



BYZAN
2010

Sonderdruck aus

Falko Daim · Jörg Drauschke (Hrsg.)

Byzanz – das Römerreich im Mittelalter

Teil 2, 1 Schauplätze

Römisch-Germanisches
Zentrummuseum
Forschungsinstitut für
Vor- und Frühgeschichte

R G Z M



Gesamtredaktion: Kerstin Kowarik (Wien)
Koordination, Schlussredaktion: Evelyn Bott, Jörg Drauschke,
Reinhard Köster (RGZM); Sarah Scheffler (Mainz)
Satz: Michael Braun, Datenshop Wiesbaden; Manfred Albert,
Hans Jung (RGZM)
Umschlaggestaltung: Franz Siegmeth, Illustration · Grafik-Design,
Bad Vöslau

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2010 Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten
Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der
Entnahme von Abbildungen, der Funk- und Fernsehsendung, der
Wiedergabe auf photomechanischem (Photokopie, Mikrokopie)
oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbei-
tungsanlagen, Ton- und Bildträgern bleiben, auch bei nur auszugs-
weiser Verwertung, vorbehalten. Die Vergütungsansprüche des
§ 54, Abs. 2, UrhG. werden durch die Verwertungsgesellschaft
Wort wahrgenommen.

DAS LICHT IN DER HAGIA SOPHIA – EINE COMPUTERSIMULATION

»... an Licht und Sonnengefunkteln aber hat sie Überfluß. Man könnte nämlich meinen, der Platz werde nicht von außen her durch die Sonne erleuchtet, sondern empfangen seine Helligkeit von sich aus, eine solche Lichtfülle ist über das Heiligtum ausgegossen. [...] Wer könnte die Emporen für die Frauen genugsam preisen oder die zahlreichen Hallen und säulenumgebenen Höfe, mit denen das Heiligtum umgeben ist, entsprechend beschreiben? Wer die Pracht der Säulen aufzählen, mit denen die Kirche geschmückt ist? Man könnte sich in eine Blumenwiese zur Frühlingszeit versetzt fühlen. Denn was die Steine anlangt, so möchte mit Recht der Betrachter an diesem den Purpur, an jenem das Grün, hier das aufblühende Rot und dort das blühende Weiß bewundern, dazu noch jene Stücke, welche die Natur einem Maler vergleichbar in buntesten Farben erstrahlen lässt«¹.

Mit dieser Begeisterung beschreibt Prokop von Caesarea die einzigartige Lichtwirkung der Hagia Sophia bereits kurz nach ihrer ersten Fertigstellung. Ein moderner Betrachter kann dies nur noch ansatzweise erahnen, da die Lichtführung im Laufe der Jahrhunderte mehrfach tiefgreifend verändert wurde². Viele der Fenster wurden verkleinert oder ganz zugesetzt, Öffnungen und Durchgänge geschlossen oder durch konstruktiv bedingte Ergänzungen verstellt. Verloren ist die liturgische Ausstattung aus Gold, Silber und Edelsteinen mit ihrer starken Lichtreflektion. Schließlich haben die Einbauten osmanischer Zeit und mächtige Anbauten im Außenraum ebenfalls den Lichteinfall massiv beeinträchtigt. Zudem hat sich die Oberfläche im gesamten Innenraum verändert. Die ehemals polierten vielfarbigen Marmoroberflächen sind verschmutzt und teilweise durch Putz ersetzt. In den glitzernden mosaizierten Gewölbeflächen befinden sich viele Fehlstellen, die heute einen matten Farbüberzug tragen.

Will man sich den originalen Zustand vergegenwärtigen, um den Intentionen des Bauherren und der entwerfenden Architekten näherzukommen, müssen alle diese Veränderungen rückgängig gemacht werden. Damit ergibt sich zugleich die Möglichkeit, die ursprüngliche Nutzung des ungewöhnlichen Baus besser zu verstehen. Dies alles lässt sich nur im virtuellen Raum eines Computermodells realisieren.

Grundlage eines jeden Modells kann nur die umfassende Dokumentation des Bestands sein, die R. van Nice in unermüdlicher und minutiös genauer Arbeit erstellt hat³. Da bei seiner detaillierten und tadelfreien Bauaufnahme notwendigerweise nur mit zweidimensionalen Projektionen operiert werden konnte, zeigt die Publikation allerdings nicht alle Teile des Bauwerks. Um den Bau in seinem komplizierten räumlichen Gefüge überhaupt erst modellieren zu können, war es nötig, ihn in seiner grundsätzlichen Disposition zu verstehen und damit seine differenzierte Struktur mathematisch beschreibbar zu machen (siehe H. Svenshon in diesem Band). Zusätzlich wurden nach einer neuen, an den Quellen orientierten Rekonstruktion die liturgischen Einbauten der Ursprungszeit eingefügt (siehe R. H. W. Stichel in diesem Band).

¹ Prokop, Bauten I 1,30.58-60 (Veh 30-31).

² Beschreibung des Baues: Mainstone, Hagia Sophia.

³ Van Nice, Saint Sophia.

Für die Simulation von direkter und indirekter Belichtung wurde das Open Source⁴ Softwarepaket »Radiance« eingesetzt. Dieses Lichtsimulationssystem enthält eine Reihe spezialisierter Programme, die die notwendigen Arbeitsschritte unterstützen oder ausführen: von der Modellierung der natürlichen und künstlichen Lichtquellen und der Eingabe der Materialien, über die Berechnung der Lichtverteilung im Innenraum und der Reflexionen in den glänzenden Oberflächen, bis hin zur Visualisierung und Auswertung der Ergebnisse. Die von Radiance genutzten Algorithmen liegen offen, sind umfangreich dokumentiert⁵ und in einer ganzen Reihe an Untersuchungen überprüft und validiert worden⁶. Dadurch lässt sich die Genauigkeit der Ergebnisse einschätzen, und die Ergebnisse selbst können von Dritten reproduziert und mit denen anderer Untersuchungen verglichen werden.

Das vorliegende CAD-Modell ist ein reines (Ober-)Flächenmodell des Innenraumes. Die Steinplatten haben keine Materialstärke, das Mauerwerk und die Außenseiten der Wände sind nicht modelliert worden, sämtliche Maße sind Ausbaumaße. Dieser Charakter des Modells spiegelt den tatsächlich auf die Oberfläche beschränkten Befund und kommt mit der Beschreibung der für die visuelle Wahrnehmung relevanten Geometrie der Wirkung nahe, die den Innenraum des Bauwerks auszeichnet: Das Zurückdrängen des Körperlichen und der tektonischen Zusammenhänge sowie die Betonung der kostbaren (Ober-) Flächen selbst. Alle dreidimensionalen Bauteile wie Kapitelle und Flächenbegrenzungen (Zahnleisten, Konsolen usw.) sind dabei möglichst detailgetreu modelliert, weil ihre reliefartige Gestaltung viel zum architektonischen Spiel mit Flächen und Volumen beiträgt, das raffiniert die statisch notwendigen Massen verschleiert und den Raum für den Betrachter unfassbar erscheinen lässt.

