

# Kapitel 4

## Rekonstruktionsmodell der Hagia Sophia des 6. Jahrhunderts

### 4.1 Grundlagen der Rekonstruktion

In der Arbeitsphase der Rekonstruktion sollen die verschiedenen Wissensquellen – Baubefund, schriftliche Quellen und bauhistorischer Kontext – miteinander in Beziehung gesetzt und daraus ein kohärentes, möglichst plausibles Modell entstehen.

Der heutige Bauzustand ist durch die detaillierte verformungsgerechte Bauaufnahme von Robert van Nice<sup>1</sup> gut zugänglich. Diese liegt mit einer großen Anzahl von Schnittansichten und Grundrissen gedruckt vor. Die Pläne sind maßstäblich aber nicht vermaßt. Die Bauaufnahme hält der modernen Laservermessung stand.<sup>2</sup> Ergänzt wurde sie durch photographische Aufnahmen, die im Rahmen mehrerer Forschungsaufenthalte angefertigt wurden.

Überliefert sind zwei bedeutende zeitgenössische Quellen, die das Gebäude in seinem historischen Zustand beschreiben<sup>3</sup>:

Erstens das Auftragswerk *De Aedificiis* über die Bauten Kaiser Justinians des Hofhistorikers Prokop von Caesarea. Es entstand geraume Zeit nach Fertigstellung des Baus aber noch zur Regierungszeit des Auftraggebers und noch vor dem Einsturz der Kuppel 558, den Prokop nicht erwähnt. Zweitens die *Ekphrasis* des hohen Beamten Paulus Silentarius, der anlässlich der Wiedereinweihung 562 nach dem Einsturz der ersten Kuppel kenntnisreich und detailliert die einzelnen Räume, die Einbauten und die Ausstattung mit kostbaren Materialien beschreibt. Paulus zeigt sich auch zu Aspekten der Gründung, Statik und zum Bauablauf gut informiert.

Die Hagia Sophia ist durch eine umfangreiche Literatur im bauhistorischen Kontext verankert. Herauszuheben ist die umfassende Analyse des Baus und seiner Veränderungen durch Robert Mainstone<sup>4</sup> Seine Arbeit hält auch neueren Untersuchungen stand. Für den Innenraums von besonderer Bedeutung ist die von Helge Svenshon entwickelte Rekonstruktion der liturgi-

---

<sup>1</sup> Nice 1995.

<sup>2</sup> Hoffmann 2005.

<sup>3</sup> Beide in Procopius Caesariensis und Paulus Silentarius 1977.

<sup>4</sup> Mainstone 1988.

schen Einbauten anhand der Beschreibung bei Paulus und den Anforderungen der liturgischen Abläufe.<sup>5</sup>

## **4.2 Bauzustand zur 2. Einweihung 562 nach Wiedererrichtung der Kuppel**

Im heutigen Bauzustand hat sich die ursprüngliche Raumanordnung und geometrische Gestalt des Innenraumes der Hagia Sophia weitgehend erhalten (siehe Abbildung 1.1), genauer gesagt, der Bauzustand nach der Wiedererrichtung der eingestürzten Kuppel durch Isidor dem Jüngeren noch zur Regierungszeit Justinians. Von diesem Bauzustand sind wesentliche Teile der Ausstattung erhalten, wie der größte Teil der Marmordekoration und großflächige Teile der Mosaik in den Gewölben. Dennoch fällt es schwer, sich ein Bild des Innenraumes in seinem ursprünglichen Zustand zu machen. So vermutet Mainstone aufgrund seiner ausführlichen Analyse der Veränderungen, dass das Innere der Hagia Sophia ganz anders gewirkt hat. Er hebt die ursprünglich umfangreichere Verglasung in den Seitenschiffen hervor, die größeren Fenster in den Tympanonwänden und das umfangreichere Goldmosaik. Er unterstellt aufgrund stärker reflektierender Oberflächen und einem leicht opaken Glas eine gleichmäßigere Beleuchtung und weniger Blendung.<sup>6</sup>

Eine Lichtsimulation des Baus in seinem ursprünglichen Zustand erscheint also lohnenswert. Dieser soll der Bauzustand der zweiten Einweihung von 562 zu Grunde liegen. Dieser Bauzustand unterscheidet sich von dem der ersten Einweihung 537 in einem wesentlichen Punkt: Die Kuppel ist nach dem Einsturz in veränderter Form wiedererrichtet worden. Von der alten Kuppel wissen wir aus Quellen, dass sie flacher gewesen ist. Ihre genaue Form bleibt aber Spekulation und wird daher nicht für diese Arbeit herangezogen. Die zweite Kuppel ist zwar zwei weitere Male teilweise eingestürzt, ihre hemisphärische Form und wesentliche Teile der Bausubstanz haben sich aber im heutigen Bau erhalten. Auch die anderen Teile dieses Bauzustandes lassen sich aus der Substanz erschließen.

Paulus Silentarius beschreibt diesen Bauzustand detailliert in seiner Ekphrasis, einschließlich der verlorenen Einbauten. Sein Text kann für die Rekonstruktion direkt herangezogen werden. Darüber hinaus beschreibt er die Einweihung mit dem Einzug am Weihnachtsmorgen und schildert dabei die Lichtwirkung aus künstlicher und natürlicher Beleuchtung. Das gleiche tut er für die Lichtstimmung der abendlichen Messen. Er liefert also Informationen über die Lichtwirkung des Baus im Kontext seiner Nutzung. Das erlaubt eine Gegenüberstellung mit den berechneten Ergebnissen.

Dieser Bauzustand lässt sich wiederherstellen, indem man nachträgliche Veränderungen identifiziert und verlorene Bauteile anhand von Spuren am Bau, Quellen etc. rekonstruiert und Fehlstellen systematisch ergänzt. In Falle der Hagia Sophia entspricht das im Wesentlichen einem Freilegen des Ursprungszustandes, indem man die Verstärkungen und Ergänzungen der

---

<sup>5</sup> Gemeinsam mit Rudolf Stichel, dokumentiert in: Stichel 2010.

<sup>6</sup> Mainstone 1988, S. 124 f.

späteren Zeiten virtuell entfernt. Bevor das im Detail geschieht, ist zunächst eine Übersicht der Veränderungen erforderlich, hier geordnet nach der vermutlichen Größe ihres Einflusses auf die Beleuchtung:

1. Den größten Einfluss auf die Beleuchtung haben vermutlich die *nachträglichen Verstärkungen* des Gebäudes, die Fenster und Durchbrüche verschließen oder verkleinern. Die teils großen Baumassen der Stützkonstruktionen rund um das Gebäude blockieren tageszeitabhängig das direkte Sonnenlicht und das diffuse Himmelslicht. Dazu zählt auch die *veränderte Umgebung* des Gebäudes.
2. Die nächste wichtige Veränderung ist der Verlust der ursprünglichen Verglasung. Es ist anzunehmen, dass diese das einfallende Licht weit stärker gestreut hat als die heutigen Glasmaterialien. Dadurch ändert sich vermutlich die Lichtverteilung im Raum und das Verhältnis von direkter und indirekter Beleuchtung.
3. Die Veränderung der Oberflächen ist der nächste mutmaßlich wichtige Einflussfaktor. Das Goldmosaik, das ursprünglich sämtliche Gewölbeoberflächen einschließlich der Kuppel bedeckt hat, ist heute nur noch an wenigen Stellen sichtbar. Große Teile sind immer noch von Putz bedeckt und auch wenn sie stückweise freigelegt werden.
4. Von wahrscheinlich räumlich begrenzter Bedeutung für die Beleuchtung sind die nachträglichen Einbauten aus osmanischer Zeit und die verlorenen christlichen liturgischen Einbauten.

### 4.3 Freilegung des ursprünglichen Bauzustands

Die Tafel 1 zeigt, in welchem Umfang die verstärkenden Bauteile den Lichteinfall behindern. Die Stützkonstruktionen, die über die Jahrhunderte entstanden sind, kann man wie folgt zusammenfassen:<sup>7</sup>

1. Schon zur Bauzeit wurde bei der Errichtung der großen Gewölbe eine Verstärkung der Konstruktion notwendig. Man reagierte, indem man die Haupt- und Stützpfiler durch Vorlagen und Bögen in den Seitenschiffen und Galerien erweitert hat (Strich-Line, rot in Tafel 1). Das hat den Charakter dieser Räume stark verändert. Statt längs orientierten durchgehenden Räumen entstand eine deutliche Unterteilung in einzelne Kompartimente.<sup>8</sup> Ein Teil dieser Baumaßnahme war auch eine Erhöhung der Stützpfiler oberhalb der Galerien. Diese prägen heute das Bild der Nord- und Südseite der Hagia Sophia und werfen Schatten auf die Fenster in den Tympanonwänden (Abbildung 1.2).<sup>9</sup> Diese Verstärkungen sind Teil des rekonstruierten Bauzustands.

---

<sup>7</sup> Mainstone 1988, S. 85–128 geht detailliert auf die Baukörper ein und versucht sie schriftlichen Quellen zu den einzelnen Renovierungs- und Rettungsmaßnahmen zuzuordnen.

<sup>8</sup> Mainstone 1988, S. 74, 205 ff.

<sup>9</sup> Mainstone 1988, Abb. 231b.

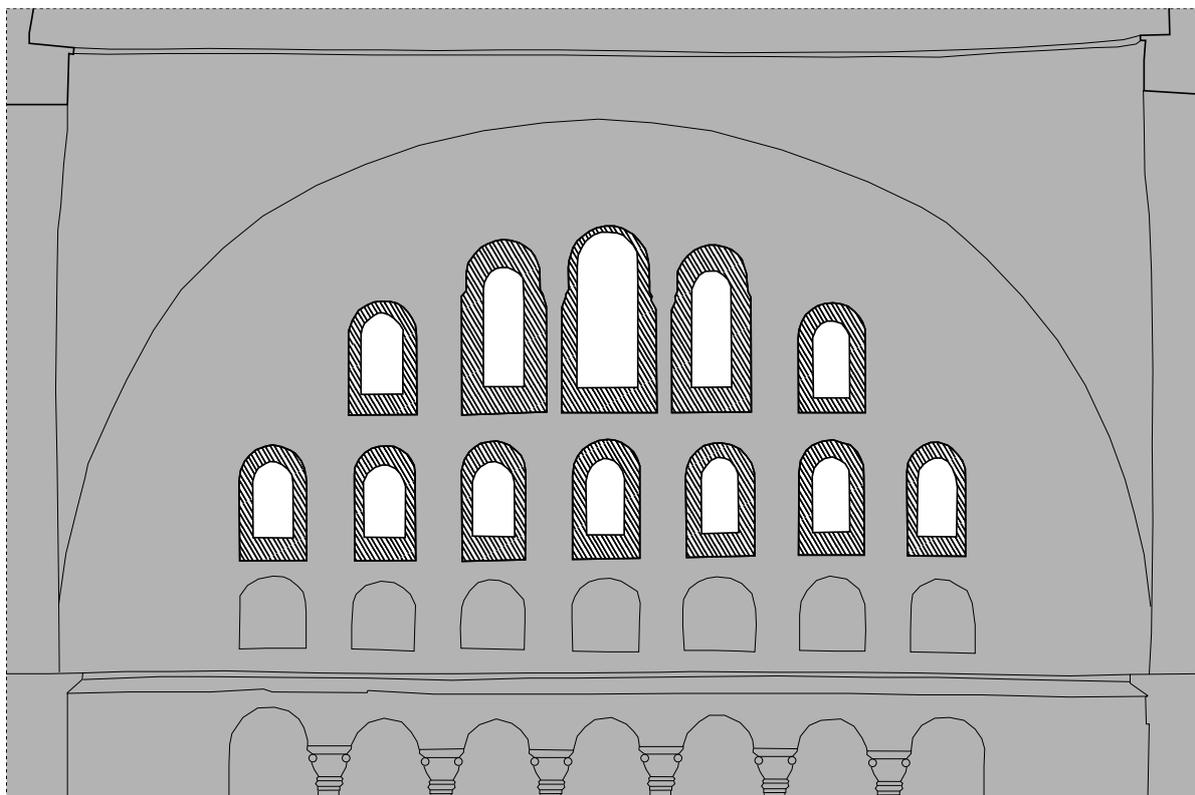


Abbildung 4.1: Verkleinerung der Fenster in den Tympanonwänden. Nach: Nice 1995 Tafel 31.

