Konrad Peters, Münster / Werner Peters, Berlin

Bogenabsteckung in der Antike am Beispiel des Pantheons in Rom

1 EINFÜHRUNG

Die Bogenabsteckung ist erst seit Beginn des Eisenbahnbaus fester Bestandteil der Ingenieurvermessung. Sie hat ihren Ursprung in der Antike, wie zahlreiche Brücken, Aquädukte, Theater und Tempel belegen. Das bedeutendste Bauwerk für Untersuchungen zur Geschichte der Bogenabsteckung ist das Pantheon (griech.: ein „allen Göttern" geweihter Tempel) [1]. Es ist nicht nur das einzige, noch vollständig erhaltene Bauwerk des alten Roms, sondern auch der größte Kuppelbau der Antike, der zudem „die Revolution des Bogens" als neuen Baustil besonders gut dokumentiert.

2 DIE GESCHICHTE DES PANTHEONS

Das im berühmten Marsfeld [2] gelegene Pantheon hat eine wechselvolle Geschichte. Der erste Tempelbau, bei dem nicht sicher ist, ob es sich dabei schon um einen Rundbau handelte [3], erfolgte von 27 bis 25 v. Chr. auf Anregung von Agrippa [4], der den Bau aus seinem Privatvermögen finanzierte. 22 und 80 n. Chr. bereits beschädigt, wurde es 110 n. Chr. infolge eines durch Blitzschlag verursachten Brandes völlig vernichtet. 115 bis 125 n. Chr. wurde unter Kaiser Hadrian der Neubau des Pantheons in der Ausführung errichtet, die im wesentlichen heute noch zu sehen ist (Bilder 1 und 2). Nach einigen

