspielung auf Alt St. Peter in Rom verstanden werden. Bezüglich der Wölbung des Riesenbaus und der Verstrebung der Mittelschiffsgewölbe war man ähnlich vorsichtig wie in Laon. Man wählte abermals im Mittelschiff sechsteilige Gewölbe. Zur deren statischer Stabilisierung ordnete man über den inneren Seitenschiffen wieder Emporen an. Da diese Emporen aber wegen der aussen anschliessenden Dächer der äusseren Seitenschiffe nur wenig Licht bekommen, griff man

im Mittelschiff wiederum zu einem vierzonigen Wandaufbau, wobei man anstelle des Triforiums unter den Obergadenfenstern Rundfenster anbrachte; diese öffnen sich allerdings nicht nach draussen, sondern in die Dachräume der Emporen und können daher die Lichtsituation nicht wesentlich verbessern. Man entschloss sich daher in einem Umbauschritt im frühen 13. Jahrhundert dazu, die Obergadenfenster doch nach unten zu verlängern. Trotzdem blieb Notre-Dame ein für die Gotik ungewöhnlich dunkles Bauwerk. Wegen der Fünfschiffigkeit der Pariser Kathedrale war ein äusserst kühnes Strebewerk notwendig, bei dem die Strebepfeiler wieder zwischen den Seitenkapellen des Langhauses bzw. den Radialkapellen des Chorumganges stehen, jedoch am Chorumgang in einem einzigen schlanken Strebebogen beide Seitenschiffe ohne Zwischenstützung überbrücken (am Langhaus mit Zwischenstützung).²³ Mit der Zweiturmfassade wurde in Paris die klassische Lösung der gotischen Kathedrale gefunden. Über den drei Portalen erhebt sich die «Königsgalerie», darüber wiederum im Mittelschiff ein grosses Rosettenfenster (Radfenster). Die beiden Türme sollten mit Spitzhelmen abschliessen, die aber nie gebaut wurden.

Alle die genannten Grossbauten der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts und der Zeit um 1200 sowie weitere, ähnliche (etwa die Kathedralen von Noyon, Soissons, Senlis, auch von [Lausanne](#) oder die Klosterkirchen von Saint-Germer-de-Fly, Saint-Remi in Reims, Notre-Dame-en-Vaux in Châlons-en-Champagne oder Saint-Leu d'Esserent) stellten noch tastende Versuche mit den neuen technischen und gestalterischen Möglichkeiten dar («Frühgotik»). Um 1200 war die Zeit dann reif für eine Synthese aller Errungenschaften der frühen Gotik. Die «klassischen» oder «paradigmatischen» Bauten dieser neuen Bauart sind die Kathedralen von Reims, Chartres, Amiens, Bourges und Beauvais («Hochgotik»). Mit den Emporenbasiliken von Laon und Paris hatten die ersten gotischen Bauten fast zwangsläufig äusserst schlanke Proportionen des Mittelschiffs angenommen. Diese schlanken Proportionen wurden auch im 13. Jahrhundert bei mehreren nordwestfranzösischen Kathedralen beibehalten, obwohl man sich inzwischen dank dem Strebewerk traute, auch den Mittelschiffsobergaden sehr hoch zu machen und somit in der Lage war, der Kirche auch ohne Einschaltung einer belichteten Empore überreiches Licht zuzuführen. Die grösste Höhe des Mittelschiffs überhaupt erreichte man mit rund 48 m in Beauvais. Die Proportionen der Mittelschiffe der genannten Kirchen erreichten etwa das Verhältnis 4:1 zwischen Höhe und Lichtweite (diese also um 12 m).

Als Beispiel für die «klassische Phase» der Gotik wird hier die Kathedrale von Reims besprochen.²⁴ Der Stadt Reims kam als Ort der Taufe des merowingischen Frankenkönigs Chlodwig von jeher besondere Bedeutung zu. Die Kathedrale der Stadt diente daher traditionell als «Krönungskirche» der französischen Könige.

Wie bei den Kathedralen von Chartres, Amiens und Beauvais beruht der Grundriss des kurz nach 1200 begonnenen Neubaus von Reims nicht mehr auf dem Prinzip des «gebundenen Systems» oder der sechsteiligen Gewölbe, sondern auf der «Travée», also der Abfolge identischer querrechteckiger Joche im Mittelschiff, denen jeweils genau ein Joch in jedem Seitenschiff entspricht. Die querrechteckigen Kreuzrippengewölbe im Mittelschiff haben in allen vier Kathedralen horizontale Scheitel. Dies wird erreicht durch die Kombination nahezu halbkreisförmiger Diagonalrippen (Kreuzrippen) mit nur ganz schwach spitzbogigen Gurtruppen und stark zugespitzten Schildbögen, die die Fenster des

²³ Die ursprüngliche Form des Strebewerks ist strittig.

²⁴ In der Vorlesung kommen je nach Studienjahr jedoch alternativ auch Amiens, Chartres oder Bourges vertieft in Betrachtung.

Obergadens einrahmen. Die Gewölbekappen sind in parallelen Schichten («Kufverband») aus kleinteiligem Werkstein errichtet. Die Gewölbe des 13. Jahrhunderts sind nahezu ausnahmslos Kreuzrippengewölbe. Die aus grossen Werksteinrippen gefertigten Kreuzrippen wurden vor der Mauerung der Gewölbekappen, auf Lehrbögen gestützt, gemauert. Einzelne Befunde (nicht in Reims, aber in Chartres und in Bauten des späteren 13. Jahrhunderts) deuten darauf hin, dass man nachher sogar die Rippen benützte, um die Schalbretter für die Gewölbekappen aufzulegen. Die Rippen erleichterten also auch die Herstellung des Kappenmauerwerks.

Der Wandaufbau ist nun wieder dreizonig, Scheidarkaden-Triforium-Obergaden. Das Triforium verdeckt den Ansatz des Seitenschiffsdaches am Mittelschiff. Die Grösse der Obergadenfenster entspricht in allen vier Kathedralen nahezu der Grösse der Scheidarkaden zwischen Mittelschiff und Seitenschiff. Die Wölbung des Mittelschiffs wird trotz der riesigen Fenster und des weit über die Seitenschiffe aufragenden Mittelschiffs durch ein weiterentwickeltes Strebewerk ermöglicht: Von den aussen am Seitenschiff angeordneten massiven, wandartigen Strebepfeilern spannen sich in zwei Stockwerken übereinander Strebebögen hinüber zur Mittelschiffswand. Der untere der beiden Strebebögen setzt etwa in Höhe des inneren Gewölbeansatzes an, der obere weiter oben, knapp unter der Dachtraufe. Möglicherweise hatte man das Ziel, mit Hilfe der oberen Strebebögen die Windlast auf der riesigen Dachfläche des Mittelschiffs aufzunehmen und sicher abzuleiten.

Mit den gestreckten Innenraumproportionen ging in der Gotik auch ein deutlich gestrecktes äusseres Erscheinungsbild der Bauwerke einher: Nicht nur errichtete man gerne sehr spitze Turmhelme, sondern auch die Dächer nahmen sehr steile Dachneigungen an (bis über 60°), während man in der Romanik relativ flache Dachneigungen (zwischen 30° und 45°) bevorzugt hatte. Die grossen und hohen Dachwerke (Dachstühle) stellten für die Zimmerleute besondere Herausforderungen: Einerseits musste die Dachkonstruktion ausreichend gegen Winddruck und auch gegen Kippen in Firstrichtung ausgesteift werden, andererseits mussten die Schwierigkeiten des Aufrichtens dieser hohen Konstruktionen gelöst werden (Dachwerke wurden vor dem Einziehen der Gewölbe aufgerichtet; erst im Schutze der bereits eingedeckten Dächer wurden die Gewölbe errichtet). Das sehr anspruchsvolle Dachwerk der Kathedrale von Reims wurde leider im I. Weltkrieg infolge deutschen Beschusses ein Raub der Flammen.

Auch an der Kathedrale von Reims wird jede Gewölberippe durch einen entsprechenden Dienst aufgefangen, der optisch die Last der Rippe nach unten, bis zum Fussboden, weiterleitet. Allerdings sind die Dienste nicht mehr als dünne, freistehende Säulchen konstruiert, sondern mit dem Pfeilerkern verschmolzen und zusammen mit den Pfeilern in durchgehendem Mauerwerksverband lagenweise aufgemauert. Auf diese Weise entstand der «Bündelpfeiler»: Optisch besteht er aus einem runden Kern, dem allseitig die Dienste vorgelegt sind. Allerdings sind die Dienste in den Pfeiler eingebunden, und auch die Kapitelle der Dienste und des runden Pfeilerkerns haben nun dieselbe Höhe. In den folgenden Grossbauten verschmolzen Dienste und Pfeilerkern dann vollkommen, und es erinnerte nichts mehr an die ursprüngliche Ausführung der Dienste als extrem dünne «monolithische Säulen».

Die Architektur von Reims fand schon bei den Zeitgenossen grösstes Interesse. Wandaufrisse und Architekturdetails der Kathedrale finden sich zum Beispiel in dem in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts entstandenen Skizzenbuch des Villard

d'Honnecourt. Es handelt sich dabei um die ältesten erhaltenen gotischen Architekturzeichnungen. Die Skizzen Villards sind nicht etwa Entwürfe, sondern Bauzeichnungen, die Villard im Rahmen von Reisen zu verschiedenen Bauwerken angefertigt und gesammelt hat. In Reims bewunderte Villard nicht nur den dreizonigen Wandaufbau oder die Bündelpfeiler und deren Steinschnitt, sondern ganz besonders auch das Strebssystem und nicht zuletzt das Masswerk, das in Reims zum ersten Mal die Fenster gliederte. Unter Masswerk wird die zartgliedrige Unterteilung der riesigen Fensterflächen durch gemauerte Stäbe im unteren Teil des Fensters (Stabwerk) und eine dekorative Ausgestaltung im Fensterbogen (Couronnement) verstanden. Das Masswerk war notwendig, um die in der gotischen Architektur neu eingeführten riesigen Fensterflächen auch statisch zu sichern (Winddruck). Die Scheiben wurden aus kleinen, in Blei gefassten Teilstücken zusammengesetzt. Die grösseren Teilstücke wurden dann in die durch das Masswerk vorgegebenen Teilflächen der Fenster eingesetzt. Aufgrund der schlanken Proportionen wäre das Masswerk allerdings für sich allein nie standsicher. Es funktioniert nur im Zusammenwirken mit Eisenstäben (sog. «Sturmeisen» oder «Windeisen»), die das Fenster horizontal unterteilen und auch die einzelnen Stücke des Stabwerks halten. Das aus Stein und Eisen kombinierte Masswerk löste anfängliche Versuche mit rein eisernen Grundgerüsten für die Farbverglasungen ab, wie sie z.B. in Saint-Denis oder Sens noch angewendet worden waren.

Bei der architektonischen Gestaltung des Masswerks ging man mit derselben Stringenz vor wie beim Stützensystem der gewölbten Schiffe. Den obersten Teil des Masswerks (Couronnement) nahm anfangs meist ein rundes Element mit rosettenartiger Gestaltung ein (Drei-, Vier-, Fünf-, Sechspass). Der untere Bereich des Fensters hingegen wurde durch das Stabwerk in verschiedene Bahnen unterteilt, die anfangs oben meist mit einem spitzbogigen Abschluss endeten. Um die tragende Funktion des Stabwerks zu visualisieren, wurden die Stäbe mit entsprechenden Diensten besetzt. Bei sehr grossen Fenstern konnten die einzelnen Bahnen wiederum rekursiv in ähnlicher Weise zerlegt werden wie das Gesamtfenster, also in eine krönende Rosette und mehrere Bahnen. So entstanden im 13. Jahrhundert zwei-, vier-, sechs- und sogar achtbahnige Fenster. Mit Hilfe des Masswerks konnten auch riesige Fensterflächen realisiert werden, deren Gesamtfläche man vorher durch Gruppierung mehrerer Fenster dicht nebeneinander hatte füllen müssen. Aus der Fenstergruppe – oft mit bekrönendem Rundfenster – entstand über mehrere Zwischenstufen (u.a. sogenanntes «Plattenmasswerk» aus grossen Steinplatten mit ausgeschnittenen Ornamenten) das Masswerk, das seit Reims die gotische Baukunst mitbestimmte. Da die grösseren Masswerkfenster hierarchisch in mehreren Stufen in Teilfenster und Bahnen zerlegt wurden, zeichneten auch die Dienste die hierarchische Ordnung entsprechend nach. Das Masswerkfenster ist wie das System von Gewölberippe und Wanddienst ein Beispiel für die sowohl ästhetisch als auch konstruktiv konsequente Ordnung des gotischen «Bausystems».

Auch in den Detailformen setzte sich die gotische Baukunst von der Spätromanik ab. Zwar blieben nach wie vor Blattkapitelle im Gebrauch, die letztlich vom antik-korinthischen Modell abzuleiten sind. Die Blattdekoration der Kapitelle wurde aber sehr stark stilisiert. In der Frühgotik konnte sich als Leitmotiv das «Knospenkapitell» etablieren, bei dem die Blätter am Ende knospen- oder knollenartig eingerollt sind. Andere beliebte gotische Kapitelle bestehen aus einem schlanken kelchartigen Kern, an den die naturalistisch oder stilisiert gestalteten Blätter derart «angeheftet» sind, dass der Kelch noch sichtbar bleibt (Kelchkapitell).

In Frankreich war das 13. Jahrhundert das grosse Jahrhundert der Kathedrale. Mit den fünf genannten Kathedralen war das Tor zur sogenannten «Rayonnant-Gotik» aufgestossen. Die folgenden Bauten fügten dem nunmehr etablierten Stil- und Konstruktionsrepertoire nicht mehr viel hinzu. Jedoch gelang es nun zumeist, auch den Laufgang unter den Obergadenfenstern – das «Triforium» – zu belichten, obwohl dies Komplikationen mit der Seitenschiffsüberdachung und deren Entwässerung nach sich zog (innenliegende Entwässerung). Über kurz oder lang wurde das nunmehr ebenfalls farbig verglaste Triforium zu einem blossen unteren Anhängsel der Obergadenfenster, und schliesslich wich der dreizonige Wandaufbau einem zweizonigen, bei dem die Obergadenfenster direkt über den Scheidarkaden ansetzten.

Die «Rayonnant»-Gotik brachte einige Bauten zustande, die fast ganz in Fenster aufgelöste Wände haben: Zu nennen ist die Sainte-Chapelle in Paris, eine zweistöckige, einschiffige Reliquienkapelle, deren Oberkapelle dem Oberteil eines Kathedralen-Chorschlusses gleicht. Auch die Kathedralen von Saint-Denis (Langhaus und Querschiff) und Auxerre sowie die Kirche Saint-Urbain in Troyes sind herausragende Beispiele für die Rayonnant-Gotik. Die letztgenannten Bauten verzichteten auf die überschlanken Raumproportionen von Reims, Amiens und Beauvais. In der im frühen 13. Jahrhundert voll entwickelten Form konnte sich das neue gotische Bausystem auch in den Nachbarländern Frankreichs durchsetzen. Zum Beispiel folgte man bei den ersten gotischen Bauten des deutschen Sprachraums – der Liebfrauenkirche in Trier und der Elisabethenkirche in Marburg – um die Mitte des 13. Jahrhunderts vorwiegend dem Beispiel Reims, in Köln in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts dem Vorbild Amiens, und in Regensburg und Strassburg im späten 13. Jahrhundert der voll entwickelten Rayonnant-Gotik. Das Langhaus des Strassburger Münsters gleicht bis ins Detail den Ostteilen der Kathedrale von Troyes. Bis um 1300 hatte die Gotik fast ganz Europa erobert.

Zusammenfassung:

Das, was heute als «gotische Baukunst» bekannt ist, war das Ergebnis einer jahrhundertelangen Entwicklung der mittelalterlichen Baukunst. In der Gotik wurden die mühsamen architektonischen und konstruktiven Errungenschaften des 11. und 12. Jahrhunderts – zunächst in den französischen Kernlanden – glanzvoll zusammengeführt. Die völlige Synthese gelang im frühen 13. Jahrhundert. Die Gotik ist die Architektur des Werksteins, der Wölbung und des Lichtes (grosse farbig verglaste Fenster). Aufgrund der herausragenden Bedeutung des Werksteins ist die gotische Architektur eine Steinmetz-Architektur. In der Steinbearbeitung setzten sich neue, wirksamere Werkzeuge und rationellere Herstellungsverfahren durch, ohne die die europaweite Ausbreitung der Gotik nicht denkbar gewesen wäre. Die Verwendung des Spitzbogens ermöglichte die Konstruktion von Gewölben mit horizontalem Gewölbescheitel auch über komplizierten und unregelmässigen Grundrissen. Dadurch konnte das starre «gebundene System» der Romanik überwunden werden, die Travée sich durchsetzen und auch komplizierte polygonale Chorschlüsse und Kapellen realisiert werden. Durch das Rippengewölbe, dessen Rippen aus grossen Werksteinblöcken gebildet wurden, gelang es, die Wölbung in die auch alle anderen Elemente des Baus prägende Werksteinarchitektur mit einzubeziehen. Das Strebewerk aus Strebepfeilern und Strebewölbungen ermöglichte die Einwölbung hoch aufragender Obergaden und war somit eine wesentliche Voraussetzung für die reiche Innenraumbelichtung durch grosse Obergadenfenster. Die riesigen Fensterflächen konnten durch die Einführung des Fenstermasswerks gegen den Winddruck gesichert werden und wurden farbig verglast. Für die Konstruktion der Fensterflächen war der massive Einsatz eiserner Elemente notwendig. Im Inneren der

gotischen Kathedrale etablierte sich der dreizonige Wandaufriß mit Scheidarkade, Triforium und Obergadenfenster als Standard. Die Wand wurde somit komplett in Arkaden aufgelöst. Die konsequent auf die Wölbung bezogene Konstruktion der gotischen Kathedrale spiegelte sich in der Systematik der Stützen wieder. Dadurch, dass jede Gewölberippe durch einen Dienst abgefangen und bis zum Boden abgeleitet wurde, verlor die monolithische Säule als Trägerin der Scheidarkaden an Bedeutung und wurde schliesslich durch den Bündelpfeiler abgelöst. Im 13. Jahrhundert bildete sich der «Style Rayonnant» aus, bei dem nunmehr auch das Triforium von der Buntverglasung erfasst wurde und schliesslich in den Obergadenfenstern aufging (zweizoniger Wandaufriß). Dem Blick entzogen, aber dennoch wesentlich für die Gesamtkonstruktion des gotischen Bauwerks waren schliesslich die sehr hohen Dachwerke der steilen Dächer, deren Konstruktionsprinzipien ebenfalls massgeblich im 13. Jahrhundert entwickelt wurden.

12. Ausbreitung der Gotik

Im Laufe des 13. Jahrhunderts breitete sich die neue französisch-gotische Bau- und Konstruktionskunst über grosse Teile Europas aus. Vielerorts wurden die französischen Kathedralen mehr oder weniger exakt kopiert (Kölner Dom), oder auch in reduzierter Form (Regensburger Dom, Ritterstiftskirche Wimpfen im Tal), meist durch Verzicht auf den Chorumgang mit Kapellenkranz. Im 14. Jahrhundert dienten insbesondere die Formen des Style Rayonnant in Mitteleuropa vielen Neubauten als direktes Vorbild, zum Beispiel bei der der Sainte-Chapelle in Paris gleichenden Chorkapelle des Domes von Aachen, die ebenfalls ein reines «Glashaus» mit farbigen Fenstern ist. Selbst bei den turmlosen Klosterkirchen der Zisterzienser eiferte man dem Vorbild der französischen Sakralbauten nach, unter Beibehaltung der aufwendigen Steinmetzkunst und Grundrisse und nur unter Verzicht auf die monumentale Zweiturmfassade (Klosterkirchen Altenberg, Salem, Ebrach), innen meist mit nur noch zweizonigem Wandaufriß.

Die gotische Baukunst erfasste aber auch Bereiche jenseits der monumentalen Kathedrale oder Klosterkirche. Mit den weniger ambitiösen Bauaufgaben ging auch eine Reduktion des gotischen Formen- und Strukturapparates einher. Erst in stark reduzierter Form war die Gotik geeignet, auch den Bau städtischer Pfarrkirchen, Klosterkirchen und Dorfkirchen zu dominieren. Eines der grössten Hindernisse, das einer flächendeckenden Ausbreitung der Gotik auch bei kleineren Bauaufgaben zunächst im Wege stand, war die aufwendige Werkstein-Architektur. Der gotische Struktur- und Formenapparat war fast ausschliesslich Steinmetz-Architektur, fast alle Wand- und Gewölbeflächen bestanden aus steinmetzmässig bearbeitetem Stein, der Maurer spielte beim Bau der gotischen Kirche zunächst kaum eine Rolle. Eine allgemeine Ausbreitung konnte die neue Bauart nur finden, wenn wenigstens partiell die gewöhnliche (aus kleinteiligem Material) gemauerte und verputzte Wand zurückkehrte.

Wegbereiter dieser Entwicklung waren schon im 13. Jahrhundert – vor allem im mitteleuropäischen Raum – die innerstädtischen Kirchenbauten der neuen «Bettelorden», der Franziskaner und Dominikaner. Die typische gotische Bettelordenskirche ist eine dreischiffige Basilika mit langgestrecktem, einschiffigem, polygonal schliessendem Mönchschor. Dieser ist typischerweise – ähnlich wie die Oberkirche der Sainte-Chapelle in Paris – fast raumhoch durchfenstert (allerdings meist ohne Farbverglasung) und mit Kreuzrippengewölben überdeckt. Gegen den Schub der Gewölbe sichern äussere Strebepfeiler. Innen sind meist die Dienste, die die Gewölberippen aufnehmen, nicht bis zum Boden durchgeführt, sondern in halber Wandhöhe durch eine Konsole abgefangen, so dass unten eine glatte ungeteilte Wandfläche zur Aufstellung des Chorgestühls bleibt. In der mitteleuropäischen Gotik setzte sich – in gewissem Gegensatz zu Frankreich – schon ab dem frühen 14. Jahrhundert fast flächendeckend der Backstein als bevorzugtes Material für die Mauerung der Gewölbekappen durch. Somit trat an die Stelle des sichtbaren Kleinquadermauerwerks in den Gewölben fast überall das verputzte Backsteinmauerwerk.

Das Langhaus der Bettelordenskirche ist typischerweise in allen drei Schiffen flachgedeckt, und die Mittelschiffswand präsentiert sich als weitgehend ungegliederte, gemauerte und verputzte Wandfläche, aus der nur die Scheidarkaden und die Obergadenfenster ausgeschnitten sind. Selbst das Gesims zwischen Scheidarkaden und Obergadenzone fehlt meist. Die typisch «gotischen» Elemente reduzieren sich in einem solchen Langhaus auf schlanke Proportionen, Verwendung von Spitzbögen und

Masswerkfenstern sowie auf die Anwendung mehr oder weniger profilierter Bogenläufe und zugehöriger Bündelpfeiler oder profilierter Pfeiler. Das Äussere der Bettelordenskirchen präsentiert sich betont schlicht. Türme fehlen aufgrund der Ordensbauregeln (nur ein Dachreiter auf dem Giebel des Chorraums ist meist vorhanden), und die Fassade zeigt sich meist als nahezu ungegliederte Querschnittsfassade, deren Umriss den basilikalen Aufbau des Langhauses nachzeichnet. Im Inneren und Äusseren ist die Bauplastik bis auf das Minimum reduziert. Sichtbarer Werkstein tritt allenfalls an den Gewölberippen, Diensten, Masswerkfenstern, Pfeilern und an den äusseren Bauwerkskanten und Strebepfeilern zutage.

Charakteristische Beispiele für gotische Bettelordenskirchen sind die Franziskaner- und Dominikanerkirche in Regensburg (in der Dominikanerkirche wurde allerdings im Verlaufe längerer Bauzeit auch das Langhaus schrittweise komplett eingewölbt), in der Schweiz die Französische Kirche in Bern, die Augustinerkirche und Predigerkirche in Zürich (letztere heute verbaut, der gewölbte Chorraum jedoch noch sichtbar in der Musikabteilung der Zentralbibliothek) oder die ehemalige Klosterkirche Grosses Klingental in Kleinbasel (heute ebenfalls durch Zwischendecken verbaut) sowie die Klosterkirche Königsfelden AG. In den Bettelordenskirchen trennt ein Lettner den Chorraum vom Langhaus ab. Die Lettner sind nur noch in wenigen Fällen erhalten, ein sehr anschauliches Beispiel findet sich jedoch in Bern in der Französischen Kirche. Das Modell der Bettelordenskirche wurde im 14. und 15. Jahrhundert unzählige Male in Stadtpfarrkirchen kopiert, in der Schweiz zum Beispiel in den Stadtpfarrkirchen von Aarau, Baden, Laufenburg und Schaffhausen. Von den Klosterkirchen der Bettelorden unterscheiden sich diese Kirchen meist nur im Vorhandensein eines grossen Turms, der meist im nördlichen Winkel zwischen dem Langhaus und Chor angeordnet ist. Manchmal sind bei den gotischen Stadtpfarrkirchen auch die Seitenschiffe gewölbt, während das Mittelschiff fast immer flachgedeckt ausgeführt wurde (Beispiel: das sogenannte «Münster» in Radolfzell am Bodensee). Sind die Seitenschiffe gewölbt, dann weisen ihre Aussenwände auch Strebepfeiler auf; auf Strebebögen konnte man hingegen wegen der fehlenden Mittelschiffswölbung verzichten. Die gotischen Pfarrkirchen boten wegen ihrer stark reduzierten Wandgliederung eine ideale Folie für spätere «Modernisierungen» durch flächige Wanddekoration. Sie wurden daher sehr häufig in der Barock- und Rokokozeit durch Fresken und Stuck angereichert und haben sich in dieser Form in substantiell unverändertem Baubestand erhalten. Der Modernisierung fielen oft die Fenstermasswerke zum Opfer, und das Mittelschiff erhielt häufig eine in Holzkonstruktion vorgetäuschte nachträgliche «Einwölbung». Über dieser Wölbung ist aber häufig noch der originale gotische Dachstuhl vorhanden. In den mit Rippengewölben überdeckten Chorpartien wurden die Rippen entweder überstuckiert oder abgeschlagen, um grosse Flächen für die Dekoration zu gewinnen.

In nochmaliger Reduktion erreichte die Gotik im Verlaufe des 14. Jahrhunderts dann auch den Dorfkirchenbau. Die typische Dorfkirche Mitteleuropas stammt aus dem 14. oder 15. Jahrhundert und setzt sich aus einem rechteckigen, stützenfreien, flachgedeckten Einheitsraum und einem östlich angeschlossenen, polygonal endenden Altarraum zusammen, der deutlich schmaler ist als der Gemeinderaum, und durch Rippengewölbe überdeckt wird (sog. Saalkirche mit eingezogenem, polygonal geschlossenem Chor). Auch hier ist meist ein Turm in den nördlichen Winkel zwischen Chor und Langhaus eingestellt, während den südlichen Winkel die Sakristei einnimmt. Ein typisches Beispiel einer spätgotischen Dorfkirche im Zürcher Umland findet sich z.B. in Pfäffikon ZH.

Die reduzierten Formen der Bettelordensarchitektur erlaubten auch die Anwendung anderer Materialien als des Werksteins. Dies war nicht nur wichtig bei Bauten geringeren Anspruchs wie Stadt- oder Dorfkirchen, sondern auch im monumentalen Sakralbau in Regionen, in denen hochwertiges Steinmaterial generell knapp war, also zum Beispiel in typischen Backsteinregionen wie weiten Teilen Oberitaliens oder im Nord- und Ostseeraum. Hatte man um 1300 noch versucht, Grundriss und Aufriss der französischen Kathedrale auch im Backstein nachzuempfinden – bedeutendste Beispiele sind die zweitürmige Marienkirche in Lübeck und die Zisterzienserklsterkirche Doberan mit ihren «Kathedralgrundrissen» –, so setzten sich in den nord- und ostdeutschen Gebieten bald stark reduzierte, dem Vorbild der Bettelordensarchitektur folgende Bauformen durch, die sogenannte «Backsteingotik», die dann im 14. und 15. Jahrhundert zu einer eigenen Formenvielfalt und Blüte backsteinspezifischer Konstruktionen finden sollte. Selbst die Gewölberippen wurden in der Backsteingotik aus kleinen Formbacksteinen gemauert. Auch in Italien sind die meisten gotischen Kirchenbauten einer «Bettelordens-Backsteingotik» zuzuordnen, deren grosse glatte Wandflächen die Dekoration mit monumentalen Freskenmalereien begünstigten.

Im Mutterland der Gotik, Frankreich, erlahmte nach einem unglaublichen Bauboom im 13. und frühen 14. Jahrhundert die gotische Bautätigkeit während des sogenannten «Hundertjährigen Krieges» mit England (1337–1453) deutlich. Zwar handelte es sich keineswegs um einen fortdauernden, kontinuierlichen Krieg, doch trugen auch innerfranzösische Konflikte dieser Zeit massgeblich dazu bei, dass viele der in monumentalem Massstab begonnen Kathedralen (fast jede grössere Stadt in Frankreich hat eine davon aufzuweisen) mangels Finanzierung zunächst halbfertig liegenblieben. Nicht so drastisch war hingegen der Einbruch der Bautätigkeit in England. Vielmehr konnten sich bei den nicht weniger monumentalen englischen gotischen Kathedralen des 13. und 14. Jahrhunderts zuallererst jene Elemente entwickeln, die später das gotische Bauen in ganz Europa transformieren und revolutionieren sollten; an erster Stelle ist hier das figurierte Gewölbe zu nennen.

Schon um die Mitte des 13. Jahrhunderts führte man in der englischen Gotik zusätzlich zu den konstruktiv unbedingt notwendigen Kreuz- und Gurtrippen weitere Rippen ein, die von den Anfängern ausgehen und bis zum Gewölbescheitel aufsteigen und die Gewölbekappen in kleinere Einheiten zerlegen, die sogenannten Tierceron-Rippen. Im Gewölbescheitel werden diese Tierceron-Rippen von einer Scheitelrippe aufgefangen. Die vielen Rippen brachten eine dekorative Vielfalt in die Gewölbezone, motivierten zusätzliche schmückende «Schlusssteine» an den Rippenkreuzungen (eigentlich also «Kreuzungssteine»), hatten aber wohl auch einen technisch-konstruktiven Hintergrund: Die zu wölbenden Kappenstücke zwischen den Rippen waren nun kleiner und daher leichter herzustellen. Jede Werksteinrippe musste nach wie vor auf ihrem eigenen hölzernen Lehrbogen stückweise zusammengesetzt werden, für die «Füllung» dazwischen reichte dann aber unter Umständen eine sehr leichte, temporäre Schalung.

Noch dichter wurden die Rippenetze in England im frühen 14. Jahrhundert, als man den Gurt-, Kreuz-, Scheitel- und Tierceronrippen auch noch «Liernerippen» hinzufügte. Das sind Rippen, die nicht von den Gewölbeanfängern ausgehen, sondern als kurze Verbindungsstücke zwischen Kreuz- und Tierceronrippen eingesetzt sind. Mit dem Aufkommen dieser Rippen war ein Weg vorgezeichnet, der zur Entwicklung hochgradig dekorativer Rippenmuster führte, deren winzige Kappenstücke schliesslich auch ganz ohne Schalung, also «freihändig», ausgemauert oder auch einfach mit flachen Steinplatten

von Rippe zu Rippe abgedeckt werden konnten. In England wird die Baukunst des 14. Jahrhunderts, in der sich die reich figurierten Gewölbe erstmals ausbreiteten, als «Decorated Style» bezeichnet. Ein typisches Beispiel ist die einschiffige, rechteckige «Lady Chapel» an der Kathedrale von Ely.

Ein Gewölbeform, die im 14. und 15. Jahrhundert zum Erfolgsmodell werden sollte, war auch das Sterngewölbe. Zum ersten Mal tauchte es schon als Vierungsgewölbe in der Kathedrale von Amiens in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts auf. Das Sterngewölbe ist aus dem Kreuzrippengewölbe abgeleitet. Jede der vier Kappen wird aber durch zusätzliche Lirnerippen etwa mittig in zwei Hälften geteilt. Die vier Lirnerippen treffen jeweils auf einen Kreuzungsstein, der am Kappenscheitel liegt. Die vier Kreuzungssteine sind durch kurze Scheitelrippen an den Schlussstein der Kreuzrippen angebunden. Es entsteht somit ein dekoratives Gewölbe mit fünf Schlusssteinen nahe beieinander.

Nach Mitteleuropa drangen die figurierten Gewölbe erst ab dem 14. Jahrhundert auf breiter Front vor. Sie trafen auf eine Gewölbebautechnik, bei der sich der Backstein als Material der Gewölbekappen fast flächendeckend durchgesetzt hatte. Im Gegensatz zur französischen Bauweise hatte man in Mitteleuropa im 13. Jahrhundert verputzte Kappen eingesetzt, die meist in Bruchsteinmaterial ausgeführt wurden. Die Wahl von Backstein anstelle von Bruchstein ermöglichte es, die Kappen wesentlich dünner und damit leichter auszubilden und zudem – dank des normierten Steinformates – in einem geregelten, mörtelsparenden Verband zu mauern. Mit diesen technischen Entwicklungen wurden die Grundlagen für das «freihändige Wölben» gelegt, also für die Ausführung des Kappenmauerwerks fast der ganz ohne formgebende Schalung. Freihändig einzuwölbende Gewölbekappen unterscheiden sich von den im «Kufverband» auf einer Flächenschalung erstellten Kappen vor allem durch ihre doppelt gekrümmte Form: Die Gewölbekappen blähen sich zwischen den Rippen wie von unten aufgeblasene Segel nach oben (sog. «Busung»). Jeder ebene Schnitt durch die Kappe liefert daher eine gekrümmte Linie. Der Trick des schalungsfreien Wölbens besteht nun einfach darin, die Backsteine einer Wölbschicht längs dieser gekrümmten Linie so zu verlegen, dass sich die Schicht als Bogen selbst tragen kann, sobald sie geschlossen ist. Temporär reicht sogar allein die Adhäsion des Kalkmörtels an die porösen Gewölbebacksteine aus, um die Steine des noch nicht geschlossenen Bogens an ihrem Ort zu halten. Im Verlauf des 14. Jahrhunderts entstand – wohl in den traditionellen Backsteingebieten an Nord- und Ostsee – die Idee des freihändigen Wölbens, die dann im 15. Jahrhundert weite Teile Mittel- und Osteuropas erfasste. Dank des Backsteinformates, das etwa 1 Fuss x ½ Fuss x ¼ Fuss misst, wurden die freihändigen Gewölbe nur noch ½ Stein stark, also etwa 15-18 cm dick ausgeführt. Die doppelte Krümmung sicherte diesen dünnen Schalen trotzdem ausreichende Tragfähigkeit.

Zusammenfassung:

Im 13. und 14. Jahrhundert breitete sich die gotische Konstruktion und Architektur über ganz Europa aus und wurde in Kathedralen und Domen ersten Ranges oft unverändert kopiert. Die Gotik erreichte aber auch den städtischen und ländlichen Sakral- und Profanbau. Die reich instrumentierte und fast vollständig in steinmetzmässig bearbeitetem Werkstein ausgeführte französische Kathedralgotik wurde dabei auf einige wenige Elemente reduziert. Einer der Wegbereiter der reduzierten Gotik waren die Bettelorden, deren Kirchen im 13. und 14. Jahrhundert vor allem in Mitteleuropa in fast jeder Stadt entstanden. An die Stelle der durchgegliederten, voll in Arkaden aufgelösten dreizonigen Wandstrukturen traten wieder geschlossene, glatte, verputzte Wände. Nur

bei Bauten besonderen Rangs wurde der gesamte Raum eingewölbt; bei Stadt- und Dorfkirchen überdeckte man meist nur den Altarraum, allenfalls noch die Seitenschiffe mit den neuen Kreuzrippengewölben. Dadurch konnte man das gotische Strebewerk auf Strebepfeiler an den Aussenwänden reduzieren, während man auf Strebebögen verzichten konnte. Innovation fand statt bei der Herstellung der Gewölbekappen. Ab dem 14. Jahrhundert wurden diese überwiegend in Backstein statt in Bruchstein ausgeführt, was es möglich machte, wesentlich dünnere und leichtere Kappen herzustellen. Das Einwölben der Joche wurde durch das schrittweise Aufkommen figuriertes Gewölbe mit feinerem Rippennetz erleichtert. Bei ausreichend feinem Rippennetz war sogar ein freihändiges Wölben möglich.

In Gebieten mit geringem Vorkommen von Naturstein, der zur steinmetzmässigen Bearbeitung geeignet war, entwickelten sich verschiedene Varianten einer «Backsteingotik». Eiferte diese zunächst einer Kopie des Formenapparates der Kathedralgotik mit Hilfe spezieller Formsteine nach, breitete sich auch hier bald eine materialbedingt reduzierte Gotik aus, die wiederum – wie die Bettelordensarchitektur – geschlossene Wandflächen bevorzugte.

13. Spätgotik – das 15. Jahrhundert

Das 15. Jahrhundert war fast in dem gesamten nördlich der Alpen gelegenen Teil Europas die grosse Zeit der feinmaschigen, dekorativen Rippennetze und des freihändigen Wölbens. In der Herstellung der Rippennetze setzten sich effiziente Entwurfs- und Herstellungsverfahren durch, zum Beispiel durch Wahl nur ganz weniger verschiedener Profile und Krümmungsradien für das gesamte Rippennetz (nicht ganz zutreffend seit dem 19. Jahrhundert manchmal als «Prinzipalbogenverfahren» bezeichnet). Bei der «Gewölbeustragung» – also der geometrischen Konstruktion des Rippennetzes (zeitgenössisch als «Reihung» bezeichnet) – zeichnet man zunächst dessen Grundrissprojektion. Die Grundrissprojektion setzt sich in der Regel aus geraden Linien zusammen, deren Verlauf von einigen wenigen geometrischen Grundelementen des Entwurfs bestimmt wird (z.B. ganzzahlige Einteilungen der Jochbreite oder Jochlänge, eine Art Bezugsraster). Sobald die Rippenzüge im Grundriss festgelegt sind, werden durch Aufschlagen eines Kreissektors über dem Rippenzug die Höhen der einzelnen Kreuzungspunkte bestimmt. Verwendet man nur einen einzigen Krümmungsradius der Rippen, so bestimmt der längste Rippenzug zwischen Widerlager und Schlussstein die Höhen aller Kreuzungspunkte und damit die gesamte Gewölbegeometrie. Bei komplizierten Grundrissen sind in der Regel mehrere Rippenkrümmungsradien anzuwenden, damit auch wirklich alle Rippen am Schlussstein in gleicher Höhenlage ankommen. Bei manchen spätgotischen Gewölben – so zum Beispiel in der [Wasserkirche Zürich am Helmhaus](#) oder im [Chor der Dorfkirche Pfäffikon](#) – gehen jedoch nicht alle Rippen vom Anfänger aus, sondern entspringen etwas weiter oben frei aus der Wand. Die Gewölbekappen werden zum Schluss – sowohl geometrisch als auch tatsächlich ausführungstechnisch – frei über das Rippennetz gelegt. Stichkappen und Gewölbeoberflächen folgen also keinen klar definierten geometrischen Grundformen, sondern ergeben sich «zwangsläufig» aus der Geometrie der die Gewölbeoberflächen begrenzenden Rippen. Mit den figurierten Gewölben und generativ durch die Rippenzüge bestimmten Gewölbegeometrien öffnete sich das Tor zu einer zweiten Blüte der gotischen Konstruktionskunst, der «Spätgotik» (ca. 1400–1550), die als eigenständige Erscheinung zu betrachten ist, die weit über die Errungenschaften der Kathedralgotik 1150–1300 hinausging.

Mit der Verbreitung der feinmaschigen Rippennetze wurde das gotische Prinzip «jeder Rippe ihren Dienst» ad absurdum geführt. Zwar sind bei den ersten figurierten Gewölben – etwa dem Vierungsgewölbe der Kathedrale von Amiens – tatsächlich noch alle Rippen in einem entsprechenden Dienst des zugehörigen Bündelpfeilers weitergeführt. Die Entwicklung ging aber zunächst zum Verzicht auf das zwischen Dienst und Rippe eingeschaltete Kapitell, schliesslich zum «Herauswachsen» der Rippe aus dem Pfeilerkörper ohne individuelle Differenzierung. In der Spätgotik werden komplexe Rippenfigurationen oft sogar von glatten Rundpfeilern ohne Profilierung oder von einfachen Achteckstützen getragen. Das Rippennetz verlor also architektonisch seine den ganzen Bau strukturierende Bedeutung, obwohl es ausführungstechnisch infolge des freihändigen Wölbens immer wichtiger wurde.

Mit den immer dünneren und leichteren Gewölben verlor auch das aufwendige Strebewerk an Bedeutung. Man konnte es wagen, einen Bau auch ohne Strebewerk einzuwölben, solange die Seitenschiffswände noch ausreichend durch Strebepfeiler gesichert waren. Es verbreitete sich auch eine neue Raumform des Sakralbaus, die Hallenkirche, eine charakteristische Architekturform der Spätgotik des deutschen

Sprachraums. Bei ihr sind die Seitenschiffe so hoch, dass sie mit dem Mittelschiff unter ein gemeinsames Dach genommen werden können («Pseudobasilika», «Staffelhalle»). Der Obergaden des Mittelschiffs wird zunächst blind und fällt schliesslich ganz weg, bis die Seitenschiffe und das Mittelschiff gleich hoch sind. Im 13. Jahrhundert hatte man bei der Elisabethenkirche in Marburg zum ersten Mal in der Gotik das Raumsystem der Hallenkirche in monumentalem Massstab angewendet. Wirklich beliebt und häufig wurde es aber im 14. Jahrhundert und kam zum Beispiel bei der Frauenkirche in Nürnberg – einem Vierstützenraum – oder der Domkirche von Eichstätt zur Anwendung.

Im 15. Jahrhundert war die Hallenkirche mit drei völlig gleich hohen Schiffen die typische Wahl beim Bau vollständig eingewölbter Stadtpfarrkirchen höchsten Anspruchs. Zu nennen sind zunächst noch aus dem 14. Jahrhundert die in Backstein errichtete Stadtpfarrkirche St. Martin in Landshut, an deren dreischiffiges Hallenlanghaus noch ein langer einschiffiger Chor in der Art der Bettelordenskirchen anschloss. Bald verschmolzen jedoch Chor und Langhaus, indem die Seitenschiffe der Hallenkirche auch um das innere Chorpolygon herumgeführt wurden. Beispielhaft wurde diese Hallen-Chorlösung schon im 14. Jahrhundert an der Franziskanerkirche Salzburg verwirklicht. Hallenkirchen mit Umgangschor sind die monumentalen Stadtpfarrkirchen von Schwäbisch Gmünd, Amberg, Nördlingen, Dinkelsbühl, Lauingen, die Frauenkirche München und die Liebfrauenkirche Ingolstadt (die beiden letztgenannten allerdings Staffelhallen). Bei der Hallenkirche wird der Gewölbeschub des Mittelschiffs durch die Seitenschiffe aufgenommen, die deswegen nicht wesentlich schmaler sein sollten als das Mittelschiff; der Gewölbeschub der Seitenschiffe wird durch Strebepfeiler an den hohen Umfassungswänden abgeleitet. Zwischen diesen Strebepfeilern konnten riesige Fenster zur Belichtung des Innenraums angeordnet werden. Alternativ konnte man den Zwischenraum zwischen den Strebepfeilern auch dem Innenraum zuschlagen und zwischen den Strebepfeilern sogenannte «Einsatzkapellen» schaffen. Durch die Anordnung von Einsatzkapellen wurden die äusseren Strebepfeiler noch zusätzlich ausgesteift. [Eine bedeutende spätgotische Hallenkirche der Schweiz ist die Leonhardskirche Basel, während man beim ebenfalls spätgotischen Münster von Bern an der basilikalischen Form festhielt.](#)

Die Bauform der Hallenkirche ging einher mit gewaltigen Dachwerken. Aufgrund der steilen Dachneigung und der breiten Basis sind die Dachwerke der spätgotischen Hallenkirchen manchmal fast genauso hoch wie die Kirche selbst, und die riesenhaften Dächer dominierten die Städte. Eines der grössten Hallenkirchendachwerke überhaupt wies der Stephansdom in Wien auf (Kriegsverlust). Noch erhalten ist das nur wenig kleinere Dachwerk der Ingolstädter Liebfrauenkirche. Die Dachwerke wurden durch Aufeinandertürmen einzelner Stockwerke errichtet – ähnlich wie bei der Stockwerksbauweise im Fachwerkhausbau, die gleichzeitig florierte. Bei Dachwerken, die in dieser Stapelbauweise errichtet wurden, spricht man von «stehenden Stühlen». Sorgfältige Aussteifung der riesigen vielstöckigen Dachwerke war essentiell, um die Windlasten auf die grossen Dachflächen sicher abtragen zu können.

In der Steinfertigung und Steinbearbeitung setzten sich in der Spätgotik ebenfalls neue Techniken durch. Die abschliessende Glättung der Steine mit der Glatt- oder Zahnfläche wurde im deutschen Sprachraum durch den Einsatz eines breiten Meissels abgelöst («Scharriereisen»), mit dem man den Steinen eine schraffurartig gleichmässige, meist unter 45° gegen die Steinkanten verlaufende Oberflächenstruktur verlieh («Scharrierung»). Auch plante man nunmehr vorzugsweise mit festen Steinhöhen, so dass

die Wandquader in gewisser Masse austauschbar wurden, was die Vorfertigung «auf Halde» – zum Beispiel während der Wintermonate – erleichterte.

In der Gestaltung der Rippennetze der Gewölbe findet man in der Spätgotik eine breite Vielfalt. Neben dem Sternengewölbe konnte sich – ausgehend vom Prager Dom im 14. Jahrhundert – auch das Parallelrippen- bzw. Netzgewölbe etablieren, bei dem die Rippenzüge ohne Jochteilung durchlaufen und letztlich eine Art flachen Tonnengewölbes mit unterlegten Rippen entsteht. Im 15. Jahrhundert findet man auch Mischformen wie Sternnetzgewölbe, Rautennetzgewölbe usw. Die letzte Entwicklungsstufe waren schliesslich Rippennetze, bei denen die Rippen auch schon in der Grundrissprojektion kreisbogenförmig verliefen, sogenannte «Schlingrippengewölbe». Diese sind räumlich gekrümmte Gebilde, die steinmetzmässig äusserst aufwendig herzustellen waren. Mit den etwa Mitte des 15. Jahrhunderts aufkommenden Schlingrippengewölben – [ein frühes Beispiel ist das Gewölbe der Rotbergkapelle am Münsterkreuzgang in Basel](#) – begann das Rippennetz endgültig seine strukturelle Bedeutung zu verlieren und wurde zu einem überwiegend dekorativen Element. Entwurf und Ausführung immer freier gestalteter Rippennetze wurden zu einem Markenzeichen der Steinmetze. Gegen Ende des 15. Jahrhunderts und in den ersten Jahrzehnten des 16. Jahrhunderts verbreiteten sich allerlei «Kabinettstückchen» des Rippengewölbes: Am Anfänger gingen die Rippen nicht mehr von einem einzigen Punkt aus, sondern überschritten sich gegenseitig; das Rippennetz entwickelte sich unsymmetrisch; die Schlusssteine hingen – jeder anschaulichen Logik der Statik widersprechend und teils nur durch versteckte Eiseneinlagen ermöglicht – als grosse «Zapfen» vom Rippennetz herunter («hängende Schlusssteine»); Bögen wurde ohne darunter gestellte Stütze, scheinbar in der Luft hängend, erstellt; Rippennetze lösten sich als Freirippen völlig von den Gewölbekappen, oder unter dem Rippennetz der Gewölbekappen spannte sich ein zweites, frei im Raum verlaufendes Rippennetz; Rippen trafen an Schlusssteinen nicht mehr in gleicher Höhe zusammen, sondern «verfehlten» sich trickreich; Rippen wurden mit einer kurzen Fortsetzung durch Schlusssteine hindurchgesteckt und brachen dann mitten im Raum einfach ab; Rippen wurden naturalistisch als «Astwerk» gestaltet; Gewölbekappen wurden durch aufgelegtes oder freistehende Masswerk verziert. Schliesslich konnte sich sogar eine Tendenz durchsetzen, die schon um 1400 in England entstanden war: Rippen wurden gar nicht mehr als steinmetzmässige Elemente unter den Kappen versetzt, sondern wie ein Relief aus den aus Werkstein gemauerten Kappen ausgearbeitet. Der Endpunkt dieser Entwicklung bestand darin, Rippen gar nicht mehr zu mauern, sondern als blosse Stuckapplikation auf die Kappen aufzubringen (Kirche von Kötschach in Kärnten). Höhepunkte der spätestgotischen Rippenwölbung findet man u.a. in der Liebfrauenkirche Ingolstadt. Während die aus dem späten 15. Jahrhundert stammenden Wölbungen der drei Schiffe dieser Staffelhalle noch relativ unspektakuläre Sternnetzgewölbe sind (wenn auch mit einigen Schlingrippen im Seitenschiff), konnte sich in den Einsatzkapellen zwischen den Strebepfeilern im frühen 16. Jahrhundert die ganze Vielfalt der spätestgotischen Wölbkunst entfalten.

Zu den Glanzleistungen der spätgotischen dekorativen Rippennetze gehören Bauwerke in Sachsen (Annenkirche in Annaberg) und Böhmen (Wladislawsaal der Prager Burg Hradschin, Kirche von Kuttenberg). [Auch in der Schweiz können typische Beispiele spätgotischer dekorativer Rippennetze bewundert werden, zum Beispiel am Münster in Bern oder auch an der Kathedrale von Freiburg i.Ü., in der Oswaldkirche Zug sowie im ehemaligen Kloster Marienberg in Rorschach. Ein charakteristisches Beispiel für](#)

Schlingrippengewölbe findet man u.a. in den Seitenkapellen der Stadtkirche St. Johann in Schaffhausen.

In ähnlicher Weise wie die Gewölberippen verloren in der Spätgotik auch die Fenstermasswerke ihre strukturelle Bedeutung und nahmen zusehends den Charakter rein dekorativer Steinmetzkunststücke an. Ermöglicht wurde die freie Entfaltung des Masswerks wiederum durch umfangreiche Eiseneinlagen. Das Masswerk eroberte auch Bereiche jenseits des Fensters, zum Beispiel als freistehendes «Blendmasswerk» vor Mauerflächen. Besondere Berühmtheit erlangte in diesem Zusammenhang die schon im 14. Jahrhundert konzipierte Westfassade des Münsters von Strassburg. Der gesamte Baublock wird fast lückenlos durch freistehendes, durch massive Metalleinlagen gesichertes Stabwerk und Masswerk überzogen. Mit dem Verlust der strukturellen Bedeutung des Masswerks ging auch dessen freiere architektonische Durchbildung einher: Die Stäbe des Masswerks verloren ihre mit Kapitell und Basis ausgestatteten Dienste; die Rosetten und Vielpässe des Couronnements lösten sich in freiere Formen auf; Couronnement und Stabwerk gingen fließend ineinander über, ganz ähnlich, wie die Gewölberippen aus Rundpfeilern herauswuchsen. Das charakteristische Element des spätgotischen Masswerks ist die sogenannte «Fischblase» (ähnlich dem chinesischen Yin-Yang-Symbol). Rotierten zunächst mehrere Fischblasen in einer Rosette, so lösten sich diese Rosetten in der späteren Entwicklung auf, und die Fischblasen wurden wie züngelnde Flammen angeordnet, was der Spätgotik in Frankreich die Bezeichnung «Style Flamboyant» eintrug. In Frankreich lebte die Bautätigkeit im 15. Jahrhundert wieder deutlich auf, und viele der im 13. Jahrhundert begonnenen Kathedralen wurden nun bis zur Mitte des 16. Jahrhunderts im Flamboyantstil vollendet. Typische Beispiele sind die Westfassaden der Kathedralen von Rouen und Troyes. Auch die phantasievollen spätgotischen Gewölbeformen verbreiteten sich in ganz Europa, von Portugal (Hieronymitenkloster Belem in Lissabon) bis Schlesien (Breslau), von England bis Sizilien.

Die Spätgotik entfernte sich so stark von konstituierenden Prinzipien der Kathedralgotik des 13. Jahrhunderts, dass man wenigstens rein bautechnisch in ihr eine eigene, neue Epoche sehen kann. Im 15. und frühen 16. Jahrhundert bildete in den Ländern nördlich der Alpen die Gotik die direkte Konkurrenz zur Frührenaissance in Italien. Die beiden Sphären standen aber, wie sich erst in den letzten Jahrzehnten herausgestellt hat, in intensivem Austausch. Beispielsweise reisten die «Büchsenmeister», also die Experten, die sich mit den neu auf der weltgeschichtlichen Bühne aufgetretenen Feuerwaffen, dem Kanonenguss und dem Mischen von Schiesspulver auskannten, von Deutschland nach Italien und lernten dort die Technologie der Frührenaissance kennen, brachten aber ihrerseits auch die neuesten technischen Errungenschaften der Spätgotik mit nach Italien. Die Technologie der Hebe­maschinen und Krane, die in Italien durch Meister wie Brunelleschi, Taccola, Francesco di Giorgio Martini und Leonardo da Vinci entwickelt und in prachtvollen Zeichnungen dargestellt wurde, hatte in den Technik-Traktaten der nördlich der Alpen ansässigen Büchsenmeister ihr Pendant, wo ebenso phantasievolle Mechanismen mit Zahnrädern, Schrauben und Flaschenzügen gezeichnet wurden wie in Italien. In Mailand diskutierten im 15. Jahrhundert Bau-Spezialisten aus Frankreich und Deutschland mit ortsansässigen Baumeistern und Architekten über die Konzepte des Dombaus. In Deutschland und Spanien entstanden Bau-Traktate, verfasst von Steinmetzen und Architekten, die deutliche Bezüge zum aufkommenden Vitruvianismus in Italien erkennen lassen. Künstler wie Albrecht Dürer nahmen die wiederentdeckten Schriften der altgriechischen Mathematik – zum Beispiel die Geometrie des Euklid – zur

Kenntnis und verfassten eigene Theorieschriften, Dürer zum Beispiel zu Geometrie, Perspektive und Festungsbau. Auch das etablierte Wissen über den Entwurf gotischer Bauwerke und Bauteile wurde in Schriften festgehalten, zum Beispiel von dem am Regensburger Dom tätigen Matthäus Roriczer, von Lorenz Lechler und Hans Schmuttermayer. Die Spätgotik steht somit an der Schwelle von Mittelalter und Neuzeit.