2. Im Laufe der Zeit wurden die Pfeiler weiter verstärkt (Strich-Punkt-Linie, grün in Tafel 1). Das geschah durch Zumauern der Durchbrüche in den Galerien und durch eine Erweiterung der Pfeiler in das erste Joch der Kolonnaden in den Kochen.<sup>10</sup>
3. Rings um das Gebäude kommen teils äußerst massive Stützkonstruktionen hinzu, von denen fast alle die Höhe der Fenster in der Galerie erreichen (Strich-Punkt-Linie, grün in Tafel 1). Die schmaleren Verstärkungen im Westen und Osten sind dabei als Strebebögen ausgeführt.<sup>11</sup>
4. Nur in der Schnittansicht (Abbildung 4.1) zu erkennen ist die Verringerung der Fensterfläche in den Tympana.<sup>12</sup>

Die aufgeführten Änderungen bedingen zum Teil eine Zusetzung oder Verschattung der Fenster. Unabhängig davon sind im Laufe der Zeit einige weitere Fenster zugesetzt worden. Wo die Fenster noch offen sind, kann an den meisten Stellen davon ausgegangen werden, dass die Fensterteilungen noch dem ursprünglichen Zustand entsprechen. Das kann man z. B. aus der

<sup>10</sup> Mainstone 1988, S. 106.

<sup>11</sup> Mainstone 1988, S. 103 ff.

<sup>12</sup> Mainstone 1988, S. 97 f.

noch vorhandenen Gestaltung der Kapitelle und marmornen Platten mit Kreuzen schließen (Abbildung 4.5). Das originale Glas ist allerdings verloren.

Zur Übersicht eine vollständige Liste der Fenster mit den Zusetzungen:

- Kuppel
  - 40 Fenster; heute zugesetzt, von Norden im Uhrzeigersinn: 12, 13, 26 und 27.
- 2 Halbkuppeln
  - je 5 Fenster; im Südwesten ist ein Fenster zugesetzt.
- 2 Tympana
  - je 1 Tribelon; heute drei kleinere Fenster auf beiden Seiten, außen ist die ursprüngliche Form zu erkennen.
  - je eine Reihe von 7 Fenstern am Fuß des Tympanons, darunter Nischen.<sup>13</sup>
- 4 Kuppeln über den Konchen
  - je 5 Fenster; heute zugesetzt, von Norden im Uhrzeigersinn: nord-östliche Konche: 1, 2 und 5; süd-östliche Konche: 3 und 5; süd-westliche Konche: 1; nord-westliche Konche 1, 3 und 5.
- Thermenfenster unter dem Tonnengewölbe im Westen
- Kuppel über der Apsis
  - 5 Fenster
- Galerien
  - nördliche Galerie
    - \* westlicher Raum: 3 Fenster oben, 3 unten.
    - \* mittlerer Raum: 2 Thermenfenster (bis zur Brüstungshöhe) westlich und östlich der Mitte; davon zugesetzt: westliches Drittel im Westen, östliches Drittel unten im Osten; in der Mitte heute geschlossen (Tür), spätere, außenliegende Stützkonstruktionen lassen oben 1 Fenster möglich erscheinen.
    - \* östlicher Raum: 3 Fenster oben, 3 unten, in der Ostecken ein weiteres Fenster; nach Osten: in der Achse: 1 Thermenfenster (bis zur Brüstungshöhe) im Norden teils zugesetzt; im Bereich der Konchen: 1 Fenster oben, 1 Fenster unten; beide zugesetzt.
  - südliche Galerie
    - \* westlicher Raum: 3 Fenster oben, 3 unten; im Westen unten zur Hälfte oben zu einem kleinen Teil außen verstellt.
    - \* mittlerer Raum: je 1 Thermenfenster (bis zur Brüstungshöhe) westlich und östlich der Mitte; in der Mitte heute geschlossen (Tür), spätere, außenliegende Stützkonstruktionen lassen oben 1 Fenster möglich erscheinen.

---

<sup>13</sup> Mainstone 1988, S. 97 ff., Abb. 117.

- \* östlicher Raum: 3 Fenster oben, 3 unten; die östlichen oben und unten zugesetzt; nach Osten: in der Achse: 1 Thermenfenster (bis zur Brüstungshöhe); südliches Drittel teils, nördliches Drittel unten teils zugesetzt; im Bereich der Konchen: 1 Fenster oben, 1 Fenster unten.
- westliche Galerie
  - \* 9 Thermenfenster (bis zur Brüstungshöhe)
- Seitenschiffe
  - nördliches Seitenschiff
    - \* westlicher Raum: 3 Fenster oben, 3 unten
    - \* mittlerer Raum: je 1 Thermenfenster oben, darunter 3 Fenster westlich und östlich der Mitte; östlich der Mitte oben und unten zugesetzt, westlich der Mitte oben das westliche Drittel, unten das westliche Fenster zugesetzt; in der Mitte: 1 Fenster oberhalb einer Tür.
    - \* östlicher Raum: 3 Fenster oben, im Bereich der Konche: 1 Fenster im Bogen.
    - \* Stützpfeiler: je 1 Fenster oberhalb einer Tür; beide zugesetzt, im Osten vorgezogene Tür.
  - südliches Seitenschiff
    - \* westlicher Raum: 3 Fenster oben, 3 unten
    - \* mittlerer Raum: je 1 Thermenfenster oben, darunter 3 Fenster westlich und östlich der Mitte; westlich der Mitte durch Einbauten verstellt; in der Mitte: 1 Fenster oberhalb einer Tür; durch Einbauten verstellt.
    - \* östlicher Raum: 3 Fenster oben, 3 unten, das mittlere und westliche kleiner mit Tür darunter; östliche Fenster oben und unten zugesetzt; nach Osten: in der Achse: oben 1 Thermenfenster; unteres Drittel zugesetzt; in Bereich der Konche: 1 Fenster im Bogen; unteres Viertel zugesetzt.
    - \* Stützpfeiler: je 1 Fenster oberhalb einer Tür; beide zugesetzt.
- Altarapsis (Veränderung der Fensterrahmung)
  - drei Fenster oben
  - drei Fenster unten

Darüber hinaus haben weitere Änderungen am Bau und seinen Oberflächen einen möglichen Einfluss auf die Beleuchtung:

- Eine Veränderung der Beleuchtung könnte sich auch aus Veränderung der ursprünglichen Kuppel ergeben haben. Nach einem Erdbeben stürzt im Jahr 558 die erste Kuppel der Hagia Sophia ein und wurde bis 562 durch eine hemisphärische Konstruktion ersetzt.
- Zu den späteren Veränderungen am Bau gehören auch die Einbauten aus osmanischer Zeit (gestrichelte Linien in Tafel 1a). Sie finden sich alle im Erdgeschoss. Für die Beleuchtung sind die Sultansloge in der nordöstlichen Konche und dem angrenzenden Seitenschiff

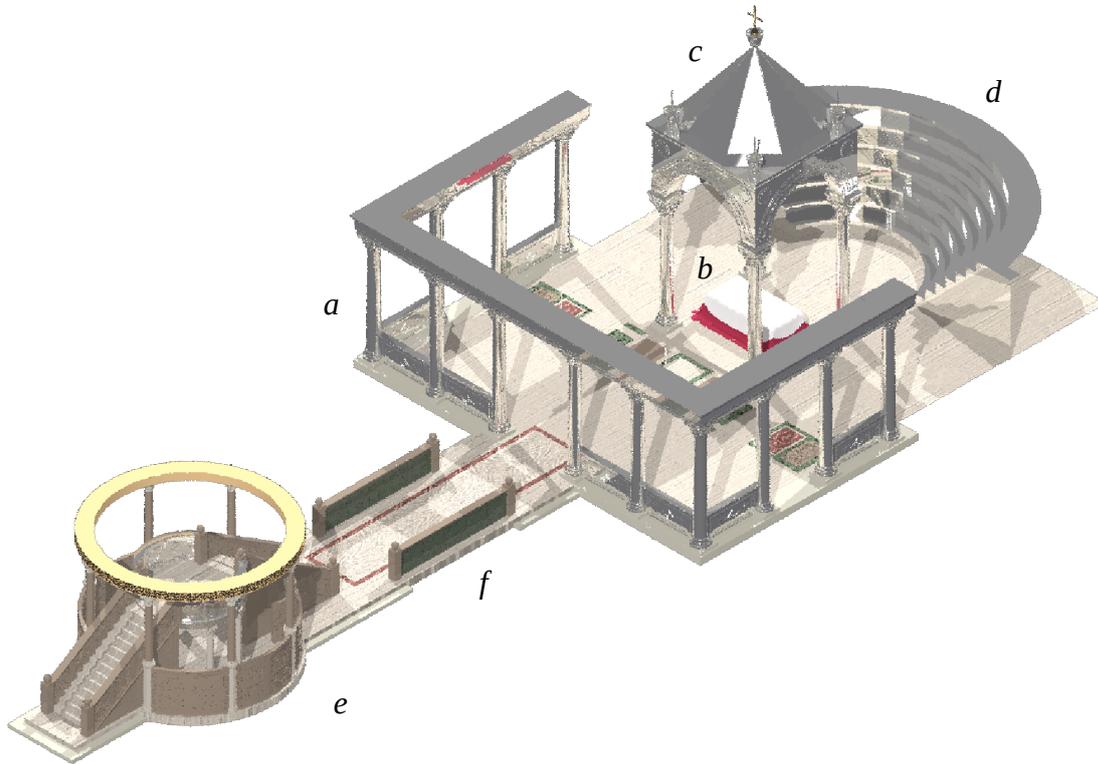


Abbildung 4.2: Rekonstruktionen der liturgischen Einbauten nach Helge Svenshon: (a) Chorschranken, (b) Altar, (c) Ziborium, (d) Synthronon, (e) Ambo, (f) Solea.

sowie die Bibliothek Mahmud I. im südlichen Seitenschiff von einer gewissen Bedeutung, da sie angrenzende Fenster verdecken. Daneben befinden sich im und am Altarraum Minbar und Mirāb, im Hauptschiff die Dikka (Mahfil) und kleinere Arkaden am Fuß der Hauptpfeiler. Auf der Höhe der Galerien finden sich große runde Holztafeln mit den kalligrafisch gestalteten Namen: Allah, Mohamed, vier Kalifen und zwei Enkel des Propheten.

- Die verschwundenen liturgischen Einbauten aus byzantinischer Zeit könnten eine besondere Beleuchtung erfahren haben, um die dort stattfindenden Handlung in Szene zu setzen. Der Altarraum war durch Schranken vom Hauptschiff abgetrennt. Der Altar selbst stand unter einem Ziborium mit einem achteckigen pyramidenförmigen Dach. Dahinter saß der hohe Klerus und der Patriarch auf den Stufen eines Synthronons. Der liturgische Raum wurde durch eine Solea bis zum Ambo verlängert. Unter dem Ambo fanden verborgen durch marmorne Schranken Sänger Platz (Abbildung 4.2).

Mainstone zeigt das in einer Rekonstruktion.<sup>14</sup> Die Basis hierfür liefern die zeitgenössischen Textquellen, deren Angaben mit vergleichbaren Bauteilen anderer Kirchen

<sup>14</sup> Mainstone 1988, S. 219 ff., Abb. 252.