Bild 1
Das Pantheon von Norden mit Vorhalle und Zentralbau

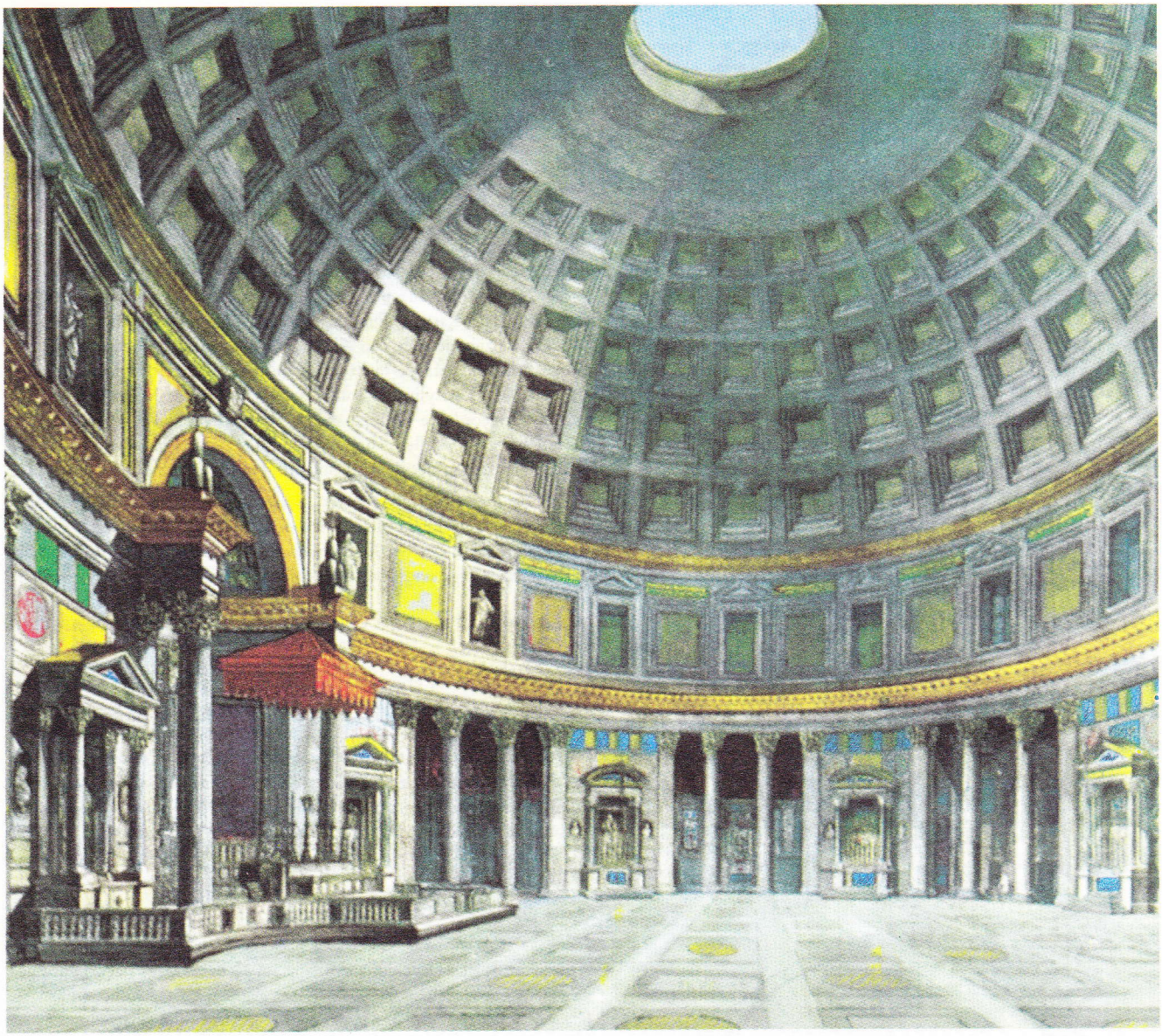

Bild 2
Innenraum des Pantheons mit Kuppel und Bodenmosaik

Reparaturen ging das Pantheon 608 in päpstlichen Besitz über und wurde zur Kirche Santa Maria Rotunde umfunktioniert. Unter Papst Urban VIII. (1623 bis 1644) wurden die vergoldeten Bronzeplatten der Außenkugel entfernt und durch einen wasserdichten Estrich ersetzt. Die heutige Gestaltung des Innenraums erhielt das Pantheon 1747 durch den Umbau, den Papst Benedikt XIV. veranlaßte. Agrippa, der Erbauer des ersten Tempels, wird heute noch in einer Giebelinschrift geehrt: „M. Agrippa, des Lucius Sohn, zum drittenmal Konsul, hat es gemacht" [5].

3 BAUBESCHREIBUNG

Dem Betrachter zeigt sich das Pantheon von außen als ein zylindrischer Baukörper (Rundbau), der durch einen Kugelabschnitt abgedeckt ist. Als Eingang sieht er an der Nordseite eine an griechische Tempel erinnernde offene Nordhalle, deren Vorderseite acht Säulen aufweist, die einen Querbalken tragen, über dem sich ein flacher dreieckiger Giebel befindet (Bild 1). Auf dem Querbalken ist die Agrippainschrift eingemeißelt. Die Vorhalle mit einer Grundfläche von ca. 39 × 14 m wird im Inneren von weiteren acht Säulen getragen. Die Ziegelwand des Rundbaus ist 6,20 m breit. Da der Innenraum einen Durchmesser von 43,30 m aufweist, ergibt sich durch Addition mit der Mauerbreite ein äußerer Durchmesser von 55,70 m. Das aufgehende Mauerwerk hat eine Höhe von 30,40 m und liegt damit um 8,75 m über der Mitte des inneren Vertikalkreises, der im Innenraum den Anfangspunkt der halbkreisförmigen Kuppel bildet (Bild 2).

Die Kuppel ist der schwierigste Bauteil des Pantheons. Sie weist oben eine Kreisöffnung mit einem Durchmesser von 8,72 m auf, die als Lichtöffnung und oberer Druckring dient. Ihre Konstruktion besteht aus einem System von 28 radial zum Scheitelpunkt aufsteigenden Längsrippen, die am Druckring enden. Sie sind zusätzlich durch Querrippen versteift. Durch diese Konstruktion entstehen von unten nach oben immer kleiner werdende Kassetten, die aus einer inneren und äußeren Schale aus Gußbeton bestehen. Das Material hierzu besteht im wesentlichen aus Bims, gemahlenen Ziegeln und Tuffstein. Die äußere Kuppelschale zeigt im oberen Teil einen Bogen, der dann in eine immer breiter werdende treppenartige Konstruktion aus Stufenringen übergeht, die aus Natursteinen bestehen. Die eigenartige Konstruktion der Kuppel erfolgte aus statischen Gründen, denn auf dem 6,2 m breiten Mauerring wurde durch die senkrechte Last der Stufenringe der nach außen wirkende Druck der Kuppelschale aufgehoben [6].

Die sechzehnsäulige Vorhalle ist ein dreischiffig ausgebildeter Innenraum. Der Eingang in die Rotunde wird von zwei Wandnischen in den

