

Die Geheimnisse des Florentiner Domes lüften

– Teil 2 –

Von Karel Vereycken

Ergänzend zu der Diskussion des LaRouchePAC Policy Committee über die grundsätzliche Bedeutung Filippo Brunelleschis, die wir in der letzten Ausgabe abgedruckt haben, bringen wir einen zweiteiligen Aufsatz von Karel Vereycken über Brunelleschis Leistung beim Bau des Florentiner Doms, der ursprünglich schon 2004 in der Neuen Solidarität veröffentlicht wurde.

Brunelleschi hatte sich in der Ausschreibung des Kuppelbaus mit seinem Konzept durchgesetzt und sollte nun eine Kuppel errichten, die zusätzlich zu ihrem eigenen Gewicht die beträchtliche Last der krönenden Laterne tragen konnte. Dabei stand er vor den folgenden Schwierigkeiten:

1. Stützpfeiler waren laut Vertrag verboten, und da die Kuppel ab einer Höhe von 53 m gebaut werden mußte, war es ohnehin nicht möglich, vom Erdboden ausgehende schwere Pfeiler zu bauen.
2. Eine Kuppel, ohne Stützgerüst durch Aufschichten horizontaler Ringe aus Ziegelsteinen errichtet, wäre nicht in der Lage, die Laterne zu tragen.
3. Ein kettenlinienförmiges Kuppelgewölbe (in diesem Fall ein Katenoid in Form einer umlaufenden wiederkehrenden Kettenlinie) bot auch keine wirkliche Lösung. Sie könnte ihr eigenes Gewicht tragen, wäre aber genausowenig in der Lage, das zusätzliche Gewicht der Laterne auszuhalten.

Brunelleschi mußte eine besondere Struktur physikalischer Geometrie erfinden, eine "selbsttragende Fläche", die leicht genug war, ihr Eigengewicht zu tragen, aber gleichzeitig stark genug, die Laterne zu tragen, und darüber hinaus stabil genug, um während des Baus ohne Stützgerüst auszukommen.

Die "Winkelskugel"

Bevor wir weitere Anwendungen des Kettenlinienprinzips in der Architektur untersuchen, wollen wir das Konzept der "sich selbst tragenden Fläche" näher betrachten. Angeregt von der Bauweise der des Pantheons in Rom, versuchte Brunelleschi zunächst, die Aufgabe mithilfe des Winkelskugelkonzepts oder *sphericam angularem* zu lösen. Dabei geht es um das Problem, wie man die selbsttragenden Eigenschaften und die geometrische Kohärenz der Kugel - fast wie eine perspektivische Projektion - auf die acht Abschnitte der Schalen übertragen kann. In diesem Sinne kann man sagen, die Kuppel setzt sich nicht aus zwei Schalen mit einem leeren Raum dazwischen zusammen, sondern aus drei Schalen, deren

dritte man als "vorgestellte Kugelschale" bezeichnen könnte (Abb. 14). Der britische Ingenieur Rowland Mainstone, der Mitte der 70er Jahre die Kuppel genau vermessen hat, bestätigt, daß die innere Schale gebaut ist, "als wäre sie eine Rundkuppel ... von der aber innen wie außen Teile weggeschnitten

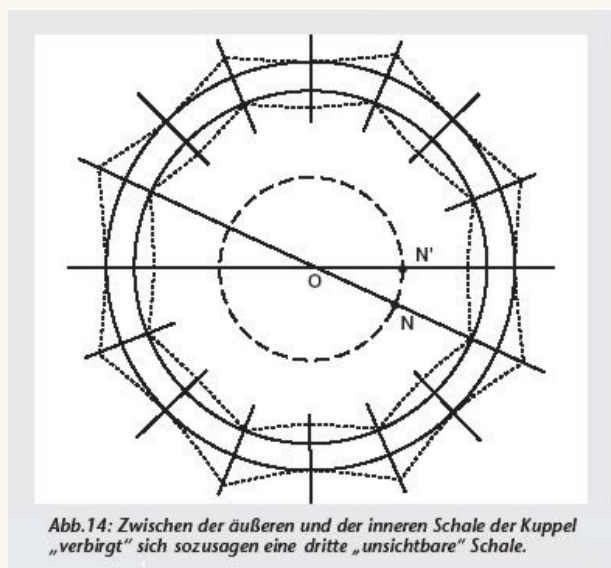


Abb.14: Zwischen der äußeren und der inneren Schale der Kuppel „verbirgt“ sich sozusagen eine dritte „unsichtbare“ Schale.

wurden, um die oktagonale Form des Klostergewölbes zu vermeiden".

Brunelleschi und seine Freunde wollten zugleich auch die traditionelle religiöse Verwendung der Symbole weiterentwickeln, wobei die Kreisbewegung, die als Ausdruck göttlicher Vollkommenheit galt, mit der geradlinigen Bewegung als Ausdruck menschlicher Unvollkommenheit zusammentrifft. Nikolaus von Kues sollte dieses Konzept, auf den von Archimedes im Altertum aufgestellten geometrischen und mathematischen Problemstellungen aufbauend, später in seinen Überlegungen zur "Quadratur des Kreises" aufgreifen und weiterentwickeln.

Zudem ist ein Gotteshaus zwangsläufig eine Schnittstelle zwischen Mensch und Gott. Die transzendente, göttliche "Sphäre" wird uns also nicht loslassen.