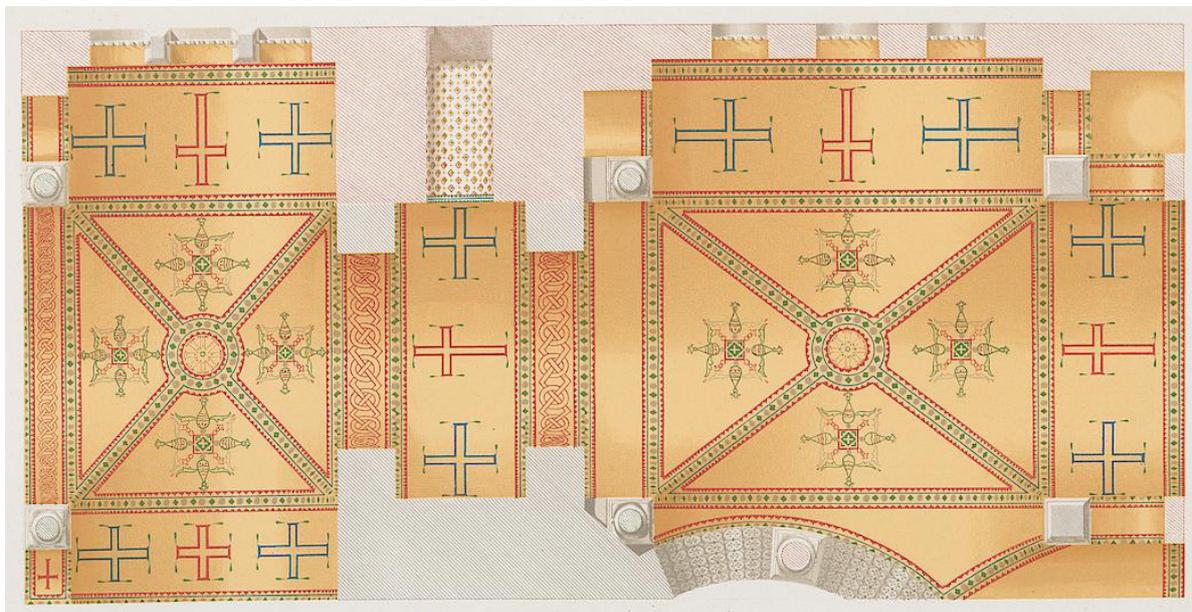


Abbildung 4.3: Rekonstruktion der Gestaltung der Gewölbeflächen mit Goldmosaik nach Salzenberg: Hervorhebung architektonischer Linien und christliche Kreuze in den Seitenschiffen mit verschiedenfarbigen Tesserae auf goldenem Grund. Quelle: Salzenberg 1854 Tafel XXIV

kombiniert werden. Am Bau können sowohl die noch vorhandenen Bodenplatten aus Buntmarmor Hinweise liefern, als auch Bereiche, in denen der Boden Lücken hat. Auch an den Wänden kann man nach Dübellöchern etc. suchen. Die originale Substanz selbst ist zum Teil bei Einstürzen verloren gegangen und spätestens mit der Plünderung durch die Kreuzfahrer oder dem Umbau zur Moschee verschwunden. Svenshon und Stichel erweitern Mainstones Rekonstruktion durch Überlegungen zu den praktischen Anforderungen der Liturgie, wie z. B. die notwendige Breite eines Durchgangs für die überlieferte Anzahl von Personen.<sup>15</sup> Diese Rekonstruktion ist Teil des Modells.

- Dekorative Holzgeländer auf den Gesimsen verdecken heute den Blick auf die Brüstungsplatten der Galerien und die unterste Zone der Wandgestaltung der Pfeiler und Wände im Galeriegeschoss. Sie sind als Teil Restaurierung durch die Gebrüder Fossati in den Jahren 1847–1849 hinzugefügt worden.<sup>16</sup>
- Von größerer Bedeutung für Beleuchtung und Lichtwirkung ist das großflächige Überputzen der Mosaik in osmanischer Zeit. Die Gewölbeoberflächen der Hagia Sophia waren vollständig mit Glasmosaik überzogen. Den größten Flächenanteil nehmen dabei Plättchen (Tesserae) von etwa einem Quadratzentimeter ein, die aus einem Sandwich mit zwei Glasscheiben bestehen, zwischen denen sich ein Stück Blattgold befindet. Diese bildeten einen golden Hintergrund, vor dem sich ornamentale Betonungen architektoni-

<sup>15</sup> Stichel 2010.

<sup>16</sup> Mainstone 1988, S. 18 f., Abb. 10, 11.

scher Kanten und christliche Kreuze abgehoben haben (Abbildung 4.3). Diese Gestaltung lässt sich heute in den Seitenschiffen und im Narthex noch nachvollziehen, auch wenn die Kreuze seit der Restaurierung durch die Gebrüder Fossati zum Teil mit anderen Ornamenten übermalt sind. Die Gewölbe der Galerien und die Halbkuppeln sind fast vollständig verputzt. In der Kuppel und den Pendentifs sind die Mosaikfreilegung und restauriert worden.

- Eine weitere Veränderung aus osmanischer Zeit ist die farbige Gestaltung der Fenster in der Apsis. Diese hat den Lichteinfall verringert.
- Die Marmordekoration ist noch großflächig vorhanden, im Hauptschiff und Narthex fast vollständig. In den Seitenschiffen sind viele Tafeln durch helle Marmorplatten ersetzt worden, auf denen die ursprünglichen Farben und Muster der Steine durch Malerei nachempfunden werden. Diese Bemalung ist stark nachgedunkelt. In der südlichen Galerie sind einige Steintafeln durch figürliche Mosaikfreilegung ersetzt worden. Besonders dort sind Flächen heute weiß verputzt. Auch in den Galerien ist die Marmorverkleidung teils durch bemalte Tafeln ersetzt worden. Der Fußboden aus hellem grau-blauen Marmoramarmor ist dagegen überall fast vollständig erhalten, auch wenn er vielfach geflickt werden musste. Die Steinoberflächen sind heute fast überall stark verschmutzt, sodass die Wände und Säulen eher grau und matt wirken. Die Quellen betonen dagegen Farbenpracht und Glanz. Inzwischen haben Restaurierungsarbeiten begonnen, deren Zwischenstand schon erahnen lässt, wie stark der Schmutz der Jahrhunderte die Oberflächen verändert hat (Abbildung 4.4).

## 4.4 Lage, Umgebung und Ausrichtung der Hagia Sophia

Für die Lichtsimulation sind die Lage, Umgebung und Ausrichtung eines Gebäudes von Bedeutung. Die Hagia Sophia liegt auf  $41^{\circ}0'31''$  nördliche Breite und  $28^{\circ}58'48''$  östlicher Länge.<sup>17</sup> Die Hauptachse der Hagia Sophia ist aus der West-Ost-Richtung um ca.  $32^{\circ}$  nach Süden gedreht.<sup>18</sup>

Die Kuppeln der Hagia Sophia – und damit deren Fenster – überragen noch heute das Stadtbild der historischen Halbinsel Istanbuls. Auf Ansichten sind auch die Fenster der Galerien und das große Thermenfenster zu erkennen. Man kann abschätzen, dass auch diese nicht wesentlich von ihrer Umgebung verschattet werden. Das ist sicher auch in früheren Zeiten so gewesen.

Für die Beleuchtung der Räume im Erdgeschoss ist die unmittelbare Umgebung des Gebäudes jedoch von Bedeutung (schwarze Umrisslinien in Abbildung 4.5). Bis heute haben sich zwei ältere Gebäude erhalten. Im Südwesten das Baptisterium<sup>19</sup> und im Nordosten das Skeuophylakion.<sup>20</sup> Zu den erhaltenen umgebenden Bauten kann man auch die Treppenhäuser

<sup>17</sup> Wikipedia 2018; Gavril 2014, S. 49, gibt  $41^{\circ}1'29''$  N  $28^{\circ}58'48''$  O an, ohne eine Quelle zu nennen.

<sup>18</sup> Inanici 2014, S. 168.

<sup>19</sup> Mainstone 1988, S. 122.

<sup>20</sup> Mainstone 1988, S. 137.

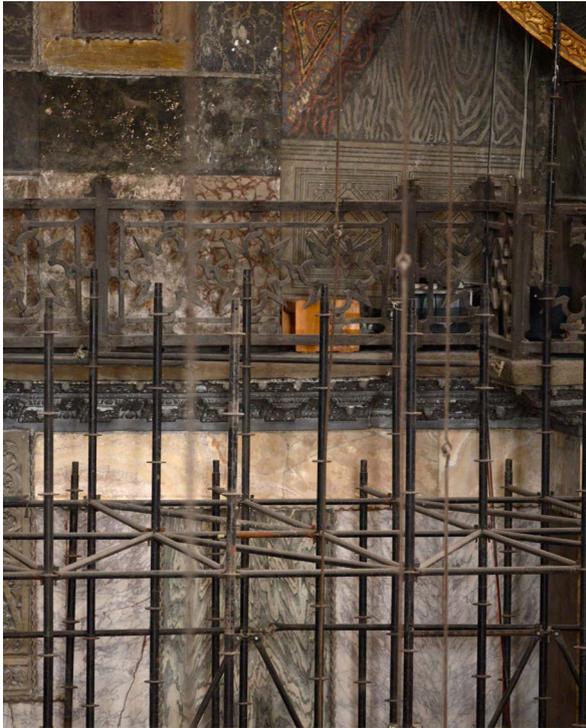


Abbildung 4.4: Restaurierung der Marmoroberflächen am nordöstlichen Hauptpfeiler. Die bereits restaurierten Flächen erscheinen heller und kontrastreicher, die Farben werden deutlicher. Zustand 2015.



Abbildung 4.5: Fensterteilungen an der westlichen Galerie. Kreuze auf den Kapitellen und Marmorplatten lassen darauf schließen, dass es sich noch um das ursprüngliche Material handelt. Zustand 2015.

bzw. Rampen im Nordwesten, Südwesten und Nordosten zählen, die möglicherweise durch ein weiteres im Südwesten ergänzt werden dürfen. Auch das sogenannte Horologion im Südosten ist zeitgleich entstanden und wurde erst später Teil des Bischofspalastes. Im Norden muss in der Nähe des Skeuophylakion noch ein größeres Baptisterium gestanden haben, von dem Paulus Silentarius berichtet.<sup>21</sup> Im Südosten gab es eine Eingangshalle für den Kaiser, an die ein überdeckter Weg zum Palast anschließt.<sup>22</sup> Beides lässt sich nicht mehr sicher rekonstruieren.

Sonst war die Hagia Sophia wohl von Höfen umgeben, wie Paulus berichtet. Diese seien so gestaltet, dass das Gebäude von allen Seiten Tageslicht erhält.<sup>23</sup> Im Westen ist das durch Ausgrabungen bestätigt<sup>24</sup>, dort gab es einen viereckiges Atrium, dessen Säulenhallen an den Exonarthex anschlossen (Abbildung 1.1).

---

<sup>21</sup> Mainstone 1988, S. 124.

<sup>22</sup> Mainstone 1988, S. 133.

<sup>23</sup> Mainstone 1988, S. 122.

<sup>24</sup> Mainstone 1988, S. 122.

In der stadträumlichen Umgebung der Hagia Sophia (Abbildung 4.6) befindet sich im Norden die Hagia Irene, zu der hin das Gelände etwas ansteigt. Nach Westen fällt das Gelände zunächst ab, nach Nordwesten entwickelt sich ein eingeschnittenes Tal. Dahinter steigt die Stadt wieder etwas an. Im Süden lag das Augustaion mit dem monumentalen Senatsgebäude und der Säule mit der Reiterstatue Justinians. Dahinter lag im Südwesten das Hippodrom und im Südosten der kaiserliche Palast. Das Gelände in dieser Richtung ist weitgehend eben.

Eine Frage von großer Bedeutung ist die Umgebung im Osten. Hier fällt morgens das Licht im flachen Winkel in die Apsis. Auch etwas weiter entfernte oder niedrigere Gebäude könnten den Lichteinfall in die unteren Fenster behindern. Von solchen Gebäuden ist aber nichts bekannt. Das Gelände fällt in dieser Richtung schon bald recht steil zum Bosphorus hin ab.

Etwas merkwürdig erscheint die Ausrichtung der Hagia Sophia. Die Gebäude in ihrer Umgebung orientieren sich an der Ausrichtung des Hippodroms, auch die Hagia Irene, die vom Hippodrom aus hinter der Hagia Sophia liegt. Die Hagia Sophia durchbricht dieses Muster, sie ist ca.  $5^\circ$  gegen den Uhrzeigersinn – also nach Süden hin – verdreht. Auch gegenüber dem Vorgängerbau ist sie wohl um etwa  $3^\circ$  gedreht. Juliana Graviel zeigt, dass die Ausrichtung der Hauptachse exakt auf die aufgehende Sonne zur Wintersonnenwende – also zu Weihnachten – hin erfolgt ist.<sup>25</sup> Solch eine Ausrichtung ist sicher kein Zufall.