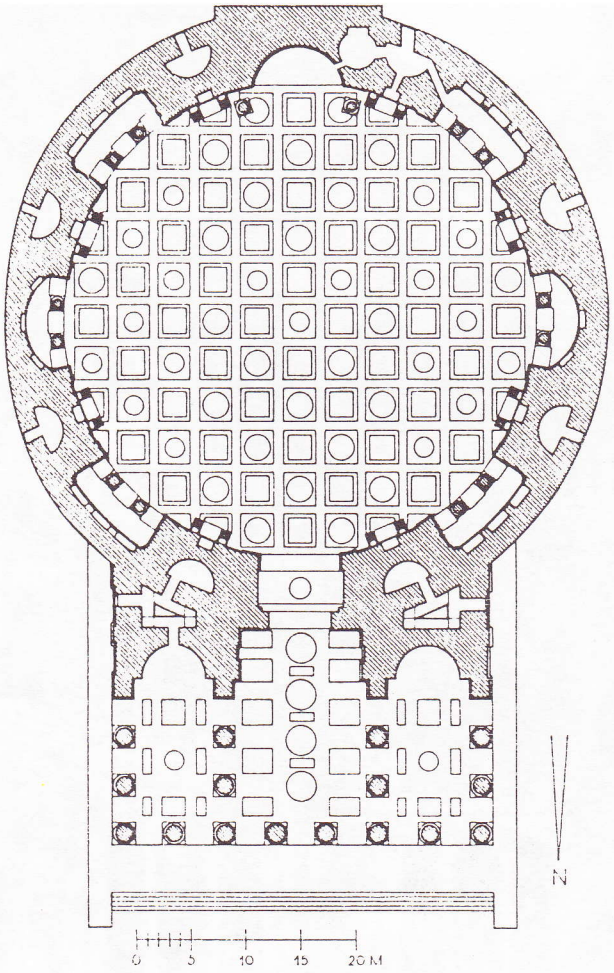

Bild 3
Grundriß des Pantheons

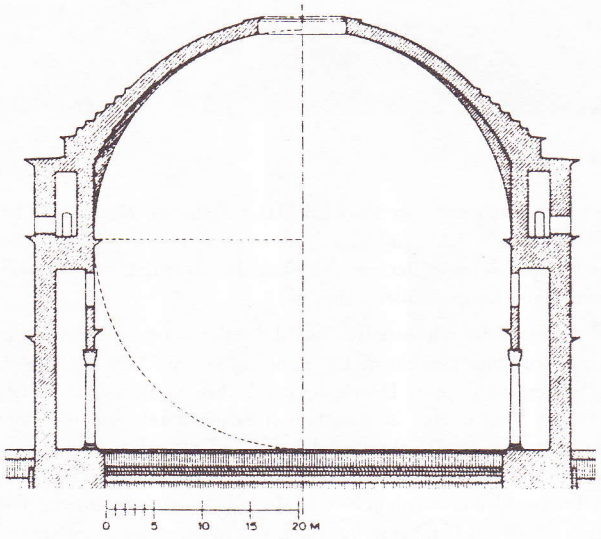

Bild 4
Querschnitt des Pantheons mit Vertikalkreis

flach gedeckten Seitenschiffen flankiert und erfolgt durch Bronzetore. Dem Besucher, der die Rotunde betritt, vermittelt sich ein eindrucksvolles Bild von architektonischer Schönheit und eine künstlerisch und ästhetisch vollendete Raumgestaltung (Bild 2).

Das Bodenmosaik des Innenraums zeigt eine großflächige Gliederung in Quadraten, die jeweils eine Fläche von ca. 3 × 3 m aufweisen. Es hat eine vollkommene Symmetrie in der Anordnung seiner Muster, die jeweils im großen Quadrat als kleiner Kreis, Quadratausschnitt und größerem Kreis zu sehen sind (Bild 3). Die Anordnung der Quadrate belegt, daß die Planung und Absteckung des Pantheons mit Hilfe des Achsenkreuzes erfolgte, das eine Nordorientierung aufweist [7].

Die Innenwand zeigt in ihrem unteren Teil gegenüber dem Eingang eine kreisförmige Nische und links und rechts von der Nordachse drei Nischen, wobei letztere jeweils zwei Säulen aufweisen, die den Innenkreis von außen tangieren. Die Nischen und der Eingang (also acht Öffnungen) haben einen Winkel von 45° zueinander; ein Sachverhalt, der wieder die absolute Symmetrie des Bauwerks belegt. Wozu dienten die Nischen? Wahrscheinlich zur Aufnahme von Standbildern von Göttern und Kaisern. Die umfangreiche Diskussion hierzu bei Pauly/Wissowa zeigt jedoch, daß die Frage, wer oder was sich ursprünglich in den Nischen befand, nicht exakt beantwortet werden kann [3]. Der obere Teil des Zylinders enthält im Mauerwerk eine in gleichmäßiger Folge angeordnete Gruppe von Pilastern [8] und Fensternischen. Sie sind an zwei Stellen von Tonnenstützen durchbrochen: über dem Eingang und an der ihm gegenüberliegenden Rundnische.

Das Pantheon wirkt von außen, wenn man die Vorhalle ausklammert, mit seinen gewaltigen Mauern wie eine Festung. Der Besucher ist dann erstaunt, wenn sich der Innenraum als ein Kunstwerk von unvergleichbarer Harmonie und Schönheit darstellt.

4 HORIZONTAL- UND VERTIKALKREIS – DIE GRUNDIDEE DER PLANUNG

Im Gegensatz zur griechischen Baukunst der geraden Linie (senkrechte Säulen, waagrechte Querbalken und dreieckige Giebel) bedienten sich die Baumeister Roms, anknüpfend an orientalische und etruskische Überlieferungen, immer mehr des Bogens (arcus) und entwickelten damit einen neuen, epochemachenden Baustil, der unter dem Begriff „Rotunde" (Rundbau) die Baukunst bis in die heutige Zeit stark beeinflußte. Dabei diente besonders das Pantheon als „Prototyp" für viele nachfolgende Bauwerke [9].

Die Umfunktionierung des Bogens zur Kuppel war das neue Element, das die Baukunst revolutionierte. Die Grundidee hierzu läßt sich wie folgt beschreiben:

„Indem sie den Drucklinien entlang ein Netzwerk aus Backsteinrippen legten, entwickelten die Römer das gegliederte Gewölbe; indem sie zwei zylindrische (Tonnen-)Gewölbe rechtwinklig überschnitten, erzeugten sie ein Netzwerk von Rippen und Linien, das einen schwereren Oberbau tragen und einen großen Seitendruck aushalten konnte" [10].

Die geometrische Grundlage für den Entwurf des Pantheons bilden Horizontal- und Vertikalkreis mit jeweils einem Durchmesser von 43,30 m für den Innenraum des Bauwerks. Der Vertikalkreis ist der Querschnitt einer Kugel, die den Horizontalkreis genau in seinem Mittelpunkt berührt (Bild 4).

