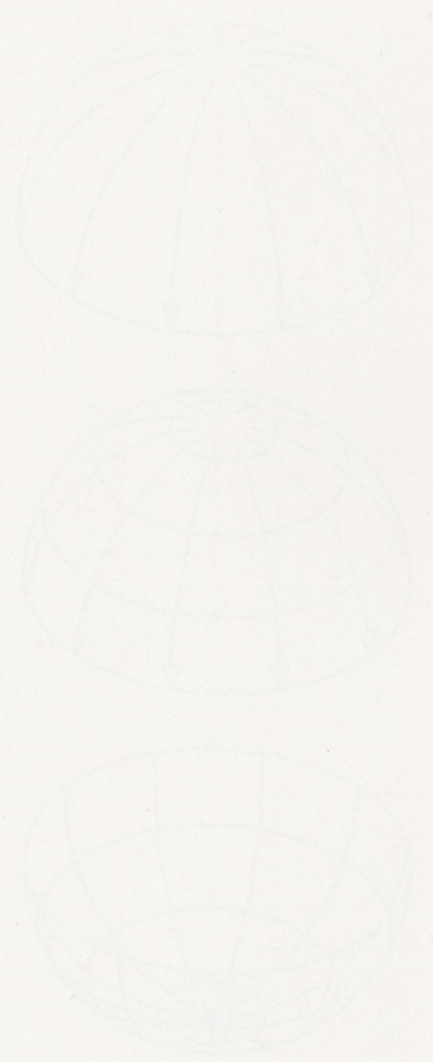


FRANZ KRAUSS
CHRISTOF THOENES

BRAMANTES ENTWURF FÜR DIE KUPPEL VON ST. PETER

Curt Siegel zum achtzigsten Geburtstag



I EINE STATISCHE UNTERSUCHUNG ZUR AUSFÜHRBARKEIT

(FRANZ KRAUSS)

Den Plänen Bramantes für die Kuppel von S. Pietro lag die Idee zugrunde, die Maße der Pantheon-Kuppel auf die Peterskuppel zu übertragen. An die Stelle der Umfassungswände des Pantheon, auf denen die Kuppel rundum aufliegt, treten jedoch vier Pfeiler mit dazwischengespannten Bögen. Zur Last der Kuppel kommt die Last der Laterne, die mit der Halbkugelform des Bramante-Entwurfs in Widerspruch steht; die hohe Einzellast ruft nach einem spitzbogenförmigen Querschnitt der Kuppel wie z. B. dem von Brunelleschis Kuppel des Doms zu Florenz oder dem der Peterskuppel, wie sie von della Porta schließlich ausgeführt wurde.

So erhebt sich die Frage, ob der Entwurf Bramantes ausführbar gewesen wäre und wenn, mit welchen zusätzlichen Maßnahmen wie Ringankern, Hohlräumen oder abgestuften Materialdichten.

Der im folgenden beschriebenen Untersuchung wurden die letzten Pläne Bramantes – der sog. Ausführungsentwurf – in Serlios Holzschnitten zugrunde gelegt. Als Unterlagen dienten die Zeichnungen nach diesen Schnitten von Katharina Thiersch (Lit. 1).

Die Lasten einer Kuppel werden von Druckkräften in Richtung der Meridiane zu den Fußpunkten abgetragen (Bild 1). Die Stützlinie, der diese Druckkräfte folgen, ist eine Umkehrung der Hängelinie, die von einer Kette oder einem Seil unter der gleichen Last gebildet würde. Die Stützlinie für eine bestimmte Lastverteilung kann also leicht mit Hilfe einer Kette gefunden werden (Lit. 2).

In einer Kuppel wirken nicht nur bogenartige Druckkräfte in Richtung der Meridiane sondern auch Ringkräfte – d. h. Kräfte in Richtung der horizontalen Breitenkreise. Sie können als Druck- oder als Zugkräfte auftreten und korrigierend wirken, wenn die Stützlinien der bogenartigen Druckkräfte (Meridiankräfte) nicht innerhalb der Kuppeldicke verlaufen (Bild 2). Dies ist leicht vorstellbar anhand eines räumlichen Kettenmodells, indem horizontal ringförmige Ketten oder auch Druckstäbe die Hängeform der meridianförmigen Ketten verändern können. Hierbei ist zu bedenken, daß im hängenden Kettenmodell alle Druck-

kräfte zu Zugkräften werden und umgekehrt; dies gilt gleichermaßen für Meridian- und Ringkräfte (Bild 3).

In jeder Richtung einer steinernen Kuppel – in Richtung der Meridiane wie in der der Breitenkreise – können große Druckkräfte von den Steinen aufgenommen werden. Den Zugkräften sind jedoch in alten Steinkuppeln enge Grenzen gesetzt; sie werden über die Steinfugen nicht übertragen (oder nicht mit der erforderlichen Sicherheit).

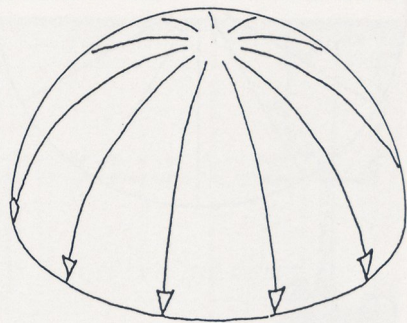


Bild 1

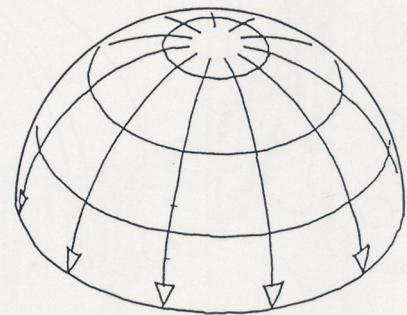


Bild 2

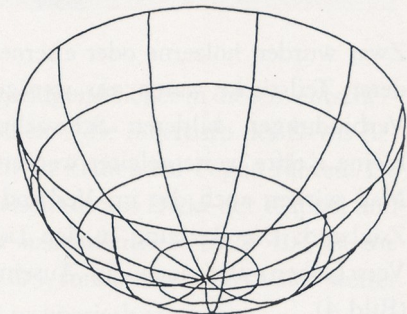


Bild 3

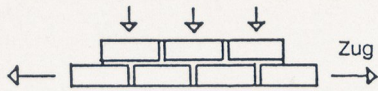


Bild 4

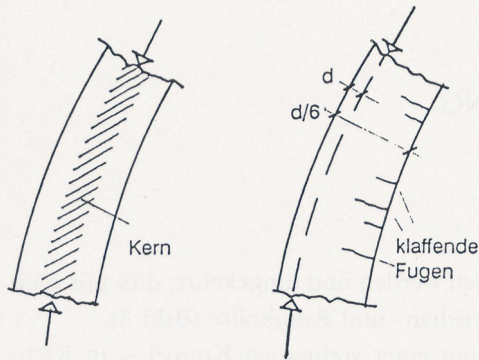


Bild 5

Bild 6

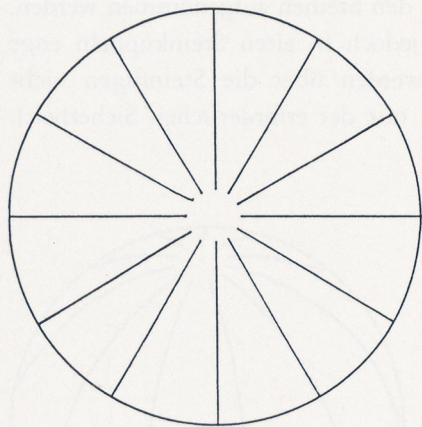


Bild 7

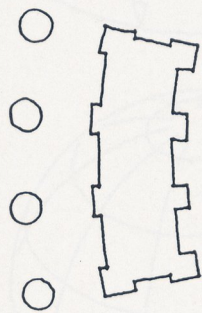


Bild 8



Bild 9

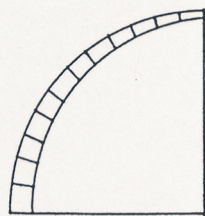


Bild 10

Zwar wurden hölzerne oder eiserne Ringe eingebaut, aber deren Teilstücke waren nur wenige Meter lang, und ihre Verbindungen bildeten Schwachpunkte, über die nur kleine Kräfte weitergeleitet werden konnten. In geringem Maß wirken auch die im Verband gemauerten Steine als Zugband: Die Reibung in den Lagerfugen behindert ein Verschieben, also auch ein Auseinanderziehen der Steine (Bild 4).

Wegen der begrenzten Möglichkeiten, in den Breitenkreisen Zugkräfte aufzunehmen und mit ihrer Hilfe die Stützlinien der Bogenkräfte (Meridiankräfte) zu beeinflussen, ist es erforderlich, durch Verteilung der Lasten diese Stützlinien so zu führen, daß sie möglichst nahe der Mitte der Kuppeldicke verlaufen. Verläuft eine Stützlinie im inneren Drittel der Dicke, dem sogenannten „Kern“, so treten über die ganze Dicke nur Druckspannungen auf (Bild 5). Nähert sie sich stärker einem Rand, so entsteht auf dem entgegengesetzten Rand eine „klaffende Fuge“. Die Stützlinie sollte sich einem Rand nicht mehr als auf $d/6$, d. h. ein Sechstel der Dicke, nähern, weil sonst die „klaffende Fuge“ über die Hälfte der Dicke anwächst (Bild 6).

Die Frage war also, ob sich eine solche Stützlinie finden läßt. Die Untersuchung wurde an einem Querschnitt der Kuppel im Maßstab 1:50 vorgenommen. Mit leichten Ketten und angehängten Gewichten wurden für verschiedene Lastverteilungen die jeweiligen Stützlinien gefunden.

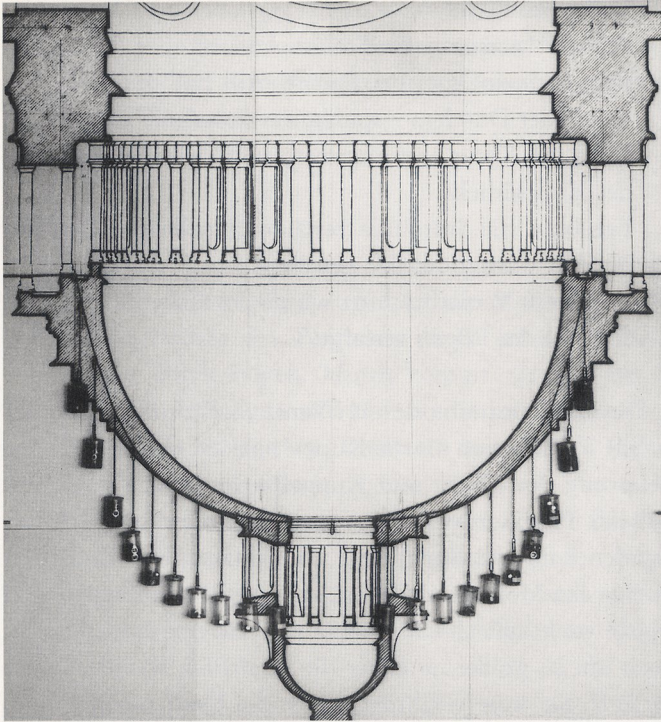
Wie schon Poleni erkannte (Lit. 3), dürfen der Lastermittlung für eine Kuppel nicht parallele Streifen zugrunde gelegt werden – sie ließen sich ja nicht zu einer Kuppel zusammensetzen – sondern die untersuchten Kuppelsegmente müssen im Grundriß Kreissegmente bilden (Bild 7 und 8). Jeweils zwei gegenüberliegende Kuppelsegmente bilden ein bogenartiges Segmentenpaar. Für die Untersuchung wurden die Kuppelsegmente in jeweils zwölf winkelgleiche Teilstücke unterteilt (Bild 9), die Volumina dieser Teilstücke errechnet und die entsprechenden Lasten in ihren Schwerlinien an leichte Ketten vor dem Kuppel-Querschnitt gehängt (Bild 11–14).

Die volle Last von Kuppel und Laterne, beide aus gleichem Material und ohne Hohlräume, führten zu einer Stützlinie weit außerhalb der Kuppeldicke (Versuch 1, Bild 11). In einer Reihe weiterer Versuche wurde die Seillinie Schritt um Schritt verändert, bis schließlich eine Kurve gefunden wurde, die ohne Korrektur durch Ringkräfte überall so innerhalb der Kuppeldicke verläuft, daß sie dem Rand nicht zu nahe kommt (nicht näher als $d/6$).