Zusammenfassung:

Die Spätgotik deutete das Repertoire der gotischen Konstruktion und Architektur ganz neu. Die Rippen und Masswerke wandelten sich von strukturellen Gliedern zu dekorativen Elementen. Der Formenapparat der gotischen Gliederungen wurde drastisch reduziert. Neue Raumformen – allen voraus die Hallenkirche – etablierten sich. Die Wölbkunst erreichte neue Höhepunkte, vor allem durch die Ausbreitung der Verwendung von Backstein als Wölbmaterial und das freihändige Wölben. Die Spätgotik war auch einer der letzten Höhepunkte der von den Steinmetzen vorangetriebenen Architektur. Um die Wende vom 15. zum 16. Jahrhundert wurden die gotischen Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien erstmals in Lehrschriften fixiert, die Einflüsse aus der italienischen Renaissance erkennen lassen.

14. Beginn der Neuzeit: Das 15. Jahrhundert und die Renaissance in Italien

In der politischen Geschichte wird der Wendepunkt vom Mittelalter zur Neuzeit mit epochalen Ereignissen wie der Reconquista in Spanien (Eroberung von Granada 1492) oder der Reformation (Luther 1517) assoziiert. Solche punktuellen Ereignisse sind aber nur Orientierungspunkte für die rückblickende Betrachtungsweise. Die Zeitgenossen erlebten das ganze 15. Jahrhundert als ein Jahrhundert tiefgreifender Umbrüche und kontinuierlich wirkender Kräfte. Die schwere Depression des 14. Jahrhunderts, des Jahrhunderts des «Schwarzen Todes» (Pestepidemie 1347) und des «Hundertjährigen Krieges» zwischen England und Frankreich (ab 1337), war nun weitgehend überwunden. Die «babylonische Gefangenschaft der Päpste», das durch ein Schisma zwischen Päpsten und Gegenpäpsten gekennzeichnete Exil in Avignon, ging zu Ende, der Papst nahm seinen Wohnsitz wieder in Rom, im Vatikan. Man begann mit neuem Optimismus in die Zukunft zu sehen. Es setzte eine Zeit vielfacher Innovationen ein. Die im frühen 15. Jahrhundert erfundenen Drucktechniken des detailgenauen Kupferstichs und des weniger differenzierten Holzschnitts erlaubten erstmals die Vervielfältigung von Bildern in grossem Umfang. Eine ungekannte Bilderflut ergoss sich über Europa, die zu moderaten Preisen jedermann die Partizipation erlaubte. Der Holzschnitt ermöglichte zusammen mit dem Buchdruck mit Bleilettern (Gutenberg-Bibel, Mainz, um 1452) sogar den Druck illustrierte Bücher mit direkt in den Text eingebundenen Illustrationen. Die zweite Hälfte des 15. Jahrhunderts sah nördlich wie südlich der Alpen eine wirtschaftliche Blüte und auch politische Neuordnungen. Spanische und portugiesische Seefahrer «entdeckten» die Neue Welt (Amerika, Columbus 1492) und eröffneten damit unerwartete neue Horizonte. Diese Ereignisse gingen einher mit einer veränderten Wahrnehmung der Welt. Die Grundlage dafür war schon im 14. Jahrhundert mit dem Aufschwung des Bürgertums gelegt worden, das sich von der ländlichen Subsistenzwirtschaft emanzipiert hatte und eine bis ins kleinste arbeitsteilig ausdifferenzierte städtische Gesellschaft zu bilden begann. Die bildende Kunst wandte sich zunehmend dem Alltagsleben und der Naturbeobachtung zu. Zusammen mit dem Aufstieg der städtischen Kultur mehrten sich allerdings auch die Vorboten der Reformationszeit und der heraufziehenden Glaubenskonflikte.

Im östlichen Mittelmeerraum verschoben sich die politisch-militärischen Kräfte zugunsten des Osmanischen Reichs, das sich als gewichtige islamische Grossmacht etablierte. Die heiligen Stätten in Jerusalem waren für christliche Pilger schwer zugänglich geworden. Die ehemalige Osthälfte des altrömischen Kaiserreichs, das byzantinische Reich, war immer mehr in die Defensive geraten. Die Geschehnisse an der östlichen Front des christlichen Europas kulminierten schliesslich 1453 in der Eroberung der byzantinischen Hauptstadt Konstantinopel durch das türkische Heer. Im Westen hingegen wurde mit der schrittweisen Zurückeroberung der spanischen Halbinsel durch die katholischen Könige der islamische Einfluss zurückgedrängt. Die geopolitischen Schwerpunkte verschoben sich also deutlich.

Bis ins 15. Jahrhundert hatte im östlichen Mittelmeerraum die vergleichsweise stabile Ordnung des byzantinischen Reichs die Überlieferung wesentlicher Kernbestände der antiken Naturwissenschaft, Philosophie und Literatur gesichert, die im Westen vielfach in Vergessenheit geraten waren. Die Träger dieses Wissens, die zur Oberschicht des byzantinischen Reiches gehörten, verliessen in den krisengeschüttelten Jahrzehnten vor dem endgültigen Fall die Stadt Konstantinopel und machten sich Richtung Westen auf, vor allem in den Adriaum. Der unverhoffte Wissensimport durch diese griechischen «Flüchtlinge» fiel in Italien auf fruchtbaren Boden und trug zu einer merklichen Belebung der Wissenschaft und zur Entstehung des Frühhumanismus bei. Die neue Wissenschaftskultur profitierte überdies ab dem ausgehenden 15. Jahrhundert nachdrücklich von den Möglichkeiten, die sich aus der rasanten Entwicklung des Buchdrucks ergaben, der insbesondere die Rezeption antiker Wissenschaftstexte erleichterte. Beispielhaft steht dafür in der Architektur die «Wiederentdeckung» des einzigen aus der Antike überlieferten Architekturtraktates, der *De Architectura* Vitruvs. Vitruvs Werk wurde schon in den 1480er Jahren mehrfach im Druck publiziert. Auch das schon in den 1450er Jahren von Leon Battista Alberti verfasste Architekturtraktat *De re aedificatoria*, eine am vitruvianischen Vorbild und Gegenpol inspirierte neuzeitliche Architekturlehre, gelangte um dieselbe Zeit in den Druck.

Die Einführung der Feuerwaffen hatte schon im ausgehenden 14. Jahrhundert die Kriegsführung und Verteidigung revolutioniert. Neue Berufsbilder wie jenes des «Büchsenmeisters» waren entstanden. Da kriegerische Auseinandersetzungen im ganzen 15. Jahrhundert anhielten, kann der damit direkt verbundene «Aufstieg» technischen Wissens kaum überschätzt werden. Verteidigung und Bauwesen waren eng verknüpft, und die Entwicklung der Feuerwaffen und der Festungsarchitektur reagierten seismographisch aufeinander. Auch rein zivile Aufgaben konnten mit der innovativen Technologie der Büchsenmeister besser gelöst werden, so Aufgaben aus dem Wasserbau oder die Konstruktion von Kranen für das Bauwesen.

Die Entstehung der sogenannten «Renaissance»-Architektur ist eng verbunden mit dem Wandel der Selbstwahrnehmung des Individuums und dem wachsenden Selbstbewusstsein neuer Eliten im 15. Jahrhundert. In Italien spielte die Selbstvergewisserung durch das bewusste und direkte Anknüpfen an das grossartige Römische Reich im 15. Jahrhundert eine bedeutende Rolle und führte so zur eigentlichen «Renaissance» (Wiedergeburt der antiken Kultur), die auch zur antiquarisch-archäologischen Erforschung der antiken Ruinen und zu deren Nachahmung Anlass gab. Sie traf auf eine allgemeine Experimentierfreude und ein beiderseits der Alpen innovatives, zunehmend an Technik interessiertes Umfeld. Man zeigte sich offen für neue Formen, aber auch für neue Technologie, wobei deren Errungenschaften bruchlos aus

dem Spätmittelalter hervorgingen. Die Errungenschaften der Technik in der Spätgotik des deutschen und französischen Sprachraumes und der Frührenaissance in Florenz, in der Lombardei und in Venetien auf der anderen Seite der Alpen sind eng miteinander verwandt. Im Folgenden wird verschiedenen «Leitmotiven» nachgespürt, die die Architektur herausragender Exponenten der italienischen Frührenaissance geprägt haben und zu unverwechselbaren Merkmalen ihres Schaffens geworden sind. Wir konzentrieren uns zunächst auf Filippo Brunelleschi (1377–1446) und Leon Battista Alberti (1404–1472).

Zusammenfassung

Das 15. Jahrhundert stellt in Europa eine Zeitenwende dar. Eine Vielzahl von Erfindungen und Entdeckungen hatten direkte Auswirkungen auf das Alltagsleben und gingen auch an der Architektur nicht spurlos vorbei. Parallel zueinander entwickelten sich nördlich der Alpen die spätgotische Baukunst, südlich der Alpen die Frührenaissance.

15. Filippo Brunelleschi: die Loggia und die Schirmkuppel

Filippo Brunelleschi (1377–1446) war von der Ausbildung her eigentlich Goldschmied. Beim Wettbewerb um die Bronzetüren des Florentiner Baptisteriums im frühen 15. Jahrhundert war er allerdings trotz eines sehr guten Probestücks leer ausgegangen, der Auftrag ging an Lorenzo Ghiberti. Brunelleschi wandte sich nach dieser Niederlage in den Folgejahren vorwiegend der Architektur zu und reüssierte dort. 1419 erhielt er den ersten grossen Auftrag in seiner Heimatstadt Florenz, die Errichtung eines Findelhauses. Dieses Haus, genannt *Ospedale degli Innocenti*, war ein Heim für Waisen und ausgesetzte, ohne Eltern aufwachsende Kinder. In seiner Gesamtdisposition lehnt sich das Findelhaus an die Anlage eines Klosters an, mit zentralem Kreuzgang, Kirche, Dormitorium und Arbeits- und Speisesälen rings darum herum.

Neu war, dass sich der Komplex in ganzer Breite zu dem vorgelagerten Platz hin im Erdgeschoss in einer öffentlich zugänglichen Wandelhalle präsentierte, die sich mit weitgespannten Arkaden zum Platz öffnet. Diese Arkaden werden von schlanken, freistehenden Säulen getragen. Der Innenraum der Halle ist aber nicht flach gedeckt, wie man das bei derart schlanken Stützen eigentlich erwarten würde, sondern vollständig eingewölbt. Mit dieser Vorhalle des Findelhauses in Florenz tritt zum ersten Mal die «Loggia» in vollendeter Form auf, ein Architekturelement, das vielfach nachgeahmt wurde und die gesamte Architektur des 15. und 16. Jahrhunderts prägen sollte. Die Loggia ist eines der wichtigsten «Leitmotive» der Renaissance überhaupt.

Zur technischen Bewältigung der neuen Architekturidee konnte Brunelleschi insbesondere in Italien auf eine reiche mittelalterliche Tradition zurückgreifen: In Oberitalien hatte man schon in romanischer Zeit gerne freistehende gewölbte Portalvorhallen gebaut, und auch manche Kreuzgänge zeichneten sich durch die Kombination schlanker Stützen mit Wölbung aus. Offene Hallen mit flacher Decke waren ebenfalls bereits weit verbreitet. Die *Loggia degli Innocenti* geht über diese Vorbilder aber sowohl in der architektonischen Gestaltung als auch in der Bautechnik weit hinaus. Sie ist nicht nur kunsthistorisch, sondern auch bautechnikgeschichtlich ein Meilenstein der Entwicklung.

Klar ablesbar ist zunächst das Bemühen um eine Ausrichtung an klassischen Formen anstelle der zu Brunelleschis Zeit auch in Italien verbreiteten gotischen: Die Säulen orientieren sich an der korinthischen Ordnung, und die Arkaden sind halbkreisförmig, nicht spitzbogig. Der Rückgriff auf «antikisierende» Details lag in Florenz besonders nahe, hatte man hier doch auch noch während der Romanik ähnliche Architekturformen verwendet (Baptisterium, zu Brunelleschis Zeit als römisch geltend; San Miniato al Monte, 12. Jh.; Santi Apostoli). Die Verwendung antikisierender Details stellte somit sowohl einen patriotischen Rückgriff auf spezifisch florentinische Architekturtraditionen dar, als auch eine «Modernisierung» gegenüber der zunehmend als altmodisch empfundenen gotischen Architektur. Archivolten und Säulen der Findelhaus-Loggia sind aus dem in Florenz verbreiteten bläulich-grauen Sandstein «pietra serena» gefertigt. Die Säulen sind monolithisch, ihr Schaft besteht also aus jeweils nur einem einzigen Stein. Die demonstrative Verwendung monolithischer Bauteile hat, wie wir gesehen haben, zu allen Zeiten zu den wesentlichen Elementen der Evokation einer «klassischen» Baukunst gehört – von Karl dem Grossen bis ins 11. Jahrhundert und zu Saint-Denis. Dass hier an der Loggia in vergleichsweise kleinem Massstab wieder monolithische Säulenschäfte

vorkommen, ist also ein Signal, wenngleich die damit verbundenen technischen Schwierigkeiten noch begrenzt waren.

Tritt man jedoch in die Halle ein, wird sofort klar, dass Brunelleschi auch in der technischen Realisierung völlig neue Wege gegangen ist. Die Wölbung der Loggia besteht nämlich nicht aus Kreuzrippengewölben oder einem Tonnengewölbe mit Stichkappen, sondern aus einer Abfolge quadratischer, durch Gurtbögen getrennter Felder, die jeweils durch eine sphärische Kuppel (Hänge- oder Stutzkuppel, Flachkuppel) überdeckt werden. Bei diesen Gewölben (ausgeführt um 1424) setzt sich die Übergangszone zwischen dem Grundrissquadrat und dem einbeschriebenen Kreis (Pendentifs) bruchlos in der flachen sphärischen Kappe über diesem Kreis fort. Das somit insgesamt auf einer Kugelfläche liegende Gewölbe kann durch Aufmauern einer Serie geschlossener Ringschichten hergestellt werden. Bei dünnschaliger Ausführung (typischerweise in Backstein) können solche Ringschichten ohne jede Schalung ausgeführt werden. Man benötigt nur ein Mittel zur Formkontrolle, etwa eine gelenkig im Zentrum der Kugelfläche fixierte Latte. Die unteren Ringschichten sind leicht zu mauern, da die Neigung der Lagerflächen nach innen sehr gering ist. Sobald eine Ringschicht geschlossen ist, trägt sie sich selbst und kann als Unterlage der nächstfolgenden Ringschicht herangezogen werden. Nach oben hin wird die Lagerfugenneigung immer steiler, und die Steine drohen nach innen zu fallen. Allerdings reicht bei der Verwendung poröser, saugfähiger Backsteine und steifen Kalkmörtels die Adhäsion zwischen Mörtel und Stein noch lange aus, um die verlegten Steine kurzfristig in Position zu halten. Da die Ringe nach oben hin immer kleiner werden, können sie schnell geschlossen werden, bevor die Steine nach innen rutschen. Allenfalls sind die Steine durch eine auf der Kuppelrückseite befestigte Schnur, an der ein Gewicht im Kuppelinneren befestigt ist, zu fixieren.

Die italienische Frührenaissance gewinnt mit Brunelleschis Gewölben ohne Übernahme des gotischen Formenschatzes den Anschluss an die jenseits der Alpen um dieselbe Zeit verbreiteten freihändigen dünnschaligen Gewölbe der Spätgotik mit ihren stark gebusten Gewölbefeldern und engmaschigen Rippennetzen. In noch höherem Masse als ein Kreuzrippengewölbe reagiert eine Flachkuppelwölbung allerdings auf Verformungen des Unterbaus, sie bekommt Risse oder wird gar partiell instabil. Der «Unterbau» ist aber gerade bei der Findelhaus-Loggia mit ihren monolithischen Säulen besonders schlank und fragil. Wie funktioniert die Findelhaus-Loggia nun statisch? Einerseits ermöglicht die von Brunelleschi gewählte dünnschalige Gewölbekonstruktion eine leichte Bauweise. Zweitens unterstützt andererseits die relativ schwere, geschlossene Wand des Obergeschosses den einigermaßen vertikalen Lasteintrag in die Säulen der Arkade. Trotzdem ist eine solche Architektur nahezu unmöglich ohne eiserne Anker, die den zur Platzfront hin gerichteten Schub der Gewölbe aufnehmen und unschädlich machen. Andernfalls würde die gesamte Fassade auf den Platz kippen, oder wenigstens würden Risse in den Kuppelschalen entstehen. Entsprechend ist jede einzelne Säulenarkade des Findelhauses im unteren Drittelpunkt des Gurtbogens durch eine eiserne Zugstange an die Rückwand der Halle zurückgehängt.

Andere Architekten der unmittelbaren Folgezeit eiferten Brunelleschi in der Idee der auf schlanke Säulen gestützten, komplett gewölbten Loggia nach, griffen jedoch meist wieder auf die herkömmliche Tonnengewölbung mit Stichkappen oder Kreuzgratgewölbe zurück. Mit ausreichender Ankerung lassen sich auch diese Gewölbe auf schlanken Stützen realisieren, und die weiträumige, manchmal auch in mehreren Stockwerken übereinander in Arkaden geöffnete Loggia verbreitete sich in ganz Europa.

Die mit Eisenankern gesicherte gewölbte Bogenhalle war so allgemein verbreitet, dass die Eisen sogar sehr oft auf Gemälden des 15. Jahrhunderts wie der «Verkündigung an Maria» von Fra Angelico im Kloster San Marco in Florenz abgebildet sind. Kaum jemand störte sich daran. Brunelleschis Bestreben hingegen ging sehr bald darauf hinaus, gerade diese sichtbare eiserne Ankerung künftig zu vermeiden. Die Loggia-Fassade des Findelhauses kehrt fast unverändert als Mittelschiffswand in den zwei grossen Kirchenbauten Brunelleschis in Florenz wieder, in der Medici-Kirche San Lorenzo und in der Kirche Santo Spirito auf dem anderen Arno-Ufer. Diese Kirchen – beide erst lange nach Brunelleschis Tod vollendet – orientieren sich in der Grossform unverkennbar am anspruchsvollsten Modell des Kirchenbaus überhaupt – den spätantiken kaiserlichen Basiliken (Alte Peterskirche, Sankt Paul vor den Mauern in Rom). Die architektonische Gestaltung geht aber deutlich über die antiken und mittelalterlichen Vorbilder hinaus: Die auf schlanken, wiederum monolithischen Säulen ruhenden Seitenschiffe wenden sich wie die Findelhaus-Loggia mit Arkaden dem breiten, flachgedeckten Mittelschiff zu. Zwischen Säule und Archivolte ist nun – der zwingenden Logik der «Säulenordnung» folgend – ein kurzes, jedoch regelgerechtes Gebälkstück eingeschaltet. Dieses macht die Architektur noch leichter, schlanker, durchsichtiger und fragiler. Nunmehr sind die Seitenschiffe mit Hängekuppeln gewölbt – im Unterschied zu den spätantiken Vorbildern. Eisenanker sind hingegen in den beiden Kirchen nirgends zu sehen. Sie existieren aber auch hier. Allerdings sind die Anker nunmehr etwas weiter oben geführt, knapp über den Scheiteln der Gurtbögen, die die flachkuppelgewölbten Joche der Seitenschiffe voneinander trennen.

Wieder verbaute man monolithische Säulen, diesmal allerdings in deutlich grösserer Dimension. Im Gegensatz zur altrömischen Baukunst bestehen die Säulen allerdings nicht aus Buntmarmor oder Granit, sondern aus derselben *pietra serena* wie am Findelhaus. Auch die anderen gliedernden Architekturelemente sind aus diesem Gestein und setzen sich von den weiss verputzten Wandflächen ab. Man war aber bemüht, trotz des weniger edlen Materials dem Erscheinungsbild antiker polierter Säulen aus Hartgestein möglichst nahe zu kommen. Entsprechend kann man an den Werksteinbauteilen der Kirche fast keine Spuren der steinmetzmässigen Bearbeitung sehen, ausser in extremem Streiflicht und an Kanten und Profilen. Alle grösseren Flächen und ganz besonders die Säulenschäfte wurden hingegen im Nachgang sorgfältig geglättet und abgerieben. An den Kapitellen und anderen dekorativen Elementen lässt sich ein grosser Fortschritt in der steinmetzmässigen Qualität gegenüber dem Findelhaus beobachten.

Brunelleschis bautechnisch innovativen architektonischen Erfindungen beschränken sich nicht auf die gewölbte Loggia. Vielmehr tritt in einigen seiner Hauptwerke – der Alten Sakristei an San Lorenzo in Florenz und der Pazzi-Kapelle an Santa Croce – ein weiteres neues Element hinzu, die direkt durch einen «Obergaden» belichtete Kuppel. Die Kuppel als Würdemotiv ist eines der zentralen Elemente der antiken Architektur, aber auch des Mittelalters. Kuppelüberwölbte Räume sind aber schwer zu belichten, so dass die Kuppelschale oft eine Dunkelzone bleibt. Auch ein Opaion ermöglicht nur eine begrenzte Beleuchtung der Kuppelschale. In den ersten Jahrzehnten des 15. Jahrhunderts bildete sich eine «Kuppel» heraus, die diese Nachteile vermied: Es handelt sich um Kuppeln über polygonalem Grundriss mit sternartig verlaufenden «Rippen», zwischen denen sich Gewölbekappen spannen, die jeweils von einer «Lünette» mit einem Fenster ausgehen. Solche Kuppeln werden als «Schirmkuppeln» oder *cupola a creste e vele* bezeichnet. Die ganze Kuppel ist äusserlich nicht sichtbar, sondern in eine Art «Trommel» oder «Mantel»

(in Italien *tiburio* genannt) eingebettet und wird von einem Zeltdach überdeckt. Die Idee eines solchen Gewölbes ist natürlich viel älter. Kuppeln mit sternförmigen «Rippen» kannte schon die römisch-antike Architektur, und auch in der Gotik kommen bei polygonalen, zentral ausgerichteten Räumen solche Kuppeln immer wieder vor (z.B. am frühgotischen Gewölbe von St. Gereon in Köln, 13. Jh.). In Oberitalien finden sich kurz nach 1400 mehrere Beispiele auf diese Weise konzipierter spätgotischer Rippen-Schirmkuppeln, namentlich das sehr grosse, kuppelartige Chorgewölbe der Basilika Sant'Antonio in Padua (um 1310 errichtet).

Brunelleschi konnte somit auf eine technisch bereits hoch entwickelte Lösung zurückgreifen, als er – allerdings unter Weglassung des gotischen Formenapparates, d.h. ohne die gotischen Werksteinrippen – die Schirmkuppel in seine eigene Architektur einführte. Dies geschah zunächst an der Alten Sakristei bei San Lorenzo (ab 1421, vollendet 1428), später an der Kapelle der Familie Pazzi bei der Bettelordenskirche Santa Croce (ab 1429). Beide Kapellen weisen ein ungefähr quadratisches zentrales Raumkompartiment auf, an das Nebenräume über Tonnengewölbe bzw. weitgespannte Arkaden angeschlossen sind. Der quadratische Mittelraum überragt die Anräume und ist über Pendentifs (=sphärische Zwickel) in eine Kreisform überführt. Diese ist durch ein Gesims betont, über dem sich die Schirmkuppel erhebt, die von aussen nur als zylindrisches, durchfenstertes *tiburio* mit Kegeldach in Erscheinung tritt.

Auch die Schirmkuppel ist mit relativ geringem Schalungsaufwand herstellbar: Man benötigt vor allem Lehrbögen für die radialen Rippen, die bei den Brunelleschi-Bauten als radiale Wandscheiben bis unter das Dach geführt sind; die Kappen zwischen den Rippen haben dann so geringe Spannweite und so starke Krümmung, dass sie fast ohne Schalung gemauert werden können, vor allem bei Bauwerken der Grössenordnung der beiden Kapellen. Der Zwischenraum zwischen der kuppeligen Innenschale und der kegelförmigen Dachdeckung ist bei der Alten Sakristei an San Lorenzo durch Mauerwerk ausgefüllt, das allerdings nicht aus gewöhnlichem Steinmaterial, sondern aus hohlen Tongefässen besteht. Vorbilder für diese Konstruktionsart finden sich auch an spätantiken und frühmittelalterlichen Baptisterien in Oberitalien, zum Beispiel in Ravenna, Mailand und Novara. Bei der Pazzi-Kapelle an Santa Croce besteht hingegen ein Luftraum zwischen der Innenschale der Kuppel und den ebenfalls massiv gemauerten radialen Tonnengewölben, die die Dachdeckung tragen. Es handelt sich also, wenn man so will, um ein «doppeltes» Gewölbe. Die Idee, die Dachdeckung auf radiale Tonnengewölbe aufzusetzen, wurde schon in der Romanik am Baptisterium von Florenz verwirklicht, lag also im direkten Wortsinn «nahe». Echt doppelschalig sind die erst nach Brunelleschis Tod errichteten Kuppeln der Kirche und Sakristei von Santo Spirito in Florenz: In beiden Fällen ist die innere Kuppel eine Schirmkuppel, die äussere hingegen ein Klostergewölbe (polygonale «Kuppel»). *Auch ausserhalb von Florenz wurde die «cupola a creste e vele» gelegentlich gebaut, so zum Beispiel in der in den 1460er Jahren entstehenden Portinari-Kapelle an Sant'Eustorgio in Mailand, bei der die Kuppelzone reich dekoriert ist.*

Zusammenfassung

Einer der ersten wichtigsten Protagonisten der italienischen Frührenaissance im 15. Jahrhundert war Filippo Brunelleschi. Er «erfand» die von Säulen getragene, gewölbte Loggia, die bald zu einem durchgängigen Leitmotiv der Renaissancearchitektur avancieren sollte. In der konstruktiven Realisierung verband die Loggia spätgotische Konstruktionsideen mit einer frei an klassische Motive angelehnten architektonischen

Gestaltung. In der reichlichen Verwendung von Eisen und in dem Bestreben nach schalungsfreier Wölbung berührt sich Brunelleschis Konstruktionskunst mit zeitgleichen Errungenschaften der Spätgotik. Ein weiteres Merkmal des «Personalstils» Brunelleschis ist die Schirmkuppel, die sich ebenfalls direkt aus der gotischen Architektur ableiten lässt.

16. Leon Battista Alberti und das Tonnengewölbe

Der in Genua geborene, doch aus alter florentinischer Familie stammende Humanist Leon Battista Alberti (1404–1472) kam auf einem ganz anderen Weg zur Architektur als Filippo Brunelleschi. Er setzte sich in verschiedenen Traktaten mit der Kunsttheorie auseinander, zunächst mit der Malerei, dann mit der Bildhauerkunst und schliesslich (in den 1450er Jahren) mit der Architektur. Seine De re aedificatoria stellt eine frühneuzeitliche Antwort auf Vitruv dar. Das Buch ist spürbar am Modell Vitruvs ausgerichtet, doch geht Alberti spezifisch auf die architektonischen Erfordernisse seiner eigenen Zeit ein, für die Vitruvs antiker Text naturgemäss keine wirklich passenden Antworten mehr geben konnte. Aus der Vielzahl miteinander konkurrierender Konzepte und Prinzipien, die in Vitruvs Text angeführt werden, griff Alberti namentlich die bei Vitruv nur *en passant* erwähnte sogenannte «Vitruvianische Trias» von *utilitas* (Zweckmässigkeit), *firmitas* (Standicherheit und Dauerhaftigkeit) und *venustas* (Schönheit) heraus und stellte sie in den Mittelpunkt seiner eigenen Architekturtheorie. Wie die gleichzeitigen Schriften spätgotischer Steinmetzmeister nördlich der Alpen versuchte Alberti die Fragen der *firmitas* durch Angabe korrekter Proportionen für die einzelnen Glieder eines Baus zu lösen.

Zum Bauen bzw. zum eigenständigen Entwurf als Architekt kam Alberti erst nach Vollendung seines Traktates. Von Sigismondo Malatesta, einem Condottiere, der in Rimini in den Marken die Macht an sich gerissen hatte, erhielt er den Auftrag, die dortige Franziskanerkirche in eine Art Pantheon der Malatesta-Familie umzubauen, in den sogenannten «Tempio Malatestiano». Alberti ummantelte den spätgotischen Bau dabei mit einer modernen Aussenhaut, während geplante Eingriffe im Inneren unterblieben. In den letzten zehn Jahren seines Lebens entwarf Alberti dann die erst lange nach seinem Tod fertiggestellten Kirchen San Sebastiano und Sant'Andrea in Mantua. Ausserdem war er in Florenz (Palazzo Rucellai und Fassade der spätgotischen Bettelordenskirche Santa Maria Novella) tätig.

Zu den charakteristischsten Elementen der wichtigsten Bauten Albertis gehört die Wiederbelebung der altrömischen Tonnengewölbe. Die eindrucksvollsten und monumentalsten Tonnengewölbe, die zu Albertis Zeit (und auch heute noch) erhalten waren, hatte zweifellos die Ruine der Maxentiusbasilika aufzuweisen. Die Maxentiusbasilika blieb durch die ganze Renaissancezeit neben dem Pantheon in Rom die römische Ruine *par excellence*. Ihre zunächst grob in *opus caementicium* ausgeführten, danach mit Stuck verzierten Kassetten beeinflussten zahlreiche Architekten der Frühen Neuzeit. Neben diesen grossmassstäblichen Tonnengewölben konnte man überdies an den gut erhaltenen, in Werkstein ausgeführten, tonnengewölbeartigen Durchgängen der römischen Triumphbögen die Architektur und Details der altrömischen Dekoration von Tonnengewölben studieren.

Beim Malatesta-Tempel in Rimini ist der Rundbogen bzw. das Tonnengewölbe in Werkstein das prägende Motiv schlechthin. An der Fassade des Baus tritt es in triumphbogenartiger Form auf, an den Längsseiten in Reihung. Die tonnengewölbten, nach aussen gewendeten Nischen der Längsseiten des Malatesta-Tempels waren zur Aufnahme der Kenotaphe (Scheinsarkophage) der Malatestafamilie bestimmt. Der Anblick der Längsseiten erinnert an die Maxentius-Basilika in Rom, aber auch an die funktionalen, architektonisch nicht weiter gestalteten endlosen Bogenreihen der altrömischen Aquädukte. Wie am römischen Triumphbogen *Arco di Augusto* in Rimini

blieben bei diesem Erstlingswerk Albertis die Bogeninnenflächen ohne Kassetten. Das Tonnengewölbe wurde von da an zum festen Bestandteil im architektonischen Repertoire Albertis. Es prägte zum Beispiel auch die Innenarchitektur seiner kreuzförmigen Kirche San Sebastiano in Mantua (1460er Jahre) – ebenfalls in glatter Ausführung, ohne Kassetten.

In monumentalem Massstab setzte Alberti Tonnengewölbe sodann in der nach seinem Entwurf und unter der Bauleitung von Luca Fancelli ab 1472 errichteten Kirche Sant'Andrea in Mantua ein. Der Bau ist eine einzige Präsentation von Tonnengewölben. Das Tonnengewölbe wird zum beherrschenden Motiv schlechthin. Schon an der triumphbogenartigen, flach übergiebelten Fassade wird die Mitte durch ein mächtiges Tonnengewölbe eingenommen. Tonnengewölbe dominieren auch im Inneren: Das 18.60 m breite Mittelschiff, das nur durch Fenster in der Westfassade direktes Licht erhält, wird von einem Tonnengewölbe in Längsrichtung überdeckt. Beidseitig schliessen sich Seitenkapellen an, die durch breite «Pfeilermassive» voneinander getrennt sind und durch quer zur Kirchenachse ausgerichtete Tonnengewölbe überdeckt sind. Die Gesamtanlage ähnelt somit der Maxentiusbasilika, auch wenn diese im Mittelschiff Kreuzgewölbe aufgewiesen hatte, die allerdings zu Albertis Zeit bereits eingestürzt waren. Die direkte Assoziation zur Maxentiusbasilika war zweifellos genau so intendiert. Durch die Fenster der quertonngewölbten Seitenkapellen fällt einiges Licht ins Innere, doch trotzdem bestimmt die relativ dunkle Haupttonne den Raumeindruck. Man muss sich in die Lage der Zeitgenossen Albertis versetzen: Eine solche Architektur war sensationell neu, ohne zeitnahes Vorbild und musste als eindrucksvolles Wiederaufleben der antiken Architektur wahrgenommen werden. Tatsächlich hatte man seit der Antike keine Gewölbe vergleichbarer Spannweite mehr errichtet, schon gar nicht in der Form halbkreisförmiger Tonnen.

Herstellungstechnisch unterscheiden sich die weitgespannten Tonnengewölbe in Albertis Mantuaner Kirchenbauten gravierend vom römischen Vorbild – sie bestehen nämlich aus Backstein und sind nicht in der damals in Oberitalien nicht mehr gebräuchlichen römischen Technik des *opus caementicium* ausgeführt. Alberti schilderte in seinem Architekturtraktat detailliert, wie kassettierte Tonnen in Backstein im Verband gemauert werden könnten: Er schlug vor, beim Mauern der Gewölbe die künftigen Aussparungen für die Kassetten mit ungebrannten Ziegeln zu füllen, die nur mit Lehmörtel (anstatt Kalkmörtel) zu vermauern seien. Beim Ausschalen sei es dann einfach, diese Platzhalter aus den Kassetten wieder zu entfernen. Die Gewölbe der Vorhalle und der Seitenkapellen der Kirche Sant'Andrea in Mantua sind kassettiert, während die Haupttonne nur aufgemalte Kassetten aufweist.

Die Gewölbestärke bei Backsteingewölben ist typischerweise viel geringer als bei den ganz auf Masse setzenden altrömischen Gewölben aus *opus caementicium*. Trotzdem stelle ein weitgespanntes Tonnengewölbe wie im Mittelschiff von Sant'Andrea eine besondere konstruktive Herausforderung dar. Statisch ergab sich ein sehr solides System, bei dem die Quertonnen und Pfeilermassive der Abseiten den nach aussen wirkenden Schub der Mittelschiffstonne wirkungsvoll aufnehmen. Die «Pfeilermassive» sind allerdings keineswegs wirklich massiv, sondern enthalten kleine, mit Flachkuppeln überwölbte Kapellen. Jeder dieser Pfeiler mit der eingeschlossenen Kapelle liefert somit zwei Strebemauern für das Tonnengewölbe des Mittelschiffs. Diese Strebemauern sind auf der Aussenseite der Kirche bis etwa zur halben Höhe der Haupttonne hinaufgezogen. Dazwischen sind strebebogenartige Gewölbe gespannt, die weiter zur Ableitung der

Widerlagerkräfte der grossen Tonne dienen und ausserdem Pultdächer über den Abseiten tragen. Alle Gewölbe der Mantuaner Kirche sind auf Lehrgerüsten und aus grossformatigen Backsteinplatten (16 x 43 cm) gemauert. Das Gewölbe des Mittelschiffs wurde vielleicht schon in den 1480er Jahren begonnen und noch vor 1500 vollendet. Das Lehrgerüst war sicher vom Boden her gestützt und benötigte somit eine grosse Menge an Bauholz. Die Arbeit wurde daher in drei gleich langen Abschnitten durchgeführt, so dass das Material des Lehrgerüstes mehrfach zum Einsatz kommen konnte.

Sant'Andrea in Mantua stellte für die Architektur der Frühen Neuzeit ein wichtiges Leitbauwerk dar, ganz wie Brunelleschis Loggia. Direkte Nachfolge fand das schwach belichtete, tonnengewölbe Mittelschiff wenig später bei verschiedenen Kirchen in Mailand. So wählte Donato Bramante für seine Kirche Santa Maria presso San Satiro in Mailand (1480er Jahre) eine gleichartige Lösung im Mittelschiff. Diese durch Erweiterung eines älteren Baus entstandene Kirche hat die Form eines «T». Sowohl das Langhaus (mit kreuzgewölbten Seitenschiffen) als auch das Querhaus weisen glatte Tonnengewölbe auf, die direkt über dem Hauptgesims ansetzen, so dass nur durch die Stirnseiten der Schiffe Licht einfällt. Der für eine Kreuzform fehlende vierte Kreuzarm wurde durch eine perspektivische Illusion eines mit einer kassettierten Tonne gedeckten Raumes an der Stirnwand des Querschiffes visuell ergänzt. Auch die Kirchen San Vittore al Corpo und Santa Maria presso San Celso in Mailand haben tonnengewölbte Mittelschiffe, hier sogar mit kassettierten Backsteingewölben. Alle drei Kirchen weisen allerdings anstelle der quertonngewölbten Seitenkapellen von Mantua durchgehende Seitenschiffe auf (in Santa Maria presso San Celso nachträglich an das Mittelschiff angebaut). Die monumentalste frühneuzeitliche Realisierung von kassettierten Tonnengewölben folgte im 16. Jahrhundert beim neuen Petersdom in Rom (ab 1506).

Auch nördlich der Alpen machten die weitgespannten Tonnengewölbe der italienischen Kirchen um 1500 tiefen Eindruck. In der Gegenreformation griff man auch hier diese Bauformen auf. Das wichtigste Beispiel ist die ab 1583 errichtete Jesuitenkirche St. Michael in München, das Initialbauwerk der Sakralarchitektur der Renaissance nördlich der Alpen. Die Raumform ähnelt stark der Mantuaner Kirche Albertis, und auch die Dimensionen sind gewaltig. Das Mittelschiff wird von einer rund 20 m spannenden Tonne überwölbt und übertrifft somit sogar noch das Mantuaner Vorbild. Die Seitenräume sind ähnlich disponiert wie in Mantua. Auf jeder Seite schliessen sich drei Kapellen an das Langhaus an. Im Gegensatz zu Sant'Andrea in Mantua sind diese Seitenkapellen allerdings mit Emporen ausgestattet. Die Quertonngewölbe der Emporen schneiden knapp in den Fuss der Haupttonne ein, und da die Emporen durch riesige Fenster belichtet sind, ist der Raum deutlich heller als in Mantua. Die Pfeiler, die die Kapellen voneinander trennen, sind tatsächlich massiv. Die Pfeilerstirnen zum Mittelschiff hin sind dennoch jeweils mit zwei Pilastern besetzt, so dass das Vorbild Mantua noch deutlich ablesbar ist. Beim grossen Tonnengewölbe ging man in München technisch noch über Mantua hinaus: Es ist trotz der noch grösseren Spannweite als nur rund 20 cm starke und nur bis knapp zur halben Höhe hintermauerte (massiv ausgefüllte) Backsteinschale ausgeführt. Im Bereich der Pilastervorlagen der Pfeiler wird das Gewölbe allerdings durch Gurte verstärkt. Trotzdem reicht das Münchner Gewölbe fast an die Grenzen des statisch Möglichen heran. Um während der ersten Standzeit des Gewölbes (bei noch nicht vollständig ausgehärtetem Kalkmörtel) einen Einsturz zu verhindern, wurde die Gewölbeschale durch hölzerne Stempel gegen die Mauerkrone der über das Gewölbewiderlager hinaufgezogenen Aussenwand des Mittelschiffs abgestrebt. Das Gewölbe erhielt eine Stuckdekoration, die mit den Motiven kassettierter Tonnen spielt.

Zusammenfassung

Der erste grosse «Theoretiker» der Renaissancearchitektur und somit einer der ersten neuzeitlichen Bautheoretiker überhaupt war der humanistische Gelehrte Leon Battista Alberti. Erst nach dem Verfassen seines als Aktualisierung Vitruvs konzipierten Traktates *De re aedificatoria* wurde er auch als entwerfender Architekt tätig. Albertis bedeutendster Beitrag zur gebauten Architektur war die bewusste Wiederbelebung des monumentalen Tonnengewölbes in direkte Inspiration an römischen Ruinen wie der Maxentiusbasilika in Rom. Realisiert wurden die tonnengewölbten Räume der Renaissance jedoch allesamt als Backsteingewölbe, was einerseits eine weniger massige Bauweise als in der Antike mit sich brachte, andererseits ausgeklügelte Systeme zur Aufnahme des Gewölbeschubs durch entsprechende Widerlager mit sich brachte. Das Tonnengewölbe in monumentaler Dimension wurde zu einem der Leitmotive der frühneuzeitlichen europäischen Sakralarchitektur.

17. Die Kuppel der Florentiner Kathedrale (1420–36)

Das vielleicht berühmteste Bauwerk des 15. Jahrhunderts ist die Kuppel des Domes von Florenz. Schon im 14. Jahrhundert hatte man den Plan gefasst, den neuen Dom im Osten in einen gewaltigen achteckigen Kuppelraum münden zu lassen. Wie man sich die Konstruktion der Kuppel damals vorstellte, ist freilich offen, und es blieb auch den verschiedenen Baumeistern der Kathedrale im 14. und frühen 15. Jahrhundert zunächst völlig unklar, wie dereinst die Kuppel zu schliessen sei; man baute auf das Prinzip Hoffnung bzw. darauf, dass man dann schon eine Lösung finden werde, wenn es so weit sein werde. Der Bau der Kathedrale ging dann aber langsam und schleppend voran, und der Tambour mit den grossen runden Fenstern, der zwischen Unterbau und Kuppel eingeschoben ist, konnte erst in den Jahren zwischen 1400 und 1413 unter der Bauleitung eines gewissen Giovanni d'Ambrogio hergestellt werden. Nunmehr wurde die Kuppelproblematik virulent. Man schloss noch die Gewölbe der Kreuzarme. Dann musste man die definitive Antwort auf die Kuppelfrage finden.

1418 liess man erste Modelle zu möglichen Gerüstkonstruktionen für das Schalungstragwerk der Hauptkuppel herstellen, die aber letztlich nur verdeutlichten, dass die Verwendung eines vom Boden gestützten Gerüsts äusserst aufwendig werden würde bzw. völlig unrealistisch war. Daraufhin veranstaltete man einen grossen Ideenwettbewerb zur Herstellung der Kuppel, bei dem Brunelleschi (erstmalig als Gutachter beigezogen 1417) vermutlich der einzige Kandidat war, der eine Errichtung ohne Flächenschalung und ohne Stützgerüst vorschlug. Brunelleschi stellte dazu ein Kuppelmodell aus Backstein her, mit dem die schalungsfreie Herstellung in der Praxis demonstriert wurde – just in der Zeit, in der Brunelleschi auch mit seinen ebenfalls freihändig errichteten Flachkuppeln experimentierte. Er wurde denn auch tatsächlich mit der Ausführung der Kuppel beauftragt – wenn auch gemeinsam mit seinem alten Gegenspieler Ghiberti. Im definitiven Vertrag von 1420 wurden Brunelleschi und Ghiberti genauestens zur präzisen Einhaltung der Kuppelform und auf weitere konstruktive Details verpflichtet. Die Kontur der Kuppel wurde durch die Form der Eckgrate definiert, die einem spitzbogigen Verlauf folgen, bei dem der Kreismittelpunkt im 1/5-Teilungspunkt der Basisdiagonale liegt.

Strenggenommen ist die Florentiner Kuppel keine echte Kuppel, sondern ein achtseitiges Kloostergewölbe, das sich aus acht zylindrischen Wangen zusammensetzt. Da die Form der Eckgrate kreisbogenförmig vorgegeben war, ergaben sich für die Wangen (=schiefe Kreiszyylinder) automatisch elliptische Krümmungsverläufe. Man hätte die Kuppel nun einfach mit horizontalen, ringförmig umlaufenden Mauerschichten bauen können. Dabei hätte man sich an die Konstruktion älterer oberitalienischer Kuppeln anlehnen können, etwa an die Bauweise der aus dem 12. Jahrhundert stammenden Kuppeln des Baptisteriums in Florenz selbst oder des Baptisteriums von Cremona. Diese Kuppeln konnten allerdings nicht ohne Flächenschalung errichtet werden. Ausserdem bringt die Anwendung horizontal umlaufender Ringschichten an den Ecken ein Verzahnungsproblem mit sich. Da an den Graten gegeneinander verschwenkte Lagerfugenebenen aufeinandertreffen, entsteht durch die Verschneidung dieser Ebenen ein Knick und eine Diskontinuität im Mauerverband. Je grösser und dicker eine Kuppelschale ist, desto weniger erwünscht ist diese Diskontinuität. Sie stellt eine Sollbruchstelle dar, und ausserdem treten im unteren Teil einer Kuppelschale Ringzugkräfte auf, die an einer solchen Diskontinuität nicht um die Ecke herum übertragen werden können. Bei den genannten Kuppeln der Romanik hatte man offenbar

dieses Problem auch schon empirisch festgestellt und pflegte deswegen den Kuppelfuss durch einen umlaufenden hölzernen Ringanker zu sichern. Allerdings waren die Kuppeln der Baptisterien in einen hohen achteckigen Mauerwerkskörper eingebettet und hatten daher ein gutes Widerlager rings herum. Die Kuppelschale trat aussen nicht sichtbar zutage, sondern war unter einem Zeldach versteckt. Die Bautechnik der romanischen Klostergewölbe mit ringförmig umlaufenden horizontalen Mauerschichten war daher nicht ohne weiteres auf die freistehende Florentiner Kuppel übertragbar.

Geht man hingegen bei dem Entwurf des Mauerwerksverbandes nicht von den Wangen des Klostergewölbes aus, sondern von den Eckgraten, so kommt man zu einem «girlandenförmigen» Verlauf der Mauerschichten über die acht Seiten des Oktogons: Die Ausrichtung der Mauerschichten wird an den Graten so definiert, dass die Lagerfugen senkrecht zu dem Kreisbogen des Grates stehen (radial ausgerichtet). Sie verlaufen dann schräg über die Wangen des Gewölbes. Im 19. Jahrhundert, als man neue Meisterschaft im «freihändigen», also schalungsfreien Bau von Gewölben erlangt hatte, wurde diese Führung der Mauerschichten als «Schwalbenschwanzverband» bekannt. Man verzahnte die von den Graten her schräg zu den Seitenmitten fallenden Mauerschichten dort wechselseitig in Art eines Reissverschlusses («Schwalbenschwanz»). Bei einer Kuppel der Dimension der Florentiner Domkuppel kann man aber die schrägen Mauerschichten auch ohne mittigen «Reissverschluss» bogenförmig in der Wangenmitte tangential ineinander überführen. Diesen Verlauf (in der einschlägigen Literatur «corda blanda», also «schlafte Schnur» genannt) wählte Brunelleschi für seine Kuppel. Damit war eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Realisierung des Bauwerks gegeben.

Durch das «Corda-blanda»-Mauerwerk war es auch möglich, die Kuppelschale an den Ecken durch gewaltige Rippen zu verstärken, die mit dem Mauerwerk der Kuppelschale sauber verzahnt werden konnten. Die Anordnung dieser Eckrippen war ein weiteres Merkmal der Brunelleschi-Kuppel. Schliesslich unterschied sich Brunelleschis Kuppel von allen Vorgängerkonstruktionen der Architekturgeschichte durch ihre Doppelschaligkeit. Anstelle einer einzigen, massiven Schale wie beim Pantheon in Rom weist sie eine dicke, tragende Innenschale und eine dünne, gegen die Witterungseinflüsse schützende und die Aussenkontur bestimmende, ungefähr konzentrisch dazu verlaufende Aussenschale auf. Beide Schalen bestehen – genau wie die Eckrippen – aus Backstein. Die dünne äussere Schale wird von innen durch liegende Bögen gestützt, die sich horizontal von einer Eckrippe zur nächsten spannen. Weitere Verstärkung der Schalen bewirken Zwischenrippen, die zwischen den Eckrippen von der Innenschale in die Aussenschale einbinden. Der Zwischenraum zwischen beiden Schalen konnte für den Aufgang zur Kuppel und natürlich zur Kontrolle der Kuppelschalen hervorragend genutzt werden. Er machte die Kuppel aber auch wesentlich leichter, so dass die riesige Kuppel auf den Unterbau aufgesetzt werden konnte, ohne diesen zu überlasten.

Mit all diesen Massnahmen war es also möglich, die Kuppel als statisch funktionierende Konstruktion zu errichten. Um sie freihändig, also ohne Flächenschalung, bauen zu können, waren allerdings weitere Vorkehrungen nötig. Zwar erleichtert die Mauerung mit durchhängenden Schwalbenschwanz- oder «Corda-blanda»-Mauerschichten schon an sich das freihändige Wölben, denn die Mauerschichten sind räumlich gekrümmt (schräge Schnitte durch die Zylinderflächen der Gewölbewangen), so dass sich benachbarte Steine während des Mauerns sofort gegeneinander stützen können und so dagegen geschützt sind, abzurutschen und in das Kuppelinnere zu fallen. Auch bei spätgotischen Gewölbekappen nördlich der Alpen, die freihändig ausgeführt wurden, finden sich

ähnliche Mauertechniken. Allerdings hätte der gewählte Verband allein nicht ausgereicht, um auch im oberen Teil der Kuppel, wo die Lagerfugen stark nach innen geneigt sind, das Mauern ohne stützende Schalung zu ermöglichen. Im ursprünglichen Kontrakt mit Brunelleschi und Ghiberti hatte man daher auch nur zunächst für das untere Drittel der Kuppel ein Mauern ohne Schalung vorgesehen und die endgültige Entscheidung über die Technik der Mauerung in den oberen Bereichen noch offengehalten. Es gelang dann allerdings, als es so weit war, auch weiter oben ohne Schalung weiterzuarbeiten. Zum einen wurde dies durch das spitzbogige Profil der Kuppel erleichtert. Zum anderen hatte Brunelleschi in weiser Voraussicht schon im unteren, leicht herzustellenden Teil der Kuppel begonnen, ein weiteres Hilfsmittel einzuführen, nämlich Bänder aus spiralig aufsteigenden Reihen von senkrecht gestellten Ziegelplatten, die zwischen die normalen horizontalen Ziegel eingeklemmt wurden. Diese Bänder teilten die Wangen des Klostergewölbes in übersichtliche, kurze Abschnitte, in denen dann die normalen Mauerschichten verlegt werden konnten. Da die vertikal stehenden Ziegelplatten zum Kuppelzentrum hin ausgerichtet sind, konnten die normalen Mauerschichten zwischen diese Platten eingeklemmt werden und waren so ein weiteres Mal gegen Abrutschen nach innen gesichert. Im oberen Bereich der Kuppel, wo die Lagerfugeneigung nach innen steiler wurde, näherten sich die Spiralbänder immer weiter einander an, so dass die dazwischen zu verlegenden Mauerschichten immer kürzer und somit einfacher wurden. Die Spiralbänder (italienisch etwas verwirrend «*spinapesce*» genannt, also «Fischgräten») durften allerdings nicht durch die gesamte Schalenstärke durchbinden, da sie sonst eine Schwächung des Verbandes in Ringrichtung bewirkt hätten. Wie neueste Untersuchungen der Kuppel mit zerstörungsfreien Methoden gezeigt haben, ist dies auch tatsächlich nicht der Fall. Die Spiralbänder verlaufen nur in den inneren und äusseren Bereichen des Mauerwerksverbandes.

Ähnliche Spiralbänder (*spinapesce*) kamen nach Brunelleschis Zeit vor allem bei Antonio da Sangallo d. J. (1484–1546) zum Einsatz, einem der führenden Baumeister am neuen Petersdom. Er errichtete mit dieser Technik sowohl Rotationskuppeln als auch achtseitige Klostergewölbe. Ausserdem ist von ihm eine berühmte Zeichnung in den Uffizien erhalten, die das Prinzip der Spiralbänder zeigt und beschriftet ist mit «runde Kuppeln, wie man sie in Florenz aus Backsteinen ohne Schalung errichtet».²⁵ Auch das achtseitige Klostergewölbe bzw. die «Kuppel» der von Francesco di Giorgio Martini entworfenen Kirche Madonna al Calcinaio bei Cortona wurde 1508 mit dieser Technik hergestellt. Bei all diesen Kuppeln und Gewölben ermöglichten die Spiralbänder die weitgehend schalungslose Herstellung.

Trotz des guten Verbandes des Mauerwerks der Florentiner Kuppel baute man an der Basis einen hölzernen Zugring ein, der die Konstruktion ähnlich wie beim drei Jahrhunderte älteren Baptisterium gürtelartig zusammenhielt. An den Ecken wurde dieser Zugring durch eiserne Bolzen und Laschen verstärkt. Ähnliche hölzerne Ringe wurden auch noch Jahrhunderte später an Kuppeln verwendet. Beim Kuppelbau in Florenz kam man von den zunächst auch weiter oben geplanten hölzernen Ringen aber bald ab. Dafür wurden die Umgänge, die auf verschiedenen Höhen zwischen den Kuppelschalen verlaufen, zur Ausbildung steinerner «Ringanker» verwendet, die aus grossen, durch Eisenklammern verbundenen Sandsteinblöcken erstellt wurden.

²⁵ Florenz, Uffizien, Gabinetto di Disegni e Stampe (GDSU), Nr. 900 A: «Volte tonde dimezane quale si voltano senza armature a Firenze».

Die Konstruktion der Florentiner Kuppel ist eine der erstaunlichsten Erfindungen der gesamten Baugeschichte. Vorbilder fehlten fast völlig, und auch die Eindrücklichkeit des äusseren Kuppelprofils ist ohne Parallele. Die eingesetzten Techniken (Rippenverstärkung, Schwalbenschwanzverband, freihändiges Mauern) sind allesamt dem spätgotischen Baubetrieb (und nicht etwa der römischen Antike) entnommen, doch völlig neu miteinander kombiniert und zu einer präzedenzlosen gewaltigen Dimension gesteigert. Somit markiert die Kuppel einen echten Wendepunkt der Baugeschichte, vom Mittelalter zur Frühen Neuzeit. Das Bauverfahren hatte aber auch seinen Preis: Man benötigte geschlagene sechzehn Jahre (1420–36), um die Kuppel zu schliessen (noch ohne die krönende Laterne). Das freihändige Mauern forderte, dass man jeweils warten musste, bis der Unterbau ausreichend tragfähig war, bevor die nächstfolgende Mauerschicht aufgebracht werden konnte. Der Transport des Baumaterials in die grosse Höhe stellte logistische Schwierigkeiten, die aber mit einer breiten, weit ins Kuppelinnere auskragenden Arbeitsplattform am Kuppelfuss gelöst werden konnten. Die Löcher für die Balken dieser Plattform sind heute noch vorhanden. Auch die Formkontrolle war beim freihändigen Mauern nicht ganz einfach, doch dank der zylindrischen Form der Wangen des Klostergewölbes stellten sich hier kleinere Probleme als bei einer echten Kuppel auf rundem Grundriss: Es reichte, an den acht Kehlen der Kuppel kreisförmige Lehren anzubringen, zwischen denen die Wangen dann geradlinigen Verlauf haben mussten.