5 PLANUNG UND ABSTECKUNG DES PANTHEONS

Das Pantheon ist heute ein Denkmal, das in Vollendung fast die gesamte Kunst des Bauens in der Antike beinhaltet. Ebenso wie bei einem heutigen Bauvorhaben waren auch für das Pantheon exakte Planungen notwendig, deren Ergebnisse in entsprechenden Planunterlagen mit Lage- und Höhendaten dargestellt wurden [11]. Die Konstruktion von komplizierten Bauteilen erfolgte sogar im Maßstab 1 : 1 [12].

Wie und mit welchen Hilfsmitteln die Architekten in der Antike ihre Planungen und Absteckungen durchführten, ist das schwierigste Problem, das sich in der Bauforschung stellt. Es sind keine Pläne überliefert, und die wenigen zeitgenössischen Berichte, wie in der Antike gebaut wurde, beziehen sich auf kein bestimmtes Bauwerk. So auch die zehn Bücher des römischen Baumeisters Vitruv (1. Jh. v. Chr.) [13]. Sie sind das einzige umfassende Werk über römische Baukunst, das zwei Jahrtausende bis in unsere Zeit überstand.

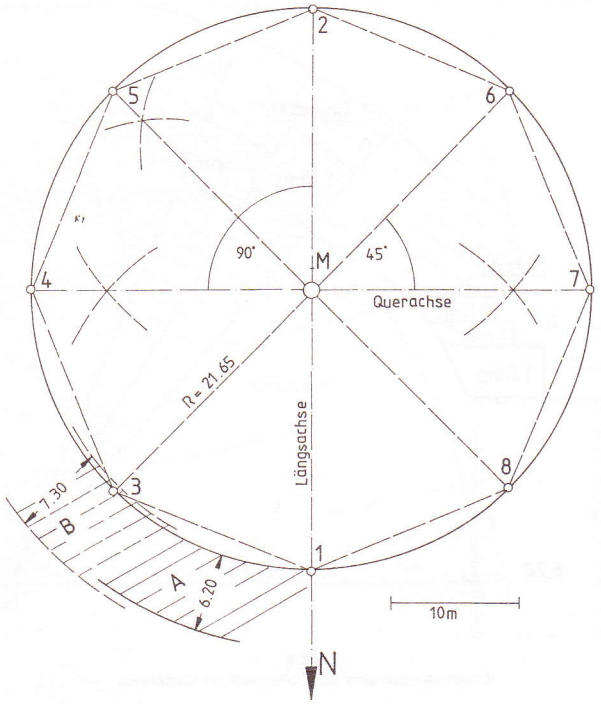

Bild 5
Planung und zeichnerische Konstruktion des Grundrisses
M = Mittelpunkt, A = Kreisringe für das aufgehende Mauerwerk
B = Kreisringe für das Fundament
1 = Eingang, 2 = Hauptnischen und 3–8 = Seitennischen

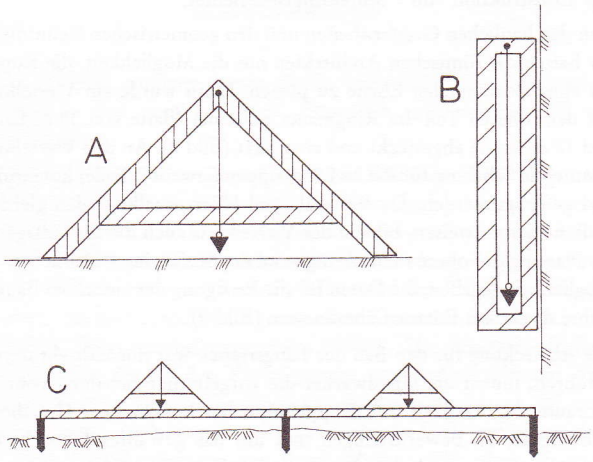

Bild 6
Meßgeräte für die Bestimmung der Waag- und Senkrechten
A = Setzwaage (Waagrechte)
B = Lotwaage (Senkrechte) und
C = Höhenübertragung mit Setzwaage und Richtscheit

Für die Planung und Ausführung eines Bauwerks sind neben Zeichen- und Meßgeräten auch bestimmte geometrische Kenntnisse erforderlich, die Vitruv im ersten Abschnitt seines ersten Buches beschreibt:

„Die Geometrie leistet der Baukunst mancherlei Hilfe: Erstlich lehrt sie den Gebrauch des Richtscheits (euthigrammus) und des Zirkels (circinus), womit die Grundrisse der Gebäude auf das allerleichteste verfertigt werden; und zweitens die Handhabung des Winkelmaßes (norma), der Setzwaage (libra) und der Schnur (linea)" [14].

Neben den schriftlichen Überlieferungen gibt es eine Anzahl archäologischer Funde und Darstellungen auf Grabdenkmälern, die Zeugnis über die Zeichen- und Meßgeräte der römischen Architekten vermitteln. Sie sind in den Veröffentlichungen „Vermessungsgeräte der Römer" [15] und „Römische Vermessungsgeräte im Museum zu Budapest" [16] beschrieben und dargestellt.

Da aus der Antike keine Planunterlagen für bestimmte Bauwerke überliefert sind, setzt ihre Erforschung zunächst eine Neuvermessung voraus. Meßdaten erlauben die zeichnerische Rekonstruktion und sind auch der Maßstab für bestimmte Detailaussagen, wie z. B. für die Genauigkeit, mit der ein Bauwerk errichtet wurde. In Zusammenhang mit den baulichen Möglichkeiten, geometrischen Kenntnissen und Geräten ihrer Erbauungszeit gestellt, sind sie die Grundlage für die nachfolgende Analyse über die Planung und Absteckung des Pantheons.