Schon aus dem zeitgenössischen Lobgesang des Paulus Silentarius, eines Hofbeamten Justinians geht hervor, mit wie vielen kostbaren Steinmaterialien der Bau ausgestattet ist und wie weit die Wege waren, über die sie herbeigeschafft wurden:

»Und wer könnte mit Homers weithinschallendem Munde die dicht gedrängten, wiesenähnlichen Marmorflächen an den festen Wänden des hochragenden Tempels und auf den weitgedehnten Fußboden besingen? Denn des Steinhauers Meißel durchbrach mit seinem Zahn den grünen Bergrücken von Karystos und zerspaltete den buntfarbigen Felsnacken Phrygiens, der sich teils rosig darbietet, von weißem Dufte durchzogen, teils üppig in Purpur – wie Silberblumen erstrahlt. Purpurfarben und mit zierlichen Sternen besetzt, leuchtet viel aufragendes Steinwerk; der schönarmige Nilstrom hat es auf Lastschiffen einstmals getragen. Auch kannst du den grünen Glanz des lakonischen Marmors sehen und anderes Gestein in gewundenen Maserungen blitzend, wie sie die tiefe Schlucht des jassischen Hügels hervorbrachte; Streifen, blutrot und grauweiß, ziehen schräg hindurch. Außerdem findest du Steine, wie sie das enge lydische Bergland besitzt: Blüten gewunden aus Bläßgelb und Rot. Oder Marmor, welchen Lydiens goldglühender Sonnenstrahl auf dem Rücken des tiefgefurchten maurusischen Gebirgs goldglänzend und safrangelb aufleuchtenden läßt. Nicht zu vergessen das Gestein, welches das tiefvereiste keltische Gebirge emporsandte, zwar schwärzlich schimmernd anzusehen, doch von vielen milchigen Adern durchzogen, die sich frei strömend, so wie es der Zufall will, bald dahin, bald dorthin wenden. Oder auch, was der leuchtende Onyx an Wertvollem in seinem lichtdurchflutetem Steinbruch ans Tageslicht gefördert hat und die atrakische Erde in ihren weiten Gefilden und nicht in stolzen Schluchten birgt, hier ganz grün leuchtend und dem Smaragde nicht unähnlich, dort noch dunkler und ins Blau sich verlierend. Endlich findet sich dort schneeiges Weiß,

⁴ Open Source bezeichnet Software, deren sogenannter Quellcode offen liegt und Software generell damit erst für wissenschaftliche Zwecke nutzbar macht. Software, deren Quellcode nicht

öffentlich vorliegt, gleicht einem undokumentierten Versuchsaufbau.

⁵ Vergleiche insbesondere: Larson / Shakespeare, Radiance.



Abb. 1 *Opus sectile* über den Bögen in den Konchen.

mit dem Glanz des Schwarzen verbunden, so daß die Anmut des Steins vom Farbengemisch noch erhöht wird ...«⁷.

Um der ausgefeilten Ausstattung des Bauwerks gerecht zu werden, wurde ein Katalog mit Materialdefinitionen erstellt und den Oberflächen im Modell zugewiesen. Dabei wurde ein Prinzip im Umgang mit den Materialien bis in die feinen Details des *opus sectile* durchgehalten: Eine Fläche im Modell entspricht immer genau einem Material. Insofern ist das CAD-Modell bauteilgerecht: eine Marmortafel an der Wand entspricht einer Fläche im Modell, die mit einem Material belegt worden ist. Um diese Zuweisungen vornehmen zu können, wurden zunächst die Darstellungen von Salzenberg⁸ herangezogen. Vor allem aber war die persönliche Inspektion vor Ort während mehrerer Reisen notwendig, um sich die erforderliche Klarheit zu verschaffen und eine Dokumentation durch zahlreiche Fotografien zu erstellen⁹.

Durch fotografische Verfahren konnten die floralen Motive über den Bögen des Hauptraumes erfasst werden (**Abb. 1**). Dazu wurden aus dem dreidimensionalen Modell die passenden Oberflächen extrahiert und abgewickelt. Auf dieser Grundlage wurden die Bilder entzerrt und auf reine Schwarz-Weiß-Werte reduziert (**Abb. 2**). Diese Bilder konnten dann mit einem Programm, das die Umrisslinien findet, vektorisiert werden. Nachdem diese Umrisse manuell vereinfacht und korrigiert worden waren, konnten die Flächen unterteilt

⁶ Vgl. hierzu z.B.: Altmann, Studie. – Geisler-Moroder, Validation. – Reinhart, Development.

⁷ Silentiarius, Descriptio.

⁸ Salzenberg, Baudenkmale.

⁹ Die Veröffentlichung dieser umfangreichen Bilddatenbank ist für die Zukunft vorgesehen.



Abb. 2 Entzerzte und farbreduzierte florale Motive vor der Vektorisierung.

werden (**Abb. 3**). Einfachere Teile der Geometrie wie Kreise oder Kreuze werden direkt eingegeben und hinzugefügt. So entsteht eine komplexe Geometrie, die den Vorteil hat, dass man die einzelnen Flächen mit den exakten Materialinformationen verknüpfen kann (**Abb. 4**). Die fertige Aufteilung wird wieder auf die richtigen Radien gekrümmt und ersetzt die ursprüngliche Fläche im dreidimensionalen Modell (**Abb. 5**). Die vorhandenen personellen Ressourcen haben es hingegen bisher nicht erlaubt, die ursprünglich vorhandenen Mosaiken ähnlich genau wie die Wandmaterialien nachzuvollziehen und in das Modell einzugeben. Die Aufgabe ist schwierig, weil die im Wesentlichen heute sichtbaren Oberflächen durch die Rekonstruktion von Gaspere und Giuseppe Fossati bestimmt sind, welche noch vorhandene Mosaiken verdeckt, die wiederum zum Teil bereits spätbyzantinischer figürlicher Ersatz der justinianischen Originalausstattung sind. Auch die Zuweisung der Materialien auf die komplex verschnittenen, zum Teil in allen Raumachsen gekrümmten Flächen bedeutet einen erheblichen Aufwand.

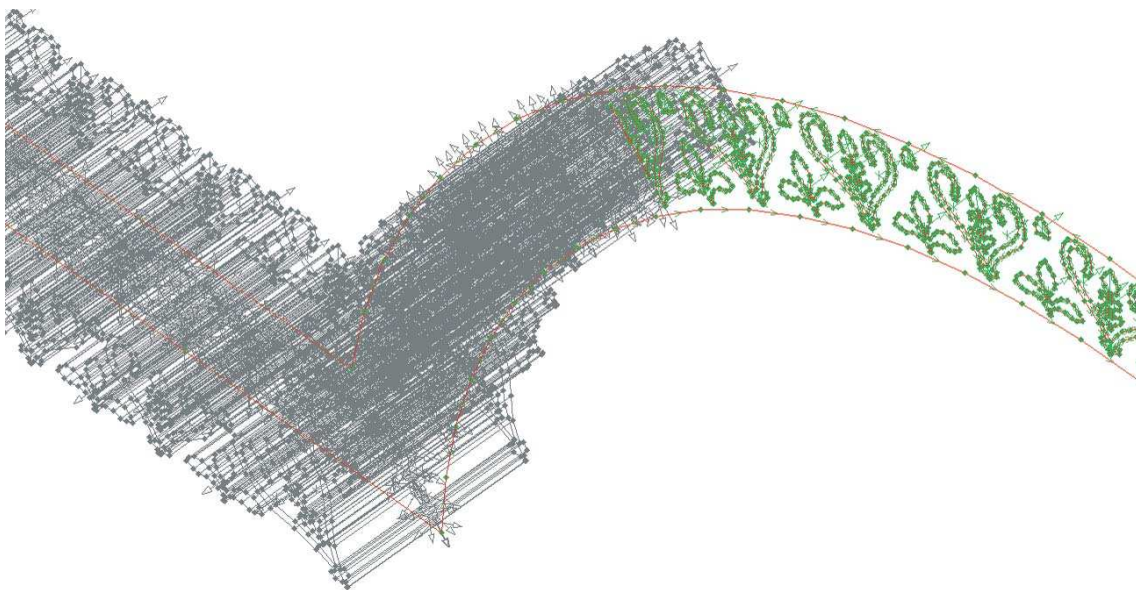


Abb. 3 Unterteilung von Flächen mit der gewonnenen Geometrie.