## 4.5 Geometrische Rekonstruktion

In der theoretischen Herleitung wurde herausgestellt, dass die Lichtsimulation eines verlorenen Gebäudezustandes ein plausibles geometrisches Modell dieses Zustandes als Ergebnis eines Rekonstruktionsprozesses erfordert. An sich kann man Lichtsimulationen auch auf Basis anderer geometrischer Modelle durchführen, beispielsweise mit Dreiecksnetzen, die auf Grundlage von Laserscans oder SfM-Daten errechnet werden. Aber diese Modelle geben naturgemäß den heutigen Befund wieder und lassen sich nicht sinnvoll an einen historischen Bauzustand anpassen. Am Beispiel der Hagia Sophia soll auf zwei notwendige Eigenschaften eines Rekonstruktionsmodells näher eingegangen werden: seine *Vollständigkeit* und seine *geometrische Schlüssigkeit*. Beide stehen in einem engen Zusammenhang.

Vollständigkeit meint hier die Anforderung, dass nicht nur einzelne, gut zu ermittelnde Zusammenhänge behandelt werden können, sondern alle, auch spekulative Elemente behandelt werden müssen. So konnte Svenshon mit Bezug auf die praktische Mathematik der Bauzeit eine fundierte Erklärung für die Konstruktion und die Hauptmaße im Grundriss der Hagia Sophia liefern.<sup>26</sup> In der Höhenentwicklung und den Details des Gebäudes wird der Nachweis solcher Konstruktionsmethoden aber aufgrund von Verformungen, Varianten und Reparaturen schwierig, insbesondere wenn man für jedes Maß eine Erklärung liefern möchte. Ein detailliertes Modell wie das vorliegende setzt unzählige Maße für Gewölbe, Kapitelle, Zahnleisten, Perlstäbe etc. voraus.

<sup>25</sup> Gavril 2014, S. 50, auch: Jabi und Potamianos 2007 und Schibille 2009.

<sup>26</sup> Svenshon 2010. Das Darmstädter Modell ist auf dieser Basis in bzf konstruiert. Alle Bauteile haben ganze Fußmasse oder Brüche davon.

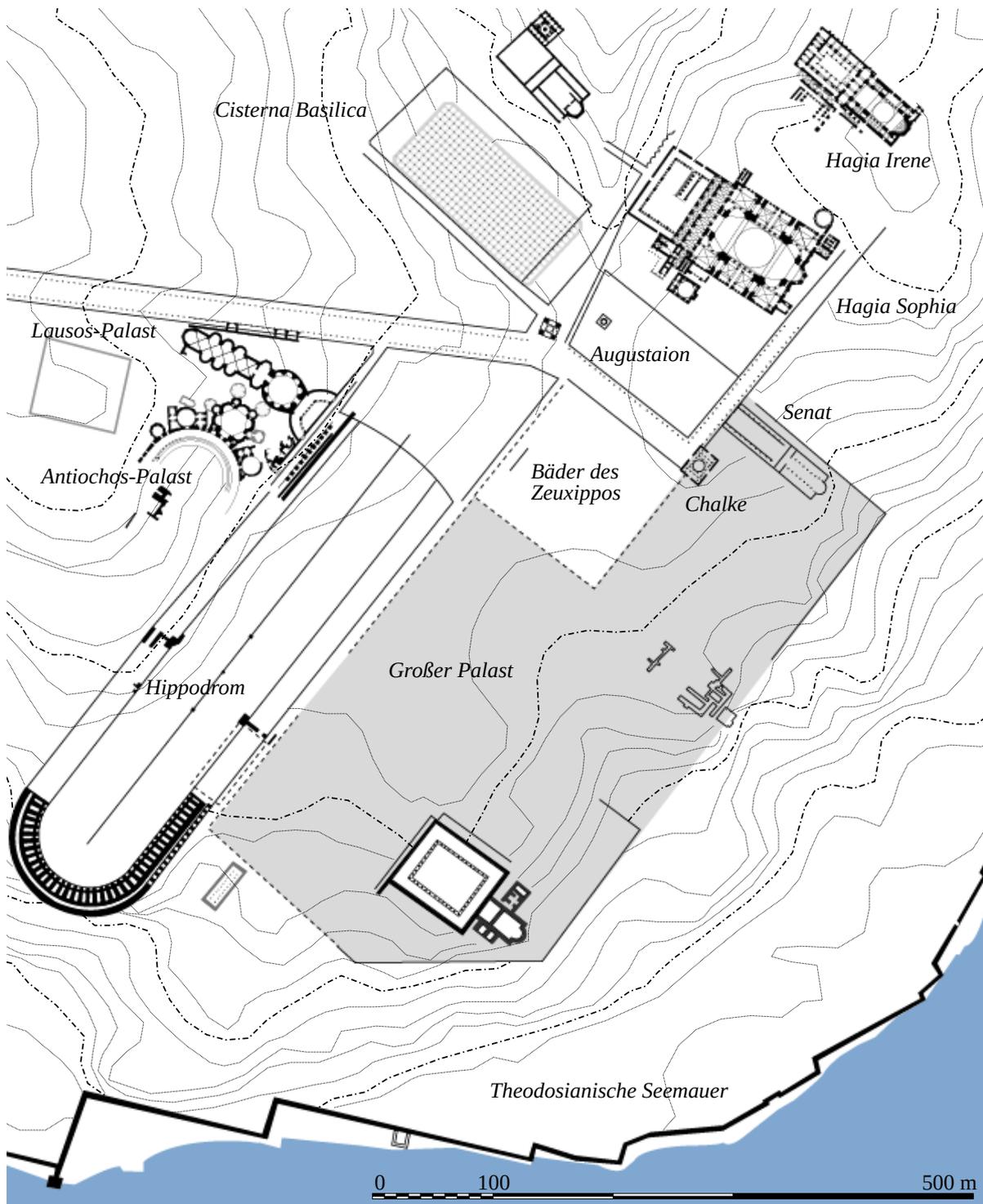


Abbildung 4.6: Stadträumliche Umgebung der Hagia Sophia. Quelle: Marsyas [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Constantinople\\_center.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Constantinople_center.svg), „Constantinople center“, Höhenlinien ergänzt, Beschriftung angepaßt, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>, Vergl. Müller-Wiener 1977, S. 153.

Man müsste meinen, viele dieser Daten ließen sich leicht aus dem Befund ermitteln. Das ist aber nicht der Fall, wie man exemplarisch am unteren Kranzgesims zeigen kann. Zählt man die Konsolen in diesem Gesims, fällt auf, dass einige Zahlen variieren. So kann man oberhalb der südlichen Kolonnaden 53 Konsolen zählen, oberhalb der nördlichen 52. An den östlichen Sekundärpfeilern zählt man 5 Konsolen, am nordöstlichen 6. An der Wand nördlich des Eingangs zählt man 10 Konsolen südlich des Eingangs 9. Die Konstruktion an vergleichbaren Ecken des Kranzgesimses variiert ebenfalls, wie man in Abbildung 4.7 erkennen kann. Misst man den Vorsprung des Kranzgesimses und seine Höhe an verschiedenen Stellen im Längsschnitt der Bauaufnahme von van Nice ergibt sich eine erstaunliche Bandbreite von Maßen (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Variation der Tiefe und Höhe des Kranzgesimses

Tiefe des Vorsprungs	Höhe des Kranzgesimses
0,95 m	0,60 m
0,72 m	0,61 m
0,74 m	0,67 m
0,54 m	0,61 m
0,72 m	0,65 m
0,84 m	0,61 m
0,60 m	0,63 m
1,02 m	0,65 m
0,52 m	0,58 m

Ähnliche Variationen könnte man an fast jedem Bauteil zeigen. Ob diese Inkohärenz späteren Reparaturen, der Verwendung von Spolien, dem hastigen Bauprozess oder den Freiheiten der Steinmetze geschuldet ist, soll an dieser Stelle nicht erörtert werden. Will man aber nicht alle diese Variationen in das Modell übernehmen oder muss fehlende Stücke ergänzen, so ist man gezwungen, eine *klare Unterscheidung* zwischen dem Befund und dem Modell machen und beim Modellieren permanent Entscheidungen treffen.

Eine Folge der Forderung nach Vollständigkeit ist daher ein eigenständiger Charakter des Modells. Bekräftigt wird dieser eigenständige Charakter durch die Forderung nach geometrischer Schlüssigkeit. Damit ist hier die Notwendigkeit gemeint, alle Bauteile im gemeinsamen dreidimensionalen Raum des CAD-Modells zu modellieren und dabei auch die Relationen und Abstände der Bauteile untereinander zu rekonstruieren. Das soll nach möglichst einheitlichen Prinzipien geschehen.

Dies soll hier anhand der Bögen in den Konchen demonstriert werden. Svenshon zeigt die Festlegung der Konchenmittelpunkte anhand der in den Schriften Herons von Alexandria überlieferten Methoden antiker Vermessungslehre<sup>27</sup>. Diese nutzt vereinfachte geometrische Verfahren, die es in der Praxis erlauben mit Brüchen aus ganzen Zahlen zu arbeiten, ohne dass dabei große Fehler entstehen. Um zu den Konchenmittelpunkten zu gelangen, erweitert

<sup>27</sup> Svenshon 2010.

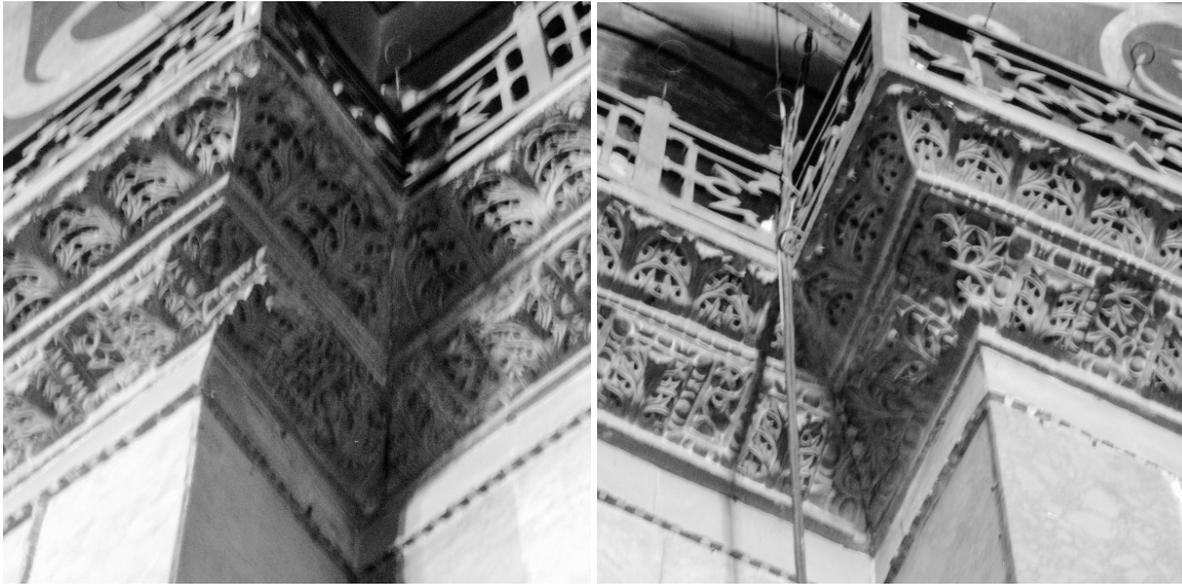


Abbildung 4.7: Zwei Lösungen für die Verkröpfung des Kranzgesimses im Bereich der Konsolen. Links überschneiden sich die Kymatien, rechts stoßen sie aneinander, sodass sich eine hervorstehende Ecke ergibt.

Svenshon die oktagonale Grundkonstruktion des Gebäudes (Abbildung 4.8). Die Säulenstellungen der Konchen und deren Wände im Erd- und Galerie-Geschoss lässt sich ebenfalls auf Basis der antiken Vermessungslehre herleiten.<sup>28</sup> Als Grundlage dient eine Konstruktion aus einem Neuneck und einem Fünfzehneck (Abbildung 4.10). Die Wandstücke rechts und links der Kolonnaden in den Konchen sind gleich breit (Abbildung 4.9). Das ist nur möglich, wenn die Symmetrieachse der Konstruktion durch den Mittelpunkt der Halbkuppel verläuft. Auf diese Weise ist die Konstruktion der Konchen mit der Grundrisskonstruktion verbunden.