5.1 Planung des Grundrisses

Am Beginn einer Planung steht die Untersuchung, ob sich die Planungsidee in der Natur im Hinblick auf den Umfang (Lage und Höhe) sowie auf die Tragfähigkeit des Untergrundes hin verwirklichen läßt. Für die Erbauer des Pantheons war sie vom Agrippabau her bereits gegeben. Die Planung des Pantheons verdeutlichen die Bilder 3 und 4, die nach den aus einer Neuvermessung erhaltenen Daten gefertigt wurden [17].

Der Grundriß ist der Teil der Planung, der die Grundlage für den Gesamtentwurf stellt. In Bild 5 wird nachvollzogen, wie ihn die Planer mit Hilfe von Dreieck und Zirkel geometrisch entwickelten. Nach Konstruktion des Achsenkreuzes durch Bildung der Mittelsenkrechten im Punkt M und Zeichnen des inneren und äußeren Kreisrings erfolgt durch Halbieren der vier Rechtwinkel die Festlegung der Nischenpunkte 1 bis 8 auf dem inneren Kreisring. Dadurch entsteht ein Achteck innerhalb des Kreises, bei dem die Seiten gleichlange Kreissehnen darstellen.

5.2 Absteckung des Grundrisses

Vor der Absteckung erfolgte der Bau des 7,30 m breiten Fundaments sowie die Verlegung des Grundsteinpflasters innerhalb des Kreisringes. Dazu wurden die Kreisbögen mit einer in seinem Mittelpunkt befestigten Schnur, die eine Meßmarke bei 21,10 m für den Innen- und bei 28,40 m für den Außenkreis aufweist, abgesteckt. Die Höhenlage des Fundaments und des Grundsteinpflasters konnte mit Setzwaage und Richtscheit oder mit einem Nivelliergerät bestimmt werden (Bild 6). Experimente mit beiden Geräten belegen, daß bei Messung in zwei Lagen (Drehung der Geräte um 180°) eine Genauigkeit im Bereich von ± 2 bis 4 mm zu erreichen war [18]. Auf dem in der Waage liegenden Fundament erfolgte die Absteckung des Grundrisses nach dem in Bild 5 dargestellten Entwurf. Hierbei wurden nach dem vorhergehend schon beschriebenen Verfahren die beiden Radien der Ringmauer (Breite = 6,20 m) auf das Fundament übertragen und eingeritzt [19].

Die Konstruktion des Achtecks (Punkte 1 bis 8) auf dem Innenkreis erfolgte durch Halbierung der vier Rechtwinkel durch Bogenschlag mit der Schnur. Bei Prüfung des abgesteckten Achtecks müssen die Seiten die gleiche Länge aufweisen und die gegenüberliegenden Punkte jeweils mit dem Kreismittelpunkt eine Gerade bilden.

5.3 Messungen für den Bau der Ringmauer

Die 30,40 m hohe und 6,20 m breite Ziegelringmauer (Rotunde) konnte nunmehr unter Aussparung der Nischen, Pilaster und Fenster (vgl. Baubeschreibung) hochgezogen werden. Dabei mußten die Radien von Außen- und Innenkreis sowie die Senkrechte für eine Höhe von 30,40 m exakt eingehalten werden. Der Absteckvorgang bedingte zunächst die Herstellung und Vermarkung (Höhe) der Senkrechten in den Punkten 1 bis 8 (Bild 5) mit Hilfe eines schweren Lotes. Für das Hochmauern des Kreisrings benötigten die Handwerker verschiebbare Holzkonstruktionen (Lehren) mit den Radien des Innen- und Außenkreises. Bild 7 zeigt die Konstruktion der Lehren, die im Maßstab 1 : 1 an den eingeritzten Kreisbögen des Grundrisses erfolgte. Sie wurden an den Senkrechten von jeweils zwei aufeinanderfolgenden und bereits vorgemauerten Punkten des Achtecks angelegt. Damit war die Voraussetzung gegeben, daß die Ringmauer in der Senkrechten und im Bogen

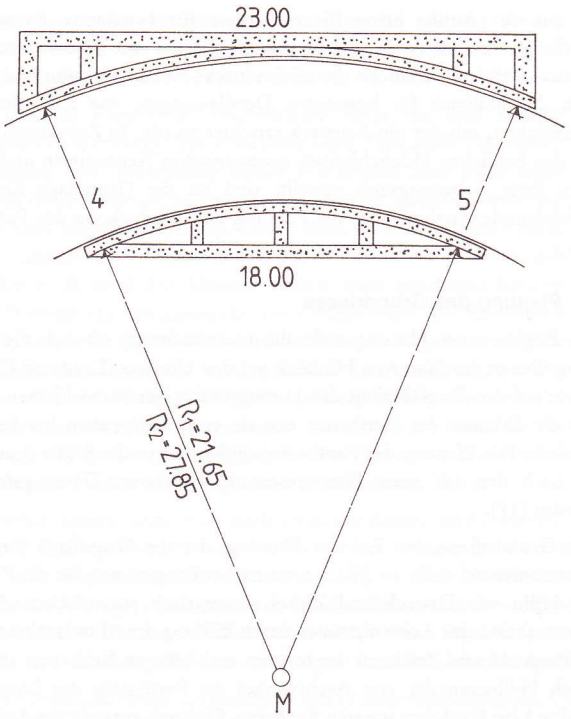

Bild 7
Konstruktion der Holzlehren für das aufgehende Mauerwerk am Innen- und Außenkreis