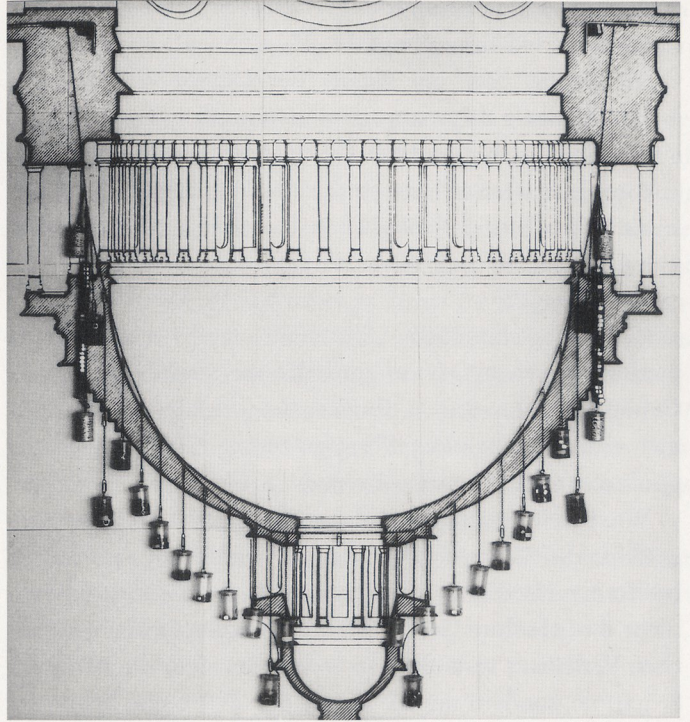
Um dies zu erreichen, wurden folgende Werte variiert:

1. Das Gewicht der Laterne.
Durch schlankere Konstruktion, Verwendung leichterer Steine und durch Anordnung von Hohlräumen kann das Gewicht verringert werden.
2. Unterschiedliche Gewichte in den verschiedenen Bereichen der Kuppel.

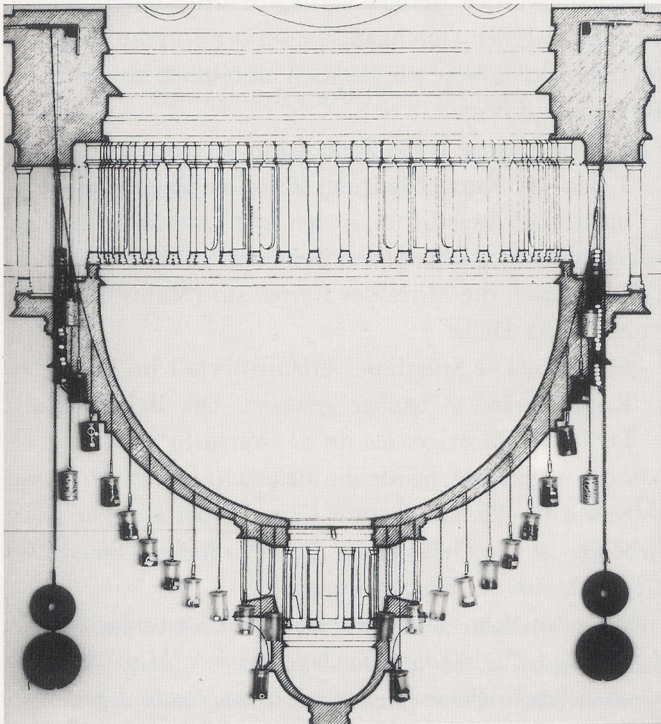
Wie schon bei der Kuppel des Pantheon können in den verschiedenen Höhen verschiedene Steinarten mit unterschiedlichen Dichten (spezifischen Gewichten) verwendet werden. Zudem ist die Anordnung von Hohlräumen möglich (Lit. 4, 5).



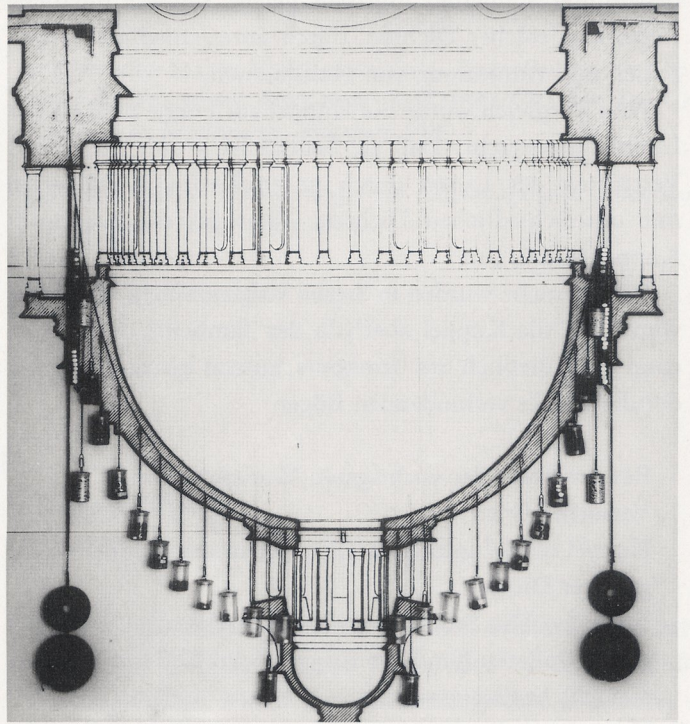
11. 1. Versuchsschritt



12. 9. Versuchsschritt



13. 31. Versuchsschritt



14. 36. Versuchsschritt

3. Die Durchgangspunkte der Stützlinie durch den Fuß des Tambours können in unterschiedlicher Lage angenommen werden. Die elastische Verformung des Materials führt dazu, daß sich von allein die günstigste der möglichen Lagen einspielt – salopp formuliert durch die „Schlauheit des Materials“. Es wurden hier jedoch nur solche Durchgangspunkte durch die Tambour-Fußlinie

untersucht, – d. h. als genügend sicher in diesem entscheidenden Bereich angesehen – die innerhalb des Kerns liegen, und deshalb nicht zu klaffenden Fugen führen. Da sich hier der Horizontalschnitt aus Dicke der Kuppel und vorgelagerten Pfeilern zusammensetzt (Bild 10), ist die Weite des Kerns nicht $d/3$, sondern verschiebt sich weiter nach außen. Sie wurde rechnerisch ermittelt.

4. Auch die Durchgangspunkte der Stützlinie durch den höchsten Horizontalkreis der Kuppel – also unmittelbar am Oculus bzw. am Ansatz der Laterne – können in verschiedener Lage angenommen werden, entsprechend den Durchgangspunkten durch den Tambour-Fußkreis. Auch hier wird sich durch die „Schlauheit des Materials“ die günstigste der möglichen Lagen von selbst einspielen.

(Die Bezeichnungen „Stützlinie“ und „Durchgangspunkte“ beziehen sich auf einen Kuppelquerschnitt. In der Gesamtkuppel – also 3-dimensional – bilden die Stützlinien eine etwa halbkugelförmige Fläche, die Durchgangspunkte darin horizontale Kreise.)

Wie bereits erwähnt, wird die Stützlinie – bzw. ihr Spiegelbild, die Kettenlinie – von der Verteilung der Lasten bestimmt. Hierbei ist die Relation der Lasten formgebend, nicht ihre absolute Größe. Werden also alle Lasten im gleichen Verhältnis verändert, so ändert das nicht die Form der Stützlinie, sondern nur die Größe der Kräfte und Spannungen. Es wurden deshalb den Versuchen nicht die Dichten bestimmter Steinarten zugrunde gelegt, sondern mögliche Relationen solcher Dichten, durch unterschiedliche Materialien und Anordnung von Hohlräumen.

Zum Vergleich wurde die Kuppel auch ohne die Last der Laterne untersucht. Daß sie baubar ist – mit geeigneter Verteilung der Lasten durch unterschiedliche Steinarten mit unterschiedlichen Dichten – beweist die Pantheon-Kuppel (Lit. 4, 5).

Die Versuche wurden in Stufen vorgenommen: Zunächst wurde nur die Kuppel oberhalb des Tambours untersucht, dann einschließlich des Tambours, zuletzt bis zum Scheitel der die Pfeiler verbindenden Bögen.

Beschreibung der wichtigsten Versuchsschritte:

1. Versuchsschritt:

Kuppel ohne Laterne. In allen Teilen der Kuppel Steine gleicher Dichte.

Ergebnis: Die Stützlinie verläuft stark exzentrisch- bis an den äußeren Rand der Kuppeldicke. Die Kuppel wäre so nicht baubar gewesen.

9. Versuchsschritt:

Für die Laterne $\frac{2}{3}$ der Steindichte: In allen Teilen der Kuppel Steine gleicher Dichte. Am Fuß des Tambours wurde der Durchgangspunkt der Stützlinie in der Mitte des Kerns angenommen, am Oculus im oberen Drittel der Kuppeldicke.

Ergebnis: Die Stützlinie weicht stark von der Kuppelform nach innen ab. Die Kuppel wäre so nicht baubar gewesen.

31. Versuchsschritt:

Für die Laterne halbe Steindichte. In allen Teilen der Kuppel Steine gleicher Dichte. Am Fuß des Tambours wurde der Durchgangspunkt der Stützlinie am äußeren Rand des Kerns angenommen, im Oculus in der Mitte der Kuppeldicke.

Ergebnis: die Stützlinie verläuft überall im Kern. Die Kuppel wäre so baubar gewesen.

In diesem Versuchsschritt wurde die Stützlinie bis zum Scheitel der Bögen verfolgt.

Die Lastanordnung des 31. Versuchsschrittes ergab zwar stabile Verhältnisse für die Kuppel, jedoch eine ungünstige Belastung der Bögen und Kuppelpfeiler: Wenn schon am Fuß des Tambours der Durchgangspunkt der Stützlinie am äußeren Rand des Kerns liegt, so läuft die Kraft im Pfeiler infolge der Horizontalschübe aus Kuppel und Bögen noch weiter nach außen. Die Standfestigkeit der Pfeiler ist jedoch um so größer, je näher die Kraftlinie an ihrer Mitte verläuft. Sie wäre gefährdet, wenn die Kraft im Pfeilerfuß näher als $\frac{1}{6}$ der Pfeilerdicke an den Rand geraten würde.

Deshalb wurden weitere Versuchsschritte unternommen mit dem Ziel, den Durchgangspunkt der Stützlinie am Fuß des Tambours so weit wie möglich nach innen zu verlagern.

36. Versuchsschritt:

Für die Laterne halbe Steindichte. In den vier obersten Teilen der Kuppel (aus der Zwölftel-Teilung der Segmente) $\frac{2}{3}$ Steindichte, in den acht unteren Teilen volle Steindichte. Am Fuße des Tambours verläuft die Stützlinie durch die Mitte des Kerns, am Oculus durch die Mitte der Dicke.

Ergebnis: Die Stützlinie verläuft überall im Kern. Die Kuppel wäre so baubar gewesen. Die Belastung der Pfeiler ist günstiger als im 31. Versuchsschritt.

Nicht untersucht wurde die Belastung durch Wind. Sie ist gering im Verhältnis zum Gewicht der Kuppel. Weit wichtiger ist die Gefährdung durch Erdbeben. Sie wächst mit der Masse der Konstruktion.

Eine zusätzliche Sicherheit ergibt sich, wenn horizontale, ringförmige Zugbänder eingelegt werden. Hinzu kommt die oben beschriebene Wirkung der im Verband gemauerten Steine als Zugband. Diese Einflüsse wurden nicht untersucht.

Die zusätzliche Belastung durch Erdbeben und die zusätzliche Sicherheit durch Ringkräfte (Zugbänder, Reibung) heben sich teilweise auf.

Die Lasten aus der Kuppel führen zu Verformungen der Bögen und Pfeiler. Damit verändert sich die Basis der Kuppel, dies wirkt zurück auf das Tragverhalten der Kuppel. Diese Wechselwirkung zwischen Kuppel, Bögen und Pfei-

lern ist Thema einer geplanten weiteren Untersuchung mit Hilfe eines 3-dimensionalen Kettenmodells. Es soll Aufschluß über die Standfestigkeit der Gesamtkonstruktion bis in die Fundamente ergeben.