Die harmonischen Eigenschaften der Kettenlinie

Um zu verstehen, wie Brunelleschi zu seiner einzigartigen Lösung gelangte, müssen wir ein wenig ausholen und nochmals auf die Eigenschaften der Kettenlinie eingehen. Wenn man damit gedanklich herumspielt, entdeckt man vielleicht die folgenden wesentlichen Eigenschaften:

1. Gleichgewicht

Wenn man eine Kette zwischen zwei Eisenstiften an einer Wand aufhängt (Abb. 15) und dabei sicherstellt, daß sie frei schweben und ihr Gleichgewicht finden kann, dann entdeckt man, daß die Gestalt der Kurve, die die hängende Kette bildet, fast ausschließlich von ihrer Länge und nicht etwa ihrem Gewicht abhängt. Entgegen den Vermutungen unserer gewöhnlichen Sinneswahrnehmung braucht man eine längere Kette, wenn man eine mit einem größeren "Bauch" haben möchte, und umgekehrt eine kürzere, wenn sich die Form mehr der geraden Linie annähern soll. Warum? Weil die Kettenlinie sich ihren eigenen Gleichgewichtspunkt sucht, d.h. den Punkt, an dem die Summe des Gewichts der beiden hängenden Enden dem Gewicht der Kette zwischen den Stiften entspricht.

2. Prästabilisierte Harmonie

Die gleichmäßige Umverteilung der Spannung und des Gewichts auf jedes einzelne Glied der Kette ist der Grund dafür, daß sich die Krümmung der ganzen Kette verändert, sobald man einen kleinen Teil von ihr mit dem Finger anhebt. Dieses Phänomen ist ein Ausdruck des von Kues und Leibniz erkannten "Prinzips der kleinsten Wirkung" und verweist auf eine "prästabilisierte Harmonie", die dafür sorgt, daß jedes Ereignis an irgendeinem Ort auf das ganze restliche Universum wirkt - ein Konzept, die sich mit der Newtonschen Physik nicht angemessen erklären läßt.

3. Makrokosmos und Mikrokosmos

Dieses "Prinzip der kleinsten Wirkung" sorgt dafür, daß jeder Teil einer Kettenlinie selbst wieder eine Kettenlinie darstellt, weil sich die Prinzipien des Makrokosmos im Mikrokosmos widerspiegeln. Wenn wir bei irgendeiner gegebenen Kettenlinie ACDB die Aufhängepunkte A und B durch CD ersetzen, bildet die Krümmung CD dieselbe Kettenlinie wie zuvor (Abb. 16). Nach diesem Prinzip wird die Krümmung der Kettenlinie durch jedes ihrer Teilsegmente unabhängig von deren Größe oder Gewicht bestimmt wird, aber auch umgekehrt spiegelt sich der Makrokosmos (die Kettenlinie als ganze) im Mikrokosmos (dem einzelnen Segment) wider. Wenn wir also die verschiedenen Teile einer Kettenlinie betrachten, sehen wir eine allgemeine harmonische und ausgeglichene Wirklichkeit auf verschiedene Art und Weise ausgedrückt.

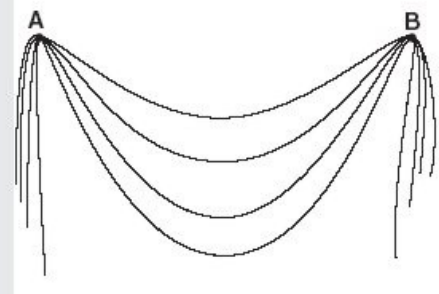


Abb. 15: Hängt man eine Kette zwischen zwei Punkten an einer Wand auf, stellt man fest, daß die Form der Kurve, die die hängende Kette bildet, fast ausschließlich von ihrer Länge und nicht etwa ihrem Gewicht abhängt.

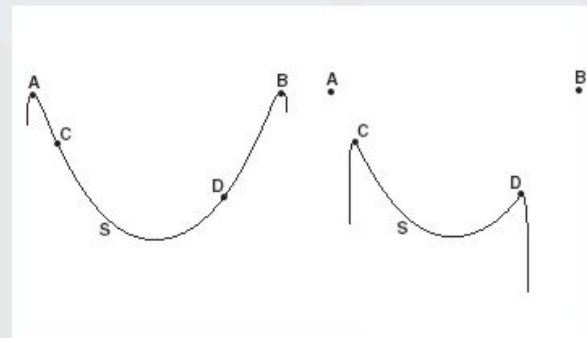


Abb. 16: Verkürzt man die gegebene Kettenlinie ACDB auf die Strecke CD, bildet die Krümmung CD dieselbe Kettenlinie wie zuvor.

Eine selbsttragende Membran aus Ziegelsteinen

Steigt man die inneren Treppen des Domes hinauf, sieht man, daß das Muster der Ziegelmauer an mehreren Stellen sichtbar erhalten blieb, während sie sonst verputzt wurde (Abb.17). Und da Brunelleschi selbst uns dies so hinterlassen hat, könnte man vermuten, daß dies ein Fingerzeig ist, der uns helfen soll, eines der Geheimnisse des Domes aufzudecken. Aber unterschätzen wir nicht Brunelleschis Hang zur Täuschung. Schließlich ist er der Erfinder der Perspektive, der Wissenschaft der Illusion, vor der ein Platon uns gewarnt hat.

Es ist also kein Zufall, wenn wir vom äußeren Anblick des Domes her nicht alle "Tricks" des Baus durchschauen können. Schon als der Bau vollendet wurde, hatte ganz Florenz gestaunt und sich gefragt: "Wie kommt es, daß er nicht einstürzt? Wo sind die Stützen?"