Die Konstruktion mittels eines Neunecks bzw. eines Fünfzehnecks liefert nicht nur Achsen für die Säulenstellungen, sondern auch die Breite der Bögen und Kämpfer.<sup>29</sup> Interessant wird deren Rekonstruktion im Dreidimensionalen. Bögen in einem runden Bauteil entstehen auf einem trapezförmigen Grundriss, die schmale Halbtonne eines einfachen Bogens ist folglich zu einem Kegelabschnitt verzogen. Läge die Spitze dieses Kegels im Mittelpunkt der Konchen, wären die Grundrisse der Kämpfer ebenfalls trapezförmig. Das ist in den Konchen eindeutig nicht der Fall. Die Kämpfer sind, wie die Kapitelle, quadratisch. Diese Geometrie erreicht man, wenn die Spitze des Kegels in die Ecke eines Vielecks gelegt wird, dessen Seitenlänge der Breite der Kämpfer entspricht (Abbildung 4.11).

Die Kegelkonstruktion bringt eine Neigung des Bogenscheitels mit sich. In Abbildung 4.12 lässt sich das im Schnitt der Konchen im Erdgeschoss erkennen. Im Obergeschoss allerdings nicht. Dort verläuft der Scheitel waagrecht. Da auch hier die Kämpfer rechtwinklig sind ist

---

<sup>28</sup> Hauck, Noback und Grobe 2013, S. 208.

<sup>29</sup> Hauck, Noback und Grobe 2013, S. 209.

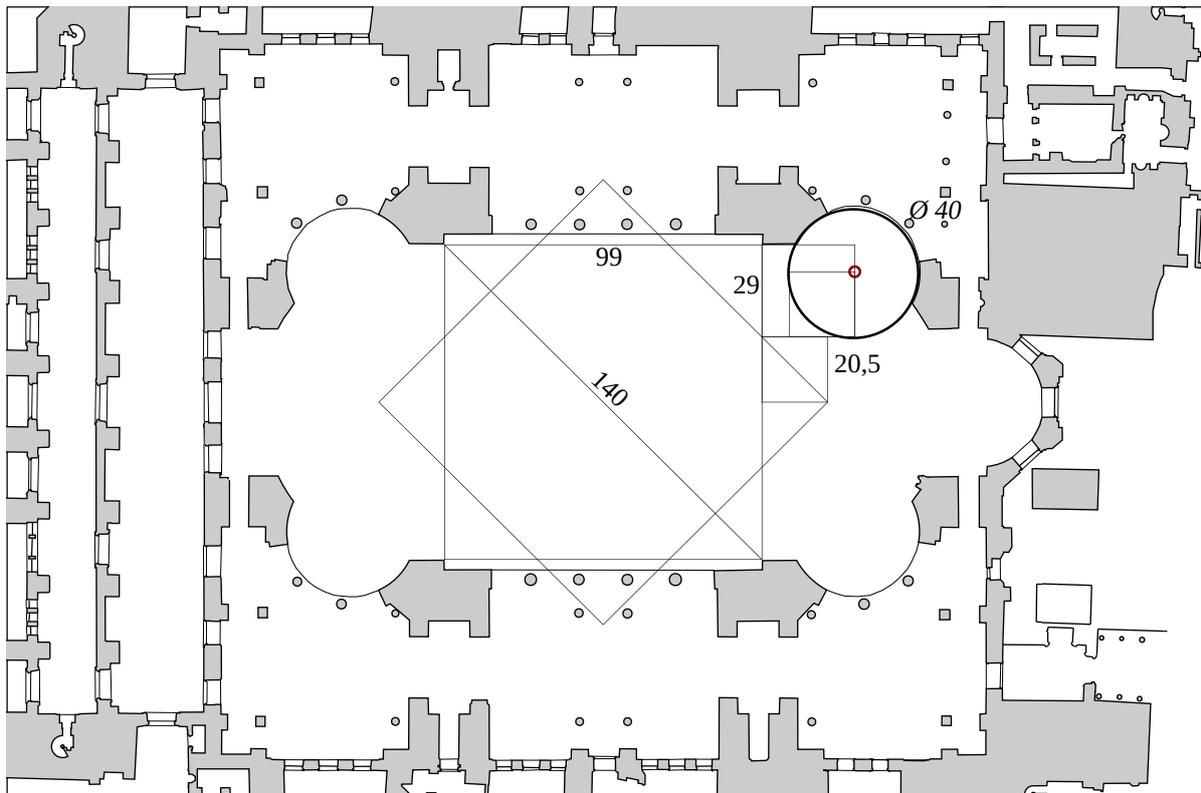


Abbildung 4.8: Konstruktion des Mittelpunktes der Konchen nach Svenshon.

das nur möglich, wenn eine Seite des Bogens zur Ellipse verzogen ist, hier die äußere.<sup>30</sup> Damit erhält man eine Fläche für die Innenseite des Bogens, die sich nicht mehr durch einfache ebene Flächen (Trapeze) annähern lässt. Im Galeriegeschoss sind diese Flächen mit Goldmosaik überzogen, das geometrische Fehler verdeckt, die zwangsläufig bei der Annäherung an eine solch komplexe Form bei der Herstellung von gemauerten Gewölben entstehen. Im Erdgeschoss, wo die Gewölbe mit trapezförmigen Marmorplatten verkleidet sind, zieht man offenbar die Kegelkonstruktion vor (Abbildung 4.13).

Der Abgleich der Konstruktion mit dem Befund fördert noch eine Abweichung zu Tage: die Konchen der Hagia Sophia sind nicht alle gleich (Abbildung 4.14). Die Bögen in der nordwestlichen Konche sind gestelzt, die dort verwendeten Säulenschäfte aus rotem Porphyrr kürzer. Ein starker Hinweis, dass es sich bei den Porphyrschäften um Spolien handelt.

Die vorangegangenen Absätze haben gezeigt, wie sich bei der Modellierung die Notwendigkeit ergibt, die zu Grunde liegenden *Konstruktionsverfahren* zu rekonstruieren. Die geometrische Wechselbeziehung der Konstruktionen einzelner Bauteile und die Notwendigkeit, die Maße der Bauteile aufeinander zu beziehen, resultiert in einer umfassenden Rekonstruktion der ursprünglichen Gebäudegeometrie. Auch die Modellierung eines Bauteils gehört folglich zur

<sup>30</sup> Eine Ellipse kann auch mit Kreissegmenten »nachgebaut« werden.

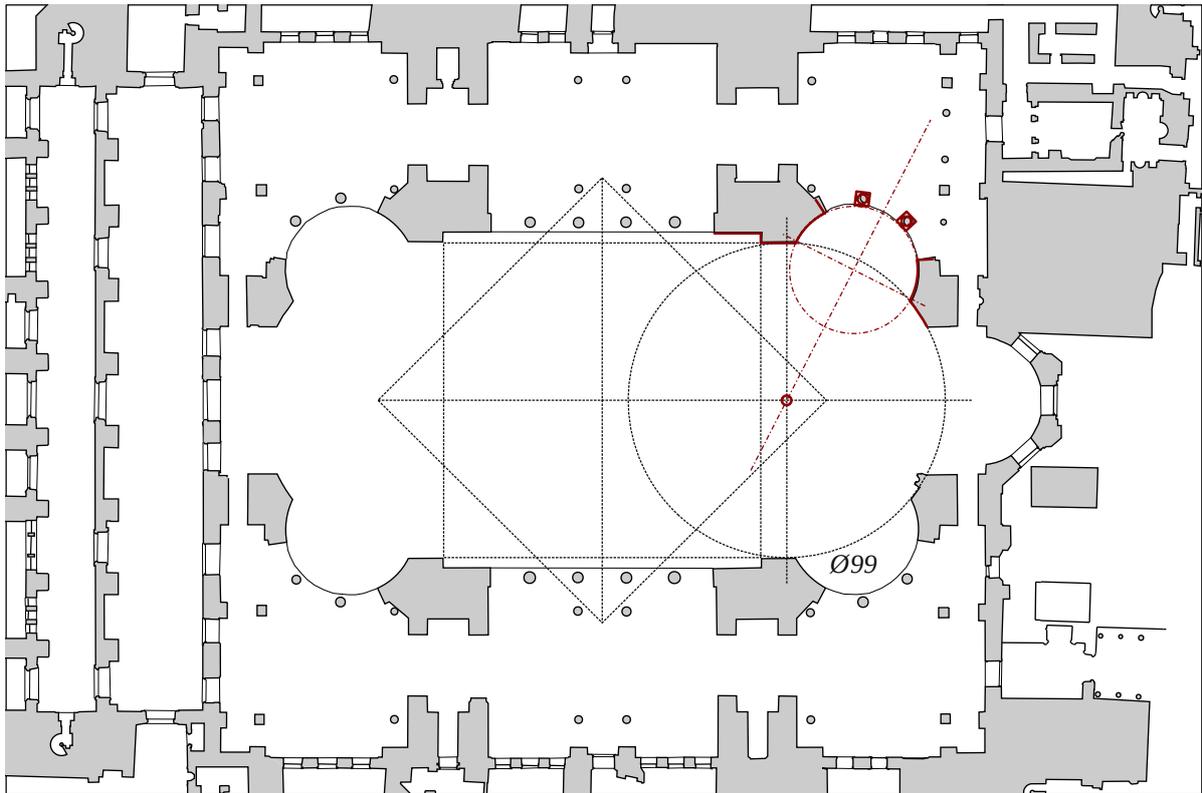


Abbildung 4.9: Symmetrie der Konchen

Arbeitshypothese einer historischen Rekonstruktion. Im Rahmen des Darmstädter Modells der Hagia Sophia wurde der Versuch unternommen, das nicht nur mit Bezug auf den Befund und vergleichbare Bauten, sondern auch auf die überlieferten Methoden antiker Vermessungslehre und praktischer Geometrie zu unternehmen.<sup>31</sup> Die Vorgehensweise stellt einen Versuch dar, die einzelnen Arbeitshypothesen zu einer umfassenderen Theorie des Entwurfs weiterzuentwickeln.<sup>32</sup> Ein Verfahren, das sich auch auf andere Gebäude und Epochen übertragen ließe.

## 4.6 Rekonstruktion der Kuppel von 562

Die erste Kuppel der Hagia Sophia ging in Folge des Erdbebens von 558 verloren. Die hier rekonstruierte Kuppel ist nach einer fast zeitgenössischen Quelle, dem Historiker Malalas um 20 bzw. höher. Agathias beschreibt die neue Kuppel als enger und steiler und daher weniger

<sup>31</sup> Ein weiteres Prinzip dieses Ansatzes zu entwerfen, ist der weiter oben erwähnte, an den funktionalen Ansprüchen der Liturgie entwickelte Größengestaltung der Einbauten.

<sup>32</sup> Hier und in der zitierten Literatur geschieht das bisher nur exemplarisch. Leider fehlt noch die Veröffentlichung der umfangreichen Arbeiten von Oliver Hauck zu den Gewölben.

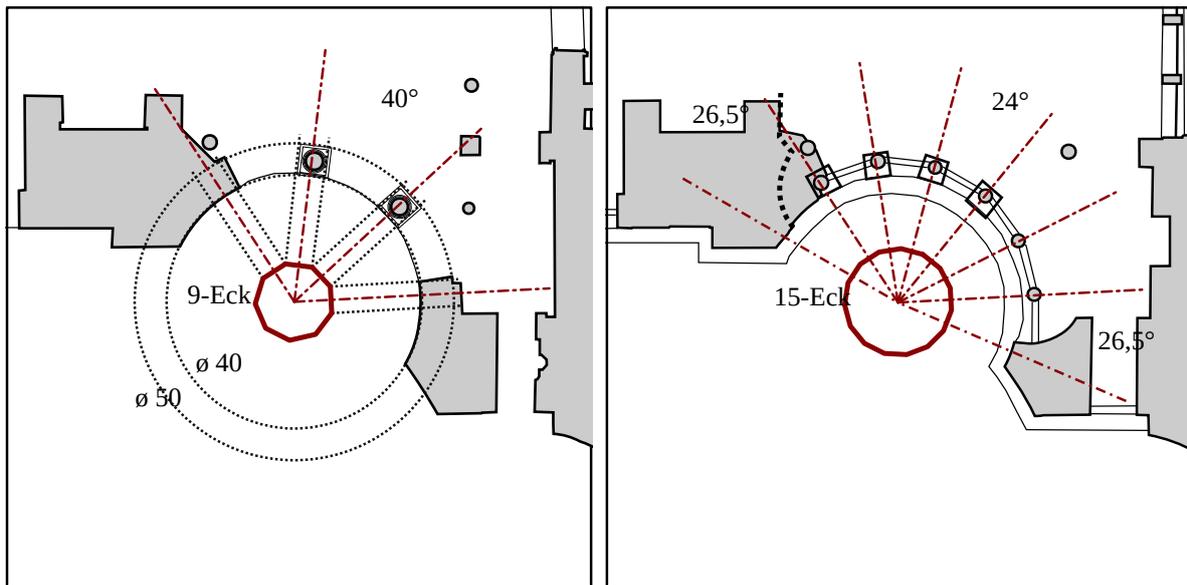


Abbildung 4.10: Konstruktion der Konchen auf Basis eines Neunecks im Erdgeschoss und eines Fünfzehnecks im Galeriegeschoss.

eindrucksvoll. Von der Beschreibung der Kuppel bei Prokop nimmt man an, dass sie sich noch auf die ursprüngliche Kuppel bezogen hat.<sup>33</sup> Auf Basis der wenigen Informationen aus diesen Quellen sind auch Rekonstruktionen der ursprünglichen Kuppel versucht worden,<sup>34</sup> am Bau selbst finden sich keine Hinweise auf die ursprüngliche Form mehr.