Zusammenfassung:

Bramantes Entwurf sah eine Nachbildung der Pantheon-Kuppel in gleicher Größe vor. An die Stelle der dicken Umfassungswände des Pantheon treten jedoch 4 Pfeiler, verbunden durch Bögen. Hinzu kommt die Last der Laterne. Es war bislang umstritten, ob die von Bramante geplante Kuppel auf den von Bramante begonnenen Pfeilern ausführbar gewesen wäre.

Die Untersuchung wurde mit leichten Ketten durchgeführt. Die Kettenlinie ist eine Umkehrung der Bogenstützlinie unter gleicher Last. Die ersten Versuche mit Annahme gleicher Materialdichte für alle Teile der Kuppel

und der Laterne ergaben starke Abweichungen der Stützlinie von der geplanten Halbkugel-Form. Die Kuppel wäre so nicht baubar gewesen.

In weiteren Versuchsschritten wurden das Gewicht der Laterne und die Durchgangspunkte der Stützlinie am Fuß des Tambours sowie am Oculus variiert. Eine Anordnung mit leichterem Material und Hohlräumen für die Laterne, jedoch gleichbleibendem Material für die Kuppel, ergab eine Stützlinie, die überall im Kern der Kuppeldicke verläuft. Diese Konstruktion wäre ausführbar gewesen, hätte jedoch die Pfeiler weit außen, d. h. ungünstig, belastet.

Weitere Versuchsschritte mit geringerer Steindichte in den oberen Teilen der Kuppel ergaben eine baubare Konstruktion der Kuppel und weiter innen liegende – also günstigere – Krafteinleitung in die Pfeiler.

Für die Mitarbeit an den Versuchen danke ich Herrn Andreas Decker, für die photographischen Arbeiten Herrn Ralph-Michael Nissing.

Literatur

1. FRANZ GRAF WOLFF METTERNICH, CHRISTOF THOENES: *Die frühen St.-Peter-Entwürfe 1505–1514*. Tübingen 1987.
2. RAINER GRAEFE: *Zur Formgebung von Bögen und Gewölben*. In: *Architectura*. München u. Berlin 1986.
3. GIOVANNI POLENI: *Memorie storiche della gran cupola del Tempio Vaticano*, 1748.
4. REINHOLD MACK: *Modellstudien zum Tragverhalten der Kuppel des Pantheons*. Erschienen in: RAINER GRAEFE: *Zur Geschichte des Konstruierens*. Stuttgart 1989.
5. DIERK THODE: *Untersuchungen zur Lastabtragung in spätantiken Kuppelbauten*. Darmstadt 1975.

II

HISTORISCHER KOMMENTAR

(CHRISTOF THOENES)

Bramantes Kuppel über dem Pfeilergeviert von St. Peter – „das Panteon auf den Gewölben des Friedenstempels“¹ – hat die Kunstgeschichte immer wieder zu tiefsinnigen Deutungen inspiriert. Als Ausdruck der „geistigen Kompliziertheit eines Zeitalters, das ja selbst zwei ganz verschiedene Weltanschauungen, die christliche und die heid-

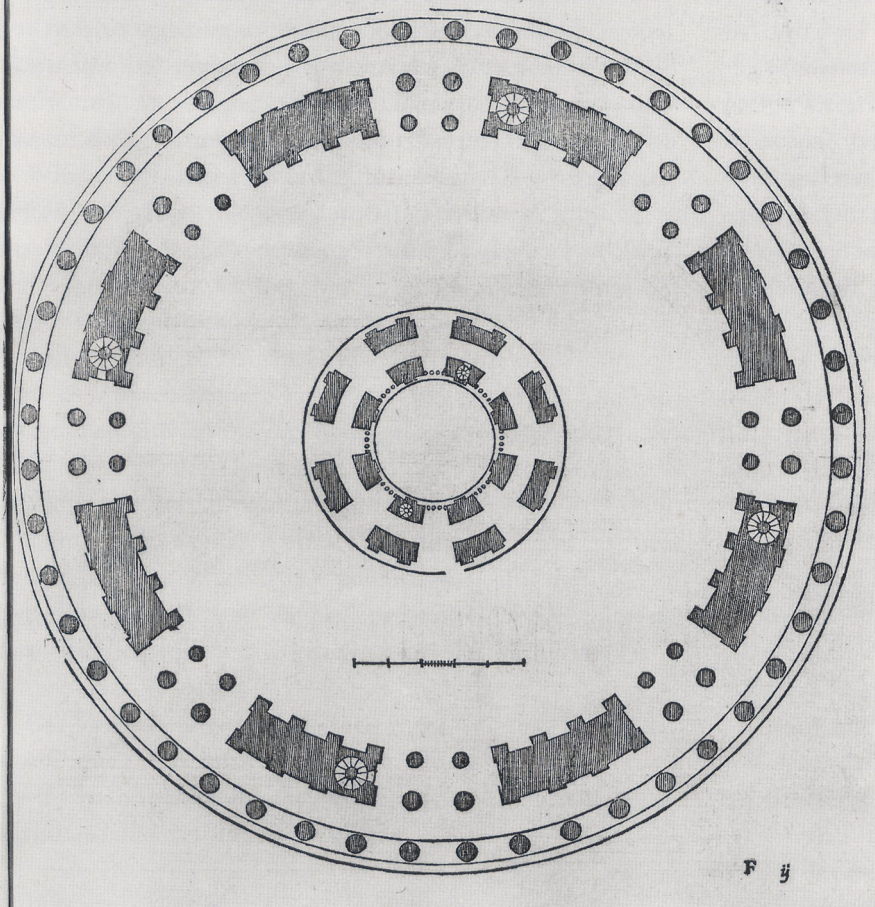
nische, aufeinander geschichtet hatte“, verstand sie Hans Rose, 1926²; Peter Murray, 1967, kam zu dem Schluß: „The symbolism would thus be basically that of a dome – the symbol of heaven – based on the martyrs [Pantheon = S. Maria ad Martyres], and standing on a substructure for-

1 „Friedenstempel“: alte Benennung der Maxentius-Basilika. Das berühmte Diktum wird zitiert (auf deutsch, ohne Quellennachweis) von R. REDTENBACHER, Beiträge zur Baugeschichte von St. Peter in Rom, in: *Zeitschrift für bildende Kunst*, 9, 1874, 304, und H. v. GEYMÜLLER, *Les projets primitifs pour la Basilique de Saint-Pierre de Rome*, Paris–Wien 1875, 12; vgl. I. CAMPBELL, *The New St. Peter's: Basi-*

lica or Temple?, in: *Oxford Art Journal*, 4, 1981, 3–8; F. GRAF WOLFF METTERNICH / CH. THOENES, *Die frühen St.-Peter-Entwürfe 1505–1514*, Tübingen 1987, 82 Anm. 135. Geymüller erklärt den Ausspruch für irrtümlich Michelangelo zugeschrieben. Vielleicht bezog er sich ursprünglich auf die Realisierung von Michelangelos Kuppel durch Della Porta: s. u., Anm. 4 u. 35.

2 H. ROSE, Kommentar, in: H. WÖLFFLIN, *Renaissance und Barock*, 4. Aufl. München 1926, 249f.

DA figura qui sotto dimostrata è la pianta de la tribuna, che andaua sopra i quattro archi, si come ho detto ne la passata charta: per la quale si puo comprendere che in tal caso Bramante fusse piu animoso che consideratiuo: percioche vna tanta massa, e di tanto peso vorria bonissimo fondamento a farla sicura, non che a farla sopra a quattro archi di tanta altezza, Et a confirmatione del mio detto, i pilastri gia fatti con i suoi archi, senza altro peso sopra, gia si risenteno, e sono crepati in alcuni luoghi: nondimeno perche la inuentione è bella Et ornata, Et è per dar gran luce a l'Architetto; io l'ho voluto mettere qui designata, e per non esser prolisso in narrare tutte le misure; io ne dirò alcune de le principali, ma il rimanente si potra trouare con i palmi piccioli, che sono qui sotto dentro de la pianta, che sono palmi cinquanta. la grossezza de le prime colonne di fuori è palmi cinque. la grossezza de le seconde piu interiori è palmi quattro. la grossezza de le terze colonne piu interiori è palmi tre e tre quarti. il netto de la tribuna dentro è palmi cento e ottanta otto. il diametro de la lanterna di mezzo è palmi trenta sei. il rimanente de le cose si potra comprendere, e misurare co i palmi piccioli.



15. Peterskuppel, Grundriß nach Bramante. Sebastiano Serlio, *Il terzo libro*, Venezia 1540, p. 39

med by the Pax Romana³. Eher beiläufig wurde behandelt, was die Zeitgenossen an Bramantes Idee vor allem faszinierte: das Problem ihrer Realisierung. War es möglich, diese Kuppel zu *bauen*? Würde die Neuzeit tatsächlich imstande sein, zwei technologische Großleistungen antiker Architektur aufeinander zu türmen, und sie derart zu überbieten? Diese Frage – die fast ein Jahrhundert lang unbeantwortet blieb⁴ – wird durch die vorstehende Untersu-

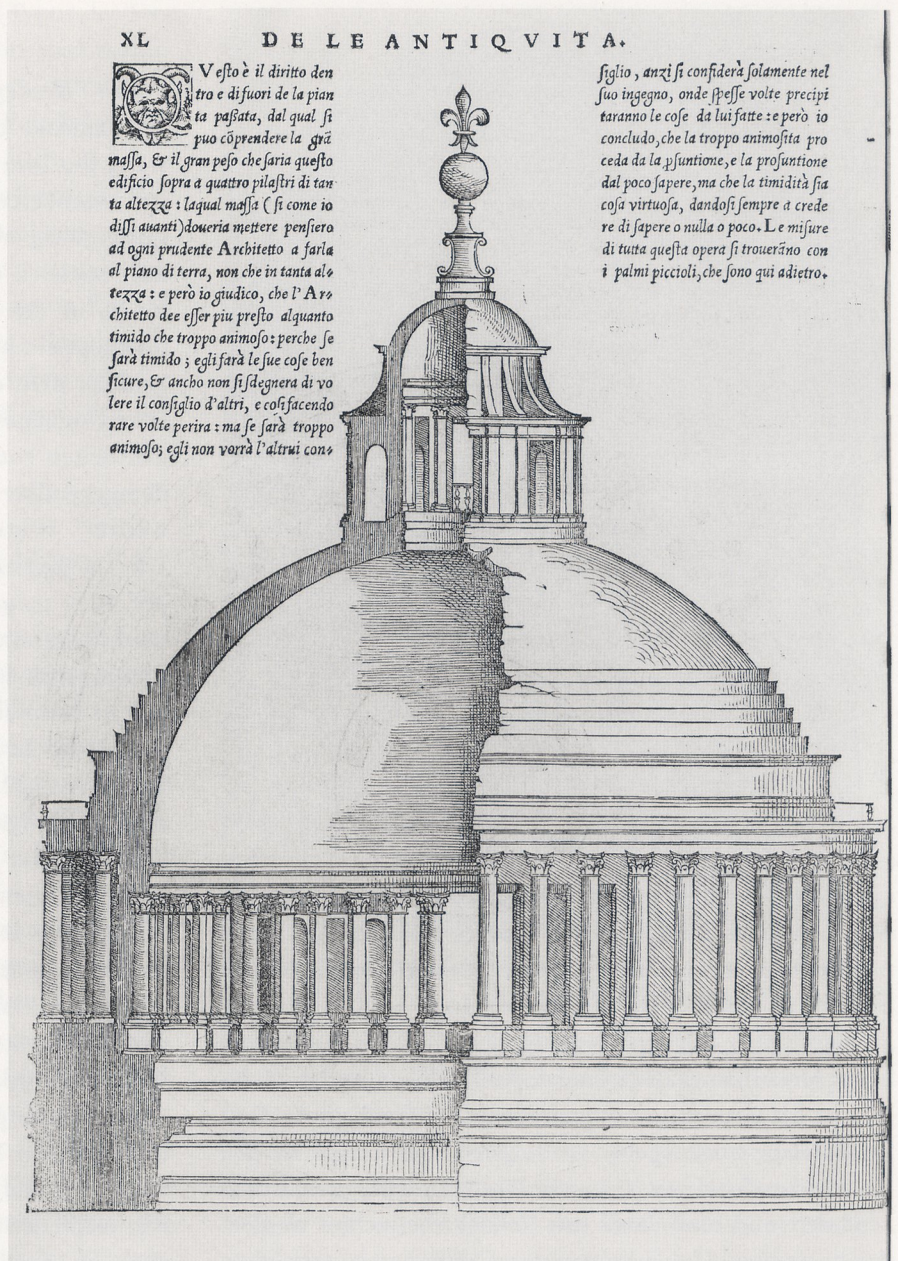
chung wieder ins Blickfeld gerückt. Einige Anmerkungen aus bauhistorischer Sicht mögen dazu beitragen, ihre Bedeutung bewußt zu machen.

