

KUNSTCHRONIK

MONATSSCHRIFT FÜR KUNSTWISSENSCHAFT
MUSEUMSWESEN UND DENKMALPFLEGE

MITTEILUNGSBLATT DES VERBANDES DEUTSCHER KUNSTHISTORIKER E. V.
HERAUSGEGEBEN VOM ZENTRALINSTITUT FÜR KUNSTGESCHICHTE IN MÜNCHEN
VERLAG HANS CARL, NORNBERG

30. Jahrgang

August 1977

Heft 8

DER STATISCHE ZUSTAND DER FLORENTINER DOMKUPPEL

Die Kuppel von S. Maria del Fiore, d. h. die Einwölbung, wurde im August 1436 vollendet. Die Arbeiten hatten 1420 begonnen und wurden ohne Unterbrechung bis zum Abschluß fortgeführt. Trotz der großen Höhe des Gewölbes von ca. 39 m bei einer Stärke von 2,20 m dürfen wir annehmen, daß der Arbeitsverlauf während dieser 16 Jahre ein regelmäßiges und einheitliches Sichabsetzen des Mauerwerks erlaubte — sowohl in der unteren Zone aus Haustein wie in den darüber liegenden, bis zur Laterne reichenden Zonen aus Backstein und Ziegelplatten, in denen man den durchgängig verwendeten Kalkmörtel in einer besonders fetten Zubereitung antrifft. Diese zunächst recht dünn aufgetragenen Mörtelschichten zwischen den Ziegeln nehmen in den oberen Zonen an Stärke zu.

Die Kuppelschale ruht — vermittelt des achtseitigen Tambours von ca. 13 m Höhe bei einer (von den acht Rundfenstern durchbrochenen) Mauerstärke von ca. 4 m — zu je vier Seiten direkt auf den kolossalen Pfeilern bzw. auf den von ihnen getragenen Bögen, die völlig aus dem einheimischen sandhaltigen Kalkstein (*pietra forte*) und Sandstein (*macigno*) errichtet sind. Dieser ganze Unterbau ist bis zum Ansatz der Wölbung vom Straßenniveau aus ca. 59 m hoch und weist keinerlei nennenswerte Schädigungen auf, es sei denn am Südwestpfeiler, den ein recht gut sichtbarer Riß fast bis zu den Fundamenten durchläuft. Wir wissen nichts weder über die Tiefe und Ausmaße noch über die technische Ausführung dieser Fundamente, deren Einfüllung um 1380 in Angriff genommen wurde, nachdem man im Jahr zuvor am Nordwestpfeiler gegen Visdomini mit den Ausschachtungen begonnen hatte. 1384 grub man schon die Fundamente für die Kapellen zwischen den Pfeilern, besonders für diejenigen zwischen dem Nordwest- und Nordostpfeiler.

Alles in allem wurden zwischen 1380 und 1418 — d. h. in 38 Jahren — das ganze Pfeilersystem und der darüberliegende Tambour bis zum Kuppelansatz hochgeführt. Einige Nachrichten über diesen Bauabschnitt geben

uns die schon von Guasti veröffentlichten Urkunden. Für Pfeiler und Tambour lassen sich annäherungsweise die folgenden Meßwerte ermitteln: *Grundfläche eines Pfeilers* in Fußbodenhöhe: 200 m²; *Pfeilervolumen*: 7200 m³; *Pfeilergewicht*: 20 160 t; *Auflagegewicht des jeweiligen Tambourabschnitts* mit den darunterliegenden Bögen auf jedem der vier Pfeiler: 10 000 t; *Summe* des die Fundamente eines jeden Pfeilers auf seiner Grundfläche belastenden Gewichts: 30 160 t, wobei das Gewicht der Kuppel noch nicht hinzugerechnet ist, das auf 900 t pro Oktagonseite geschätzt werden kann. Die Belastung der Pfeilerfundamente (ca. 12 kg/cm²) scheint nicht übermäßig, solange sich praktisch keine beachtenswerten Störungen des Pfeilerkomplexes ausmachen lassen. Sollten die einzelnen Fundamente miteinander verbunden sein, würde sich die Auflast auf dem Boden auf schätzungsweise 4—5 kg/cm² verringern, immer noch beachtlich, aber nicht ungewöhnlich.