Eine Analyse der Anordnung der Steine, die sich hinter der Ziegelmauer auf der Außenseite und den Fresken auf der Innenseite verbirgt, führt uns zu vier neuen Konzepten (Abb.18).

1. Unsichtbare Stützpfeiler

Da äußere Strebepfeiler außer Frage standen, arbeitete Brunelleschi für das Innere eine Anordnung aus, die diesen Mangel ausgleicht. Eine von Manetti wiedergegebene schriftliche Denkschrift, die beim Domkapitel niedergelegt wurde, zählt folgendes auf:

"Es gibt 24 (Vertikal-)Rippen (*sproni*), acht in den Ecken und sechzehn (Zwischenpfeiler) in den Zwischenräumen ... Sie laufen an der Spitze, wo sich das Auge (die Öffnung der Laterne) befindet, proportional aufeinander zu. Die besagten 24 Rippen mit den erwähnten Kuppeln sind durch Horizontalbögen aus starken Sandsteinblöcken eingefast. Diese Blöcke sind lang und durch Eisen mit Zinnüberzug (tatsächlich handelt es sich um Eisen, das als Rostschutz

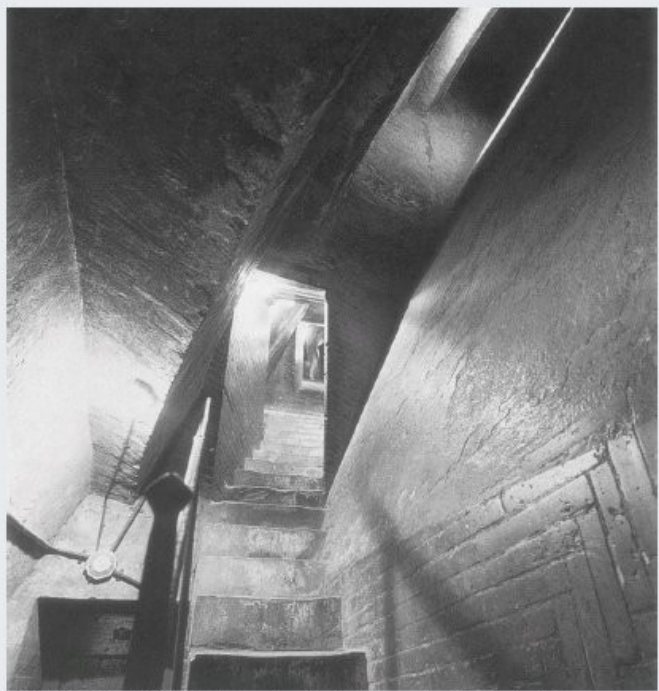


Abb.17: Einige Teilstücke des schmalen Ganges zwischen den beiden Kuppelschalen blieben unverputzt. Nur hier kann man das Fischgrät-Muster deutlich erkennen.

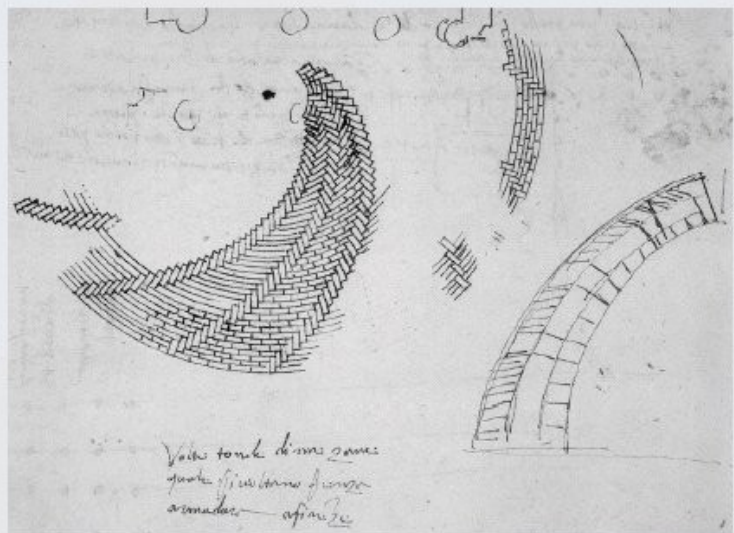
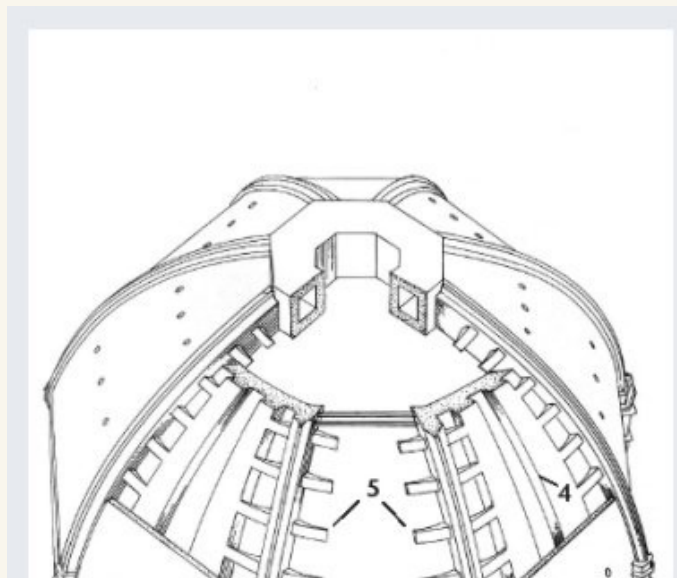


Abb.18: Eine Entwurfzeichnung des „Fischgrät-Musters“.



mit Blei versehen ist, K.V.) fest miteinander verbunden. Die besagten Blöcke bilden eine ‚Kette aus Eisen‘ (*catene di ferro*) um die besagten Gewölbe und deren Rippen."