Quellen

Bramantes Peterskuppel-Entwurf ist als solcher nicht erhalten, und wir wissen auch nicht, in welcher Form er ausgearbeitet wurde. Von Bramantes eigener Hand existieren lediglich zwei ganz flüchtige Skizzen, die Grundriß und Aufriß der Kuppel zeigen; sie stammen aus der Phase der Vorentwürfe und sollen weiter unten besprochen werden. In die Zeit nach Baubeginn gehört die Konstruktionszeich-

3 P. MURRAY, Observations on Bramante's St. Peter's, in: *Essays in the History of Architecture presented to Rudolf Wittkower*, Phaidon 1967, 53–59, 56.

4 Die Spannung entlud sich in den überschwenglichen Schilderungen der unter Sixtus V. endlich ausgeführten Kuppel Michelangelos/Della Portas: vgl. G. VASARI, *La vita di Michelangelo*, a cura di P. BAROCCHI, Milano/Napoli 1962, IV, 1704ff.



XL
DE LE ANTIQVITA.

Vesto è il diritto dentro e di fuori de la pianta passata, dal qual si può cōprendere la grā massa, Et il gran peso che faria questo edificio sopra a quattro pilastri di tanta altezza: laqual massa (si come io dissi auanti) doueria mettere pensiero ad ogni prudente Architetto a farla al piano di terra, non che in tanta altezza: e però io giudico, che l'Architetto dee esser piu presto alquanto timido che troppo animoso: perche se sarà timido; egli farà le sue cose ben sicure, Et ancho non si fidegnara di volere il consiglio d'altri, e così facendo rare volte perira: ma se sarà troppo animoso; egli non vorrà l'altrui con-

figlio, anzi si considererà solamente nel suo ingegno, onde spesso volte precipitaranno le cose da lui fatte: e però io concludo, che la troppo animosità proceda da la p'suntione, e la profuntione dal poco sapere, ma che la timidità sia cosa virtuosa, dandosi sempre a credere di sapere o nulla o poco. Le misure di tutta questa opera si trouerāno con i palmi piccioli, che sono qui adietro.

nung Uffizien 124 A, wahrscheinlich von Bramantes Mitarbeiter Antonio di Pellegrino, die sich aber auf die Darstellung der Pendentifzone beschränkt⁵. So bleiben als Grundlage der Untersuchung nur die beiden 1540 publizierten Holzschnitte Serlios (Abb. 15, 16)⁶.

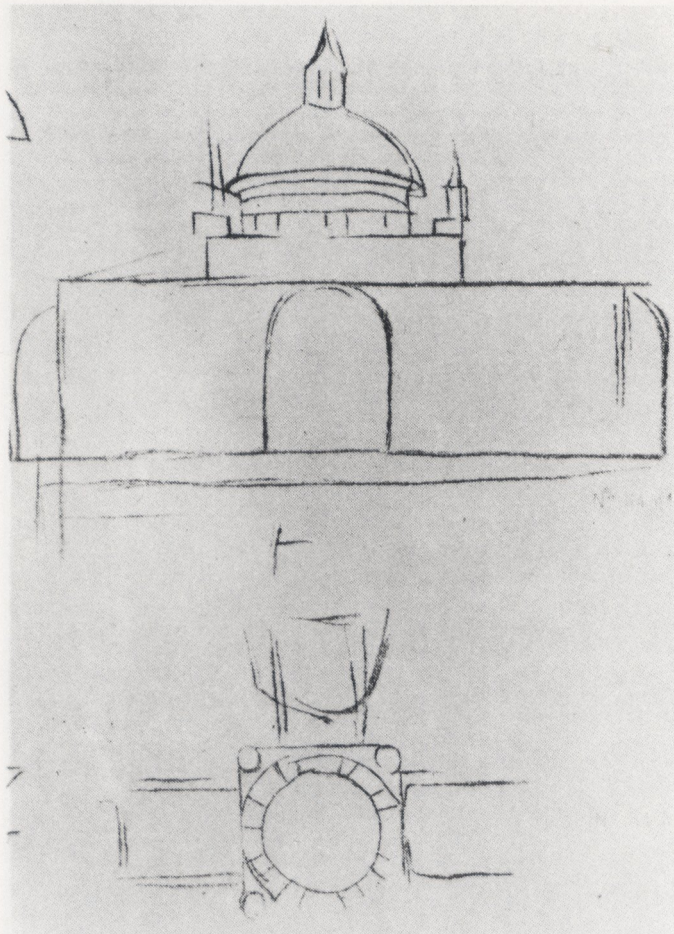
Serlio macht keine Angaben über die ihm zur Verfügung stehenden Quellen. Die Art der Darstellung läßt an ein Holzmodell der Kuppel denken, doch wird ein solches nirgends erwähnt. Bramante könnte auch Zeichnungen hinterlassen haben, die Serlio direkt oder indirekt kopiert und

dem Holzschnitzer zur Reproduktion überlassen hätte. In diesem Fall handelte es sich um das früheste – vor 1514 datierbare – Beispiel für die Darstellung eines Projekts in Grundriß, Aufriß und Schnitt, wie sie in Raffaels „Brief“ an Leo X. gefordert wird⁷. Maßangaben in Form von Quoten scheint Serlios Vorlage nicht enthalten zu haben; vielleicht bestand sie aus maßstäblich gezeichneten Blättern, die für

⁵ Metternich/Thoenes (wie Anm. 1), 165–69.

⁶ *Terzo Libro di Sebastiano Serlio Bolognese*, Venezia 1540, 39f.; Metternich/Thoenes 169–174.

⁷ CH. L. FROMMEL, *San Pietro, Storia della costruzione*, in: CH. L. FROMMEL, ST. RAY, M. TAFURI, *Raffaello architetto*, Milano 1984, 241–309, 258f.; CH. THOENES, La „lettera“ a Leone X, in: *Raffaello a Roma, Il convegno del 1983*, Roma 1986, 373–381, 381 Anm. 30; vgl. auch ders., *Vitruv, Alberti, Sangallo, zur Theorie der Architekturzeichnung in der Renaissance*, in: *Festschrift für Tilmann Buddensieg*, Berlin 1993 (im Druck).



17. Bramante, Skizzen zu St. Peter. Florenz, Uffizien, *Gabinetto dei disegni*, 20A verso (Umzeichnung H. v. Geymüller)

einen Modellbauer bestimmt waren⁸. Ob die in den Holzschnitt des Grundrisses eingetragene Maßskala auf die Originalvorlage zurückgeht, ist fraglich. Sie wurde in den meist reproduzierten späteren Nachschnitten willkürlich verändert und muß daher mit Vorsicht betrachtet werden. Auch gewisse Unklarheiten des Querschnitts schränken den Quellenwert von Serlios Darstellung ein⁹. Eine in Einzelheiten abweichende Wiedergabe von Bramantes Kuppelentwurf in Aufriß und Schnitt erscheint als Bestandteil des St.-Peter-Projekts Raffaels und Antonio da Sangallos von 1518/19 in einer Zeichnung des Codex Mellon der Pierpont Morgan Library, New York¹⁰. Sie dürfte auf die gleiche Vorlage – oder ein danach gefertigtes Modell – zurückgehen, trägt aber zur Klärung der strittigen Fragen nichts bei.

8 CH. THOENES, Zur Frage des Maßstabs in Architekturzeichnungen der Renaissance, in: *Studien zur Künstlerzeichnung*, Klaus Schwager zum 65. Geburtstag, Stuttgart 1990, 35–55, 41.

9 Metternich/Thoenes (wie Anm. 1), 172f.

10 Fol. 71 v; vgl. Ch.L. Frommel (wie Anm. 7), 271. Eine kritische Edition des Codex durch S. Storz ist in Arbeit.

Der Werdegang von Bramantes St.-Peter-Projekt läßt sich anhand einiger Vorentwürfe verfolgen¹¹. Demnach stand die Idee einer großen, beherrschenden Mittelkuppel von vornherein im Zentrum von Bramantes Planung, gleichgültig ob diese sich zunächst auf einen Zentralbau oder sogleich auf einen Langhausbau bezog. Unverändert bleibt in den Entwürfen auch die Grundgestalt des zu überkuppelnden Vierungsraums: sein Durchmesser ist gegenüber dem der Kreuzarme (Schiffe) stark erweitert, die Ecken so abgeschrägt, daß ein Oktogon mit ungleich langen Seiten entsteht¹². Eine deutliche Entwicklung macht demgegenüber der Kuppelfeiler durch: sein Volumen wächst, relativ zum Kuppeldurchmesser¹³, zwischen Uff. 1A und Uff. 20A – genauer zwischen den beiden auf Uff. 20A dargestellten Projekten – sprunghaft an. Dies wird meist mit dem Eingreifen oder dem Einfluß Giuliano da Sangallos erklärt, der in seinem Gegenentwurf Uff. 8A die zu schwach dimensionierten Pfeiler Bramantes korrigiert hätte. Es könnte sich aber auch um eine Entscheidung Bramantes gehandelt haben, dessen statische Konzeption sich im Übergang von der ersten zur zweiten Planungsstufe durchgreifend gewandelt haben muß¹⁴.

Was wissen wir über die Entwicklung der Kuppel selbst? Die schon erwähnten frühen Skizzen Bramantes (Abb. 17) finden sich auf dem Verso von Uff. 20A, müssen aber aus technischen Gründen vor dem Hauptentwurf auf dem Recto entstanden sein¹⁵. Sie zeigen wahrscheinlich das Nikolausprojekt, das mit Querhausapsiden versehen, und dessen Vierung überkuppelt werden sollte. Die Ecktürmchen auf dem Tambour können als Bekrönungen von Spindeltreppen aufgefaßt werden, wie sie in den vergrößerten Kuppelfeilern des Projekts Uff. 20A II aufsteigen¹⁶ und auch im Ausführungsplan beibehalten wurden. Was von

11 Zuletzt CH. THOENES, I tre progetti di Bramante per S. Pietro, in: *Scritti in onore di Renato Bonelli* (seit 1990 im Druck). Inzwischen bin ich in bezug auf die Reihenfolge der Entwürfe zu neuen Einsichten gelangt, die aber das Kuppelproblem nicht berühren.

12 Über die Vorzüge dieser Grundrißform für die Konstruktion der Kuppel vgl. Metternich/Thoenes, 169, und A. BRUSCHI, Plans for the dome of St. Peter's from Bramante to Antonio da Sangallo the Younger, in: *Domes from Antiquity to Present*, IASS-MSU International Symposium, Istanbul 1988, 233–251, 234.

13 Die absoluten Maße des ersten Entwurfs sind strittig; vgl. Metternich/Thoenes, 20, 23–29, 184–187; H. HUBERT, Bramantes St.-Peter-Entwürfe und die Stellung des Apostelgrabes, in: *Zeitschrift für Kunstgeschichte*, 51, 1988, 195–121; Thoenes (wie Anm. 8), 43f.

14 S. u. Anm. 55.

15 Metternich/Thoenes, 93f.; zur Datierung 94, Anm. 156. Unsere Abbildung nach der Umzeichnung Geymüllers (wie Anm. 1), Textband, 184/85.

16 Metternich/Thoenes, 84 Anm. 137b.

der Kuppel erkennbar wird, scheint auf den Typus der Serlio-Kuppel vorauszuweisen: im Grundriß ein starkwandiger, wohl in offene und geschlossene Partien unterteilter Tambour, im Aufriß die Andeutung einer Vertikalgliederung des Tambours, wenngleich wohl noch nicht in Form eines außen umlaufenden Säulenkranzes: das Profil der Kalotte steigt direkt in der Außenflucht des Tambours auf, ja es scheint eher noch ein Stück über diesen hinauszugreifen, wie eine aufgesetzte Kappe. Näher an die Serlio-Kuppel heran führt die bekannte Medaille des Caradosso¹⁷ (Abb. 18): der Tambour wächst höher auf, man erkennt deutlich die Säulenstellung wie auch die Ringstufen am Fuß der Kalotte.