Die langsame Errichtung des Kuppelbaus und seiner Substruktionen hätte genügend Zeit gelassen, sogleich Ausbesserungen vorzunehmen, wo Mängel in Erscheinung traten, wie dies z. B. geschah, als die Wölbung des ersten Langhausjochs Schäden aufwies. Der Zustand der Kuppel und ihrer Träger zum Zeitpunkt des Wölbeschlusses war ausgezeichnet, auch schon deshalb, weil man voraussetzen darf, daß die bei einer so gewaltigen Baumasse unvermeidlichen Senkungen schon während der Arbeiten ohne Schwierigkeit ausgeglichen werden konnten. Doch sollte nicht viel Zeit vergehen, bis sich erste Risse an den Kappen der Kuppel zeigten. Wenn man bloß bedenkt, daß jede dieser acht Wölbflächen (*mantelli*) am Ansatz 17 m breit ist, daß der Umfang des Oktogons in dieser Zone somit 136 m beträgt, versteht man — aufgrund unseres heutigen Wissens —, daß sich die thermische Dehnung des Mauerwerks an irgendeiner Stelle bemerkbar machen mußte. Und bereits seit dem Ende des Quattrocento und dem frühen Cinquecento erkannte man, daß die Risse an mehreren Punkten aufgetreten waren.

Die Kuppel war bekanntlich ohne Lehrgerüst konstruiert worden aufgrund des Fischgrätensystems persischer Herkunft. Das Mauerwerk der Wölbung zwischen den aus hochkantigen Quadern gefügten Rippen bot jedoch gerade in den schräg von links nach rechts abfallenden Linien eine bevorzugte Richtung für eventuelle Schäden. Und diese sind auch dementsprechend aufgetreten. Eine andere relativ kritische Zone der thermischer Spannung ausgesetzten Wölbung ist die der „occhi“ — d. h. jener Öffnungen, die man aus der Wölbfläche aussparte, „per fare el musaico“. Hier, wo in den Ziegelverband große Steinblöcke eingefügt sind, aus denen man jeweils das Augenfenster bzw. den schmalen Durchlaß (*passo d'uomo*) herausgearbeitet hat, ist die Entstehung von Schäden begünstigt worden, die, wie wir heute wissen, vor allem durch thermische Dehnungen verursacht wurden.

Aber schon im Cinquecento befürchtete man das Schlimmste, weil man offensichtlich argwöhnte, daß diese Schäden auf statischen Unzulänglichkeiten beruhten und folglich auf ein Nachgeben und Ausweichen des Stützenbaus zurückgingen. An diesem aber zeigten sich weder Rißbildung noch Lotabweichungen, genausowenig wie heute. Die einzigen feinen Risse am Tambour bleiben an der Oberfläche. Wie haben sich diese Risse an der Oberfläche der Kuppelwölbung über die Jahrhunderte hinweg herausgebildet? Man hat inzwischen festgestellt, daß sie bei planimetrischer Projektion der Gewölbefelder jeweils in der Mittelzone auftreten und vertikal oder beinahe vertikal verlaufen. Ausmaß und Verlauf dieser Risse in älterer Zeit können wir nur aufgrund der Eingriffe beurteilen, durch die man sie zu schließen versuchte. Zu den frühesten dieser Maßnahmen zählt ein Ausstreichen mit Kalkmörtel in Höhe der äußeren Galerie des Baccio d'Agnolo; dies scheint vor deren Anbringung, also zu Beginn des Cinquecento erfolgt zu sein. Viele Ausflickungen sind an der Nord- und Südwestseite, wo Gherardo Silvani um die Mitte des 17. Jahrhunderts quer zu den Rissen und auf der Außenseite der tragenden Kuppel große Steine zur Verklammerung einfügte. Die kürzeren von diesen haben sich meist wieder aus dem Verband gelöst, während die längeren und dadurch fester in das Mauerwerk eingefügten Blöcke glatt querdurch gebrochen sind. Als Nelli 1694 seine Schwalbenschwanzverbindungen (*codette*) aus dem dunkelbläulich streifigen Bardiglio-Marmor anbrachte, die sich dann zwischen den Winkeln zerspalteten, hätte er auch bemerken können, wie die von Silvani mit Quadern geflickten Risse arbeiteten. Es würde zu weit führen, hier über alle Maßnahmen und die verschiedenen Arten von Rissen zu berichten. Erwähnt sei nur, daß auch im Bereich von zwei Rundfenstern des Tambours mit der Zeit Risse klafften, von denen einer vor ungefähr 40 Jahren geflickt wurde und sich bis heute nicht wieder geöffnet hat. Eine erste Ausmessung der Schäden wurde von dem Geometer Padelli 1940 vorgenommen und von der Domopera in einer verdienstvollen Druckschrift veröffentlicht. Neuerdings hat das Ministerium für die materiellen Kulturgüter eine Kommission ernannt, die den baulichen Zustand der Kuppel und des Stützenbaus untersuchen soll, um erst einmal die Stabilität und die Bedingungen für eine fortschreitende Rißbildung zu beurteilen und, wenn nötig, in einer zweiten Phase Sicherungsmaßnahmen zu entwickeln.