Zusammenfassung

Die Realisierung der schon im 14. Jahrhundert konzipierten Kuppel des Florentiner Doms (1420–36) war bautechnisch gesehen die wichtigste Leistung der Stadt im 15. Jahrhundert. Hier gelang es Brunelleschi, seine technischen Innovationen zusammenzubringen, um eine schier unlösbare Aufgabe zu bewältigen. In einer Dimension, die nur mit dem Pantheon in Rom vergleichbar ist, wurde eine Kuppel spitzbogigen Profils mit gekrümmter Aussenkontur realisiert – ein Motiv, das in der Folgezeit unzählige Male nachgeahmt werden sollte. Konstruktiv ist die Kuppel eine «gotisch» konzipierte Rippenkuppel. Völlig neu ist die zweischalige Ausführung in Backstein. Die Ausführung der Kuppel in grosser Höhe gelang durch die Übertragung des von Brunelleschi schon an der Findelhausloggia erprobten Prinzips des freihändigen Wölbens in einen beispiellos grossen Massstab. Verschiedene Tricks des Backsteinverbandes – gekennzeichnet durch die Stichworte «corda blanda» und «spinapesce» – erleichterten die praktische Ausführung des Kuppelmauerwerks erheblich.

18. Die hölzerne Kassettendecke (1450–1620)

Das Gegenstück zum kassettierten Tonnengewölbe ist beim flachen Raumabschluss die Kassettendecke. Die Kassettendecke ist eine Deckenform, die sich wie eine in die Ebene abgewinkelte kassettierte Tonne präsentiert. Schon in der Antike waren Kassettendecken gebräuchlich; erhalten haben sich aber keine hölzernen Kassettendecken, sondern nur Imitationen in der Steinarchitektur.

Die hölzerne Variante der Kassettendecke kann man sich vorstellen als Deckenkonstruktion aus gleich starken und in derselben Ebene liegenden Deckenbalken, die sich gegenseitig rechtwinklig überschneiden. Dann entstehen automatisch zwischen den Balken vertiefte Gefache, also Kassetten. An den Überschneidungspunkten der Balken sind meist Zierelemente angebracht, die an einen Bolzen oder Nagel erinnern könnten, der die Balken dort zusammenhält; die Gefache zwischen den Balken können ebenfalls verziert werden, typischerweise mit einer Rosette. Der beschriebenen einfachsten Form der Kassettendecke folgt zum Beispiel die schon um 1450 entstandene Decke im Querschiff von San Lorenzo in Florenz – eine der ersten hölzernen Kassettendecken der Renaissance überhaupt. Schon bei dieser Decke entspricht die scheinbare «konstruktive» Form der Decke jedoch keinesfalls der wirklichen Konstruktion. Die scheinbaren «Balken» sind nur hohle, aus Brettern geschreinerte Kisten, die ohne Zusammenhang mit der realen Tragstruktur entworfen sind und an den Balken des Dachstuhls aufgehängt sind – meist mit eisernen Bändern und Haken. Die Kassettendecke von San Lorenzo bildete den perfekten oberen Abschluss für die nach antikem Vorbild entworfene Säulenbasilika.

Demselben Typ folgen auch mehrere Kassettendecken des 15. Jahrhunderts in Säulenbasiliken in Rom, so z.B. die um 1465 hergestellte Decke von San Marco und auch noch die Decke der frühchristlichen Basilika Santa Maria Maggiore, die um 1500 im Zuge grösserer Wiederherstellungsarbeiten eingezogen wurde. Von dieser von Giuliano da Sangallo entworfenen Decke existiert eine historische Bauaufnahme, die von Jean-Baptiste Rondelet in seinem Lehrbuch zur Baukonstruktion publiziert wurde. Die Zeichnung macht deutlich, dass zwar einerseits die Abfolge der quadratischen Kassetten in etwa dem realen Abstand zwischen den Dachbindern entspricht, in Querrichtung aber nichts mit der Dachstruktur zu tun hat und ausserdem nicht aus Balken, sondern aus dünnen Brettern gezimmert ist. Die so gebildete Kassettendecke wurde mittels eiserner Bänder an der Dachkonstruktion befestigt.

Da die Kassettendecke stets als «abgehängte Decke» unter der Tragkonstruktion angebracht ist, konnte man sich selbstverständlich beim geometrischen Entwurf der Kassetten auch völlig vom Raster der Tragkonstruktion lösen. Diese Entwicklung setzte schon sehr früh ein. Beispiele sind die Kassettendecken, die man bei einem Umbau des Rathauses von Florenz, des Palazzo Vecchio, in den Jahren 1472–77 einzog. Die tragenden Deckenkonstruktionen, an denen die Kassettendecken befestigt sind, sind besonders anspruchsvolle Leistungen der Zimmermannskunst. Aufgrund der grossen Spannweite (15.70 m), des erheblichen Gewichtes der reich verzierten Decken und einer auf der Decke stehenden «leichten» Zwischenwand sowie vor allem angesichts der Last der darüber befindlichen Versammlungssäle wurden die tragenden Deckenbalken aus zahlreichen Einzelstücken zu mächtigen «verzahnten Balken» zusammengesetzt, die bis zu 55 x 115 cm gross sind. Bei der erst im 16. Jahrhundert entstandenen Kassettendecke über dem grossen Ratssaal des Rathauses von Florenz, der «Sala dei cinquecento», benötigte man derart aufwendige Deckenbalken hingegen nicht, da die Decke direkt am

Dachstuhl aufgehängt werden konnte und keinen begehbaren Fussboden mehr zu tragen hatte. Ein Dachstuhl bietet eine wesentlich grössere Bauhöhe als eine Deckenbalkenlage und erleichtert daher die Konstruktion eines tragfähigen fachwerkartigen Tragwerks. So war hier sogar eine rekordverdächtige Spannweite von 24.62 m möglich.

Im 16. Jahrhundert emanzipierte sich der Entwurf der Kassettendecke immer mehr von der Idee eines Balkenrasters. So findet man in der Sala dei Cavalli im Palazzo Te in Mantua (1520er Jahre) eine Gestaltung der Decke in Gestalt eines Flechtwerks, und in der Kirche Santa Maria in Aracoeli in Rom zog man in den 1570er Jahren eine Decke ein, deren Kassetten aus kreuzförmigen Elementen und solchen in Form eines «L» bestehen.

In diesen prunkvollen Gestaltungsarten wurde die Kassettendecke im 16. Jahrhundert auch in die Baukunst nördlich der Alpen übernommen. Kassettendecken mit mehr oder weniger tiefen Kassetten, gefüllt mit geschnitzten oder aus Stuck oder Pappmaché gefertigten Schmuckelementen, aber auch vergleichsweise flach reliefierte Decken aus verschiedenfarbigen Hölzern oder mit integrierten Tafelgemälden, wurden zu Prunkstücken des Schlossbaus der Renaissance im deutschsprachigen Bereich, so in den Schlössern von Heiligenberg, Weikersheim, Ambras bei Innsbruck und Kirchheim/Schwaben. Sie sind allesamt an den eigens dafür verstärkten Dachkonstruktionen aufgehängt.

Das Augsburger Rathaus (1615–20, Elias Holl) weist im sogenannten «Goldenen Saal» eine reich verzierte Kassettendecke auf, die in Prunk und Spannweite (hier 17.40 m) sowie konstruktiver Raffinesse fast mit jenen über den Ratssälen von Florenz konkurrieren kann. Auch hier liegt über der Kassettendecke noch ein weiterer nutzbarer Raum. In ihm wurde die städtische Sammlung von Architekturmodellen aufbewahrt. Trotzdem kam man ohne aufwendige verzahnte Balken aus, da die Tragbalken der Decke bzw. des Fussbodens des Modellsaals mit Hilfe langer Eisenstangen am Dachstuhl aufgehängt wurden. Für den Besucher des Modellsaals waren diese Eisenstangen freilich nicht sichtbar, denn sie wurden in hohlen hölzernen Säulen geführt. Mit solchen Effekten, welche den Betrachter verblüffen sollen, der die hinter den Kulissen versteckte Technik nicht sehen kann, wird bereits die Schwelle zur illusionistischen und theatralischen Architektur der Barockzeit überschritten. Am Anfang dieser Entwicklung steht die Kassettendecke des 15. Jahrhunderts, bei der zum ersten Mal in der nachantiken Baugeschichte eine scheinbar konstruktiv bedingte architektonische Erscheinungsform (Trägerrost) in eklatantem Widerspruch mit der tatsächlichen konstruktiven Realisierung als abgehängte Decke steht.

Zusammenfassung

«Antikisches» Erscheinungsbild wurde bei flachgedeckten Sakral- und Profanräumen der Renaissance durch die Kassettendecke erreicht. Obwohl die Struktur der Kassettendecke das Vorhandensein eines zugrundeliegenden Balkenrostes suggeriert, handelt es sich bei der Kassettendecke jedoch um eine reine Ausbau-Gestaltung, denn die Kassettendecken sind stets als vom Dachstuhl oder den Deckenbalken abgehängte Konstruktionen realisiert und bestehen aus geschreinerten Brettboxen.

19. Der Palazzo: Florenz, Urbino und die Folgen (1444–1550)

Mit der italienischen Frührenaissance tritt der private Wohnbau – der städtische «Palazzo» – erstmals mit gleichem architektonischem Anspruch neben den Sakralbau und die öffentlichen Profanbauten. Der Palazzo entstand als repräsentative Stadtresidenz der führenden Familien in Florenz. Ein wichtiges Vorbild war ein damals schon historischer halböffentlicher Bau, der «Palazzo della Signoria», heute als «Palazzo Vecchio» bekannt. Dieser Bau war im frühen 14. Jahrhundert als Wohn- und Tagungsort für die Mitglieder der «republikanischen» Stadtregierung errichtet worden, also als «Rathaus» im direkten Wortsinn. Die Abgeordneten des städtischen Parlamentes tagten nicht nur in dem Gebäude, sondern wohnten während ihrer Amtszeit auch darin. Sie hatten allerdings trotz der Legitimation der Stadtregierung durch die einflussreichen Zünfte stets Übergriffe seitens einzelner Patrizierfamilien oder auch des gemeinen, von politischer Macht ausgeschlossenen Volkes zu fürchten. Daher gab man dem Palazzo della Signoria eine festungsartige Form mit Zinnenkranz und Turm. Die «Wehrhaftigkeit» des Rathauses wurde nach aussen ostentativ durch Rustika-Mauerwerk vor Augen gestellt. Die «Rustika» ist ein Mauerwerk, bei dem die Steine an den Lager- und Stossfugen sorgfältig bearbeitet werden, an der Sichtseite jedoch – bis auf einen Randstreifen – demonstrativ «unbearbeitet» bleiben. Es handelt sich also nicht etwa um tatsächlich «rohes» Mauerwerk, sondern um eine kunstvoll stilisierte sorgfältige Bearbeitung. Die Urform dieser Art von Mauerwerk ist das Buckelquaderwerk der Burg. Im 14. und 15. Jahrhundert verselbständigte sich das Rustikamauerwerk jedoch und wurde zu einem allgemein anwendbaren architektonischen Symbol von Stärke und Wehrhaftigkeit. Während der Bau echter, militärisch relevanter Festungen ganz neue Wege zu gehen begann, wurde die Rustika in Florenz mehr und mehr zu einem Motiv des privaten Wohnhauses, das im 14. Jahrhundert ebenfalls häufig ein turm- oder burgartiges Aussehen annahm. Ein gutes Beispiel ist der Palazzo Davanzati, der allerdings im Gegensatz zum Palazzo della Signoria nicht freisteht, sondern in die Strassenzeile eingebunden ist, und im obersten Stockwerk eine Art «Dachgarten» oder «Pergola» aufweist.

Dies war die architektonische Situation in Florenz, als 1445 Cosimo de' Medici dem Baumeister Michelozzo den Auftrag zur Planung des neuen Familienwohnsitzes der Medici auf einem geräumigen Grundstück nahe an der Basilika San Lorenzo erteilte. Der Palazzo Medici präsentiert sich wie der Palazzo Vecchio zum Stadtraum hin auf den drei freistehenden Seiten in Rustikaquaderung. In den oberen beiden Stockwerken sind grosse Biforienfenster (Zwillingsfenster) angeordnet (ebenfalls nach Vorbild des Palazzo della Signoria), und das Profil der Rustizierung nimmt nach oben hin ab. Im starken Gegensatz zum abweisenden Äusseren öffnet sich der Palazzo Medici nach innen zu einem lichterfüllten, freundlichen Hof. Die gesamte Erschliessung des Baus erfolgt von diesem Innenhof aus. Der Hof ist unten ringsum von gewölbten Arkadengängen umgeben, bei denen das architektonische und technische Vorbild der Brunelleschi-Loggien deutlich spürbar ist: Die Arkaden ruhen auf korinthischen Freisäulen. Die Gänge sind allerdings nicht mit Flachkuppeln gewölbt, sondern durch Tonnengewölbe mit Stichkappen überdeckt, einschliesslich des breiteren Raumes auf der Rückseite des Hofes, wo sich – gegenüber zum Haupteingangskorridor des Palastes – ein Durchgang in den kleinen, ummauerten Garten befindet. In einer Ecke des Loggienhofes ist der Zugang zur Haupttreppe angeordnet, die mit zwei geraden Läufen in das «Piano nobile» führt, also in das Repräsentationsstockwerk mit den grossen Sälen. Hier sind die Umgänge um den Hof als geschlossene, jedoch reich befensterte Korridore ausgeführt. Im obersten Stockwerk

des Innenhofes des Medici-Palastes ist wieder eine Art «Dachgarten» wie am Palazzo Davanzati angeordnet (heute verglast).

Der Loggiahof als prägendes architektonisches Motiv der «Innenseite» des Palastes und als zentrale Drehscheibe der inneren Erschliessung prägte auch die nachfolgenden Paläste der italienischen Renaissance sehr stark (Palazzo Rucellai, Florenz, nach Entwurf Albertis, ab 1446; Palazzo Piccolomini für Papst Pius II. in seiner Planstadt Pienza in der Südtoskana, nach Entwurf von Bernardo Rossellino, ab 1459; Palazzo Pitti, Florenz, ab 1458; Palazzo Strozzi in Florenz, nach Entwurf von Benedetto da Maiano oder Giuliano da Sangallo, der ein noch erhaltenes Modell baute, ab 1489). Vielfach wurden die den Hof umschliessenden gewölbten Umgänge sogar in mehreren Stockwerken übereinander als loggienartige Säulenarkaden ausgeführt. Beispiele dafür finden sich in Rom (Palazzo della Cancelleria, ab 1485), ab dem frühen 16. Jahrhundert dann auch rings um die Alpen (Schloss Porcia in Spittal/Drau, ab 1533; Schloss Neuburg/Donau, ab 1534; Ritterscher Palast, Luzern, ab 1557). So wurde neben der Rustika-Fassade der Loggiahof europaweit zu einem der Leitmotive der Renaissance-Profanarchitektur schlechthin. Untrennbar gehören Freisäulen als Arkadenträger, durchgängige Wölbung (fast immer mit Tonnengewölben mit Stichkappen) und somit auch die durchgängige, meist sichtbare Ankerung mit Eisenschlaudern zum Loggiahof dazu, gerade auch bei den mehrstöckigen Arkaden. Auch nach aussen, zur freien Landschaft hin ausgerichtete Loggien verbreiteten sich, ausgehend vom Palazzo Piccolomini von Pienza, in ganz Europa (Beispiel Schloss Blois/Loire).

Das Glanzstück der italienischen Profanarchitektur des 15. Jahrhunderts ist allerdings der bis heute weitgehend unverfälschte Palast von Urbino. Zu diesem Palazzo existiert eine aufschlussreiche Beschreibung des bedeutenden Humanisten Bernardino Baldi, die 1587 geschrieben wurde und interessante Rückschlüsse auf die Rezeption des Baus durch die Zeitgenossen und frühen Nachfolger ermöglicht. Der Palast von Urbino wurde um 1465 unter dem Herzog Federico da Montefeltro und nach Plänen von Luciano Laurana begonnen. Der Bauherr war ein erfolgreicher Feldherr, aber auch ein gebildeter Adliger, der mit zahlreichen Wissenschaftlern und Künstlern seiner Zeit engen Kontakt pflegte, unter anderem mit Alberti. Federicos Palazzo in Urbino folgt dem Modell des florentinischen Palastes, nimmt allerdings eine Hügelkuppe mitten in der Stadt ein, so dass er einerseits einen kleinen Platz neben der Kathedrale von Urbino beherrscht, andererseits ein Panorama der bergigen Umgebung bietet, das man auf der Rückseite der Anlage von einem Belvedere und einem «hängenden Garten» aus bewundern kann. Der Kern des Palazzos umschliesst jedoch wieder einen Arkadenhof wie beim Palazzo Medici in Florenz. Der Haupteingang des Palastes liegt an der Seitenfront des kleinen Platzes neben der Kathedrale. Die Fassaden zum Platz hin verzichten auf pseudomilitärisches Gehabe, sondern sind mit einer aufgeblendeten Quaderung (Inkrustation) versehen (unvollendet). Da der Hof nicht mittig hinter der Platzfassade liegt, wurde diese im Erdgeschoss mit drei symmetrisch angeordneten Portalen versehen, deren rechtes den Haupteingang des Palastes bildet, durch den man über einen tonnengewölbten Korridor in den Hof gelangt.

Hier bietet sich eine einzigartige Architektur aus weissem Kalkstein und rötlichem Sichtbackstein. Zur Bautechnik des Palastes schrieb Baldi: «Was das Material anbetrifft, besteht er ganz aus Backstein und bestem Kalkmörtel, und die sichtbaren Backsteinoberflächen sind geschliffen und poliert, so dass die Mauer wie aus einem

einzigem Stück wirkt und sehr schön anzusehen ist.»²⁶ Die Gliederungselemente sind hingegen in weissem Kalkstein ausgeführt. Diese Materialpolychromie in weiss und rot tritt in Urbino also an die Stelle des Brunelleschi'schen Spieles mit dem Kontrast von Gliederungselementen aus *pietra serena* und weiss verputzten Flächen. Das gleichmässige Backsteinmauerwerk mit seinen sehr schmalen Fugen ergibt ein ähnlich monolithisches Bild wie die Florentiner Putzflächen, und der Farbkontrast zwischen der quasi monolithischen Backsteinwand und den weissen Gliederungen erinnert an die altrömischen Wandinkrustationen mit edlen Materialien.

Wie in Florenz ist das untere Stockwerk des Hofes des Palastes von Urbino in grazilen Arkaden auf monolithischen Säulen mit herausragenden Kapitellen nach Vorlage altrömischer Kompositkapitelle geöffnet, während der rings um den Hof umlaufende, tonnengewölbte Korridor im ersten Stock zum Hof hin geschlossene Wandflächen mit grossen Fenstern aufweist. Obwohl die offenen Loggien im Erdgeschoss des Hofes nicht mit Flachkuppeln, sondern mit sehr flach gedrückten Kreuzgratgewölben gedeckt sind, sind keinerlei Eisenanker zu sehen; diese sind aber sehr wohl vorhanden, verlaufen aber (wie bei Brunelleschi's Kirchen) dicht über den Gewölbescheiteln. Wölbung aller Haupträume ist ein wesentliches Merkmal des ganzen Palastes und wurde auch schon von Baldi als eine besondere Leistung und als besonders feuersichere Bauweise gewürdigt: «Die Loggien, die Säle und Zimmer sind alle mit Backsteinen gewölbt, und zwar doppelt, und sie sind so kunstreich gemacht, dass man in diesem riesigen Gebäude nicht auch nur einen einzigen Anker aus Holz oder Eisen sieht. Das gilt nicht nur für die Loggien und kleineren Räume, sondern sogar für den grossen Festsaal selbst, der etwa hundert urbinatische Fuss lang und dreiundvierzig bis fünfundvierzig breit ist. Trotzdem ist er von einem doppelten Gewölbe mit Stichkappen überdeckt, und man sieht keine hölzernen oder eisernen Schlaudern.»²⁷ Auf die Form und das Mauerwerk der Gewölbe kommen wir gleich noch zurück; zunächst ist vielleicht eine Erläuterung angebracht, was unter den «doppelten Gewölben» zu verstehen ist. Bernardino Baldi schreibt dazu: «Ein weiterer Kunstgriff, der dem Einsichtigen einleuchten wird, nimmt darauf Bezug, dass diejenigen, die sich in den unteren Stockwerken aufhalten, durch die Schritte jener, die in den oberen Stockwerken wohnen, gestört werden könnten; um dem zuvorzukommen, hat man die Gewölbe doppelt gemacht, und zwischen den beiden Schalen einen leeren Raum freigelassen, in dem der Schall sich verliert.»²⁸ Es befinden sich also tatsächlich zwei Gewölbeschalen direkt übereinander – eine Lösung, die später allenfalls bei Holzdecken wiederholt wurde, nicht jedoch bei gemauerten Decken.

Der grosse Thronsaal, der sich im Platzflügel des Kernbaus im ersten Obergeschoss befindet, ist ein Muster für zahllose weitere Paläste der Renaissance geworden. Der nur annähernd rechteckige Raum wird durch ein flaches Muldengewölbe (ein Gewölbe in

²⁶ Baldi 1724, S. 46: «In quanto alla materia egli è fabbricato tutto di mattoni, e calce perfettissima, e de' mattoni le parti di fuori sono arrotate, e pulite di maniera, che fanno parere la muraglia quasi tutta d'un pezzo, e bellissima a vedere.»

²⁷ Baldi 1724, S. 47: «Le logge, le sale, le camere tutte sono in volte, di mattoni, e doppie, e fatte con artificio così mirabile, che non si vede in una fabbrica così grande pure una chiave di legno, o di ferro: nè questo solamente nelle logge, e nelle stanze minori, ma nella sala grande medesima: la quale tutto che sia lunga intorno a cento piedi della misura d'urbino, e larga quarantatre in quarantacinque; è nondimeno xoperta da una volta doppia fatta a lunette, e non appar legata da legno, nè da ferro.»

²⁸ Baldi 1724, S. 73: «Un altro artificio s'osserva da chi vi pon mente, e questo è, che dove lo strepito de'piedi di quelli, che abitano gli appartamenti superiori, potessero offendere quelli, che stanno negl'inferiori, egli vi provvide col raddoppiar le volte, e lasciar fra loro uno spazio voto, nel quale si perdesse quel rumore, e non arrivasse agli appartamenti di sotto.»

Form eines Walmdaches mit gekrümmten Flächen) überdeckt, in das ringsherum Lünetten (Stichkappen) einschneiden. Diese Stichkappen nehmen auf der Hofseite Scheinfenster auf, an der Platzseite hingegen echte Fenster. Um die von derart flachen und weitgespannten Gewölben ausgehenden horizontalen Kräfte aufnehmen zu können, mussten die Wände der grossen Säle sehr stark ausgeführt werden, wozu man von der schon im Mittelalter bekannten Technik des Schalenmauerwerks mit irregulärer Bruchsteinfüllung Gebrauch machte. Die Mauertechnik der Gewölbe selbst kann man in der sogenannten «Wäscherei und Färberei» im Kellergeschoss des Palastes bewundern, wo die Flächen unverputzt geblieben sind. Während die Lünetten wie Konsolen in horizontal liegenden Mauerschichten hergestellt sind, verlaufen die Schichten im grossen Deckenspiegel diagonal über Eck. Derartige Muldengewölbe wurden auch in späteren Renaissancepalästen noch oft hergestellt. Dieselbe Mauertechnik wie in Urbino findet man zum Beispiel auch in den grossen Sälen des Palazzo Te in Mantua, errichtet ab 1524 für die Gonzaga-Fürsten vor den Toren der Stadt, nach Plan und unter Leitung von Giulio Romano. Die diagonale Führung ermöglichte sogar bei diesen Gewölbeformen eine weitgehend schalungsfreie Ausführung. In Urbino mauerte man allerdings auf Schalung, wie heute noch die Abdrücke des Schalungsmaterial an der Gewölbeinnenseite der «Färberei» bezeugen. Die Wahl eines geschickten Mauerwerksverbandes ermöglichte es, mit relativ leichten Schalungen und Lehrgerüsten auszukommen.

Das Muldengewölbe mit Stichkappen wurde ebenso ein Merkmal des neuen Stils, das im 16. Jahrhundert auch jenseits der Alpen übernommen wurde. Zu den bedeutendsten frühen Beispielen gehört das Gewölbe über der Schlosskapelle des schon erwähnten Schlosses Neuburg/Donau. Errichtet unter dem Kurfürsten Ottheinrich von der Pfalz, der in seinem Herrschaftsbereich die neue protestantische Konfession einführte, handelte es sich bei diesem 1543 vollendeten Bau um einen der frühesten protestantischen Kirchenneubauten überhaupt. Vor diesem Hintergrund ist die Orientierung der Architektur der Schlosskapelle an der Architektur der profanen Säle italienischer Renaissancepalazzi programmatisch zu sehen, als bewusste Abkehr vom katholischen Kirchenbau. Wie bei den Sälen in Urbino und Mantua, so spielen auch bei der Neuburger Kapelle versteckte (und zum Teil auch aufwendig gestaltete sichtbare) eiserne Ankerungen eine grosse Rolle. Waren die Muldengewölbe des 15. Jahrhunderts in Urbino noch glatt verputzt und nur durch einige Rosetten verziert, so setzte sich bald eine Gewölbedekoration durch aufstuckierte und aufgemalte Kassettierungen durch. In den einzelnen Kassetten wurden dann figürliche Fresken angebracht (z.B. in Mantua). Den definitiven Siegeszug des Muldengewölbes ermöglichte aber gerade die Tatsache, dass es auch mit einer völlig glatten, fast ebenen mittleren Fläche ausführbar war, vor allem dann, wenn es einen Querschnitt in Form eines flachen gedrückten Bogens aufwies: Damit stellte das Muldengewölbe einen Platz zur Verfügung, der mit grossformatigen ungeteilten Fresken verziert werden konnte. Diese Art der Dekoration kam im 16. Jahrhundert allmählich auf und wurde dann im 17. Jahrhundert zu einem Leitmotiv der Palastgestaltung.

Ein letzter Blick auf den Grundriss des Palastes von Urbino zeigt schliesslich das – wie an den Florentiner Palästen – in einer Ecke des Hofes angeordnete Treppenhaus. Das Treppenhaus hatte in der Architektur des Mittelalters allenfalls eine Nebenrolle gespielt. Erst im 15. Jahrhundert – also gleichzeitig zur italienischen Renaissance – kamen auch in der gotischen Baukunst aufwendig gestaltete Treppen auf. Dabei handelte es sich allerdings um Wendeltreppen, die zwar häufig wenig angenehm zu begehen waren, sich aber dafür konstruktiv als Kabinettstücke der spätgotischen Steinmetzkunst darstellten.

Von diesen mittelalterlichen Treppen setzen sich die Treppen der italienischen Palazzi des 15. Jahrhunderts deutlich ab durch ihre Bequemlichkeit, wie Baldi am Beispiel der Treppe des Herzogspalastes von Urbino hervorhob: «mehr als acht Fuss breit, von angenehmer Steigung, mit so flachen und breiten Stufen, dass derjenige, der hinaufsteigt, kaum spürt, dass er aufwärts geht.»²⁹ In der Tat geht es in einem flach ansteigenden, tonnengewölbten, geraden Treppenlauf bis hinauf zu einem Umkehrpodest, wo der zweite, in Gegenrichtung führende Treppenlauf ansetzt, mit dem man die restliche Höhendifferenz überwindet. Diese Art der Treppe wurde ebenfalls zu einem unverzichtbaren Bestandteil der italienischen und italianisierenden Palastarchitektur der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts und des 16. Jahrhunderts. Die Zwischenpodeste boten einen passenden Rahmen für die Präsentation antiker oder antikisierender Skulpturen oder anderer repräsentativer Stücke. Auch die Renaissance-Architektur, die im 16. Jahrhundert nördlich der Alpen entstand, griff das Motiv der geradläufigen tonnengewölbten Treppe mit Umkehrpodest willig auf (z.B. [Ritterscher Palast Luzern](#)).

Zusammenfassung

In der Renaissance entwickelte der private Profanbau ähnlichen architektonischen Anspruch wie der Sakralbau. Kennzeichen des italienischen Palazzo ist die Erschliessung über einen Loggiahof. Die Repräsentationsräume liegen im ersten Stock und werden über eine zweiläufige gerade Treppe erreicht. Die Räume sind häufig gewölbt, wobei das Muldengewölbe sich besonderer Beliebtheit erfreut. Prototypen des Renaissance-Palastes sind der Medici-Palast in Florenz und der Palazzo Ducale von Urbino. Das Modell des italienischen Palazzos wurde ab dem 16. Jahrhundert insbesondere im Alpenraum vielfach nachgeahmt.

²⁹ Baldi 1724, S. 51: «larghe meglio d'otto piedi, piacevoli di declive, con gli scalini tanto larghi, e bassi, che chi v'ascende a pena s'accroge di salire».

20. Zentralbau und Kuppel als Leitmotive des Sakralbaus (1450–1546)

Kein anderes architektonisches Motiv hat den Sakralbau der Frühen Neuzeit stärker geprägt als die Kuppel. In Italien entstanden seit dem 15. Jahrhundert, ab dem frühen 17. Jahrhundert dann auch in Spanien, Frankreich, Österreich und Deutschland unzählige kuppelgekrönte Kirchen, und noch im 19. Jahrhundert folgten bedeutende Nachzügler. Der Kuppelbau stellte die grösste bautechnische Herausforderung dieser Zeit dar, und die Krönung eines Bauwerks durch eine auch in die Ferne wirkende Kuppel avancierte zur höchsten architektonischen Auszeichnung, mit der man ein Bauwerk hervorheben konnte. Die Kuppel wurde somit zum Erkennungszeichen und Alleinstellungsmerkmal des Sakralbaus.

Zwar hatte man schon im Mittelalter – vor allem in der Romanik – zahlreiche Kirchen mit einem kuppelartigen Klostergewölbe über der Vierung errichtet. Es sei nur an den Dom von Speyer oder die Abteikirche Sant’Ambrogio in Mailand erinnert. Diese mittelalterlichen Vierungskuppeln waren aber allesamt in einen quadratischen oder achteckigen Vierungsturm (in Italien «*tiburio*» genannt) eingebettet und traten äusserlich nicht als Kuppelschale in Erscheinung, sondern waren unter einem Zeltdach versteckt. Ein nach aussen sichtbares Kuppeldach wies lediglich der Vierungsturm des Doms von Pisa auf. Für den Innenraum hatten die mittelalterlichen Vierungstürme vor allem die Funktion eines hohen Lichtschachtes, während die Gewölbeform kaum innenräumlich wirksam war.

Auf der anderen Seite blickte die Kuppel als Überdeckung eines Innenraums natürlich auf eine lange Tradition zurück, und über alle Jahrhunderte hinweg stand vor allem die Kuppel des Pantheons in Rom als eindrucksvollste Realisierung dieser Idee vor Augen: Die Kuppel des Pantheons korrespondiert mit dem kreisrunden Mauermantel, der den Innenraum umgibt und ergänzt so den Zentralbau in idealer Weise. Die Kuppel steht sozusagen fest auf dem Boden. In der Aussenansicht ist die Kuppel des Pantheons hingegen ohne Bedeutung. Noch mehr als heute musste man sich in der Antike weit von dem Bau wegbegeben, um seine Kuppel überhaupt erblicken zu können; die Kuppel präsentierte sich dem Besucher als überwältigendes Überraschungsmoment erst beim Eintreten in das Gebäude. In gewisser Weise griff die Ostpartie des Florentiner Domes in der Innenraumwirkung die Grundidee des Pantheons auf: Kuppel über räumlich vom Langhaus der Kirche weitgehend abgekoppeltem Zentralraum. Auch in Florenz korrespondiert der hier allerdings achteckige «Fussabdruck» des Zentralraums direkt mit dem achteckigen Klostergewölbe. Es handelt sich gewissermassen um die monumentalste mögliche Steigerung von Raumformen, wie sie auch schon an mittelalterlichen Zentralbauten, vor allem an Baptisterien, zum Einsatz gekommen waren, zum Beispiel am Baptisterium in Pisa – im Inneren und nun auch am Äusseren.

Die Entwicklung der neuzeitlichen Kuppel spielte sich zwischen den genannten drei Traditionslinien ab: Fortsetzung der Idee des erhöhten «Vierungsturms» auf der einen Seite, eindrucksvoller «pantheonartiger» Kuppelinnenraum auf der anderen Seite, das Ganze kombiniert mit der verheissungsvollen Zurschaustellung der gekrümmten Aussenkontur nach Florentiner Vorbild. Diese architektonische und technische Entwicklung sollte in der Errichtung der Kuppel des neuen Petersdoms in Rom in den Jahren 1589–90 kulminieren; bis es so weit war, musste nach der Florentiner Kuppel aber noch ein weiter Weg zurückgelegt werden. Andererseits war mit der Kuppel des Petersdoms dann die Grundidee der raumhaltigen, aber andererseits turmartig auf dem

Bau thronenden Kuppel eines der wichtigsten Leitmotive der Sakralarchitektur für mehr als ein Jahrhundert gesetzt – jede Kirche sozusagen ein «kleiner Petersdom».

Am einfachsten war es möglich, den Vierungsturm auch in der Aussenerscheinung durch die sichtbare Aussenkontur der Kuppel zu veredeln und gegenüber dem mittelalterlichen Vorbild zu modernisieren: In der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts entstanden in Italien etliche Bauwerke, die diese Idee realisierten. Es handelt sich fast durchwegs um Bauwerke kleiner Dimension, die sozusagen eine Florentiner Kuppel im Miniaturformat präsentierten, zum Beispiel die Augustinerkirche Santa Maria del Popolo in Rom (1473–77), den Dom von Turin (1495–98) und die Kirche Santa Maria delle Grazie in Cortona. Bei allen diesen drei Kirchen erhebt sich das achteckige Klostergewölbe über einem hohen Tambour mit Fenstern. Dieser Tambour ist bei allen drei Kirchen ohne Strebepfeiler ausgeführt. Die war nur möglich, weil das Kuppelgewölbe einerseits als dünne und leichte Backsteinschale ausgeführt wurde und andererseits für die Kuppel ein steiles spitzbogiges Profil gewählt wurde – teils noch steiler als in Florenz.

Der bedeutendste der drei Bauten ist die Marienwallfahrtskirche Santa Maria delle Grazie al Calcinaio in Cortona (erbaut ab 1484). Sie geht auch im Gesamtkonzept neue Wege: Der kreuzförmige Bau folgt nicht dem mittelalterlichen Schema der Basilika, sondern wird aus einschiffigen, tonnengewölbten Räumen gebildet, die an der Kuppel zusammentreffen. Dieser merklich «antikisierende» Bau ist das architektonische Hauptwerk des Francesco di Giorgio Martini (1439–1501), eines der herausragenden Techniker, Festungsarchitekten und Architekturtheoretiker der italienischen Renaissance, von dem umfangreiche Architekturtraktate und eine eigene Vitruv-Bearbeitung erhalten sind. Francesco di Giorgio zeichnete auch unzählige Maschinen und andere technische Erfindungen und steht mit diesen zwischen Taccola und Leonardo da Vinci.

Die quadratische Vierung der Cortoneser Kirche misst etwa 13 m. Sie wird von der hohen achteckigen Kuppel überspannt. Der Übergang vom Vierungsquadrat zum achteckigen Tambour wurde ganz nach mittelalterlicher Konstruktionsart durch Stützbögen diagonal über die Ecken (in der Art von Trompen) erzielt, die aber innen als Pendentifs in Werkstein verkleidet wurden. Die Last der Tonnengewölbe der Kirche und der Vierungskuppel wird durch äussert starke Umfassungsmauern aufgenommen. In die Wandstärke dieser dicken Umfassungsmauern sind rings herum apsisartige Seitenkapellen eingelassen. Die Kuppel erhebt sich über einem Tambour, der etwa 10 m hoch ist und damit etwa dieselbe Höhererstreckung besitzt wie die Kuppel selbst. Durch diesen hohen Tambour bringt die Kuppel eine ungewöhnliche Lichtfülle in den Raum, die umso eindrucksvoller wirkt, da die Befensterung der unteren Raumteile sehr gering ist – eine gewisse Reminiszenz an mittelalterliche Vierungstürme. Die Kuppelschale selbst ist wie in Florenz strenggenommen ein achteckiges Klostergewölbe, und ähnlich wie in Florenz wurde sie mit einem minimalen Gerüst errichtet. Hier verwendete man allerdings eine Art hölzernen Rahmens, der sodann mit Backstein ausgefacht und in die relativ dünne Kuppelschale eingemauert wurde.

Ein noch direkteres Echo auf den Florentiner Dom findet man in der Basilika von Loreto in den Marken. Sie wurde an derjenigen Stelle errichtet, an der gemäss der Legende das Wohnhaus («*casa santa*») der heiligen Familie von Engeln abgesetzt worden war, die das Haus aus dem Heiligen Land herantransportiert hatten. Um 1480 entwarf Giuliano da Maiano einen Kirchenbau, dessen Zentrum ein achteckiger Kuppelraum bildet, der das heilige Haus umschliesst und einen Durchmesser von immerhin rund 20 m hat. Dieses

Achteck ist in Umgänge eingebettet. An diesen Zentralbaukomplex schliessen Kreuzarme in Form dreischiffiger Hallenkirchen an, die mit dem Kuppelraum noch weniger verbunden sind als das Langhaus beim Dom von Florenz. Die Kuppel über der Casa Santa lehnt sich sehr eng an das Florentiner Vorbild an. Da der Unterbau sehr schwach angelegt worden war, konnte allerdings keine dickschalige oder doppelschalige Kuppel, sondern wiederum nur eine dünne einschalige ausgeführt werden. Zu ihrer Ausführung berief man den erfahrenen Bautechniker und Architekt Giuliano da Sangallo aus der Toskana. Er führte die Kuppel 1499–1500 in nur acht Monaten aus. Allein schon die kurze Ausführungszeit ist ein Indiz dafür, dass die Kuppel im Gegensatz zu jenen von Florenz und Cortona jedoch nicht freihändig, sondern auf einer Flächenschalung ausgeführt wurde. Die Mauerstruktur der Kuppel bestätigt diese Vermutung: Sie ist im Kufverband ausgeführt. Die Kuppel ist ziemlich dünn (1.30 m am Ansatz und 0.90 m am Scheitel). Trotzdem gab es in Loreto sofort nach Fertigstellung schwere statische Schäden, deren Folgen bis heute wirksam sind.

Weitere direkte Anleihen beim Florentiner Dom blieben zunächst aus. Wie Loreto zeigt, musste eine direkte Wiederholung des Florentiner Konzeptes in kleinerem Massstab auch notwendigerweise epigonal und schwächlich wirken. Vielleicht erschien den zunehmend am antiken Vorbild orientierten Architekten des späten 15. Jahrhunderts die Kuppel von Florenz auch einfach als zu «gotisch» und zu wenig «römisch». Als massgebliches Vorbild für den Bau monumentaler Kuppeln wählte man daher nicht den Florentiner Dom, sondern vor allem das Pantheon in Rom. Das Pantheon sollte vor allem in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts zu einer massgeblichen Inspirationsquelle beim Entwurf von Kuppelbauten avancieren.

Einer Adaption des Pantheon-Schemas für Kirchnerneubauten standen allerdings gewichtige Überlegungen entgegen: Im Grunde konnte eine Pantheon-Kuppel nur auf einem kreisrunden Raum errichtet werden, der allenfalls durch ringsum angesetzte radiale Nebenkappen erweitert werden konnte. Für eine liturgische Nutzung als christlicher Sakralraum war eine derartige Grundrisstypologie wenig geeignet: Für die Messfeier versammelte sich das Volk gemeinsam mit dem Priester vor dem Hochaltar. Der Hochaltar musste daher zwingend an der Peripherie des Raumes angeordnet werden und konnte sich nicht in dessen Mitte erheben, wie dies die Logik eines Zentralbaus erfordern würde. Ausserdem bot ein Rundbau wegen der technischen Grenzen der Spannweite oftmals nicht genügend Platz zur Unterbringung einer grösseren Gemeinde und der allenfalls zusätzlich noch anwesenden grösseren Priesterschaft, die möglichst auch noch abgesondert in einem «Chorraum» sitzen wollte. Der Zentralbau empfahl sich daher wohl kaum für eine Pfarrkirche, und auch für eine reine «private» Klosterkirche wie die experimentelle Kirche Santa Maria degli Angeli, die Brunelleschi schon in der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts in Florenz begonnen hatte, war der reine Zentralbau nur wenig geeignet (der Bau wurde dementsprechend auch nie vollendet). Ein neues «Pantheon» war zunächst primär als monumentaler «Anbau» an einen Sakralbau herkömmlicher Prägung denkbar. Dies impliziert eine weitgehende räumliche Abschnürung des Kuppelraums von der eigentlichen Kirche, wie dies ja auch in Florenz und Loreto schon der Fall gewesen war. Tatsächlich wurde in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts wiederum ein Bauwerk realisiert, das einen monumentalen Kuppelbau in mit einer konventionellen Kirche verband – die Rotunde der Santissima Maria Annunziata in Florenz. Dieser Bau näherte sich dem antiken Vorbild Pantheon mehr als alle anderen vorausgegangenen neuzeitlichen Kuppeln – architektonisch ebenso wie konstruktiv.

1444 begann man in Florenz unter dem Patronat der Medici, die mittelalterliche Bettelordenskirche Santissima Annunziata einschneidend umzugestalten: Das dreischiffige, basilikale Langhaus der gotischen Kirche wurde in eine Saalkirche mit Seitenkapellen umgewandelt. Das Querschiff mit seinen Nebenkapellen blieb zwar erhalten; die Hauptkapelle mit dem Hochaltar allerdings sollte abgebrochen werden und einen Durchgang zu einem östlich davon neu errichteten, riesigen, kreisrunden Kuppelsaal (rund 22.5 m Durchmesser) bieten, der insbesondere den Mönchschor aufnehmen sollte. Dieser Rundsaal öffnete sich ringsherum zu apsisartigen, radial ausgerichteten Nebenkapellen, so dass der Grundriss der Rotunde jenem des spätantiken sogenannten Tempels der Minerva Medica in Rom erstaunlich nahekam. Der Erfinder dieses Plans war Michelozzo. Man ging auch rasch an die Umsetzung und führte den Umbau des Langhauses aus. Die Chorrotunde allerdings gedieh in den folgenden Jahrzehnten nicht über die Höhe des Kapellenringes hinaus. Michelozzo schied aus der Unternehmung aus, und zwischen 1460 und 1469 ruhten die Arbeiten an der Chorrotunde, da die Geldmittel ausgegangen waren. Erst als es gelungen war, den Fürsten Gonzaga aus Mantua als Förderer und Mäzen für den Weiterbau zu gewinnen, kam der Weiterbau in Gang. Dabei kam der Lieblingsarchitekt der Gonzaga, Leon Battista Alberti, ins Spiel. Unter wesentlichem Einfluss Albertis nahm man 1470 den Weiterbau der Rotunde in Angriff – nicht ganz ohne Widerstand. Es gab nämlich auch konservative Kräfte, die die Bauruine der Rotunde lieber abgerissen und die Kirche in konventioneller Weise vollendet hätten. Speerspitze dieser Kräfte war der Florentiner Giovanni Aldobrandini. Er wandte sich brieflich an den Gonzaga-Fürsten und schrieb zu den Plänen Albertis: «Es wird nicht an Leuten fehlen, die empfehlen, diesen Plänen zu folgen, und die anführen werden, dass es in Rom derartige Bauwerke gebe. Ich sage dazu: Diese Bauwerke in Rom sind zur Zierde der Gräber gewisser Imperatoren gemacht und sollten 4 oder 6 Priestern dienen, und nicht einem ganzen Konvent wie hier. Ausserdem sind sie mit Mosaiken oder anderen kostbaren Verzierungen versehen, während man diese grosse Kuppel hier oberhalb der Kapellen komplett weiss und ohne irgendwelche Ornamente machen müsste; doch ohne Ausstattung, die man sich hier nicht leisten kann, wird sie karg und nackt aussehen.»³⁰ Aldobrandini stiess sich also an der mangelnden liturgischen Nutzbarkeit der Rotunde im Kontext der Bettelordenskirche mit ihren vielfältigen Funktionen. Er störte sich aber auch am zu erwartenden nüchternen Erscheinungsbild der quasi abstrakten Rotunde Albertis.³¹

Da der Gonzaga-Fürst jedoch nicht bereit war, erhebliche Mittel zum Abriss der Rotunde aufzuwenden, ohne dass damit eine rasche Vollendung der Kirche in greifbarere Nähe gerückt wäre, setzte sich das Michelozzo-Alberti-Konzept der überkuppelten Chorrotunde letztlich doch durch. 1476 konnte die pantheonartige Kuppel geschlossen werden. Die heutige barocke Innenausstattung der Kirche mit Marmor und Fresken hat den Innenraum allerdings komplett überformt, von der schlichten ursprünglichen Gliederung ist nichts mehr erhalten. Den Umbauarbeiten des 17. Jahrhunderts fiel

³⁰ Brief des Giovanni Aldobrandini an Lodovico Gonzaga, zit. nach der Quellenedition von Gaye, Giovanni: *Carteggio inedito d'artisti dei secoli XIV XV XVI*. Bd. 1. Florenz: Molini, 1839, S. 232: «Non di mancho chi lodasse questo doverse seguire, allegando che a Roma sono edifitii in questa forma, dico: quelli a Roma essere stati facti per ornamento di sepulture di quelli imperadori, et per essere ufficiati da 4 o 6 cappellani, et non per uno convento simile a questo. Da altra parte sono ornati quale di musaico, et quale daltre cose di grandissimo spendio, et se questa tribuna si facessi tucta bianca senza altri ornamenti dalle cappelle in su, parrà una cosa povera e spoglata, senza che questa chiesa mai più si potra acconciare.»

³¹ Heute ist der Innenraum mit einer barocken Dekoration versehen, so dass das ursprüngliche Erscheinungsbild nicht mehr nachvollzogen werden kann.

ausserdem die östliche Halbrundnische zum Opfer, die durch eine rechteckige Hauptaltarnische ersetzt wurde.

Für Alberti war es ein unerwarteter Glücksfall, dass ihm Michelozzos unvollendete Rotunde sozusagen in den Schoss gefallen war. Alberti hatte nämlich schon lange vom Bau eines neuen Pantheons geträumt. So hatte er für seinen Tempio Malatestiano in Rimini ebenfalls eine überkuppelte Chorrotunde konzipiert, die jedoch nie realisiert wurde; ebenso wenig kam seine halbkugelige Kuppel über der Vierung der Kirche San Sebastiano in Mantua je zur Ausführung. Bei der Annunziata-Kirche in Florenz bot sich ihm nun erstmals die Gelegenheit zur tatsächlichen Realisierung eines Baus in der Art des Pantheons. Die Kuppel hat innen eine fast perfekte Halbkugelform, und sie ist wie die antiken Vorbilder dickschalig und einschalig. Sie wurde wohl unzweifelhaft auf einem Lehrgerüst erstellt. Vielleicht handelt es sich um eine Backsteinschale, die sodann auf der Oberseite mit grobem, mörtelreichem Bruchsteinmauerwerk übermauert wurde.³² Sie nähert sich in der Machart also wirklich den römischen Kuppeln aus *opus caementicium* – mehr als irgend ein anderes Gewölbe dieser Zeit. Aussen führte Alberti die Umfassungsmauern der Rotunde über den Kuppelansatz deutlich nach oben weiter. Aus dem so gebildeten Mantel tritt nur die obere Hälfte der Kalotte hervor. Der untere Teil der Kalotte bildet wie beim Pantheon eine Verstärkung des Widerlagers der Kuppel; an der Annunziata ist diese Zone in Form radialer tonnengewölbter Kammern zwischen Strebemauern ausgeführt. Die Verbindung zwischen der Kirche und dem Rundbau wird durch einen grossen «Triumphbogen» in fast gesamter Breite und Höhe des Kirchenschiffes vermittelt. Trotz dieses grossartigen Zugangs steht die Rotunde als ein weitgehend abgekoppelter selbständiger Raum da. Die Schaffung eines Einheitsraums war weder beabsichtigt noch gar gelungen. Die Aussenwirkung der Kuppel ist ähnlich gering wie beim Pantheon in Rom. Trotzdem war die Kuppel der Annunziata wichtig als Vorbereitung für die Kuppelprojekte des folgenden Jahrhunderts. Man hatte bewiesen, dass auch ein neuzeitliches «Pantheon» möglich war.

Kirchen in Form eines Zentralbaus gewannen in der zweiten Hälfte des 15. und der ersten des 16. Jahrhunderts gewaltig an Bedeutung: In der Mitte des 16. Jahrhunderts konnte Sebastiano Serlio in seinem *Quinto Libro* sogar apodiktisch und unwidersprochen postulieren, der Rundbau sei die perfekte Form der Kirche!³³ Eine Chance zur Anwendung der Zentralbauidee bot sich bei speziellen Kirchenbauten, die nicht primär für die Feier der Messe für die gesamte Gemeinde konzipiert waren, sondern vorzugsweise anderen liturgischen Zwecken dienten. Traditionell hatte man zum Beispiel schon immer die Form des Zentralbaus gewählt, wenn man ein Baptisterium errichtete. Auch wenn heute jedes Baptisterium mit einem Hochaltar ausgestattet ist und prinzipiell die Messfeier ermöglicht, war dies nicht Bestandteil des originalen Konzepts des Baptisteriums: Es ist nicht primär Kirche, sondern Taufhaus, in dem sich die Gemeinde um den zentralen Taufbrunnen herum versammelt. Ähnlich wie beim Baptisterium stellt sich die liturgische Nutzung bei Bauten dar, die nicht primär der kollektiven Messfeier, sondern der individuellen Andacht dienen, also bei Wallfahrtskirchen, die einem Zustrom von Pilgern das Umrunden des durch ein Wunder geheiligten Ortes, des Grabes eines Heiligen oder eines wundertätigen Bildes ermöglichen sollen. Das Urbild der überkuppelten Rotunde an einem derartigen Wallfahrtsort stellt die spätantike Grabeskirche über dem Grab Jesu in Jerusalem dar. In der Spätantike waren zahlreiche «Martyrien» zum

³² Eine genaue Untersuchung der Kuppelschale wurde bisher nicht durchgeführt.

³³ Zit. nach Serlio 1600, S. 202: «Et perchè la forma tonda è la più perfetta di tutte le altre, io da quella comincierò.»

Gedenken an bedeutende Glaubenszeugen rund um deren Begräbnisstätte ebenfalls als Zentralbauten entstanden. Auf dieses Konzept griff man um die Wende vom 15. zum 16. Jahrhundert vermehrt zurück. Die meisten «perfekten» Kirchen in Zentralbauform sind Wallfahrtskirchen, die ausserhalb der Stadtmauern am Ort eines Mirakels entstanden.

Die am häufigsten gewählte Form des Zentralbaus bei Wallfahrtskirchen der Zeit von etwa 1480 bis etwa 1580 war allerdings nicht die Rotunde, sondern entweder das Oktogon oder das griechische Kreuz. Das griechische Kreuz ist ein Kreuz mit gleich langen Kreuzarmen. In der Renaissance waren diese Kreuzarme typischerweise tonnengewölbte einschiffige Räume. Die vier tonnengewölbten Arme treffen in einer quadratischen Vierung zusammen. Über dieser erhebt sich die Kuppel. Den Übergang vom Vierungsquadrat zum Achteck oder dem Rund der Kuppel vermitteln typischerweise nicht mehr die «altmodischen» Trompen, sondern Mauerwerkszwickel in Form eines sphärischen Dreiecks, sogenannte Pendentifs.³⁴ Die Last der Kuppel wird durch die vier Pendentifs auf die vier Eckpfeiler der Kuppel übertragen, jedoch auch von den vier grossen Hauptbögen unter der Kuppel aufgenommen. Damit diese Bögen unter der Last nicht nachgeben, müssen insbesondere Vorkehrungen zur Aufnahme des Bogenschubes vorgesehen werden. Beim griechischen Kreuz bilden die Umfassungswände der Kreuzarme wie bei Santa Maria delle Grazie al Calcinaio in Cortona natürliche Strebepfeiler für die vier Hauptbögen. Daher erfreute sich diese Grundrissform besonderer Beliebtheit.

Ein früher Bau auf Grundriss des griechischen Kreuzes ist die Wallfahrtskirche Santa Maria delle Carceri in Prato, die unter dem Patronat der Medici aus dem nahen Florenz errichtet wurde. Der von Giuliano da Sangallo entworfene Bau, der ab 1485 entstand, weist noch keine Tambourkuppel auf, sondern die Vierung wird von einer «cupola a creste e vele» nach Art Brunelleschis gedeckt.

Um etwa dieselbe Zeit (ca. 1480–1500) begann sich Leonardo da Vinci in Mailand mit Zentralbauideen zu beschäftigen. Er skizzierte zahlreiche Entwürfe von Kirchen mit zentraler Tambourkuppel. Typisch für Leonardos Entwürfe – die nie eine Chance auf Realisierung hatten – ist die Gruppierung mehrerer kleinerer Nebenkuppeln um die zentrale Hauptkuppel herum. Zur gleichen Zeit wie Leonardo stand auch Donato Bramante (1444–1514) in den Diensten der Sforza-Fürsten von Mailand. Möglicherweise konnte er dabei Leonardos Entwürfe kennenlernen. Bramante arbeitete in den Jahren zwischen 1482 und seiner Flucht aus Mailand 1499 (Übernahme der Herrschaft in der Stadt durch die Franzosen) an mehreren grossen Projekten, in denen Zentralbauideen und Kuppeln ebenfalls eine wichtige Rolle spielten (Santa Maria presso San Satiro, Santa Maria delle Grazie). Bramantes Mailänder Architektur fügte sich aber auch bruchlos in das Umfeld der dekorativ-kleinteiligen Backsteinarchitektur der lombardischen Frührenaissance. Bramantes Mailänder Kuppeln sind allesamt in ein «Tiburio» integriert, also in einen zylindrischen Mantel, und treten daher im Aussenbild der Bauwerke nicht hervor.