Pergamentplan und Caradosso-Medaille

Caradosso's Medaille wurde bei der Grundsteinlegung des Baus, am 18. April 1506, in das Fundament eingelegt, zeigt aber den Bau in einer damals schon überholten Gestalt: es ist ein Projekt vom Typus des „Pergamentplans“ Uff. 1 A, der nach Sangallos späterer Aufschrift nicht zur Verwirklichung kam („non ebbe effetto“). Das hat Geymüller, Letarouilly und andere dazu ermutigt, die Medaille zur Grundlage ihrer Aufriß-Rekonstruktion des Pergamentplan-Projekts zu machen und auch die Serlio-Kuppel in diese zu übernehmen. Erst Metternich begann über das Problem der Größenverhältnisse nachzudenken¹⁸. Tatsächlich erscheint auf der Medaille die Kuppel in ihrem Verhältnis zum Unterbau sehr viel größer als auf Bramantes Skizze; größer jedenfalls als das nach dem Grundriß des Pergamentplans vorzustellende Geviert von Pfeilern und Gurtbögen, das sie zu tragen hätte (Abb. 19). Das kann eine Lizenz des Münzschneiders sein, mag sogar die Aspirationen Bramantes widerspiegeln. Allein der Versuch, die Vergrößerung rückgängig zu machen und Serlios Kuppel auf die Proportionen des Pergamentplans zu reduzieren, erweist die Inkompatibilität der beiden Systeme.

Legt man die in Abb. 15 erscheinende Maßskala zugrunde, so beträgt der lichte Durchmesser der Kuppel, wie in Serlios Text angegeben, 188 palmi, die Wandstärke des Tambours einschließlich des äußeren Säulenkranzes 39 palmi¹⁹. Dies entspricht exakt der Breite der noch von Bramante errichteten Gurtbögen, die den Tambour tragen sollten. Demgegenüber sind die Gurtbögen des Pergament-



18. Caradosso Foppa, St. Peter, Gründungsmedaille

plans bedeutend schmaler: anstatt, wie die ausgeführten, mehr als ein Fünftel, erreichen sie nur etwa ein Achtel des Kuppeldurchmessers²⁰. Somit würde ein Teil der von Serlio dargestellten Tambourbasis im Pergamentplan über die Gurten hinausgreifen und auf die Tonnengewölbe der Kreuzarme zu stehen kommen, welche ihrerseits auf den Arkadenbögen der Durchgänge aufruhren – eine Situation, die Metternich aus Gründen der Statik für nicht akzeptabel hielt (Abb. 20)²¹.

Nun kann zwar, wie Krauss zeigt, für die Serlio-Kuppel eine Konstruktion angenommen werden, bei der die Stützlinie in der inneren Hälfte der Tambourbasis verbleibt²²; auch dann aber würde sie, übertragen auf die Verhältnisse des Pergamentplans, bedenklich nahe an den Rand des

20 S.o., Anm. 13. Das Argument gilt unabhängig von den absoluten Maßen. Vgl. Metternich/Thoenes, 44 Anm. 73.

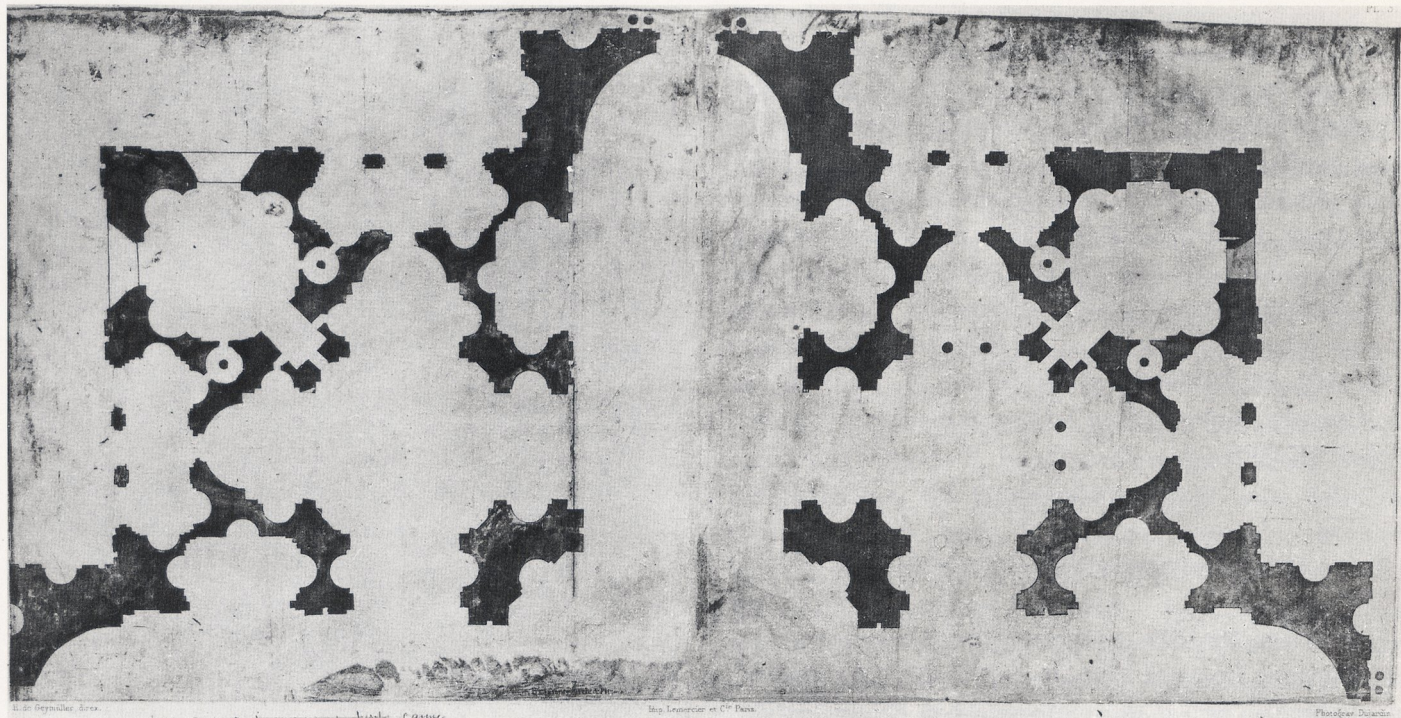
21 Ebd., 40. In der zugehörigen Zeichnung (unsere Abb. 20) ist ein Kuppeldurchmesser von 165 palmi zugrunde gelegt. Metternich hatte vergleichbare Probleme an den allerdings weit sparsamer dimensionierten Strukturen gotischer Kathedralen studiert.

22 Der Säulenring würde also die ihm zugesprochene abstrebende Funktion (Bruschi, wie Anm. 12, 234–236) gar nicht ausüben. Zu analogen Resultaten führten Beobachtungen an der ausgeführten Kuppel (R. DI STEFANO, *La cupola di S. Pietro*, 2a ed. Napoli 1980, 82f.): die vermeintlichen „Strebe Pfeiler“ des Michelangelo-Tambours sind praktisch funktionslos, da das Gewicht der Kuppel allein auf der Tambourwand lastet. Diese hat sich demzufolge stärker abgesenkt als die Pfeilervorsprünge, was zu Rißbildungen zwischen beiden geführt hat. Vielleicht handelt es sich um eine Auswirkung der Aufhöhung des Kuppelprofils durch Della Porta.

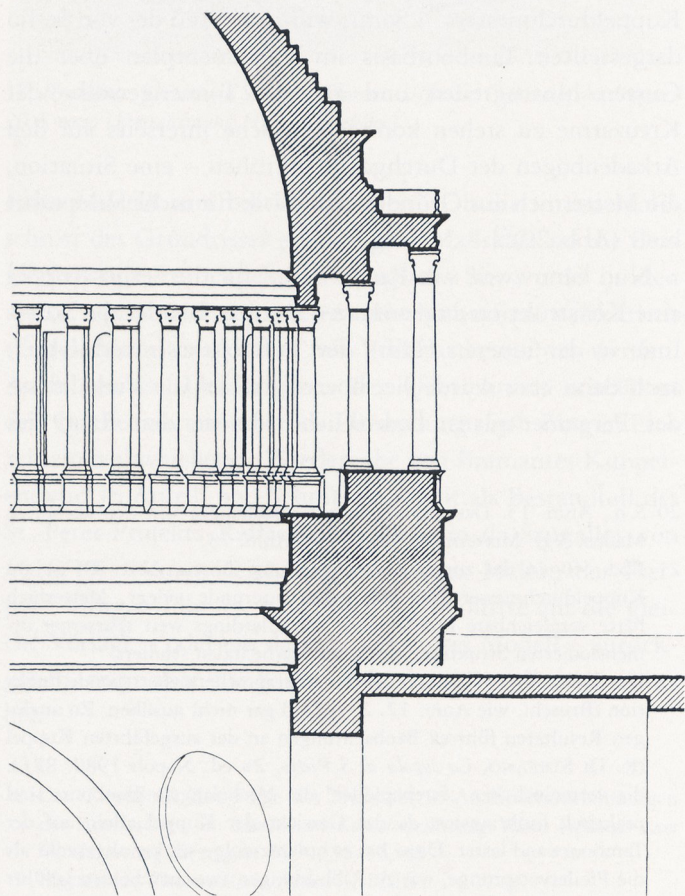
17 Ebd., 30–33.

18 Ebd., 40f.

19 Ebd., 170ff. Die dort vorgebrachte Kritik an Serlios Maßskala bezieht sich auf die Holzschnitte der späteren Ausgaben; dagegen zeigt die Abbildung die korrekte Skala der Editio princeps von 1540.



19. Bramante, St.-Peter-Entwurf. Florenz, Uffizien, Gabinetto dei disegni, 1 A



20. Peterskuppel Bramantes, Aufriß-Rekonstruktion (Metternich/Thiersch)

Gurtbogens bzw. des tragenden Pfeilers geraten. Ob Bramante Überlegungen dieser Art angestellt hat, bzw. über entsprechende Erfahrungen verfügte, steht dahin. Immerhin läßt ein analoger Gedankengang sich bei Bramantes Schüler und späterem Amtsnachfolger Antonio da Sangallo verfolgen. In seinem Vorentwurf für die Kuppel des großen Holzmodells von 1539 ff. (Abb. 21) ermittelt Sangallo zunächst anhand eines Pfeilergrundrisses die Maximalstärke der Tambourbasis mit 39 palmi (Gurtbogenbreite), zuzüglich vier palmi für die mittragende Pfeilerflanke (Seitenschiffsarkade); danach richtet er seinen Tambourgrundriß ein. Überraschenderweise wird aber dann in der definitiven Planzeichnung (Abb. 22) dieses Maß beträchtlich überschritten. Der äußere Pfeilerkranz steht hier in der Tat über dem Kreuzarmgewölbe²³.