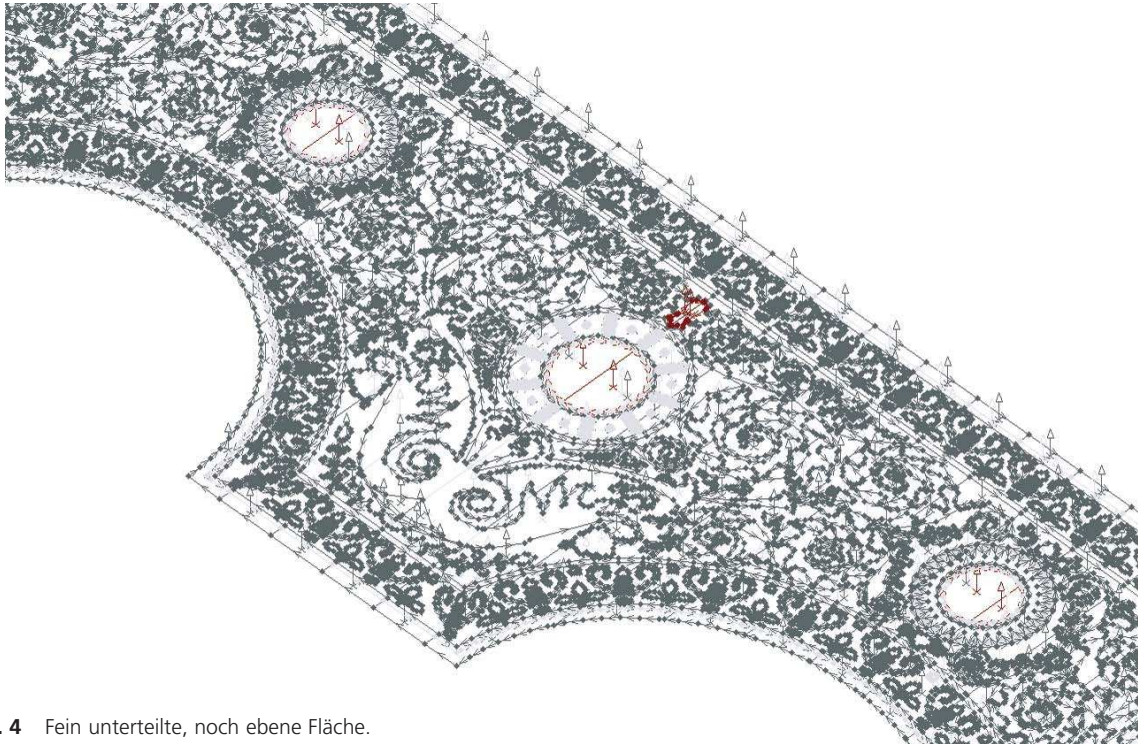


Abb. 4 Fein unterteilte, noch ebene Fläche.

Abb. 5 Auf den passenden Radius gebogene Fläche mit zugewiesenen Materialfarben, fertig zur Übernahme ins Modell.



Eine der Grundlagen für eine exakte Lichtsimulation ist die präzise Erfassung der physikalischen Eigenschaften der Oberflächen. Die von uns genutzte Art der Materialdefinition für die Berechnung kennt dafür zwei verschiedene Materialarten: »plastic« und »metal«. Dabei ist plastic als Sammelbegriff für alle Mate-

rialien zu verstehen, deren Glanz nicht die Farbe des Materials annimmt¹⁰. Dazu gehören alle Steinmaterialien, aber auch Holz und Textilien. Bei metal nimmt die Farbe Einfluss auf die glänzend reflektierten Lichtanteile. Diese Materialart wird bei der versilberten Architektur des Altarraumes und bei der Wiedergabe des Goldmosaiks in den Gewölben verwendet. Beide Materialien kennen folgende Parameter: Den Anteil des eingestrahnten Lichtes, das reflektiert wird, aufgeschlüsselt nach rot, grün und blau sowie das Verhältnis von direkt (specular) reflektiertem zu diffusem Licht und einen Wert, der ein Maß für die Rauigkeit (roughness) der Oberfläche darstellt. Die Verwendung derartiger spezialisierter Materialklassen vereinfacht die Beschreibung der optischen Eigenschaften erheblich – gerade im Vergleich zu generischen Verfahren der Materialmodellierung. Es galt, möglichst genaue Einstellungen für jedes Material und jeden dieser Parameter zu finden. Darüber hinaus sollten auch die effektvollen, bisweilen figurativ anmutenden Maserungen der verschiedenen Steinarten möglichst genau erfasst und wiedergegeben werden.

Vor Ort wurden farb- und helligkeitskorrigierte fotografische Bilder der Steinarten aufgenommen. An gleichmäßig beleuchteten Stellen wurden möglichst wenig verschmutzte exemplarische Proben zusammen mit einer Farbkarte¹¹ aufgenommen, mit deren Hilfe das Programm »macbethcal« aus dem Radiance-Paket die Bilder in Farbe und Helligkeit korrigieren kann. So werden Abweichungen kompensiert, die durch die Lichtsituation vor Ort und den analogen bzw. digitalen Verarbeitungsprozess der Bilder entstehen. Aus diesen korrigierten Bildern wurden Farb- und Reflexionswerte der Materialien bestimmt und in den Katalog der Materialdefinitionen aufgenommen. Auch die Steinmaserungen konnten so farbgetreu aufgenommen werden. Die beiden anderen Parameter »specularity« und »roughness« konnten im Vergleich mit Literaturwerten geschätzt werden¹². Für die genaue quantitative Ermittlung dieser Werte ist teures und nicht transportables Gerät notwendig¹³. Glücklicherweise trägt diese Art der Reflexion bei den meisten vorhandenen Materialien nur in geringem Umfang zur Gesamtreflexion bei. Allerdings sind die Glanzeigenschaften wichtig für die qualitative Betrachtung eines Materials und es wäre interessant, genauer zu untersuchen, welchen Einfluss Techniken wie das Polieren mit Öl auf die Wirkung dieser Materialien hätte.

Größere Probleme bereitet die Modellierung des Silbers im Altarraum und der Mosaiken mit ihrem goldenen Grund. Literaturwerte¹⁴ liegen bei Gold und Silber nur für die reinen, glatten Metalloberflächen vor, nicht jedoch für die Oberflächen, die durch die in der Hagia Sophia zum Einsatz gekommenen handwerklichen Verfahren entstanden sind, wie bei den mit Silberblech verkleideten Architekturgliedern im Altarraum oder den aus einzelnen quadratischen Steinchen bestehenden Mosaiken (**Abb. 6**). Es wurde versucht, diese Materialien über verschiedene Einstellungen für die roughness anzunähern, indem die Ergebnisse mit Bildern ähnlicher Silberobjekte verglichen wurden oder mit Bildern aus der Hagia Sophia, die Reflexionen des Goldmosaiks zeigen (**Abb. 7**). Das kann aber eine genauere Untersuchung und die Entwicklung eines geeigneteren Verfahrens nicht ersetzen. Insbesondere das Licht, dass von den mosaizierten Flächen der Gewölbe reflektiert wird, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Lichtverteilung im Gebäude, wie man an vielen Glanzeffekten überall im Innenraum sehen kann. Man erkennt dies auch daran, wie der goldene Grundton auf den Bildern die Farbe aller Materialien, besonders aber der Böden verändert. Hinzu kommt die Tatsache, dass Goldmosaik zahlreiche Varianten durch unterschiedliche Herstellung und Verarbeitung zulässt. Heutige venezianische Manufakturen, die nach alten Vorbildern in alten Techniken und Verfahren Goldmosaiken herstellen, kennen über 30 Varianten allein von Goldmosaik¹⁵, das wiederum in unterschiedlichen Verfahren verlegt werden kann.

¹⁰ Larson / Shakespeare, Radiance 13.

¹¹ Macbeth Color Checker.

¹² Zum Beispiel das Granitmaterial aus der im Radiance-Paket mitgelieferten Datei »materials.dat« oder ein Marmormaterial wie unter URL: [http://www.radiance-online.org/pipermail/radiance-](http://www.radiance-online.org/pipermail/radiance-general/2006-September/003932.html)

[general/2006-September/003932.html](http://www.radiance-online.org/pipermail/radiance-general/2006-September/003932.html) beschrieben (24.11.2008).

¹³ Vergleiche: Larson / Shakespeare, Radiance 307ff.

¹⁴ Glassner, Principles.

¹⁵ Beispielsweise die Manufaktur Orsoni in Cannaregio, Venedig, URL: www.orsoni.com (24.11.2008).

Abb. 6 Detailaufnahme Mosaik. Das aus quadratischen Steinchen gebildete Material ist eine Herausforderung für die Simulation.



Abb. 7 Reflexionen im Goldmosaik. Durch Vergleich mit solchen Aufnahmen wurden die Materialeigenschaften angenähert.