Sicher hat man anfangs das Auftreten von feinen Rissen am Kuppelunterbau und an der Kuppel selbst als etwas Natürliches und völlig Normales angesehen. Doch als diese „Haarrisse“ immer deutlicher und länger wurden, ist dies, wie zu zeigen war, nicht unbeachtet geblieben. Nur waren die Gegenmaßnahmen verfehlt, da sie von einer irrigen Beurteilung der Sachlage ausgingen, und so sind die Warnrufe nie verstummt. Aber solange man nicht, wie erst seit neuerer Zeit, sicher sein konnte, daß diese Risse nicht von konstruktiven Mängeln am Unterbau oder dem Nachgeben

des Untergrundes abhingen, vielmehr eine natürliche Auswirkung der thermischen Dehnung sind, ist das Problem nicht richtig verstanden worden. Unter dem Eindruck von Messungen der durch den Autoverkehr hervorgerufenen Bodenvibration hat man vor kurzem daran gedacht, daß dieser die Stabilität der Kuppel beeinträchtigen könnte. Aber diese Messungen wurden mit Geräten durchgeführt, die für jede Art von Störungen extrem empfindlich sind, und dem ersten durch diese Untersuchungen ausgelösten Alarm, der durch die Presse ging, folgten dann keine Fakten und Bestätigungen, da sich herausstellte, daß diese Meßgeräte selbst das Niesen der sie bedienenden Personen registrierten. Andererseits gibt es Verkehr nicht nur in Florenz zu Füßen der Domkuppel, und folglich handelt es sich allenfalls um ein allgemeines Problem, das auch in unserem Fall aufgrund der für hohe Gebäude generell gültigen statischen Gegebenheiten angegangen werden müßte. Man kann noch heute wiederholen, was der Kanoniker Moreni 1812 schrieb: „Die Stabilität des Baus läßt die Bewunderung für Filippo mit jedem Tag noch größer werden. Er verstand es, dieses gewaltige Werk nach seiner Idee zu erschaffen, indem er mit höchster Sorgfalt alle Teile entwarf und sie zusammenfügte zu einem Grade von Festigkeit, der allen Naturgewalten trotzt; und er sicherte die Dauerhaftigkeit gerade durch das, worin andere die Gefahr des Einsturzes witterten. In späteren Jahrhunderten, als mancher Riß bzw. Sprung an der Kuppel auftrat, wie es normal ist und bei allen großen Gebäuden geschieht, hat sich ein solches Geschrei erhoben, daß man von heute auf morgen ihren Einsturz befürchtete; und solche törichten Gerüchte brachten es dahin, daß man schließlich ein eisernes Band herstellte, um die Kuppel damit zu umgürten — eine Maßnahme, die nur Gelächter und Mitleid verdient, als ob ein solcher Eisenring sie aufrecht halten könnte, wenn sie wirklich einzustürzen drohte...“