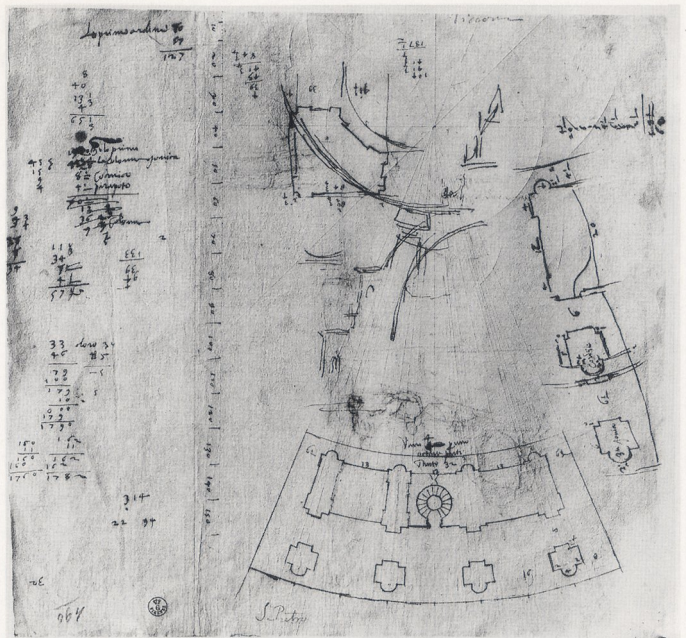
Wie dem immer sei, es bleibt schwer vorstellbar, daß die fragile, feingliedrige Struktur des Pergamentplans eine Kuppel vom Umfang des Serlio-Projekts hätte tragen sol-

23 Der Grund war vermutlich Sangallos Sorge um die Pendentifs, deren Überhang nach innen ihm schon 1520 bedenklich erschienen war (Uff. 33 A, „la trebuna grande ... posa in falso“); vgl. Bruschi, wie Anm. 12, 237. Dies bewog ihn, den Kuppeldurchmesser auf 196 palmi zu erweitern (Uff. 66 A, 267 A) und damit die Last nach außen zu verlagern. Michelangelo kehrte dann zu Bramantes Kuppel- und Tambourmaßen zurück. Näheres in *The Drawings of the Sangallo Circle*, vol. II, Churches (ersch. vorauss. 1993).

len²⁴. Plausibler erscheint eine leichte, dünnwandige Konstruktion von der Art der Mailänder Kuppeln Bramantes²⁵, deren Tambour außen nur eine Blendgliederung getragen hätte. Sie wäre als Vorstufe der Serlio-Kuppel vorzustellen, so wie der Pergamentplan im ganzen die Vorstufe des endgültigen Projekts bildete. Dagegen erweist die Caradosso-Medaille sich als „pasticcio“ aus Elementen der Planungsphasen, die der Grundsteinlegung unmittelbar vorangingen (Grundrißtyp, Kreuzarme und Apsiden des Pergamentplans, Kuppel und vorspringende Campanili des Projekts Uff. 20 A II). Ihr Zweck war nicht, ein bestimmtes architektonisches Projekt festzuhalten, sondern allgemein den Entschluß des Papstes zur „instauracio“ des Tempels bekanntzumachen²⁶.

„In aria una montagna di trevertini“

Daß eine Kuppel die erneuerte Peterskirche bekronen müsse, stand schon für die Architekten des Quattrocento fest²⁷. Bramante dürfte sie als konstituierendes Element des „Tempels“ betrachtet haben, durch den er die Basilika Konstantins zu ersetzen gedachte²⁸. Die Idee ist in seinen Mailänder Sakralbauten vorgeprägt; ein antikes Vorbild fand er dort im Zentralbau von S. Lorenzo Maggiore, dessen ursprüngliche Gewölbeform heute strittig ist, von Bramante aber noch in ihrer spätantik-mittelalterlichen Gestalt studiert werden konnte²⁹. Auch von Justinians Sophienkirche und ihrer monumentalen Pendentivkuppel auf vier Stützen



21. Antonio da Sangallo d.J., Skizzen zur Peterskuppel. Florenz, Uffizien, Gabinetto dei disegni, 798 A

24 Wir betrachten Uff. 1 A nicht als „Idealplan“, sondern als einen zur Verwirklichung gedachten architektonischen Entwurf, der, wie bei rasch gefertigten Präsentationszeichnungen üblich, detaillierter Ausarbeitung bedurft hätte. Die gegenteilige Auffassung („Realitätsferne“) zuletzt vertreten von Hubert (wie Anm. 13), 210.

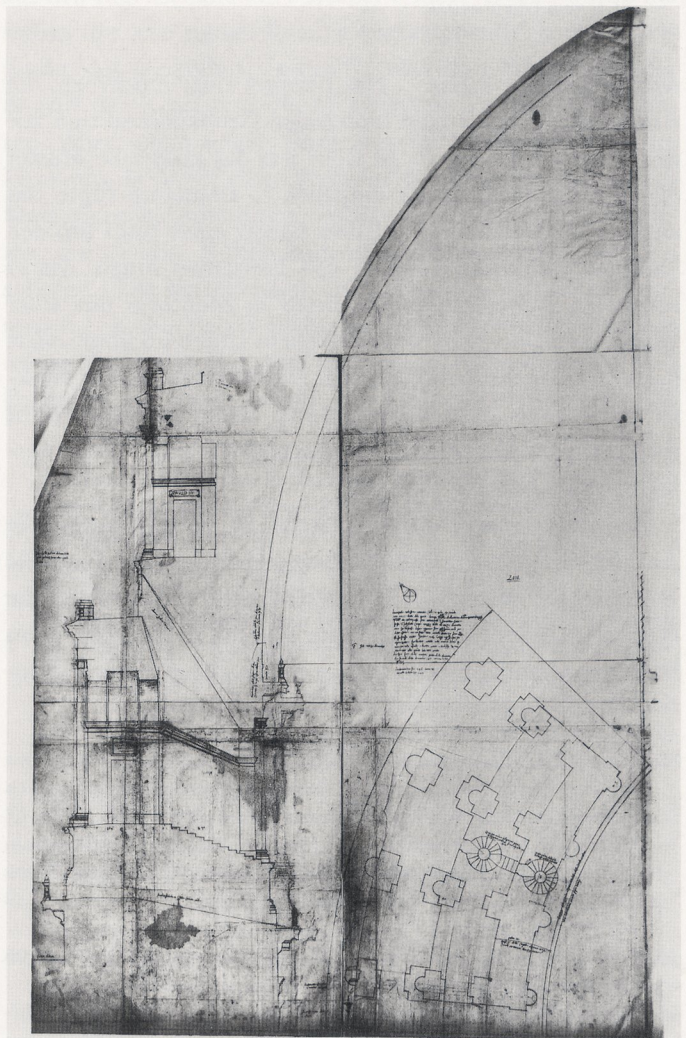
25 Vgl. die entsprechenden Beiträge des Kongresses „Bramante a Milano“, 1986, publiziert in *Arte Lombarda* 78–87, 1986–1988. S. auch Metternich/Thoenes, 44 Anm. 73.

26 Metternich/Thoenes 41, Anm. 68.

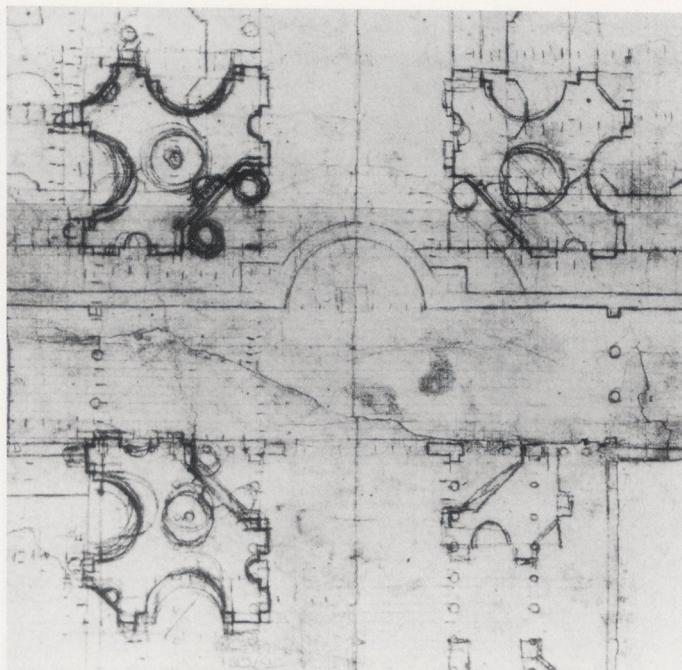
27 Gianozzo Manetti, Leben Nikolaus' V., in T. MAGNUSON, *Studies in Roman Quattrocento Architecture*, Stockholm 1958, 358 Nr. 108. Weder hier noch, soweit wir sehen, in Texten des 16. Jh. wird die Kuppel mit der Idee eines „Mausoleums“ für den Apostelfürsten in Verbindung gebracht; auch ist kein ernsthafter Versuch erkennbar, Grab und Kuppelzentrum zur Deckung zu bringen. Das Grab rückte in seine heutige, leicht exzentrische Position, nachdem der Architekt des Nikolausplans, um eine kuppeltragende Vierung zu erzielen, das Querhaus der Basilika auf Mittelschiffsbreite gebracht hatte. Dies konnte, wenn das Langhaus intakt bleiben sollte, nur durch Hinausschieben der Westwand des Baus geschehen.

28 CH. THOENES, S. Lorenzo a Milano, S. Pietro a Roma: ipotesi sul „piano di pergamena“, in: *Arte Lombarda* 86–87, 1988, 94–100.

29 Dazu jetzt R. CECCHI, La Basilica di S. Lorenzo Maggiore, in: *Arte Lombarda* 78, 1986, 72–80; vgl. auch L. GIORDANO, S. Lorenzo nella cultura del primo rinascimento, in: *La Basilica di S. Lorenzo Maggiore*, Milano 1985, 117–143.



22. Antonio da Sangallo d.J., Peterskuppel-Entwurf. Florenz, Uffizien, Gabinetto dei disegni, 267 A



23. Bramante, St.-Peter-Entwurf. Florenz, Uffizien, Gabinetto dei disegni, 20A recto (Ausschnitt)

wird er gewußt haben³⁰. Das Beispiel einer modernen, die Antike in die Schranken fordernden Großkonstruktion bot der Dom von Florenz³¹. In Rom war das klassische Muster des Pantheons nicht zu umgehen³². Bramante fügte das antiken Rundtempeln entlehnte Motiv eines rings um den Tambour geführten Kranzes von Freisäulen hinzu, das er schon am Tempietto von S. Pietro in Montorio mit einer Halbkugelkalotte über zylindrischem Unterbau kombiniert hatte. Damit wurde die Kuppel ein Stück Schau-Architektur sui generis, imponierend durch Reichtum und Pracht ihrer Glieder wie durch die Massigkeit ihrer Gesamterscheinung³³.

Betrachtet man Serlios Holzschnitte, so fällt zuerst die Ähnlichkeit mit der Pantheonkuppel ins Auge. Auch die Zeitgenossen waren von ihr beeindruckt. Bekannt ist die Beschreibung des Sigismondo de' Conti: „... in capite enim basilicae testudo futura est latior et altior templo Pan-

30 Zuletzt R. J. MAINSTONE, *Hagia Sophia*, London 1988; zur Kenntnis des Baus in der Renaissance: CH. SMITH, Cyriacus of Ancona's seven drawings of Hagia Sophia, in: *The Art Bulletin*, 69, 1987, 16–32.

31 Als Vorbild für St. Peter ausführlich erörtert und mit dem Pantheon konfrontiert von C. FONTANA, *Il Tempio Vaticano e la sua origine*, Roma 1694, 315 ff. u. 479 ff. Vgl. Metternich/Thoenes, 71, 78 Anm. 129 u. 169.

32 Zum Größenvergleich Pantheon-Peterskuppel s. Metternich/Thoenes 82, Anm. 135.

33 Zum Verhältnis von Struktur und Masseneffekt in Bramantes römischen Architekturen vgl. CH. THOENES, Bramante e la 'bella maniera degli antichi', in: *Studi Bramanteschi, Atti del Convegno Internazionale 1970*, Roma 1974, 391–396.

theon³⁴. Sie deutet das statische Paradox des Unternehmens an: der massivste, erdgebundenste Großbau der Antike sollte auf das Pfeilergerüst einer Basilika gestellt, gleichsam in die Lüfte erhoben werden³⁵.

Aber auch abgesehen von der Frage des Unterbaus bot die von Bramante erdachte Kombination erhebliche konstruktive Probleme. Die Kuppel des Pantheons³⁶ ist in einen schweren, massiven Block eingeschlossen, der den Fuß der Wölbung ummantelt und erst die obere, flache Hälfte des Kuppelrunds freigibt. Die Wölbung wird nach oben hin leichter und spart die Scheitelpartie überhaupt aus; dort öffnet sich das Opaion. Dem stand im Dom von Florenz³⁷ der aus mittelalterlichen Vorstufen entwickelte moderne Kuppeltyp gegenüber: der Tambour, von großen Lichtöffnungen durchbrochen, tritt frei hervor, das Gewölbe setzt senkrecht an, steigt spitzbogig empor und wird durch die Scheitellast einer massiven Laterne zusammengehalten. Jeder der beiden Prototypen hat seine Statik. Konnte Bramantes Synthese funktionieren?