Um die Wirkung des Innenraumes unter Tageslichtbedingungen zu zeigen, bedarf es als Ausgangspunkt für eine Lichtsimulation eines Umgebungsmodells mit geeigneten Lichtquellen. Das an einem beliebigen Tag von der Sonne abgestrahlte Licht selbst ist immer gleich. Die Beleuchtungsstärke an einem konkreten Ort ist aber vom Sonnenstand abhängig, der sich über das Jahr und mit der Tageszeit ändert. Abhängig von diesem Einfallswinkel und von den herrschenden Wetterbedingungen ändert sich auch die lichtstreuende Wirkung der Atmosphäre sowie die Farbe des Lichts, womit sowohl die Beleuchtungsstärke als auch die spektrale Zusammensetzung des direkt einfallenden Lichtes direkt vom Einfallswinkel abhängen. Das

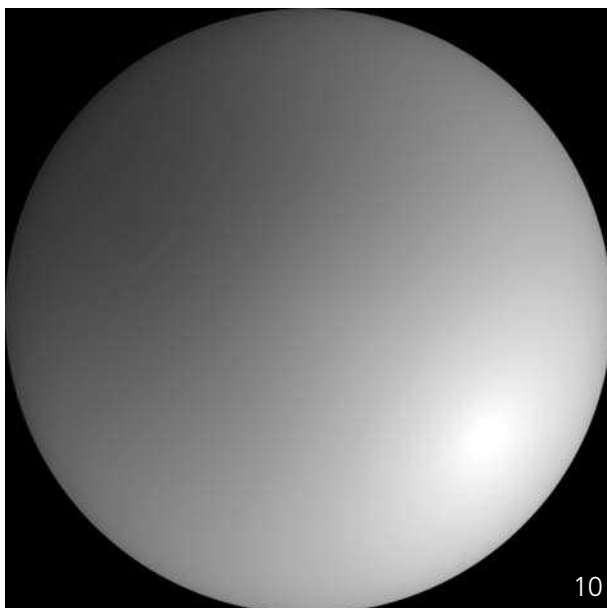
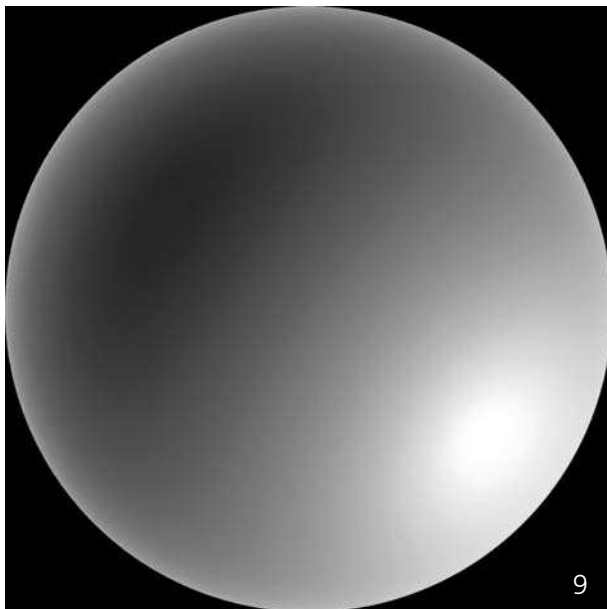
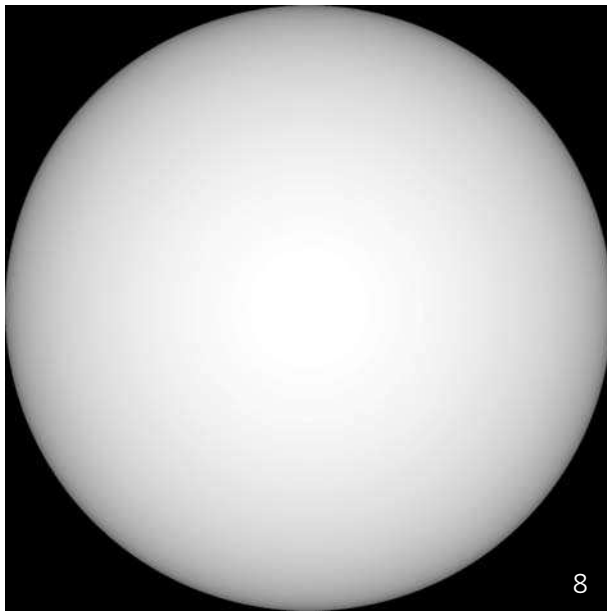


Abb. 8-10 Die künstlichen Himmel in einer Rundumansicht, jeweils für den 1. September 14:30 Uhr Ortszeit berechnet: vollständig bedeckt (CIE overcast day), klar (CIE clear day) und teilweise bedeckt (CIE intermediate day).

gesamte aus einer Umgebung einfallende Licht ist zudem vom Reflexionsverhalten des Bodens und der Gegenstände in dieser Umgebung ebenso abhängig wie von den Schatten, den diese Gegenstände werfen.

Da die atmosphärischen Wetterbedingungen einen großen Einfluss auf das Tageslicht haben und sehr individuell und komplex sein können, greift man in der Simulation in der Regel auf drei standardisierte Himmelsmodelle zurück, die sich an typische Lichtsituationen annähern und die Ergebnisse vergleichbar machen: einen gleichmäßig bedeckten Himmel, einen klaren Himmel und einen sonnigen Himmel mit mittlerer Bewölkung¹⁶. Radiance beinhaltet das Programm »gensky«, das diese Himmelsmodelle generieren kann. Der vollständig bedeckte Himmel (standard CIE overcast day), besteht aus einer kuppelförmigen, flächigen Lichtquelle, deren Helligkeit mit kleiner werdendem Zenitwinkel zunimmt (**Abb. 8**). Der klare Himmel (standard CIE clear day) besteht aus einem gleichmäßig parallel einfallenden Sonnenlicht, das sich mit der eingestellten Tages- und Jahreszeit verändert, sowie einer Himmelskuppel, deren Helligkeit mit zunehmendem Winkel zum Einfallswinkel der Sonne abnimmt und zum Horizont hin wieder ansteigt (**Abb. 9**). Der teilweise bedeckte Himmel (standard CIE intermediate day) gleicht dem klaren, das Sonnenlicht ist aber gedämpft und die Kurve der Helligkeitsverteilung der Himmelskuppel fällt weniger steil vom Einfallswinkel der Sonne zum Horizont hin ab und steigt zum Horizont hin auch nicht wieder an (**Abb. 10**). Bei all diesen Modellen liefert eine weitere gleichmäßig strahlende kuppelförmige Lichtquelle das Licht, das vom Boden und der weiter entfernten Umgebung reflektiert wird. Die absolute Helligkeit

¹⁶ CIE 110-1994, ein Standard der Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). Eine Definition der Tätigkeitsfelder der CIE findet man unter www.cie.co.at/index_ie.html.

aller dieser Lichtquellen errechnet gensky in Abhängigkeit von der Tageszeit bzw. der Jahreszeit sowie des Ortes¹⁷.

Diese theoretischen Himmelsmodelle kann man verwenden, um die Lichtverhältnisse im Innenraum in Abhängigkeit zur Wetterlage zu simulieren (**Abb. 11-13**). Derzeit wird dabei auf ein Modell des Außenraumes verzichtet, da bisher keine genauen Informationen über die bauliche Umgebung der Hagia Sophia zum Zeitpunkt der Erbauung vorliegen. Im Außenraummodell enthalten sind aber alle Teile des Gebäudes selbst, die Schatten auf die Fenster werfen können, wie die großen Bögen an der Nord- bzw. Südseite¹⁸. Es ist ebenso aufschlussreich, die Lichtverhältnisse an ganz bestimmten Tagen zu ermitteln. Zum Beispiel fällt zu Ostern morgens viel Licht auf die silbernen Einbauten des Altarraumes und wird von diesen in die Apsis reflektiert, die dadurch auf beeindruckende Weise erleuchtet wird.

