

Kapitel 14

Fazit

14.1 Anwendung der theoretisch hergeleiteten Methode

Zusammenfassend kann die erste der formulierten Hypothesen durch die Ergebnisse dieser Fallstudie bestätigt werden, d. h. die theoretisch erarbeitete Methode der Lichtsimulation kann entlang ihrer Arbeitsphasen Rekonstruktion, Messung, Simulation und Auswertung zur Untersuchung der Beleuchtung des verlorenen ursprünglichen Bauzustand der Hagia Sophia durch Tageslicht angewandt werden. Auf diese Weise kann auch die, durch bauliche und materielle Veränderungen heute nicht mehr nachvollziehbare, Helligkeits- und Kontrastwirkung des Innenraums analysiert werden.

Durch die Kombination der Methoden der Rekonstruktion, Simulation und Auswertung konnten erstmals die Tageslichtbeleuchtung und wichtige Aspekte ihrer Wahrnehmung am ursprünglichen Bauzustand untersucht werden. Die Case Study zeigt, dass historische Materialeigenschaften im Kontext von Herstellung und Alterung rekonstruiert werden müssen und ihre Modellierung eng mit der geometrischen Rekonstruktion verzahnt ist. Sie zeigt darüber hinaus die entscheidende Rolle der Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung in den Auswertungsmethoden und damit für die Untersuchung historischer Lichtkonzepte. In Bezug auf die einzelnen Arbeitsschritte konnte folgendes festgestellt werden:

14.1.1 Rekonstruktion des Bauzustands von 562

Der Bauzustand von 562 kann auf Grundlage der Quellen, der Bauaufnahme von van Nice, der umfangreichen Analyse von Mainstone sowie Arbeiten zu Einbauten und Marmorausstattung schlüssig rekonstruiert werden. Er weicht wesentlich von der ersten Bauphase bis 537 nur durch die Kuppel ab, deren ursprünglich flachere Geometrie spekulativ bleibt. Der rekonstruierte Bauzustand unterscheidet sich vom heutigen in seiner Geometrie und in den optischen Eigenschaften seiner Materialien auf bedeutende Weise:

1. Nachträgliche Maßnahmen zur Verstärkung und Abstützung des Gebäudes und zusätzliche Einbauten und Gebäude in der Umgebung haben die Raumwirkung und die Beleuchtung deutlich verändert. Dazu zählen insbesondere die Verstärkung der Pfeiler durch Zusetzung von Öffnungen zwischen dem Hauptraum und den Seitenschiffen, die Außen angebrachten massiven Stützkonstruktionen, zusätzlich verschlossene oder verkleinerte Fenster, die

- Sultansloge und die Bibliothek Mahmud I. Vor allem dadurch ist die Beleuchtungsstärke in der Mitte des Hauptraums am gewählten Vergleichszeitpunkt im Ursprungszustand etwa viermal so hoch.
2. Das goldene Glasmosaik überzog ursprünglich sämtliche Gewölbe und trägt durch seinen hohen Reflexionsgrad zur Lichtverteilung im Innenraum und durch effektiv glitzernde Reflexionen zur Lichtwirkung bei.
 3. Die in der Arbeit detailliert rekonstruierte Marmorausstattung weist ursprünglich einen Glanz und größere Helligkeits- und Farbkontraste auf.
 4. Die in der Arbeit anhand der Ekphrasis erstmals rekonstruierte Vergoldung der plastischen Bauteile der Marmordekoration steuert zusätzliche Glanzeffekte bei und verbindet die Wandgestaltung visuell mit dem Goldmosaik. Der Kontrast zwischen dem Vorder- und Hintergrund der *À-jour*-Arbeiten wird gesteigert. Die Schatten auf den Unterseiten der Kranzgesimse werden zurückgenommen. Die Licht- und Schattenverläufe der gerundeten Oberflächen weichen dem Glanz.
 5. Die in der Arbeit rekonstruierte Kuppel weist durchgängig die Form des späten 6. Jh. auf, ohne die geometrischen Veränderungen byzantinischer Reparaturen. So kann durch zusätzliche Fenster direktes Sonnenlicht auf die Oberflächen des Innenraumes fallen.
 6. Die rekonstruierten Eigenschaften des Fensterglases weisen eine Streuwirkung auf. Diese beeinflusst die Größe der Lichtflecke, welche direktes Sonnenlicht aus den Fenstern auf den Oberflächen entstehen lässt. Sie beeinflussen ferner den Kontrast zwischen direkter und indirekter Beleuchtung.