Brunelleschi verwendet die gleichen Materialien wie die des Pantheons, aber er greift nicht nur Neri di Fioravantis Konzept der Einkreisung der Dauben eines Fasses auf, sondern geht noch weit darüber hinaus.

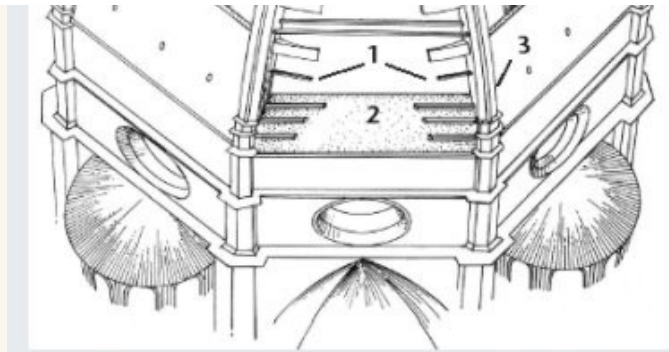


Abb.19: Das Rippenskelett der Kuppel. 1 Kette aus Holz, 2 Ketten aus Stein, 3 Vertikale Hauptbögen, 4 Vertikale Zwischenpfeiler, 5 Horizontalbögen

Jede dieser "Ketten" bestand aus zwei konzentrischen steinernen Ringen. Auf die erste Sandsteinkette folgten in einem Abstand von 10,5 Metern Höhe noch drei weitere, die die gesamte Kuppel innerhalb des Mauerwerks umspannten. Auf diesen Sandsteinringen sollten Eisenketten ausgelegt werden, um so die Dehnfestigkeit zu erhöhen. Die Sandsteinketten wurden noch durch eine weitere Kette aus Holz ergänzt, die etwa sieben Meter über der untersten Sandsteinkette angebracht wurde. Sie wurde genau in dem am meisten gefährdeten Bereich der Krümmung angebracht, was nahelegt, daß sie eine mehr als nur statische Aufgabe zu erfüllen hat. Nach dem Erdbeben im Jahr 557 hatte man an der Basis des Domes der hl. Sophia in Konstantinopel an dem Punkt, wo sich der größte Druck aufbaute, hölzerne Verbindungsstücke eingefügt. In Florenz kam es in den Jahren 1510, 1675 und 1895 zu Erdbeben, aber während viele Häuser in der Stadt einstürzten, blieb der Dom dank Brunelleschis eingebauten "Erdbebenschutzes" aus Stein, Holz und Metall weitgehend unversehrt.

Das eigentliche Rippenskelett der Kuppel bilden neun weitere Horizontalbögen sowie die 24 Vertikalbögen. Die neun Horizontalbögen beginnen etwa 21 Meter über der Höhe, an der die nach innen gekrümmte Wand der Kuppelschale den kritischen Winkel von 30 Grad überschreitet. An dieser Stelle beginnt auch die Mauerung im "Fischgrätmuster" (Abb.19).

Diese Vertikalgewölbe, tatsächlich seitliche "Rippen" der acht Hauptvertikalstützen an den Winkeln, ermöglichen es, die Ringspannung auf die anderen 16 zu verteilen und so diese Spannung auf die Gesamtheit der Außenhaut, die ihre "Tragfähigkeit" ausübt, zu verteilen.

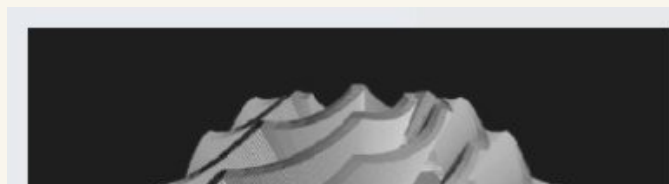
"Unter dem besagten System kleiner Gewölbe sind von einem zum andern große Eichenbalken (*catene di quercia*), welche die besagten Rippen verbinden. Über jedem dieser besagten Hölzer ist eine Eisenkette (*catena di ferro*). Diese Rippen sind ganz aus grauem und braunem Sandstein gebaut, und die Decken der Oberflächen der Kuppeln sind ganz aus braunem Sandstein gemacht, mit den Rippen bis zu einer Höhe von 46 Fuß verbunden. Von dort an aufwärts wird das Mauerwerk aus Ziegeln oder porösem Stein bestehen", heißt es in der erwähnten Denkschrift.

Aber für Brunelleschi war sein Dom kein Faß, sondern er betrachtete ihn als eine Art "lebenden Organismus". Manetti berichtet, Brunelleschi habe bei der Untersuchung von Gebäuden in Rom "die Bauweise der Alten und ihre Verwendung der Symmetrie erkannt: Als ein von Gott zu großen Dingen erleuchteter Mann bemerkte er eine Ordnung, die Fleisch und Knochen ähnelte." Auch Alberti zieht den Vergleich zum menschlichen Körper, bei dem die Natur "die Knochen mit Knochen zusammenfügt und das Fleisch mit den Sehnen verbindet, indem sie Verknüpfungen in sämtlichen Richtungen herstellt, in der Länge, der Breite, der Tiefe und der Schräge. Dieses kunstvolle Gewebe ist es, was wir bei der Verbindung von Steinen in Gewölben nachahmen sollten." (3. Buch, Kap. XIV)

Die 24 vertikalen Stützpfeiler der Kuppel lassen sich so als die Knochen eines riesigen Thorax auffassen, und die Ketten verhalten sich wie Sehnen. Aber ein Skelett wird sich nie nur mit Sehnen bewegen können. Es braucht dazu die Muskeln, die es aufrecht halten: bezogen auf die Kuppel wäre dies das Mauerwerk.