Den bisher publizierten Bildern des Darmstädter Modells der Hagia Sophia liegt eine Geometrie der Kuppel zugrunde, die für diese Arbeit korrigiert werden musste. Am Vergleich der gebauten Geometrie mit dem Querschnitt von van Nice zeigte sich, dass die Kuppel selbst und das Kranzgesims darunter zu hoch geraten waren. In ersten Berechnungen hatte das Auswirkungen auf die Beleuchtung der Kuppel und die Ansicht der Fenster (Abbildung 4.18).

An der Rekonstruktion der Kuppel von 562 aus dem Befund zeigt sich ein interessantes methodisches Problem, an dem sich die Arbeitsweise der computergestützten Rekonstruktion demonstrieren lässt: Das Gebäude der Hagia Sophia hat sich seit ihrem Bau verformt.<sup>35</sup> Davon sind die höher liegenden Teile am stärksten betroffen. Grund dafür ist vor allem der horizontale Schub am Fuß der Kuppel. Dieser ist durch die ursprünglich flachere Kuppel noch größer gewesen und vermutlich mit ein Grund für den Teileinsturz der Gewölbe nach dem Erdbeben von 558. Die Verformung ist aufgrund der Konstruktion der Hagia Sophia asymmetrisch. Die Halbkuppeln zeigten sich steif gegenüber dieser Kraft, die Bögen und Pfeiler an den Tympanonwänden gaben stärker nach (Abbildung 4.16). Der jüngere Isidorus musste seine Kuppel also

<sup>33</sup> Mainstone 1988, S. 90 f.

<sup>34</sup> Taylor 1996, Hoffmann 2005.

<sup>35</sup> Mainstone 1988, S. 89 Abb. 105.

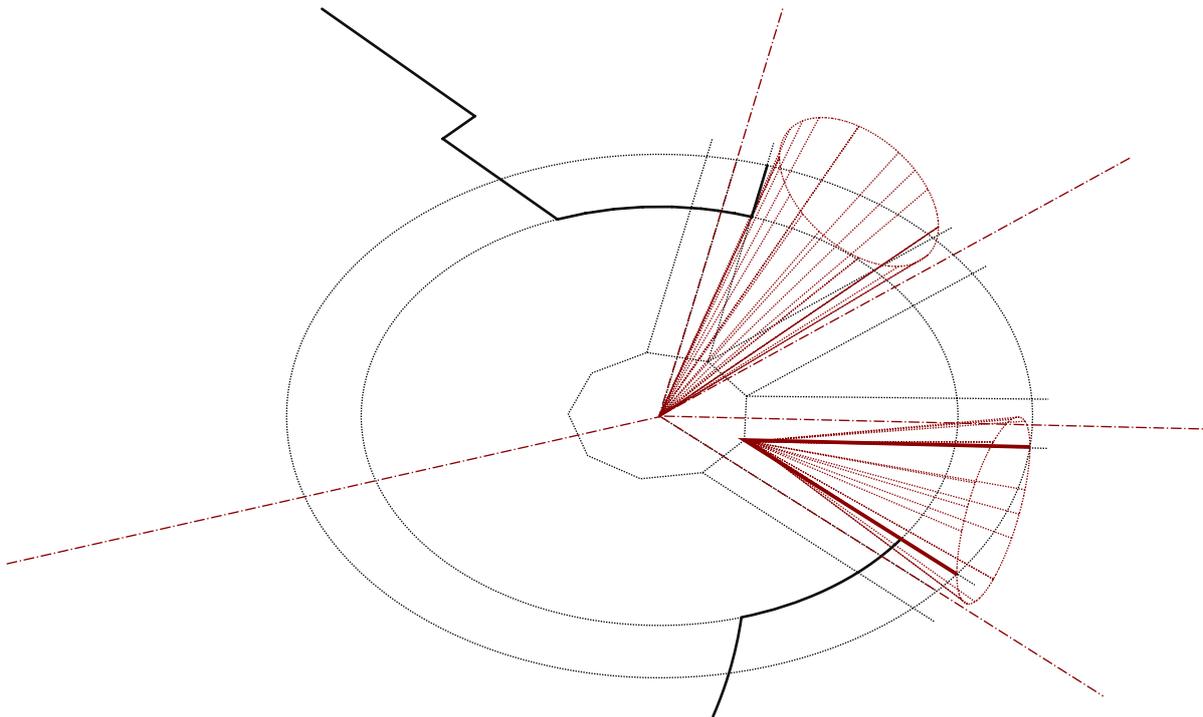


Abbildung 4.11: Konstruktion der Bögen in den Konchen mit Kegelflächen: liegt die Spitze des Kegels in der Konchenmitte, werden die Grundrisse der Gewölbe und der Kämpfer trapezförmig. Rechtwinklige Kämpfer erhält man, wenn man die Spitze des Kegels auf die Ecke eines Vielecks legt, dessen Seitenlänge den Breiten der Kämpfer entspricht. In beiden Fällen ist die Scheitellinie der Bögen geneigt.

auf einem asymmetrischen Grundriss errichten und hat dazu offenbar eine Konstruktion aus Kreissegmenten genutzt.<sup>36</sup>

Eine solche Konstruktion könnte man im Rechner nachbauen, wie aber die komplexe Verformung des Baus darunter? Neben den praktischen Problemen widerspricht sie einer Arbeitsweise, die versucht, das konstruktive Prinzip hinter der Entwurfsgeometrie eines Gebäudes zu verstehen.

Die Rekonstruktion löst das Problem, indem sie an diesem Punkt vom Ergebnis der Bestandsanalyse bewusst abweicht. Sie orientiert sich an der Form der erhaltenen Teile der Kuppel von 562 (Abbildung 4.15) auf einem Grundriss, der sich aus den gezeigten Prinzipien der Grundrissentwicklung ableitet. Sie wurde als Rippenkuppel mit einem inneren Durchmesser von 105 bzw. also entsprechend dem Abstand der Tympanonwände konstruiert.<sup>37</sup> Der Mittelpunkt der Kuppel liegt auf der Höhe des unteren Scheitelpunktes der Halbkuppeln bzw. Bögen, also 5 bzw.

---

<sup>36</sup> Mainstone 1988, S. 216, Abb. 240b.

<sup>37</sup> Die Flächen zwischen den Rippen springen nur um einen halben Fuß zurück, daher treten sie in der Untersicht nur wenig hervor. Im Bestand sind die Kanten der Rippen durch Ornamente hervorgehoben, die zur Mitte hin über den Punkt hinaus reichen, an dem sich die Rippen schneiden. Dort ist die Kante, die sie betonen gar nicht mehr vorhanden.

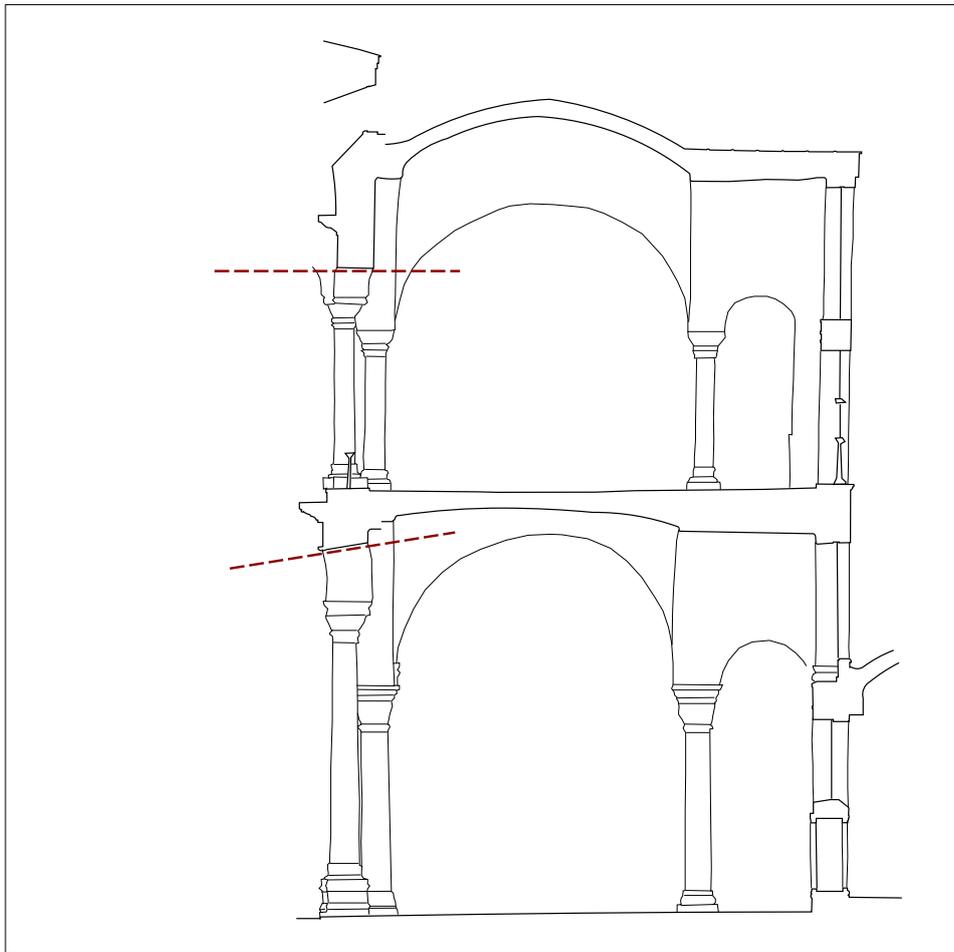


Abbildung 4.12: Schnitt durch die Konchen: Im Erdgeschoss ist die Scheitellinie der Bögen geneigt, im Galleriegesschoss jedoch waagrecht. Nach: Nice 1995 Tafel 41.

unter dem Kranzgesims.<sup>38</sup> Es ergibt sich ein gebautes Kuppelsegment von etwa  $162^\circ$ .<sup>39</sup> Das umlaufende Gesims folgt dieser Geometrie und steigt leicht an.

Ein weiterer interessanter Aspekt der Konstruktion ist die Neigung der Gewölbescheitel über den Fenstern: diese passt nicht zum Öffnungswinkel der Seitenflächen der Rippen, mit denen das Gewölbe bündig abschließt. Der Scheitel zielt auch nicht auf den Mittelpunkt der Kuppel, sondern auf die Höhe des Gesimses. So ergibt sich ein schiefer Kegel, dessen Spitze oberhalb des Schnittpunktes der Seitenwände der Rippen liegt (Abbildung 4.17).

Bei der neuen Konstruktion wurden auch die äußeren Teile der Rippen modelliert, die je nach Sonnenstand Schatten auf die Fenster werfen. Durch die neue Geometrie verändert sich auch die Untersicht der Kuppel (Abbildung 4.18, Vergl. auch die heutige Kuppel: Tafel 6). Diese

<sup>38</sup> Mainstone 1988, S. 216 Abb. 240b.

<sup>39</sup> Mainstone 1988, S. 65.