Der beispielhaft dokumentierte Rekonstruktionsprozess zeigt in Übereinstimmung mit der theoretischen Herleitung diesen Arbeitsschritt als ein »Nach-Konstruieren« entlang des empirischen Befunds, bei dem architektonische Arbeitsmethoden und Praxiswissen genutzt werden können. Diese werden durch Erkenntnisse zur angewandten Geometrie und Baupraxis der Spätantike ergänzt. Die Ekphrasis des Paulus Silentiarius erweist sich bei der Rekonstruktion der Marmorausstattung und der Vergoldung der plastischen Bauteile als wichtige historische Textquelle. Sie bestätigt die Untersuchungen zur Marmorproduktion und hilft bei der Zuordnung der Materialien. Die zugrundeliegende Analyse von Mainstone stützt sich auf weitere Textquellen und Vergleiche zu historisch verwandten Gebäuden. Die herangezogene Rekonstruktion der Einbauten stützt sich ebenfalls auf den empirischen Bestand, Textquellen und vergleichbare Beispiele. Im Darmstädter Modell wird auf diese Weise systematisch erarbeitetes, kohärentes Wissen über den Bau zusammengeführt – vergleichbar einer umfassenden Theorie des ursprünglichen Bauzustands, die kritisch rezipiert und erweitert werden kann.

Die Arbeit zeigt, dass die Rekonstruktion der Geometrie und der Materialverteilung eng auf die Rekonstruktion der Materialeigenschaften und deren Modellierung abgestimmt werden muss. Ohne die detaillierte Modellierung der Marmordekoration einschließlich der *À-jour*- und *Opus sectile*-Arbeiten wäre keine geeignete Zuweisung der mathematischen Materialmodelle möglich. Das komplexe Materialmodell für das Goldmosaik erfordert die Modellierung der Gewölbe als ausreichend detailliertes Dreiecks-Mesh mit maßstabsgerechten *uv*-Koordinaten.

14.1.2 Messung und Modellierung der Materialeigenschaften

Bei der Herstellung der Materialmodelle hat die theoretische Herleitung die physikalisch korrekte Messung der optischen Eigenschaften in den Vordergrund gerückt, um die Bedeutung empirischer Erkenntnisse für diesen Arbeitsschritt zu betonen. Auf dieser Grundlage konnten die Eigenschaften der wichtigen Materialien für die Untersuchung mit ausreichender und nachvollziehbarer Genauigkeit modelliert werden. Das parametrische Materialmodell für das Goldmosaik zeigt, dass auch komplexe und effektreiche Oberflächen historischer Materialien für die Lichtsimulation modelliert werden können. Zugleich zeigt sich in den Ergebnissen, welchen großen Einfluss die ursprünglichen optischen Eigenschaften der Oberflächen auf die Beleuchtung des Innenraumes und die Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung in der Hagia Sophia haben.

Die Untersuchungen an den Fenstergläsern zeigen aber deutlich, dass sich Effekte der Korrosion aus den Messergebnissen nur schwer ausschließen lassen. Da kein direkt zuzuordnender Fund von Fensterglas vorliegt, ist die Wahl der Probe – ein geblasene Fensterglas – durch den bauhistorischen Kontext angeleitet worden und diese Entscheidung hat relevante Auswirkungen auf die Ergebnisse. Die Glanzeigenschaften der Marmoroberflächen sind heute durch Verschmutzung und Reinigung nicht mehr nachvollziehbar und wurden daher aufgrund vergleichender Untersuchungen an modernen Oberflächen und bauhistorischem Kontextwissen festgelegt.