2. Spiralförmiges Fischgrätenmuster

Brunelleschis zweites Konzept betrifft dann die Anordnung des Mauerwerks nach dem sogenannten "Fischgräten-



Muster" (*spina pesca*), eine Technik, die vermutlich von den Etruskern übernommen und im 14. Jahrhundert wiederbelebt wurde. Dieses Muster besteht abwechselnd aus horizontalen und in regelmäßigen Abständen eingefügten vertikalen Backsteinschichten.

Diese Abstände sind im unteren Bereich weit, nehmen aber mit zunehmender Höhe ab und verschwinden an der Spitze ganz. Auf diese Weise schneiden große Spiralen die Abschnitte und Pfeiler vom Gipfel bis zur Basis und ermöglichen eine weitere Verteilung des Drucks über die Kuppelschale. Abb.20 liefert eine Computerdarstellung der Backsteinspiralen. Und auch diese Technik ist dazu angelegt, die Eigenschaften der Kugel, insbesondere die Festigkeit einer selbsttragenden Außenhaut, auf den weniger tragfähigen Elementen der achteckigen Kuppel nachzuahmen.

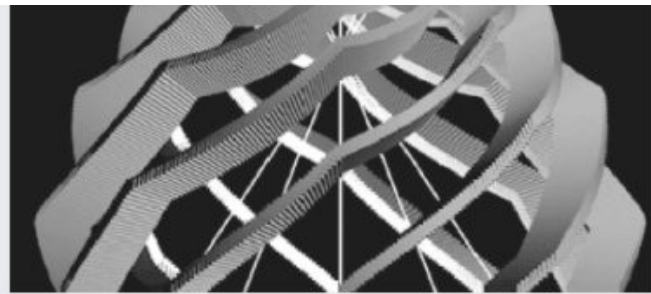


Abb.20: Computerdarstellung der Backsteinspiralen.

3. Radiales Mauerwerk

Anders als bei der Verwendung horizontaler Kragsteine sind die Ziegel der Kuppel - eigentlich große Kacheln, die Brunelleschi selbst entwarf - alle radial auf einen Brennpunkt hin ausgerichtet, den man sich als auf einer zentralen Achse innerhalb der Kuppel entlang "rutschend" vorstellen muß (Abb.21). Es heißt, die Schneidekanten der vertikal gemauerten Steine seien von einer besonderen Arbeitsgruppe benutzt worden, die dafür verantwortlich war, die Ausrichtung des Mauerwerks mit einer Leitschnur oder einem "Ellipsenzirkel" vorzugeben. Wenn man berücksichtigt, was für gewaltige Gerüste notwendig waren, um die Arbeiter zu tragen, auf denen sogar eine eigens dazu entworfene, von Ochsen gezogene Hebevorrichtung für das Baumaterial montiert war, dann hat man den Eindruck, daß die Kuppel in "aufeinanderfolgenden Ringen" errichtet wurde.

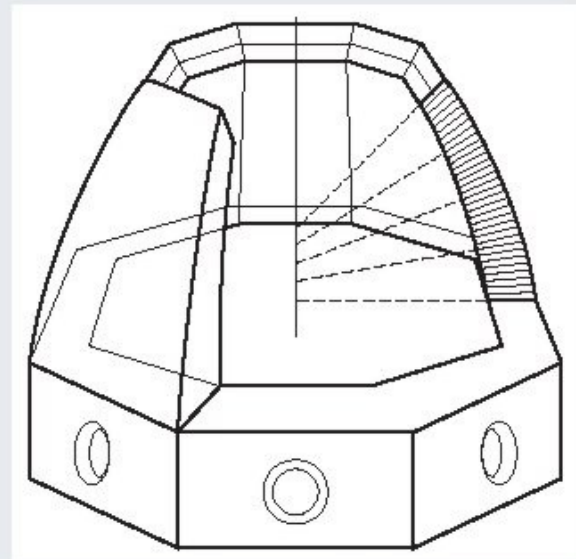


Abb. 21: Die Neigung der Backsteine ist durch gestrichelte Linien dargestellt.

Der geometrische Bogen des spitzen Fünftels entspricht der 60-Grad-Neigung, die man beim Mauerwerk an der Spitze feststellt. Hätte man diese Neigung nach innen ausschließlich durch einen einzigen festen Punkt am Boden definiert, so wäre das Mauerwerk in den scharfen Winkel von 90 Grad gedrängt worden, was Probleme für die Struktur und für das Bogengerüst bedeutet hätte. Wie ein Modell belegt, erzeugt die Drehung dieses Ellipsenzirkels mehrere geometrische Kurven (unten eine Hyperbel, eine Parabel in der Mitte und an der Spitze eine Ellipse), ähnlich dem parabolischen geometrischen Schnitt des (konisch geformten) "Anspitzers" auf dem (sechseckigen) Bleistift. Es ist bekannt, daß Brunelleschi einen solchen Ellipsenzirkel verwendet hat, denn Manetti erwähnt eine "an der Basis befestigte Stange, die sich selbst mit fortschreitender Abnahme ihrer Neigung nach oben dreht" beim Bau der Kapelle Schiatti Ridolfi, die vor dem Dom als eine Art Vorübung errichtet wurde, aber völlig kugelförmig angelegt ist.