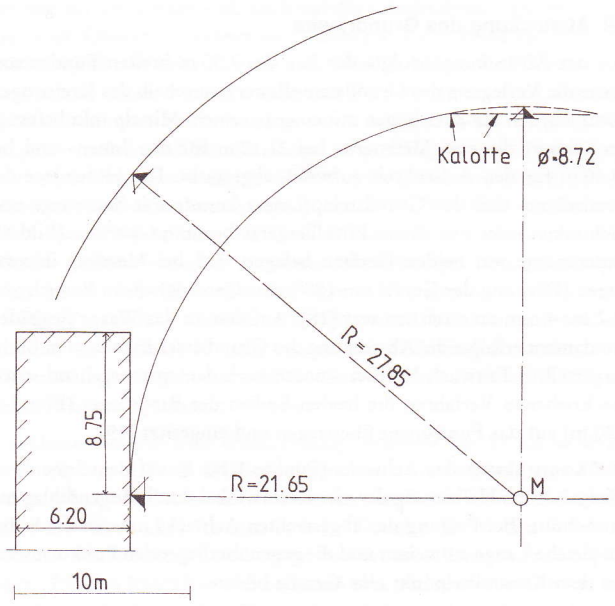

Bild 8
Der in der Waagrechten abgesteckte Viertelkreis als Grundlage für die Konstruktion der Kuppelbauteile

hochgezogen werden konnte. Nach Fertigstellung waren Höhe und Waagrechte der 6,20 m breiten Mauer zu prüfen, da sie die gewaltige Kuppel des Bauwerks tragen mußte.

5.4 Planung und Absteckung der Kuppel

Die Kuppel war für die Planung, Absteckung und Ausführung der schwierigste Teil des Pantheons, da sie wegen der Statik nur als Ganzes gebaut werden konnte [20]. Die Analyse der Planung führt zu der Erkenntnis, daß die gesamte Kuppel von innen als Verschalung vorgebaut und der eigentliche Bau von außen auf der Schalung erfolgte. Die Kuppel zeigt ein Konstruktionssystem von 28 radial zum Scheitelpunkt aufsteigenden Längsrippen, die am Druckring (Kalotte) enden und durch Querrippen versteift sind. Bild 4 zeigt im Querschnitt die

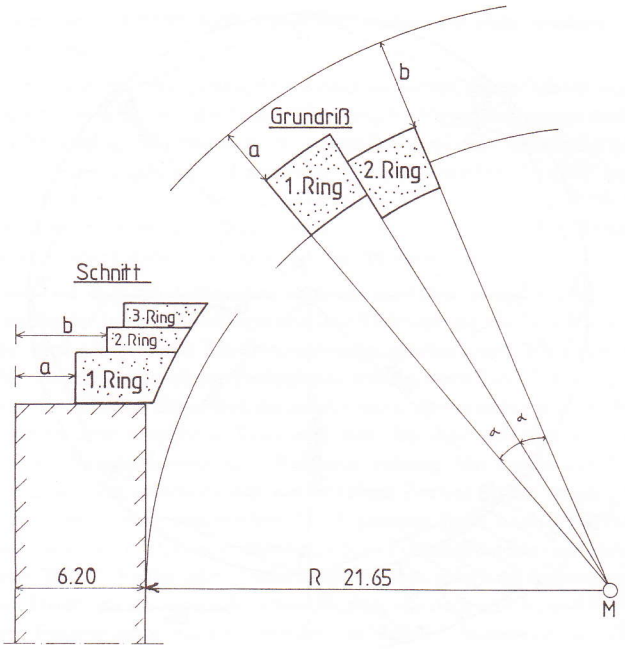

Bild 9
Konstruktionsschema der Stufenringe am Viertelkreis

Planung einer Längsrippe, für die der obere Halbkreis des Vertikalkreises die Grundlage bildet. Um den Außendruck der schweren Kuppel aufzufangen, wurde die Ringmauer um 8,75 m über den Ansatzpunkt der Kuppel hochgezogen und auf der Ringmauer noch eine treppenartige Konstruktion von 7 Stufenringen errichtet.

Von den baulichen Gegebenheiten und den geometrischen Kenntnissen her hatten die römischen Architekten nur die Möglichkeit, die Kuppel auf einer horizontalen Ebene zu planen. Dazu wurde ein Viertelkreis mit dem oberen Teil der Ringmauer auf einer Platte von 35 m Länge und 12 m Breite abgesteckt und eingeritzt (Bild 8). An den Viertelkreis konnte die Schalung für die 28 Längsrippen (jeweils 2 Teile) konstruiert und gefertigt werden. Da Vertikal- und Horizontalkreis den gleichen Halbmesser aufweisen, bildete der Viertelkreis auch die Grundlage für die Planung des oberen Druckrings und der Stufenringe. Damit war die Möglichkeit gegeben, die Daten für die Fertigung der einzelnen Bauelemente direkt am Entwurf abzumessen (Bild 9).