Diese Vorgehensweise und die verbleibenden Unsicherheiten ähneln der Vorgehensweise und den Unsicherheiten der Rekonstruktion der Gebäudegeometrie. Der methodische Ansatz sollte daher wie folgt erweitert werden: *Materialeigenschaften müssen ebenso wie die Geometrie in einem umfassenden interdisziplinären Prozess durch Messung, Erschließung der Herstellungs- und Verarbeitungsmethoden und Untersuchungen zur Alterung rekonstruiert werden.* In diesem neuen Forschungsfeld zeigt sich auch ein weiteres Potenzial der Lichtsimulation: sie verbindet Fragen nach Ästhetik und Wirkung der Materialien mit Fragen nach Produktion, Herkunft und Verwendung und erweitert so das Verständnis des materiell Überlieferten in mehrere Richtungen. Das gilt umso mehr für Gebäude, bei denen – wie bei der Hagia Sophia – der gläserne Raumabschluss und Tageslicht für die Architektur konstitutive Faktoren bilden.

14.1.3 Simulationsanordnung und Berechnungsmethoden

Die Integration von Forward-Raytracing-Methoden in RADIANCE durch die Photonmap-Erweiterung und ihre Verbesserung im Rahmen der Pilotstudie zu den Fenstergläsern erlaubt erstmals die Simulation der Effekte der wichtigen Materialien Glas, Goldmosaik und Marmor auf die Beleuchtung und Lichtwirkung des Innenraums der Hagia Sophia. Die Streuung von Licht im Fensterglas, die Lichtverteilung durch das Goldmosaik und die Glanzeffekte auf den Wand- und Gewölbeoberflächen lassen sich durch diese Verbesserung der Methoden untersuchen. Damit zeigen die Ergebnisse, dass sich Simulationsverfahren aus der modernen Tageslichtforschung auf historische Gebäude übertragen lassen.

Auch die verwendeten standardisierten Himmelsmodelle eignen sich für Untersuchungen zur Dynamik der Beleuchtung im Tages- und Jahresverlauf sowie die Wirkung unterschiedlicher Bewölkung.

Bei der Berechnung der Beleuchtungsstärken tritt ein Fehler in mosaizierten Flächen auf, welche die Untersuchung der Lichtverteilung auf den Gewölben und die Anteile der Fenstergruppen an deren Beleuchtung einschränkt. Auch wenn dieser Fehler offenbar weder die Leuchtdichten noch andere Bereiche des Gebäudes betrifft, erfordert sie doch eine Untersuchung der zugrundeliegenden Software-Routinen.

Die Arbeit mit dem Darmstädter Modell zeigt, dass die Struktur des Modells und die implementierte Automatisierung für die Herstellung der Simulationsanordnung, ihre Parametrisierung analog des Untersuchungsprogramms und die Durchführung der Simulation selbst von praktischer Bedeutung ist. Ferner zeigt sich diese Struktur für die interdisziplinäre Arbeit, die nachvollziehbare Dokumentation und die nachhaltige wissenschaftliche Nutzung des Modells von großer Relevanz.

14.1.4 Auswertungsmethoden

Die Bedeutung einer strukturierten Auswertung wird am Beispiel dieser Untersuchung deutlich. Die in RADIANCE verfügbaren Auswertungsmethoden einschließlich des Tone Mappings erweisen sich als nützlich für die umfangreiche Untersuchungen der Beleuchtung und der Helligkeits- und Kontrastwirkung. So können Rückschlüsse auf wichtige Aspekte des Lichtkonzepts der Hagia Sophia gezogen werden:

1. Die Analyse der Beleuchtungsstärken einschließlich der Lichtverteilung in Fehlfarbdarstellung erlaubt es, die Einflüsse der Materialien Glas, Goldmosaik und Marmor auf die Beleuchtung nachzuvollziehen. Das Gleiche gilt für die Anteile der Fenstergruppen an der Beleuchtung, den Einfluss des Sonnenstandes im Tages- und Jahresverlauf und den Einfluss der Bewölkung.
2. In den Fehlfarbdarstellungen der Beleuchtungsstärken aus den unterschiedlichen Perspektiven lässt sich eine Hierarchie der Elemente des Lichtkonzepts in der Helligkeitswahrnehmung bilden. Darüber hinaus lassen sich mit ihrer Hilfe die Herkunft und Intensität der Reflexionen auf den Gewölbe- und Wandoberflächen nachvollziehen. Durch die absoluten Helligkeiten lassen sich Sehgrenzen feststellen.
3. Mit Hilfe des Tone Mappings lassen sich wichtige Aspekte der Wahrnehmung visualisieren, insbesondere die Helligkeits- und Kontrastwirkung der Fenster und Oberflächen einschließlich der Glanzeffekte, der Blendung und der reduzierten Farbwahrnehmung bei geringer Beleuchtung. Hier zeigt sich die Wirkung der direkten und indirekten Beleuchtung und damit der Einfluss der Materialwahl auf deren Relation. Diese Beobachtungen lassen sich mit den Leuchtdichten weiter qualifizieren. Diese Art der Visualisierung grenzt sich durch die Modellierung von Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung gegenüber »photorealistischen Darstellungen« ab und erlaubt den Vergleich und die Diskussion