Abbildung 4.13: Die Steinverkleidung der Konchenbögen im Erdgeschoss. Zustand 2001.

Rekonstruktion der zweiten Kuppel entspricht eher den Beschreibungen Paulus Silentarius. Er vergleicht das Muster der Rippen und Fenster mit einem Kamm und beschreibt den Eindruck, die Kuppel schwebte in den Lüften.<sup>40</sup>

## 4.7 Rekonstruktions- und Simulationsmodell

Bisher war von der Geometrie und ihrer Rekonstruktion die Rede. Die Umsetzung in ein Computer Aided Design (CAD)-Modell kann aber auf verschiedene Weise erfolgen. Das Darmstädter Modell ist mit Hinblick auf die Lichtsimulation als *Oberflächenmodell* umgesetzt worden. Das ist vorteilhaft für die materialgerechte Unterteilung der Oberflächen. Eine bauteilgerechte – an den Körpern von Wänden, Gewölben und Architekturgliedern orientierte – *volumetrische* Modellierung analog zu Building Information Model (BIM)-Modellen moderner Bauten hätte, wie schon Koob früh zeigte, Vorteile für die Rekonstruktion<sup>41</sup>. Sie orientiert sich näher an der eigentlichen Baukonstruktion und ihren praktischen Problemen bei der Ausführung. Für die Raytracing-Verfahren der Lichtsimulation müssen beide Arten von Modellen in ein reines *Polygonmodell* übersetzt werden.<sup>42</sup> Der Unterschied zwischen Oberflächen- und Polygonmodell, liegt darin, dass im Oberflächenmodell die Geometrie gewölbter Flächen auf Kugeln, Kegeln

---

<sup>40</sup> Procopius Caesariensis und Paulus Silentarius 1977 Vers. 496.

<sup>41</sup> Cramer u. a. 1993, S. 74, 78.

<sup>42</sup> Einige einfache Grundkörper lassen sich in RADIANCE für die Modellierung von Lichtquellen verwenden, werden aber von den Importwerkzeugen nicht unterstützt.



Abbildung 4.14: Varianten der Konstruktion der Konchen: Links die Konche im Nord-Westen, rechts die im Süd-Osten des Gebäudes. Man beachte die unterschiedliche Länge der Säulen. Aus ihnen resultieren unterschiedliche Höhen der Kämpferpunkte und veränderte Proportionen des Opus-sectile-Feldes. Letzteres reicht an der Wand im Nord-Westen bis an die Unterkante des Onyx-Bandes im Süd-Osten bis an die Oberkante hinab. Zustand 2001.

etc. basiert, die mit Hilfe von Parametern wie Radius, Mittelpunkt etc. manipuliert werden können. Im Polygonmodell ist dieser Bezug zur Konstruktion verloren.

Daher wird in der theoretischen Herleitung zwischen Rekonstruktions- und Simulationsmodell unterschieden. Durch die Übersetzung in das Polygonmodell entsteht ein Informationsverlust. Daher muss das Rekonstruktionsmodell als CAD-Modell parallel zum Simulationsmodell gepflegt werden.<sup>43</sup> Im Simulationsmodell ist Oberflächengeometrie mit den Materialmodellen verknüpft, die die optischen Eigenschaften der Oberflächen für die Berechnung verfügbar machen. Manche dieser Eigenschaften, z. B. die Farbveränderungen innerhalb der Marmor-

<sup>43</sup> Im Falle des Darmstädter Modells geschah das vorwiegend im proprietären Datenformat von FORMZ. Zum Projektbeginn waren (noch) keine geeigneten freien Datenformate mit ausreichender Funktionalität und Exportmöglichkeiten in RADIANCE verfügbar. Die als Schnittstelle zu RADIANCE verwendeten offengelegten Formate Drawing Exchange Format (DXF) und Wavefront Geometrieformat (OBJ) basieren auf Polygonen.

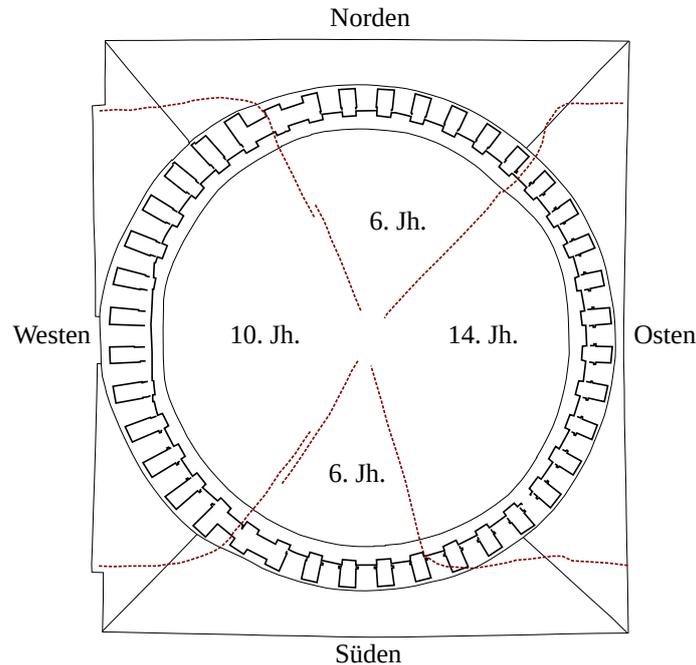


Abbildung 4.15: Mainstones Analyse der verschiedenen Reparaturen an der Kuppel. Die Rekonstruktion orientiert sich am erhaltenen Bestand aus dem 6. Jh. Nach: Mainstone 1988, 89f Abb.106a.

oberflächen, sind von der Geometrie abhängig und die zugehörigen Materialmodelle müssen angepasst werden, wenn sich die Geometrie ändert. Diese Änderungen sind mühsam und fehlerträchtig und ein weiterer Grund, zwischen den Modellen der beiden Arbeitsphasen zu unterscheiden: die Rekonstruktion sollte abgeschlossen sein, bevor die Phase der Lichtsimulation beginnt.

## 4.8 Weiterentwicklung des Darmstädter Modells

Das Darmstädter Modell zeigt im publizierten Zustand<sup>44</sup> die wichtigsten Innenräume der Hagia Sophia: Das Hauptschiff einschließlich dem Altarraum und der Apsis, die Seitenschiffe und die drei Teile der Galerien. Nicht gebaut wurden der Narthex und der Exonarthex, der Hof und alle Nebenräume wie die Räume des Patriarchats. Gegenüber dem heutigen Zustand sind alle nachträglichen Veränderungen und Einbauten entfernt worden, so die Sultansloge, der Mihrab, das Minbar, die Dikka, die Bibliothek im südlichen Seitenschiff etc., ebenso Ausstattungsteile wie die großen Kalligraphie-Tafeln. Das gleiche gilt für die aufgeführten Stützkonstruktionen und Zusetzungen. Alle später in unmittelbarer Nähe der Hagia Sophia errichteten Gebäude (Mausoleen, Minarette, verstärkende Anbauten) sind ebenfalls entfernt worden. Ergänzt wurden

<sup>44</sup> Grobe, Hauck und Noback 2010.

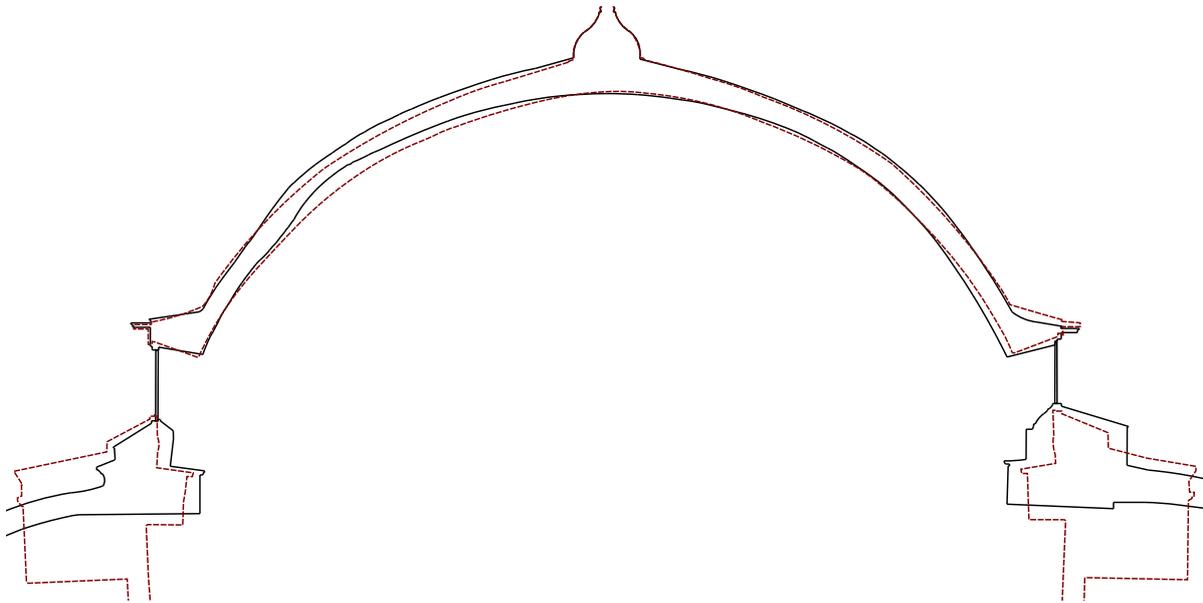


Abbildung 4.16: Überlagerung des Längs- und Querschnitts der Kuppel in der Bauaufnahme von van Nice. Die Kuppel ist aufgrund der Verformungen in Nord-Süd-Richtung (rot) breiter als in Ost-West-Richtung (schwarz). Nach: Nice 1995 Tafeln 30 und 33, siehe auch Tafel 43.

die rekonstruierten Einbauten im Altarbereich (Chorschranken, Synthronon, Ziborium) sowie Solea und Ambo.

Gegenüber dem publizierten Zustand wurde das Modell gründlich überarbeitet und an den Bauzustand von 562 angepasst. Dabei wurden einige Verbesserungen vorgenommen:

- Die Höhe des Abschlussgesimses unter der Kuppel und die Kuppel selbst wurden überarbeitet.
- Die Breite der zu klein geratenen Halbtonne über dem Altarraum und im Eingangsbereich wurde vergrößert.
- Die Gewölbe über dem Hauptschiff wurden neu konstruiert um die grobe Triangulation des Modells zu beseitigen.
- Die restlichen Gewölbe wurde für die Verwendung von Materialien überarbeitet, die auf uv-Koordinaten basieren.
- Die Materialzuordnung innerhalb der Marmordekoration wurde gründlich überarbeitet.
- Die Fenster und Glasflächen wurden überarbeitet und dabei viele kleine Fehler beseitigt und Löcher geschlossen, welche die Simulationsergebnisse beeinträchtigt haben.
- Die im Bauprozess ergänzten Verstärkungen der Hauptpfeiler in den Seitenschiffen und den Galerien im Norden und Süden wurden rekonstruiert.
- Außerhalb der Innenräume liegende Bauteile des Gebäudes, die Schatten auf Fenster werfen können wurden ergänzt, so die Volumen der Treppenhäuser und Rampen und der

außen liegenden Teile der Hauptpfeiler oberhalb der nördlichen und südlichen Galerien (Abbildung 4.19).

- An den Fenstern der Halbkuppeln wurde Flächen ergänzt, deren Schattenwurf den außenliegenden Ringmauern und Pfeilern entspricht.
- Die Volumen der erhaltenen, bis in die Bauzeit zurückreichenden Gebäude der direkten Umgebung, das Skeuophylakion und das Baptisterium, wurden ergänzt.

Auch nach diesen Korrekturen finden sich im Modell noch eine Reihe kleinerer Fehler und Ungereimtheiten. So z. B. ein Fehler in den Höhen innerhalb der Konchen oder die Breite der großen Bögen zwischen den Halbkuppeln und den Pendentifs. Im Modell sind diese Bögen 9 bzw. 9  $\frac{1}{2}$ <sup>45</sup> oder 8  $\frac{1}{2}$  (in der Rekonstruktion der Geometrie). Eine umfassende Dokumentation der Geometrie des Modells steht noch aus.