Form und Konstruktion

Zweifel an seiner Realisierbarkeit begleiteten das Bramante-Projekt von Anfang an. Serlio selbst präsentiert es als eine schöne, aber leider unausführbare Idee, ja geradezu als warnendes Beispiel unangebrachten konstruktiven Wagemuts³⁸. Wie weit Antonio da Sangallo, seit den Tagen Bramantes mit allen technischen Problemen des Baus vertraut, an die Kuppel seines Meisters geglaubt hat, bleibt fraglich. Während die großen Modelle der Raffaelzeit Bramantes Entwurf übernahmen und damit quasi offiziell sanktionierten³⁹, machte Antonio sich seine eigenen Gedanken⁴⁰. Sie wurden aktuell, als Paul III. ihn 1538 auf-

34 Sigismondo dei Conti, *Le storie de' suoi tempi*, zit. n. CH. L. FROMMEL, Die Peterskirche unter Papst Julius II. im Licht neuer Dokumente, in: *Römisches Jahrbuch für Kunstgeschichte*, 16, 1976, 57–136, 124, Nr. 373.

35 Dies der zentrale Topos der von Paola Barocchi (wie Anm. 4) zusammengestellten Beschreibungen der ausgeführten Kuppel; vgl. etwa G. Baglione, 1642: „Vedesi ... in aria una montagna di trevertini con sì bel magistero composta, che fu spavento d'ogni altro“ (ebd., 1705). Als literarischer Prototyp erscheint Prokops Beschreibung der Hagia Sophia: eine Kuppel auf Pfeilern und Bögen, schwebend in himmlischer Höhe.

36 Vgl. R. Mack (wie Krauss, Lit. 4).

37 Zuletzt H. SAALMAN, *Filippo Brunelleschi, The cupola of S. Maria del Fiore*, London 1980.

38 Serlio (wie Anm. 6), 39. Auf der folgenden Seite noch eine lange Ermahnung im gleichen Sinne; ebenso 144, bei Besprechung des Belvederehofes.

39 Frommel (wie Anm. 7), 263, 272, 303.

40 Uff. 85 A, „Tre modi per S. Pietro“, wo er u. a. überlegt, den Tambour

forderte, ein neues Modell für den Gesamtbau auszuarbeiten. Antonios Kuppelentwurf⁴¹ zeigt außen den Oberteil einer Halbkugelkalotte über zweistufig aufsteigendem Tambour, doch ist dies nur die Ummantelung einer Spitzbogenkonstruktion nach dem Muster von S. Maria del Fiore. Die Antithese von Rund- und Spitzbogenwölbung wiederholte sich unter Sangallos Nachfolgern: Michelangelo kehrte, nach gründlichem Studium des Florentiner Doms, zu einer leicht modifizierten Halbkugelform zurück; Porta und Fontana, die seine Kuppel zu realisieren hatten, gaben ihr dann doch wieder ein zugespitztes Profil⁴². So behielten baugeschichtlich die Skeptiker das letzte Wort. Die Diskussion wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts noch einmal aufgenommen, vor allem dank H. v. Geymüllers Enthusiasmus für den Bramante-Entwurf. Zwei von ihm konsultierte Statiker kamen zu vorsichtig positiven Ergebnissen, doch hätten auch sie ein leicht überhöhtes Profil für günstiger gehalten⁴³. Nun zeigt Krauss, daß die Kup-

wegzulassen und die Kalotte unmittelbar auf den Sprengring über den Pendentifs aufzusetzen. Eine vergleichbare Lösung zeigt dann Sangallos großes Langhausprojekt von 1538. Zu Sangallos Kuppelprojekten der vorangehenden Zeit s. Bruschi (wie Anm. 12), 236–239; vgl. auch oben, Anm. 23.

41 Uff. 267 A; Vorstudien: Uff. 87 A r u. v; Uff. 798 A.

42 Bei den Theoretikern des Quattrocento lag die Kenntnis der statischen Vorzüge des Spitzbogens mit dem Vorurteil gegen alles „Gotische“ im Streit. Filarete hielt noch beide Systeme für etwa gleichwertig (P. TIGLER, *Die Architekturtheorie des Filarete*, Berlin 1963, 97–100); nach Alberti ist der Rundbogen generell vorzuziehen, doch gelte der Spitzbogen als vorteilhaft bei Öffnungen, auf die eine große Last drücke (Türme): er teile diese nach Art eines Schiffsbugs; sogar die stabilisierende Wirkung der Scheitelbelastung wird erwähnt (*De re aedificatoria*, III, 13; L. B. ALBERTI, *L'architettura*, a cura di G. ORLANDI, Milano 1966, 237). Dagegen sprach Bramante in seinem Gutachten für den „Tiburio“ des Mailänder Doms sich „per molte rasoni“ für den Rundbogen aus; leider ohne diese Gründe näher zu erörtern (*Scritti rinascimentali di architettura*, a cura di A. BRUSCHI, Milano 1978, 369). Raffael erklärt den Rundbogen nicht nur ästhetisch, sondern auch technisch für dem Spitzbogen überlegen (ebd., 476). Sangallo, der in seinem Modellplan auf Brunelleschis Spitzbogenkuppel zurückgriff, suchte dies durch eine ellipsenähnliche Krümmung zu verschleiern. Erst Della Porta konnte sein zugespitztes Profil auch wieder ästhetisch rechtfertigen: „... tholum ipsum altiorum surgere fecit, quia consideravit venustiorum fore et etiam validiorum“ (G. GRIMALDI, *Descrizione della basilica antica di S. Pietro in Vaticano*, Cod. Barb. lat. 2733, ed. R. NIGGL, Città del Vaticano 1972, 498). Bekanntlich spielte hierbei auch die Frage der perspektivischen Verkürzung im Blick von unten her eine Rolle.

43 Gutachten von Alfred Durand-Claye, Paris, und Oberbaurath Schwedler, Berlin, 1873; vgl. Metternich/Thoenes, 43f. Erst nach Niederschrift dieser Arbeit erhielt ich dank der Freundlichkeit von Dr. Josef Ploder, Graz, Kenntnis vom vollständigen Text Durand-Clayes, der 1879 als Beiheft zu Geymüllers „Projets primitifs“ im Druck erschien: M. ALFRED DURAND-CLAYE, *Etude sur la stabilité de la coupole pour la Basilique de Saint-Pierre de Rome*, Paris 1879 (jetzt als Xerokopie in der Bibliotheca Hertziana). Weitere, handschriftliche Texte im Nachlaß H. v. Geymüller im Kunsthistorischen Institut der Universi-

pel auch in der von Bramante gewählten Form realisierbar gewesen wäre, wenngleich nur unter bestimmten, sehr eng umschriebenen Bedingungen.

Dies bedeutet natürlich nicht, daß Bramante diese Bedingungen gekannt und die Form seiner Kuppel danach berechnet hätte. Was über die Ausführbarkeit eines Projekts entschied, war ja nicht, wie heute, das Kalkül des Statikers, sondern professionelles Training, Erfahrung, „Ingenium“, letztlich das Selbstvertrauen des Architekten. Allgemein galt Kunst als Sieg über die Natur, nicht als Befolgung ihrer Gesetze. Dies schloß das Bemühen um deren Erkenntnis nicht aus, und es war die Epoche des Humanismus, die so etwas wie einen ersten Brückenschlag zwischen experimenteller Naturwissenschaft und Baupraxis zustande brachte⁴⁴. Aus den Erfahrungen der Moderne – Brunelleschis Domkuppel – abstrahierte Alberti, was er bei Vitruv nicht fand: eine Theorie des Gewölbebaus⁴⁵. Die Grenze seines physikalischen Horizonts wird erkennbar, wenn er, ganz aristotelisch, die beobachteten Phänomene aus den Eigenschaften der Körper erklärt: es sind die Steine selbst, die „con uguali forze, e aggravamento“ zum Mittelpunkt des Gewölbes streben⁴⁶. Was ihm fehlte, war der Begriff der Kraft und die Möglichkeit, sie zu quantifizieren. Aber schon gegen Ende des 15. Jahrhunderts suchte Leonardo da Vinci dem Problem des Bogenschubs durch Messungen beizukommen; dabei operierte er mit Gewichten, die an über Rollen laufende Schnüre gehängt werden sollten⁴⁷. Die betreffenden Zeichnungen – von deren Umsetzung in die Praxis nichts bekannt ist – stammen aus seiner Mailänder Zeit, und es ist nicht auszuschließen, daß Bramante von ihnen gewußt hat. Dennoch bleibt wahr, daß

tät Graz, der jetzt von Herrn Ploder bearbeitet wird. Zu ähnlichen Berechnungen von C. Cerardini, 1885, und G. Giovannoni vgl. Bruschi (wie Anm. 12), 236.

44 Zum folgenden vgl. L. OLSCHKI, *Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur*, Bd. 1, Die Literatur der Technik und der angewandten Wissenschaften vom Mittelalter bis zur Renaissance, Heidelberg 1919; Bd. 2, Bildung und Wissenschaft im Zeitalter der Renaissance in Italien, Leipzig 1922; Bd. 3, Galilei und seine Zeit, Halle 1927; H. STRAUB, *Die Geschichte der Bauingenieurkunst*, 2. Aufl. Basel 1964; M. MISLIN, *Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik*, Düsseldorf 1988; D. CONRAD, *Kirchenbau im Mittelalter, Bauplanung und Bauausführung*, Leipzig 1990.

45 *De re aed.*, III, 13–14; vgl. etwa auch die Ausführungen zur Statik des Skelettbaus, VII, 15.

46 Nach der Übersetzung Cosimo Bartolis, Firenze 1550, 90; vgl. ed. cit. Anm. 42, 245 („Cunctis praesertim cuneis unicum centrum pentibus pari et viribus et innixu“).

47 London, Victoria & Albert Museum, Cod. Forster II, 2, fol. 92r; vgl. Conrad (wie Anm. 44), 312: „Sowohl Versuchsaufbau als auch ausgewählte Varianten lassen erkennen, daß er beeinflussende Parameter suchte.“ Zu Leonards Kraft-Begriff vgl. Straub (wie Anm. 44), 85, unter Bezug auf Brit. Mus., Cod. Arundel 263, fol. 1 v u. passim.

von wissenschaftlich fundierter Baustatik vor dem Ende des 18. Jahrhunderts nicht die Rede sein kann. Bis dahin besaß jeder Entwurf letzten Endes Versuchscharakter: die Probe aufs Exempel lieferte der Bau selbst.

Zumindest an Selbstvertrauen scheint es Bramante, nach allem was wir von ihm wissen, nicht gemangelt zu haben. Daß er bereit war, in Grenzbereichen zu operieren, zeigen etwa die von ihm jedenfalls inspirierte Kuppel von S. Maria delle Grazie in Mailand, aber auch der Tempietto von S. Pietro in Montorio, beides hoch beanspruchte, im Querschnitt recht prekär wirkende Konstruktionen⁴⁸. Sie boten gewiß keinen Ersatz für fehlende Praxis auf dem Felde des Großbaus, wie etwa Giuliano da Sangallo sie in Loreto sich hatte aneignen können. Andererseits konnte, wo Neuland zu betreten war, Erfahrung ohnehin nur auf experimentellem Wege erworben werden. So hatte schon Brunelleschi seinen Kuppelentwurf anhand eines Backsteinmodells erprobt⁴⁹; es maß 6–7 Meter im Durchmesser, stand also zur Kuppel des Doms etwa im gleichen Größenverhältnis wie der Tempietto zur Peterskuppel. Wäre es denkbar, daß Bramante seinen Rundtempel als gelungenen Modellversuch für St. Peter betrachtet hat? Der Unterschied der absoluten Maße wurde gering bewertet in einer Zeit, die das Problem maßstäblichen Entwerfens vorwiegend als ein geometrisch-optisches auffaßte. Noch Galilei hatte Mühe, den Konstrukteuren des venezianischen Arsenal zu beweisen, daß die mechanische Beanspruchung von Strukturen nicht ohne weiteres anhand proportional verkleinerter Modelle simuliert werden kann⁵⁰.

48 S. Maria delle Grazie in Milano (Sammelband), Milano 1983; zur Zuschreibungsfrage zuletzt H. SCHOFIELD, Bramante und Amadeo at S. Maria delle Grazie in Milan, in: *Arte Lombarda*, 78, 1986, 41–85. Zum Tempietto vgl. Metternich-Thoenes, 41 Anm. 69 u. 44 Anm. 73; zur Konstruktion der Kuppel jetzt G. DI GESO / R. PENTRELLA, Da recenti restauri di fabbriche romane del primo Cinquecento, in: M. FAGIOLO (ed.), *Baldassare Peruzzi, pittura, scena e architettura nel Cinquecento*, Roma 1987, 689–698.