4. Die Kettenlinienform der *corda da murare*

Schließlich - und hier beweist Brunelleschi sein tiefes Verständnis der physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die dem Prinzip der Kettenlinie zugrundeliegen - müssen wir die kettenlinienförmige Neigung der Ziegelschichten zwischen den Rippen untersuchen. Manchmal wird behauptet, diese Neigung gehe auf eine Nachlässigkeit der Bauarbeiter zurück, durch deren Schuld die "Lotschnur" (*corda da murare* oder Baulot), mit der man seit Jahrhunderten die Steinschichten ausrichtete, zu weit durchhing. Aber schon Erfahrungen aus dem antiken Ägypten - ein Beispiel sind die

Verteidigungsanlagen von El Kab - zeigen, daß Backsteinschichten in kettenlinienförmigen Schichten stabiler sind als in horizontalen.

Aber es waren nicht praktische empirische Versuche, sondern nur eine bewußte wissenschaftliche Ausnutzung der Eigenschaften der Kettenlinie, die Brunelleschi den Bau der Kuppel ermöglichte. Die "Weltharmonie" zwischen jedem Einzelteil und dem Ganzen schuf die selbsttragende Fähigkeit des Gebäudes, die nötig war, um eine so weite Fläche zu umspannen, die Last der Laterne zu tragen und das herkömmliche Stützgerüst überflüssig zu machen. Jeder Stein (Mikrokosmos) verinnerlicht die physikalische Geometrie der Kettenlinie (als Ausdruck eines "Prinzips der kleinsten Wirkung") und nimmt die Eigenschaften der Kettenlinie an, d.h. leistet einen gleichberechtigten Beitrag zur Stützung des Domes (Makrokosmos).

Hier könnte u.a. die Frage auftauchen: Warum eine hängende Kettenlinie und keine umgedrehte, wie bei den anderen Gewölben, die wir vorher betrachtet haben? Eine mögliche Antwort wäre, daß die harmonische Kraftverteilung des Kettenlinienprinzips beides gleichermaßen wirksam macht! Die Steinmembran der hängenden Kettenlinie schafft offenbar einen Gegendruck, der den Winkelrippen Spannung und Last abnimmt, ähnlich wie die negative Krümmung der Membran eines Regenschirmes dessen Metallgestänge hält.

Kürzlich hat der Architekt Massimo Ricci ein etwa haushohes Modell des Domes (im Maßstab 1:5) in einem Park in Florenz aufgebaut, das dem Betrachter einen ausgezeichneten Eindruck des Fischgrätenmusters des Mauerwerks vermittelt (Abb. 22). Professor Ricci hat allerdings noch nicht die entscheidende Bedeutung der Kettenlinie durchgearbeitet, sondern hielt es für ausreichend, als Vorgabe ein Stück Pappe zu verwenden, das in Form einer Ellipse zurechtgeschnitten ist, welche man aus der Blumenform der Kathedrale - Symbol der Santa Maria del Fiore (*fiore* = Blume) - abgeleitet hat.

Im Sommer 1429 traten breite Risse in den Steinmauern des östlichen Teils des Hauptschiffs auf, ein Hinweis auf den ungeheuren Druck, den die Kuppel auf das Gebäude ausübte. Statt Stützpfeiler zu errichten, wie es die Öffentlichkeit forderte, benutzte Brunelleschi die Gelegenheit, um Neris ursprünglichen Plan umzusetzen: Die Seitenschiffe des Domes sollten durch eine Reihe Kapellen gestützt werden. Die Apsiskapellen um das Hauptschiff würden eine, wie er es nannte, *catena totius ecclesie*, einen "Kranz um die Kirche" bilden, die den Druck auffangen kann.



Abb.22: Ein Ausschnitt aus dem Modell des Architekten Massimo Ricci.

Brunelleschi und Toscanelli

Brunelleschi war der Sohn eines Florentiner Notars. Weil er schon früh eine Begabung zum Zeichnen bewies, machte der Vater einen Goldschmied (orafo) aus ihm. Ein leidenschaftlicher Uhren- und Maschinenbauer, hatte Brunelleschi das Glück, von Paolo Toscanelli del Pozzo (1397-1482) - mit dem er sein ganzes Erwachsenenleben hindurch im Austausch stand - in die Arbeiten und die Denkweise des griechischen Mathematikers Euklid eingeführt zu werden.

Toscanelli, zweifellos einer der fruchtbarsten wissenschaftlichen Geister seiner Zeit, unternahm wissenschaftliche Forschungen in vielen Bereichen: Mathematik, Geometrie, Perspektive, Kosmologie, Medizin, Astronomie und vor allem Geographie, angewandt auf die Erstellung von Landkarten. Sein leider verschollener Aufsatz *Della prospettiva* aus dem Jahr 1420 entstand vielleicht mit Hilfe Brunelleschis, der Manetti zufolge etwa zur gleichen Zeit seine Experimente zur Perspektive durchführte. Nachdem er und Nikolaus von Kues in Padua gemeinsam die Mathematikvorlesungen des Prodocimo de' Beldomandi besucht hatten, ließ Cusanus Toscanelli seine Manuskripte vor der

Veröffentlichung durchlesen - so etwa seine *Geometrischen Verwandlungen* 1445 und *Arithmetischen Ergänzungen* 1450. Man nannte Toscanelli oft "Paolo den Arzt", weil er seine Studien mit einem Dokortitel in Medizin krönte, während Nikolaus von Kues den Titel *doctor decretorum* (kanonisches Recht) erwarb.