von Ergebnissen für die Untersuchung von Lichtkonzepten über die Simulation hinaus. Die Rohdaten stehen für eine Auswertung z. B. an HDR-Displays oder mit Hilfe anderer Verfahren des Tone Mappings zur Verfügung.

14.2 Bedeutende Elemente der ursprünglichen Beleuchtung in der Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung

Die Wahrnehmung der Helligkeiten und Kontraste wird durch den Kontrast zwischen den Leuchtdichten der Fenster und denen der Raumboflächen bestimmt. Durch die Größe, Anzahl und Verteilung der Fenster im ursprünglichen Bauzustand liegen diese überall im Blickfeld und das diffuse Licht des Himmels ist um ein Vielfaches heller als das von den Oberflächen insgesamt reflektierte Licht. Dadurch erscheinen die Oberflächen des Innenraums oft relativ dunkel. Nicht selten ist der Kontrast so stark, dass im Auge gestreutes Licht diese überstrahlt. Eine wichtige Rolle dafür spielen die großen Fenster der Apsis, die mitten im Blickfeld liegen, wenn man auf die Einbauten und den Altarraum schaut.

Innerhalb der Leuchtdichten der Oberflächen stechen spiegelnde Reflexionen durch ihre Intensität heraus. Diese rühren zumeist ebenfalls vom diffusen Licht des Himmels her. Sie erscheinen in den Gewölben, insbesondere denen der Seitenschiffe und Galerien, sowie in den vergoldeten und silbernen Elementen der Architektur. Seltener werden sie von direktem Sonnenlicht verursacht, dann erscheinen sie besonders hell und führen zur Blendung.

In der Intensität der Leuchtdichten folgen Flecke direkten Sonnenlichts, Reflexionen in den Gewölben des Hauptraums, die meist Licht aus der Umgebung des Gebäudes in Richtung des Betrachters spiegeln, sowie Reflexionen der Fenster in den Marmoroberflächen des Bodens und der Wände.

Es schließen sich der Intensität nach durch diffuses Himmelslicht und indirektes Licht beleuchtete Marmoroberflächen an. Besonders dunkel sind die im Schatten liegenden oder nur indirekt beleuchteten Bereiche in den Gewölben.

14.3 Dynamik und Statik der Tageslichtbeleuchtung

Im Tages- und Jahresverlauf offenbart sich die Beleuchtung des Innenraums als Spiel statischer und dynamischer Elemente. Die statischen ergeben sich durch die Anordnung, Anzahl und Größe der Fenster. Die dynamischen ergeben sich durch den Stand der Sonne, die damit zusammenhängende Veränderung der Leuchtdichten am Himmel und durch die Bewölkung.

Der Kontrast zwischen den Fenstern und den Oberflächen ist räumlich durch die Fenster vorgegeben und insofern ein statisches Element der Beleuchtung. Durch die Anordnung, Anzahl und Größe der Fenster ist festgelegt, welche Teile des Himmels sichtbar sind. Zugleich ist das Himmelslicht Ursprung eines großen Teils der diffusen Beleuchtung der Oberflächen. Diese werden vom Himmel direkt oder indirekt über Reflexionen an anderen Oberflächen beleuchtet.

Auch dieser Teil der Beleuchtung ist durch die Anordnung, Anzahl und Größe der Fenster räumlich bestimmt und insofern statisch.