Bramante muss um das Jahr 1500 nach Rom gekommen sein, wo er die originalen antiken Ruinen kennenlernte. Zu seinen dortigen Erstlingswerken gehört der «Tempietto», den er ab 1502 bei San Pietro in Montorio in Rom errichtete. Diese kleine Kapelle, die die Stelle

³⁴ Vorbild dafür war die spätantike Hagia Sophia in Konstantinopel; jedoch erheben sich auch die Kuppeln von San Marco in Venedig (12. Jh.) und von Sant'Antonio in Padua (13. Jh.) über Pendentifs, das System war also durchaus bekannt, jedoch schwieriger auszuführen als die Trompen.

des Martyriums des heiligen Petrus bezeichnen soll, ist eine Ikone der Renaissance: der perfekte Rundbau, umgeben von einer Kolonnade mit geradem Architrav, gekrönt von einer einschaligen Kuppel, die innen wie aussen so nahe als möglich an die ideale Halbkugelform herankommt. Der Bau war auch in den Augen der Zeitgenossen so gelungen, dass er mit den besten Werken der Antike auf eine Stufe gestellt wurde. Gleichberechtigt bildeten Sebastiano Serlio (1540) und Andrea Palladio (1576) Bramantes Tempietto in ihren Architekturtraktaten neben den altrömischen Bauten ab. Er ist ein Muster vollendeter Klassizität. Die Wahl der «idealen Form» war hier möglich, weil der Tempietto ohnehin kaum dafür gedacht war, betreten zu werden oder einer Gemeinde Platz zu bieten, sondern vielmehr eine Art Denkmal bilden sollte, das den heiligen Ort markierte und in erster Linie aussen umschritten werden sollte. Laut Sebastiano Serlio 1540 sollte die Kapelle nach Bramantes ursprünglicher Entwurfsidee sogar inmitten eines konzentrischen kreisförmigen Kolonnadenhofes stehen, was ihren Denkmalcharakter weiter unterstrichen hätte.

Technisch hatte die Kuppel der Kapelle mit ihrem lichten Durchmesser von nur 4.56 m natürlich keinerlei Schwierigkeiten zu bieten. Der gesamte Bau besteht zu grossen Teilen aus Werkstein und mit Werkstein verkleidetem Ziegelmauerwerk. Es ist daher wahrscheinlich, dass auch die Kuppel aus Ziegeln hergestellt wurde. Sie hat heute eine disproportionierte Stärke von 66 cm am Kuppelansatz und 1.10 m am Scheitel, was jedoch darauf zurückzuführen ist, dass 1605 die ursprüngliche Kuppelschale durch eine Aufmauerung auf etwa doppelte Dicke verstärkt worden ist, um sie gegen Wasser abzudichten. Infolge dieser Aufmauerung aussen und der dicken Putzschichten innen ist es nicht möglich, den genauen Aufbau der Kuppel zu eruieren.

Zusammenfassung

Der reine Zentralbau nahm als Architekturform des Sakralbaus in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts einen Aufschwung. Auf der einen Seite stehen meist kleine Wallfahrtskirchen, auf der anderen Seite die erste neuzeitliche Realisierung eines «Pantheons» in Gestalt von Albertis überkuppelter Chorrotunde an Santissima Annunziata in Florenz. In einer Art «Denkmalarchitektur» wurde der Zentralbau in ikonischer Form von Bramante am Tempietto bei San Pietro in Montorio in Rom realisiert.

21. Planung und Baubeginn des neuen Petersdoms (1506–1546): von Bramante zu Antonio da Sangallo d. J.

Das bedeutendste Bauwerk des 16. Jahrhunderts überhaupt ist der Neubau des Petersdoms in Rom. An diesem monumentalen Bauwerk mit seiner über hundertjährigen Baugeschichte lassen sich fast alle Strömungen dieser Zeit ablesen.

Schon unter dem Pontifikat des Papstes Nikolas V. hatte man sich um die Mitte des 15. Jahrhunderts Gedanken um eine Erweiterung oder einen eingreifenden Umbau des Petersdoms gemacht. Die antike Säulenbasilika Konstantins war allmählich an ihre Grenzen gestossen und genügte auch nicht mehr den Ansprüchen an eine prunkvolle Liturgie im Petersdom, der mehr und mehr zum Zentrum und fokalen Punkt der katholischen Christenheit geworden war, während die eigentliche Bischofskirche von Rom, die Lateranskirche, zusehends an Bedeutung verloren hatte. Im Vordergrund der Planungen (damals unter Bernardo Rossellino) hatte die Anlage eines geräumigen Querhauses und eines langen Presbyteriums zur Aufnahme der Kanoniker von St. Peter gestanden. Die Vierung sollte von einer Vierungskuppel mehr oder weniger in der mittelalterlichen Traditionslinie überdeckt werden. Der Bau gedieh nie über die massiven Fundamente und nur wenige Meter darüber aufgehendes, extrem starkes Mauerwerk hinaus, so dass man bezüglich des Aufrisses auf Vermutungen angewiesen ist.

Bewegung in die Sache eines Neubaus des Petersdoms kam nach dem unglücklichen Intermezzo des Borgia-Papstes erst wieder unter Papst Julius II (Giuliano della Rovere, 1503–13 Papst). Von ihm erhielt Bramante den Auftrag zur Neubauplanung. Bramante zog in seinem ersten Entwurf die Synthese aus all den Zentralbau- und Kuppelideen, die in der italienischen Architektur um 1500 kursiert hatten. Der Petersdom an der Stelle des Grabes des heiligen Apostels Petrus bot den perfekten Anlass zum Entwurf eines «Martyriums» auf Grundlage einer Zentralbauidee, bei der das Petersgrab die Mitte eines Kuppelraums einnehmen würde. Mit seinen Werken in Rom markiert Bramante die kurze Epoche der «Hochrenaissance».

Der Kern des Konzeptes Bramantes bestand darin, über dem Petersgrab eine gigantische Kuppel zu errichten, die den Massstab einer «Vierungskuppel» bei weitem überschreiten sollte, die aber andererseits wie eine Vierungskuppel die «Vierung» zwischen einem tonnengewölbten Langhaus und einem ebenso tonnengewölbten Querschiff krönen sollte. In einer bekannten Anekdote schreibt man wahlweise Bramante oder auch Michelangelo die Aussage zu, dieser habe «das Pantheon auf den Friedenstempel (gemeint ist die Maxentiusbasilika in Rom) türmen»³⁵ wollen. Damit ist jedenfalls die Idee des Bramante-Entwurfes treffend charakterisiert: Die gigantische Kuppelrotunde des Pantheons mit ihrem dickwandigen zylindrischen Unterbau und ihrer dicken halbkugeligen Kuppelschale sollte sich über riesigen tonnengewölbten Kreuzarmen wie bei der Maxentiusbasilika oder bei Albertis Mantuaner Kirche Sant'Andrea erheben. Die Kuppel selbst sollte wie ein ins Gigantische gesteigerter Tempietto von San Pietro in Montorio in die Ferne wirken und gleichzeitig innen in einer Art Pantheon ausreichenden Platz für die Pilgermassen bieten. Es sollte also in monumentalem Massstab die Idee einer Wallfahrtskirche um einen heiligen Ort realisiert werden.

³⁵ z.B. bei Quatremere de Quincy, Encyclopédie méthodique: Architecture, Bd. 2, An IX (1800), Lemma «Dôme», S. 226: «élever dans l'église de Saint-Pierre le panthéon d'Agrippa sur les voûtes du temple de la paix».

Die Kuppelrotunde mit einem wahrhaft «klassischen» Durchmesser von mehr als 40 m wie beim Pantheon übertraf die Lichtweite der Kreuzarme bei weitem, obwohl man auch bei diesen mit 24 m Lichtweite denselben monumentalen Massstab wie bei der Maxentiusbasilika wählte. Daher plante Bramante keine überkuppelte quadratische «Vierung», sondern der Kuppelraum erhielt die Form eines Achtecks bzw. eines Quadrates mit abgeschrägten Ecken. Einerseits konnte so das freie «Auskragen» der Pendentifs («in falso») in den Kuppelraum hinein minimiert werden, da sich eine Kreisform besser in ein Achteck als in ein Quadrat einpassen lässt; andererseits gewann man in den Winkeln zwischen dem Kuppelraum und den Kreuzarmen Platz für massive Pfeiler, wie sie ja auch nötig waren, um das enorme Gewicht einer pantheonartigen Kuppel aufzunehmen.

Ein wichtiger zugehöriger Plan – wenn auch nicht die Ausführungsplanung –, den Bramante um 1505 sorgfältig auf Pergament zeichnete, hat sich bis heute erhalten (Uffizien Florenz, GDSU 1 A, der sogenannte «Pergamentplan»). Wie sich Bramante den Bau etwa vorstellte, kann man ausserdem aus einer Medaille entnehmen, die Julius II. zur bevorstehenden Grundsteinlegung prägen liess.

Schon der Grundriss auf dem Pergamentplan GDSU 1 A zeigt die charakteristische Form der Kuppelpfeiler und des Kuppelraums, die bis heute – trotz vielfacher Planänderungen – die Architektur des Petersdoms bestimmt: Die Pfeiler sind zum Kuppelraum hin diagonal angeschnitten und dort jeweils mit einer halbrunden Nische besetzt. Die Kuppel wird aber nicht allein von diesen vier Pfeilern gestützt. Vielmehr sind rings um die Kuppel herum acht Nebempfeiler gruppiert, die durch grosse tonnengewölbte Durchgänge mit den Hauptpfeilern verbunden sind und diese abstreben. Die Durchgänge führen zu vier in den Winkeln zwischen den Kreuzarmen angeordneten Nebenkuppeln, so dass sich insgesamt ein kompakter quadratischer Baublock ergibt, in den das griechische Kreuz eingeschrieben ist (in der italienischen Literatur als «Quincunx» bezeichnet, weil im Grundriss die fünf Kuppeln wie die Punkte der Fünf auf dem Würfel angeordnet sind). Die gewaltigen Fundamente Rossellinos wollte Bramante weitgehend mitbenützen. Im Plan GDSU 1 A sieht der Bramante-Plan sehr filigran und kleinteilig aus. Dies ist aber nur darauf zurückzuführen, dass die gewaltigen Mauern durch Kapellen und Räume in der Mauerstärke aufgelockert werden sollten, ohne die massive und stabile Grundstruktur grundsätzlich in Frage zu stellen.

In der Auseinandersetzung mit den Nutzungsanforderungen (es sollte auch ein geräumiges Presbyterium sowie eine Chorkapelle für das Grab Julius II. in den Neubau integriert werden) entwickelte Bramante das Projekt schrittweise weiter. In Konkurrenz zu ihm erhielt allerdings auch Giuliano da Sangallo vom Papst Planungsaufträge, wohl unter anderem deshalb, weil man Giuliano wegen der soeben vollendeten Kuppel von Loreto gewisse Erfahrungen mit solchen Grossprojekten zubilligen musste, während Bramante in statisch-konstruktiver Hinsicht als Maler sicher geringere Kenntnisse hatte. Aus der Interaktion der beiden Entwerfer ging ein Plan hervor, der nunmehr deutlich verstärkte Pfeiler für die grosse Kuppel vorsah und die Struktur der Nebenräume und Nebenkuppeln vereinfachte (Planzeichnungen GDSU 8 A von Giuliano da Sangallo und Bramante). Der Plan wurde also geklärt und strukturell verstärkt. Die Mitwirkung erfahrener Baupraktiker (wie zunächst Giuliano da Sangallo) sollte beim Petersdom auch im ganzen Rest des 16. Jahrhunderts eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen bleiben (Antonio di Pellegrino, Antonio da Sangallo d. J., Giacomo della Porta), da die

erfindungsreichen Entwürfe der Maler-Architekten wie Bramante oder Raffael nicht immer ohne weiteres statisch realisierbar waren.

Als man 1506 den Bau tatsächlich begann (Grundsteinlegung zum südwestlichen Kuppelpfeiler), hatte Bramante den grandiosen Zentralbauplan inzwischen durch ein Langhaus ergänzt (Planskizze GDSU 20 A, der definitive Bauplan Bramantes ist nicht erhalten).³⁶ Die Kuppelplanungen konkretisierten sich nun ebenfalls. Wie sich Bramante die Kuppel kurz vor seinem Tode vorstellte, das kann man aus Zeichnungen entnehmen, die Sebastiano Serlio 1540 im dritten Band seiner Architekturlehre veröffentlichte:³⁷ Sie sollte aussen von einer Säulenringhalle wie beim Tempietto umzogen werden. Auch nach innen hin sahen die Planungen eine ringförmige Säulenstellung vor, und anstelle von Fenstern sollte durch jeweils drei offene Säulenjoche Licht in den Kuppelraum strömen. Die Kuppel selbst sollte eine dicke, halbkugelförmige, kassettierte Schale nach Vorbild des Pantheons in Rom erhalten – sogar einschliesslich des stufenförmigen Kuppelansatzes aussen. Das Kuppelauge sollte eine grosse Laterne tragen. Aus statischer Sicht kann man heute sagen, dass die Planung sich in dieser Form sicher nicht hätte umsetzen lassen, weil trotz der mächtigen Abmessungen der Pfeiler und Tonnengewölbe Bramantes die Kuppel viel zu schwer für den Unterbau geworden wäre, wenngleich sie in sich wohl ausreichend dimensioniert war. Trotzdem fand Bramantes Entwurf – auch dank Serlios Veröffentlichung – weithin Beachtung und setzte bis ins 18. Jahrhundert Massstäbe für spätere Kuppelbauten (London, St. Paul's; Paris, Panthéon).

1511 war der als Presbyterium und geplante Kapelle für das Grabmal Julius II gedachte westliche Kreuzarm der Peterskirche weitgehend fertig (bis auf das Gewölbe). Auch die vier Kuppelpfeiler mit den sie verbindenden Hauptbögen standen. Ihre Errichtung hatte massgeblich Antonio da Sangallo ermöglicht, der 1510 die Lehrgerüste zu den 24 m weit gespannten kassettierten Tonnengewölben entworfen und realisiert hatte und damit alle vorausgehenden und nachfolgenden Tonnengewölbe der Neuzeit in den Schatten gestellt hatte. Das Projekt stockte dann allerdings und kam mit dem Tod des Papstes Julius II. und Bramantes fast ganz zum Erliegen. Man hatte aber schon einen grossen Teil der antiken Peterskirche abgerissen, und Bramante hatte ganz kurz vor seinem Tod noch einen provisorischen Schutzbau («tegurium») über der Stelle des Petersgrabes errichtet, da dieses sonst den Unbilden der Witterung ausgesetzt gewesen wäre.

Gebaut wurde Bramantes Kuppel also nicht; es gab aber auch kein Zurück mehr, da die alte Peterskirche schon weitgehend ruiniert war. Unter den Medici-Päpsten Leo X. und vor allem Clemens VII. wurden daher die Anstrengungen zum Weiterbau am Petersdom mit der intensivierten Suche nach Geldquellen fortgesetzt. Die damals initiierten, erfolgreich europaweit «vermarkteten» Ablässe zur Finanzierung des Riesenbaus brachten zwar die erwünschten Geldflüsse, waren aber auch einer der letzten Tropfen, die das schon volle Fass des Verdrusses über Rom zum Überlaufen brachten und zum Siegeszug der Reformation jenseits der Alpen beitrugen. Leo X. (Giovanni de' Medici, Papst 1513–21) dachte trotzdem zunächst an noch gigantischere und prächtigere Varianten des Neubauprojektes. Verschiedene Architekten reichten neue, erweiterte Pläne ein – Fra Giocondo, Raffael. Am Bau selbst geschah während dieser unruhigen Jahre der nördlich der Alpen um sich greifenden Reformation allerdings vorerst wenig.

³⁶ Letztlich ist nicht absolut sicher, ob nicht auch schon GDSU 1 A ein Langhaus vorgesehen hatte, denn der Plan zeigt nur den halben Grundriss.

³⁷ Serlio, Sebastiano: Il terzo libro. Venedig: Francesco Marcalino, 1540, S. 45–50.

Nach dem «Sacco di Roma», der Plünderung Roms durch die Landsknechte des deutschen Kaisers im Jahre 1527, kam die Bautätigkeit am neuen Petersdom vorerst zum Stillstand. Der Bau machte trotz vielfältiger Anstrengungen nur noch langsame Fortschritte. Zeichnungen aus den 1530er Jahren, z.B. von Maarten van Heemskerck, geben eine Vorstellung von der eindrucksvollen, an antike Monumente erinnernden Bauruine, die in diesen Jahrzehnten hinter dem Torso der teilweise abgerissenen alten Peterskirche auftrugte.

1534 wurde Alessandro Farnese als Paul III. zum Papst gekrönt, und es kam wieder Bewegung in das Projekt. Paul III. war derjenige Papst, der die Gegenreformation einleitete und das Konzil von Trient einberief. Der Petersdom sollte nunmehr zum Monument der selbstbewussten Gegenwehr Roms gegen die Reformation werden. Während der langjährigen faktischen Bauunterbrechung am Petersdom war dessen massgeblicher «Techniker» Antonio da Sangallo d. J. inzwischen der Architekt der Farnese geworden und hatte für diese zahlreiche Bauten im nördlichen Latium errichtet. Mit dem neugewählten Farnese-Papst kam Antonio da Sangallo d. J. an den Petersdom zurück und wurde für zwölf Jahre dessen leitender Baumeister. Er erstellte sofort zahlreiche detaillierte Pläne für den Weiterbau und liess sogar 1539–46 durch Antonio Labacco ein riesiges (Massstab 1:30), bis heute erhaltenes Holzmodell zu seinem letzten Entwurf erstellen. Sangallos aktualisierte Petersdom-Planung sah eine weitgehende Rückkehr zu einem Zentralbau-Projekt vor, mit einer nur lose angebundenen zweitürmigen Fassade und Apsiden mit umlaufenden, zweistöckigen Umgängen. In Sangallos Planung sollte die Petersdomkuppel immer noch als dickschalige kassettierte Kuppel nach Vorbild des Pantheons ausgeführt werden, allerdings mit zugespitztem Profil des Inneren. Wahrscheinlich plante Antonio da Sangallo d. J. eine Ausführung in Bruchstein nach Vorbild des römischen *opus caementicium*, da anders die immensen Wandstärken gar nicht realisierbar gewesen wären. Antonio da Sangallo wollte die für eine solche Kuppel notwendige Sicherheit des Widerlagers durch zunächst eine, später sogar durch zwei übereinander angeordnete, nach aussen geöffnete Bogengalerien am Tambour bzw. am Kuppelansatz sicherstellen. Diese wären aussen durch Halbsäulenvorlagen gegliedert worden, so dass Sangallo gewissermassen nicht das Pantheon, sondern vielmehr das Kolosseum auf die Maxentiusbasilika gestellt hätte. Bramantes architektonisch zentrale Idee der äusseren Säulenhalle wurde also statischen Überlegungen geopfert.

Da das Modell Antonios da Sangallo d. J. und Labaccos durch Kupferstiche von Antonio Salamanca veröffentlicht wurde, die durch den Verleger Lafreri in ganz Europa vertrieben wurden, konnte es auch ausserhalb Roms eine erhebliche Wirkung entfalten. Am Petersdom selbst konnte sich Sangallo bis zu seinem Tod 1546 hingegen nicht mit nennenswerten Bauteilen verewigen, sieht man von den freihändig in «Spinapesce» ausgeführten Kuppeln der «Ottagoni» (vom Innenraum unsichtbare kleinere Kuppelräume im Obergeschoss des Petersdoms, über den acht Tonnengewölben zwischen den Kuppel- und Nebenpfeilern rings um die Hauptkuppel) einmal ab. Zu den Apsiden mit den zugehörigen Bauteilen legte Sangallo zum Teil die Fundamente und begann auch mit dem aufgehenden Mauerwerk, doch wurden diese Teile unter Michelangelo später wieder abgerissen. Erst mit Michelangelos Auftreten machte der Bau ab 1. Januar 1547 wieder wesentliche neue Fortschritte.

Zusammenfassung

Das originale Konzept des neuen Petersdoms (begonnen 1506) wurde von Donato Bramante entwickelt. Der Dom wurde dabei als gigantischer Kuppelraum im Schnittpunkt

tonnengewölbter Schiffe konzipiert. Die zentrale Kuppel sollte dem Vorbild des Pantheons folgen und sich nach aussen als eine monumentale Version des Tempietto präsentieren. Vier Nebenkuppeln sollten die Hauptkuppel umgeben («Quincunx»). Realisiert wurden zunächst zu Bramantes Lebenszeit vorwiegend die vier Kuppelpfeiler und die sie verbindenden kassettierten Tonnengewölbe mit 24 m Spannweite. Unter Bramantes Mitarbeiter und späterem Nachfolger Antonio da Sangallo d. J. wurde das Konzept des riesigen Zentralbaus mit Pantheon-Kuppel weiter ausgearbeitet und den technischen Möglichkeiten angepasst, ohne dass den jahrzehntelangen Projekten ein entsprechender nennenswerter Baufortschritt entsprochen hätte. Durch die Visualisierung in Modell und Kupferstich konnte Sangallos Version des Petersdoms trotzdem signifikanten Einfluss entfalten.

22. Die bastionierte Festung und ihre Blütephase (1500–1700)

Zu den architektonischen Elementen, die das Stadt- und Landschaftsbild der frühen Neuzeit in Europa und weltweit in den europäischen Kolonien prägen sollten, zählten nicht nur die Sakralbauten und die herrschaftlichen Wohnsitze, sondern ganz besonders auch die militärischen Bauten. Wie schon im Epochenüberblick zur Renaissance erläutert, veränderte der Einsatz von Feuerwaffen schon am Beginn des 15. Jahrhunderts die militärische Situation grundlegend, und im ganzen Jahrhundert entwickelten sich die neuen Waffen rasant fort. Diese Entwicklung entwertete innerhalb kürzester Zeit die mittelalterlichen Burgen und Stadtbefestigungen.

Angriff und Verteidigung waren im Mittelalter auf den «Nahkampf» konzentriert gewesen: Städte und Burgen waren durch Ringmauern umgeben, die das unerwünschte Eindringen des Feindes verhindern sollten. Diese aus Steinblöcken erstellten Mauern mussten ausreichend hoch sein, um ein Überklettern oder Überwinden mittels Leitern zu verhindern: Je höher, desto besser. Eine Annäherung des Feindes versuchten Armbrust- und Pfeilschützen von einem auf der Mauerkrone verlaufenden gedeckten Wehrgang aus zu verhindern; von hohen Ecktürmen aus spähte man in die Ferne und versuchte einen sich nähernden Feind ebenfalls mit einfachen Handwaffen zu vertreiben. Die Reichweite dieser Waffen war aber gering. Gelangte der Feind bis an den Mauerfuss, wurde er von der Mauerkrone aus mit heissem Pech oder anderem Material beworfen. Der Angreifer versuchte entweder heimlich in der Nacht mit Hilfe rollender Belagerungstürme die Mauern zu überwinden, oder er brachte einen gedeckten Rammbock so nahe an den Fuss der Mauer, dass er eine Bresche schlagen und ebenen Fusses einmarschieren konnte. Aus der Ferne konnte der Belagerer allenfalls mit Wurfmaschinen («trebuchet», «Blide») die Besatzung der Festung behelligen; diese Katapulte hatten aber nur eine geringe Reichweite und Zielgenauigkeit.

Mit den Feuerwaffen konnte der Angreifer schon aus grösserer Entfernung die Festungsmauern beschiessen und zum Einsturz bringen, ohne dass die Verteidiger ihm gefährlich werden konnten. Es galt somit, den Feind in einer mehrstufigen Verteidigungsstrategie möglichst schon im weiteren Umfeld der Festung abzuhalten. Für die Verteidigung war es notwendig, ebenfalls schwere Kanonen auf der Verteidigungsanlage zu platzieren, um das Brescheschiessen zu verhindern. Es lag daher zunächst nahe, die Türme derart auszubauen, dass auf deren oberster Plattform Kanonen aufgestellt werden konnten – es entstanden die sogenannten «Bollwerke», meist runde, niedrige Türme. War der Feind aber doch in die unmittelbare Nähe der Festung gelangt, nützten diese Kanonen auf den Bollwerksplattformen nichts mehr, da man mit den Kanonen nicht direkt nach unten auf den Mauerfuss schießen konnte. Wünschenswert war es in dieser Situation, nahe am Boden Kanonen in einer geschützten Stellung einzurichten, die das unmittelbare Vorfeld der Mauer parallel zu deren Verlauf bestreichen konnten. Die Bedeutung des orthogonal zur Verteidigungsanlage nach aussen gerichteten Schiessens trat also gegenüber der sogenannten «Flankierung» der Mauer zurück. Natürlich hätte man in den unteren Stockwerken der Bollwerke Kanonen aufstellen und dann die Mauer durch Schiessscharten direkt flankierend bestreichen können. Diese Lösung litt aber unter zwei Nachteilen: Zum einen bleiben bei runden Bollwerken immer «tote Winkel», die man von der Verteidigungsanlage weder einsehen noch direkt anzielen kann; zum anderen erzeugten die neuen Kanonen einen gewaltigen giftigen Pulverdampf. Dieser zog aus den Innenräumen im Erdgeschoss des Bollwerkes nur langsam ab und schadete der Besatzung mehr als dem Angreifer. Eine Lösung bestand

darin, die Kanonen nicht in Innenräumen, sondern in nach oben offenen Höfen aufzustellen, die gegen die Angriffsseite hin durch einen ausreichend starken Mauerschild abgeschirmt waren. Von hier aus konnte man die wünschenswerten «rasanten» Schüsse (d.h. dicht über dem Erdboden) abfeuern.

Aus diesen Randbedingungen entstand die «bastionierte Festung», die typische Form der Festung vom ausgehenden 15. Jahrhundert bis zum frühen 19. Jahrhundert: Es handelt sich um eine Festung, die durch lange, gerade Mauerzüge («Kurtinen») umgeben ist, die nach aussen hin stumpfwinklige Ecken ausbilden. Den Ecken sind ebenso stumpfwinklige, niedrige Mauermassive vorgelagert («Bastionen»), die jeweils durch zwei starke Mauerschilde («Facen») gebildet werden. In deren Schutz sind die Höfe («Flankenhöfe») für die Kanonen angeordnet, die zur Flankierung des jeweils anschliessenden Kurtinenabschnitts dienen. Die Kanoniere im Flankenhof müssen die gesamte Strecke bis zur Spitze der nächsten Bastion mit ihrem Feuer bestreichen können. Jede Bastion schützt die beiden angrenzenden Kurtinen und die beiden benachbarten Bastionen, sich selbst kann sie hingegen nicht direkt verteidigen, sondern ist durch die flankierende Verteidigung von den beiden Nachbarbastionen aus angewiesen. Der Abstand der Bastionen bzw. die Länge der Kurtinen war durch die Reichweite der Kanonen vorgegeben. Die Reichweiten wuchsen laufend und können gegen Anfang des 16. Jahrhunderts mit gut 100 m angenommen werden. Sie nahmen im 16. und 17. Jahrhundert kontinuierlich bis auf über 300 m zu. Die Bastionen und Kurtinen lösten die mittelalterlichen Türme und die Bollwerke ab. Um den Feind schon in grösserer Ferne attackieren zu können, stellte man natürlich weiterhin oben auf den Bastionen (bzw. auf einem eigens dort errichteten, zusätzlichen Turm, «Kavalier», ab 16. Jh.) Kanonen auf, die aber geringere verteidigungstechnische Bedeutung hatten. Zum Kernstück der Verteidigungsstrategie wurde hingegen die «Flankierung».

Der Angreifer passte selbstverständlich ebenfalls seine Methoden an die neue Situation an und versuchte nunmehr, schon im Vorfeld der Festung («Glacis») in den Untergrund abzutauchen und sich dem Fuss der Festungswälle in zickzackförmig geführten Schützengräben und – im unmittelbaren Nahfeld – durch Stollen zu nähern. Die «Sappeure», die diese Grabarbeiten leisteten, verfolgten das Ziel, die Festungswälle schliesslich mit einem Stollen zu untergraben und dann von dort aus mit einem Sprengsatz in die Luft zu jagen («Unterminieren»). Um diesen Angriff möglichst schwierig zu machen, versah man die Festungswälle mit nassen Gräben (Wassergräben), unterirdischen Schutzschirmen durch gerammte Pfähle und mit Kontrollgängen in der Nähe des Mauerfusses, von denen aus man eventuelle Tunnelarbeiten rechtzeitig entdecken konnte. Das Prinzip der «Flankierung» mit den in den Eckbastionen konzentrierten Geschützen hatte aus Sicht der Verteidiger den unschätzbaren Vorteil, dass man viel weniger Geschütze und Bedienpersonal benötigte, als man gebraucht hätte, wenn man «perpendikulär» von dem ganzen Wallverlauf in das Feld hinaus hätte feuern wollen. Allerdings musste man wegen der geringen Möglichkeiten, den Feind durch Beschuss schon weit im Vorfeld abzufangen, die Annäherung an die Festung selbst möglichst gefährlich und schwierig machen. Diesem Zweck dienten aussenliegende zusätzliche Verteidigungsanlagen wie Palisaden im Vorfeld auf dem Glacis. Auf diese Weise konnte man auch wirkungsvoll verhindern, dass der Feind mit Mörsern parabolische Schüsse mit Bomben in das Innere der Festung absetzte.

Die Mauern der Bastionen und Kurtinen wurden konstruktiv so ausgebildet, dass sie einem direkten frontalen Brescheschiessen möglichst lange widerstanden: Im Grundsatz

handelt es sich um Erdwerke, die auf der Feldseite (feindliche Seite) durch Futtermauern (leicht gegen die Erdschüttung geneigte Stützmauern) bekleidet sind. Die Erdwälle lösten die mittelalterlichen Mauern ab. Die Erdschüttung bewirkte, dass eintreffende Projektile einfach im Wall steckenblieben, ohne gravierenden Schaden anzurichten. Die Höhe der Wälle reduzierte sich gegenüber mittelalterlichen Festungen drastisch. Im Idealfall hob sich die Festung aus der Ferne in der Silhouette gar nicht von ihrem sanft ansteigend terrassierten Umfeld («Glacis») ab und entzog sich so dem direkten Beschuss aus der Ferne. Um mögliche Schäden infolge «Bombardierung» durch parabolische Schüsse zu vermeiden, wurden im Inneren des massiven Erdkörpers der Bastionen oft erdüberdeckte, gewölbte «bombensichere» Räume, sogenannte «Kasematten», untergebracht, die z.B. zur Lagerung kritischer Vorräte wie Schiesspulver dienen konnten. Die breiten und niedrigen Erdwälle ermöglichten den Transport der Kanonen auf die Wälle und Bastionen über Rampen auf der Stadtseite und die rasche Verlegung der Artillerie innerhalb der Festung.

Im 16. und 17. Jahrhundert baute man in manchen Gegenden sogar Festungen als reine Erdwerke (vor allem in den Niederlanden). Der Bau solcher Erdwerke ermöglichte den massiven Einsatz geringqualifizierter Arbeiter (Soldaten, Häftlinge usw.) und brachte somit einen ganz neuen Aspekt in das Bauwesen, der der Spezialisierung und der Herausbildung der Berufsgruppe des «Ingenieurs» Vorschub leistete. Unter der Bezeichnung «Ingenieur» verstand man bis ins 18. Jahrhundert vorwiegend den (leitenden) Festungsbaumeister. Die grossen Erdbewegungen der frühneuzeitlichen Festungsbauwerke wurden erst im 19. Jahrhundert durch den Eisenbahnbau übertroffen. Manche Technologien, die im Festungsbau entwickelt worden waren, wurden im Eisenbahnbau wieder aufgegriffen, vor allem im Maschineneinsatz zum Erdtransport.

Die «bastionierte» Festung wurde für das 16.-18. Jahrhundert stadtbild- und landschaftsprägend. Sie entstand im Verlaufe des 15. Jahrhunderts schrittweise in Italien. Erste Schritte hin zu den neuen Festungssystemen unternahm man im 15. Jahrhundert an Festungen wie jenen in Ostia (1483–86), der päpstlichen Engelsburg in Rom (1495–98) und verschiedenen Stadtbefestigungen an der Adriaküste in den Marken sowie in der Toskana in Poggio Imperiale (ab 1488). Zu den frühesten Festungen, die die neuen Prinzipien des Festungsbaus in Reinkultur zeigten, gehörte sodann die «Fortezza da Basso» genannte Zitadelle in Florenz (erbaut 1534–37), an der Antonio da Sangallo d. J. massgeblich beteiligt war. Das System der Flankierung und der Bastionen führte automatisch dazu, dass die «ideale Festung» die Form eines regulären Polygons mit pfeilförmig nach aussen vorstossenden Eckbastionen annahm (so die Fortezza da Basso). Reine vier- bis neuneckige, regulär polygonale Festungsanlagen wurden in der Realität vor allem bei Zitadellen (Rückzugsfestungen, z.B. Spandau oder Wülzburg bei Weissenburg in Bayern, 16. Jh.) und Neuanlagen ganzer Städte realisiert (z.B. Palmanova im Friaul, Ende 16. Jh.). Die ältesten Entwürfe solcher durch die militärischen Erfordernisse «regulierter» polygonaler Stadtanlagen entstanden schon im späten 15. Jahrhundert (Filarete, Francesco di Giorgio Martini).

Im 16. Jahrhundert gab der allgegenwärtige Festungsbau Anlass zum Erscheinen erster gedruckter «Lehrbücher» zu diesem Teilaspekt der Architektur. Diese Fortifikationsbücher erläuterten den Vorteil der flankierenden Verteidigung und der bastionären Polygonalfestung, vor allem aber die Wahl der vermeintlich optimalen Grundrissgeometrie (Anzahl der Polygonecken, Winkel der Bastionsfacen, usw.). Baupraktische Hinweise wie Erläuterungen zur Konstruktion oder den einzusetzenden

Baumaschinen sind hingegen selten. Die herausragendsten und auch technisch ergiebigsten Festungstraktate des 16. Jahrhunderts sind jene von Buonaiuto Lorini (gedruckt 1597 und 1609), der auch an dem Bau der venezianischen Festungs- und Idealstadt Palmanova beteiligt war, und von Daniel Specklin aus Strassburg (Erstausgabe 1589). Während Lorinis Buch durch die direkten Bezüge zur Mechanik des ausgehenden 16. und frühen 17. Jahrhunderts herausragt (Guidobaldo del Monte, Galileo Galilei), zeichnet sich Specklins Buch durch souveräne Beherrschung der Geometrie, Vermessungskunst und Perspektive aus. Im 17. Jahrhundert explodierte die Produktion von Festungstraktaten, die eine Vielzahl sogenannter «Manieren» vorführten – die Wahl und vermeintlich unschlagbare «mathematische» Begründung der «optimalen» Festungsgeometrie. Diese Traktate entfernten sich teils weit von den praktischen Erfordernissen und wurden zunehmend zu einer eher akademischen Spielerei. Nur wenige Festungstraktate des 17. Jahrhunderts bieten noch eine erfrischende Praxisnähe und konkrete Vorschläge zur architektonischen Gestaltung der Hauptbauwerke der Festung (Tore, Kommandantur, usw.). Besonders hervorzuheben ist hier die «Peribologia» (d.h. «Lehre des Mauerbaus») des Frankfurter Festungsbaumeisters Johann Wilhelm Dilich (erschienen 1640). Der unglaubliche «Boom» des Baus polygonaler bastionärer Festungen und der zugehörigen Traktatproduktion im 16. und 17. Jahrhundert ging einher mit einer Perfektion von Architekturdarstellung in Vogelperspektive, da die flach in die Landschaft geduckten Festungen eigentlich nur auf diese Weise visuell erfassbar waren (meisterhafte Beispiele schon in Specklins Buch), und mit einem bedeutenden Aufstieg der Mathematik zu einer Leitwissenschaft des Bauwesens, da die komplexen Festungsanlagen nicht ohne Vermessungsexperten wie Daniel Specklin und nicht ohne die präzisen Winkelmessgeräte der sogenannten «Instrumentenmacher» gebaut werden konnten, die zumeist in engem Austausch mit führenden Mathematikern ihrer Zeit standen.

In den Augen der Zeitgenossen entwickelte sich die Festungsarchitektur vor allem im 17. Jahrhundert rasant weiter. Neben den unüberschaubar vielen verschiedenen neuen «Manieren», die im Druck erschienen, kamen auch noch neue Typen von Verteidigungsanlagen dazu, zum Beispiel die «Ravelins» (Halbmonde) zum Schutz von Toren, die im Graben liegenden «Tenailen» (Grabenscheren) zur zusätzlichen Verstärkung der immer länger werdenden Kurtinen, usw. Ohne ganz genaues Hinsehen unterscheiden sich aus heutiger Sicht aber die Festungen der verschiedenen «Schulen» und Experten nur wenig voneinander. Viel bedeutender ist aus heutiger architektur- und baugeschichtlicher Sicht der prägende Einfluss, den die raumgreifenden Festungsanlagen auf die Stadtentwicklung hatten. Auch wenn die Renaissance- und Barockfestungen zumeist im 19. Jahrhundert aufgegeben und geschleift wurden (zum Beispiel in Zürich), so blieben doch die durch die bastionäre Befestigung vorgegebenen geometrischen Grundstrukturen vielfach bis heute ablesbar – auch jenseits der bis heute erhaltenen berühmten Festungen des 16. Jahrhunderts wie Ferrara und Lucca oder des 17. Jahrhunderts in Frankreich (Marquis Sébastien le Prêtre de Vauban, u.a. Neuf-Brisach). Die grossräumige axiale und geometrisch geordnete Planung der befestigten Städte bereitete der Stadtbaukunst des Absolutismus den Weg (17./18. Jh.) und griff auch auf zivile Stadtanlagen über, bei denen der Verteidigungsaspekt nicht dominierte (Versailles, Karlsruhe).

Zusammenfassung

Die aufgrund der Verbreitung der Feuerwaffen im späten 15. Jahrhundert entstandene bastionäre Festung, die auf dem Prinzip der Verteidigung durch flankierendes Feuer

beruht, prägte fast in der gesamten Frühen Neuzeit die Stadt und führte zu deren geometrischer Ordnung, zum Beispiel in Form regulärer Polygone. Die bastionäre Festung besteht wesentlich aus Erdwerken oder aus Mauerwerkskörpern mit Erdfüllung und brachte daher bautechnisch ganz neue Herausforderungen der Massenbewegung und Logistik mit sich. Der Glaube an die Möglichkeit einer mathematischen Optimierung der Festung brachte das Bauwesen in Kontakt zur zeitgenössischen Mathematik und führte zur Entstehung des neuen Berufsstandes des Ingenieurs=Festungsbaumeisters. Diese neue Berufsgruppe zeichnete sich auch durch die Produktion einer umfangreichen Fachliteratur aus, die bedeutende Werke der frühen Technikwissenschaft wie die Traktate von Lorini und Specklin umfasst.

23. Im Bann Bramantes: Kuppeln 1500–1550

Bramantes Entwürfe zum Petersdom blieben nicht ohne Wirkung auf kleinere Projekte. Die allgemeine Idee vom Zentralbau als perfektem Kirchenbau führte zu weiteren Bauten, die heute die Architektur der Hochrenaissance für uns geradezu idealtypisch verkörpern. Die wichtigsten von ihnen sind die Wallfahrtskirche Santa Maria della Consolazione vor den Mauern von Todi in Umbrien und die Wallfahrtskirche Madonna di San Biagio bei Montepulciano in der Südtoskana. Beide Bauten stehen – ähnlich wie schon Santa Maria delle Grazie al Calcinaio in Cortona – ausserhalb der Stadtmauern und unterhalb der Siedlung am Hang und bestimmen mit ihren hohen Kuppeln das ganze Umland. Während die Kirche in Todi den Grundriss eines «vierblättrigen Kleeblattes» (Tetrakonchos wie bei der antiken Kirche San Lorenzo in Mailand) aufweist, nimmt die Kirche in Montepulciano das griechische Kreuz von Santa Maria delle Carceri in Prato wieder auf. Beide Bauten verdienen eine eigene Würdigung als Fallbeispiele.

Der Entwurf zur Kirche Santa Maria della Consolazione bei Todi wird manchmal dem direkten Bramante-Umkreis zugerechnet. Die eigentliche Urheberschaft des Planes ist aber unbekannt. Für die Ausführung vor Ort war ein gewisser Cola di Caprarola zuständig, dem man eher die Rolle des Bauunternehmers als jene des Entwerfers zuweisen wird. Von drei (noch nicht vier) Apsiden ist zuerst 1509 die Rede. So richtig kam der Bau aber erst nach 1512 in Gang, vielleicht auch erst jetzt mit der Planung als vierblättriges Kleeblatt oder genauer gesagt als Quadrat mit vier direkt anschliessenden Apsiden. Während des weiteren 16. Jahrhunderts gaben zahlreiche bekannte Architekten Empfehlungen zum Weiterbau ab (Peruzzi, Sangallo d. J., Vignola, Alessi, Scalza). Die Kuppel wurde gar erst 1606 errichtet. Sie war sicher nicht von Anfang an in der nun ausgeführten Form geplant; es gibt sogar Anzeichen, dass man anfangs das Mittelquadrat der Kirche lediglich mit einem Kreuzgewölbe überdecken wollte. Trotz dieser wechselvollen Geschichte wirkt der Bau heute fast wie aus einem Guss. Sehr raffiniert – und ganz anders als bei Bramantes Petersdom-Plan – ist die Stützung der Kuppel gelöst: In den Winkeln zwischen den Apsiden sind sehr starke, sechseckige Pfeiler angeordnet, deren Massivität hier kaum ins Auge fällt, weil sie einfach die Zwickel zwischen den vier Apsiden etwas «ausrunden». Diese starken Pfeiler nehmen den Schub der Vierungsbögen auf. Zusätzlich wurden schon 1539 in den Vierungsbögen eiserne Anker eingebaut. Die hohe Tambourkuppel steht auf einem kubischen Unterbau, der oben mit einer horizontalen Plattform abschliesst – eine Lösung, die entfernt an die Kuppeln der mittelalterlichen Markusbasilika in Venedig erinnert. Die Details des Kuppelunterbaus und der Kuppel selbst wurden aller Wahrscheinlichkeit erst im späten 16. Jahrhundert nach dem Vorbild der inzwischen fertiggestellten Kuppeln von Madonna di San Biagio in Montepulciano und der Kirchen Giacomo della Portas und Domenico Fontanas in Rom fixiert. Trotz der vielen Beteiligten und der langen Bauzeit präsentiert sich die Kirche heute dennoch als eines der unvergesslichen «Idealbilder» eines zentral organisierten Kirchenbaus der Hochrenaissance, ganz besonders auch mit der Einbettung in die Landschaft (die Kirche steht etwas unterhalb und ausserhalb der Stadt Todi auf einem Plateau, von dem aus man die ganze umgebende Landschaft überblicken kann).

Die Wallfahrtskirche Madonna di San Biagio ausserhalb von Montepulciano in der Südtoskana ist schon deswegen von besonderem Interesse, weil sie als einzigster grösserer Kuppelbau der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts entworfen wurde und auch komplett nach einheitlichem Plan vollendet werden konnte. Sie wurde in den Jahren 1518–43 geplant und errichtet unter Leitung von Antonio da Sangallo dem Älteren, dem Onkel des

Petersdom-Baumeisters Antonio da Sangallo d. J. Sie ist der einzige bedeutende Kirchenbau des Architekten, der sonst mehr im Festungs- und Profanbau tätig war.

Die Kirche in Montepulciano steht in ihrer «idealen» Gestalt in Form eines griechischen Kreuzes ebenbürtig neben Bramantes Tempietto und der Consolazione-Kirche in Todi. Im Grundriss gleicht sie auf den ersten Blick der Kirche Santa Maria delle Carceri in Prato, die vom Bruder Antonios d. Ä., Giuliano da Sangallo, entworfen worden war. In Aufriss und Konstruktion ergeben sich jedoch wesentliche Unterschiede zu dem älteren Bau aus dem Umstand, dass die Vierung nicht von einer durch ein «tiburio» stabilisierten «cupola a creste e vele», sondern von einer echten, freistehenden, aussen fast halbkugelförmigen, innen zugespitzten Tambourkuppel gekrönt wird. Tambour und Kuppel wurden noch von Antonio da Sangallo d. Ä. 1533 geplant und in einem Modell dargestellt, während die Ausführung dann erst nach seinem Tod erfolgte (bis 1543).

Das Innere der Kirche wird durch eine kolossale dorische Ordnung gegliedert: Sie besteht an allen Ecken des Baus aus quadratischen Pfeilern, neben denen jeweils Dreiviertelsäulen angeordnet sind. Diese Anordnung von Pfeilern («colonne quadrate») und normalen Säulen direkt nebeneinander ist die nach innen gewendete Architektur einer Aussenfassade. Sie konnte sich auf ein antikes Vorbild berufen, nämlich auf einen (heute weitgehend verschwundenen) Rest der Basilica Aemilia auf dem Forum in Rom, den unter anderem Antonios Bruder Giuliano detailliert aufgemessen und gezeichnet hatte.³⁸ Durch diese Kombination von quadratischen Pfeilern und Dreiviertelsäulen entstehen an den vier Ecken des etwa 12 m weiten Kuppelraums mächtige, auch statisch sehr wirksame Stützen, die die über sphärischen Pendentifs angeordnete Kuppel tragen. Die Anregung zur Anwendung der Kolossalordnung im Inneren kam sicher von Bramantes Petersdom, in der Ausführung mit den quadratischen Pfeilern und fast vollrunden Säulen ist die Lösung von Montepulciano hingegen neu, in der Funktion, dass die – aus Werkstein bestehenden – Säulen die Kuppel nicht nur optisch, sondern tatsächlich tragen, sogar fast einmalig. Die «Quincunx» Bramantes wurde mit dieser Anordnung auf das zentrale griechische Kreuz reduziert, wobei die als Strebebögen wirksamen Blendarkaden zwischen den Eckpfeilern noch an die Durchgänge zu den Nebenräumen am Petersdom erinnern. Die Kuppel ist mit dem grössten Teil ihres hohen Tambours in einen kubischen Mauerwerksblock eingebettet, der oben – wie in Todi – horizontal abgeschlossen ist. Der 16-seitige Tambour ist innen und aussen mit einfachen Pilastern besetzt und weist nur in den Hauptachsen vier recht kleine Fenster auf, während die anderen Interkolumnien nur durch Nischen ausgehöhlt sind. Das Verhältnis der Mauerstärke des Tambours zur seiner Lichtweite beträgt etwa 1:8, was einem Mittelwert späterer Kuppeln des 16. und 17. Jahrhunderts entspricht. Die frei zutage tretende Höhe des Tambours beträgt allerdings nur etwa die Hälfte des Tambourdurchmessers, so dass die Kuppel ein mehr als ausreichendes Widerlager in dem quadratischen, schweren, aber auch stabilen Mauerwerksblock über den Pendentifs hat. Die Einbettung des Tambours in das kubische Massiv führte dazu, dass die Sohlbänke der Tambourfenster sehr steil schräg nach innen verzogen werden mussten, um dem Kuppelraum ausreichend Licht zuzuführen. Die Aussengliederung der Kirche (in reiner Werksteinarchitektur) spiegelt mit ihrer Zweistöckigkeit die innere Aufteilung in Wandzone und Tonnengewölbe fast exakt wider; die wuchtigen Formen der Innengliederung werden an den Fassaden aber nicht wiederholt. Im Aussenbau ist die innen rein als Zentralbau angelegte

³⁸ Biblioteca Apostolica Vaticana, Cod. barb. lat. 4424, fol. 26 r.

Wallfahrtskirche durch eine apsisartig ummantelte Sakristei hinter dem Hochaltar und zwei Türme an der Eingangsseite, in den Winkeln der Kreuzarme, eindeutig ausgerichtet.

Die verputzten Gewölbeflächen der Kirche sind aus Backstein, die mächtigen kassettierten Gurtrippen wurden hingegen aus (kleinteiligem) Werkstein erstellt, und ihnen entsprechen Verstärkungsurte auf der Gewölbeoberseite. Auch der Tambour der Kuppel besteht aus sauber ausgeführtem Werksteinmauerwerk. Das Mauerwerk der innen rippenlosen, verputzten Kuppelwölbung ist offenbar auf einer Schalung ausgeführt und besteht wohl aus Backstein.

Zusammenfassung

Die beiden in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts konzipierten Kirchen in Todi und Montepulciano, die dem Umkreis von Bramantes Petersdom-Planungen zuzurechnen sind, stellen paradigmatisch die «Hochrenaissance» vor Augen. Bei beiden Kirchen wird ein reiner Zentralbaugrundriss mit einer hohen Tambourkuppel verbunden, und exemplarisch werden Möglichkeiten zur Ableitung der Kuppel-Last ausprobiert. Beide Kuppeln stecken mit ihrem unteren Teil in einem hohen würfelförmigen Mauerwerksmassiv.

24. Michelangelos neue Konzepte für den Petersdom (1547–64)

Einen weiteren Meilenstein in der Baugeschichte des 16. Jahrhunderts bildet das Jahr 1547. Im Jahre 1546 war Antonio da Sangallo d. J. verstorben. Als Architekt des Petersdoms folgte ihm zum 1. Januar 1547 Michelangelo Buonarotti (1475–1564) nach. Unter Michelangelos Leitung kehrte man zu einem reinen Zentralbaukonzept zurück. Ausserdem wurde der Plan des Baus deutlich gestrafft und statisch verbessert: Michelangelo verzichtete auf all die kleinteiligen, den Innenraum verdunkelnden Nebenräume Sangallos,³⁹ ordnete stattdessen grosse Fenster an und reduzierte den Bau auf den Kuppelraum, die tonnengewölbten Kreuzarme und die vier Nebenkuppeln in den Winkeln des griechischen Kreuzes, kehrte also zu der «Quincunx»-Idee Bramantes zurück, allerdings in deutlich klarerer Durchbildung. Michelangelo brachte ausserdem die Abkehr von der vorwiegend auf Backstein und Bruchstein setzenden Bautechnik Antonio da Sangallos. Alle Fassaden und auch viele tragende Bauteile wurden nunmehr in Werkstein ausgeführt, wobei vor allem der leicht zu bearbeitende Travertin zum Einsatz kam. Mit dem Versatz grosser Werksteinblöcke gingen auch neue technische Anforderungen einher, vor allem bezüglich der eingesetzten Hebezeuge.

Michelangelo begann zunächst mit der Fertigstellung des südlichen Kreuzarmes des Bauwerks. Die von Bramante und Sangallo geplanten und auch schon teilweise errichteten Umgänge um die Apsis wurden aufgegeben, und die entsprechenden Bauteile wurden abgebrochen. Stattdessen wurde eine neue Apsis mit Kolossalordnung errichtet und mit einer halben, an der Basis belichteten «cupola a creste e vele» geschlossen. In den Jahren 1550–52 wurden die vier Kuppelbögen Bramantes verstärkt, die Pendentifs fertiggestellt und der zylindrische Sockel für den Tambour – eine Art ringförmiges, sehr massives Podium – errichtet. Mit dem Bau des Tambours konnte Michelangelo jedoch erst 1561 beginnen, als die Kreuzarme vollständig eingewölbt waren und somit der Unterbau ausreichend ausgesteift war, um die Last von Tambour und Kuppel aufnehmen zu können.

Der Tambour der Kuppel erhebt sich auf dem genannten ringförmigen Podium. Der Tambour selbst weist innen eine Höhe von knapp zwei Dritteln des lichten Kuppeldurchmessers von rund 42 m auf. Das Mauerwerk des eigentlichen Tambourzylinders wurde bis auf eine Stärke von rund 3 m abgemagert (also weniger als 1/14 des lichten Durchmessers!), dafür aber rings herum von aussen durch 16 radiale Strebemauern gestützt, die auf dem Ringpodium stehen und weit nach aussen vortreten. Die Strebemauern wurden an der Stirnseite jeweils mit einem Säulenpaar besetzt und verleihen dem Tambour eine ungeahnte Plastizität. Innen entspricht jedem Strebepfeiler ein Pilasterpaar am Tambour. Der Mauermantel des Tambours Michelangelos wird durch riesige rechteckige Fenster durchbrochen, die abwechselnd von dreieckigen und segmentbogigen Giebeln überdacht sind.

Gleichzeitig mit dem Baubeginn am Tambour stellte sich natürlich die Frage nach der konstruktiven Konzeption der Kuppel selbst. Die Ideen zur Kuppel, die Michelangelo seit 1547 sukzessive entwickelte, sind aus einer Serie von Kupferstichen bekannt, die Étienne Dupérac 1569 veröffentlichte. Sie geben wahrscheinlich den den Planungsstand Michelangelos in den 1560er Jahren recht zutreffend wieder, und Zeichnungen, die im Umfeld der Kupferstiche entstanden sind und heute im Metropolitan Museum in New York aufbewahrt werden, geben weitere Details preis. Zusätzliche Aufschlüsse bietet das

³⁹ Nach Vasaris Mitteilung bezeichnete Michelangelo das Projekt Sangallos, wie es sich in dessen Modell präsentierte, als «cieca di lumi» (Vasari 1568, Bd. 3, S. 750).

teilweise noch erhaltene, 1558–61 hergestellte hölzerne Planungsmodell der Kuppel Michelangelos, das allerdings in späterer Zeit – jeweils passend zum Original – mehrfach umgebaut worden ist. Für die dabei umgeformten und verlorenen Modellteile entschädigt eine ausführliche Beschreibung des ursprünglichen Modells, die Giorgio Vasari in seinen *Vite* von 1568 mitteilte.⁴⁰

Michelangelo verabschiedete sich definitiv von der Idee einer Kuppelkonstruktion nach Vorlage des Pantheons. Nach seinen Vorstellungen hätte die Kuppel aus zwei Schalen etwa gleicher und konstanter Dicke von jeweils rund 1 m und einem ebenfalls etwa 1 m weiten Zwischenraum bestehen sollen. Die Innenschale sollte eine Halbkugelform erhalten, die Aussenschale wahrscheinlich ein etwas steileres Profil. Nur im unteren Drittel wären die beiden Schalen durch radiale Rippen (entsprechend den 16 Strebepfeilern am Tambour) verstärkt und miteinander verbunden gewesen, während sie sich im oberen Teil völlig voneinander gelöst hätten. Am Kuppelauge sollten beide Schalen dann in einen Schlussring münden, der eine nach innen offene «interne» (und entsprechend dunkle) Laterne umschlossen hätte. Die wirkungsvolle Aussenlaterne wäre hingegen mit dem Inneren der Kirche allenfalls durch ein kleines Rundfenster im Kuppelzenit verbunden worden.