49 Dazu jetzt A. LEPIK, *Das Architekturmodell in Italien 1353–1500*, Phil. Diss. Augsburg 1990.

50 G. GALILEI, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze ...*, Leiden 1638, Giornata prima. Das Argument läuft der Sache nach auf eine Kritik des „disegno“-Begriffs der Renaissance hinaus, der von der physischen Realität der zu entwerfenden Objekte grundsätzlich absieht: „pure ... astraendo tutte l'imperfezioni della materia, e supponendola perfettissima, e inalterabile, e da ogni accidental mutazione esente, tuttavia il solo esser materiale fa, che la macchina maggiore fabbricata dall'istessa materia, e con l'istesse proporzioni, che la minore, in tutte l'altre condizioni risponderà con giusta simmetria alla minore, fuor che nella *robustezza, e resistenza contro le violente invasioni*“ (S. 2, Hervorhebungen von uns). Zur Ausschließung von Baustoffkunde, Konstruktionslehre etc. aus der Architekturtheorie der Hochrenaissance vgl. CH. THOENES, Serlio e la trattatistica, in: *Sebastiano Serlio* (a cura di Ch. Thoenes), Milano 1989, 9–18, 9f.

Serlios Holzschnitte enthalten keinerlei Informationen technischer Art. Wie die Wölbung der Bramantekuppel strukturiert gewesen wäre, und wie sie hätte aufgeführt werden können, bleibt offen⁵¹. Man hat daraus gefolgert, es habe sich mehr oder minder um einen „Idealentwurf“ gehandelt (Serlio: „un'invenzione bella et ornata“), an dessen Verwirklichung Bramante selbst gar nicht dachte. Aber auch Entwurfszeichnungen Antonio da Sangallos, des großen Praktikers unter den Petersbaumeistern der Renaissance, befassen sich nur sehr selten mit konstruktiven Details. Grundsätzlich war technische (nicht immer auch ökonomische) Realisierbarkeit beim Entwurf mitgedacht, „disegno“ und Statik nicht voneinander getrennt. Architekt und Bauingenieur waren eine Person.

Wie zielbewußt Bramante auf die Verwirklichung seiner Kuppel hingearbeitet hat, zeigt der Verlauf der Baugeschichte unter seiner Leitung⁵². Von vornherein konzentrierte er sich auf die Errichtung der Kuppelpfeiler, führte sie in acht Jahren hoch und verband sie durch die Gurtbögen und die Ansätze der Pendentifs, die den Tambour zu tragen haben würden. Dies steht in sprechendem Kontrast zu der Zeit nach Bramantes Tod, als das Gebäude jahrzehntelang nur noch in die Breite wuchs; Bramantes Bögen blieben der höchste erreichte Punkt, bis Michelangelo den Bau übernahm und mit äußerster Energie wieder in die Vertikale trieb. Dem entspricht, was wir über den Gang der Planungen ausmachen können. Bramantes Gesamtmodell blieb nach Aussage Serlios fragmentarisch: weder die Erstreckung des Langhauses, noch die definitive Gestaltung des Außenmantels gingen aus ihm hervor⁵³. Was Bramante bis zuletzt in Atem hielt, war das Kuppelprojekt: „Ehe er starb“, sagte Serlio, quasi als Vermächtnis, habe er es ausgearbeitet⁵⁴. In der Tat hätte das Aufsetzen der Kuppel den Kernbestand seines Plans gesichert, dessen Grundgestalt für alle Zukunft fixiert; anders als im Pergamentplan, waren Pfeiler und Gurtbogen jetzt so dimensioniert, daß sie auch ohne seitlich abstützende Gewölbe standfest gewesen wären⁵⁵. Demgegenüber sehen wir seine Nachfolger, wie schon seinen Rivalen Giuliano da Sangallo, mit der Entwicklung immer neuer, immer weiter ausgreifender Ge-

51 Vgl. dazu die Überlegungen Metternichs, Metternich/Thoenes, 44.

52 Frommel (wie Anm. 34), 59–72.

53 Metternich/Thoenes 143; Thoenes (wie Anm. 11).

54 „... e questa ordinò il Bramante prima ch'ei morisse“, Serlio (wie Anm. 6), 38.

55 Metternich/Thoenes, 77 Anm. 129 u. 84 Anm. 137b; Thoenes (wie Anm. 11).

samtentwürfe befaßt; erst Michelangelo konzentrierte sich wiederum auf den Kern und hinterließ der Nachwelt, anstatt eines Plans für den ganzen Bau, sein Kuppelmodell⁵⁶.

„Super hanc petram“

Was wäre geschehen, wenn Bramante noch Zeit gehabt hätte, seine Kuppel zu bauen? Wir wissen es nicht, doch spricht vieles dafür, daß er damit ein Desaster ausgelöst hätte. Allerdings lag der Grund weniger in der Kuppel selbst, als vielmehr im Zustand der Fundamente des Baus. Deren Geschichte beginnt mit der bekannten Weigerung Julius' II., dem Antrag Bramantes auf Versetzung des Petersgrabes stattzugeben⁵⁷. In der Folge sah sich Bramante genötigt, die Vierung Nikolaus' V. zu übernehmen und seine westlichen Kuppelpfeiler teilweise auf die damals gelegten Fundamente zu stellen; die östlichen kollidierten mit den Grundmauern der konstantinischen Basilika⁵⁸. Dazu kam die tückische Geologie des von unterirdischen Wasserläufen durchzogenen vatikanischen Hügels⁵⁹. In seinem Drang, den Bau emporwachsen zu sehen, scheint Bramante diesen Problemen nicht genügend Aufmerksamkeit gewidmet zu haben⁶⁰. Unmittelbar nach seinem Tod⁶¹ rief

man Fra Giocondo nach Rom: der Achtzigjährige galt nicht nur als der größte Vitruvkenner, sondern auch als der erfahrenste Tiefbau-Ingenieur seiner Zeit⁶². Er führte umfangreiche Nachfundierungsarbeiten durch⁶³. Dabei blieb es zunächst, so daß Mauerwerk und Erdreich Zeit fanden, sich zu setzen. Daß Bramantes Pfeiler auch ohne Kuppellast schwer gelitten hatten, bezeugen Serlio und Vasari⁶⁴. Dieser schreibt Antonio da Sangallo nochmals umfassende unterirdische Sicherungsarbeiten zu, die aber aus den von K. Frey publizierten Bauakten nicht eindeutig zu belegen sind; vielleicht bezieht Vasaris Bericht sich auf Sangallos Fußbodenerhöhung von 1543 ff., bei der Stabilitätserwägungen mitgespielt haben könnten⁶⁵.

Die Sorge um die Pfeiler war damit nicht ausgestanden. Giacomo Grimaldi berichtet Anfang des 17. Jahrhunderts, allerdings nur vom Hörensagen („ferunt“), über erneute Nachfundierungsarbeiten an drei Pfeilern unter der Bauleitung Michelangelos⁶⁶. 1585 hatte er selbst („me vidente“) Sicherungsarbeiten an den beiden Südpfeilern miterlebt; dabei waren Teile des südlichen Kuppeltragbogens eingestürzt⁶⁷. Man konnte von Glück sagen, daß nicht Michelangelos ganzer Tambour herunterkam: beim Aufgraben fand man einen der Pfeiler „senza fondamento“⁶⁸. Die über alte und neue Fundamentpartien gelegte Travertinbasis war gerissen, einzelne Platten hatten sich quergestellt und verklemmt⁶⁹. Das war drei Jahre vor Beginn der Arbeiten an der Einwölbung der Kuppel. Die wahren Probleme dieses in die Lüfte erhobenen Pantheons lagen unter der Erde.

56 Zur Priorität der Kuppel in Michelangelos letzten Lebensjahren s. H. MILLON / C. H. SMYTH, Pirro Ligorio, Michelangelo and St. Peter's, in: R. W. GASTON (ed.), *Pirro Ligorio Architect and Antiquarian*, Milano 1988, 216–286, 227.

57 Die bekannte Schilderung des Egidio da Viterbo, Metternich/Thoenes 45–48; über ihre Folgen in bezug auf die Fundamente ebd. 20 f. u. 48, Anm. 81.

58 Klar zu erkennen auf Uff. 20 A; die Position der Pfeiler entspricht der heutigen. Technische Details ihrer Konstruktion erörtert A. C. CARPICECI, *La Basilica Vaticana vista da Martin van Heemskerck*, in *Bollettino d'Arte*, 44–45, 1987, 67–120, 98.

59 Vgl. dazu den Bericht Fontanas über die Schwierigkeiten bei der Fundierung von Langhaus und Fassade: C. Fontana (wie Anm. 31), 289–294; ferner das Gutachten Borrominis über die Schäden an Berninis Campanile (H. BRAUER / H. WITTKOWER, *Die Zeichnungen des Gianlorenzo Bernini*, Berlin 1931, 37–43), und die zugehörigen Texte bei K. GÜTHLEIN, Quellen aus dem Familienarchiv Spada zum römischen Barock, 2. Folge, in: *Römisches Jahrbuch für Kunstgeschichte*, 19, 1981, 173–243, 231–36.

60 Ähnliches geschah beim Bau des Ostflügels des Belvederehofs, der später teilweise wieder einstürzte: Serlio (wie Anm. 6), 144; Vasari-Milanesi, IV, 157 f. Auch im Vatikanpalast mußte Sangallo nachfundieren (ebd. V, 465). Vgl. J. ACKERMAN, Notes on Bramante's bad reputation, in: *Studi bramanteschi, Atti del convegno internazionale 1970*, Roma 1974, 339–350; dazu Thoenes ebd., 395 (Zeugnisse zu Bramantes übermäßiger Eile).

61 Kaum schon vorher, wie in der neueren Literatur meist angenommen, unter Berufung auf K. Frey, der aber kein diesbezügliches Dokument mitteilt (K. FREY, Zur Baugeschichte des St. Peter, in: *Jahrbuch der preußischen Kunstsammlungen*, 31, 1910, Beiheft, ersch. 1911, 1–95, 50, Reg. 28). Bramante stirbt am 11. März 1514, Fra Giocondo ist in den „Iden des März“ noch in Venedig (Datum eines Briefs an

Leo X.); im Mai wird Navagero gefragt, ob der Frate schon abgereist sei. V. FONTANA, *Fra' Giovanni Giocondo*, Vicenza 1980, 80.

62 Straub (wie Anm. 44), 115 f. Sein berühmtestes Werk war der Pont Notre-Dame in Paris, eine beidseitig mit Häusern bebaute Steinbrücke mit fünf Pfeilern im Strombett. V. Fontana, 37–50; vgl. auch Mislin (wie Anm. 44), 152–154.

63 Vasari-Milanesi, V, 267; dazu Frey (wie Anm. 61), 52–54, Reg. 39–50.

64 Serlio (wie Anm. 6), 39; Vasari-Milanesi, V, 468.

65 Frey (wie Anm. 61), 33, 1912/13, 42 f., Reg. 327 a–g. Nach unbelegten Archivfunden Giovannonis ließ Sangallo im Raum zwischen den Fußböden Quermauern einziehen und die Hohlräume mit Erde ausfüllen. G. GIOVANNONI, *Spigolature nell'Archivio di S. Pietro in Vaticano* (Istituto di Studi Romani, Quaderni del Centro Nazionale di studi di storia dell'architettura, II), Roma 1941; ders., *Antonio da Sangallo il Giovane*, Roma 1959, I, 121 u. 147–149.

66 Grimaldi (wie Anm. 42), 464 f.; Metternich/Thoenes, 43, Anm. 71. Anderweitig nicht zu belegen. CONDIVI (*Vita di Michelangelo Buonarroti*, Firenze 1927, 35 f.) repetiert nur die bekannten Informationen über Bramantes konstruktive Fehlleistungen.

67 Grimaldi, a. a. O. Grimaldi wurde bereits 1581 oder 1582, mit 13 oder 14 Jahren, Akolyth der Sakristei von St. Peter. R. NIGGL, *Giacomo Grimaldi*, Phil. Diss. München 1971, 6.

68 Frey (wie Anm. 61), 95, Reg. 280.

69 „S'è rifondato uno delli 4 piloni della cupola grande, che s'è trovato esser senza fondamento, essendosi f[r]atta la platea di tevertini et incepatò con quadri di tevertino tra il vecchio et il novo“ (ebd.).