## 4.9 Weiterer Forschungsbedarf

Das Darmstädter Modell der Hagia Sophia ist bislang unzureichend dokumentiert. Es sind auch noch nicht alle Erkenntnisse aus der Analyse von Svenshon in das Modell übernommen worden. Die gezeigte Rekonstruktion der Konchen und ihrer Bögen und die der Kuppel sollte analog zur Grundrissentwicklung des Gebäudes auf die antike Geometrie und ihre Praxis bezogen werden. Antike Geometrie und Optik bedienen sich gleicher Methoden und basieren auf den gleichen philosophischen Vorstellungen. Architektonische Lichtkonzepte, die Geometrie und Optik aufeinander beziehen, entwickeln sich folglich aus gemeinsamen Vorstellungen.

Für die Rekonstruktion der Hagia Sophia weniger interessant ist der Blick auf den bauhistorischen Kontext – sind hier doch fast alle Bauteile erhalten. Für die Untersuchung des Lichtkonzepts wäre aber eine umfangreichere Analyse der Entwicklung der Fensterformen und Fensterteilungen von großem Interesse.

---

<sup>45</sup> Hauck, Noback und Grobe 2013, S. 208.

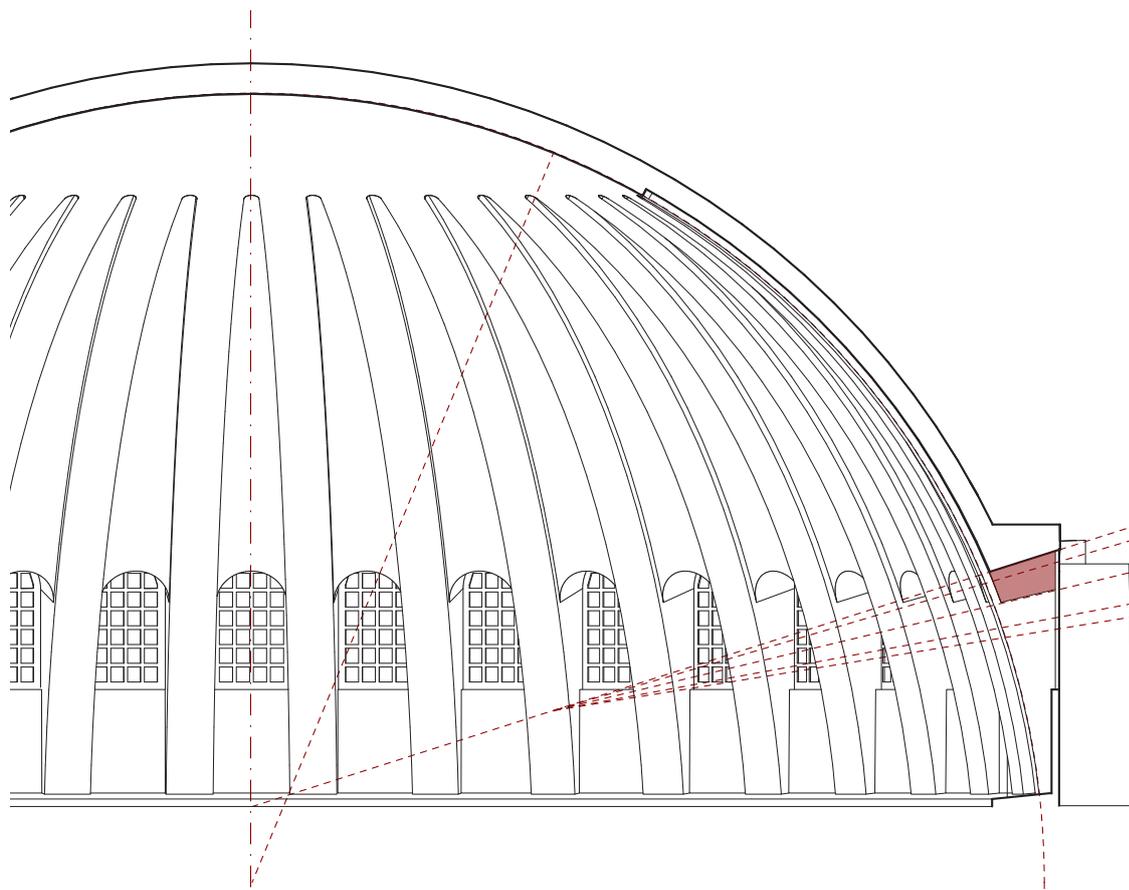


Abbildung 4.17: Konstruktion der Gewölbe über den Fenstern mittels eines Schiefen Kegels.

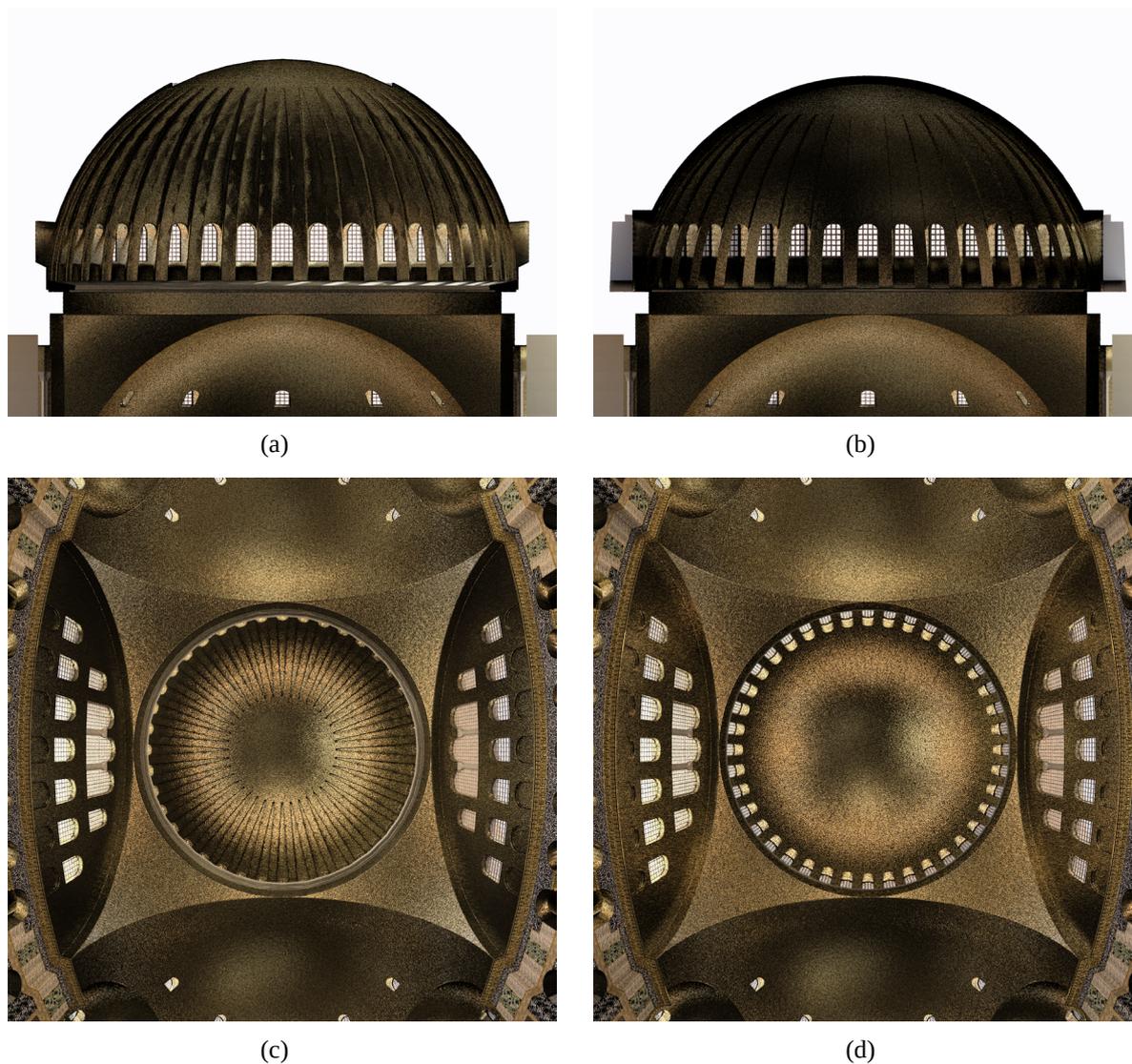


Abbildung 4.18: Gegenüberstellung der bisherigen ((a),(c)) und der neu konstruierten Kuppel ((b),(d)). In den Schnitten sind die unterschiedliche Höhe der Kuppel klar zu erkennen, ebenso die unterschiedliche Position der Fenster in der Höhe und deren Abstand von der Kante des Gesimses am Fuß der Kuppel. Die Geometrie der kegelförmigen Gewölbe über den Fenstern hat dadurch spürbare Veränderungen erfahren, zusätzlich wurde die Neigung des Scheitels angepasst. Die außen liegenden Teile der Rippen wurden im neuen Modell ergänzt. In der Untersicht treten durch die veränderte Geometrie die Fenster deutlicher hervor. Durch die veränderte Neigung erscheint die Oberfläche der neuen Kuppel im Vergleich heller.

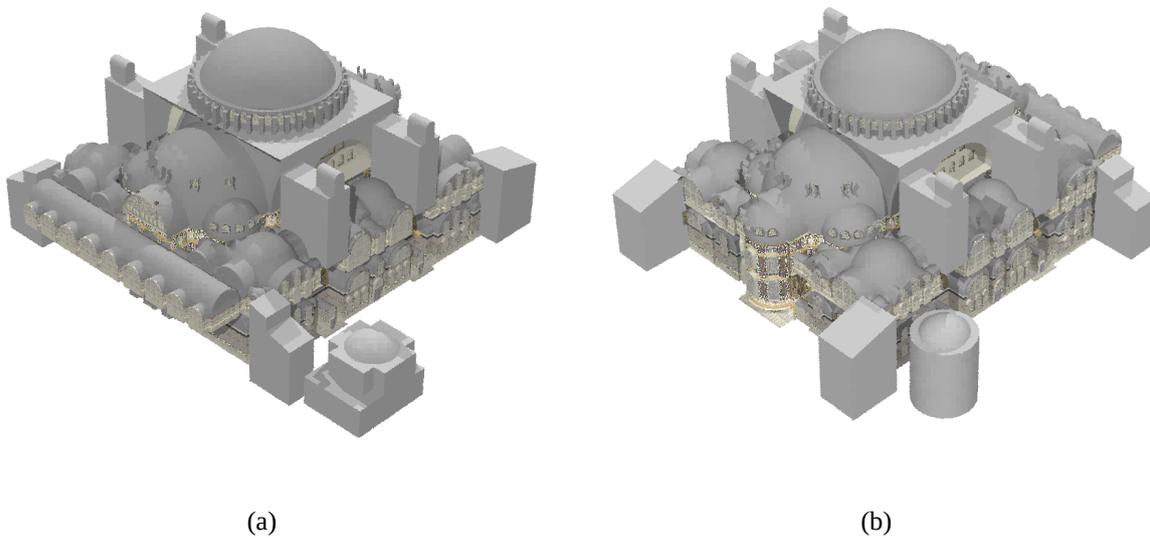


Abbildung 4.19: Das überarbeitete Darmstädter Modell der Hagia Sophia mit der bekannten für die Verschattung relevanten Umgebung des 6. Jhs. Das Modell zeigt nur die für den Innenraum relevanten Teile, keine Wände und über die erwähnten Ausnahmen hinaus keine außenliegenden Bauteile. Auch die Hallen des Narthex und Exonarthex unter der Galerie im Westen nicht Teil des Modells. (a) Ansicht von Südwesten. Im Südwesten liegt die Rampe mit dem Baptisterium, im Südosten das rekonstruierte Treppenhaus. (b) Ansicht von Nordosten. Im Südwesten liegen ein Treppenhaus und das Skeuophylakion im Nordosten die Rampe. Im Norden lag ein weiteres Baptisterium, das bisher nicht lokalisiert werden konnte. Nördlich und südlich der Kuppel erkennt man die außen liegenden Teile der großen Stützpfeiler mit den Bögen dazwischen. Die tief liegenden Fenster der Kuppel und der Halbkuppeln sind mit einer Schatten werfenden Geometrie gerahmt. Die goldenen Gewölbe sind mit einer zweiten Schale geringer Reflexion – ähnlich einer Bleiverkleidung – versehen.