Die eigentliche Berechnung läuft in zwei Schritten ab: Zuerst wird mit dem Radiance-Programm »mkillum« ermittelt, wie viel diffus reflektiertes und gestreutes Sonnenlicht von Himmel, Boden und Objekten im Außenraum auf die Fensterflächen des Gebäudes fällt. Die Fensterflächen werden dann als Lichtquellen für die Berechnung des Innenraumes genutzt. Dabei werden auch die optischen Eigenschaften der Scheiben berücksichtigt. Der Einfachheit halber wird hier von geblasenem Glas ausgegangen, da das antike Glas den Eigenschaften eines modernen Fensterglases nahe genug kommt, dass man sie über Literaturwerte¹⁹ annähern kann.

Im zweiten Schritt werden ausgehend vom Betrachter Sehstrahlen in den Innenraum entsandt, um die Farbe und Helligkeit der einzelnen Punkte eines Bildes zu berechnen (Ray Tracing). Dabei wird zwischen direkter und indirekter Berechnung unterschieden: Bei der direkten Berechnung wird alles Licht erfasst, das von den Lichtquellen direkt in das Auge des Betrachters fällt oder über spiegelnde Reflexionen glatter Oberflächen seinen Weg dahin findet (Direct Calculation²⁰). Die indirekte Berechnung erfasst das Licht, das diffus oder schimmernd-glänzend von rauen Oberflächen im Raum reflektiert wird (Indirect Calculation²¹).

Die für diese indirekte Berechnung eingesetzten stochastischen Verfahren sind eine Besonderheit von Radiance. Trifft ein Sehstrahl auf eine Oberfläche, werden über eine Halbkugel verteilt hunderte Probestrahlen losgeschickt. Diese werden genauso wie die Sehstrahlen behandelt, also der direkten und indirekten Berechnung unterzogen. Über die Summe aller Strahlen wird das auf die Oberfläche eingestrahelte Licht ermittelt. Damit sich dieser Vorgang nicht endlos wiederholt, kann die Anzahl der Berechnungsschritte vorgewählt werden. Mit zunehmender Anzahl von Berechnungsschritten steigt die Zahl der zu berechnenden Strahlen exponentiell an. Um die Berechnungszeiten im Griff zu behalten, werden alle ermittelten Werte gespeichert und innerhalb eines gewissen Radius wiederverwertet. Ist die Berechnung für das einfallende Licht abgeschlossen, wird mit den Materialeigenschaften das reflektierte Licht berechnet und an den Sehstrahl zurückgeliefert. Während in der direkten Berechnung die Sehstrahlen bis in den Außenraum verfolgt werden, endet die diffus-indirekte Berechnung an den Fensterscheiben, die ihrerseits als Lichtquellen die diffus-indirekte Komponente des einfallenden Lichts abbilden.

¹⁷ Vergleiche hierzu: Schregle, Daylight.

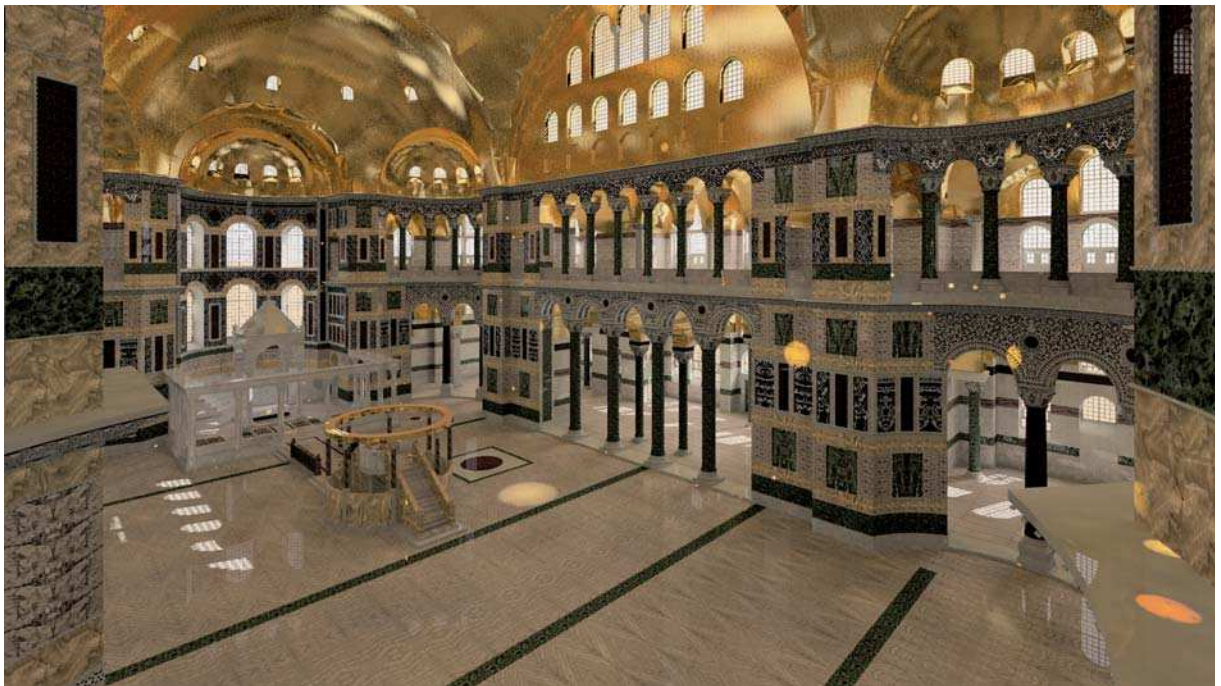
¹⁸ Die Bilder sind alle für den 1. September um 14.30 Uhr Ortszeit berechnet worden. Dieses Datum wurde gewählt, damit ein Vergleich zu bereits publizierten Bildern der heutigen Situation möglich ist. Beispielsweise: Gurlitt, Baukunst.

¹⁹ Larson / Shakespeare, Radiance 308 bzw. in der zum Programmpaket gehörenden Datei »material.rad«.

²⁰ Larson / Shakespeare, Radiance 499ff.

²¹ Larson / Shakespeare, Radiance 523f.

Nächste Seite: **Abb. 11-13** Unterschiedliche Lichtstimmungen des Innenraumes als Resultat verschiedener künstlicher Himmel: vollständig bedeckt, klar und teilweise bedeckt. Die beiden letzten unterscheiden sich nur im Detail, z.B. in der Wiedergabe des Altarraumes. Die gelblichen Flecken sind Berechnungsfehler, die durch Reflexionen im goldenen Mosaik entstehen.



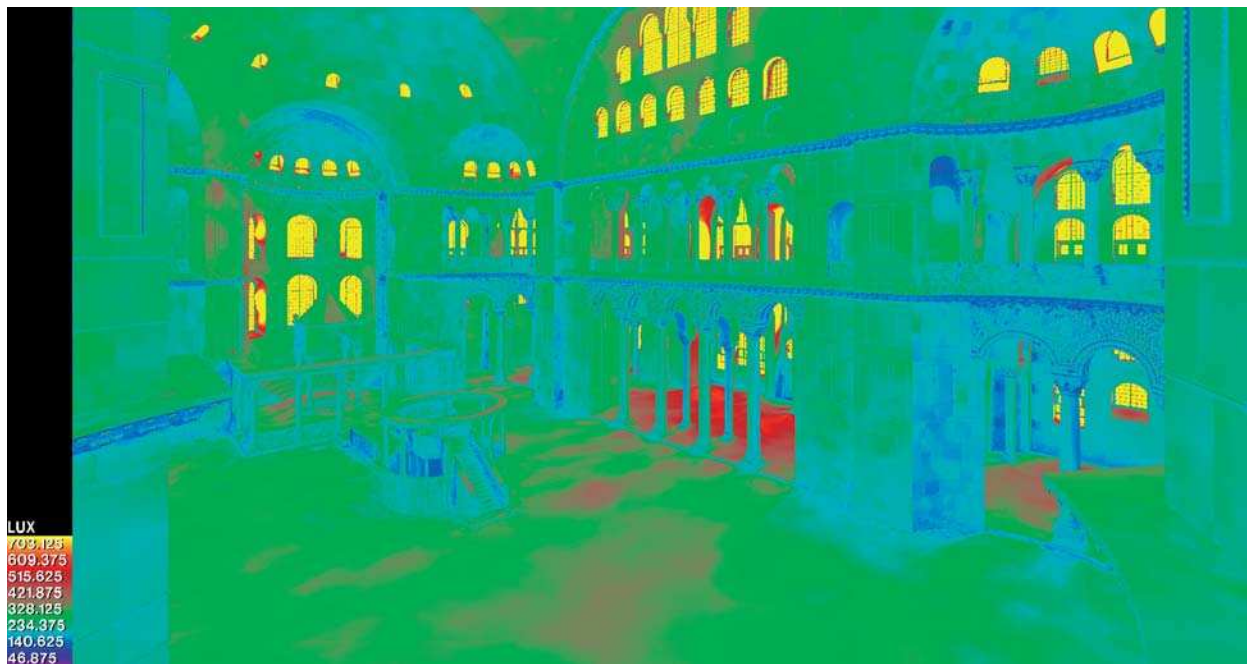


Abb. 14 Tageslichtszene in fotometrischen Einheiten (Lux). Man kann erkennen, dass vor allem der Boden der Seitenschiffe viel Licht erhält, die Kranzgesimse und die Konchen hingegen sehr wenig.