In seiner Intensität hingegen zeigt der Kontrast der Fenster zu den Oberflächen eine von der Bewölkung und dem Stand der Sonne abhängige Dynamik. Besonders stark ist der Kontrast bei bedecktem Himmel. Dann ist die Blendung hoch, der Raum erscheint dunkel und die Wände flach und kontrastarm. So wirkt der Raum zu Sonnenauf- und Untergang auch an klareren Tagen. Wenn dann zusätzlich die tief stehende Sonne ins Auge des Betrachters fällt, wird diese Wirkung nochmals verstärkt. Sonst ist der Kontrast an klaren Tagen deutlich geringer, wenn abhängig von ihrer Höhe und Richtung direktes Licht auf die Oberflächen fällt und sie den Anteil indirekten Lichts vergrößert. Besonders gering ist der Kontrast, wenn die Sonne im Rücken des Betrachters steht. Dann wirkt der Raum heller, die Blendung nimmt ab und die Farbkontraste der Marmordekoration treten deutlich hervor.

Die spiegelnden Lichtreflexe in den Gewölben, auf dem Boden und den Wänden zeigen eine andere Dynamik: Die meisten sind vom Standpunkt des Betrachters relativ zu den Fenstern abhängig. Da sie meist vom diffusen Himmelslicht und der Umgebung hervorgerufen werden, verändert sich lediglich ihre Intensität mit der der Bewölkung und dem Tages- und Jahresverlauf des Sonnenstands.

Bei weniger oder nicht bedecktem Himmel entstehen durch die Bewegung der Sonne in Tages- und Jahresverlauf zusätzlich zwei weitere dynamische Elemente der Beleuchtung. Zum einen Lichtflecke und Streifen, die durch direktes Sonnenlicht entstehen, das durch eines der vielen Fenster auf die Oberflächen des Innenraumes fällt. Zum anderen eine durch das direkte Sonnenlicht bewirkte Steigerung der indirekten Beleuchtung und deren räumliche Verteilung. Beide Elemente verändern nicht nur die Helligkeitsverteilung und Kontrastwirkung im Innenraum, sondern auch einen Teil der Reflexionen in den Gewölben.

Dieses Spiel charakterisiert die Tageslichtbeleuchtung als sich permanent wandelnd. Nur am Weihnachtsmorgen – und vielleicht am Abend des Johannistages – ergeben sich dabei Lichtsituationen mit einem erkennbaren Bezug zur Liturgie.

14.4 Rückschlüsse auf das Lichtkonzept der Hagia Sophia

Durch die vorangegangene Analyse der ursprünglichen Beleuchtung lassen sich in Architektur und Ausstattung inhärente Aspekte der Lichtkonzepts der Hagia Sophia entlang der anfangs formulierten Arbeitshypothesen offenlegen:

1. *Die Ausrichtung des Gebäudes ist von besonderer Bedeutung für die Beleuchtung des Innenraums am Weihnachtsmorgen.*

Die präzise Ausrichtung der Längsachse auf den Sonnenaufgang zu Weihnachten führt zu einer Beleuchtung, die sich von anderen Lichtsituationen im Gebäude deutlich unterscheidet und die den astronomischen Zusammenhang eindrucksvoll sichtbar macht. Die zur Wiedereinweihung 562 durch die Türen im Westen Einziehenden gehen dem parallel zur Längsachse fast horizontal einfallenden Licht der Morgensonne entgegen. Diese

ungewöhnliche Art der direkten Beleuchtung prägt die Helligkeits- und Kontrastwirkung des Innenraums, während das diffuse Himmelslicht noch schwach ist. Im Hauptraum wird die Wand im Westen oberhalb der monumentalen Türen hell erleuchtet. Die Wände der Apsis erscheinen etwas heller als der Rest des Innenraums. Ihre Fenster erscheinen hell, zeigen aber nur wenig Blendung durch das Himmelslicht. Hier – wie auch sonst – darf man sich das morgendliche Rot des Himmel hinzudenken. Das silberne Dach des Ziboriums reflektiert Licht in die Mitte der Apsiskuppel – wo sich möglicherweise schon im 6. Jh. eine Mariendarstellung befand – und die Halbkuppeln der Konchen. Dort entstehen gut sichtbare hell glitzernde Flecke, die sich vom düster funkelnden Hintergrund abheben. Auf einige Bereiche der Gewölbe fällt direktes Sonnenlicht, was diese in andere Gewölbezonen reflektieren. Das führt zu einem ungewöhnlich verteilten Glitzern im Goldmosaik. Sonst sind die Oberflächen des Innenraums einschließlich der Solea und des Ambo so dunkel, dass Farben nur schwer erkennbar sind. Die von Paulus beschriebene künstliche Beleuchtung, welche die Einbauten und die Wandarchitektur betont hat, darf man sich daher als eindrucksvolle Ergänzung vorstellen.