Nach Vasaris glaubwürdigem Zeugnis plante Michelangelo die Kuppel «ganz in gut geschliffenen und gebrannten Backsteinen in Spinapesce-Verband»⁴¹ herzustellen. Michelangelo hatte also bei Antonio da Sangallo d. J. Gewölben – vor allem bei den von diesem errichteten «Ottagoni» über den Tonnengewölben zwischen den Haupt- und Nebenpfeilern von St. Peter – genau hingesehen. Das Konzept der doppelschaligen, nahezu halbkugelförmigen Rotationskuppel mit dünnen, voneinander weitgehend entkoppelten Schalen war revolutionär und ging weit über Brunelleschis gotische «Rippenkuppel» von Florenz hinaus, hätte bei Ausführung allerdings ziemlich sicher zu statischen Problemen geführt. Noch bevor die Kuppel begonnen werden konnte, verstarb Michelangelo allerdings (1564), und die Ausführung verzögerte sich wieder um mehr als zwei Jahrzehnte. Da Michelangelo den dünnwandigen Tambour jedoch weitgehend fertiggestellt hatte, blieb seinen Nachfolgern nichts anderes übrig, als auch das Konzept der vergleichsweise «leichten» Kuppel fortzuführen.

Zusammenfassung

Die tatsächlich realisierte Baugestalt des neuen Peterdoms wurde vor allem durch Michelangelo geprägt, der die Baustelle 1547–64 leitete. Gegenüber der kleinteiligen Architektur Sangallos straffte Michelangelo die Entwürfe, und in der Realisierung gewann das Bauen mit grossformatigen Werksteinen signifikant an Bedeutung. Mit dem Bau des stark gegliederten, durch säulenbesetzte Strebemauern verstärkten Tambours und dem Entwurf der Kuppel als doppelschalige Konstruktion nach Florentiner Vorbild legte Michelangelo wesentliche Parameter der später ausgeführten Kuppel fest.

⁴⁰ Vasari 1568, Bd. 3, S. 765–769 (als Teil der Vita Michelangelos).

⁴¹ Vasari 1568, Bd. 3, S. 767: «Egli [=Michelangelo] dà ordine ch'ella si muri tutta di mattoni ben arrotati e cotti a spina pesce; questa la fa grossa palmi quattro e mezzo, tanto grossa da piè quanto da capo, e lascia accanto un vano per il mezzo di palmi quattro e mezzo da piè.»

25. Giacomo della Porta und Domenico Fontana: Il Gesù und die Vollendung der Petersdomkuppel

Die zweite Hälfte des 16. Jahrhunderts war die Zeit der Gegenreformation. Diese nahm mit dem Konzil von Trient (1545–63) volle Fahrt auf; neue Orden, die die gegenreformatorische Bewegung mit neuen Seelsorge- und Missionskonzepten unterstützten, waren gegründet worden, allen voran der Jesuitenorden (gegründet durch Ignatius von Loyola, 1540), aber auch andere innovative Orden wie die Barnabiten (Paulaner, gegründet 1530) und Theatiner (Kajetan von Thiene, 1524), später noch gefolgt von den Oratorianern (Filippo Neri, 1575). Mit dem gegenreformatorischen Impetus ging ein entsprechender Aufschwung des Kirchenbaus einher, und die neuen liturgischen Konzepte forderten zum Teil auch neue architektonische Formen. Jeder der neuen Orden errichtete zunächst seine «Mutterkirche» in Rom. In dieser Entwicklung setzte sich die Kombination des überkuppelten Zentralbaus mit einem Langhaus zur Aufnahme der Gemeinde durch.

Der bedeutendste Kirchenneubau, der im mittleren Drittel des 16. Jahrhunderts in Rom entstand, war die Mutterkirche des Jesuitenordens, die Kirche Santissimo Nome del Gesù oder kurz «Il Gesù». Deren Bau war 1568 in Gang gekommen, und zwar nach einem Plan des Giacomo Barozzi da Vignola. Die Kirche markiert einen extrem wichtigen Meilenstein in der Entwicklung der Sakralarchitektur der Gegenreformation. Sie besteht aus einem «Zentralbau» in Form der «Quincunx» wie am Petersdom. Im Hinblick auf die liturgische Nutzung ist an diese Quincunx jedoch ein kurzes, dreijochiges Langhaus angeschoben. Dieses greift auf die Idee des weiträumigen tonnengewölbten Saales wie bei Leon Battista Albertis Kirche Sant'Andrea in Mantua zurück. Wie dort schliessen sich an das Mittelschiff Seitenkapellen an. Allerdings sind diese gegen den Mittelraum deutlicher abgeschlossen als die quertonnengewölbten Seitenkapellen in Mantua, dafür seitenschiffartig untereinander durch Durchgänge verbunden. Über diesen «Seitenschiffen» liegen noch niedrige Emporen, die für die Innenraumwirkung des Langhauses aber keine Bedeutung haben.

Als Vignola 1573 starb, war weder das Tonnengewölbe des Langhauses der Gesù-Kirche noch gar die Kuppel vollendet. Ausserdem stand damals noch die Fassadenplanung in der Diskussion, weil der Hauptförderer des Baus, der Kardinal Alessandro Farnese, mit Vignolas Entwürfen nicht zufrieden war. Für die Weiterführung des Baus wurde Giacomo della Porta (1532–1602) verpflichtet. Della Porta, ein aus der Gegend von Como stammender Maurer-Architekt, zählt neben Domenico Fontana zu den prominenten lombardischen und ticinesischen Meistern, die das Baugeschehen in Rom im 16. Jahrhundert vor allem durch ihre technisch-konstruktiven Fähigkeiten massgeblich beeinflussten. Da sie vor allem mit Backstein arbeiteten und daher weitaus weniger als ihre aus dem Steinmetz- oder Malerhandwerk stammenden Zeitgenossen auf das Medium der Architekturzeichnung angewiesen waren, stehen sie im Schatten der kunsthistorischen Architekturgeschichtsschreibung, obwohl ohne sie einige der bedeutendsten Bauten nicht hätten realisiert werden können. Della Porta war ab 1573 auch Baumeister des Petersdoms (ebenfalls in Nachfolge Vignolas, der am Petersdom keine merklichen Spuren hinterlassen hat). In den Jahren zwischen 1573 und 1585 trieb er dessen Weiterbau energisch voran, indem er sich vor allem um die überkuppelten Eckkapellen des Monumentalbaus kümmerte. Bei diesen lag allerdings eine besondere Situation vor, da diese Kuppeln fast gänzlich in das Mauerwerksmassiv der Quincunx eingebettet sind und aussen nicht zutage treten.

Bei der Chiesa del Gesù erhöhte della Porta 1573 zunächst in Abweichung von Vignolas Planung das Langhaus, indem er zwischen das Hauptgesims und den Ansatz des Tonnengewölbes noch eine Attika von 3.40 m Höhe einschob. Durch dieses Anheben der Mittelschiffstonne wurde es möglich, wie bei einer Basilika hochgelegene «Obergadenfenster» über den Seitenkapellen anzuordnen. Diese schneiden mit «Stichkappen» (Lünetten) in die grosse Tonne des Mittelschiffs ein und führen dem Raum reiches Licht zu, allerdings auf Kosten einer im Vergleich zu Albertis Kirche in Mantua deutlich geschwächten monumentalen Wirkung der grossen Tonne. Der tonnengewölbte, durch Stichkappen belichtete Saal wurde von da ab in Italien zu einer der beliebtesten Bauformen der Kirche überhaupt.

Aufgrund der Veränderungen des Innenraums musste Della Porta den von Vignola überlieferten Fassadenentwurf der Kirche den neuen Proportionen entsprechend umgestalten, und die Kuppel über der Vierung wurde in der ausgeführten Form überhaupt erst durch ihn konzipiert (1584). Diese Kuppel weist einen lichten Durchmesser von rund 17.90 m auf und gehört damit zu den grössten Kuppeln Roms. Führt man sich vor Augen, auf welche Vorbilder della Porta bei der Konzeption und Errichtung der Kuppel zurückgreifen konnte, so wird seine Leistung sofort deutlich: Damals gab es in Rom noch keine neuere Kuppel von auch nur annähernd vergleichbarer Dimension!

Della Portas Kuppelkonstruktion für die Gesù-Kirche erhebt sich über einem hohen, aussen achteckigen Tambour. Dieser umschliesst einen zylindrischen Innenraum. Entsprechend ist auch die Kuppelschale aussen achtseitig in Form eines Klostergewölbes und an den Graten mit massiven Rippen besetzt, während sich der Intrados der halbkugeligen Form nähert (minimal überhöht). Die Kombination einer achtseitigen Aussenform mit der kreisrunden Innenform ermöglichte die Anlage quasi «unsichtbarer» Strebepfeiler am Tambour als Auflager für die acht breiten Verstärkungsrippen der Kuppelschale. Auch innen war die Kuppelschale ursprünglich durch breite, jedoch nur wenig vortretende Rippen gegliedert, die aber sicher von Anfang an nur als architektonische Gliederung ohne statische Funktion gedacht waren. Trotzdem entspann sich im 17. Jahrhundert eine Diskussion über die statische Wirksamkeit dieser Rippen, als man sie zugunsten des die ganze Kuppelschale einnehmenden Freskos schliesslich abschlug. Die Schale der Kuppel wird vom Auflager zur relativ kleinen Laterne hin dünner. Am Ansatz der Kuppelschale sind aussen zwei minimale umlaufende «Treppenstufen» angeordnet, die als ein entferntes Zitat der Pantheon-Aussenkontur erscheinen, während die Kuppel konstruktiv ganz im Gegenteil die endgültige Abkehr vom Pantheon-Vorbild markiert (dünnchalige Backsteinkuppel) und eher die Traditionslinie der Vierungskuppeln des 15. Jahrhunderts wieder aufnimmt, aber in nahezu doppelter Grösse. Der Tambour wurde mit einer Höhe von rund $\frac{2}{3}$ des lichten Durchmessers schliesslich deutlich höher ausgeführt, als dies Vignola und auch della Porta zunächst vorgesehen hatten (erste Skizze della Portas mit einer Höhe entsprechend dem halben Durchmesser). Dennoch konnte der Tambour wegen der angrenzenden Dächer über den Tonnengewölben der Schiffe nur in den Diagonalen durch grosse Rechteckfenster geöffnet werden. Della Porta führte daher zusätzlich eine Belichtung der Kuppel durch acht ovale Oculi ein, die innen in den Kuppelfuss einschneiden und aussen an der Attika als quadratische, übergiebelte Fenster in Erscheinung treten. Dieses innovative Motiv wurde im 17. Jahrhundert noch mehrfach kopiert. Hier wurde es zum ersten Mal an einer freigestellten Kuppel ohne Tiburio verwendet, während es Della Porta selbst zuvor schon

an den ins Mauerwerksmassiv eingelassenen Nebenkuppeln des Petersdoms erprobt hatte. Die Kuppel wird dank ihres hohen Tambours und der zusätzlichen Fenster zur zentralen Lichtquelle des ganzen Innenraums. Wenige Jahre später errichtete della Porta auch die Wallfahrtskirche Santa Maria ai Monti in Rom (1587–89). Sie wiederholt in miniaturisierter und reduzierter Form das Schema der Gesù-Kirche, indem sie ein kurzes tonnengewölbtes Langhaus mit Seitenkapellen und einen hohen Kuppelraum verbindet.

Della Portas Zeitgenosse Domenico Fontana (1543–1607), ein Tessiner aus Melide am Luganer See, war der Lieblingsarchitekt des Kardinals Felice Peretti di Montalto, der 1585 als Sixtus V. zum Papst gewählt werden sollte und trotz seiner kurzen Regentschaft von nur fünf Jahren mehr Geld für das Bauen ausgab als fast alle seine Vorgänger. Noch als Kardinal hatte Peretti begonnen, für seine eigene Grablege die heute «Cappella Sistina» genannte Kapelle an Santa Maria Maggiore in Rom errichten zu lassen (1585–89), eine Kapelle, die überdies als eine Art Wallfahrtskirche die Reliquie der Krippe von Bethlehem beherbergen sollte. Im Grundriss vergleichbar mit den älteren Zentralbauten von Prato (Santa Maria delle Carceri) und Montepulciano (Madonna di San Biagio), also Kirchen auf dem Grundriss eines griechischen Kreuzes, mit tonnengewölbten Kreuzarmen und überkuppelter Vierung, stellt sich dieser Bau im Aufriss als grundverschieden heraus: Die Kreuzarme sind zu ganz kurzen Stummeln geschrumpft, die nur als Widerlager für den schachtartig hohen Mittelraum fungieren, der von der alles beherrschenden Kuppel gekrönt wird. Licht flutet nur durch die Fenster in den Bogenstirnen der Kreuzarme und durch die acht Fenster im hohen Tambour herein. Die Kuppel ist eine «freigestellte» Variante der Kuppeln Giacomo della Portas: Sie hat einen sehr gestreckten hohen Tambour, dessen Höhe dem inneren Durchmesser entspricht, und ist auf allen acht Seiten befenstert. Um diese reiche Befensterung zu erreichen, verzichtete Fontana auf Satteldächer über den Kreuzarmen und schloss diese stattdessen oben durch flache Terrassen ab. Die Tonnengewölbe der Kreuzarme wurden dazu von oben komplett verfüllt, so dass die Kreuzform des Unterbaus ein äusserst stabiles Auflager für die Tambourkuppel bietet. Diese selbst hat getreu dem Vorbild der Kuppeln Giacomo della Portas aussen eine achteckige, innen jedoch eine kreisrunde Form. Die Rippen treten aussen wie innen nur wenig vor. Die Form der Kuppel ist deutlich zugespitzt. Die überaus schlanke Form von Tambour und Kalotte wurde massgeblich durch einen eisernen Ringanker am Kuppelfuss ermöglicht, für dessen Konstruktion Eisenbänder verwendet wurden, die zuvor schon als Sicherung beim Transport des Vatikan-Obelisken auf den Petersplatz gedient hatten, den Fontana schon 1586 für Sixtus V. durchgeführt hatte.

Wie bei della Portas Kuppeln ist der Tambour der Cappella Sistina aussen durch Lisenen gegliedert. Sie sind hier in Werkstein (Travertin) ausgeführt, während die Aussenhaut des Bauwerks ansonsten aus gelben, dünnen Backsteinen mit schmalen Fugen besteht. Zusammen mit den Kuppeln della Portas tritt hier zum ersten Mal eine Bauweise in den Vordergrund, die im 17. Jahrhundert das Bauwesen in Rom bestimmen sollte: Mauern sind fast immer mehrschalig ausgeführt, wobei der Mauerkerne aus wiederverwendeten römisch-antiken Backsteinen («tevolozza») besteht, während die Aussenhaut aus neuen Backsteinen («mattoni») erstellt wurde. Tevolozza trat also an die Stelle der in der Antike und auch im ganzen Mittelalter üblichen «Füllung» mehrschaliger Mauern durch mörtelreiches Bruchsteinmauerwerk, obwohl die wiedergewonnenen Backsteine keinesfalls billig waren (jedenfalls teurer als die Tuffsteine des Bruchsteinmauerwerks), da sie erst aus dem Zusammenhang gelöst und einigermaßen gereinigt werden mussten, bevor sie neu verbaut werden konnten. Man versprach sich von der Verwendung der jahrtausendalten Steine jedoch höhere Festigkeit und Dauerhaftigkeit, hatte das Material

doch, in den Ruinen der Witterung ausgesetzt, schon unzählige Winter überstanden. Auch für Gewölbe einfacher geometrischer Form (Tonnengewölbe) wurde dieses Material gerne verwendet. Nur an denjenigen Stellen des Bauwerks, wo einigermaßen konstante Formate zur Einhaltung eines regelmässigen Verbandes notwendig waren (so besonders an den Kuppelschalen), kamen ausschliesslich neue Backsteine zum Einsatz, denn die antiken Backsteine waren naturgemäss meist unvollständige Bruchstücke und hatten daher unregelmässige Form. Im 17. Jahrhundert führte der letztgenannte Umstand dazu, dass gerade bei stark kurvierten oder kleinteilig-plastischen Bauteilen ebenfalls gerne Tevolozza verwendet wurde, die dann allerdings verputzt wurde. Die perfekt zugeschnittenen und nach Vermauerung an der Sichtfläche geschliffenen neuen Backsteine stellten das teuerste Material dar; sie kamen daher vorwiegend an Sichtbackstein-Wandflächen in Anwendung. Die höchste Qualität hatte die gelbe Farbe wie an der Cappella Sistina, billigere Steine waren rot.

Die Kuppeln Giacomo della Portas und Domenico Fontanas wurden vermutlich allesamt auf Flächenschalungen errichtet, die durch ein vom Kirchenboden aus gestütztes Gerüst getragen wurden. Das ermöglichte die schnelle Ausführung und die relativ flexible Wahl der Wandstärke sowie der Aussen- und Innenform.

Obwohl es Domenico Fontana schaffte, dass sein Gönner Felice Peretti ihm die Treue auch nach seiner Wahl zum Papst hielt und er nach wie vor grossartige Aufträge bekam (so z. B. die Umsetzung des Obelisken), gelang es ihm doch nicht, Giacomo della Porta den Posten des leitenden Baumeisters an der Kuppel von St. Peter unter Sixtus V. streitig zu machen. Della Porta überarbeitete Michelangelos Konzept in technischer Hinsicht noch einmal deutlich. Ins Auge fällt bei einem Vergleich der Planungen Michelangelos mit der ausgeführten Form vor allem die deutlich zugespitzte Form der äusseren Kuppel. Della Porta wählte aber nicht nur diese statisch günstigere Form, sondern verstärkte gegenüber Michelangelos Entwurf auch die Innenschale deutlich (etwa 1.68 m dick), während die wesentlich steilere Aussenschale wie in Florenz den Charakter einer statisch weniger bedeutsamen Hülle (etwa 78 cm stark) annahm. Im unteren Drittel führte della Porta die Kuppel als einschalige Konstruktion aus, wie dies vielleicht schon sein Vorgänger Vignola vorgesehen hatte. Die beiden Schalen wurden durch 16 durchgehende Rippen (entsprechend den 16 Strebepfeilern am Tambour) in ganzer Höhe miteinander verbunden. Diese Rippen sind unten am Kuppelfuss 2.23 m breit sind und nehmen in zwei Absätzen bis auf 67 cm Breite am Schlussring ab. Sie wurden wie die Kuppelschale in Backstein ausgeführt und stehen im Verband mit den Schalen; nur die auf der Kuppelinnenseite sichtbaren, dekorativen, plastisch verzierten Rippen («costole di dentro») sind aus Travertinblöcken, die in die eigentlichen Backsteinrippen einbinden. Insgesamt näherte della Porta also die Konstruktion der Kuppel wieder etwas dem Vorbild der Florentiner Kuppel Brunelleschis an, wobei die Verzahnung zwischen Rippen und Schalen aufgrund der rotationssymmetrischen Form der Kuppel nun natürlich viel einfacher war.

Die Ähnlichkeiten zur Florentiner Kuppel gelten aber in keiner Weise für die Ausführung. Im Gegensatz zur Kuppel in Florenz, deren Ausführung 16 Jahre dauerte, war della Portas Kuppel in nur 16 Monaten fertig (Januar 1589 bis Mai 1590, gerade noch rechtzeitig vor dem Tod des Papstes im August), bis auf die Laterne, die im Herbst 1590 folgte. Möglich war dies nur, weil die Kuppel nicht freihändig, sondern wiederum auf einer Flächenschalung gemauert wurde. Das zugehörige Stützgerüst (Lehrgerüst) konnte aber nicht vom Boden aus errichtet werden. Zum einen hätte die grosse Höhe der Kuppel

hierbei Schwierigkeiten bereitet; vor allem aber stand unter der Baustelle ja immer noch die Apsis der antiken Peterskirche, die den alten Hauptaltar direkt über dem Petersgrab umschloss und die auf der Vorderseite durch Bramantes Schutzbau (Tegurium) abgeschlossen war. Dieser Bereich war für die Baustelle tabu. Daher musste das Lehrgerüst wie bei den grossen Vierungsbögen Bramantes und wie bei den Tonnengewölben der Kreuzarme als freigespanntes Gerüst errichtet werden. Nur der unterste, noch nicht zweischalige Abschnitt der Kuppel konnte in der ersten Jahreshälfte 1589 noch ohne Lehrgerüst errichtet werden. Dieser Abschnitt diente sodann dem freigespannten Gerüst als Auflager. Leider sind von diesem Gerüst, das in zeitgenössischen Beschreibungen bewundernd genannt wurde, keine originalen Zeichnungen erhalten. Jedoch bildete Carlo Fontana, Baumeister am Petersdom im späten 17. Jahrhundert, in seiner grossen Monographie über das Bauwerk ein frei in das Kuppelrund gespanntes Lehrgerüst ab, das den zeitgenössischen Beschreibungen etwa entspricht und eine ungefähre Vorstellung von der tatsächlichen Konstruktion vermitteln kann. Josef Durm setzte 1887 die Zeichnung Fontanas in eine perspektivische Rekonstruktion des Gerüsts um.

Eine besondere Rolle spielen auch bei della Portas Kuppel eiserne Ringe. Vier Ringanker aus Eisenbändern, die aus Einzelstücken über Ösen mit hindurchgesteckten Keilen gebildet wurden, sind auf verschiedener Höhenlage in der Kuppel angeordnet; ein fünfter Eisenring umschliesst die Laterne. Die Ringe verlaufen (bis auf einen) nicht aussen um die Kuppel herum, sondern im Inneren des unteren massiven Drittels der Kuppelschale oder umziehen die innere Schale, was verdeutlicht, dass della Porta dieser inneren Schale die hauptsächliche Tragwirkung zugedacht hatte. Planmässig eingelegte eiserne Ringe wurden von da ab in Kuppeln sehr häufig verwendet.

Zusammenfassung:

Mit den Kuppeln Giacomo della Portas (Il Gesù, Petersdom) und Domenico Fontanas (Cappella Sistina an Santa Maria Maggiore) waren in Rom wichtige Voraussetzungen für die Kuppeln des 17. Jahrhunderts geschaffen: die gezielte Materialwahl von Tevolozza in Verbindung mit Aussenschalen aus neuen Backsteinen, die Konstruktion hoher, durchfensterter Tamboure, ermöglicht durch dünnes, einschaliges Kuppelmauerwerk aus hochwertigen Backsteinen und eiserne Ringanker an der Kuppelbasis, die zugespitzte Form und die Anordnung «versteckter» Strebepfeiler durch Kombination eines aussen polygonalen Tambours mit einer kreisrunden Innenkontur. Die nächsten wichtigen Kuppeln Roms griffen auf diese technischen Errungenschaften zurück und definierten die Kuppel der Barockzeit, die sich von Rom aus dann über das ganze katholische Europa ausbreiten sollte.

26. Die Entstehung des barocken Sakralbaus in Rom

Die Vollendung der Petersdomkuppeln gab in Rom den Startschuss zur Errichtung fast zahllos anmutender Kuppeln, die bis heute das Stadtbild massgeblich prägen. Das 17. Jahrhundert sollte zum eigentlichen grossen Jahrhundert der Baukunst der ewigen Stadt werden, die Epoche des Früh- und Hochbarocks. Dieses Jahrhundert war zugleich das Jahrhundert der Glaubenskriege und der Gegenreformation, aber auch das Zeitalter der beginnenden modernen Naturwissenschaften (Galilei, *Discorsi*, 1638) und des aufkommenden Absolutismus (zunächst in Frankreich, Ludwig XIV). In Rom, das weit weg war von den Wirren des Dreissigjährigen Krieges, blühte die Architektur schon im 17. Jahrhundert beispiellos auf, gefördert durch Päpste, die ihr Amt ausnützten, um ganze römische Adelsfamilienclans in Amt, Würden und Pfründe zu bringen (sog. Nepotismus). Auch einige nah an Rom heranreichende Kriegswirren und einzelne Pestepidemien konnten diese Blüte der Architektur nicht ernsthaft beeinträchtigen. Nördlich der Alpen folgte die Blüte der Barockarchitektur hingegen erst nach dem Ende des Dreissigjährigen Kriegs in einem typischen Nachkriegsboom, der bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts anhielt. Für die Barockarchitektur in ganz Italien, aber auch in Frankreich und vor allem in den deutschsprachigen Ländern lieferte Rom die Modelle und die Bezugspunkte, die zum Massstab der architektonischen Repräsentation wurden.

Die Motive, die die Architektur der Kuppeln in Rom bestimmten, waren fast alle im 16. Jahrhundert schon vorgeprägt worden: hohe Tambours mit grossen Fenstern, einschalige, meist deutlich zugespitzte Kuppeln, Gliederung des Tambours durch Strebebögen mit Säulenvorlagen, Rippengliederung der Kuppelschale und grosse Laternen. Technisch war der Blüte der Kuppelarchitektur vor allem durch Della Porta und Domenico Fontana der Weg bereitet worden, architektonisch durch Michelangelo. Werkstein kam ebenfalls nach Vorbild Michelangelos vor allem an den Fassaden (Travertin) zum Einsatz,

Die nächste bedeutende Kuppel Roms war jene über der Vierung der Kirche San Giovanni dei Fiorentini, der Nationalkirche der Florentiner in Rom. Der Bau der Kirche hatte sich fast über das ganze 16. Jahrhundert hingezogen. Zahlreiche Architekten hatten Entwürfe zur Kirche und schliesslich auch zur Vierungskuppel geliefert, darunter auch Giacomo della Porta. Vor dem Bau der Kuppel von San Giovanni dei Fiorentini (1612–14) hatte Maderno allerdings noch keine grösseren Erfahrungen mit dem Kuppelbau sammeln können.

Es ist somit nicht weiter erstaunlich, dass Maderno bei der repräsentativen Kuppel der Florentiner Nationalkirche dem Vorbild der Kuppeln Giacomo della Portas folgte. Wie bei diesen ist ihr Tambour innen rund, aussen hingegen achteckig und nur auf vier Seiten durch Fenster belichtet. In der Proportion folgt sie allerdings mit ihrem sehr hohen Tambour der römischen Tradition der frühen Vierungskuppeln bzw. der Cappella Sistina Domenico Fontanas. Der Tambour weist eine Höhe auf, die seinem lichten Durchmesser entspricht, und erhebt sich somit weit über die Dachfirste der Schiffe. So war es möglich, Fenster in den Hauptachsen anzuordnen, während die Diagonalen des Tambours nur durch blinde Nischen aufgebrochen sind. Auf die reiche Belichtung durch acht Fenster wie bei Domenico Fontana wurde also verzichtet, obwohl sie möglich gewesen wäre. Wie bei Della Porta und Domenico Fontana ist der Tambour aussen durch Wandvorlagen gegliedert und grossenteils backsteinsichtig (halbsteinstarke Aussenschale). An den Nischen fehlt heute der dort einst vorhandene Putz zum Teil; dort tritt das Tevolozza-

Material zutage, aus dem der Tambour offenbar zu wesentlichen Teilen besteht. Das Profil der eigentlichen Kuppelschale ist auffallend steil. Da die Kirche (eine Basilika) ohnehin schon schlanke Proportionen aufweist und zudem Madernos Tambour und Kuppelschale sich derart in die Höhe strecken, ist die Kuppel von San Giovanni dei Fiorentini in Rom jene mit der proportional grössten Höhererstreckung: Ihre lichte Höhe (bis zur Kuppel der Laterne) beträgt fast das viereinhalbfache ihres lichten Durchmessers. Diese extreme Höhenentwicklung beeinträchtigt die Wirkung der Kuppel im Kircheninneren, dafür ermöglichte sie im Aussenbild eine stadtbildprägende Funktion der Kuppel, wie sie den Kuppeln della Portas nicht in gleichem Masse gegeben war. Dieses Motiv setzte sich bei den nachfolgenden Kuppelkirchen fort.

Den entscheidenden Impuls zur technischen Weiterentwicklung der Kuppel des 17. Jahrhunderts gab aber nicht die Kuppel Carlo Madernos für San Giovanni dei Fiorentini, sondern die Kuppel der Barnabitenkirche San Carlo ai Catinari. Diese Kirche wurde (bis auf die Fassade) entworfen von dem Architekten und Barnabitenpater Rosato Rosati (1559–1622), der aus den Marken stammte. Bemerkenswerterweise griff man bei der Barnabitenkirche auf das Modell «Quincunx», also letztlich auf die reduzierte Imitation des Petersdomgrundrisses nach Bramante/Michelangelo zurück. Um die Kirche an die gegenreformatorischen liturgischen Erfordernisse anzupassen – vor allem an die Predigt vor einer städtischen Gemeinde –, wurde der reine Zentralbaugrundriss auf Basis des «griechischen Kreuzes» allerdings etwas in die Länge gestreckt. Die vier Nebenkuppeln, die die Zwickel zwischen den vier Kreuzarmen und dem rahmenden Rechteck ausfüllen, erhielten dabei ovale Form. An den altarseitigen Kreuzarm schliesst sich eine weiträumige Apsis an. Da die Kirche ursprünglich dicht in das Wohngebiet eingebettet war, stellte sich die adäquate Belichtung des Innenraumes als schwierig dar. Die Kirche empfängt ihr Licht fast ausschliesslich durch die hohe Kuppel.

Die Kuppel erhebt sich über der quadratischen Vierung der vier tonnengewölbten Kreuzarme. Obwohl die vier Hauptpfeiler zur Kuppel hin leicht abgeschrägt sind, orientieren sich die Pilaster dieser Stützen in Richtung der orthogonalen Grundrissachsen der Kirche. Die Kuppel selbst erhebt sich über einem aussen und innen kreisrunden Tambour. Dieser weist ebenso schlanke Proportionen wie jener von San Giovanni dei Fiorentini auf (Höhe gleich Durchmesser), wird aber ringsum durch zwölf riesige Rundbogenfenster belichtet. Strebemauern gibt es nicht, doch ist der Tambour innen und aussen durch breite und relativ stark vortretende Pilaster gegliedert. Trotz dieser Wandvorlagen hat der Tambour an den stärksten Stellen nur eine Wanddicke von 1/10 des Durchmessers aufzuweisen, geht also über die bei Della Porta und Fontana gewählte Schlankheit von 1/6 deutlich hinaus. Die Kuppelschale selbst wird an ihrem Fuss durch weitere zwölf Fenster belichtet, die aussen eine Art Attika bilden. Über diesen Fenstern leiten Entlastungsbögen die Kräfte in die durch die Vorlagen verstärkten Bereiche des Tambours. Auch die Kuppel von San Carlo ai Catinari hat ein ausgesprochen spitzes Profil. Statisch funktioniert die Kuppel sicher nur dank eingelegter eiserner Ringanker; Untersuchungen hierzu liegen jedoch nicht vor. Es mussten auch schon kurz nach Vollendung weitere Eisenanker angebracht werden, und die Fenster am Kuppelfuss sind heute wegen statischer Schäden weitgehend vermauert.

In gewisser Weise zieht diese Kuppel das Fazit aus der Entwicklung des 16. Jahrhunderts. Sie kombiniert Anregungen aus der Architektur della Portas und Domenico Fontanas mit solchen vom Petersdom. Die extrem gestreckten und schlanken Proportionen und die dadurch ermöglichte Lichtfülle übten starke Wirkungen auf die nachfolgenden Kuppeln

Roms aus. San Carlo ai Catinari kann somit – was die Kuppeln angeht – als der eigentliche Gründungsbau des römischen Barocks betrachtet werden.

Trotz der frappierenden Neuerungen, die der Architekt von San Carlo ai Catinari in den Kuppelbau einführte, ist die bekannteste Kuppel des Frühbarocks in Rom heute allerdings die Kuppel von Sant'Andrea della Valle. Sant'Andrea della Valle ist die Hauptkirche des Theatinerordens, der zusammen mit dem Jesuitenorden, dem Barnabitenorden und dem Oratorianerorden eine der tragenden Säulen der römischen Gegenreformation war. Mit ihrem Bau hatte man bereits 1591 begonnen. Damit stand das Grundkonzept der Kirche fest, das eng dem Vorbild Il Gesù folgt und wie dieses an den Erfordernissen eines für den gegenreformatorischen Predigtgottesdienst orientierten Raums ausgerichtet ist: weiträumiges dreijochiges Langhaus mit Seitenkapellen, Mittelschiff überwölbt durch Tonne mit Stiehkappen, Chorbereich in Form einer «Quincunx» (aber mit reduzierten Nebenkuppeln und einem seitlich über die Flucht des Langhauses vorspringenden Querschiff). Allerdings sind im Langhaus die Proportionen deutlich schlanker als bei der Jesuitenkirche, und die Seitenkapellen reichen bei Sant'Andrea bis zum Hauptgesims unter dem Tonnengewölbe. Damit sind die Seitenkapellen viel stärker in den Hauptraum einbezogen als bei Il Gesù. Die kleinen Emporen («coretti») von Il Gesù entfielen, wodurch die Seitenkapellen mit kleinen Kuppeln überwölbt werden konnten und reiches Licht empfangen. Das Langhaus war schon um 1603 weitgehend fertig; es folgte ein Stillstand der Baustelle. Die Chorpartie mit der Kuppel entstand sodann erst ab 1608 unter Leitung von Carlo Maderno (1556–1629) errichtet, der wie Domenico Fontana vom Luganer See stammte, mit diesem auch verwandt war und in seiner frühen Karriere zusammenarbeitete. Maderno setzte die Reihe der lombardisch-ticinesischen Baumeister in Rom bruchlos fort. Er hatte 1603 die Nachfolge Giacomo della Portas als Baumeister des Petersdoms angetreten und somit die Spitzenposition unter den Architekten Roms seiner Zeit erobert. Unter Madernos Leitung war ab 1606 der Petersdom Michelangelos um das heutige tonnengewölbte Langhaus und die Fassade erweitert worden, wodurch auch der Petersdom eine ähnliche Gestalt annahm wie Il Gesù. Zahlreiche weitere Aufträge in der ganzen Stadt rundeten Madernos Œuvre ab, insbesondere die Kuppel von Sant'Andrea della Valle, die 1620–23 nach damals von ihm aktualisierten Plänen errichtet wurde.

Mit der Kuppel von Sant'Andrea della Valle gelang Maderno die perfekte Synthese der Vorgaben, die die vorausgehenden Kuppeln gemacht hatten. Konstruktiv steht sie letztlich immer noch in der Tradition der Kuppen della Portas: der innen kreisrunde Tambour ist aussen polygonal, und zwar diesmal in Form eines Achtecks, dessen Ecken nochmals abgeschrägt sind. Diesen Abschrägungen, die das Achteck in ein unregelmässiges Sechzehneck verwandeln, sind allerdings wie bei Michelangelos Tambour am Petersdom Verstärkungen vorgelegt, die mit jeweils zwei Dreiviertelsäulen besetzt sind. Von diesen Vorlagen steigen die kräftigen Rippen auf, die die Kuppel aussen verstärken. Die ganze Kuppel ruht auf einem achteckigen Sockel, der die Pendentifs einschliesst und merkwürdigerweise so stark ist, dass er sogar auf die Tonnengewölbe der anschliessenden Schiffe übergreift – ein Echo des runden Sockels am Petersdom Michelangelos. Der Tambour hat einen lichten Durchmesser von rund 16.5 m, und seine Höhe beträgt etwa drei Viertel des Durchmessers. Damit ist er proportional fast doppelt so hoch wie am Petersdom, weist dafür aber auch eine proportional deutlich grössere Wandstärke auf und reiht sich somit ein in die Linie von der Cappella Sistina über Madernos vorausgehende Kuppel von San Giovanni dei Fiorentini bis zu San Carlo ai Catinari, ist aber ebenso grosszügig belichtet wie bei der letztgenannten Kirche: Die acht

Rechteckfenster sind – wieder nach Vorbild Michelangelo – abwechselnd durch Dreiecks- und Segmentgiebel überdacht. Wegen der vergleichsweise grossen Wandstärke des Tambours (etwa 1/10 des lichten Durchmessers) mussten die auf dem Sockel stehenden Strebepfeiler nicht so weit vorspringen wie beim Petersdom (dort Wandstärke etwa 1/14 des Durchmessers). Die Kuppelschale erhebt sich über einer Attika, die, schlägt man ihre Höhe dem Tambour zu, diesen wieder auf die Höhe des Durchmessers bringt. Angesichts der schlanken Verhältnisse waren Eisenanker an der Kuppelbasis wiederum unverzichtbar. Die Kuppelkontur ist aussen sehr deutlich zugespitzt.

Die architektonisch innovativen, konstruktiv jedoch nicht einfach zu vollziehenden Vorgaben der «bildhauerisch» plastisch konzipierten Architektur Michelangelos sind also bei Sant'Andrea della Valle in jeder Hinsicht in Einklang mit dem «Mainstream» des römischen Kuppelbaus gebracht, und die Kuppel bezog auch die Innovationen von San Carlo ai Catinari mit ein. Die Kuppel von Sant'Andrea della Valle als «kleine Schwester» der Petersdomkuppel wurde in den nachfolgenden Jahren auch andernorts noch mehrfach kopiert. So bildete sie z. B. unverkennbar das Modell für die Kirche der Superga bei Turin, die Filippo Juvarra im ersten Drittel des 18. Jahrhunderts, also hundert Jahre später, errichtete.

Zusammenfassung:

Wie kein anderer Architekt markiert der wie Giacomo della Porta und Domenico Fontana aus dem lombardisch-ticinesischen Raum stammende Carlo Maderna die Entstehung des neuen paradigmatischen Kirchenbaus, der den «Frühbarock» kennzeichnet: Kombination eines tonnengewölbten, durch Stichkappen und Seitenkapellen belichteten Langhauses mit einer sehr hohen, schlanken Kuppel, deren Tambour eine von Michelangelos Peterskuppel inspirierte Aussengliederung aufweist. Zum Leitbauwerk des 17. Jahrhunderts in Rom und weit darüber hinaus wurde letztlich die Kirche Sant'Andrea della Valle, deren Kuppel unter Madernos Leitung errichtet wurde. Auch der Petersdom reiht sich mit Madernos Langhaus und Fassade in das Umfeld der neuen Sakralarchitektur in frühen 17. Jahrhundert ein.

27. Hochbarock in Rom: Tambourkuppeln von Pietro da Cortona, Gianlorenzo Bernini und Francesco Borromini

Der Hochbarock in Rom ist die Zeit der drei fast gleichaltrigen Architekten Pietro Berettini, genannt Pietro da Cortona (1596–1669), Gianlorenzo Bernini (1598–1680) und Francesco Borromini (1599–1667). Jeder von ihnen errichtete mindestens eine Tambourkuppel. Es sind dies die Kuppeln von Santi Martina e Luca in Rom (Pietro da Cortona, Kirche geplant ab 1635, Kuppel errichtet 1660–64), Sant'Agnese in Agone an der Piazza Navona (Borromini, Kuppel 1653–57), San Tommaso da Villanova in Castelgandolfo (Bernini, 1659–60) und schliesslich San Carlo al Corso in Rom (Pietro Cortona, Kuppel 1668–72), die den Reigen der grossen Tambourkuppeln abschliesst.

Neben der Tambourkuppel begann im römischen Hochbarock – also im mittleren Drittel des 17. Jahrhunderts – auch die in ein «Tiburio» eingebettete Kuppel eine wesentliche Rolle zu spielen. Zunächst kam sie vor allem bei ovalen Grundrissformen zur Anwendung, ausgehend von Vignolas beiden Kirchen Sant'Andrea in Via Flaminia und Sant'Andrea dei Palafrenieri. Der für die Rezeption wichtigste Ovalkirchenbau war jedoch die Spitalkirche San Giacomo degli Incurabili (oder San Giacomo in Augusta) am Corso von Francesco da Volterra. Mit ihm wurde Ende des 16. Jahrhunderts die grosse Reihe der Ovalkirchen

eröffnet – zu nennen sind vor allem Berninis Sant'Andrea al Quirinale und das gleich benachbarte Kirchlein San Carlo alle Quattro Fontane seines Gegenspielers Borromini. Letzterer setzte die in ein Tiburio eingebettete Kuppel jedoch auch bei anderen Grundrissen ein, so an Sant'Ivo alla Sapienza und bei Sant'Andrea delle Fratte sogar an einer normalen Vierungskuppel. Aufgrund der erhöhten Stabilität durch das umhüllende Tiburio eröffnete sich bei der Wahl dieser Kuppelform eine grössere Freiheit der Grund- und Aufrissgestaltung.

Die Kirche Sant'Agnese in Agone in Rom befindet sich an der Stelle, an der – der Legende nach – die hl. Agnes das Martyrium erlitten hat, im Circus des Domitian (Circo Agonale, daher der Name der Kirche), dessen Grundriss sich bis heute in der Form der Piazza Navona abzeichnet. Im Gegensatz zu den meisten anderen Barockkirchen in Rom wurde sie nicht über einen langen Zeitraum, sondern vielmehr in äusserster Hektik errichtet, denn Papst Innozenz X. (reg. 1644–55) wollte sich mit dieser Kirche, die direkt an den Palast seiner römischen Patrizierfamilie, der Pamphili, anschloss, noch zu Lebzeiten ein eigenes «Mausoleum» schaffen. Sogar sonn- und feiertags und nach Sonnenuntergang wurde an dem Bau gearbeitet, was zu vielfachen Streitigkeiten mit den Bauhandwerkern führte. Über den Bau der Kirche ist man durch eine Fülle historischer Dokumente umfassend unterrichtet.

Der erste Entwurf der Kirche ging auf die beiden Rainaldi, Girolamo (1570–1655) und seinen Sohn Carlo (1611–91), zurück. Die beiden entwarfen eine Kirche, deren Kern ein überkuppeltes Quadrat mit abgeschrägten Ecken nach Art des Petersdoms einnimmt. Das so gebildete Achteck ist in den Ecken mit Freisäulen besetzt, die die vier grossen Bögen in den Hauptachsen tragen. Rings um den Kuppelraum entwickelt sich nicht wie beim Petersdom und seinen Nachfolgebauten eine Quincunx, sondern über die vier grossen Arkaden sind nur vier sehr kurze, tonnengewölbte Kreuzarme angeschlossen, so dass der Grundriss ein griechisches Kreuz bildet. Der stark zentralisierte Grundriss des griechischen Kreuzes brachte hier den Vorzug mit sich, dass das päpstliche Grabmal im linken Seitenarm untergebracht werden konnte – in direkter Nachbarschaft sowohl zum Palazzo Pamphili als auch zu den in die Kirche zu bringenden Reliquien der hl. Agnes, während der Hauptaltar den mittleren Kreuzarm einnahm. Das Achteck vermittelte also zwischen den beiden Funktionen der Wallfahrts- und Grabkirche.

Die Rainaldi wurden nur wenige Monate nach dem Baubeginn 1653 wegen diverser Probleme von dem Auftrag wieder entbunden, und Francesco Borromini (1599–1667) trat an ihre Stelle. Borromini aus Bissone am Luganer See gehörte wie die Fontana und Maderno zu der Gruppe ticinesischer Baumeister in Rom. Mit den anderen oberitalienischen Baumeister-Architekten verband ihn die hervorragende technische Kompetenz; in seinen Entwürfen aber war Borromini einer der kreativsten und erfindungsreichsten Köpfe der ganzen Barockzeit überhaupt. Borromini musste an Sant'Agnese in Agone die Fundamente und teils auch schon aufgehenden Mauern der Rainaldi übernehmen; trotzdem gelang es ihm, der Kirche ganz seinen persönlichen Stempel aufzudrücken.

Ein kurzer Blick auf die Gesamtarchitektur der Kirche ist notwendig: Eingebunden in die Platzwand, entsteht durch ovalen, konkaven Einzug der Fassade ein kleiner Vorplatz (Borrominis Idee; die Rainaldi hatten eine gerade Fassade in der Platzflucht vorgesehen). Dadurch rückt die Fassade so dicht wie möglich an das Kuppelrund, das ihr mit seinem konvexen, hohen Tambour entgegenschwingt. Die Rainaldi hatten noch eine wesentlich

niedrigere Kuppel vorgesehen. Die Fassade wird beidseitig von Türmen gerahmt, die aber erst nach der Abberufung Borrominis von der Baustelle (1657) errichtet wurden. Diese turmgerahmte konkave Fassade, die die Kuppel umso eindrücklicher in Szene setzt, sollte in der späteren Architekturgeschichte noch vielfach imitiert werden.

Die Kuppel ist natürlich der eigentliche Glanzpunkt der Kirche. Wie schon gesagt, besitzt sie einen schlanken Tambour (Höhe 2/3 des lichten Durchmessers von 17.42 m). Schon ein erster Blick zeigt, dass sie von der Kuppel von Sant'Andrea della Valle abgeleitet ist. Wie dort ist der innen und aussen runde Tambour durch grosse übergiebelte Rechteckfenster gegliedert. Er wird aussen durch acht massive radiale Strebepfeiler verstärkt, die wie bei Sankt Peter (und ähnlich bei Sant'Andrea della Valle) auf einem zylindrischen, ringförmigen Sockel stehen, der die Pendentifs der Kuppel umschliesst. Die Strebepfeiler sind allerdings nicht mit Doppelsäulen, sondern nur mit Doppelpilastern besetzt. Wie bei San Carlo ai Catinari erhebt sich über dem Hauptgesims des Tambours noch eine Attikazone, in die kleine Fenster zur Belichtung des Kuppelfusses eingelassen sind. Die Kuppel hat aussen eine selbst im Vergleich zu Sant'Andrea della Valle extrem spitze Form. Innen ist die Kuppelkontur wie dort oval ausgerundet – wohl ein Markenzeichen Borrominis. Zu dieser Ausrundung liegt sogar eine Schnittzeichnung Borrominis vor, in der die Mittelpunkte und Radien eingetragen sind. Zur Statik der Kuppel waren eiserne Verstärkungen unentbehrlich. In dem ringförmigen Sockel der Kuppel verbergen sich Zugstangen, die um die vier grossen Bögen herumgeführt sind und über den Pfeilern mit starken vertikalen Eisenstangen verankert sind.

Auch die Kuppelschale ist mit Ringankern verstärkt. Ein Ringanker aus acht Stäben, die an den Enden angeschmiedete Ösen aufwiesen, durch die zur Verbindung vertikale Eisenstäbe («paletti» oder «palettoni») gesteckt wurden, wurde knapp über dem Kuppelansatz in der Mauerstärke vermauert. Sein Gewicht betrug etwa 1.3 t. Ein weiterer Eisenring von nur rund 475 kg Gewicht (und aus nur sechs Teilen bestehend) wurde auch noch weiter oben in das Kuppelmauerwerk eingelassen, vielleicht im oberen Teil der Kuppel oder auch erst am Fuss der Laterne. Eine Vorstellung von der Anordnung solcher Anker vermitteln zwei Handskizzen des jungen schwedischen Architekten Nicodemus Tessin d. J., der sich im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts in Rom aufhielt, um dort bei Carlo Fontana die aktuelle römische Baupraxis kennenzulernen.

Eine weitere Zeichnung Tessins zeigt den zenitalen Blick von unten nach oben in die Baustelle der bereits weitgehend fertiggestellten Kuppel, in der aber noch das Gerüst hängt. Man sieht die verschiedenen sich überlagernden Arbeitsebenen. An der Basis der Kuppel ist ein ungleichseitig achteckiger Balkenkranz angeordnet, auf den sich die erste Arbeitsplattform stützt, deren Ausbretterung in der in der Zeichnung dargestellten Bauphase bis auf zwei Plattformen zum Aufziehen von Lasten schon weitgehend abgebaut ist. Die nächste Plattform, die noch voll ausgebrettert ist, befindet sich auf jener Höhe, von der ab man nicht mehr ganz ohne Lehrbögen arbeiten kann. Sie wird vorwiegend von radial aus dem unteren Kuppelabschnitt zur Mitte vorkragenden Rüstbalken getragen und wahrscheinlich von zusätzlichen Stützen, die auf dem untersten Gerüst stehen, verstärkt. Diagonal steigen ausserdem offenbar mehrere Streben bis zur letzten und höchsten Plattform rings um das Kuppelauge auf. In der Mitte des Gerüsts ist laut Tessins Legende zur Zeichnung «eine weniger als $\frac{1}{4}$ palmo [5.59 cm] starke Stange aus Eisen mit mehreren Löchern angebracht, die zur Befestigung eines Eisendrahtes dient, den man um die Stange rotieren lassen kann; jedes Mal, wenn man das Kuppelmauerwerk wieder um 1 palmo [22.34 cm] aufgeführt hat, schiebt man auch den Draht wieder um 1 palmo [22.34

cm] hinauf und so weiter, Schritt für Schritt. Die Lehrbögen dürfen unten keinen grösseren Abstand als 3 palmi [67 cm] voneinander haben. Die Hauptbalken müssen 2½ palmi [55.85 cm] hoch und 2 palmi [44.68 cm] breit sein.» Die von Tessin angegebenen gewaltigen Abmessungen der Balken unterstreichen, dass die Arbeitsplattform freitragend konstruiert ist, wie ja auch die Zeichnung suggeriert. Die Bemerkungen zu dem radial rotierenden, wohl horizontal gespannten Eisendraht zur Formkontrolle und zur dichten Folge der Lehrbögen lassen den Schluss zu, dass beim Bau dieser Kuppel zwar Lehrbögen verwendet wurden, auf eine eigentliche Flächenschalung jedoch verzichtet wurde: Wenn der Abstand der Lehrbögen voneinander schon ganz unten nur etwa 2–3 Backsteinformate beträgt, sind die Lehrbögen oben derart dicht nebeneinander angeordnet, dass eine Schalung nicht mehr nötig ist, um jeden einzelnen Stein zu stützen. Berücksichtigt man, dass die Kuppel etwa 17.4 m Durchmesser aufweist, so entspricht die Angabe des unteren Abstandes etwa 80 Lehrbögen insgesamt bzw. einem Winkel der Lehrbögen zueinander von jeweils rund 4–5°.

Kurz nach Vollendung der Kuppelschale (1654) kam es wiederum zu Stockungen im Bauablauf, als der auftraggebende Papst Innozenz X. 1655 starb. Die Kuppel war noch eingerüstet, und die Laterne fehlte noch. Don Camillo Pamphili, der Neffe des Papstes, der für den Bau zuständig war, dessen Herz aber nicht so sehr für das Projekt seines verstorbenen Onkels brannte, und Borromini gerieten wegen der Fortführung des Baus immer wieder aneinander. Der Sache nicht eben förderlich war ausserdem, dass Borromini gleichzeitig an anderen Baustellen beschäftigt war und sich daher nur mässig intensiv um Sant'Agnese kümmerte. An der Baustelle von Sant'Agnese tat sich zwei Jahre fast nichts. Die beiden Bauführer Borrominis, die Maurermeister Pelle und Temanzi, forderten 300 Scudi Entschädigung für das immer noch am Bau befindliche, ihnen gehörende Bauholz der Gerüste, und beschwerten sich auch über Fehler und Lücken in einem Aufmass der geleisteten Arbeiten, das Borromini 1656 angefertigt hatte, und daraus resultierende ungenügende Entlohnung für die von ihnen geleisteten Maurerarbeiten. Schliesslich wurde 1657 Borromini entlassen und wieder durch den jüngeren Rainaldi, den Hausarchitekten der Pamphili, ersetzt. Die Maurermeister Pelle und Temanzi prozessierten gegen die Pamphili, um die noch ausstehenden Zahlungen und Entschädigungen zu erhalten. In einem der Protokolle zu diesem Prozess begründeten sie die ihnen entstandenen hohen Kosten mit folgenden Erläuterungen, die interessante Einblicke in den Baubetrieb eröffnen: «Zunächst muss man berücksichtigen, dass man zur Errichtung besagter Kuppel einen ponte reale (Arbeitsboden) herstellen musste, der die gesamte Öffnung mit ausserordentlichen Balken überdeckte; auf diesem Boden wurden die Winden aufgestellt, mit denen das Baumaterial aufgezogen wurde, das dann von Hand zu Hand dorthin weitergereicht wurde, wo man es benötigte. [...] Ausserdem muss man berücksichtigen, dass man bei gewöhnlichen Muldengewölben und Stichkappentonnen ausser dem Lehrgerüst keine weiteren Gerüste zum Einwölben benötigt, da normalerweise das Lehrgerüst zugleich auch als Arbeitsgerüst dient, während es bei dieser Kuppel notwendig war, nach und nach zusätzliche Arbeitsbühnen innen und aussen herzustellen, um das Werk auszuführen, wobei man stets innen und aussen genau entlang der Lehrbögen gearbeitet hat.»

Auch unter Leitung von Borrominis Gegenspieler Gian Lorenzo Bernini arbeitete man mit ganz ähnlichen Methoden des Kuppelbaus. Für Berninis Architektur ist die Tambourkuppel alles andere als typisch. Trotzdem errichtete er eine Kirche, die über eine solche verfügt, nämlich die kleine Kollegiatsstiftskirche San Tommaso di Villanova in Castel Gandolfo (erbaut 1659–60, also fast gleichzeitig mit Borrominis Kuppel von

Sant'Agnese). Architektonisch ist diese Kirche auf dem Grundriss eines griechischen Kreuzes mit einer Kuppel über niedrigem Tambour nur mässig interessant, sie folgt letztlich dem Muster von Santa Maria delle Carceri in Prato, allerdings mit etwas gestreckten Proportionen und mit einer halbkugelförmigen Kuppel.