Die Absteckung für den Bau der Längsrippen war nur indirekt durchzuführen, indem die Handwerker die vorgefertigte Schalung vom Innenraum der Rotunde zur Kuppelmitte hin hochbauten. Um diesen Arbeitsgang zu bewerkstelligen und um das gewaltige Gewicht der Kuppel zu tragen, mußte die gesamte Schalung gut abgestützt sein. Hierzu diente ein Gerüst aus senkrechten Stämmen, Längs-, Hoch- und Querversteifungen sowie eine Anzahl von Stütz- und Arbeitsplattformen. Bild 10 zeigt im Querschnitt die Abstützung für einen Viertelkreis der Kuppel. Die Stützen wurden ebenso wie der Mittelpunkt der Kuppel von der Grundfläche durch Loten und Höhenmessung genau senkrecht nach oben bestimmt. Nach dem Bau des oberen Druckrings erfolgte das Hochziehen und Justieren der Schalung für die 28 Längsrippen, nachdem ihre Abstände zueinander auf der Ringmauer und am Druckring abgesetzt und vermarkt waren. Die Breite der Abstände war rechnerisch oder durch Messung (mehrere Versuche) am oberen Druckring und Viertelkreis zu ermitteln [21]. Nach Prüfung der Absteckung und der Tragfähigkeit der Schalung konnte mit dem Kuppelbau begonnen werden.

6 DIE SCHNUR – DAS „MESSGERÄT" FÜR DIE ABSTECKUNG DES PANTHEONS

Das Wort Lineal (= Gerät für das Zeichnen einer Geraden) leitet sich von dem lateinischen Begriff „linea" (Schnur) ab und wird von Vitruv als Meßgerät benannt [14]. Die Schnur wurde über Jahrtausende für die

Längenmessung und Absteckung sowie in Verbindung mit dem Lot als Meßgerät (z. B. bei Setz- und Lotwaage) benutzt [22–24]. Fast alle Messungen für den Bau des Pantheons konnten mit Hilfe der Schnur, die als „Theodolit" des Altertums gilt, ausgeführt werden. Nach Bild 11 waren folgende Messungen mit der Schnur möglich: Richten und Festlegen von Geraden (A), Übertragen von Kreisbögen und Bogenabschnitten auf einen Baukörper (B), Herstellung von langen Senkrechten (C), Absteckung eines Rechtwinkels und Halbierung eines Winkels durch Bogenschlag (D), Bestimmung der Waagrechten zwischen zwei gleich hohen Bauteilen (E), Längenmessung mit dem Knotenseil (F) und Absteckung eines Rechtwinkels im Verhältnis 3, 4 und 5 (G).

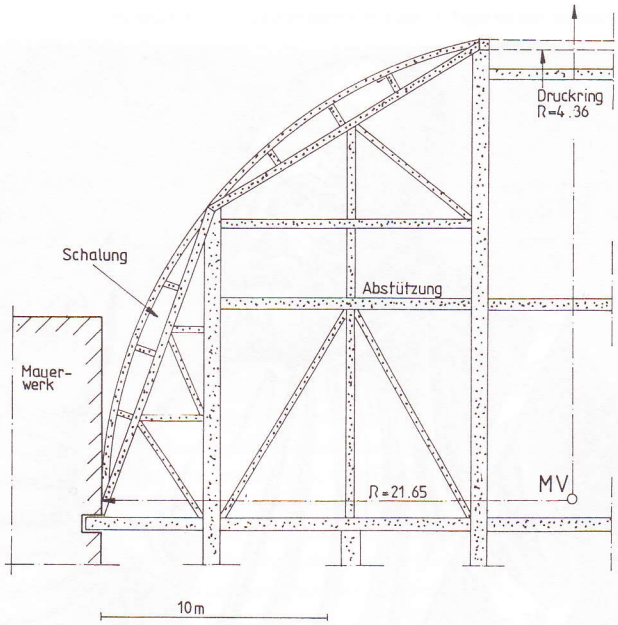

Bild 10
Querschnitt der Kuppel mit Verschalung und Abstützung für eine Längsrippe

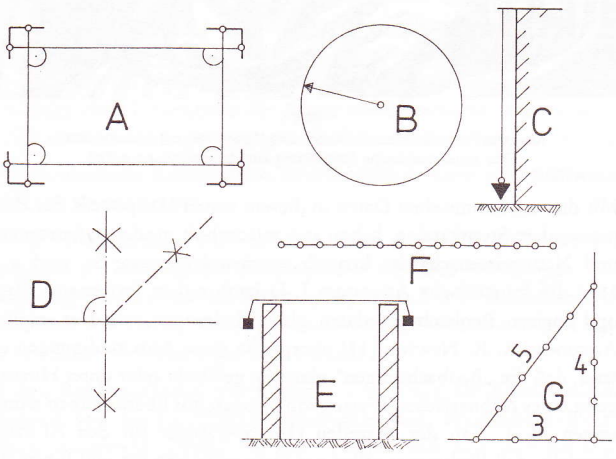

Bild 11
Beispiele für den Einsatz der Schnur in der Bauvermessung

7 SCHLUSSBETRACHTUNG

Vom Umfang und der Aufgabenstellung her konnten die Geschichte des Pantheons und Details seiner Bauausführung nur kurz dargestellt werden. Hierzu geben die Bücher von MacDonald [25] und Ruggieri [26] besonders gute Hinweise und bildliche Darstellungen. Den Schwerpunkt der Arbeit bildete die Untersuchung, wie und mit welchen Geräten die Planung und Absteckung des Pantheons erfolgte. Die aus der Erbauungszeit überlieferte Literatur enthält hierzu nur wenige und allgemeine Angaben, die jedoch ausreichen, in Auswertung der aus der Neuvermessung vorliegenden Daten und Planunterlagen entsprechende Analysen durchzuführen. Hierbei war die Erfahrung des in der Bauvermessung tätigen Ingenieurs eine notwendige und wertvolle Hilfe.