So kann effizient simuliert werden, wie sich das diffuse Licht über den Raum ausbreitet und Effekte wie weiche Schatten und schimmernde Oberflächen können berechnet werden. Auch die Wirkung großer farbiger Flächen wie des Goldmosaiks auf die Farbstimmung des Innenraumes kann so simuliert werden. Das Verfahren ist aber aufgrund der detaillierten Geometrie extrem rechenaufwendig und tut sich schwer mit sogenannten Kaustiken, wie sie z. B. ein Hohlspiegel aufweist. Solche Eigenschaften haben die mit Goldmosaik überzogenen Gewölbe der Hagia Sophia. Deshalb treten, wenn direktes Sonnenlicht auf diese Gewölbe fällt, eigenartige Flecken vor allem auf den horizontalen Flächen auf. Diese lassen zwar in ihrer statistischen Verteilung Rückschlüsse auf die Wirkung dieser Oberflächen zu, aber die Berechnung ist für eine gleichmäßige Lichtverteilung zu ungenau, so lange man nicht unzumutbar lange Berechnungszeiten in Kauf nehmen will (**Abb. 12-13**).

Die Berechnungszeiten sind ohnehin enorm hoch. Die Berechnung der kleineren hier gezeigten Bilder wurde auf 12 Prozessorkerne mit 2,3GHz verteilt und nahm ca. 2½ Tage in Anspruch. Die ursprüngliche Auflösung lag bei 7 Megapixeln. Größere Bilder wie die Grundrisse und Schnitte, die bis in den Maßstab 1:100 vergrößert werden können (lange Kante ca. 1m), benötigen über eine Woche Berechnungszeit. Dabei sind die Einstellungen der Berechnung am unteren Ende der möglichen Genauigkeit gewählt. Diese Zeiten sind der hohen Detailgenauigkeit des Modells geschuldet und der Vielzahl an Lichtquellen, die durch die Fenster nötig sind. Auch die Reflexion an den glänzenden und schimmernden Oberflächen trägt einen guten Teil dazu bei.

Der Kontrastumfang, also das Verhältnis der hellsten zur dunkelsten Stelle in einer realen Szene kann um etliche Größenordnungen höher liegen, als sich auf Papier (etwa 1:100) oder auf einem Computermonitor (etwa 1:1000) wiedergeben lässt. Dadurch kann auch das menschliche Auge trotz Pupillenkontraktion überfordert – sprich geblendet – werden. Auch verbreitete Bildformate wie TIFF oder JPEG können solche Kontraste nicht bewältigen. Damit sehr hohe und sehr tiefe Helligkeitswerte erfasst werden können, legt

Radiance seine Berechnungsergebnisse in einem eigenen so genannten HDR-Bildformat (High Dynamic Range Image – HDRI) ab, genauer gesagt in der physikalischen Einheit für Strahlungsdichte (W/m^2) in drei Gleitkommazahlen für die drei Farbkanäle Rot, Grün und Blau mit einem gemeinsamen Exponenten²². Alle daraus erzeugten Bilder, die gedruckt oder angezeigt werden können, sind demnach aufbereitete Ausschnitte des Kontrastumfangs der berechneten Daten, ähnlich wie man bei fotografischen Aufnahmen durch die Wahl von Zeit und Blende eine passende Belichtungszeit einstellt. Ebenfalls analog zu fotografischen Verfahren können dabei Werte, die über den Kontrastumfang des Mediums hinausgehen, abgeschnitten werden, erscheinen also über- bzw. unterbelichtet rein weiß oder ganz schwarz, oder sie werden in ihrem Kontrastumfang rechnerisch reduziert. Der Informationsumfang der Datei wird bei diesem Verfahren von 32 bit pro Farbkanal (HDRI) auf 8 bit reduziert.

Für die Bilddarstellung ist also analog zur Fotografie eine geeignete Auswahl des abzubildenden Helligkeitsbereiches zu finden. Daraus geht auch hervor, dass es schwierig ist, die gerechneten Aufnahmen mit fotografischen Bildern des Innenraumes zu vergleichen, wenn nicht bekannt ist, wie sie entstanden sind. Ist die Belichtung eines Fotos aber bekannt, kann man diese Einstellung bei der Bilderzeugung in Radiance übernehmen. Darüber hinaus verfügt Radiance mit dem Programm »pcond« noch über die Möglichkeit, Filter bei der Bilderzeugung anzuwenden, die einigen Eigenheiten des menschlichen Sehens Rechnung tragen, wie der Fähigkeit große Kontraste auszugleichen aber auch die Überstrahlung sehr heller Partien und der Verlust an Schärfe in dunklen.

Sofern es sich bei den Bildern um perspektivische Darstellungen handelt, ist hier noch eine weitere Konvention eingehalten worden, um der menschlichen Sehweise nahe zu kommen: Alle Kamerastandorte sind so gewählt, dass ein Mensch diese Position im Gebäude auch einnehmen kann und die Augenhöhe eingehalten wird. Als Bildformat wurde 16:9 gewählt, das von den gängigen Formaten der menschlichen Wahrnehmung am nächsten kommt. Auch bei der Wahl der Bildwinkel wurde versucht, in der Nähe der menschlichen Sichtweise zu bleiben.

Eine weitere Möglichkeit ist die Darstellung der Ergebnisse in Fehlfarben. Mit diesem Verfahren können absolute Helligkeitswerte miteinander verglichen werden. Dadurch kann man viele Probleme der visuellen Rezeption umgehen. So kann man auch das auf die Oberflächen eingestrahlte Licht unabhängig von der Farbe und der Reflexionseigenschaften der Oberfläche selbst zeigen (**Abb. 14**). Diese Daten können mit einem Luxmeter leicht im existierenden Gebäude gemessen und mit den gerechneten Ergebnissen verglichen werden.

In der bisherigen Betrachtung fand nur die Beleuchtung mit Tageslicht Erwähnung. Es ist bekannt, dass der Innenraum auch durch eine kaum überschaubare Vielzahl von Öllämpchen erhellt wurde. Die Berechnung einer so großen Menge²³ von einzelnen Lichtquellen ist aber schwierig und zeitaufwendig und konnte bisher nur ansatzweise getestet werden.

ERGEBNISSE

Ohne die Staubschichten der Jahrhunderte verwirrt der Glanz der kostbaren Materialien die Sinne des Betrachters. Durch die Spiegelungen der Fenster werden die Oberflächen entmaterialisiert und durch die Steigerung des Kontrastes tritt die Farbigkeit deutlicher hervor, wodurch die Unterschiede zwischen den

²² Vergleiche hierzu: Radiance File Formats 28 URL:<http://rad.site.lbl.gov/radiance/refer/filefmts.pdf> (11.10.2008). ²³ Wir gehen derzeit von annähernd 10 000 Lichtquellen aus.