Spannend ist hingegen eine Skizze Berninis, die Details des Gerüstes zum Bau der Kuppel zeigt. Die flüchtig in Bleistift ausgeführte Zeichnung zeigt im linken oberen Viertel einen Schnitt durch die halbe Kuppel mit dem darunterliegenden Lehrbogen. Dessen Sehne verbindet den Kuppelansatz mit dem Rand des Kuppelauges; auf den Rücken dieses Balkens sind Streben aufgesetzt, die offenbar einen Bohlenbogen stützen, der das Gewölbemauerwerk trägt. Der Lehrbogen ist so dargestellt, als stehe er auf einer Arbeitsplattform am Kuppelansatz. Wogegen er sich im Scheitel stützt, ist nicht angegeben. Oben rechts auf dem Blatt ist ein Horizontalschnitt durch ein Achtel der Kuppel zu sehen, auf dem im Kuppelinneren die Bohlenbögen und auf der Kuppelaussenseite wohl auskragende Arbeitsgerüste zu sehen sind. Die interessanteste Darstellung des Blattes ist jedoch im Grundriss rechts unten zu sehen: Der Grundriss zeigt die Innenkontur der Kuppel und den konzentrischen, kleineren Kreis des Kuppelauges. Skizzenhaft abgebildet sind des Weiteren zwei gabelartige, sich rechtwinklig kreuzende Balkenpaare, die wohl wie in dem von Nicodemus Tessin d. J. dargestellten Gerüst die Hauptkonstruktion einer an der Kuppelbasis angeordneten Arbeitsplattform bilden. Diese Balkenpaare spannen allerdings nicht frei, sondern werden durch vier massive, im Zentrum des Kuppelraumes im Quadrat angeordnete Vierkantstützen getragen. Man kann die Zeichnung so deuten, dass diese vier Stützen vom Boden der Kirche ausgehen. Vielleicht hat man sich die Stützen bis zum Kuppelauge verlängert zu denken, wo sie dann auch das obere Ende der Lehrbögen tragen könnten. Interessant ist des Weiteren die Darstellung der Lagerfugenausrichtung im Schnitt durch das Kuppelmauerwerk (links oben): Im unteren Drittel der Wölbung sind die Lagerfugen horizontal ausgerichtet und schwenken erst darüber in radiale Richtung. Der untere Teil der Kuppel wird also in vorkragenden Schichten ohne Schalung vom Arbeitsboden aus errichtet. Interessant ist Berninis Skizze auch als Beleg dafür, dass der Entwurf des Gerüstes nicht den ausführenden Handwerkern überlassen wurde, sondern vom Architekten selbst eigenhändig vorgegeben worden ist.

Die Kirche Santi Martina e Luca in Rom (Kuppel 1660–64) ist die Kirche der altherwürdigen Kunstakademie «Accademia di San Luca». Es handelt sich um den in Rom durchaus seltenen Fall, dass eine Kirche komplett nach den Plänen eines einzigen Architekten ausgeführt und auch noch zu dessen Lebzeiten vollendet worden ist. Im vorliegenden Falle war der Architekt Pietro Berettini, der aus Cortona in der Süd Toskana stammte und daher auch Pietro da Cortona genannt wurde. Ausgebildet als Maler, machte sich Pietro da Cortona in Rom als Freskant (z. B. Fresken im Palazzo Pamphili, im Palazzo Borghese und in der Chiesa Nuova), gleichzeitig aber auch als Architekt einen Namen. Cortona, der Maler, war 1634 zum Vorsteher der Kunstakademie ernannt worden; noch im selben Jahr legte er Pläne zum Bau der Kirche vor, mit deren Bau dann tatsächlich schon 1635 begonnen wurde. Die Kirche der Kunstakademie ist dem Evangelisten Lukas geweiht, der der Legende nach Maler war und daher als Patron der Maler verehrt wurde. Sie wurde jedoch auf dem Gelände des antiken Forums in Rom – direkt neben der Curia Iulia und dem Severusbogen – an einer Stelle errichtet, an der sich zuvor schon eine Kapelle der Hl. Martina befunden hatte. So kam sie zu ihrem Doppelpatrozinium. Unter der Kirche befindet sich eine «Krypta» mit den Reliquien der Hl. Martina, während die Oberkirche dem Hl. Lukas geweiht ist.

Die Kirche verdient nicht nur wegen ihrer Kuppel besondere Beachtung, sondern auch wegen ihrer Gesamtdisposition. Sie erhebt sich nämlich über dem Grundriss eines griechischen Kreuzes, das allerdings – wie bei San Carlo ai Catinari – in die Länge gezogen ist. Im Gegensatz zu San Carlo ai Catinari und den anderen «Quincunx»-Kirchen fehlen allerdings die vier Nebenkuppeln. Da die Kirche früher in eine dichte Bebauung einbezogen war, trat der klare Kreuzgrundriss aussen aber nicht so klar in Erscheinung, wie dies heute – nach der Freistellung der römischen Ruinen im 19. und 20. Jh. und dem damit einhergehenden Abriss der Umgebungsbebauung der Kirche – der Fall ist. Da die Kreuzarme allesamt ausgerundet enden – in der Hauptachse nahezu halbkreisförmig, in der Querachse in Form gedrückt korbbogiger Apsiden –, baucht die zweistöckige, unten mit Säulen, oben mit Pilastern bestückte Fassade in der Mitte vor. Zusammen mit den vortretenden, rahmenden seitlichen Mauerkörpern ergibt sich so eine «schwingende» Fassade, wie sie auch für andere Kuppelkirchen Roms des 17. Jahrhunderts charakteristisch ist.

Das Innere ist sehr stark geprägt durch eine rings um den ganzen Kirchenraum umlaufende Gliederung mit Vollsäulen, die vor die Wand gestellt sind und ein ununterbrochenes Gesims tragen. Säulen markieren auch die innen abgeschrägten Pfeiler des Kuppelraums.

Es ist völlig offen, zu welchem Zeitpunkt Cortona die Kuppel in der bestehenden Form entworfen hat. Der Bau der Kirche zog sich nämlich nach der Grundsteinlegung von 1635 lange hin, insbesondere nach der Fertigstellung des grössten Teils des Rohbaus bis 1640, und die teilweise noch fehlende Fassade wurde erst ab 1650, die Kuppel schliesslich in den Jahren 1660–64 errichtet. Die Pläne zur Kuppel wurden sicherlich in den 25 Jahren, die seit dem Baubeginn verstrichen waren, von Cortona noch überarbeitet. Die Kuppel hat mit rund 11.5 m eine mittlere Grösse. Die Höhe des Tambours entspricht nur seinem halben Innendurchmesser. Dass die Kuppel im Aussenbild dennoch prominent in Erscheinung tritt, ist einerseits ihrem sehr stark überhöhten Profil und der recht grossen Laterne (Durchmesser etwa $\frac{1}{5}$ des Tambourdurchmessers, bei den anderen Kuppeln üblicherweise nur $\frac{1}{6}$) zuzuschreiben, vor allem aber der äusserst plastischen Gestaltung: Die Wandstärke des – wie bei San Carlo ai Catinari – innen und aussen kreisrunden Tambours ist ähnlich wie bei Michelangelos Peterskuppel stark reduziert (etwa $\frac{1}{12}$ des Durchmessers), dafür aber durch acht radiale Strebepfeiler verstärkt, die stark vortreten und um die das abschliessende Gebälk des Tambours verkröpft ist. Die Strebepfeiler tragen starke Rippen, die die Gewölbeschale verstärken. Der Tambour öffnet sich in grossen, übergiebelten Rechteckfenstern. Der Zone des äusseren Hauptgesimses entspricht innen in der Kuppel eine Stelzung («dritto»). Auch innen wird die Kuppel durch Rippen gegliedert (mehr optisch als statisch wirksam). Die Kuppelschale ist nicht freskiert, sondern mit komplizierten Kassetten versehen, die optisch «hinter den Rippen» durchlaufen. Über dem Hauptgesims weist die Kuppel eine Attikazone auf, die durch halbkreisförmige «Entlastungsbögen» besetzt ist, die die in der Kuppel vorhandenen Kräfte auf den Ring der Strebepfeiler ableiten und die grossen Rechteckfenster möglich machen sollten. Ein Stich von Giovanni Battista Falda, der 1663 entstanden ist – also während der Bauzeit der Kuppel! –, zeigt an dieser Stelle Fenster, die wie bei San Carlo ai Catinari den Kuppelfuss belichten. Offenbar hatte Falda von Cortona Einsicht in dessen Baupläne erhalten; bei der Ausführung entschloss man sich dann aber (wohl aus statischen Gründen), die Fenster zu schliessen. Die Version mit offenen

Fenstern unterstreicht aber den Zusammenhang zwischen San Carlo ai Catinari und der Kirche Cortonas.

Kurz nach Vollendung der Kuppel von Santi Martina e Luca entwarf Pietro da Cortona eine weitere wichtige Kuppel, nämlich jene von Santi Ambrogio e Carlo al Corso, der Nationalkirche der Lombarden in Rom (Kuppel 1668–72). Wie die Kirche der Florentiner, so hatte auch jene der Lombarden eine lange Baugeschichte. Begonnen worden war sie schon 1612, und zwar nach Plänen des Lombarden Onorio Longhi, mit der doppelten Widmung an den antiken Bischof Mailands, den hl. Ambrosius, und den soeben (1610) heiliggesprochenen Bischof Mailands zur Gegenreformationszeit, Karl Borromäus (die Kirche wird oft auch nur kurz als «San Carlo al Corso» angesprochen). Die Kirche hat die in Rom einzigartige Form einer kreuzförmigen Basilika mit Umgangschor – vielleicht in Anspielung auf den Mailänder Dom. Nach 1639 kamen die Bauarbeiten erst einmal zum Erliegen – fertiggestellt war damals nur das Langhaus. Cortonas Kuppel entstand erst im Zuge der Wiederaufnahme der Bauarbeiten nach längerer Pause zwischen 1668 und 1672. Cortona war ins Spiel gekommen, weil man Zweifel an der Tragfähigkeit der vier Kuppel Pfeiler gehegt hatte und daher einen ganzen Reigen von Gutachtern aufgeboten hatte, die aber nicht zu einem einvernehmlichen Urteil gelangen konnten. Dank seiner kurz vorher vollendeten Kuppel von Santi Luca e Martina galt Cortona damals als «bester Theoretiker in diesem Berufsfeld», dem man nicht nur das Endurteil zugunsten der Tragfähigkeit zutraute, sondern wohl auch gleich den Auftrag zur Überwachung des Baus erteilte. Im Einzelnen ist Cortonas Beitrag zum Entwurf aber unklar, zumal dieser 1669 verstarb, bevor man noch über den Sockel des Tambours hinausgekommen war.

Auch bei San Carlo al Corso wählte man wieder einen innen und aussen runden Tambour von mässig schlanker Proportion (Höhe 2/3 des lichten Durchmessers von rund 13.6 m), der jedoch abermals durch riesige Rechteckfenster (ohne Giebelverdachungen) aufgebrochen wurde. Ermöglicht wurde dies durch einen Kranz von acht starken Strebepfeilern, die gleichermassen innen und aussen vorspringen. Maskiert wurden diese Strebepfeiler durch seitlich neben ihnen angeordnete Freisäulen. So entstand eine optisch bis aufs Äusserste aufgelöste Architektur, die in Wirklichkeit eine überaus stabile Konstruktion zur Grundlage hat (in den Strebepfeilern rund 3 m Mauerstärke, dazwischen allerdings nur rund 1 m). Innen und aussen fühlt man sich an die ganze Geschichte der Kuppel in Rom – von Bramantes Entwurf für Sankt Peter (die Säulenstellung am Tambour!) über San Carlo ai Catinari (Höhe und Durchfensterung des Tambours) bis zu Cortonas eigener Kuppel von Santi Martina e Luca erinnert – sogar die Zusatzbelichtung der Kuppelschale durch Fenster am Kuppelfuss tritt wieder auf. Interessanterweise spielte man noch während des Beginns der Bauarbeiten mit dem Gedanken, eine doppelschalige Kuppel zu bauen – daher auch der effektiv sehr starke und trotzdem leichte Tambour. Eine dünne, nur ihr Eigengewicht tragende Innenschale von etwa halbkugeligiger Form hätte den Tambour innen abgeschlossen, ohne der Kirche die durch die steile Aussenkontur der tragenden zweiten Schale erzielbare städtebauliche Dominanz zu verwehren – eine genaue Umkehrung der Verhältnisse an Brunelleschis Florentiner Kuppel! Es sieht ganz danach aus, als hätte man erst in letzter Minute während der Ausführung auf die Innenschale verzichtet – ein Kuriosum in der Geschichte des Kuppelbaus. Die Kuppel wurde in grossen Teilen aus verputztem Tevolozza-Mauerwerk errichtet und nach Einheitspreisen bezahlt – so sehr war der Kuppelbau im Rom des 17. Jahrhunderts zur Standardaufgabe geworden.

Das, was die barocke Architektur in San Giovanni dei Fiorentini eingeleitet hatte, kam an San Carlo al Corso zur Vollendung – architektonisch, aber auch konstruktiv. Die Kuppel blieb denn auch die letzte hohe Tambourkuppel der Ewigen Stadt im 17. Jahrhundert. Ausserhalb Roms wurde die architektonische Struktur des Cortona'schen Tambours im 18. Jahrhundert an zahlreichen anderen Kuppeln in Italien kopiert. Die klassizistische Gestalt, die sich durch das am Tambour umlaufende gerade Gebälk mit seinen weiten Interkolumnien ergab, kam dem architektonischen Geschmack des 18. Jh. offenkundig entgegen.

Zusammenfassung:

Die drei Hauptmeister des römischen Hochbarocks – Pietro da Cortona, Gian Lorenzo Bernini und Francesco Borromini – errichteten jeweils mindestens eine Kirche mit hoher Tambourkuppel. Jede dieser Kuppeln hat eine individuelle und neuartige Ausprägung, obwohl die Einzelmotive alle in den rund 150 vorausgehenden Jahren geprägt worden waren. Allen diesen Kuppeln gemeinsam ist eine stark plastische, gewissermassen bildhauerische Aussengliederung nach michelangeleskem Vorbild, eine reiche Belichtung durch den Tambour und eine sehr stark zugespitzte Form, die eine Fernwirkung sichert. Bautechnisch wurde für jede Kuppel eine eigene Lösung zwischen Mauerung auf Flächenschalung und fast freihändiger Erstellung gefunden. Der Kuppelbau erfolgte inzwischen mit bemerkenswerter Routine.

28. Hochbarock in Rom: Ovalekuppeln in Tiburio

Allein mit der Betrachtung der Kirchenbauten mit freier Tambourkuppeln wird man den Meistern des römischen Hochbarocks nicht gerecht. In ihren Hauptwerken verwendeten sie nicht die Tambourkuppel, sondern die in einem zylindrischen Mauerwerksmantel oder «Tiburio» versteckte Kuppel. Die Gründe dafür liegen auf der Hand: Die Tiburio-Kuppel eröffnete weitaus grössere Flexibilität bei der Wahl der Grundrissgeometrie. In einem zylindrischen Tiburio mit Kegel- oder Zelt Dach liessen sich Formen verstecken, die weit von einem Kreis- oder Polygongrundriss abwichen. Ein sichtbarer Tambour ovaler Form war zunächst undenkbar.

Tatsächlich beginnt das Wiederaufleben der nicht offen sichtbaren, extradossierten Kuppel in Rom mit Bauten über ovalem Grundriss. Das Längsoval bot ideale Möglichkeiten, die Vorstellung des Zentralraumes als «perfekter Form des Kirchenbaus» mit liturgischen Erfordernissen einer Gemeindekirche in Einklang zu bringen: Einerseits die Konzentration des Raumes in einem zentral ausgerichteten Kompartiment, andererseits die Auszeichnung einer Längsachse vom Eingang zum Hochaltar. Die ersten Experimente mit ovalen Kirchenbauten sind Giacomo Barozzi da Vignola zuzuschreiben, den wir bereits als Architekten der Gesù-Kirche kennengelernt haben, welche ja ebenfalls ein Meilenstein in der liturgisch sinnvollen Verbindung von Kuppelraum und Saalkirche darstellt. In einer kleinen Kapelle an einer der Hauptausfallstrassen Roms, nördlich vor der Porta del Popolo – Sant'Andrea in Via Flaminia – schuf Vignola um 1550 einen Rechteckraum, der über Pendentifs von einer ovalen Kuppel gekrönt wird, die aussen in ein Tiburio eingebettet erscheint. Einen echten Ovalraum baute er wenige Jahre später (ab 1565) im Vatikan in der Kirche der päpstlichen Reitergarde, Sant'Anna dei Palafrenieri. Auch dieser ist zwar aussen in einen rechteckigen Baukörper eingeschlossen, präsentiert sich innen jedoch als säulenumstandenes Längsoval, das in den vier Hauptachsen durch kleine Rechteckkapellen erweitert wird und über dem Hauptgesims durch eine flache Kuppelkalotte überdeckt ist, die in einem polygonalen Tiburio steckt, das durch ein Walmdach abgeschlossen wird.

Das Oval ist in der Architektur fast ausnahmslos eine korbogige Figur, d.h. es setzt sich aus tangential aneinandergesetzten Kreisbögen unterschiedlichen Radius zusammen. In der kunsthistorischen Literatur ist hingegen oft von «Ellipsen» die Rede. Geometrisch gesprochen ist dies falsch. Eine Ellipse ist ein Kegelschnitt, der durch affine Abbildung aus einem Kreis hervorgeht. Die Ellipsenkontur hat kontinuierlich sich ändernden Krümmungsradius. Will man eine elliptische Struktur mit konstanter Wanddicke errichten, so reicht es nicht aus, einfach die beiden Hauptachsen um die Wandstärke zu verlängern, um eine zweite (Ellipsen-)Kurve zu erhalten, die konstanten Abstand von der Ausgangsellipse hat. Vielmehr ist die gesuchte «offset curve» keine Ellipse, sondern eine analytisch nicht darstellbare Kurve, die auf jeden Fall (mühsam) punktweise konstruiert werden muss. Eine Normale zur Ellipse ist nicht gleichzeitig auch zur «offset curve» normal. Somit können z. B. Keilsteine eines elliptischen Bogens keine «radial» verlaufenden Fugen haben: Die Fugen können nur entweder auf dem Intrados oder dem Extrados des Bogens senkrecht stehen. Alle diese Eigenschaften machen die Ellipse zu einer äusserst unpraktischen Kurve für das Bauwesen, und alle diese Nachteile lassen sich vermeiden durch Verwendung eines korbogigen Ovals. Deswegen kommt die mathematische Ellipse in der Baukunst praktisch nicht vor, sondern nur das ähnlich aussehende Oval.

Ein Oval kann viel leichter gezeichnet und in Gelände abgesteckt werden als eine Ellipse. Auf dem Papier reichen ein Zirkel und ein Lineal, in der Natur ein Pflöck und eine Schnur, um die notwendigen Kreisabschnitte herzustellen. Die Ellipse hingegen kann zwar theoretisch mit der sogenannten «Gärtnerkonstruktion» mit Hilfe eines Seiles und zweier Pflöcke auch im Gelände gezeichnet werden; dazu benötigt man aber die sogenannten Brennpunkte der Ellipse. Deren Abstand voneinander ist aber zunächst unbekannt. Gegeben ist in der Regel die Länge der beiden Hauptachsen der Ellipse. Aus diesen müssen die Brennpunkte dann erst (mühsam) konstruiert werden. Im Gelände ist die «Gärtnerkonstruktion» ausserdem sehr ungenau. Sie reicht zwar, um ein elliptisches Blumenbeet zu definieren, nicht aber für die Genauigkeitserfordernisse eines Mauerwerksbaus. Genauer lässt sich die Ellipse aber nur mit punktweisen Konstruktionsmethoden bestimmen, zum Beispiel durch die sogenannte «Vergatterung» (schiefe Parallelprojektion eines Kreises) oder mit Hilfe der affin verwandten Haupt- und Nebenscheitelkreise. Diese Konstruktionen haben den Vorteil, dass man die Länge der Hauptachsen der Ellipse direkt als Ausgangsparameter in der Hand hat; dafür sind sie kaum für das Abstecken im Gelände, sondern nur für das Zeichnen auf dem Papier geeignet.

Die mathematisch korrekten Ellipsenkonstruktionen der Euklidischen Geometrie waren im 16. Jahrhundert bekannt und gängig. Sie werden zum Beispiel von Albrecht Dürer in seinem Geometrie-Lehrbuch «Underweysung der Messung» (1525) behandelt, oder auch in Sebastiano Serlios «Libro primo di geometria» (1551). Direkt hinter den Ellipsenkonstruktionen folgen aber bei Serlio die «forme ovali», also die korbboig zusammengesetzten Ovalkurven, während die Gärtnerkonstruktion nicht erwähnt wird. Will man das Verhältnis der längeren zur kürzeren Achse des Ovals a priori angeben (zum Beispiel als geradzahliges Wert), so ist die Konstruktion eines entsprechenden Ovals dennoch nicht trivial (man muss auf jeden Fall noch einen der beiden Scheitelkreisradien angeben, um das Problem eindeutig zu definieren, doch danach ist man auf Probieren angewiesen, um den Radius des zweiten Kreises zu bestimmen!).

Den Rang der berühmtesten Ovalkirche des 16. Jahrhunderts nehmen nicht Vignolas Kirchenbauten ein, sondern jene des Hospitals der Syphilis- und Leprakranken in Rom, des Ospedale degli Incurabili. Dieses Hospital an der Via del Corso verfügt über eine von Francesco Cipriani da Volterra geplante Kirche, San Giacomo degli Incurabili, begonnen 1592. Dieser Raum präsentiert sich ein wenig wie ein in die Länge gezogenes Pantheon: Das Oval (25.5 m lang und 18.7 m breit!) wird rings durch eine pilasterbesetzte Wand umgeben, in der sich in den Hauptachsen tonnengewölbte Kapellen bzw. Durchgänge öffnen, während in den Diagonalen niedrigere Bögen den Zugang zu überkuppelten Seitenkapellen eröffnen. Der ganze Raum wird über einer hohen Attika von einer flachen Kuppelkalotte überdeckt, in die auf jeder Längsseite drei grosse Fenster mit Stichkappen tief einschneiden. Eine Laterne gibt es nicht. Die Längsrichtung wird dadurch betont, dass die Tonnengewölbe des Eingangsraumes und des Durchgangs zu dem kleinen Hochaltarraum so hoch sind, dass sie in den Fuss der Kuppelkalotte einschneiden.

Aussen ist die Kuppel nicht sichtbar, da sie in einem hohen, mit starken radialen Strebepfeilern besetzten Tiburio steckt. Diese Strebepfeiler entsprechen den Wandstücken zwischen den Fenstern und Stichkappen und bieten so ein optimales Widerlager für die durch die Stichkappen ausgesteifte Kuppelkalotte. Die mächtigen radialen Strebemauern laufen in Voluten aus. Der Dachstuhl der Kirche erhebt sich über

dem Scheitel der Kuppelschale, und der Zwischenraum zwischen Gewölbe und Dach wird durch ovale Fenster direkt unter der Traufe belichtet.

Der Ovalraum zählt zu den architektonischen Leitmotiven des Barocks. Einige der wichtigsten Kirchen Roms des 17. Jahrhunderts weisen einen ovalen Grundriss auf. Zu nennen sind insbesondere Borrominis kleine Kirche San Carlo alle Quattro Fontane (1638–39) und Berninis Sant'Andrea al Quirinale (1658–70) – die erste ein Längsoval, die zweite ein Queroval. Wir beginnen mit Bernini und besprechen sodann Borrominis Kirche, zusammen mit der ebenfalls durch eine Tiburio-Kuppel bekrönten Kirche Sant'Ivo alla Sapienza, die allerdings keinen ovalen Grundriss, sondern einen sechseckigen aufweist.

Im Schaffen des Gian Lorenzo Bernini (1598–1680) spielte die Sakralarchitektur keine so grosse Rolle wie im Œuvre Borrominis. Bernini, der nicht aus dem Tessin oder der Lombardei stammte, sondern von toskanischer Abstammung und in Neapel geboren und aufgewachsen war, machte sich zunächst als erstklassiger Bildhauer einen Namen, dessen Plastiken sich durch eine vorher nie gesehene Qualität der Oberflächenbearbeitung und theatralische Inszenierungen auszeichneten. Erst als über 60-jähriger hatte Bernini Gelegenheit zum Entwurf von drei Sakralbauten, die fast gleichzeitig entstanden. Alle drei sind Zentralbauten. Neben der bereits erwähnten kleinen Stiftskirche von Castelgandolfo auf Grundriss des griechischen Kreuzes mit ganz kurzen Kreuzarmen ist noch die ganz in der Nähe gelegene, vom Pantheon in Rom inspirierte Rundkirche der Maria Assunta in Ariccia zu nennen. Berninis Meisterwerk aber ist die Kirche Sant'Andrea al Quirinale, die für das Noviziat der Jesuiten gegenüber dem Quirinalspalast in Rom 1658–72 (Rohbau schon um 1660 fertig) errichtet wurde.

Es handelt sich nicht um Längsoval wie bei San Giacomo degli Incurabili, sondern um ein Queroval. Wie in einer Reminiszenz des Pantheons ist auch hier das Rund durch eine durchgehende Wand umschlossen, deren Pilastergliederung ein umlaufendes Gebälk trägt, das lediglich auf der dem Eingang gegenüberliegenden Seite durch eine Ädikula durchbrochen wird, die den Eingang in die Altarkapelle vermittelt. Das Oval wird ringsum durch Kapellen erweitert – auf jeder Seite der Hauptachse vier, es gibt also keine Kapellen auf der Querachse. Dadurch erhält die Kirche trotz der Querorientierung des Ovals eine deutliche Längsausrichtung – ein typisch barocker Überraschungseffekt. Die Kapellen ordnen sich dem Hauptraum unter, abgesehen von der grossen Altarkapelle, die durch ein Oberlicht hell erleuchtet und hinter den freistehenden Säulen der Ädikula wie eine Bühne inszeniert ist. Über dem «Bühnenportal» der Ädikula setzt die Kuppel an, direkt über dem Hauptgesims, und der segmentbogige Giebel der Ädikula ist aufgebrochen; an dieser Stelle steigt der hl. Andreas als Vollplastik in den «Himmel» der Kuppel auf. Die Kuppelschale wird durch Rippen gegliedert und dazwischen durch vergoldete Kassetten geziert, wie bei Pietro da Cortonas Kuppeln. Ringsum ist die Kuppel in das Tiburio eingeschlossen, das von aussen wie ein Tambour wirkt. Wie bei San Giacomo degli Incurabili wird der Schub der Wölbung aussen durch radiale Strebepfeiler aufgenommen, die unten in Voluten auslaufen und die Kräfte auf die keilförmigen Mauerstücke zwischen den Kapellen ableiten. Die Kuppel ist aussen durch ein Zeltdach überdeckt, aus dem nur die Laterne herausragt. Das Motiv der zwischen dem Hauptraum der Kirche und dem Altarraum vermittelnden Ädikula taucht auch aussen noch einmal auf, nämlich in Gestalt der Ädikula-Fassade, die zwischen zwei niedrigen viertelkreisförmigem Flankenmauern vor dem Zylinder der Rotunde steht. Die Strenge der Ädikulafassade wird aber gebrochen

durch einen halbkreisförmigen, auf zwei Freisäulen ruhenden Portikus, der sich über einer in Vorplatz kreisförmig vortretenden Treppenanlage erhebt.

Wenngleich Borromini mit der Kuppel von Sant'Agnese eine der grössten und im Stadtbild wirksamsten Kuppeln Roms geschaffen hat, kam auch seine Architekturauffassung dennoch am stärksten bei Kuppelbauten zum Ausdruck, bei denen die Einschliessung der Kuppelschale in eine Mauerwerksmasse die geometrische Flexibilität erhöhte. Die Statik einer freistehenden Kuppelschale ist überwiegend durch die Form geprägt. Das schränkt die Freiheit der Formgebung ein, vor allem bei einem Material wie Mauerwerk, das Zugspannungen nur sehr eingeschränkt übertragen kann. Zwar kann Mauerwerk aufgrund der Verzahnungswirkung des Verbandes und der Reibung und Kohäsion der Mörtelfuge gewisse Zugspannungen aufnehmen, aber nur in bestimmten Richtungen (nämlich parallel zur Lagerfuge) und nur dann, wenn orthogonal zu dieser Richtung gleichzeitig entsprechend hohe Druckspannungen auftreten. Bei einer hinterfüllten oder hintermauerten Schale lässt sich hingegen durch entsprechende Wahl des Hinterfüllungsmaterials meist ein allseitiger Druckzustand in der eigentlichen Schale erzielen, eine Art «Vorspannung» der Schale durch das Eigengewicht des Hinterfüllungsmaterials. Diese Möglichkeit wurde allerdings durch die frühen Tiburio-Kuppeln von Bramantes Santa Maria delle Grazie bis zu Francesco da Volterras San Giacomo degli Incurabili und Berninis Sant'Andrea al Quirinale nicht ausgeschöpft. Bei diesen Bauten belastet lediglich die Mauertrommel des Tiburios das Kuppelwiderlager und erleichtert durch ihr Eigengewicht den Abtrag der Kuppellasten in den Unterbau, während die eigentliche dünne Kuppelschale auch nicht anders funktioniert als bei einer freistehenden Kuppel.

Man kann es als eigentliche Erfindung Borrominis betrachten, die Kuppel mit dem umschliessenden Tiburio in einen Gesamtzusammenhang gebracht zu haben. Diese Strategie zeigte sich zum ersten Mal schon bei der kleinen Kirche San Carlo alle Quattro Fontane, die Borromini für den in der Krankenseelsorge tätigen Trinitarierorden zwischen 1634 und 1637 entwarf und deren Kuppel 1639 geschlossen wurde. Die Kirche nimmt zusammen mit dem Klausurgebäude und dem kleinen Klostergarten ein beengtes Eckgrundstück an einer durch vier Brunnen bezeichneten Strassenkreuzung auf dem Quirinalshügel ein (daher der Name). Die Kirche kann nicht isoliert betrachtet werden, ist sie doch eng in den ganzen Komplex eingebunden, dessen zwei- bis dreistöckige Räumlichkeiten auch die Widerlager für die Kuppel der Kirche bilden.

Auf dem begrenzten Bauplatz entwickelte Borromini die Kirche auf einem rautenförmigen Grundriss, der an allen vier Ecken durch flache, ausgerundete Apsiden erweitert wird, so dass sich auch die Form eines leicht längsgedehnten griechischen Kreuzes im Grundriss abzeichnet. Der rautenförmige Raum ist rings durch eine Ordnung aus Dreiviertelsäulen gegliedert, die ein durchgehendes Gebälk tragen. Das Innere der Raute wird – über diesem Unterbau durchaus unerwartet und überraschend – durch eine ovale Kuppel überwölbt. Diese wird an ihrem Fuss durch schräge Lichtschächte belichtet und ist mit kreuzförmigen und achteckigen Kassetten verziert. Im Scheitel öffnet sie sich in einem ovalen Opaion, über dem sich eine bemerkenswerte Laterne in Form eines runden Tempelchens mit konkav einschwingendem Gebälk über Freisäulen erhebt. Die Kuppel tritt nur mit dem obersten Drittel ihrer Kalotte aus dem Unterbau hervor. Der ganze Rest steckt im Tiburio und wird durch dieses stabilisiert. Leider ist über die Konstruktion der Kuppel trotz einer in den frühen 2000er Jahren stattgefundenen Restaurierung nur wenig bekannt. Aus der Analogie zu anderen Bauten Borrominis und

weiteren Bauwerken in Rom derselben Zeit kann man jedoch davon ausgehen, dass die Kuppel aus Backstein besteht, wahrscheinlich durch einen eisernen Ringanker umzogen wird und mit Sicherheit auf einer vollflächigen Schalung errichtet wurde, denn bei einer Ovalekuppel ist die Formkontrolle ohne Schalung nahezu unmöglich – schon ganz und gar, wenn sie auch noch kassettiert ist. Im Längsschnitt erscheint die Kuppel in den vorliegenden Bauaufnahmen mit halbkreisförmiger Kontur, also weist sie in Querrichtung ein überhöhtes Profil auf. Damit ist ihre Geometrie relativ steil, was der statischen Sicherheit zugutekommt.

Wenige Jahre nach Vollendung der Kuppel von San Carlo alle Quattro Fontane bekam Borromini Gelegenheit, auch die Kapelle der päpstlichen Universität von Rom, des «Archiginnasio della Sapienza» zu errichten. Er war schon 1632 offiziell zum Baumeister der Universität ernannt worden, deren Baulichkeiten sich um einen schon im späten 16. Jahrhundert errichteten, längsrechteckigen, an einem Ende halbrund geschlossenen Arkadenhof gruppieren, hinter der sich die als Rotunde geplante Universitätskapelle Sant'Ivo alla Sapienza erheben sollte.

Unter Borrominis Leitung wurde die Rotunde in eine ungewöhnliche Grundrissform transformiert, nämlich in ein regelmässiges Sechseck, das sich auf allen sechs Seiten zu Kapellen öffnet. Diese sind im Grundriss wechselweise halbkreisförmig und trapezförmig, so dass der trapezförmigen Eingangskapelle gegenüber die halbkreisförmige Hauptaltarkapelle zu liegen kommt. Die Rückwände der trapezförmigen Seitenkapellen sind konvex nach innen hin gekrümmt. Die Innenwände werden durch eine grosse Pilasterordnung gegliedert, die zusammen mit dem ununterbrochenen Hauptgebälk die spitzwinklig einspringenden Ecken des Baus betont. Die grösste Überraschung des Baus aber ist die Kuppel. Sie ist in ein Tiburio eingebettet, dessen Aussenkontur dem Grundrisssechseck, jedoch mit sechs halbkreisförmigen Apsiden entspricht. Schon auf Höhe des Kranzgesimses vollzieht sich auch innen an der Kuppel der Übergang von der konvex nach innen schwingenden Form zu einer kürbisartigen Schirmkuppel, die aus sechs nach aussen geblähten Wangen («vele») besteht. Diese Form ermöglicht es, dass das oberste Drittel der Kuppel wieder – wie bei San Carlo alle Quattro Fontane – aussen frei zutage tritt, während der statisch ungünstige Teil mit den unzureichend nach aussen gekrümmten Teilflächen im Tiburio steckt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich Borromini zu dieser exquisiten Kuppelform durch die altrömischen Ruinen der Hadriansvilla bei Tivoli inspirieren liess, wo ähnliche Kuppeln im sogenannten «Canopus» und über dem Eingangspavillon und Hauptsaal der sogenannten «Piazza d'Oro» sowie in den kleinen Thermen zu finden sind. In Abweichung von der Form der «Schirmkuppel» geht Borrominis Kuppel allerdings nicht über Schildbögen aus dem geschwungenen Grundriss hervor, sondern wird direkt aus diesem in die Wölbung überführt. Die Belichtung der Kuppel erfolgt durch grosse Fenster, die in den Kuppelfuss einschneiden.

Im Gegensatz zu den römischen Kuppeln aus *opus caementitium* ist Borrominis Kuppel in Backstein ausgeführt. Es wurden sicherlich hölzerne Lehren benützt, um die horizontalen Schnitte der Kuppelschale auf der Baustelle zu definieren. Mindestens im Mittelteil der Kuppel setzte man aber auch in den vertikalen Schnitten Bogenlehren ein, die eine Schalung trugen. Die Stuckateure, die die Kuppel nachher verputzten, beklagten sich allerdings dennoch über mangelnde Ausführungsgenauigkeit und daraus entstandenen Zusatzaufwand. Aussen ist der sichtbare Teil der Kuppelschale in Stufen abgetreppt, ein Motiv, das vom Pantheon und anderen antiken Kuppeln abgeleitet ist. In ihrer komplizierten Struktur blieb die Kuppel von Sant'Ivo ohne direkte Nachfolge.

Die Krönung der Kuppel bildet die hohe Laterne, deren Grundriss jener von San Carlo alle Quattro Fontane gleicht, die aber durch einen spiralg ansteigenden «Turm von Babel» im Miniaturformat gekrönt wird.

Zusammenfassung:

Das eigentliche Leitmotiv der römischen Sakralarchitektur des Hochbarocks ist der Ovalraum. Ovale Kuppeln wurden zunächst nur in der Form der in ein Tiburio eingebetteten Kuppeln errichtet, während ein sichtbar ovaler Tambour zunächst undenkbar blieb. Die ovalen Kirchenräume orientierten sich zunächst generell an der Idee eines etwas in die Länge gezogenen «Pantheon»-Innenraums. Erst Francesco Borromini eröffnete der Kuppel durch Einbettung in ein stabilisierendes Mauerwerksmassiv zwischen der äusseren, tiburioartigen Kontur und der inneren Schale eine (fast) grenzenlose Formenvielfalt. Das dadurch entstehende Spiel mit dem unerwarteten Gegensatz zwischen Aussenerscheinung und Innenraum fand in der späteren Barockarchitektur Piemonts und des deutschen Sprachraums vielfache Nachahmung.

29. Ausbreitung des Barocks: von Italien in den deutschen Sprachraum

Der in Rom geborene Barockstil wurde zum dominierenden Stil der Gegenreformation. Er breitete sich nicht nur in Italien rasch aus, sondern überschritt auch bald die Alpen und bestimmte in Österreich, Böhmen, Süddeutschland und Teilen der Schweiz die Architektur bis ins späte 18. Jahrhundert. Die schnelle Ausbreitung des neuen Stils war unter anderem den zahlreichen Architekturbüchern zuzuschreiben, in denen die stadtrömischen Leitbauwerke abgebildet waren und die somit auch für fernab gelegene Gegenden Vorlagen lieferten (z.B. die Kupferstichsammlungen der in Rom tätigen Familie de' Rossi). Ausserdem verbreiteten sich die neuen architektonischen und bautechnischen Errungenschaften auch durch familiäre Netzwerke. Wie wir schon gesehen haben, wurde der Frühbarock in Rom durch zahlreiche Baumeister aus dem Tessin und der unmittelbar angrenzenden Lombardei getragen. Andere Familienmitglieder derselben Clans wurden bald auch im Norden tätig. Die neuen Barockformen wurden überdies durch wandernde Bauhandwerker nach Norden transportiert, die im Sommer in der Fremde tätig waren, im Winter jedoch in ihre Heimat rings um Langensee, Luganer See und Comer See zurückkehrten, so auch die sogenannten «Magistri Grigioni» aus dem Südbündner Misox, also wieder aus der unmittelbaren Nachbarschaft der Heimatorte der in Rom tätigen Baumeister.

Zunächst erreichte der Barock vor allem auch Norditalien. Im Herzogtum Savoyen bzw. in dem diesem nachfolgenden Königreich Sardinien (d.h. im heutigen Piemont mit Hauptstadt Turin) konnte sich unter der Führerschaft des Theatinerpaters und Mathematikers Guarino Guarini (1624–83) eine Variante des Barockstils etablieren, die vor allem in Österreich, Böhmen und Süddeutschland grossen Eindruck machte und als Anregung diente. Guarinis Architektur näherte sich in der Freiheit der bewusst unklassischen Kombination verschiedener Architekturelemente Borromini. Auch die Grundrisse ähneln mit ihrer Kombination konvexer und konkaver Raumgrenzen jenen Borrominis. In der Konstruktion hingegen ging Guarini eigene Wege: Die meisten seiner Turiner Bauten sind Backsteinbauten mit teilweiser Werksteinverkleidung. Die Kuppelkirchen Guarinis – namentlich die Kirche San Lorenzo in Turin und die Reliquienkapelle des hl. Grabtuches Christi, die an den Dom von Turin angebaut wurde, sind in relativ einfache Grundrisse eingebettet. Hinter den Kulissen versteckte

Haupttragbögen stützen die Kuppel, während der Innenraum selbst sich in stark kurvierter Werksteinarchitektur (oder Stuckimitation von Werkstein) präsentiert, die am klar konzipierten tragenden Gerüst lediglich «aufgehängt» ist. Besonderes Merkmal Guarinis sind die rekursiv aufeinandergesetzten Bogentragwerke, die fast an die frühislamische Architektur Spaniens erinnern.

In Venedig entwickelte Baldassare Longhena für die Votivkirche Santa Maria della Salute, die die Stadt zum Dank für die Befreiung von der Pestepidemie von 1631 errichtete, aus stadtrömischen Architekturvorbildern (vor allem aus einem Entwurf Antonio da Sangallos d.J. für San Giovanni dei Fiorentini) eine originelle neue Architektur einer Kirche, bei der sowohl der Gemeinderaum als auch das Presbyterium jeweils von einer Kuppel gekrönt werden. Die grosse Kuppel des achteckigen Gemeinderaums hat eine rotationssymmetrische Form. Aussen wird der Tambour durch «Strebepfeiler» in Form grosser Voluten gestützt. Wie bei St. Peter in Rom wurde die Kuppel auf Schalung in Backstein ausgeführt. Im Gegensatz zu St. Peter verzichtete man jedoch auf eine zweite massive Aussenschale und hüllte die gemauerte Innenkuppel stattdessen in eine hölzerne Schutzkuppel ein. Vorbilder für diese Konstruktion gab es in Venedig und Umgebung natürlich schon zur Genüge; insbesondere sind hier die Kuppeln von San Marco in Venedig und von Sant'Antonio in Padua zu nennen, die beide im 13. Jahrhundert schon mit solchen hölzernen Aussenkuppeln ausgestattet worden waren.

Die Kuppel als Leitmotiv des barocken Kirchenbaus sollte bald darauf auch in Österreich Einzug halten. Wie in Turin, so war auch in Österreich zunächst Borromini das grosse Vorbild. Einer der ersten Misoxer Baumeister, die den borrominischen Barock nach Österreich brachten, war Giovanni Gaspare Zuccalli, der die Kajetanerkirche in Salzburg errichtete. Ihre ovale Tambourkuppel wird wie bei Santa Maria della Salute in Venedig durch eine in leichter Holzkonstruktion ausgeführte Aussenkuppel (rippenartige Bohlenbögen) gegen die Witterungseinflüsse geschützt. An Sant'Agnese in Agone erinnert die von Johann Bernhard Fischer von Erlach errichtete Dreifaltigkeitskirche, ebenfalls in Salzburg, auch sie mit einer ovalen Tambourkuppel. Fischer von Erlach entwickelte sich neben Lucas von Hildebrandt um 1700 zum bedeutendsten Architekten Österreichs. Er vertritt den Typus des gelehrten Architekten, der mit der gesamten älteren und neueren Architektur vertraut ist. 1721 erschien sein *Entwurff einer historischen Architectur*, in dem er seine eigenen Entwürfe in einen Kontext zu den bedeutendsten historischen Bauwerken von der Antike bis zu seiner eigenen Zeit stellte. Entsprechend seiner umfassenden Kenntnis historischer Architektur zitierte Fischer von Erlach bei seinen eigenen Bauten oftmals bekannte Vorbilder. Bei der Salzburger Kollegienkirche (Jesuitenkirche) griff er auf San Carlo ai Catinari in Rom zurück (in die Länge gezogene Quincunx); die Zweiturmfassade mit konvex vorgewölbter Mitte, die Fischer von Erlach dieser Kirche nach eigenen Ideen vorsetzte, war für die spätere süddeutsch-schweizerische Barockarchitektur ein wichtiges Vorbild (Abteikirche Weingarten, Kathedrale St. Gallen, Einsiedeln). Fischer von Erlachs Meisterwerk schliesslich ist die Karlskirche in Wien. Wie bei der Dreifaltigkeitskirche in Salzburg ist der Gemeinderaum hier als Längsoval mit Tambourkuppel gestaltet (wiederum mit leichter hölzerner Aussenschale). Den konvex-konkaven Fassaden Borrominis wird bei der Karlskirche durch Zitate aus der Architekturgeschichte ein klassisches Kleid übergeworfen (statt Türmen Kopien der Trajanssäule in Rom, in der Mitte ein klassischer sechssäuliger Portikus).

Auch ins Kurfürstentum Bayern wurde die italienische Barockarchitektur vornehmlich durch Misozer Baumeister gebracht. Hier war es Enrico Zuccalli, der die spätgotische Abtei- und Wallfahrtskirche in Ettal in einem Hochtal der Alpen unweit von Oberammergau in einen zeitgemässen Barockbau verwandelte: Der zwölfeckige mittelalterliche Zentralbau, in dessen Mitte ein Pfeiler ein Sternengewölbe stützte, wurde in eine auf dem Boden stehende Tambourkuppel umgedeutet. Dabei wurde sehr viel gotischer Bestand übernommen; sogar die gotischen Strebepfeiler wurden beibehalten und nur durch geschwungene Abschlüsse modernisiert. Seitlich stellte Zuccalli zwei neue Türme neben den alten Zentralbau und verband alle drei Elemente durch eine konkav-konvex-konkav geschwungene Säulenfassade, wieder in entfernter Reminiszenz an Sant'Agnese in Agone. Die neue Kuppel, die in ihrer Aussenerscheinung Anklänge an Michelangelos Petersdomkuppel zeigt, ist konstruktiv wieder ebenso ausgeführt wie die andern Kuppeln nördlich der Alpen: Nur die innere Schale ist gemauert, während die äussere Schale mit den vorgetäuschten radialen Rippen eine reine Holzkonstruktion ist, die durch einen aufwendig konstruierten Dachstuhl getragen wird. Den bestehenden «Tambour» der Kuppel und auch die neu errichtete stützenfrei über den Innenraum spannende innere gemauerte Kuppelschale sicherte Zuccalli nach italienischem Vorbild durch eiserne Ringanker, die aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt sind. Um Kraftschlüssigkeit zu erzeugen, sind die Segmente durch Ösen verbunden, in denen jeweils ein Keil steckt, der so weit eingetrieben werden kann, bis die Segmente straff sitzen.

In der Barockarchitektur Bayerns im 18. Jahrhundert tauchen sichtbare Tambourkuppeln nur noch selten auf. Man entschied sich vielmehr häufiger dafür, selbst grosse Kuppeln in einem gewöhnlichen Satteldach zu verstecken, so dass die Kirche beim Betreten des Inneren mit einem umso grösseren Überraschungseffekt aufwarten kann (eine Art «Überwältigungsästhetik»). In besonderer Weise spielte der Hauptmeister des bayerischen Barocks, Johann Michael Fischer, mit der Raumwirkung hinter einander aufgereihter Kuppelräume.

Zum Erfolgsmodell schlechthin avancierte jedoch schon im 17. Jahrhundert sowohl in Bayern als auch in Österreich die sogenannte Wandpfeilerkirche. Zahllose Stifts-, Kloster- und Stadtpfarrkirchen sind nach diesem Modell gestaltet. Eines der wichtigsten Modelle für diese Kirchen war die 1610–17 errichtete Jesuitenkirche (Studienkirche) in Dillingen an der Donau, wiederum unter Leitung eines Misozer Baumeisters (Giovanni Albertalli, eingedeutscht Hans Alberthal) ausgeführt. Auf den Entwurf hatten allerdings möglicherweise die Prager Hofmaler Joseph Heintz und Matthias Kager Einfluss genommen.

Die klassische Wandpfeilerkirche weist ein durch eine Längstonne überwölbtes saalartiges Schiff auf, an das sich auf beiden Längsseiten eine Nebenkapelle an die andere reiht. Diese Nebenkapellen sind durch zungenartige Mauern (die «Wandpfeiler») voneinander getrennt, die die Aufgabe übernehmen, den horizontal wirkenden Schub des Tonnengewölbes sicher abzuleiten. Da hierzu die Seitenkapellen entsprechend weit hinaufreichen müssen, schneiden die ebenfalls als Tonnen gestalteten Gewölbe der Seitenkapellen mit grossen Stichkappen weit in das Tonnengewölbe des Hauptraumes ein. Der Hauptraum wird nur durch die (grossen) Fenster in den Aussenwänden der Seitenkapellen indirekt belichtet. Im Blick vom Eingang der Kirche her entsteht der Eindruck einer Tiefenstaffelung theatralischer, indirekt beleuchteter Kulissen. Besonders stark ist diese Wirkung, wenn die Zungenmauern (die «Wandpfeiler») jeweils auch noch

mit entsprechend an der Kirchenlängsachse gestaffelt aufgestellten Seitenaltären ausgestattet sind. Die architektonische Gestaltung der Wandpfeilerkirche basiert darauf, dass die Wandpfeilerstirnen mit Pilastern (meist) oder Halbsäulen (selten; Kirche Neustift b. Freising; Zwiefalten an der Donau; Fürstenfeldbruck) besetzt sind. Manchmal sind die Seitenkapellen durch Emporen in der Höhe geteilt. Aus der Art der Führung der Emporenbrüstung (gerade, in jeder Kapelle konkav eingezogen oder im Gegenteil in jeder Kapelle balkonartig konvex vorspringend) ergeben sich weitere Gestaltungsmöglichkeiten.

Das System der Wandpfeilerkirche, bei dem die Wandpfeiler und die quer zur Raumachse orientierten Tonnengewölbe der Seitenkapellen als Auflager für die grosse Mittelschiffstonne dienen, verband die in der Barockzeit angestrebte theatralische Wirkung des Kirchenraums mit äusserst solider konstruktiver Konzeption. Daher erfreute sich das System äusserster Beliebtheit und wurde auch von den bedeutendsten Architekten wie Johann Michael Fischer oder Balthasar Neumann und Christoph Dientzenhofer angewendet. Aufgrund der guten Verstrebung des Mittelschiffsgewölbes war es möglich, dieses selbst bei grossen Spannweiten als Massivgewölbe (in Backstein) auszuführen. Manchmal ist das Gewölbe oberseits bis zur Höhe des Scheitels der Stichkappen der Seitenkapellen massiv ausgefüllt; manchmal setzen sich auch die Wandpfeiler oberhalb der Gewölbe als Strebemauern fort, die das Hauptgewölbe auch im Dachraum stützen. Ober- und unterseitig ist das Hauptgewölbe oft zusätzlich durch Gurte verstärkt. Diese standen allerdings grossflächigen, jochübergreifenden Fresken im Weg und fehlen daher auch manchmal oder wurden nachträglich entfernt.

Wiederum die magische Spannweite von 18.60 m erreichte man bei einer der grössten Wandpfeilerkirchen, der Klosterkirche der unter dem besonderen Patronat der bayerischen Kurfürsten stehenden Zisterzienserabtei Fürstenfeld (Fürstenfeldbruck bei München, ursprünglich eine mittelalterliche Sühnestiftung eines bayerischen Herzogs). Dieser Bau, den der Misoher Giovanni Antonio Viscardi im frühen 18. Jahrhundert begann, der aber infolge einer Bauunterbrechung während des Exils des bayerischen Kurfürsten zur Zeit des Spanischen Erbfolgekriegs erst nach 1714 fertiggestellt werden konnte, weist ein besonders bemerkenswertes Gewölbe auf: Um Gewicht zu sparen, ist das Backsteingewölbe auf der Oberseite durch «Kassetten» ausgehöhlt und zusätzlich durch Gurtbögen verstärkt sowie ausserdem (wenig wirksam) durch eiserne Bänder am hölzernen Dachstuhl aufgehängt. Diese ungewöhnliche und ängstliche Lösung zeugt von dem Respekt, den der bauausführende Polier Viscardis nach dem Tod des eigentlichen Baumeisters der anspruchsvollen Spannweite entgegenbrachte.

Das Dachwerk der Wandpfeilerkirche konnte einerseits ein breites Auflager auf den Gewölben der Seitenkapellen finden, musste andererseits jedoch meist derart konzipiert werden, dass das Längstonnengewölbe des Hauptraumes nicht *unter* der Zerrbalkenlage, sondern *innerhalb des Dachdreiecks* Platz fand. Eine Lösung für dieses Problem ergab sich oft durch eine Kombination der inzwischen weitgehend standardisierten Dachwerkskonstruktionen mit stehendem bzw. liegendem Stuhl. Sehr viele barocke Dachwerke über Wandpfeilerkirchen bestehen aus übereinander gestapelten stehenden und liegenden Stühlen, fast immer in Kombination mit Hängewerken. Um die nach aussen strebenden Dachfusspunkte zusammenzuhalten, die ja nicht mehr durch eine durchgehende Zerrbalkenlage zusammengebunden waren, mussten zusätzlich diagonale oder kreuzförmig angeordnete Zugstreben an den Dachwerksbindern angeschlossen werden.

Die Kuppel als Leitmotiv der barocken Sakralarchitektur verlor im 18. Jahrhundert zusehends an Bedeutung. Bedeutende aussen sichtbare Tambourkuppeln entstanden allerdings trotzdem noch gelegentlich bis ins ausgehende 18. Jahrhundert, so an der Abteikirche in Weingarten oder an der Kathedrale von Solothurn.

Auch wenn man in der Barockzeit vielfache Konstruktionen erfand oder weiterentwickelte, die es ermöglichten, selbst sehr komplizierte geschwungene Grundrisse mit gemauerten Backsteinschalen zu überwölben, waren naturgemäss der Gestaltungsfreiheit bei Massivgewölben gewisse statisch-konstruktive Grenzen gesetzt. Um diese zu umgehen, bediente man sich vor allem im 18. Jahrhundert sehr häufig auch der «Scheingewölbe», also vorgetäuschter Gewölbe, die eigentlich nur in leichter Holzkonstruktion ausgeführte Kulissen sind. Die Ursprünge der leichten Gewölbe lassen sich bis in die Antike zurückführen. Vitruv beschreibt vorgetäuschte Gewölbe, die von Deckenbalken abgehängt sind und nur aus verputzten Schilfbündeln bzw. Schilfmatten bestehen. In Oberitalien – nicht zuletzt in Venedig mit seinem notorisch schlechten Baugrund – verwendete man schon in der Spätgotik und Renaissance häufig solche «volte in camorcanna» (canna = Schilfrohr, «camorcanna» zusammengesetzt aus «camera» und «canna»). Manchmal wurden die Rippen von Kreuzrippengewölben massiv ausgeführt, die Kappen hingegen nur in «camorcanna», manchmal gleich das ganze Gewölbe. Neben der Verwendung von Schilfrohr ist häufig die Konstruktion der leichten Gewölbekappen als «Lattengewölbe» anzutreffen. Zu deren Konstruktion werden rippenartige Bögen aus hochkant gestellten, in mehreren Lagen miteinander vernagelten Brettern oder Bohlen innenraumseitig mit einem Lattenrost versehen, der dann als Putzträger dient und vollständig eingeputzt wird (Putz verstärkt durch rissvermeidende Bewehrung, z.B. mit Tierhaaren). Solche Bohlenbögen-Latten-Gewölbe kommen sowohl als am Dachwerk aufgehängte als auch als weitgehend freitragende Konstruktionen vor. Manchmal ist auch die gesamte Gewölbefläche vollflächig mit dünnen Brettern verschalt und nur innenraumseitig verputzt. Scheingewölbe sind häufig in den Werken der sogenannten «Stuckator-Architekten», während Architekten, die von Haus aus Maurer- oder Zimmermeister waren, oftmals das gemauerte Backsteingewölbe bevorzugten.