Wie man sieht, gab es alarmierende Meldungen, und das Eisenband wurde zwar nicht angebracht, aber immerhin angefertigt. Bei allen solchen Anlässen und wenn es um so bedeutende Bauwerke geht, regen sich stets „salvatori“. Dabei wird jedoch bei Schutz- und Sicherungsmaßnahmen dieser Art fast immer eine wesentliche Voraussetzung außer Acht gelassen: die Untersuchung der historischen Gegebenheiten und die genaue Kenntnis des Bauwerks aufgrund von Messungen, Bauaufnahmen und naturwissenschaftlichen Analysen der verwendeten Materialien. Die Vorbereitung entsprechender Gutachten ist die Aufgabe der jetzt vom Ministerium eingesetzten Kommission. Da keine Einsturzgefahr besteht, die zu Sofortmaßnahmen zwingt, sollte man sich bei der Durchführung dieser Aufgabe die nötige Zeit lassen, damit sich die Kommission einerseits ein Konzept für ihr Vorgehen erarbeiten, andererseits die erforderlichen Instrumente entwickeln kann, die eine bessere Erfassung der Bewegungen und der durch sie ausgelösten Schäden an der Wölbung und an den Kuppelträgern gewährleisten —, während man bisher, sozusagen, den Karren vor die Ochsen

gespannt hat, indem man Maßnahmen ergriff, ohne den Bau zuvor überhaupt untersucht zu haben. Ein Ergebnis dieser Untersuchungen ist nicht in nächster Zukunft zu erwarten, da für eine zuverlässige Aufzeichnung dieser ungemein langsamen Bewegungen des Mauerwerks Zeiträume von Jahrzehnten berücksichtigt werden müssen. Daneben gilt es Vorsorge zu treffen, daß sich jene überwiegend thermisch bedingten Schäden nicht durch Nebenwirkungen verschlimmern, etwa durch Verschiebungen im Mauerwerk, durch Wassereinbruch oder durch Absplitterung von Fragmenten ins Innere der Spalten, die verhindern, daß sich beim Zusammenziehen der Risse die Ränder völlig schließen. Letzteres ist die größte Gefahr, mit der zu rechnen ist. Hier ist vielleicht die einzige Möglichkeit für ein Eingreifen gegeben: da man bis heute nicht den durch Wärme verursachten Wechsel von Sichöffnen und Sichschließen der Hauptrisse in der Kuppel unterbinden kann, scheint der einzig gangbare Weg, die Risse selbst auf eine Art zu regulieren, die ihnen diese Bewegungsfreiheit läßt. Es wäre jedoch verfrüht, heute schon darüber zu sprechen und eine Lösung für diese äußerst schwierige Maßnahme anzubieten.

Auch an der Kuppel des Pantheon haben sich thermische Fugen herausgebildet; dennoch steht ihre Stabilität außer Frage. Bei S. Maria del Fiore gibt es acht solcher thermischer Fugen, von denen jedoch nur drei besonders ins Gewicht fallen. Man sollte sie vielleicht auf zwei reduzieren, denen man dann die unumgängliche Reaktion auf die thermischen Spannungen überläßt. Aber wie beim Pantheon so kann man auch beim Florentiner Dom versichern, daß das Gesamtgefüge von Kuppelunterbau und -wölbung intakt und ungefährdet ist und daß der Bau auf etwaige Vibrationen, die der Verkehr hervorruft, normal reagiert und keineswegs dadurch in seiner Stabilität beeinträchtigt wird.

Eine Sonderaufgabe, der man sich unmittelbar zuzuwenden haben wird, wenn einmal die notwendigen Gerüste im Kuppelraum errichtet sind (was an sich schon zumindest ein finanzielles Problem darstellt), liegt in der Sicherung der Zuccari-Fresken, die mehr wegen ihres Anbringungsorts als aus Altersgründen in verschiedener Hinsicht konservatorischer Hilfe bedürfen. Es wird zu prüfen sein, ob der Putzgrund überwiegend haftet oder sich weitgehend gelöst hat. Sollte es daraufhin nötig werden, Teile des Freskos vorübergehend abzulösen, dann werden wir an diesen Stellen die Kuppelinnenhaut in dem Zustand sehen können, in dem sie Brunelleschi und Ghiberti zurückgelassen haben. Das wird höchst interessant und aufschlußreich sein, da es uns eine sicherere Beurteilung der bisher zur Konstruktion der Kuppel vorgebrachten Hypothesen ermöglichen wird, u. a. auch jener, die der Verfasser dieses Beitrages aufgestellt hat.

Piero Sanpaolesi