Toscanelli wurde dann Leiter der Privatbibliothek des Niccolo Niccoli in Florenz. Niccoli war einer der leidenschaftlichsten Büchersammler seiner Zeit, und seine Sammlung wurde zum Grundstock der ersten öffentlichen Bibliothek, der berühmten Laurentiana, die später in der des Vatikans aufging. Toscanelli stand auch in persönlichem Kontakt und hatte einen wichtigen anregenden Einfluß auf Leonardo da Vinci, und Cusanus diktierte Toscanelli auf dem Sterbebett sein Testament. Toscanelli, Cusanus, Niccoli, Cesarini und vielleicht Brunelleschi selbst waren Mitglieder eines vom Leiter des Kamaldulenserordens Ambrogio Traversari angeregten engen Freundeskreises, der entschlossen war, mit der großzügigen Unterstützung des Magnaten der Wollindustrie Cosimo de Medici die Renaissance zu verwirklichen.

Traversari, der auch Piero della Francesca förderte, gewann den jungen Nikolaus dafür, mit ihm zusammen das große ökumenische Konzil zu organisieren, das 1438 im Dom zu Florenz zuende ging und das große Schisma, das die Christenheit seit so langer Zeit in Ost und West getrennt hatte, beenden sollte. Sie brachten humanistische Päpste wie Martin V., Eugen IV., Nikolaus V. und Pius II. an die Spitze des Vatikans.

Alle Menschen guten Willens unter einer einzigen, gewaltigen, schönen Kuppel zu einem Dialog der Kulturen zusammenzubringen, war ein machtvolleres Symbol, das zur Beendigung jahrhundertelanger Kriege und Kreuzzüge aufforderte. Genährt wurde dieser Dialog von einer umfassenden Mobilisierung für die Beherrschung der höchsten menschlichen Erkenntnisse: Was ist die Quadratur des Kreises? Lernen wir Griechisch und Hebräisch, um irreführenden Auslegungen der Bibel ein Ende zu setzen, übersetzen wir Platon und Aristoteles, um endlich den grundlegenden Unterschied zwischen ihnen herauszufinden, schauen wir uns die Erfindungen von Archimedes, Vitruv oder Vegetius an. Und wenden wir dieses neue Wissen an, indem wir neue Maschinen bauen, die neue Kräfte nutzen, die Woll- und Papierindustrie und den Buchdruck begründen. Und verteidigen wir das Gemeinwohl, indem wir Krankenhäuser und Schulen für alle bauen. Kurz, beginnen wir eine Renaissance!

Dieser Kampf für das Gute war nicht immer leicht. Die oligarchische Familie Albizzi nutzte die militärische Niederlage von Florenz gegen Lucca im Jahr 1433 aus, gab Cosimo de Medici die alleinige Schuld daran, ließ ihn ins Gefängnis werfen und zwang ihn sogar, ins Exil nach Venedig zu gehen. Nachdem er auf diese Weise seinen Beschützer verloren hatte, wurde Filippo Brunelleschi unter dem billigen Vorwand, seine Beiträge zur Maurergilde nicht gezahlt zu haben (was nicht ungewöhnlich war), verhaftet. Zwei Wochen später wurden die Albizzi gestürzt, Filippo wurde freigelassen, und Cosimo war auf dem Weg zurück nach Florenz. Papst Martin V. und auch Eugen IV., der die Kathedrale nach 140 Jahren Bauzeit am 25. März 1436 einsegnete, griffen in diese Auseinandersetzungen immer wieder ein, um ihren genialen Architekten Brunelleschi zu schützen und zu fördern.

Die Entdeckung Amerikas

Brunelleschis Linearperspektive, die Winkerkugel und die Wissenschaft des Dombaues; die Schrift "Quadratur des Kreises" von Nikolaus von Kues, die Ölmalerei und die Weltkarte des flämischen Malers Jan van Eyck; die konvexen Spiegel, die dessen Lehrer Roger Campin erstmals malte, und Toscanellis perspektivische, astronomische und kartographische Arbeiten - alle diese Forschungsbereiche lassen sich in einem einzigen Gebiet zusammenfassen: "nichtlineare Topologie". Das praktische Problem, um das es immer dabei ging, betraf die Frage: Wie projiziert man beispielsweise die Eigenschaften einer Kugel auf eine andere, manchmal weniger komplexe Fläche? Daß jeder Durchbruch auf einem dieser Gebiete auch den anderen Fortschritt brachte, beruhte auf der Freiheit des Geistes, die man heute "fachübergreifende Forschung" nennt.

Toscanelli nutzte jede Möglichkeit zu ungewöhnlichen Experimenten, die sich ihm bot. Ross King schreibt in seinem Buch *Das Wunder von Florenz*, 1475 sei Toscanelli im Alter von 78 Jahren mit Erlaubnis des Domkapitels die 463 Stufen des Domes hinaufgestiegen und habe am Auge der Kuppel eine Metallplatte mit kleinen Löchern angebracht. Mithilfe eines speziellen Meßgeräts am Boden verwandelte Toscanelli den Dom in die größte Sonnenuhr aller Zeiten. Diese Beobachtungen ermöglichten es ihm, das gesamte bisherige Wissen über die Sonnenwenden und Tag- und Nachtgleichen zu berichtigen - offiziell, um mit höchster Genauigkeit den Ostertag zu berechnen.