Materialien verstärkt werden. Dadurch wird die horizontale Gliederung der Wände betont und die Tektonik geschwächt. Florale Oberflächengestaltungen wie das *opus sectile* gewinnen an Bedeutung und die dunklen kontrastreichen Materialien heben sich deutlicher ab, besonders der schwarzweiße Marmor an den Pfeilern. Die symmetrisch aufgeklappten Marmortafeln können ihre sublimen Wirkung entfalten, indem die Muster der natürlichen Maserungen mit der Fantasie des Betrachters spielen. Das Auge des Betrachters vermag die Oberfläche nicht zu fassen; die Wand wirkt wie eine dünne Folie.

Durch die ursprünglichen Fenster dringt mehr Licht in die Seitenschiffe, wodurch die Beleuchtung gleichmäßiger und die Raumgrenze des Zentralraumes durchlässiger, fließender wird. Der Bau wirkt filigraner. Ohne die nachträglich eingefügten Verstärkungen gleicht sich der Raum der Seitenschiffe und der darüber liegenden Galerien in seiner Wirkung an die Westgalerie über dem Narthex an.

Beim Blick auf den Altarbereich verstärken sich die Effekte gegenseitig: durch die zusätzlichen Öffnungen wirken die Außenwände leichter und durchlässiger, zugleich werden die vorderen Seitenschiffe und Galerien heller, wodurch die Raumgrenzen aufgehoben werden. Dagegen heben sich die Wände des Altarraumes durch die Verwendung vorwiegend dunkler Steinarten von den anderen Wänden ab, zugleich werden die vertikalen Elemente gestärkt, das Auge des Betrachters emporgehoben, die Trennung in ein unteres und ein oberes Geschoss durch das untere Kranzgesims fällt in der Apsis weg. Die großen Fensterflächen blenden den Betrachter. Ein Effekt, der durch die dunklen Wandmaterialien noch gesteigert wird. Die Silberoberflächen der Einbauten reflektieren die Helligkeit der Fenster aber auch die dunklen Steinmaterialien und das Gold der Kuppeln und werden dadurch völlig unfassbar. Zugleich tauchen sie den Altarraum in ein magisches Licht.

Insgesamt werden die hervorstechenden Eigenschaften der Architektur der Hagia Sophia auf den gewonnenen Bildern verstärkt: Der Raumeindruck, der durch die komplexe Überlagerung der wesentlichen Innenräume eintritt, wird durch die wieder sichtbare Wirkung der kostbaren Materialien unterstützt, indem sie helfen, die Massen zu verschleiern und die Raumgrenzen aufzulösen.

LITERATURVERZEICHNIS

Quellen

Prokop, Bauten: Prokop, Die Bauten, Prokopios Werke 5: Die Bauten (griech.-dt), hrsg. von O. Veh (München 1977).

Silentiarius, Descriptio: Paulus Silentiarius, descriptio S. Sophiae (griech.-dt). In: O. Veh (Hrsg.), Prokopios. Werke 5: Die Bauten (München 1977) 306-375.

Literatur

Altmann, Studie: K. Altmann / P. Apian-Bennewitz, Studie zur Anwendung und Grenzen derzeitiger Programmtypen zur photorealistischen Darstellung von Licht und Beleuchtung in der Architektur (Freiburg 2000).

Antoniades, Ekphrasis: E. M. Antoniades, Ekphrasis tes Hagias Sophias I-III (Leipzig, Athen 1907-1909, Nachdruck 1983).

Geisler-Moroder, Validation: D. Geisler-Moroder / A. Arne Dur, Validation of Radiance against CIE171:2006 and Improved Adap-

tive Subdivision of Circular Light Sources [Vortrag 7th International RADIANCE workshop] (Fribourg 2008).

Glassner, Principles: A. Glassner, Principles of Digital Image Synthesis, The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics, (Oxford, Burlington MA 1995), URL der Tabellen: <http://radsite.lbl.gov/mgf/mat/glassner.tar.Z> (17.10.2008).

Gurlitt, Baukunst: C. Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels (Berlin 1907).

- Larson / Shakespeare, Radiance: G. W. Larson / R. Shakespeare, Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization (San Francisco 1998).
- Mainstone, Hagia Sophia: R. J. Mainstone, Hagia Sophia: Architecture, Structure and Liturgy of Justinian's Great Church (London, New York 1988).
- Reinhart, Development: C. F. Reinhart / M. Andersen, Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. Energy and Buildings 38/7, 2006, 890-904.
- Salzenberg, Baudenkmale: W. Salzenberg, Altchristliche Baudenkmale von Constantinopel auf Befehl Seiner Majestät des Königs aufgenommen und erläutert (Berlin 1854).
- Schregle, Daylight: R. Schregle, Daylight Simulation with Photon Maps (Saarbrücken 2004).
- Van Nice, Saint Sophia: R. L. Van Nice, Saint Sophia in Istanbul. An architectural survey 1-2 (Washington DC 1965, 1986).

ZUSAMMENFASSUNG / ABSTRACT / RÉSUMÉ

In ihren zeitgenössischen Berichten heben Prokop von Caesarea und Paulus Silentiarius die einzigartige Lichtwirkung und die kostbare Ausstattung der Hagia Sophia nach ihrer Fertigstellung unter Kaiser Justinian hervor. Will man sich den originalen Zustand vergegenwärtigen, um den Intentionen des Bauherren und der entwerfenden Architekten näherzukommen, müssen eine ganze Reihe von Veränderungen am Bau rückgängig gemacht werden. Dazu ist ein Computermodell auf der Basis der Bauaufnahme von R. van Nice erstellt worden, das die Architektur detailgetreu und die Marmoroberflächen farbgenau wiedergibt. Mit dem Open Source Softwarepaket Radiance wurde in diesem Modell die Verteilung von direkter und indirekter Belichtung bei Tageslicht simuliert und mit Verfahren des High Dynamic Range Imaging sichtbar gemacht. So entstanden Bilder, die den Eigenschaften des menschlichen Sehens Rechnung tragen und derart die Wirkung der rekonstruierten Architektur adäquat wiedergeben können.

In their coeval descriptions Procopius of Caesarea and Paulus Silentiarius emphasise the unique effect of the light and the precious furnishing of the Hagia Sophia after its completion under the emperor Justinian. In order to comprehend the original situation and thereby approach the intentions of the constructors and planning architects, a number of alterations on the building have to be reversed. For this purpose a computer model has been created drawing on the building survey of R. van Nice which reconstructs the architecture in detail and the marble surfaces with their exact coloration. The distribution of direct and indirect illumination by daylight was simulated with the help of the Open Source software package Radiance and made visible using the High Dynamic Range Imaging-method. In this way the pictures reach the capacity and quality of human vision and generate the effect of the reconstructed architecture in an adequate way.