2. *Die Kuppel ist ein herausragendes Element des Lichtkonzepts. Ihre vierzig Fenster heben die Kuppelschale über dem Innenraum empor.*

Die in der Architektur der Gewölbe angelegte Höhensteigerung von den Halbkuppeln der Konchen und der Apsis über die beiden großen Halbkuppeln und die Pendentifs findet in der Hauptkuppel über dem Kranzgesims ihren Abschluss. Der Kranz von vierzig Fenstern, der die Kuppel in ihrem unteren Bereich fast auflöst unterstreicht ihre Wirkung. Die Schale der Kuppel erscheint dabei nicht heller als die Halbkuppeln oder die Pendentifs. Neben den Fenstern selbst zeichnen sich die kegelförmigen Gewölbestücke über und die seitlichen Wände an den Fenstern hell ab. Das Goldmosaik auf diesen Flächen wird durch das diffuse Licht des Himmels beleuchtet und spiegelt diffuses Licht des Himmels und der Umgebung des Gebäudes. Diese Wirkung ist unabhängig vom Stand der Sonne, wird aber oft durch direktes Sonnenlicht noch unterstützt.

Die Fenster der Kuppel tragen zu etwa einen Sechstel zur diffusen Beleuchtung in der Mitte des Innenraums bei. Auch zur Beleuchtung der Pendentifs tragen sie einen nennenswerten Teil bei. Direktes und indirektes Licht aus der Kuppel verursacht Reflexionen im Goldmosaik der Gewölbe, insbesondere auf den Tympanonwänden und den Pendentifs. In der Kuppel selbst spiegelt sich Licht aus den Fenstern der Tympanonwände und der Apsis sowie aus dem großen Thermenfenster im Westen. Bei hohen Sonnenständen fällt direktes Sonnenlicht aus der Kuppel auf die nördlichen Wände und den Boden des Innenraums.

3. *Die Gewölbekonstruktion der Hagia Sophia über dem Hauptraum, bei der die zentrale Kuppel in Längsrichtung durch Halbkuppeln, in Querrichtung aber lediglich durch Bögen stützt wird, erlaubt eine zusätzliche Beleuchtung des Innenraums von oben. Zu dieser tragen auch das große Thermenfenster im Westen sowie die Fenster in den Halbkuppeln und Konchenhalbkuppeln bei.*

Die reichlich befensterten Tympanonwände leisten einen geringeren Beitrag zur diffusen Beleuchtung der Raummitte als man vielleicht vermuten könnte, die großen Bögen an der Außenseite des Baus halten viel Licht ab. Bei höheren Sonnenständen wie mittags zu Ostern ist ihr Beitrag mit etwa einem Achtel etwas geringer als derjenige der Kuppel. In ähnlichem Umfang tragen sie zur Beleuchtung der Seitenschiffe und der nördlichen und südlichen Galerien bei, größer ist ihr Anteil an der Beleuchtung der Pendentifs. Morgens ist ihr Beitrag insgesamt gering.

Das Thermenfenster im Westen steuert in ähnlichem Umfang zur Beleuchtung der Raummitte bei, die Fenster in den Halbkuppeln und Konchenkuppeln noch etwas mehr. Insgesamt entspricht der Anteil der hier genannten Fenster an der diffusen Beleuchtung bei höheren Sonnenständen etwa dem der Fenster in den Seitenschiffen und Galerien; betrachtet man die Wände, ist er meist geringer.

Besonders die größeren Fensterflächen der Tympanonwände und das Thermenfenster im Westen bewirken Reflexionen im Goldmosaik der Gewölbe aber auch auf den Wänden. Durch alle Fenster fällt sonnenstandsabhängig gerichtetes Licht auf den Boden und die Wände; im Fall des Thermenfensters lediglich abends im Sommer. Bei den Fenstern der Tympanonwände halten die außen liegenden Bögen und Stützpfiler an vielen Zeitpunkten die Sonne ab.