Abschließend bleibt festzustellen, daß die römischen Architekten hervorragende Arbeit leisteten, denn das Pantheon mit seiner gewaltigen Kuppel überstand fast 2000 Jahre den Wirren der Zeit und den Angriffen der Natur. In seiner formvollendeten Schönheit ist es ein Denkmal von höchstem kulturellen und baugeschichtlichen Wert.

LITERATUR UND ANMERKUNGEN

[1] Irmscher, J.: Lexikon der Antike. Bayreuth 1985. S. 407.

[2] Das Marsfeld diente zur Abhaltung von Volksversammlungen, militärischen Übungen und sportlichen Zwecken.

[3] Pauly/Wissowa (Hrsg.): Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft. Bd. 36, 2. Stuttgart 1949. S. 730–742

[4] Agrippa (64 bis 12 v. Chr.), Feldherr und Staatsmann, Freund und Schwiegersohn von Kaiser Augustus. Er reorganisierte u. a. das Bauwesen und war verantwortlich für die Neuvermessung des römischen Weltreiches. Neben Augustus wohl der bedeutendste Mann seiner Zeit.

[5] Nack/Wägner: Das römische Weltreich. Stuttgart/Hamburg (o. J.) S. 252 f.

[6] Atlas zur Baukunst. Bd. 1. München 1981. S. 252 f.

[7] Nach Pauly/Wissowa ist das Pantheon nord-südlich mit einer Abweichung von 5° gegen Westen orientiert.

[8] Wandpfeiler mit Basis und Kapitell.

[9] Dies belegen zahlreiche römische Tempel, Thermen und Theater. Auch Michelangelo benutzte das Pantheon als Vorbild für den Bau der Kuppel des Petersdoms. In Paris wurde 1791 die Kirche St. Genoveva in „Pantheon francais" umbenannt. Eine Reihe von kleineren Nachbauten aus der Zeit des Klassizismus, z. B. in Potsdam, verdeutlichen, daß dieser Baustil noch weit in die Zeit wirkte. Selbst Bauten der Jahrhundertwende enthalten vielfach noch die klassische Rotunde als Bauteil, wie das Stadtmuseum in Dortmund zeigt.

[10] Durant, W.: Der Aufstieg Roms und das Imperium. Bd. 4. München 1935. S. 389.

[11] Als Zeichenträger kannten die Römer Pergament (verarbeitete Tierhaut), Marmor- und Kupferplatten sowie Papyrus (ein aus der Papyrusstaude gewonnenes Schreibblatt).

[12] Haselberger, L.: Antike Planzeichnungen am Apollontempel von Didyma. In: Spektrum der Wissenschaft. 4/1985. Hier sind Bauteile im Maßstab 1 : 1 als Entwurf zu sehen.

[13] Vitruv: De architectura libri decem., Übers.: E. Stürzenacker. Essen 1938

[14] Mit Diopter, Wasserwaage und Chorobat berichtet Vitruv im 8. Buch über drei Nivelliergeräte.

[15] Grewe, K.: Vermessungsgeräte der Römer. In: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik. 11/91. S. 106–116

[16] Peters, K.: Römische Vermessungsgeräte im Museum in Budapest. In: Verm.-Ing. 3/90. S. 103–105.

[17] Andrea Palladio (1508–1580), einer der bedeutendsten Baumeister der Spätrenaissance in Italien, führte bereits während seiner Studienzeit in Rom eine exakte Aufmessung des Pantheons durch.

[18] Peters, K.: Nivelliergeräte des Altertums. In: Verm.-Ing. 3/1987. S. 96–109.

[19] Das Ritzverfahren ist an vielen Bauwerken der Antike nachgewiesen.

[20] Die Römer besaßen keine Statikkenntnisse, wie sie heute üblich sind. Sie hatten eine Statik aus im Experiment gewonnenen Erfahrungen.

[21] Colerus, E.: Von Pythagoras bis Hilbert. Wien 1937. S. 100 f. In der Antike kannte man den Näherungswert der Zahl π. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß die Bauleute die Abstände durch Messung ermittelten.

[22] Im alten Ägypten führten die Landmesser die Berufsbezeichnung Harpedonapt (= Seilspanner).

[23] Minow, H.: Vermessungen mit der Zwölfknotenschnur und andere historische Konstruktionen mit dem Meßseil. Dortmund 1992

[24] Nachmessungen an Großbauten des Altertums (z. B. große Pyramide bei Gise) belegen, daß die Baumeister mit dem einfachen Meßgerät „Schnur" eine große Genauigkeit erreichten.

[25] MacDonald, W. L.: The Pantheon. London 1976

[26] Ruggieri, G.: Das Pantheon. Rom 1990

BILDERNACHWEIS

Bilder 1 und 2: aus Santini, L.: Rom und Vatikan. Rom 1972

Bilder 3 und 4: aus Propyläen Kunstgeschichte. Bd. 2. Berlin 1984

Bilder 5 bis 11: Entwurf und Zeichnung: die Verfasser.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Konrad Peters, Wiegandweg 63, 4400 Münster
Dipl.-Ing. Werner Peters, Titlisweg 51, 1000 Berlin 42.