30. Werkstein, Holz und Eisen – Frankreich 1627–1790

Auch in Frankreich verfehlte es der römische Barockstil nicht, kräftigen Eindruck zu machen. Jedoch entstand schon allein aus der Rolle des zunehmend absolutistisch regierenden französischen Königs eine politische Rivalität zu Rom und zum Papst, die auch architektonischen Ausdruck fand.

Ausgangspunkt des französischen Barockstils war zunächst die französische Baukunst des 16. Jahrhunderts. In ihr setzte sich die Spätgotik nahezu bruchlos fort, auch wenn sich die Detailformen (Kapitelle, Profile, Ornamente) unter dem Einfluss der italienischen Renaissance nunmehr an den klassischen Ordnungen und nicht mehr am gotischen Blattkapitell orientierten. In der Grossform gleichen die bedeutendsten französischen Kirchenbauten des 16. und des frühen 17. Jahrhunderts dennoch weiterhin den gotischen Kathedralen. Beispielsweise repliziert die Kirche Saint-Eustache in Paris (1532–1640) den Grundriss von Notre-Dame und ist auch konstruktiv aus der Gotik abgeleitet, einschliesslich Rippengewölbe und äusserem Strebewerk (wenngleich mit statisch optimierten Formen von Strebepfeilern und Strebepfeilern).

Der neue «römische» Stil wurde erstmals durch die Jesuitenkirche von Paris, Saint-Paul-Saint-Louis (1627–41) in Frankreich eingeführt. Ihre Architekten waren der weitgereiste Jesuitenpater Étienne Martellange und der ebenfalls dem Orden zugehörige Mathematiker und Steinschnitt-Experte François Derand. Die Gesamtanlage der Kirche ist eigentlich weitgehend eine Kopie der Kirche Il Gesù in Rom, der eigentlichen «Mutterkirche» der Jesuiten mit dem Grab des Ordensgründers Ignatius von Loyola. In der Ausführung und Gesamterscheinung stellt sich Saint-Paul-Saint-Louis dennoch komplett anders dar: Es handelt sich um einen durchgehend in Werkstein ausgeführten Bau. Nicht nur die Stützen und Wände sind in Werkstein, sondern auch die Gewölbe. Präzise konstruiert sind die Verschneidungsgrate zwischen den Stichkappen und der Haupttonne im Mittelschiff. Lediglich an der hohen Vierungskuppel, die trotzdem in dem äusserst steilen Dach der Kirche fast versinkt, wagte man keine Werksteinkonstruktion, sondern griff auf ein vorgetäushtes Gewölbe in Bohlenbögen-Latten-Konstruktion zurück.

Das vielleicht barockste Gebäude in Paris überhaupt stellt die Klosterkirche der adeligen Klostersgemeinschaft der «Filles des Anges de la Visitation» in der Rue Rivoli dar. Dieser Bau, entworfen um 1633 vom «Architecte du Roi» François Mansart, benützt einen kreisrunden Kuppelraum als Scharnier zwischen den orthogonal zueinander stehenden Bauteilen der Nonnenkirche und der Gemeindkirche. Letztere ist auf einen kleinen zweiten Kuppelraum ausgerichtet, der als Presbyterium dient. Im Inneren wie im Äusseren ist die doppelschalige Kuppel über dem Hauptraum das prägende Motiv der kleinen Kirche. Die Innenschale besteht aus mathematisch und technisch anspruchsvoll konzipierten Werksteinen, während die Aussenschale eine Holzkonstruktion ist.

Ein Kuppelraum als Scharnier zwischen Gemeinderaum und Nonnenchor ist auch das zentrale Motiv der Krankenhauskirche Val-de-Grâce in Paris, ebenfalls von François Mansart, hier in Zusammenarbeit mit Jacques Le Mercier. Die hohe Tambourkuppel, die im Fernbild mit ihren äusseren Strebepfeilern wieder an römische Vorbilder gemahnt, erweist sich innen als eine komplett in ein Tiburio eingebettete Konstruktion; die hohe äussere Kalotte ist nur ein Schutzdach auf Holzkonstruktion (im 19. Jh. durch ein Eisendachwerk ersetzt). Val-de-Grâce ist innen einer der Höhepunkte der französischen Werksteinkonstruktion. Im architektonischen Gesamtkonzept schliesst die Kirche an die römischen Saalkirchen mit Seitenkapellen an, wobei das Mittelschiff durch riesige Fenster über Stichkappen, die in die Haupttonne einschneiden, belichtet wird. Die räumlich gekrümmten Verschneidungsgrate⁴² zwischen der exakt halbkreisförmigen Haupttonne und den gleichermassen halbkreisförmigen, jedoch kleineren Stichkappen der Fenster wurden mathematisch exakt konstruiert – ganz im Gegensatz zu der quasi «gotischen» Definition von solchen Verschneidungslinien ausgehend von geraden Projektionslinien im Grundriss, wie das sonst fast überall damals noch üblich war. Die mathematisch exakte Konstruktion solcher komplizierter Verschneidungslinien und die Konstruktion der dazu passenden komplexen Werksteine wurde zu einem Schlüsselement der französischen Architektur des 17. und 18. Jahrhunderts, und die Präzision der Werksteinkonstruktion

⁴² Es handelt sich um die Verschneidung von Zylindern mit unterschiedlichem Radius, also von Flächen 2. Ordnung. Im allgemeinen ist die Verschneidungskurve zweier solcher Flächen eine Raumkurve 4. Ordnung. Nur im Spezialfall des Auseinanderfallens der Verschneidungskurve in zwei Teile können auch zwei Kurven 2. Ordnung entstehen. Dies ist der Fall bei der Verschneidung zweier gleich grosser Zylinder, deren Achsen sich in einem Punkt schneiden (d.h. beim Kreuzgewölbe). In der Grundriss- oder Aufrissprojektion kann sich die Verschneidungskurve als Kurve 2. Ordnung darstellen, wenn sie doppelt überdeckt ist. Im Falle der Kirche Val-de-Grâce ergibt die Grundrissprojektion der Verschneidungskurve zwischen Stichkappe und Haupttonne eine Hyperbel.

war ein wesentliches Element der Definition des Ranges und Anspruchs eines Bauwerks.
– Der Kuppelraum von Val-de-Grâce folgt letztlich dem Vorbild St. Peter in Rom, auch in der Gesamtform als Quincunx.

Ebenfalls dem Vorbild St. Peter, und zwar dem Michelangelo-Entwurf, ist der Invalidendom in Paris verpflichtet. Dies wird vor allem am Grundriss deutlich. Der Invalidendom ist die königliche Kirche des Hôtel des Invalides, eines Heimes für kriegsversehrte Veteranen. Wiederum sind zwei Kirchenräume verbunden, wobei ein (kleiner) Kuppelraum als Scharnier wirkt: Im mittleren Trakt des Invalidenhospitals versteckt sich die Kirche Saint-Louis-des-Invalides, quasi gegenüber oder als krönender Abschluss tritt der Kuppelbau der königlichen Kirche vor die rückseitige Fassade der riesigen Anlage. Der Invalidendom weist gleich drei ineinander geschachtelte Kuppelschalen auf, deren innere beide aus Stein bestehen, während die das Aussenbild bestimmende wiederum eine hölzerne Tragstruktur aufweist. Die innerste Kuppelschale, die in einer Art Tiburio oder Attika auf dem Kuppeltambour steckt, öffnet sich in einem riesigen Opaion in die zweite, ebenfalls steinerne Schale, die ein statisch günstig oval überhöhtes Profil aufweist. Diese Schale wird durch grosse Fenster in der Attika indirekt belichtet. Sie ragt etwa zur Hälfte in die äusserste hölzerne Schutzkuppel hinein. Durch dieses Übereinanderstapeln verschiedener Kuppelschalen bzw. durch die hohe äussere Attika bekommt der ganze Bau ein turmartig gestrecktes Format, das mit Michelangelos Petersdom im Aufriss letztlich nur noch wenig zu tun hat, trotz der direkt von Michelangelo inspirierten Aussengliederung des Kuppeltambours. Nur im Innenbild ist die Raumwirkung dann doch ähnlich zum Petersdom. Die Pendentifs der Kuppel werden allerdings durch Freisäulen (scheinbar) getragen. Wieder handelt es sich um ausgezeichnete Werksteinarchitektur. Eine ähnliche dreischalige, teils in Holz ausgeführte Kuppelkonstruktion wählte man übrigens einige Jahre später auch bei der St.-Pauls-Kathedrale in London.

Das grösste Projekt jener Jahre war jedoch der Ausbau des Louvre, also des königlichen Palastes. Hier hatte man zunächst als Star-Architekten keinen Geringeren als Giovanni Lorenzo Bernini aus Rom geholt und um Entwürfe für die äussere Ostfassade des grossen Quadrathofes gebeten. Bernini entwarf eine typisch römische Architektur aus konvexen und konkaven Fassadenabschnitten. Kaum war Bernini jedoch wieder aus Paris abgereist, wurden seine Pläne verworfen, und es konnte sich eine viel strenger «klassisch» orientierte Richtung durchsetzen. Durch Claude Perrault (1613–88) wurde eine rigorose, gerade geführte Kolonnade geplant. Perrault war von Haus aus Mediziner und Naturwissenschaftler. Er bildete sich jedoch im Selbststudium auch zum Architekten und Architekturtheoretiker weiter. Perrault gehörte zum innersten Machtzirkel um Ludwig XIV und seinen mächtigen Minister Colbert. Just während der Bauzeit der Louvre-Ostfassade (1667–74) erhielt Perrault von Colbert den Auftrag, eine wissenschaftlich gründliche, kritische Vitruv-Edition und Übersetzung zu erarbeiten, um endlich verbindliche Referenzgrundlage für «korrekte» antike Architektur zu bekommen (erschieden 1673). Entsprechend streng orientieren sich die Bauformen der von Perrault entworfenen Kolonnade an identifizierbaren römischen Vorbildern: Die Kapitelle sind exakt den guterhaltenen korinthischen Kapitellen am Pantheon nachgebildet, und auch die Basen, Gebälke und Proportionen folgen genau den antiken Vorbildern.⁴³ Die

⁴³ Wenige Jahre später erhielt der junge Architekt Antoine Desgodetz ebenfalls von Colbert den Auftrag, nach Rom zu reisen und so viele antike Referenzbauwerke wie möglich so genau wie möglich aufzumessen und zu zeichnen, um noch mehr verlässliches Material für die getreue Imitation der Antike zu bekommen. Man hatte nämlich inzwischen bemerkt, dass die von Serlio, Palladio und anderen publizierten Zeichnungen

Kolonnade als solche ist also in allen Einzelformen streng «klassizistisch». Nicht durch das antike Vorbild gerechtfertigt ist hingegen die Anordnung der Säulen in gekuppelten Säulenpaaren, genauso wenig wie das Einspannen der Kolonnade zwischen zwei Eck- und einen Mittelpavillon. Perraults Louvre-Ostfassade ist also gleichermassen «barock» und «klassizistisch».⁴⁴

Konstruktiv blieb bei den etwa 5 m weit spannenden horizontalen Architraven zwischen den Säulenpaaren nichts anderes übrig, als diese als «scheidrechte Bögen» (Platebande, Piattabanda) zu konstruieren. Der zur Verfügung stehende Stein von Meudon hätte gar nicht in derart grossen und tragfähigen Stücken gewonnen werden können, wie man sie für monolithische Architrave benötigt hätte. Es blieb also de facto keine andere Wahl, als die Gebälke aus Keilsteinen zusammensetzen. Um die aus Keilsteinen gefügten scheidrechten Bögen zu sichern, legte man in das Mauerwerk umfangreiche eiserne Verstärkungen ein (vor allem z-förmige Klammern und Zugeisen), die insbesondere ein Abrutschen der Keilsteine aufeinander (massgebende Versagensart bei scheidrechten Bögen) verhindern sollten und ausserdem eine Verbindung zwischen den Säulen und den Architraven herstellten. Eine zweite Schicht von scheidrechten Bögen wurde in der Frieszone des Gebälkes angeordnet, quasi als «Entlastungsbögen» über den Architraven. Die Konstruktion von Gebälken mit flachen Entlastungsbögen hatte Tradition, sie kommt sowohl in der Antike als auch in der italienischen Renaissance vor. Sogar die «eisenbewehrte» Konstruktion der Gebälke an Perraults Louvre-Ostfassade konnte auf ähnliche altrömische Lösungen zurückgreifen (z.B. am sog. «dorischen Peristyl» der Hadriansvilla bei Tivoli), stellte im 17. Jahrhundert jedoch eine grosse Innovation dar, die weit über ältere «eisenverstärkte» Lösungen im Mauerwerk (z.B. in der Gotik) hinausging. In horizontaler Richtung bildeten die Eck- und Mittelpavillons der Fassade ein effektives Widerlager zur Aufnahme des Bogenschubs der scheidrechten Bögen. Der senkrecht zur Fassadenfläche wirkende Bogenschub der ebenfalls als flache Steingewölbe konstruierten Decken der Kolonnade wurde ebenfalls durch Zugeisen an den Baukörper zurückverankert.

Mit Gestalt und Konstruktion der Louvre-Ostfassade war ein architektonisches Element in die französische Werkstein-Architektur eingebracht, das im ganzen restlichen 17. Jahrhundert und im 18. Jahrhundert grosse Wirkung entfalten sollte. Die möglichst perfekte Architektur und Konstruktion einer Kolonnade wurde geradezu zum

nicht mit einander übereinstimmten und sehr ungenau waren. Obwohl Desgodetz auf der Hinreise nach Rom im Mittelmeer Piraten zum Opfer fiel, die ihn ein Jahr lang in Geiselhaft hielten, wodurch die Hälfte der für den Auftrag vorgesehenen Zeit bereits verbraucht war, schaffte er es, im verbleibenden Jahr in Rom und Verona unvergleichlich präzise Aufmassen zu erstellen, die 1682 auf Staatskosten als Kupferstiche gedruckt wurden mit der Intention, als verbindliche Vorlagen für künftige Architektengenerationen zu dienen. Inzwischen hatte jedoch Claude Perrault in seinen beiden Vitruv-Ausgaben von 1673 und 1684 die Verbindlichkeit der römischen Architektur stark relativiert, da man festgestellt hatte, dass der originalen antiken Architektur keineswegs mathematisch strenge, präzise und einheitlich angewendete Proportionen zugrunde lagen. Dies lag natürlich nicht zuletzt daran, dass die erhaltenen römischen Monumente aus unterschiedlichsten Epochen von der Republik bis zur Spätantike stammten und sich die römische Architektur in dieser Zeit durchaus gewandelt hatte. Überdies hatte Vitruv nur die Frühphase der römischen Architektur mitbekommen, deren eigentlich Entfaltung erst in der Kaiserzeit stattgefunden hatte, und hatte daher die Entwurfsprinzipien der kaiserzeitlichen Architektur gar nicht behandeln können. So verschwanden Desgodetz' Aufmassen zunächst fast ohne Wirkung in der Versenkung. Heute können sie hingegen als frühe Zeugnisse der streng wissenschaftlichen „historischen Bauforschung“ am Objekt gewürdigt werden, zumal Desgodetz immer den vorgefundenen Zustand präzise wiedergab und sich allfälliger Ergänzungen oder Rekonstruktionen enthielt.

⁴⁴ Man vergleiche mit Berninis Kolonnaden am Petersplatz in Rom!

Markenzeichen der führenden Architekten. Hinzu kam, dass die Kolonnade mit horizontalem, geradem Gebälk sich auch zu einem für den Innenraum dominierenden Motiv wurde. Insbesondere war dafür wiederum Claude Perrault verantwortlich. Er veröffentlichte nämlich in seiner Vitruv-Edition eine graphische Rekonstruktion der von Vitruv entworfenen Marktbasilika von Fano. Bei Perraults freier Rekonstruktion stellte sich diese Basilika als Raum dar, in dessen Mittelschiff kolossale Säulen mit geradem Gebälk eine Längstonne trugen; seitlich schlossen sich niedrigere Seitenschiffe an, die überdies durch eine Empore in zwei Stockwerke geteilt waren. Das Modell «Tonnengewölbe über Kolonnade» wurde zu einem wirkmächtigen Motiv für die französische Sakralarchitektur des 17. und 18. Jahrhunderts. Letztlich hatte schon Salomon Brosse am Anfang des 17. Jahrhunderts die Idee vorweggenommen, als er das Schema von Vitruvs Fanenser Marktbasilika als Vorlage in die frühneuzeitliche Sakralarchitektur herangezogen hatte, damals als Muster für die hugenottische Kirche von Charenton-le-Pont bei Paris (heute zerstört). Brosse hatte allerdings noch eine niedrige Attika zwischen die grosse Ordnung und das aus Holz konstruierte Gewölbe eingeschaltet. Nunmehr eroberte die Idee allerdings in streng klassischer Version den katholischen gegenreformatorischen Kirchenbau im Frankreich Ludwigs XIV und seiner Nachfolger. Zu den herausragendsten Beispielen zählt die Schlosskapelle von Versailles (um 1700; hier allerdings Kolonnade auf einem Untergeschoss, das dem Hofstaat zugeordnet war, während der König selbst sich auf dem Stockwerk der königlichen Kolonnade aufhielt), überdeckt mit echten Steingewölben. Wiederum ist die Kolonnade undenkbar ohne eiserne Verstärkungen. Der Gewölbeschub der Tonne über dem Mittelschiff wird durch quasi «gotische» Strebebögen auf die Umfassungsmauern des Baues abgeleitet. Diese Strebebögen sind hinter der statuenbesetzten Balustrade der Schlosskapelle kaum sichtbar.

In einfacherer Form entledigte man sich bei der städtischen Pfarrkirche Saint-Philippe-du-Roule in Paris der technischen Schwierigkeiten mit der Konstruktion einer Tonne über Kolonnade: Hier hört die Werksteinkonstruktion auf Höhe des Architravs auf, alles darüber ist lediglich bemalte Holzkonstruktion. Die technische Lösung gleicht also jener der spätbarocken Kirchen im deutschen Sprachraum, die architektonische Form allerdings ist das gerade Gegenteil: streng klassische Formensprache gegen borromineske Anti-Klassik. Die von François Chalgrin errichtete Kirche Saint-Philippe-du-Roule (1774–84) wurde zu einem ganz wichtigen Vorbild für eine grössere Zahl Pariser Pfarrkirchen der 1820er Jahre (Saint-Denys-du-Saint-Sacrément, Notre-Dame-de-Bonne-Nouvelle, Saint-Pierre-du-Gros-Cailou, alle von Hippolyte Godde). [Ein Ausläufer dieser Pariser Architekturgeschichte ist in der von Hans Conrad Stadler aus Zürich entworfenen Kirche von Galgenen SZ zu bewundern, die genau gleichzeitig zu den genannten Pariser Pfarrkirchen Goddes entstand. Stadler hatte kurz zuvor bei einem Studienaufenthalt in Paris diese Art der Sakralarchitektur kennengelernt.](#)

Im französischen Profan- und Sakralbau des 18. Jahrhunderts machte auch die aussen sichtbare Kolonnade in Werkstein mit Eiseneinlagen weitere Schule. In «entbarockisierter» Form, also ohne Koppelung der Säulen, aber immer noch eingespannt zwischen massive Eckpavillons, dominiert sie die heutige Place de la Concorde in Paris, die ehemalige Place Louis XV. Die Randbebauung dieses Platzes mit den Kolonnaden wurde von Jacques-Anges Gabriel entworfen. Konstruktiv gleicht die Ausführung der Louvre-Kolonnade, jedoch verzichtete man auf die Z-Klammern. Stattdessen wurden alle Keilsteine an horizontalen Eisen aufgehängt. Noch anspruchsvoller zeigt sich die Kolonnade, die Victor Louis 1773–80 dem Grand Théâtre von Bordeaux vorlegte: Hier

fehlen die Eckpavillons als Widerlager, die Gebäudeecke wird vielmehr durch eine freistehende Säule besetzt. Um zu verhindern, dass diese Säule durch den Schub der als scheinrechte Bögen konstruierten Architrave und der ebenfalls so ausgeführten Decke des Portikus diagonal nach aussen kippt, wandte man alle Feinheiten der eisenbewehrten Werksteinbauweise auf: Die Keilsteine sind hinter der sichtbaren Aussenfläche durch aufwendige s-förmige Fugen abrutschsicher miteinander verbunden, ausserdem durch horizontale Eisenanker zur Aufnahme des Bogenschubs verstärkt. An der freistehenden Ecksäule verläuft der Steinschnitt radial, und die zugbeanspruchten Steinarchitrave sind mit schwalbenschwanzförmigen «Blattverbindungen» verbunden. Zusätzlich sind alle zugbeanspruchten Bauteile durch Eisen gesichert. Insgesamt stellt das Theater von Bordeaux einen weiteren Höhepunkt der französischen Werksteinbauweise dar, der auch der Hauptstadt Paris würdig gewesen wäre.

Dort entstand als letztes Grossprojekt des Ancien Régime die Kirche Sainte-Geneviève, die in der Revolutionszeit in ein nationales «Panthéon» umgewidmet wurde. Während der Tage der Revolution im Juli 1789 baute man gerade die Kuppel fertig (Gesamtbauzeit 1764–90, Architekt Germain Soufflot). Unter Leitung des gewieften Bautechnikers Jean Baptiste Rondelet wurden an diesem Grossprojekt vielerlei technische Neuerungen eingeführt, die an die etablierte französische Tradition des eisenbewehrten Werksteinbaus bruchlos anknüpften. Im Gegensatz zum Invalidendom und zur Paulskathedrale von London baute man hier nun eine kuppelgekrönte Kirche, bei der alle drei Kuppelschalen tatsächlich aus Werkstein hergestellt wurden. Im Aussenbild zeigt sich die Kuppel wie eine ins gigantische gesteigerte Version des Tempiettos von San Pietro in Montorio (schon vorgezeichnet durch die gleichartige Architektur der Londoner Kathedrale), gekrönt von der dreifachen Kuppelschale, einschliesslich einer gemauerten Aussenschale. Innen dominierte in der Kirche ebenfalls die Kolonnade mit geradem Gebälk, insbesondere im originalen Entwurf, der eine lichtdurchflutete Säulenhalle vorsah (Fenster später aufgrund statischer Probleme, aber auch wegen gewandelter Ästhetik und wegen Umwidmung in ein «Panthéon» der Nationalhelden zugemauert). Es handelt sich gewissermassen um eine nach innen gewandte Architektur eines sonnendurchfluteten Forums. Die schlanke und leichte Konstruktion mit dünnschaligen kuppeligen Gewölben und der gigantischen Kuppel erwies sich allerdings als zu wenig tragfähig, so dass das Renommierprojekt beinahe in einer Riesenblamage auf internationalem Parkett endete. Man fürchtete schon, die Kuppel abtragen zu müssen, jedoch gelang die Stabilisierung durch Verstärkung der Kuppelpeiler letztlich doch noch. Die Fassade des Panthéons zeigt eine sechssäulige Porticus, deren ebenfalls freistehende Ecken durch nahe zusammengerückte Gruppen von Freisäulen stabilisiert sind. Dennoch war auch hier eine Eisenbewehrung der Werksteinkonstruktion unentbehrlich, und die Keilsteine der scheinrechten Bögen wurden wie Perlen einer Kette auf eisernen Zugstäben aufgefädelt bzw. von Zugstangen abgehängt. Der Mittelbereich der Porticus wird durch ein ebenfalls eisenverstärktes Tonnengewölbe aus Stein überdeckt.

Durch die jahrhundertelange Erfahrung mit den eisenbewehrten Werksteinkonstruktionen von der Gotik bis zum Klassizismus der Jahre um 1789 lagen in Frankreich alle Voraussetzungen vor, um auch die Schritte hin zu einer Eisenarchitektur ohne Werkstein zu gehen. Alle Eiseneinlagen der Werksteinbauten bestanden aus handgeschmiedeten Bandeseisen. Um schmiedbares Material zu gewinnen, mussten die Luppen aus Roheisen, die man aus dem Hochofen bezog, auf einem offenen Herd («Frischherd») ein zweites Mal rotglühend gemacht und mit Reduktionsmittel (Kohlenstoff) in Kontakt gebracht und zur Beseitigung von Schlackeeinschlüssen

durchgeschmiedet werden. Diese handwerklichen Prozesse, die in der *Encyclopédie* von Diderot und d'Alembert in allen Details beschrieben sind, beherrschte man im 18. Jahrhundert perfekt. Es kamen fast nur flach ausgeschmiedete Bandeisen (bis etwa zu Querschnittsgrössen von 20 x 6 cm) und dünne quadratisch ausgeschmiedete Stabeisen zum Einsatz. Verbindungen wurden durch angeschmiedete Ösen oder Haken sowie durch Keilschlösser (Keil, in gegenläufige Ösen eingesteckt) hergestellt.

In den 1780er Jahren brachten verschiedene Architekten die Idee ins Gespräch, leichte und dennoch absolut feuersichere Massivkonstruktionen mit hohlen Backsteinen auszuführen, präziser gesagt mit hohlen Tontöpfen, also allseitig geschlossenen Keramikörpern in der Art einer Konservendose. Diese Körper konnten auf der Töpferscheibe hergestellt werden. Als Inspiration dienten möglicherweise die spätantiken *tubi fittili* aus dem Gewölbekbau. Ein gewisser Jean-Far Eustache de Saint-Far schlug vor, zum Bau der Gewölbe solche Tontöpfe auf einer Schalung aufzustellen und dann mit flüssigem, schnell erhärtenden Gipsmörtel zu vergiessen. Eine Kombination von hohlen Tontöpfen und Eisengerippe brachte schon 1782 auch ein gewisser Jean Pierre Ango für die Konstruktion von massiven Flachdecken auf, allerdings in Kombination mit einem eisernen Traggerüst. Nach Angos Vorschlag sollten die Decken auf leichten schmiedeeisernen Deckenträgern ruhen, deren Zwischenräume mit den Tontöpfen – wiederum in Gipsmörtel versetzt – ausgefüllt werden sollten. Diese Idee der eisenbewehrten Massivdecke wurde wenig später – gleichzeitig mit Saint-Fars Vorschlag des Gewölbekbaus – auch auf Dachkonstruktionen übertragen: Eiserne Dachbinder sollten eine geneigte, ebene Dachfläche tragen, die wiederum mit weiteren Bandeisen zu bewehren war. Tatsächlich realisiert wurde eine derartige Konstruktion – vielleicht zum ersten Mal überhaupt – unter der Leitung des Architekten des Grand Théâtre von Bordeaux, Victor Louis, um das Jahr 1786 beim Bau eines kleinen Theaters in einer Ecke des Palais Royal in Paris (heute bekannt als Théâtre du Palais Royal).⁴⁵ Wenig später brachte Victor Louis dasselbe Konstruktionssystem auch beim Bau des Théâtre Français in einer anderen Ecke desselben Palais Royal zum Einsatz (1786–90). Bei diesem sehr grossen Theater wurde allerdings kein Massivdach mit ebenen Dachflächen, sondern ein Tonnendach gewählt. Die Dachfläche wurde jedoch wiederum als Eisengerippe mit einer Füllung durch hohle Tontöpfe in Gipsmörtel realisiert. Die Konstruktionen aus Tontöpfen in Kombination mit Metallgerippe markieren den Übergang vom tradierten französischen Werksteinbau mit Eiseneinlagen hin zum reinen Eisenbau. Mit der französischen Revolution brach diese Entwicklung zunächst abrupt ab, sie wurde jedoch in den 1820er Jahren in einer kurzen Renaissance der Tontopf-Bauweise – vor allem beim Bau feuersicherer Theater – wieder aufgegriffen, wick dann aber schnell einer reinen Eisenbauweise ohne Tontöpfe und mit anderen Deckenkonstruktionen auf Grundlage von Eisenträgern (siehe folgendes Kapitel).

31. Das lange XIX. Jahrhundert – Teil 1: 1789–1850

Das 19. Jahrhundert war in Europa das ganz grosse Jahrhundert der Industrialisierung fast aller Lebensbereiche. Naturgemäss brachte diese technisch-wirtschaftliche Entwicklung mit all ihren gesellschaftlichen Begleiterscheinungen auch grosse architektonische und technische Umwälzungen im Bauwesen mit sich, wengleich die

⁴⁵ Die Geschichte der Entstehung der leichten, feuersicheren Dachkonstruktionen in Kombination eines Eisengerippes mit Füllung durch Tontöpfe wurde ausführlich untersucht in einer Dissertation, die am IDB angefertigt worden ist: Chalvatzi, Aikaterina Maria: *Roofs over the action. Theatre construction in France from 1780 to 1862*. Diss. ETH Zürich Nr. 27227, 2020, hier besonders S. 24–38 und S. 145–226.

industrielle Fertigung von Bauten zunächst nicht stattfand – der Unikatscharakter der meisten Bauwerke stand dem entgegen, eine Serienfertigung von Bauwerken war allenfalls in Spezialgebieten wie beim Bau kleiner Brücken möglich. Es kam jedoch eine Vielzahl neuer Bauaufgaben auf, für die man keinerlei Anregungen aus der Baugeschichte beziehen konnte: Eisenbahnhallen, innerstädtische Markthallen, Industrieanlagen, auch Infrastrukturbauwerke in bis dahin ungekanntem Ausmass: Eisenbahnviadukte und Hochbrücken, Tunnels, Kanäle, Schleusen, Wasserversorgungseinrichtungen usw. All diese Bauaufgaben riefen nach neuen, ihrem Rang ästhetisch entsprechenden, vor allem aber kostengünstigen Lösungen. Das 19. Jahrhundert ist geprägt von der Suche nach diesen neuen Lösungen, aber auch nach der entsprechenden architektonischen Form.

Obwohl das eigentliche Bauen naturgemäss ein handwerklicher Fertigungsprozess blieb (weitgehend bis heute), hatte das Aufblühen der industriellen Produktion dennoch mittelbar einen grossen Einfluss auch im Bauwesen: Industriell hergestellte Vorprodukte wie Backsteine und gewalzte Eisenprofile und andere vorgefertigte Bauelemente eroberten den Markt und ermöglichten dank günstigen Preises, gleichbleibender Qualität und standardisierter Abmessungen neue Konstruktionssysteme. Neue Transportwege – zunächst weitverzweigte Kanalnetze, dann bald vor allem die Eisenbahn – ermöglichten den kostengünstigen und schnellen Transport auch von Massengütern über weite Distanzen. Nur so wurde der grossflächige Einsatz industriell gefertigter Backsteine oder die flächendeckende Verwendung von Zementmörtel möglich. Neue Fügungstechniken wie das Nieten im Eisenbau eröffneten ganz ungeahnte Möglichkeiten des Tragwerksentwurfes. Das Aufkommen der praktisch anwendbaren Baustatik (Johann Albert Eytelwein, Berlin, 1808; Claude Louis Henri Marie Navier, Paris, 1826) ermöglichte die rechnerische Analyse und Dimensionierung der Tragwerke. Industrielle Fertigungsverfahren verbesserten die Qualität auch traditioneller Baustoffe derart, dass man auf gleichbleibende Qualität zählen konnte und sich zum Beispiel für das Eisen, später auch für den Zement ganz neue Anwendungsmöglichkeiten aufboten.

Oft wird das 19. Jahrhundert pauschal als das «Eiserne Jahrhundert» bezeichnet.⁴⁶ Wir haben gesehen, dass das Eisen als Baumaterial schon Jahrhunderte vor der Industrialisierung eine wichtige Rolle gespielt hatte, vor allem in Kombination mit Werkstein. Reine Eisenkonstruktionen konnten sich allerdings tatsächlich erst im «langen 19. Jahrhundert» (gerechnet von der Französischen Revolution 1789 bis zum Beginn des Ersten Weltkrieges 1914) durchsetzen. Die Gründe dafür lagen in der Fortentwicklung der Verfahrenstechnik im Eisenhüttenwesen. Sowohl die Quantität der Eisenproduktion als auch die Qualität und Vielfalt der Produkte nahm ab dem frühen 18. Jahrhundert einen unglaublichen Aufschwung und ermöglichte letztlich erst die Industrialisierung ab dem ausgehenden 18. Jahrhundert.

Pauschal von «Eisen» zu sprechen, verbietet sich, wenn man die Entwicklung im Bauwesen ab dem ausgehenden 19. Jahrhundert verstehen will. Um in eine differenziertere Betrachtung einzusteigen, muss der Verhüttungsprozess des Eisens und seine geschichtliche Entwicklung kurz charakterisiert werden. Eisen wird gewonnen aus Eisenerzen, vor allem aus Eisenoxiden, Eisenhydroxiden und Eisencarbonaten. Andere eisenhaltige Mineralien wie Eisensulfid sind wegen des schädlichen Gehaltes an Schwefel oder Phosphor nicht geeignet zur Eisenproduktion. In einem ersten Verfahrensschritt werden alle Eisenerze durch «Rösten» in Eisenoxid verwandelt (Abspalten der anderen

⁴⁶ So auch der Titel eines Buches von A. Schweiger-Lerchenfeld, 1884. Hier war allerdings vorwiegend die Eisenbahn gemeint.

Verbindungsbestandteile durch Hitze). Als nächstes folgt der eigentliche Verhüttungsprozess. Darin muss das Eisenerz zu reinem Eisen reduziert werden, d.h. der an das Eisen gebundene Sauerstoff muss entfernt werden. Für diesen Prozess ist ein aggressives Reduktionsmittel notwendig – im Falle des Eisens Kohlenmonoxid CO, welches durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Umgebung in CO₂ übergeht. Damit diese Reaktion stattfinden kann, muss das Eisenerz auf hohe Temperatur gebracht werden. Gleichzeitig sollten sich während des Verhüttungsprozesses keine anderen, unerwünschten chemischen Elemente mit dem Eisen verbinden. Um den Verhüttungsprozess bei der notwendigen Temperatur durchführen zu können, ist eine Erhitzung mit einem Brennstoff möglichst hohen Energiegehaltes notwendig. Alle diese Voraussetzungen erfüllt ein bestimmter Brennstoff, nämlich die aus Hartholz (Buche, Eiche) gewonnene Holzkohle. Holzkohle ist fast reiner, «sauberer» Kohlenstoff. Sie wird in «Meilern» erzeugt, in denen das Holz unter weitgehendem Luftabschluss auf hohe Temperaturen gebracht wird. Dabei verbrennt das Holz nicht, sondern es wird durch die Hitzeeinwirkung in seine chemischen Grundbestandteile zerlegt («Pyrolyse»). Die unerwünschten Bestandteile (u.a. Wasser) entweichen als Gas aus dem Meiler.

Man füllt sodann Eisenerzbrocken und Holzkohle in wechselnden Lagen oder als Gemisch in einen Ofen, der die Erzeugung hoher Temperaturen ermöglicht. Seit dem ausgehenden 16. Jahrhundert hatte sich für diese Aufgabe der Einsatz des sogenannten «Hochofens», eines hohen schachtartigen zylindrischen Bauwerks, ausgebreitet. Im Hochofen werden von oben ständig Erz und Brennstoff nachgefüllt. Der Hochofen arbeitet also im kontinuierlichen Betrieb.⁴⁷ Das allmählich heiss werdende Material sackt nach unten, in die eigentliche Prozesszone, in der die höchste Temperatur erreicht wird und durch die Verbrennung der Holzkohle reichlich CO vorhanden ist. Dort geschieht die oben dargestellte Reduktion des Eisenoxides zu elementarem Eisen. Die heissen Verbrennungsgase – ein Gemisch aus CO und CO₂ – entweichen oben durch die sogenannte «Gicht» aus dem Hochofen. Die Temperatur im Hochofen muss so hoch sein, dass das elementare Eisen flüssig wird und im Hochofen nach unten laufen kann, wo man es durch periodisches «Abstechen» des Hochofens (Auftun einer seitlichen Öffnung) in flüssigem Zustand entnehmen kann (Roheisen). Die übrigen Erzbestandteile (Silikate usw.) fließen ebenfalls in flüssiger Form ab (Schlacke).

Zur Reduktion des Eisenerzes in elementares Eisen ist ein intensiver Kontakt zwischen Eisenerz und Holzkohle notwendig. Dabei ist es unvermeidlich, dass Kohlenstoffatome in das Eisen eingelagert werden. Das Roheisen, das man unten aus dem Hochofen absticht, ist daher eine Legierung aus Eisen und Kohlenstoff. Dass relativ hoch mit Kohlenstoff angereichertes Eisen unten aus dem Hochofen fließt, hängt auch damit zusammen, dass bei etwa 4.3% Kohlenstoffgehalt der niedrigste Schmelzpunkt einer Eisen-Kohlenstoff-Legierung (1147° C) erreicht wird. Wenn also zufällig im Hochofen irgendwo gerade ein Eisen-Kohlenstoff-Gemisch mit rund 4% Kohlenstoffgehalt entsteht, wird dieses Gemisch als erstes flüssig und tropft nach unten.

Eisen mit über 2% Kohlenstoffgehalt wird als sogenanntes «Gusseisen» bezeichnet. Gusseisen ist ein Werkstoff, der in der Geschichte – und ganz besonders in der Baugeschichte – jahrhundertlang fast keine Rolle gespielt hat. Das liegt daran, dass Gusseisen zwar sehr hart ist und auch eine hohe Druckfestigkeit aufweist, jedoch nur eine geringe Zugfestigkeit. Ausserdem ist es sehr spröde, d.h. man kann ein Stück Gusseisen

⁴⁷ Die vorher üblichen Renn- und Schachtöfen hingegen wurden mit einer Charge Eisenerz einmal in Betrieb gesetzt, das gewonnene Roheisen nach dem Brand und Abkühlen des Ofens als Feststoff entnommen.

durch einen Schlag mit einem Hammer auseinanderbrechen. Die Materialeigenschaften von Gusseisen gleichen weitgehend jenen von Stein (Zugfestigkeit beträgt rund 10% der Druckfestigkeit). Das «Roheisen» aus dem Hochofen ist nach seinen Materialeigenschaften als «Gusseisen» zu charakterisieren. Man kann das Roheisen, solange es noch flüssig ist, direkt in eine Form giessen. Alternativ kann man es auch nach dem Abstecken des Hochofens in einem Tiegel nochmals bis zum Schmelzen erhitzen und dann in eine Form geben. Die Formgebung ist einer der grossen Vorteile des Gusseisens: Man fertigt ein Modell des zu giessenden Werkstücks an, z.B. aus Holz, und formt dieses Modell dann ab, z.B. mit feuchten Sand («Sandförmerei»). Die Negativform des Modells im Sand wird dann mit Gusseisen gefüllt. So lassen sich auch sehr komplexe Objekte herstellen. Die interessanteste Anwendung des Gusseisens im Bauwesen blieb bis ins 18. Jahrhundert die Herstellung von Wasserrohren. Diese stellen beim Guss durchaus erhöhte Anforderungen, da man das Innere des Rohres durch eine entsprechende Form definieren muss, die sich beim Guss nicht verschieben darf (z.B. durch Aufschwimmen auf dem flüssigen Eisen). In Versailles verwendete man um 1700 gusseiserne Wasserrohre, um die Springbrunnen mit Druckwasser zu speisen.

Einmal in Form gegossen, kann das Gusseisen fast nicht mehr nachbearbeitet werden (allenfalls Glätten der Oberfläche durch Feilen). Seine wirkliche Leistungsfähigkeit entfaltet das Eisen erst dann, wenn es gelingt, den Kohlenstoffgehalt auf unter 2% zu reduzieren. Dann wird das Eisen «schmiedbar», also in glühendem Zustand durch Hämmern oder Walzen umformbar. Um aus dem Roh- bzw. Gusseisen schmiedbares Eisen (historisch als «Schmiedeeisen» bezeichnet, heute als «Stahl») zu machen, ist ein zweiter Prozessschritt notwendig, das sogenannte «Frischen». Im Prinzip wird dabei lediglich der in das Eisen eingelagerte Kohlenstoff verbrannt (oxidiert) und entweicht als CO₂. Allerdings hört sich das einfacher an, als es ist. Zum einen muss zum «Verbrennen» des eingelagerten Kohlenstoffs das Eisen in intensiven Kontakt mit Sauerstoff gebracht werden, wozu die erhitzte Eisenmasse «durchgeknetet» werden muss. Zum anderen soll bei diesem Prozess natürlich nicht wieder das Eisen zu Eisenoxid aufoxidiert werden, was einem Rückgängigmachen des ersten Prozessschrittes entsprechen würde. Es ist also ein subtiles Regime von Hitze, Sauerstoff und Roheisen notwendig, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Historisch führte man das Frischen durch «Schmieden» auf dem «Herdfeuer» durch, also durch Erhitzen kleiner Roheisenklumpen auf einem offenen Schmiedefeuer. Durch Hämmern wurde der Klumpen umgeformt, kam dabei mit dem Umgebungssauerstoff in Kontakt, wodurch sich der Kohlenstoffgehalt im Eisen verminderte, und gleichzeitig wurden eingelagerte Schlackenpartikel aus dem Roheisen entfernt. Allerdings entstand dabei auch grosser Verlust an Eisen durch unbeabsichtigtes Aufoxidieren. Ohne langjährige Erfahrung gelang das Frischen überhaupt nicht. Erschwert wird das Frischen überdies durch die benötigten hohen Temperaturen, denn Eisen niedrigen Kohlenstoffgehaltes (Schmiedeeisen) wird erst bei viel höherer Temperatur flüssig als Roheisen und benötigt schon recht hohe Temperaturen, um wenigstens als zähe Masse umgeformt werden zu können. Daher hatte historisches Schmiedeeisen oft «Defekte»: Es waren auch nach dem Ausschmieden noch Schlackenpartikel enthalten (oft in ganzen Schichten, sogenannten «Schlackenzeilen»), der Kohlenstoffgehalt war nicht einheitlich, die ausgeschmiedete Masse nicht wirklich homogen. Auch die Produktion grösserer Mengen oder grösserer Stücke war schwierig. Grössere Stücke mussten im Nachgang durch Zusammenschmieden von ausgeschmiedeten Eisenstäben erzeugt werden.

Nach der Erfindung des Hochofens trugen vor allem zwei Innovationen massgeblich zur Verbesserung bzw. Industrialisierung der Eisenproduktion bei. Beide Innovationen fanden in England statt. Die erste bestand darin, dass man ein Ersatzmaterial für die Holzkohle fand. In England wurde durch die vielen Nutzer das für die Holzkohleproduktion benötigte Eichenholz sehr bald knapp (Marine, Bauwesen, usw.). Überall war hingegen Steinkohle verfügbar. Durch eingelagerte Fremdstoffe wie Schwefel ist Steinkohle im Verhüttungsprozess nicht direkt einsetzbar. Abraham Darby I stellte jedoch in seiner Hütte in Coalbrookdale (Shropshire) 1705 fest, dass Steinkohlenkoks ein geeignetes Ersatzmaterial für Holzkohle war. Steinkohlenkoks wird aus Steinkohle durch einen ähnlichen Pyrolyseprozess gewonnen, wie man ihn bei der Holzkohleproduktion auf Holz anwendet – auch in ganz ähnlichen Meilern. Mit der Einführung der Steinkohlenkoksverhüttung war das Problem der Brennstoffversorgung der englischen Eisenhütten gelöst. Dadurch wurde das Gusseisen derart billig, dass es in grösseren Mengen produziert werden konnte und sich auch neue Anwendungen im Bauwesen auftraten.

Die zweite massgebliche Innovation war die Verbesserung des Frischprozesses. Diese ereignete sich 1784 mit der Einführung des sogenannten «Puddelverfahrens» oder «Puddlingsverfahrens» durch den Hüttenmeister Henry Cort, wiederum in Coalbrookdale. Beim «Puddeln» wird ein Roheisenklotz in einem speziellen geschlossenen Ofen auf die notwendige Temperatur gebracht und unter kontrollierter Bereitstellung von (wenig) Sauerstoff⁴⁸ von dem eingelagerten Kohlenstoff befreit. Heizraum und Prozesszone sind getrennt,⁴⁹ die heissen Gase strömen über den eigentlichen «Herd», auf dem der Roheisenklotz liegt, und fliessen danach durch einen Hochkamin ab. Die Eisenmasse auf dem Herd wird zähflüssig und kann dann durch eine kleine seitliche Öffnung des Puddlings-Frischofens mit Hilfe langer Stangen «durchgeknetet» werden, um den Frischprozess vollständig durchzuführen. Dieses «Durchkneten» gab dem «Puddling» den Namen und wurde durch einen spezialisierten Arbeiter, den «Puddler», durchgeführt. Das Puddeln machte auch die Herstellung von Schmiedeeisen billiger,⁵⁰ garantierte gleichmässiger Qualität und schuf somit die Voraussetzungen für eine weitere Ausbreitung des Schmiedeeisens auch im Bauwesen, womit die Möglichkeit gegeben war, an die lange Tradition der Verwendung von Schmiedeeisen direkt anzuknüpfen.

Mit den neuen Möglichkeiten der Eisenverhüttung boten sich in England schon im 18. Jahrhundert auch neue Möglichkeiten der Eisenverwendung im Bauwesen. Zunächst entwickelte sich dort allerdings eine Strömung, die im Rückblick als eine gewisse Sackgasse erscheinen muss: der Einsatz von Gusseisen für Bauaufgaben. Mit Gusseisen liessen sich relativ einfach und kostengünstig auch Kleinserien herstellen, so dass der Fertigung spezieller Elemente für ein einmaliges Bauprojekt nichts entgegenstand. Ausserdem konnten durch die Fortschritte der Gusstechnik auch recht grosse Teile gegossen werden. Zudem bestand für Gusseisenbauten ein Paradigma, an das man sich mit dem neuen Werkstoff problemlos anlehnen konnte: Die Ähnlichkeit der

⁴⁸ Umgebungssauerstoff, Sauerstoff aus dem Schlackenbett des Herdes, Sauerstoff durch Abspaltung von O₂ aus CO₂ mittels des Gleichgewichtes zwischen CO und CO₂.

⁴⁹ Dadurch wird die Einlagerung unerwünschter Stoffe in das Eisen weitgehend vermieden.

⁵⁰ Ab den 1860er Jahren abgelöst durch das „Bessemervfahren“, bei dem das Eisen bei sehr hoher Temperatur in der „Bessemernbirne“ völlig verflüssigt wird. Durch plötzliches Einblasen von Sauerstoffbläschen in die flüssige Masse wird der in dieser enthaltene Kohlenstoff schlagartig verbrannt, zurück bleibt reines flüssiges Eisen.

Materialeigenschaften von Gusseisen mit jenen von Stein legte es nahe, ähnliche Tragsysteme wie beim Steinbau zu bevorzugen, insbesondere die Konstruktion von Bogentragwerken. Folgerichtig waren die ersten Gusseisenbauten, die in England entstanden, Bogenbrücken. Allen voraus ging 1779 die Iron Bridge über den Severn in Coalbrookdale, ein aus mehreren recht grossen Gussteilen zusammengestecktes Bogentragwerk. Im Unterschied zum Stein konnte und musste man beim Bau von Bögen aus Gusseisen allerdings Material sparen (Kosten und Gewicht, dadurch höhere Tragfähigkeit für Nutzlasten), indem man keine vollformatigen Keilsteine erzeugte, sondern die Keilsteine in Stabwerke oder hohle Kisten auflöste. Exemplarisch wurde diese Bogenbauweise mit hohlen Gusseisen-Keilsteinen an der 1796 errichteten Hochbrücke über den Wearmouth bei Sunderland realisiert. An dieser Brücke, die aus ziemlich kleinen gegossenen Keilsteinen zusammengesteckt wurde, verwendete man überdies zum ersten Mal ein später charakteristisches Merkmal von Gusseisenbrücken, nämlich die Zwickelfüllung durch gegossene Ringe. Neben Steckverbindungen (mit Splinten oder Keilen gesichert) kam bei Gusseisenbauten noch die Verschraubung als Verbindungstechnik in Frage. In England, besonders unter dem bedeutenden Ingenieur Thomas Telford, kam eine ganze Reihe teils sehr weitgespannter Bogenbrücken aus Gusseisen für Strassen zur Realisierung. Ein abruptes Ende fand der Brückenbau mit Gusseisen in England erst 1847 mit dem Einsturz einer gusseisernen Balkenbrücke der Eisenbahn über den Dee bei Chester. Aufgrund mehrerer Konstruktionsfehler brach der – für Gusseisen ungünstig – auf Biegung belastete gusseiserne Tragbalken der Brücke während der Überfahrt einer Lokomotive. Eine zusätzlich an der Brücke befestigte schmiedeeiserne Verstärkung zur Aufnahme der bei Biegung auftretenden Zugkräfte war infolge falscher Konstruktion unwirksam gewesen.

Auch im Hochbau experimentierte man mit Gusseisen. Das international wohl berühmteste Beispiel ist die 1826–30 in Sayn bei Koblenz (Deutschland) errichtete Giessereihalle der dortigen Eisenwerke, das erste Renommierprojekt dieser neugegründeten Einrichtung. Das Dach der dreischiffigen, kirchenähnlichen Halle wird durch zwei Reihen gegossener, rund 6.50 m hoher dorischer Säulen getragen. Die Dachkonstruktion, deren Binder jeweils aus wenigen grossen Gussteilen zusammengesteckt sind, überspannt in Bogenform die drei Schiffe. Die Gussteile haben teils Querschnitte in Form eines «T» oder eines «I». In genau die Zeit der Erbauung der Sayner Halle fielen die Experimente, die der Praktiker Thomas Tredgold und der Theoretiker Eaton Hodgkinson zur Ermittlung der günstigsten Form biegebeanspruchter Gusseisensträger in England durchführten. Dabei stellte es sich heraus, dass die optimale Form entsprechend der sehr stark verschiedenen Festigkeiten von Gusseisen bezüglich Zug und Druck ein unsymmetrischer I-Querschnitt war, bei dem der zugbelastete Flansch deutlich stärker sein musste als der druckbelastete. Alternativ kamen fischbauchartige Trägerformen, wie man sie auch in der Sayner Halle an der Gichtbühne findet, in Frage. Diese Ergebnisse waren insbesondere auch für die Erzeugung gusseiserner Eisenbahnschienen wichtig.⁵¹

Auf dem Kontinent schloss man sich der englischen Vorliebe für Gusseisen weitgehend nicht an. Stattdessen setzte man lieber die bereits langjährigen Experimente mit Stabeisen (Schmiedeeisen) fort. Erst mit der Ausbreitung des Puddelverfahrens auch auf den Kontinent wurden dort die Voraussetzungen für einen massiv gesteigerten Einsatz von

⁵¹ Aufgrund der häufig stossartigen Belastung der Eisenbahnschienen und daraus resultierende Schienenbrüche bewährten sich die Gusseisenschienen allerdings dennoch nicht und wurden bald durch schmiedeeiserne Schienen abgelöst.

Eisen im Bauwesen gelegt, also etwa in den 1820er Jahren. Der Eiseneinsatz erfolgte schleichend im Rahmen der damals vorherrschenden streng klassizistischen Architektur. Das römische Vorbild wurde im frühen 19. Jahrhundert unter dem Einfluss der wissenschaftlichen Erforschung der altgriechischen Architektur durch das griechische abgelöst. Nunmehr bevorzugte man häufig die ionische oder gar die dorische Ordnung. Lückenlos in dieses Bild passen zum Beispiel die deutschen Architekten Karl Friedrich Schinkel und Leo von Klenze, die beide im Umkreis der Berliner Bauakademie ihr Handwerk gelernt hatten. In ihrem Werk setzten sich auch Traditionen des französischen Klassizismus mit eisenbewehrten Werksteinkonstruktionen fort, z.B. an Klenzes Bauten am Münchner Königsplatz.

Wie schon kurz angedeutet (Kapitel 30), erlebte die französische Idee des Eisengerüsts mit einer Füllung aus hohlen Tontöpfen hinter klassizistischer Werksteinfassade im den 1820er Jahren in Paris eine Renaissance. Der Initialbau dafür war die Börse in Paris (1808–25), entworfen von Alexandre-Théodore Brogniart und ausgeführt von Eloi Labarre. Der Bau präsentiert sich zur Stadt hin wie ein hellenistischer Tempel (hier in korinthischer Ordnung). Im Inneren ist ein grosser überwölbter Börsensaal enthalten, der durch ein Oberlicht erhellt wird. Alle Decken und Gewölbe des Baus sind als Eisengerippe mit Füllung durch Tontöpfe konstruiert, einschliesslich des innen reich dekorierten Gewölbes über dem Börsensaal. Die Eisenkonstruktionen des Daches sind hingegen offen sichtbar und lediglich mit einer flächigen Holzschalung als Träger der Blechdeckung versehen. Daher kann man in Dachraum zwischen Gewölbe und Dachdeckung die Eisenkonstruktion und ihre Verbindungen hervorragend studieren. Die gesamte Eisenkonstruktion besteht aus flachen (wohl manuell geschmiedeten) Bandeisen. Neben den bereits bekannten gesteckten und keilgesicherten Verbindungen fallen vor allem geschraubte Verbindungen und «durchrutschende» Stabkreuzungen auf. Letztere ordnete man an, um temperaturinduzierte Verschiebungen nicht zu behindern. Das Gesamtkonzept des schmiedeeisernen Dachtragwerks zeigt eine recht verwirrende Kombination von bogenförmigen Trägern, langen überkreuzten geraden Stäben, eingehängten linsen- und fischbauchförmigen Trägern und hängewerksartigen Anordnungen. An den Hauptanschlüssen sieht man Montagemarkierungen, die wie die Abbundzeichen eines hölzernen Dachwerks die präzise Zuordnung jedes Bauteils zu seinem Einbauort angeben. Die geschraubten Verbindungen sind alle mit quadratischen Muttern ausgeführt.

Ganz ähnlich wie an der Pariser Börse ist auch das Eisendach der von Leo von Klenze im Auftrag des bayerischen Königs Ludwig I. entworfenen Walhalla bei Regensburg konstruiert (1836–40). Von aussen bietet sich dieser Ehrentempel der Geistes- und Kunstgrössen des Königreichs Bayern wie eine getreue Replik des Parthenontempels auf der Akropolis von Athen dar, aufgesockelt auf einen monumentalen Stufenbau über dem Donautal. Der Innenraum der Cella wird durch kassettierte Dachflächen bzw. durch Kassettendecken überdeckt. Auch diese werden von einem aus Bandeisen konstruierten Dachstuhl getragen, der hier als Bogensehnenträger konzipiert ist, dessen Zugband mittels zahlreicher Hängebänder an einem polygonalen Stabbogen aufgehängt ist. Ähnliche Bogenträger finden sich auch in der französischen Literatur des ersten Drittels des 19. Jahrhunderts. Wiederum berücksichtigte man, dass sich Eisen bei Erwärmung (z.B. durch Sonneneinstrahlung im Sommer) ausdehnt, hier durch horizontal verschiebliche Lagerung der Dachbinder auf Rollen. Die Deckenfelder zwischen den Stahlträgern sind durch eine leichte Decke verschlossen, die als verputztes Drahtgeflecht konstruiert ist. Dieselbe Konstruktionsart wurde in der zweiten Hälfte des 19.