4. *Der Altarraum und die Apsis werden durch die großen Fenster in den Wänden und der Halbkuppel in der Beleuchtung hervorgehoben.*

Der Altarraum mit der Apsis wird ganz offensichtlich durch das Lichtkonzept der Hagia Sophia hervorgehoben. Er weist im Tages- und Jahresverlauf immer höhere Beleuchtungsstärken auf als der Hauptraum. In den Leuchtdichten ist er durch die Fenster, die einen großen Teil der Fläche der Apsiswand einnehmen, und die Fenster der Apsishalbkuppel herausgehoben. Auch die Wände und Gewölbe sind heller als die angrenzenden.

Dieser Bereich erhält kaum Licht aus den Seitenschiffen und Galerien und wenig aus dem Hauptraum. Dahingegen tragen seine Fenster aber zur diffusen Beleuchtung des Hauptraums insbesondere vormittags bei (ein Fünftel in der Raummitte). Die östliche Halbkuppel erhält einen guten Teil ihres Lichts aus der Apsis, das gleiche gilt für die angrenzenden Wände der östlichen Pfeiler (etwa ein Drittel). Aber auch die Westwand erhält ein Fünftel ihres Lichts von hier, ebenso die Kuppel.

Einige größere Reflexionen im Goldmosaik der Gewölbe und der Kuppel werden aus diesen Fenstern gespeist und viele Reflexionen auf den Wänden.

5. *Die großzügigen Fenster in den Seitenschiffen und Galerien tragen wesentlich zur Beleuchtung des Innenraumes bei.*

Die großflächigen Fenster in den Seitenschiffen und Galerien sind die Quelle der diffusen Grundbeleuchtung des gesamten Innenraums. Diffuses Himmelslicht aus einem dieser Fenster trifft fast jede Oberfläche des Innenraums. Dazu kommt direktes Sonnenlicht und diffuses Himmelslicht, das vom Boden, den Wänden und den Gewölben dieser Räume diffus reflektiert wird. So erhalten die Raummitte und die Hauptpfiler 20 – 40 %

ihres Lichts aus diesen Fenstern. Auch die Kuppel und die Pendentifs erhalten von ihnen Licht. Bei niedrigen Sonnenständen fällt direktes Licht bis in den Hauptraum.

Das Licht in den Seitenschiffen und Galerien stammt fast ausschließlich aus den eigenen Fenstern. Lediglich die Tympanonwände leisten einen kleineren Beitrag in der Mitte der Seitenschiffe und der darüber liegenden Teile der Galerie und am Weihnachtsmorgen erreicht Licht aus der Apsis die Mitte der westlichen Galerie. Insgesamt sind sowohl die Galerien als auch die Seitenschiffe heller als die Raummitte.

Auch zu den Reflexionen im Goldmosaik des Gewölbesystems im Hauptraum tragen diese Fenster bei, besonders in den Halbkuppeln und in den Pendentifs. Auch in den Wänden und besonders auf dem Boden spiegeln sie sich. Im Erdgeschoss bestimmt diffuses Himmelslicht aus diesen Fenstern nicht selten die Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung und führt zur Blendung.

6. *Das Material der Verglasung der Hagia Sophia – geblasenes flaches Fensterglas – streut einfallendes Licht und spielt daher eine wichtige Rolle für die Beleuchtung des Innenraumes.*

In den erhaltenen Fenstergittern ist nur eine flache rechteckige Verglasung denkbar. Im 6. Jh. kann man hier von zylindergeblasenem Fensterglas ausgehen. Luftbläschen in der Glasmasse und Unebenheiten der Oberfläche streuen einfallendes Licht. In welchem Umfang, lässt sich durch die Korrosion der gemessenen Proben nur abschätzen. In jedem Fall beeinflusst die Streuung die Form der Flecke direkten Sonnenlichts. Statt hart abgegrenzter Projektionen der Fenster entstehen weich auslaufende und sich überlagernde Flecke, die zum Teil ganze Wände beleuchten. Das verändert unter anderem die Lichtverteilung im Altarraum und die Beleuchtung der Westwand am Weihnachtsmorgen.

Die Wirkung auf die diffuse Beleuchtung und damit auf die Kontraste innerhalb des Goldmosaiks und der Wände ist subtiler aber in den dunkleren Bereichen ist die Tiefe der Schatten wahrnehmbar reduziert.