Die Hochseeschifffahrt stützte sich vor der Erfindung des Quadranten und Sextanten hauptsächlich auf den Kompaß und das Astrolabium, das dazu diente, den Winkel zwischen Horizont und Polarstern zu messen. Allerdings mußte jede Beobachtung, damit der Seefahrer sie praktisch nutzen konnte, erst mithilfe der Tabellen der nautischen Gestirnberechnungstafeln berichtigt werden - insbesondere die Alfonsinischen Tafeln, die eine Gruppe arabischer Astronomen unter Leitung Isaac Ben Sids 1252 in Andalusien für Alfons X. (den Weisen) erstellte.

Toscanelli stand im Briefwechsel mit Regiomontanus (Johann Müller) aus Königsberg in Bayern (1436-76), der zusammen mit seinem Lehrer, dem österreichischen Mathematiker und Kues-Freund Georg Peurbach (1423-61) neue astronomische Tafeln für die Zeit von 1475-1506 erstellen wird. Ein Schüler Regiomontans, Martin Behaim (1459-1507), wird Seefahrtberater des portugiesischen Königs Juan II. in Lissabon, wo er vielleicht Christoph Kolumbus getroffen hat. Behaim arbeitete besonders gründlich an den Breitengraden und verbesserte den Bau der Astrolabien, indem er sie statt aus Holz aus Kupfer herstellte und damit genauer machte. Im Jahr 1492 stellte Behaim den ältesten bekannten Globus der Welt her.

Man könnte also sagen, Toscanellis Beobachtungen in der Spitze des Florentiner Domes trugen zur Geburt einer neuen Wissenschaft bei: Die astronomische Navigation, jenseits der bloßen Küstenschifffahrt, wurde wiederentdeckt.

Schon 1419 - dem Jahr, in dem Madeira entdeckt wurde - hatte Heinrich der Seefahrer im südportugiesischen Sagres eine Seefahrerschule für die portugiesischen Entdeckungsfahrten gegründet. Nach dem Fall Konstantinopels im Mai 1453 stand die Seiden- und Gewürzstraße im Osten nicht mehr offen, und die Entdeckungsfahrten richteten sich vor allem nach Süden, denn man hoffte, Afrika zu umsegeln. Aber gerade Toscanelli hatte sich aus den Berichten von Reisenden, die aus dem Fernen Osten zurückgekehrt waren, ein umfassendes Wissen erworben.

Der berühmteste war ein Botschafter aus "Kathay" (China). Toscanelli schrieb: "In den Tagen Papst Eugens (um das Konzil von Florenz) kam ein Botschafter zu ihm, der ihm von ihrem tiefen Gefühl der Freundschaft zu den Christen erzählte, und ich führte mit dem Botschafter ein langes Gespräch über viele Dinge."

Am 25. Juni 1474 schickte Toscanelli seinen berühmten Brief an einen Freund in Lissabon, den Kanonikus Fernan Martins de Roriz, den er vorher in Florenz kennengelernt hatte. Martins taucht, zusammen mit Toscanelli, als einer der Teilnehmer im Dialog des Nikolaus von Kues über die "Quadratur des Kreises" auf.

Toscanelli versichert ihn, der kürzeste Weg nach Kathay im Osten sei der nach Westen. Martins, der Beichtvater des Königs, kann seinen Herrscher leider nicht von der Sache überzeugen, aber ein Verwandter, der junge Genueser Kapitän Christoph Kolumbus fand Toscanellis Brief und entschloß sich um 1480, an Toscanelli zurückzuschreiben. Kolumbus behauptete gerne, er verwende niemals mathematische Berechnungen oder Karten, aber in seinem Gepäck befanden sich Toscanellis Karte (Abb.23) und höchstwahrscheinlich auch die neuen astronomischen Tafeln, die aus Toscanellis Beobachtungen am Dom hervorgegangen waren.

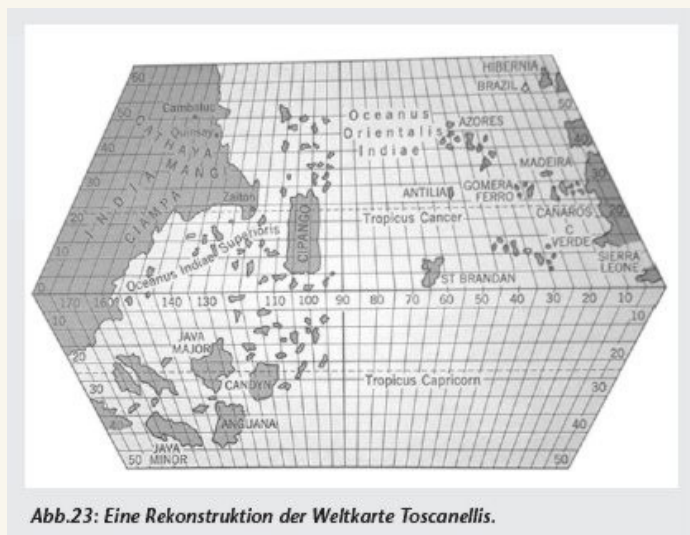


Abb.23: Eine Rekonstruktion der Weltkarte Toscanellis.

Die Menschheit verdankt der astronomischen Navigation über die Entdeckung Amerikas hinaus noch viele Entdeckungen. So war die große Leistung des Dombaues mehr als nur die Auftürmung von 37 000 Tonnen Steinen oder ein schöner ästhetischer Anblick. Vielmehr löste seine "unsterbliche Seele" eine Welle immer neuer wissenschaftlicher Revolutionen aus, die für die Menschheit von noch größerem Nutzen sind.