Jahrhunderts von einem findigen Berliner Maurermeister namens Rabitz patentiert und ist seither als «Rabitz-Decke» bekannt, geht aber, wie man hier sehen kann, auf deutlich frühere Zeit zurück.

Neben den Monumentalbauten erlangten auch die reinen Zweckbauten in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts stark wachsende Bedeutung. Insbesondere sind alle Bauwerke im Zusammenhang mit der Eisenbahn zu nennen. Die Geschichte der Eisenbahn im engeren Sinne beginnt mit den englischen «Colliery Railways», also Eisenbahnen, mit deren Hilfe Kohle von den Kohlegruben Englands zur jeweils nächstgelegenen Hafenstadt transportiert wurde, um dort auf Schiffe verladen zu werden. Nach ersten Versuchen mit Pferdebahnen setzten sich bald Eisenbahnen mit Dampflokomotivbetrieb durch. An Brennstoff mangelte es ja dank der Kohlegruben nicht, und mit der Konstruktion von geeigneten Dampfmaschinen hatte man sich in England schon im 18. Jahrhundert ausführlich auseinandergesetzt (Boulton und Watt, Smeaton und andere). Die erste Kohlenbahn mit Dampflokomotivbetrieb, die von dem Eisenbahnpionier George Stephenson konzipierte Hetton Colliery Railway, wurde 1822 in Betrieb genommen – ein erster Meilenstein der Eisenbahngeschichte. Auf der ebenfalls von ihm geplanten Stockton-Darlington Railway (1825) konnten erstmals auch Passagiere mitfahren. Den eigentlichen Durchbruch der Eisenbahn als neues Verkehrsmittel brachte jedoch erst die von George Stephenson und seinem Sohn Robert geplante Linie, die die bevölkerungsreiche Industriestadt Manchester mit dem wichtigen Hafen Liverpool verband (eröffnet 1830). Damit war der Startschuss zum Bau auch von Fernverbindungen gegeben. Besonders bemerkenswert war zum Beispiel die 1838 eröffnete Linie London-Birmingham. Angeheizt durch unglaubliche Gewinne der Aktionäre der ersten, durchwegs privat finanzierten Bahnen kam es in den 1840er Jahren zu einer regelrechten «Railway Mania», die schliesslich zu einem Platzen der Spekulationsblase führte (1847). Den Siegeszug der Eisenbahnen nicht nur in England, sondern auch auf dem Kontinent (erste Bahnen in Frankreich und Deutschland in den 1830er Jahren) konnte dies jedoch nicht aufhalten. Allerdings mussten einige Bahnen schliesslich in Staatsbesitz überführt werden, um die Finanzierung auch nach der grossen Krise wieder in Gang zu bringen.

Beim Bau der Eisenbahnen waren die Aktionäre vital daran interessiert, möglichst bald Gewinne ihrer Investitionen zu sehen. Der Bau musste also möglichst schnell fertig sein, die Eisenbahn in Betrieb genommen werden können. Das brachte es mit sich, dass man bei vielen «Nebensachen» der Eisenbahn die endgültigen baulichen Lösungen zunächst aufschob. Zum Beispiel wurden Eisenbahnbrücken oft zunächst in Holz errichtet, mit dem Ziel, solche provisorischen Konstruktionen später durch geschüttete Dämme, Stein- oder Eisenbrücken zu ersetzen. Auch die Einsteighallen mussten mit möglichst geringem Aufwand errichtet werden, konnten aber auf eine minimal repräsentative Gestaltung gleichwohl nicht verzichten, schon allein, um sich in das städtische Umfeld einzufügen.

Als architektonisches Vorbild für die Einsteighallen boten sich innerstädtische Markthallen an. Louis Bruyère, der Generalinspekteur des französischen Corps des Ponts et Chaussées, hatte 1823 Musterentwürfe für solche Markthallen veröffentlicht (in einem repräsentativen Buch *Études relatives à l'art des constructions*), die sich zwar nach aussen als gepflegte Werksteinarchitektur zeigten, innen jedoch auf das absolute technische Minimum reduziert waren. Diese Markthallen – realisiert wurde zum Beispiel in Paris der *Marché Saint-Germain* – zeigten innen offen sichtbar ihre hölzerne Dachkonstruktion auf Basis der mediterranen Hängewerksbinder. Ganz ähnlich ist die

1840 errichtete ehemalige Einsteighalle der Eisenbahn München-Augsburg in Augsburg gestaltet, eine der wenigen erhaltenen Eisenbahnhallen jener Zeit, die überlebt hat, weil der Bahnhof nach wenigen Jahren an die neu errichtete, ebenfalls über Augsburg führende grosse staatliche Ludwig-Süd-Nord-Bahn von Leipzig nach Lindau am Bodensee verlegt wurde.

Für die technische Organisation des Eisenbahnbetriebs setzte sich europaweit ein einfaches Schema durch: Die Bahnhöfe in den grossen Städten wurden allesamt als Kopfbahnhöfe (Sackbahnhöfe, Terminus) konzipiert, wie sie heute noch in Paris auf allen Seiten an den Stadtkern angeschlossen sind (vgl. auch London, [Zürich](#), Berlin, Wien). Die Bahnhofshalle enthielt typischerweise vier Gleise: Die beiden äusseren Gleise wurden jeweils als Abfahrts- bzw. Ankunftsgleis für die Passagiere genutzt, die anderen als Rangiergleise. Da es schwierig bzw. im Eisenbahnbetrieb verboten war, mit den Dampflokotiven rückwärts zu fahren, mussten die Loks nach Einfahrt in den Sackbahnhof von Zug abgekoppelt, über Drehscheiben auf das Rangiergleis umgesetzt und sodann am anderen Ende des Zuges wieder angekoppelt werden. Diese betriebsbedingte Anordnung brachte es mit sich, dass die Einsteighallen vorzugsweise ohne Binnenstützen durch weitgespannte Dachbinder zu überbrücken waren. Dafür boten zunächst in der Holzbauweise die mediterranen Hängewerksbinder die optimale Antwort. An die eigentliche Gleishalle schlossen sich abfahrtsseitig Warteräume und Billettverkaufsstellen, auf der ankunftsseitigen Längsseite Vorfahrten für Wagen und Taxen an. Es bot sich an, die Stirnseite des Bahnhofs architektonisch anspruchsvoller zu gestalten oder der gesamten Anlage noch quer eine eigentliche Bahnhofshalle mit Läden usw. vorzulagern.

Bald hielt auch das Eisen bei der Konstruktion der Bahnhofshallen Einzug, zunächst in Kombination mit Holz, z.B. als Zugstange wie bei ersten Pariser Gare du Nord (1846), später als reine Eisenkonstruktion (siehe nächstes Kapitel). [Eine Halle, deren Gesamtarchitektur und Konstruktion jener einer Eisenbahnhalle der 1840er Jahre sehr nahe kommt, ist die militärische Reithalle in Aarau \(allerdings erst 1864 errichtet\).](#)

Fortschritte im Eisenbahnbau waren nur zu erreichen, wenn man eine grössere Bandbreite an Vorprodukten einsetzen konnte. Allein mit Bandeisen waren dem Konstruktionsrepertoire allzu enge Grenzen gesetzt. Dies musste man in Paris schmerzlich erfahren, als die schlank konstruierte Eisenhalle des Marché de la Madeleine (errichtet 1835) nach wenigen Jahren bei einem Sturm einstürzte, da die Bandeisen zu geringe seitliche Stabilität besessen hatten. Hingegen erwies sich die fast gleichzeitig erbaute und nahezu identisch konzipierte Bahnhofshalle der Euston Station (Endbahnhof der Linie London-Birmingham in London) als standsicher. Von der Konstruktion des Marché de la Madeleine unterschied sich diese Halle vor allem durch die Verwendung von Stabeisen mit Querschnitt in Form eines «T». Möglich wurde diese zukunftsweisende Konstruktion durch die Fortschritte, die man inzwischen mit dem Umformen von Stabeisen durch Walzen gewonnen hatte. Zwar gab es erste Versuche zum Walzen von Eisenblech oder von Bandeisen bereits im 18. Jahrhundert, doch das Walzen komplizierterer und grösserer Profile breitete sich erst in den 1840er Jahren über Europa aus, ausgehend von ersten Versuchen in England, die auf das Walzen von Eisenbahnschienen zielten. Um aus einem Eisenstab ein Profil zu erzeugen, muss das Eisen nacheinander durch verschiedene Walzen laufen, die sich inkrementell dem gewünschten Profil nähern (sogenannte Kaliberwalzen). Bei zu starker Umformung in

einem einzigen Schritt entstehen im Profil Risse oder auch nur Spannungen, die später die Tragfähigkeit des Trägers beeinträchtigen und ihn unbrauchbar machen.

Insbesondere in Frankreich perfektionierte man in den Jahren um 1850 das Walzen von Eisenprofilen. Genau wie in der klassizistischen Architektur des ersten Jahrhundertdrittels hielten neuartige Eisenkonstruktionen dann Einzug auch in die «hohe» Architektur, wiederum versteckt über den Gewölben im Dachraum. Ein besonders bemerkenswertes Beispiel findet sich in Paris in der Kirche Sainte-Clotilde (1846–57). Äusserlich und innen präsentiert sich dieser Bau als fast «wissenschaftlich» genaue Replik einer gotischen Kathedrale. Dieser sogenannte «neugotische» Stil⁵² hatte sich damals von Köln aus ausgebreitet, wo man genau in jenen Jahren daran ging, den im Mittelalter unvollendet liegen gebliebenen gotischen Dom im gleichen Stil fertigzubauen und als vermeintlich national-deutsches Monument zu vollenden, in Unkenntnis der französischen Ursprünge der gotischen Architektur. Der Architekt Franz Christian Gau, der aus Köln stammte, brachte den neuen Stil nach Paris, wo er die Kirche Sainte-Clotilde entwarf, eines der ersten neugotischen Bauwerke Frankreichs. Nichts lässt ahnen, dass man im Dachraum dieses neugotischen Sakralbaus ein ganz frühes Beispiel einer Dachkonstruktion aus gewalzten Profilen vorfindet. Die nähere Betrachtung der Konstruktion verdeutlicht aber auch, dass damals nur recht kleine Profile, zum Beispiel I-Profile bis ca. 100 mm Höhe, gewalzt werden konnten. Auch das Gesamtkonzept der Dachbinder, die jeweils einen bogenförmigen Träger aufweisen, lässt noch nicht das volle Potential der Walzeisen spüren. Es sollte jedoch nicht mehr lange dauern, bis kurz nach 1850 ein weiterer Siegeszug des Eisenbaus einsetzte, der vor allem auf die Konzeption von rechnerisch dimensionierten Dreiecksfachwerkbindern und auf die Möglichkeit zur Herstellung von Profilträgern fast beliebiger Abmessungen durch die neue Technik des Nietens zurückzuführen war.

32. Das lange XIX. Jahrhundert – Teil 2: 1850–1914

Das Jahr 1850 markiert eine entscheidende Wegmarke bezüglich der Ausbreitung des Eisenbaus. Einerseits tauchte exakt in diesem Jahr zum ersten Mal das Eisen als architektonisches Material sichtbar in der «hohen» Baukunst der Pariser École des Beaux Arts auf, nämlich in der von Henri Labrouste entworfenen Bibliothèque Sainte-Geneviève. Andererseits wurde im gleichen Jahr in Wales die Bahnlinie von Chester zur Hafenstadt Holyhead auf der Insel Anglesey eröffnet, eine für den Handel mit Irland wichtige Linie, die die Meerenge von Menai mit Hilfe einer gigantischen eisernen Balkenbrücke, der Britannia Bridge, überquerte – dem ersten Bauwerk, an dem in grossem Masse das Nieten als Verbindungstechnik eingesetzt wurde. Im Jahre 1851 folgten gleich einige weitere Meilensteine: In London hielt man die Weltausstellung im Glaspalast ab, einem Glas-Eisen-Bauwerk, das nicht nur durch seine Architektur, sondern vor allem durch seine auf Vorfertigung von Bauteilen beruhende sensationell kurze Bauzeit die zweite Jahrhunderthälfte massgeblich beeinflusste. Andererseits veröffentlichte der bayerische Eisenbahningenieur Karl Culmann in demselben Jahr 1851 einen Reisebericht zu den zeitgenössischen Holz- und Eisenbrücken in England und den Vereinigten Staaten, in dem

⁵² Weitaus frühere Beispiele für Rückgriffe auf gotische Formen gab es schon im Zuge der „romantischen“ Neugotik ab dem ausgehenden 18. Jahrhundert, zum Beispiel in England, aber auch wenig später bei Schinkel und im Umkreis Klenzes. In Zürich sind die „spargelartigen“ Spitzen der Türme des Grossmünsters ein Zeugnis für diese frühe Neugotik. Bei der frühen englischen Neugotik standen allerdings die Stimmungswerte im Vordergrund, und in den Details erlaubte man sich deutliche Abweichungen vom mittelalterlichen Vorbild.

er nebenbei die Grundlagen der statischen Berechnung von Fachwerken (Stabwerken) aufbereitete, genau gleichzeitig mit einem Aufsatz des preussischen Ingenieurs Johann Wilhelm Schwedler, der dasselbe Problem mit einem etwas anderen Ansatz ebenfalls löste und publizierte.

Mit den beiden Statik-Aufsätzen von Culmann und Schwedler 1851 (es wären noch der Amerikaner Squire Whipple 1847, ebenfalls zu Fachwerkkonstruktionen, und der Russe Dmitrij Ivanovič Jourawski 1842, zu den Schubspannungen in einem Biegebalken zu ergänzen) erreichte die Wissenschaft der Baustatik endgültig den Zustand ihrer umfassenden Anwendbarkeit auf praktische Probleme: Es war nunmehr möglich, auf Grundlage theoretischer (vereinfachter) Modellbildung die Beanspruchungen in den einzelnen Gliedern fast aller praxisrelevanten Tragwerksformen vorherzusagen und die Bauelemente entsprechend rechnerisch zu dimensionieren. Damit liess sich konsequent das Ziel verfolgen, das Material optimal effizient einzusetzen. Ein im Sinne der Materialausnutzung optimales Tragwerk ist ein solches, bei dem jedes einzelne Tragwerkselement rechnerisch (bis auf einen Sicherheitsfaktor) voll beansprucht ist, jedenfalls unter der jeweils am ungünstigsten wirkenden Belastung (heute als «fully stressed design» bekannt). Startet man mit dieser Zielvorstellung, so kommt man bei konsequenter Anwendung des Gedankens automatisch zu Tragwerken, die keine Redundanz aufweisen. Rechnerisch sind solche Tragwerke leicht zu fassen, weil ihre Beanspruchungen sich allein aus Gleichgewichtsbedingungen ergeben und die Verformungen im Nachlauf berechnet werden können, jedoch keinen Einfluss auf die Beanspruchungen haben («statisch bestimmte Tragwerke»).

Die Erfassung des Lastabtrags durch die jungen Wissenschaften der Mechanik und Statik hatte natürlich schon eine Vorgeschichte, die weit vor 1851 zurückreichte. Schon im 16. Jahrhundert hatte der Niederländer Simon Stevin die Abstraktion von Kräften als Vektoren (definiert durch Betrag und Richtung sowie Angriffspunkt) geleistet und damit einfache Maschinen analysiert. Wirklich breiten Kreisen wurde diese Abstraktion jedoch erst durch die 1725 posthum erschienene Nouvelle Mécanique ou Statique des Pierre Varignon vermittelt, der die Ermittlung des Kräftegleichgewichts anhand graphischer Darstellungen für eine Unzahl von Beispielen anschaulich vorführte (Krafteck und Seileck). Im 18. Jahrhundert findet man immer wieder erste Versuche, mit Hilfe dieser Varignon'schen Methodik reale Tragwerke zu analysieren (vor allem bei Pierre Couplet und Henri Pitot). Begleitend erforschte man ab dem 18. Jahrhundert auch die Festigkeit von Materialien durch Belastungsexperimente an Proben (z.B. Pieter van Musschenbroek, Bernard Forest de Bélidor, Émiland-Marie Gauthey). Auf die Bedeutung des Themas hatte erstmals Galileo Galilei in seinen 1638 erschienenen Discorsi e Dimostrazioni intorno a due nuove Scienze hingewiesen und auch schon erste Gedankenexperimente zur Ermittlung der Tragfähigkeit längs- und biegebelasteter stabförmiger Bauteile durchgeführt.

Es fehlten jedoch zunächst noch die mathematischen Grundlagen für ein vertieftes Verständnis des Lastabtrags vor allem in biegebeanspruchten Bauteilen. Diese Grundlagen wurden erst im späten 18. Jahrhundert durch Wissenschaftler wie die beiden Basler Leonhard Euler und Johann Bernoulli gelegt. Den Ingenieuren blieb diese Welt freilich infolge ungenügender Kenntnisse insbesondere in der Infinitesimalrechnung zunächst verschlossen. Erst der Autodidakt Johann Albert Eytelwein, der zusammen mit dem gewieften Praktiker David Gilly 1799 die Bauakademie in Berlin gründete, schaffte es, diese Lücke zu überwinden. Er publizierte 1808 sein dreibändiges *Handbuch der*

Statik, in dem die mathematisch korrekte Biegetheorie für praktische Anwendungen aufbereitet wurde. Somit gelang es nun erstmals, durch Zerlegung komplexer Tragwerke in einzelne Fachwerkstäbe und Biegebalken eine näherungsweise rechnerische Ermittlung der Beanspruchungen durchzuführen, Voraussetzung für die systematische Bemessung aller Einzelteile. Die preussische Bauverwaltung, der Eytelwein und Gilly ebenfalls angehörten, versuchte dann auch konsequent, diese neuen Methoden in der Praxis durchzusetzen, vor allem aus nationalökonomischen Gründen (Einsparung von Ressourcen, Stärkung des wirtschaftlichen Lebens in Preussen). In Frankreich war es vor allem die École des Ponts et Chaussées, die die neuen Methoden an die angehenden Ingenieure vermittelte. Noch entschiedenere Fortschritte als Eytelwein erzielte dabei Claude Louis Marie Henri Navier (1826, gedrucktes Vorlesungsmanuskript *Résumé de Leçons sur l'Application de la Mécanique*). In Paris und im Umfeld der *École d'Application de l'Artillerie et du Génie* in Metz wurde dieses neu erworbene Wissen verbreitet und vertieft (Paul Ardant, Vorlesungsmanuskript *Études théoriques et expérimentales sur l'établissement des charpentes a grande portée* von Metz, 1840, Pierre Félix Michon, *Stabilité des constructions*, ebenfalls Vorlesung in Metz, 1848). In Frankreich konzentrierte man sich allerdings vor allem auf den über mehrere Felder durchlaufenden kontinuierlichen Träger und auf andere statisch unbestimmte Tragsysteme. Für die Entwicklung im Brückenbau war dies wichtig, da man auf diese Weise in Frankreich den Balkenbrücken und Blechträgern und den damit verbundenen innovativen Herstellungsmethoden (siehe unten) grosses Interesse entgegenbrachte. In Deutschland hingegen konnte sich die statische Analyse von Tragwerken auf breiter Front erst mit den Fachwerken und den Berechnungsmethoden von Culmann und Schwedler durchsetzen.

Das bereits vertiefte Verständnis für die Statik führte 1840 zur Erfindung eines neuen Typus des Dachbinders, des sogenannten Polonceau-Binders. Camille Polonceau setzte diese Dachkonstruktion erstmals auf den Bahnhöfen der linksufrigen Bahnlinie Paris-Versailles ein. Es handelt sich um einen Dachbinder, der sich aus zwei «unterspannten Balken» zusammensetzt. Der unterspannte Balken – an sich eine alte Erfindung, die man z.B. bei militärischen Behelfsbrücken schon länger eingesetzt hatte – ist ein in sich geschlossenes dreiecksförmiges Tragwerk, das aus einem durchlaufenden Balken mit mittiger Unterstützung durch eine Strebe besteht. Diese Strebe ihrerseits wird durch ein geknicktes Seil gehalten, das an den beiden äusseren Enden des Balkens befestigt ist. Durch Anspannen dieses Seils kann man eine nahezu beliebig grosse Stützkraft in der «schwebenden» Strebe bewirken – das genaue Gegenteil eines «statisch bestimmten Systems» und somit viel besser aus der französischen Linie der Baustatik erklärbar als aus der deutschen.⁵³ Zwei unterspannte Balken werden als Sparren dachförmig gegeneinander gelehnt. Nun muss man nur noch die beiden Fusspunkte der schwebenden Streben durch ein Zugseil verbinden, und fertig ist das in sich geschlossene System des Polonceau-Dachbinders. In der Materialisierung des Systems drückte sich ebenfalls die gewachsene Einsicht in Mechanik und Materialverhalten aus: Die auf Biegung und – wegen der vorgespannten Unterspannung – auch gleichzeitig auf Druck beanspruchten Sparren wurden in Holz konstruiert. Die vorwiegend auf axialen Druck beanspruchte schwebende Strebe wurde in Gusseisen ausgeführt. Für die Spannseile oder Spannstangen hingegen zog man Schmiedeeisen heran. Es handelt sich also um ein frühes Beispiel einer «materialgerechten» Ingenieurkonstruktion.

⁵³ Trotzdem erfand der Düsseldorfer Kunstprofessor Rudolf Wiegmann unabhängig von Camille Polonceau exakt dasselbe System zu exakt derselben Zeit und publizierte es ebenfalls 1840!

Von all diesen Entwicklungen, die sich vor allem im Ingenieur- und Zweckbau abspielten, blieb die «hohe» Architektur zunächst unberührt. Eisen trat hier nur unsichtbar im Hintergrund auf; allenfalls verwendete man Gusseisen zur Herstellung schlanker Säulen, also quasi als Ersatz für monolithische Steinkonstruktion. Das änderte sich erst 1850 mit der Eröffnung der Pariser Bibliothèque Sainte-Geneviève, die der an der École des Beaux Arts ausgebildete Architekt Henri Labrouste entworfen hatte. Von aussen präsentiert sich die Bibliothek im gewohnten Erscheinungsbild eines Repräsentationsbaus in Paris: Werksteinarchitektur, sichtlich inspiriert von der italienischen Renaissance. Der im Obergeschoss liegende grosse Lesesaal wird aussen durch halb verschlossene Rundbogenarkaden gegliedert, die ihre Ähnlichkeit mit der Gliederung des Tempio Malatestiano in Rimini nicht verleugnen. Anstelle der Kenotaphe in Rimini sind allerdings Tafeln mit den Namen berühmter Dichter in den Arkaden angebracht. Betritt man den Bau durch das Portal in der Mitte der Längsseite, kommt man in ein Vestibül, dessen Flachdecke durch gusseiserne Bogenträger getragen wird. Nach Durchschreiten des Vestibüls gelangt man zu einem Treppenhaus an der Rückseite, das zweiläufig zum Lesesaal im Obergeschoss führt. Betritt man diesen, findet man sich in einer von äusserst grazilen Säulen getragenen, zweischiffigen, tonnengewölbten Halle wieder, deren gesamte Tragstruktur dem Anschein nach durch gusseiserne Elemente getragen wird: Auf hohen Steinsockeln stehen schlanke stilisierte korinthische Säulen. Diese sind parallel zur Raumachse miteinander wiederum durch gusseiserne Bögen und quer zur Raumachse mit den Umfassungswänden ebenfalls durch Gusseisenbögen verbunden. Letztere tragen die Tonnenwölbung. Durch die äusserst schlanken Stützen und das weiss getünchte Gewölbe kann sich das durch die Lünetten der Arkaden von aussen einströmende Licht im ganzen Lesesaal diffus ausbreiten und schafft so eine optimale Arbeitsatmosphäre. Die extrem dünnen Säulen und die zweischiffige Anlage des Lesesaals gemahnen an das gotische Refektorium von Saint-Martin-des-Champs in Paris, das genau zur gleichen Zeit von Léon Vaudoyer ebenfalls in eine Bibliothek umgenutzt wurde, jene des Conservatoire Royal des Arts et Métiers. Trotz dieser direkten Analogie zum Steinbau erscheint die Struktur des Saales nicht ganz glaubhaft: Wie können Tonnengewölbe auf so dünnen Stützen ruhen? Des Rätsels Lösung ergibt sich im Dachraum zwischen Gewölbe und Dachdeckung: Hier stellt sich heraus, dass – wiederum gut versteckt vor den Blicken der Besucher – die eigentliche Tragstruktur nicht in Gusseisen ausgeführt ist, sondern aus gewalzten Bandeisen und kleinen Profilen besteht. Über den Gusseisensäulen erheben sich längs und quer verstreute eiserne Ständer, die die Dachstruktur tragen. Die Gewölbe wiederum sind keineswegs gemauert, sondern – wie die Decken an der Walhalla bei Regensburg – als Drahtputzgewölbe ausgeführt. Zwischen den Gusseisenbögen, die man von innen sehen kann, sind Bandeisen verlegt, an die wiederum Drähte angebunden sind, die als Drahtnetz ganz leichte (nicht begehbare) Gewölbe aus Putz tragen. Die tragende Eisenkonstruktion liegt an Labroustes Bau also immer noch nicht wirklich offen, sondern es wurde lediglich das Gusseisen als alternativer Werkstoff zum Stein ostentativ im Innenraum verbaut.

Die Akzeptanz gusseiserner Säulen blieb im ganzen langen 19. Jahrhundert gross. Die ersten Gusseisenelemente überhaupt, die man in architektonischer Verwendung im Monumentalbau eingesetzt hatte, waren Gusseisensäulen gewesen, so schon im ausgehenden 18. Jahrhundert in England.⁵⁴ Auch in den Bahnhofshallen von Euston Station, London, und Gare du Nord, Paris, hatte man Gusseisensäulen verwendet. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts konnte man gusseiserne Säulen aus dem Katalog der

⁵⁴ Zum Beispiel St. Chad's Church, Shrewsbury, 1792–94; St. George's Church, Everton, Liverpool, von Thomas Rickman.

Giessereien in verschiedenen Standardgrössen auswählen. Ladenfronten, Bahnhofsbauten, aber auch Kirchen (Emporenstützen!) wurden häufig mit gusseisernen Stützen ausgestattet.

Als echter Durchbruch des Eisens im traditionellen Monumentalbau kann Labroustes Bibliothek also nicht gewertet werden, auch nicht als Aufbruch in eine neue Stufe der Technologie oder der Ästhetik der Eisenarchitektur. Dies blieb bei Sakralbauten auch in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts weitgehend so. Weitere wichtige Exponenten der Eisenarchitektur in dieser Zeit waren die Beaux-Arts-Absolventen Victor Baltard (bekannt geworden in den 1860er Jahren durch den reinen, vollständig als Eisenskelett konzipierten Zweckbau der zentralen Markthallen von Paris) und Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc, der die Gotik als Vorbild für die Konstruktion und Ästhetik des neuen Materials propagierte. In den Repräsentationsbauten dieser Architekten ist das Eisen zwar offen sichtbar, die wahre Tragstruktur, die oft sehr modern ist, wird aber hinter Werksteinfassaden und leichten Gewölben versteckt (z.B. Baltards Kirche Saint-Augustin in Paris, mit innen sichtbaren Gusseisensäulen und dekorativen schmiedeeisernen Bögen, jedoch einem rein funktionalen Polonceau-Dach). Die früheste «gotische» Kirche mit ausgiebiger Eisenverwendung schufen allerdings nicht diese beiden Architekten, sondern der Autodidakt Louis-Auguste Boileau, der die zunächst von A.-L. Lusson geplante Kirche Saint-Eugène-Sainte-Cécile im Pariser Faubourg Poissonnière errichtete (in extrem kurzer Bauzeit und zu überaus geringen Kosten, 1854–55). Wiederum sieht man von aussen nur Werkstein, innen nur Gusseisen und leichte Gewölbemembranen (hier in dünnen Ziegelplatten konstruiert, in Baltards Saint-Augustin in ebenfalls dünnen stranggepressten Hohlbacksteinen). Die eigentliche, schmiedeeiserne Tragstruktur verbirgt sich wieder im Dachraum, hier in Form von Bogenfachwerken. Boileau nahm also Viollet-le-Ducs Ästhetik in gewissem Masse vorweg.

Der eigentliche Wendepunkt im Eisenbau ereignete sich jedoch nicht im Bereich der Monumentalarchitektur, sondern im Ingenieurbau. Sichtbarstes Zeugnis dieser Wende war 1850 die Eröffnung der Britannia-Brücke auf der Chester-Holyhead-Eisenbahn, sowie deren Schwesterbrücke bei Conwy (auch Conway geschrieben). Diese beiden Brücken waren die ersten monumentalen genieteten Blechbalkenbrücken. Als Blechbalken oder Vollwandträger wird ein aus Einzelblechen zusammengesetzter hoher Biegeträger bezeichnet. Durch die Fügetechnik des Nietens konnten die engen Grenzen der Grösse gewalzter Eisenprofile überwunden werden: Nunmehr konnte man aus Blechplatten und kleinen Profilen (vor allem Winkel-Eisen in Form des «L» und «T»-Eisen) beliebige Profile unbeschränkter Grösse zusammensetzen. Das Nietens konnte sich in England in den 1840er Jahren durchsetzen. Ursprünglich handelt es sich um eine schon im ausgehenden 18. Jahrhundert erfundene Fügetechnik aus dem Schiffbau (in monumentalem Massstab dann 1842–43 Isambard Kingdom Brunels Ozeandampfer *Great Britain*). Beim Nietens werden verschiedene Eisenbauteile (z.B. Bleche oder Profile) verbunden, indem in beide zu verbindenden Teile Löcher gebohrt werden, in die dann ein rotglühender Bolzen mit Kopf gesteckt wird (das Niet). Dieser Bolzen wird sodann dadurch fixiert, dass auch auf der durchgesteckten Seite ein zweiter Kopf erzeugt wird (durch einige kräftige Hammerschläge). Durch Abkühlung zieht sich der Bolzen mit den beidseitigen Köpfen zusammen und presst die beiden Bauteile zusammen. Der Lastabtrag im Bolzen bzw. Niet geschieht sowohl über Lochleibungsdruck und Biegung/Scherung im Bolzen als auch über Reibung längs der zusammengepressten Kontaktflächen.

Die Chester-Holyhead-Bahn war ein Projekt von Robert Stephenson. Für die Konzeption der beiden grossen Brücken arbeitete er jedoch intensiv mit dem Maschinenbau-Fabrikanten und Praktiker William Fairbairn sowie mit dem Theoretiker Eaton Hodgkinson (Professor am University College in London) zusammen. Das Problem beider Brücken war, dass sie stützenfrei ungeheure Spannweiten zu überwinden hatten (122 m in Conwy und sogar bis zu 140 m an der Menai-Meerenge). Unter Eisenbahnlasten waren hierfür derart hohe Träger notwendig, wie man sie sich damals kaum vorstellen konnte. Dementsprechend ging man bei den Planungen für die Querung der Meerenge von Menai zunächst davon aus, unter Benützung einer Mittelstützung auf dem Britannia Rock zwei bogenförmige Tragwerke verwenden zu können. Bei der Marine, für die die Menai-Meerenge eine wichtige Passage war, stiessen diese Überlegungen jedoch wegen der Einschränkung des Durchfahrtsprofils auf heftigen Widerstand. Der einzige Brückentyp, der damals denkbar war, um eine 300 m weite Überführung zu realisieren, war die Hängebrücke. Hängebrücken waren allerdings sehr stark schwingungsanfällig und überdies für die hohen Eisenbahnlasten nicht denkbar.

Die Lösung, die die drei beteiligten Ingenieure schliesslich fanden, war die Realisierung von hohen kastenförmigen Eisenträgern, durch die – wie bei einem Tunnel – die Züge im Inneren hindurchfahren sollten. Die Conwy-Brücke, die schon 1848 fertiggestellt wurde, diente in gewissem Sinne als Experiment für die noch weitaus anspruchsvollere Britannia Bridge. Zunächst erforschten Fairbairn und Hodgkinson das Trag- und Versagensverhalten genieteteter Träger, um die Dimensionen und notwendige Anzahl und Anordnung der Niete zu bestimmen. Sodann ging es um die Form und Konstruktion der Träger selbst. Die Experimente, die Fairbairn mit Input von Hodgkinson durchführte, zeigten schnell, dass sowohl an der Druckseite eines Biegeträgers als auch am Steg die Gefahr eines seitlichen Ausbeulens und daraus resultierenden Gesamtversagens drohte. Um diese Probleme zu vermeiden, wurden Boden und Deckel des Eisenkastens als vielzellige Querschnitte ausgeführt, die Seitenwände hingegen mit angenieteten Profileisen versteift. Die Fertigung der Hohlkastenträger erfolgte direkt vor Ort auf Feldbaustellen, unter Zuhilfenahme dampfbetriebener Bohr- und Nietmaschinen. Nach Fertigstellung der ganzen Röhre wurde diese bei der Conwy-Brücke über Pontonflösse zwischen die Pfeiler ingeschwommen und sodann mit hydraulischen Pressen in Position gehoben.

Im Gegensatz zur einfeldrigen Conwy-Brücke entschied man sich bei der Britannia-Brücke an der Menai-Meerenge für eine vierfeldrige Konstruktion (70–140–140–70 m Spannweite) mit drei hohen Zwischenpylonen. Anhand der Berechnungen von Hodgkinson erwies es sich rasch, dass die Brücke in einigermaßen erträglichen Dimensionen nur dann realisierbar war, wenn die Brücke als kontinuierlicher Durchlaufträger konstruiert wurde und auch so montiert wurde, dass schon das Eigengewicht nicht auf Einfeldträger, sondern auf den Vierfeldträger wirkte (die Last des Zuges dann sowieso). Zunächst hatte man noch an eine Montage als temporäre Hängebrücke gedacht (daher die hohen Pylone, über die man die Hängeseile ziehen hätte wollen), bei der man die Hängeseile hätte verwenden können, um den erwünschten Lastabtrag im Endzustand herzustellen. Nach dem Erfolg des Einschwimmens der Röhre in Conwy entschied man sich jedoch auch bei der Britannia Bridge für diese Montagemethode. Entsprechend mussten die Einzelstücke nach Hodgkinsons Berechnungen so eingebaut werden, dass sich nach der Wegnahme der Hydraulikpressen die gewünschten Stützmomente über den Zwischenstützen einstellen (überhöhter Einbau gemäss den vorausberechneten Durchsenkungen).

Die Britannia-Brücke wurde zu einem grandiosen Erfolg. In ihrer Nachfolge breiteten sich genietete eiserne Balkenbrücken auf den Eisenbahnstrecken der ganzen Welt aus. Besonders enthusiastisch griff man die Idee in Frankreich auf, wo man ohnehin die Berechnung des Durchlaufträgers schon länger kultivierte und ausserdem Émile Clapeyron 1857 eine schnelle und rationelle Rechentechnik vorstellte, die die Analyse des Durchlaufträgers noch bequemer machte. Allerdings folgten keine Röhrenbrücken mehr, bei der der Zug durch das Innere des Trägers fuhr. Vielmehr bevorzugte man die Anordnung der Fahrbahn oben auf den Trägern. Auch den völlig geschlossenen Hohlkasten ersetzte man durch neben einander gelegte Vollwandträger mit I-Querschnitt. Entsprechende Brücken entstanden z.B. in Langon und in Moulins. Die 1858 errichtete neunfeldrige (!) Durchlaufträger-Vollwandbrücke der Eisenbahn über die Allier in Moulins (Pont Noir) ist als einzige monumentale Brücke dieses Typs bis heute erhalten. An ihr lässt sich auch die Abstufung der Flanschstärken durch angenietete Bleche gemäss der vorausgerechneten Belastungen sehr gut beobachten.

Vollwandträger setzen die Verfügbarkeit ausreichend grosser gewalzter Bleche (Stahlplatten) voraus. Nicht überall in Europa waren in den 1850er Jahren solche Bleche in beliebiger Menge greifbar. Ausserdem stiessen die Vollwandträger-Blechbalkenbrücken nicht überall auf ungeteilte Zustimmung. Sie wurden als sehr wuchtig betrachtet. Abhilfe für beide Probleme ergab sich durch Auflösung der vollwandigen Stege der Träger in ein eisernes Maschen- oder Gitterwerk. Ein feinmaschiges Gitterwerk konnte man beispielsweise durch kreuzweises Vernieten schmaler Bandeisen erzeugen. Das Tragverhalten eines solchen Gitterträgers unterschied sich in wesentlichen Punkten nicht von jedem der Vollwandträger. Zum ersten Mal hatte der Ingenieur John McNeill schon 1845 eine grosse Gitterträgerbrücke für die Eisenbahn auf der irischen Linie Dublin-Drogheda errichtet. Handelte es sich hierbei um eine Einfeldbrücke, so übertrug man das bei der Britannia-Brücke so erfolgreiche Prinzip der Durchlaufträgerbrücken bald auch auf die Gitterbrücken. [Das einzige noch vollständig erhaltene Exemplar der in den 1850er Jahren überaus beliebten durchlaufenden Gitterträgerbrücken für die Eisenbahn ist die 1859 nach Plan des badischen Eisenbahningenieurs Robert Gerwig, des späteren Ingenieurs der Gotthardbahn, errichtete dreifeldrige Brücke über den Rhein zwischen Koblenz AG und Waldshut \(D\).](#) Hier nutzte man die Durchlaufkonstruktion auch noch für ein später vor von französischen Ingenieuren noch oft benütztes Montageverfahren, nämlich das Einschieben bzw. Einrollen des gesamten, fertigen Überbaus von einer Landseite her (Vorläufer des «Taktchiebeverfahrens»). Die ebenfalls vom Ausbeulen bedrohte Gitterwand der Kastenträger wurde hier durch angenietete aussteifende Profileisen ausgesteift.

Mit der Brücke Waldshut-Koblenz ging die grosse Ära der Gitterträgerbrücken allerdings schon wieder zu Ende. Danach setzten sich die sogenannten «Fachwerkbrücken» mit weitmaschigem Stabgitterwerk zwischen den Flanschen überall durch. Voraussetzung dafür war die genaue Berechnung der Kräfte im Stabwerk. Beim Bau der siebenfeldrigen Eisenbahnbrücke über die Garonne in Bordeaux (ebenfalls 1859, heute als «Passerelle Eiffel» bekannt) verzichtete man noch auf eine rechnerische Dimensionierung der Diagonalen des Fachwerks, weil die Grundlagen für die Berechnung eines derartigen, hochgradig statisch unbestimmten durchlaufenden Fachwerkträgers noch nicht verfügbar waren. Unter Verwendung der Berechnungsansätze von Culmann und Schwedler konnte man um diese Zeit hingegen bei einfeldrigen Brücken schon jedes

Tragelement optimal auf die erwartete Belastung auslegen und auch günstige Tragwerksformen für die Einfeldträger herleiten. Dies ermöglichte den Siegeszug der Fachwerkbrücken, vor allem vom deutschen Sprachraum aus.

Auf den Hochbau wirkten sich die Neuerungen im Eisenbahn- und Brückenbau umgehend ebenfalls aus. Man kann dies z.B. an der Konstruktion der Dächer von Einsteighallen der Eisenbahn beobachten: Das Polonceau-System wandelte sich ganz rasch in ein reines Eisenbau-System, die hölzernen Sparren und Pfetten wurden ausgemerzt, man beschränkte sich auf Gusseisen für die hängenden Streben und verwendete Stahl für alle anderen Konstruktionselemente. Dadurch waren nun viel grössere Spannweiten möglich. Hinzu kam auch hier das Nieten. In Form der Polonceau-Träger, jedoch als genietete Blechkonstruktion präsentieren sich beispielsweise die 1851–53 errichteten 40 m weit spannenden Bahnhofsdächer im Gare Saint-Lazare in Paris, die bis heute erhalten geblieben sind. Noch grössere Spannweiten waren möglich, wenn man Sparren und Pfetten nicht als Vollwandträger, sondern als Fachwerkträger ausführte. In der Gare d'Austerlitz in Paris erreichte man so zehn Jahre nach dem Bahnhof Saint-Lazare Spannweiten von 52.5 m.

Auch Bogenträger konnten in grobmaschiges Fachwerk aufgelöst werden. Derart konstruierte Hallen- bzw. Dachbinder dominierten vor allem die Ausstellungshallen der vielen Weltausstellungen der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (u.a. in Paris, London, Wien und New York). Auch Bahnbrücken wurden als Bogenfachwerkkonstruktionen ausgeführt. Bevorzugte man zunächst statisch bestimmte Bogenträger mit drei Gelenken (zwei am Auflager und eines im Bogenscheitel), konnte man im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts auch Zweigelenkbögen (ohne Scheitलगelenk) und eingespannte Bogenfachwerke statisch präzise berechnen und machte sich dann deren Redundanz (d.h. höhere Robustheit z.B. bei wachsenden Verkehrslasten) zunutze. Alternativ konnte man an statisch optimierten Einfeldträgern festhalten, so z.B. an den vor allem in Deutschland zeitweise sehr beliebten Parabel- und Fischbauchträgern. In Frankreich bevorzugte man hingegen fast bis ans Ende des 19. Jahrhunderts parallelgurtige Fachwerkträger, da diese weitaus einfacher herzustellen und zu montieren waren. [Zeugnisse beider Traditionen sind in der Schweiz zu bewundern, z.B. an der Kirchenfeldbrücke in Bern \(eingespannter Fachwerkbogen, 1883\), an der Sitterbrücke der Bodensee-Toggenburg-Bahn \(Halbparabel-Träger, fischbauchartig durchhängend, 1910\), an den Eisenbahnbrücken bei Hemishofen \(Rhein, parallelgurtiger Fachwerk-Durchlaufträger, 1875\) und Ossingen \(Thur, ebenfalls durchlaufender parallelgurtiger Fachwerkträger, 1875\) und dem Eisenbahnviadukt über den Rhein bei Eglisau \(einfeldriger parallelgurtiger Fachwerkträger, 1897\) sowie an der Aarebrücke Koblenz AG \(statisch optimierte «Schwedler-Träger», Folge von fünf parabelartigen Einfeldträgern, 1892\). An diesen Schweizer Brücken kann der Eisenbau der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts somit exemplarisch hervorragend studiert werden.](#)

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts kam schliesslich noch der letzte grosse Baustoff auf, der das Bauen nochmals grundlegend revolutionierte und bis heute massgeblich bestimmt, der Stahlbeton. Der Beton als solcher hat freilich eine viel weiter zurückreichende Geschichte. Wir haben gesehen, dass mörtelreiches Bruchsteinmauerwerk seit der römischen Antike eine massgebliche Rolle im Bauwesen spielte, meist versteckt im Inneren mehrschaliger Konstruktionen. Da beim Herstellen von Werkstein immer Abschläge und Abfälle anfielen, die man im Mauerinneren verbauen konnte, verschwand das mehrschalige Mauerwerk mit mörtelreichem Bruchsteinkern nie aus der historischen

Bautechnik. Mörtelreiches Bruchsteinmauerwerk unterscheidet sich allerdings in einigen wesentlichen Punkten vom «Beton» im engeren Sinne: Steine und Mörtel werden getrennt voneinander und lagenweise abwechselnd eingebaut, Beton im engeren Sinne hingegen als fertig gemischte Masse. Beton hat überdies ein hydraulisches Bindemittel, also eines, das auch unter Luftabschluss erhärtet. In der römischen Antike war dies der Kalkmörtel mit Zusatz von Puzzolane oder Ziegelmehl. Im Mittelalter ging das Wissen um die Herstellung hydraulischer Mörtel weitgehend verloren, hydraulische Eigenschaften stellten sich eher zufällig bei der Verwendung von Kalksteinen mit passendem Tongehalt bei der Kalkbrennerei her. Trotzdem kann man davon ausgehen, dass man auch im Mittelalter solchen hydraulischen Mörtel durchaus bewusst an kritischen Stellen einsetzte, zum Beispiel im Inneren hochbelasteter Bauteile, bei Bauteilen im Wasser oder bei dickwandigen Strukturen. Systematisch begann man erst im 18. Jahrhundert wieder nach hydraulischen Bindemitteln zu suchen.⁵⁵ Zunächst war die Triebfeder hinter dieser «Wiederbelebung» des antiken *opus caementicium* der Wasserbau: Beim Bau von Molen, Leuchttürmen, Hafenbecken, Schleusen und Kanälen war unter Wasser erhärtender Mörtel essentiell. Nach ersten Versuchen zur chemischen Analyse von hydraulischem Mörtel im ausgehenden 18. Jahrhundert durch John Smeaton und im frühen 19. Jahrhundert durch Louis Vicat kam die gezielte Herstellung hydraulischen Mörtels in den 1820/30er Jahren richtig in Gang, und zwar zunächst durch gezieltes Suchen nach natürlichen mergeligen Kalksteinen bzw. kalkigen Mergelsteinen mit einem etwa passenden Tonmineralanteil von rund 30%. Im normalen Kalkofen zu Kalk gebrannt, ergaben solche Steine ein hydraulisches Bindemittel (natürliche hydraulische Kalke, auch als «Romanzemente» bekannt). Der nächste Schritt bestand in der künstlichen Herstellung des richtigen Mischungsverhältnisses von Kalk und Ton, schrittweise ab den 1830er Jahren. Der Druck dazu war allerdings nicht überall gleich stark, da z.B. in Frankreich fast überall passende Vorkommen natürlicher hydraulischer Kalke gefunden waren, nachdem man einmal danach gesucht hatte. Zum Beispiel fand man in Le Teil (heute Le Teil, Ardèche) in Südfrankreich und in Pouilly-en-Auxois in Burgund passendes Gestein. Besonders dauerhaften Erfolg hatte eine Firma Gariel & Garnier, die in Vassy-les-Avallon, ebenfalls in Burgund, einen Steinbruch mit passendem Material eröffnete. Der hieraus hergestellte Zement wurde bald vor allem nach Paris transportiert und dominierte dort ab etwa 1850 den Brücken- und Wasserbau, vor allem auch die Anlage der Fernwasserversorgung und Abwasserentsorgung.

Man kann hydraulischen Mörtel verwenden, um ganz gewöhnliches Mauerwerk aus Quadersteinen auszuführen. Besonders unter Wasser ist allerdings der Versatz von Quadern mühsam und schwierig. Daher liegt es nahe, unter Wasser hydraulischen Mörtel und Bruchsteine lagenweise einzubringen oder gar eine vorab fertig gemischte Masse aus Steinen (Grobkies) und Mörtel (Bindemittel und Sand) direkt einzubringen. Im Unterwasserbau und Küstenbau lagen daher die ersten grossen Anwendungen des «Betons». Beispiele sind Schleusen an Napoléons Grand Canal du Nord, die Molen und Wellenbrecher von Algier, Schleusen und Kanäle am Canal Saint-Martin und am Canal Saint-Denis in Paris, Schleusen am Canal Monsieur (heute Canal du Rhône au Rhin). Material, das dem modernen Beton schon weitgehend glich, wurde hier an unsichtbarer Stelle vor allem in Frankreich schon früh ausgiebig verwendet, wenig später auch in Deutschland und in der K. k. Monarchie.

⁵⁵ Dazu das wunderbare Buch von Roberto Gargiani: Concrete. From archaeology to invention, 1700–1769. Lausanne 2013.

Um 1850 tauchte der Beton aus der «Versenkung» im Wasser auf und begann sich auch über dem Wasserspiegel zu zeigen. Besonders auffällig war seine Verwendung an den endlosen Bogenreihen des Aquäduktes, den man von dem Vanne-Tal (im Westen Burgunds, unweit Sens) bis nach Paris baute (1869–73). Dieses Grossprojekt wurde durch einen Bauunternehmer François Coignet ausgeführt, der einen Beton mit geringem Bindemittelgehalt und nur relativ feinkörnigem Kies hierfür verwendete – nicht immer erfolgreich, es kam zu mehreren Einstürzen. Auch andernorts, vor allem in Österreich-Ungarn, begann man, auch ausserhalb des Wassers mit Beton zu bauen. Protagonisten waren hier in den 1850er und 1860er Jahren der Wasserbauingenieur Johann von Mihàlik und der Architekt Johann Salzman. Letzterer errichtete in Stein an der Feistritz (Slowenien, heute Fužine, Kamnik) unter ausgiebiger Verwendung von Beton im Wasser-, Strassen- und Hochbau die staatliche Munitionsfabrik.⁵⁶

Was allen diesen Betonbauten gemeinsam war, das war das Fehlen von Eiseneinlagen. Der unbewehrte Beton wurde mit den Bezeichnungen «béton aggloméré», «rammed concrete», «Konkret», «Stampfbeton» (wegen der notwendigen Verdichtung des Gemisches nach dem Einbringen in die Schalung, wozu man die Masse mit Stempeln stampfte), «Grobmörtel», «Kalk-Sand-Pisé» angesprochen. Als Tragstrukturen waren im Grunde nur Gewölbe möglich, da Gewölbe Lasten weitgehend allein auf Druck abtragen können. Der Stampfbeton besass nur sehr geringe Zugfestigkeit und war daher für Biegeträger nicht geeignet.

Stahlbeton: Eiseneinlagen in hydraulischem Mörtel liess sich der französische Gärtner Joseph Monier 1867 patentieren. Die Idee, Betonkonstruktionen durch Eiseneinlagen zu verbessern, lag damals in der Luft.⁵⁷ Monier dachte zunächst vor allem an die Produktion von dünnwandigen Blumenkübeln aus Drahtgeflecht mit Zementmörtelummhüllung. Er erkannte allerdings rasch das Potential der neuen Werkstoffkombination. Die Eiseneinlagen waren geeignet, Zugkräfte aufzunehmen, die die Betonkonstruktionen ansonsten zerstört hätten, z.B. Ringzugkräfte in grossen Wasserbehältern. Bei biegebeanspruchten Konstruktionen konnten Eiseneinlagen auf der zugbeanspruchten Seite die Traglast massgeblich erhöhen. Monier liess sich seine Erfindungen daher auch in den europäischen Nachbarstaaten patentieren. Wirklich zum Durchbruch kam das «System Monier»⁵⁸ vor allem im deutschen Sprachraum, und zwar, als der Unternehmer Gustav Adolf Wayss 1885 die Patente für Deutschland und Österreich von Moniers ersten Lizenznehmern gekauft hatte. Primär ging es hier um die Anwendung von Stahlbeton für Decken (Flachdecken und flachgespannte Gewölbe). In Zusammenarbeit mit dem preussischen Beamten Matthias Koenen (1886) erarbeitete Wayss ein Konzept zur rechnerischen Bemessung der notwendigen Eiseneinlagen für gegebene Belastung. Koenen trat 1887 aus dem Staatsdienst aus und in die Firma Wayss & Freytag ein. In den Folgejahren nahm die «Monier-Bauweise» in Deutschland rasanten Aufschwung und erschloss sich stets neue Anwendungsgebiete, auch im Ingenieurbau (Brücken).

⁵⁶ Leider in allerjüngster Zeit komplett abgerissen. Zur Geschichte des Stampfbetons verfasste Karen Veihelmann ihre Dissertation: Karen Veihelmann: Gewölbte Brücken des 19. Jahrhunderts. Vom Mauerwerk zum Stampfbeton. Diss. Universität der Bundeswehr München, 2015 (Hauptberichter: Holzer).

⁵⁷ In den 1840er Jahren: Eisenbänder in dem Betonfundament der Nikolaikirche Hamburg; 1855: Ausstellung eines Bootes aus Zementmörtel auf Grundlage eines Drahtgerippes durch Lambot auf der Pariser Weltausstellung.

⁵⁸ So der Titel einer 1887 erschienenen Werbebroschüre der Firma Wayss.

Im französischen Sprachraum konnte sich eine andere Firma durchsetzen, jene des aus dem äussersten Norden Frankreichs stammenden und vor allem in Belgien, später auch in Paris tätigen Ingenieurs François Hennebique. Zwar gelang es Hennebique nicht, in gleich klarer Weise wie das Gespann Koenen/Wayss eine rechnerische Bemessungsmethode zu entwickeln, doch lag der Vorteil des «Systems Hennebique» darin, dass es von Anfang an nicht nur auf einzelne Betonbauteile wie Decken zielte, sondern auf ein monolithisches Gesamtsystem aus Stützen, Unterzügen und Flachdecken, alles aus einem Guss und mit durchlaufenden Eiseneinlagen. Charakteristikum des Systems Hennebique sind die am Auflager aufgebogenen Bewehrungsstäbe in den Unterzügen der Deckenplatten sowie die aus Bandeseisen in U-Form gebogenen «Bügel», die die Längsbewehrung umschlossen, sowie die im Anschluss an die Stützen auffallend gevouteten Unterzüge.

In den Jahren ab etwa 1899 bis 1914 nahm der «Betoneisenbau» bzw. «Eisenbetonbau» (die beiden Varianten finden sich als Titel des ersten umfassenden Lehrbuches zur neuen Bauweise, verfasst erstmals 1902 von dem später als Professor an der ETH Zürich tätigen Emil Moersch) einen exponentiellen Aufschwung. Der Eisenbeton eroberte alle Bereiche des Bauwesens, von Abwasserrohren und Brücken bis zu innerstädtischen Repräsentationsbauten. In Paris entstanden unzählige Wohnhäuser in Bauweise Hennebique mit einem Eisenbetonskelett und vorgestellter Werksteinfassade, in Deutschland vor allem auch zahlreiche Ingenieurbauwerke und Brücken, aber auch Hochbauten wie die Anatomie in München (1907). Ikonischen Rang bei der Verwendung von Sichtbeton erlangten schliesslich zwei berühmte Bauten in Breslau (beide noch erhalten), die Markthalle von Plüddemann und Küster (1908) und die Jahrhunderthalle von Max Berg, die damals weltgrösste «Kuppel» (1913). Damit standen am Vorabend des Ersten Weltkrieges alle Konstruktionsmaterialien bereit, die das Bauen im 20. Jahrhundert massgeblich beeinflussen sollten.