7. *Der helle Marmorboden wirkt als diffuser Reflektor für Himmels- und Sonnenlicht.*

Der für den Boden verwendete prokonnesische Marmor war sicher das am günstigsten verfügbare Material. Er gehört aber mit einem Reflexionsgrad von etwa 34 % zur Gruppe der hellsten verwendeten Marmorsorten. Die dunkleren reflektieren nur etwa 10 % des einfallenden Lichts. Der Boden erhält viel diffuses Licht vom Himmel und direktes Sonnenlicht. Durch die Wahl eines hellen Materials für diese Flächen, können diese zum Niveau der diffusen Beleuchtung wesentlich beitragen. Bei den Gewölben des Hauptraums ist der Anteil durchschnittlich etwa ein Viertel, bei den Wänden und auf dem Boden weniger. Durch die Materialwahl sinkt so der Kontrast zwischen den Oberflächen des Innenraums und den Fenstern und der Raum wirkt heller.

8. *Das Goldmosaik auf den Gewölbeflächen erhöht den Anteil der diffusen Beleuchtung und taucht die Oberflächen des Gebäudes in einen goldenen Ton. Zugleich bilden sich eindrucksvolle Lichtreflexe mit hohem Kontrast.*

Die Entscheidung, die riesigen Gewölbeflächen mit goldenem Glasmosaik zu überziehen, spielt eine doppelte Rolle für das Lichtkonzept. Zum einen leistet dieses Material durch seinen hohen Reflexionsgrad von über 50 % einen großen Beitrag zur diffusen Beleuchtung im Innenraum (im Schnitt etwa ein Viertel). Durch diese sinkt der Kontrast zwischen den Oberflächen und den Fenstern und der Raum wirkt heller. Zum anderen spiegelt sich im Goldmosaik das Licht der Fenster aber auch hell beleuchtete Flächen des Bodens und der Wände. Durch den hohen Anteil gerichteter Reflexion in den Tesserae entstehen große Kontraste innerhalb der Gewölbe und durch die bewegte Oberfläche weiche Verläufe, welche die gekrümmten Formen betonen. Die Reflexionen reagieren in ihrer Intensität auf Veränderungen der Bewölkung und des Sonnenstands. Schon kleinere Bewegungen des Beobachters bewirken ein dynamisches Glitzern. Bei größeren Bewegungen wandern die Reflexionen über die Oberflächen.

9. *Die glänzenden Marmoroberflächen und die Vergoldung plastischer Bauteile bewirken eigene Lichteffekte durch Reflexion der Fenster und Lichtflecke. Der Glanz steigert die Farbkontraste der Wandmaterialien.*

Der genaue Glanz der Marmoroberflächen lässt sich aufgrund ihrer Verschmutzung der Oberflächen nur abschätzen. Die Reflexe der Fenster in den Wänden und auf dem Boden beleben aber in jedem Fall zusammen mit den Flecken direkten Sonnenlichts die Leuchtdichteverteilung im Raum. Der Glanz verstärkt zudem die Wirkung der Farb- und Helligkeitskontraste innerhalb der Wandplatten und zwischen den Marmorsorten.

Die hier rekonstruierte Vergoldung der plastischen Bauteile in der Wandarchitektur führt zu einer wesentlichen Veränderung ihrer Wirkung. Die spiegelnden Glanzeffekte stechen innerhalb der Leuchtdichten deutlich heraus. Der Kontrast zwischen dem Vordergrund und dem dunklen Hintergrund in den À-jour-Arbeiten wird durch die Vergoldung gesteigert. Die Wirkung der plastischen Formen wird nun nicht mehr durch Vor- und Rücksprünge und feine Verläufe von Licht und Schatten auf gekrümmten Oberflächen bestimmt. Damit ist das sonst bedeutsame Verhältnis diffuser zu direkter Beleuchtung von geringerer Wirkung. Entscheidend ist nun die Veränderung des Glanzes in Abhängigkeit von der Richtung der Oberfläche in Bezug auf die Fenster und indirekte Lichtquellen. Durch die Glanzeffekte liegen die Wände und das Goldmosaik in Bezug auf den Leuchtdichtekontrast näher zusammen. Die Elemente der Innenraumausstattung sind im ursprünglichen Zustand in ihrer Wirkung konzeptionell ähnlicher.