M. S.

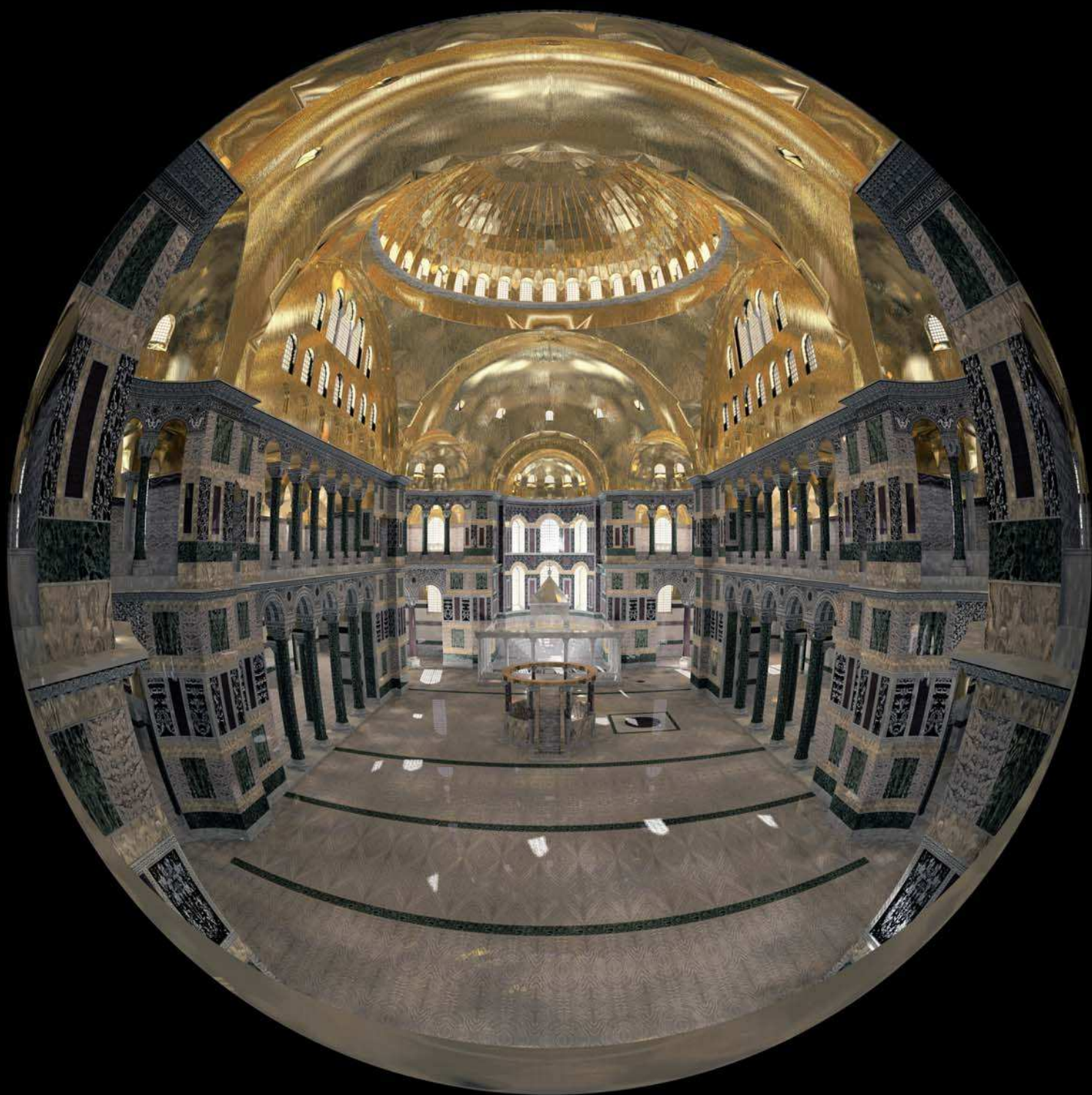
Dans leurs rapports contemporains Procope de Césarée et Paulus Silentarius mettent en avant l'extraordinaire effet de lumière et le précieux équipement de Hagia Sophia après son achèvement sous l'empereur Justinien. Si l'on veut se représenter l'état d'origine pour cerner les intentions des maîtres d'œuvre et des architectes réalisateurs, il faut annuler toute une série de changements dans la construction. Pour ceci un modèle informatique a été créé sur la base de photos de R. Van Nice. Il reproduit fidèlement les détails d'architecture et les couleurs exactes des surfaces en marbre. Dans ce modèle, avec le logiciel Radiance la lumière du jour directe et indirecte fut simulée et rendu visible avec le procédé de High Dynamic Range Imaging. Ainsi naissaient des images qui tenaient compte de la vue humaine et pouvaient de la sorte restituer l'effet de l'architecture reconstruite.

E. L.

Dipl.-Ing. Architekt Lars O. Grobe
www.archipelagus.de
lars@archipelagus.de

Dipl.-Ing. (Architektur und Städtebau) Oliver Hauck
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Informations- und Kommunikationstechnologie in der Architektur
Technische Universität Darmstadt
El-Lissitzky-Straße 1
D - 64287 Darmstadt
oha@archipelagus.de

Dipl.-Ing. (Architektur und Städtebau) Andreas Noback
Fachbereich Architektur
Rechnerpool
Technische Universität Darmstadt
El-Lissitzky-Straße 1
D – 64287 Darmstadt
mail@noback.info



Taf. 1 Der rekonstruierte Innenraum der Hagia Sophia im Entwurfzustand, Fisheye-Ansicht nach Osten.

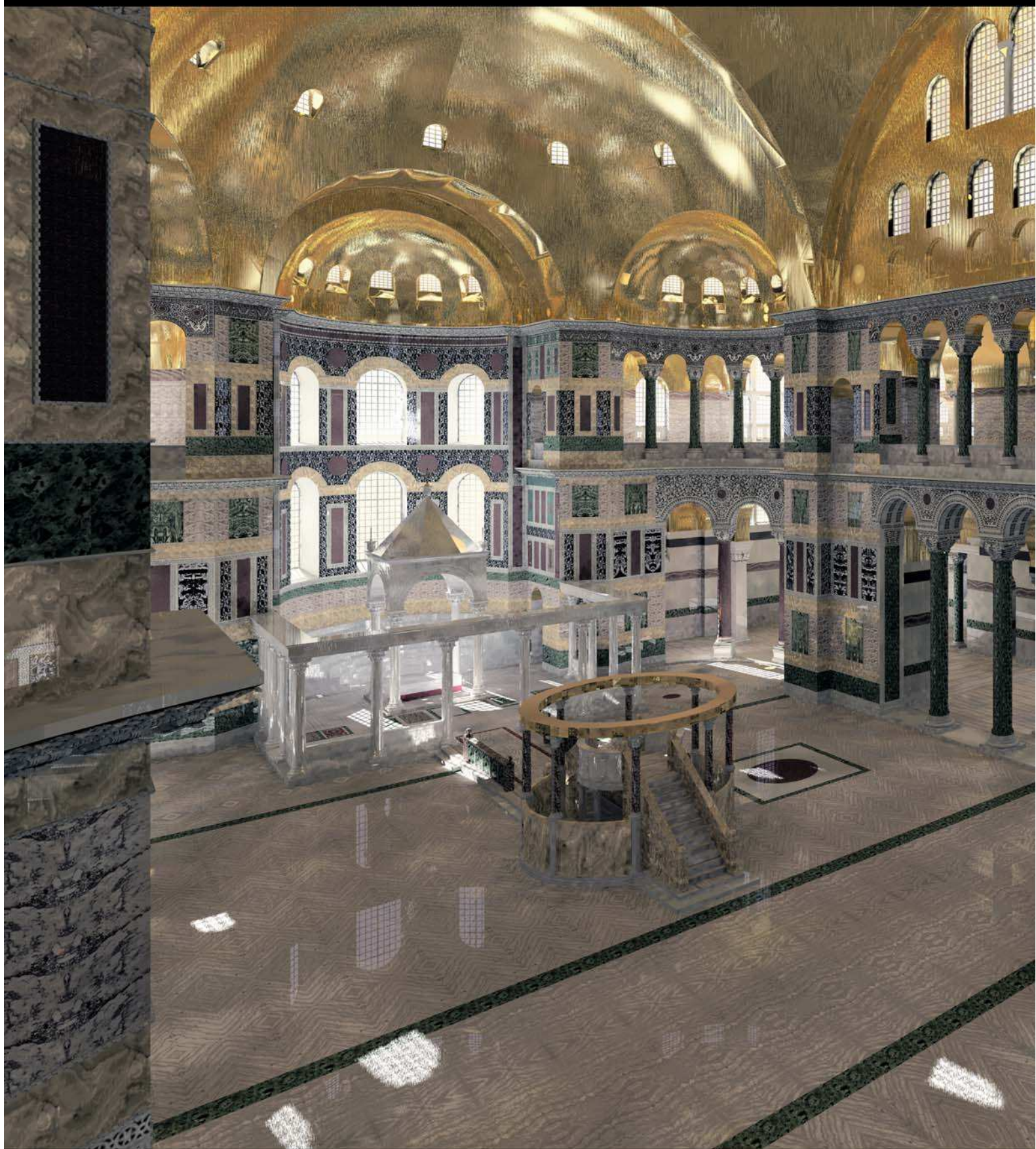


Taf. 2 Schnitt Blick nach Norden.



Taf. 3 Die rekonstruierten Einbauten der Hagia Sophia an einem sonnigen Ostermorgen: Das Licht wird von den silbernen Einbauten des Altarraumes in die Apsis reflektiert.

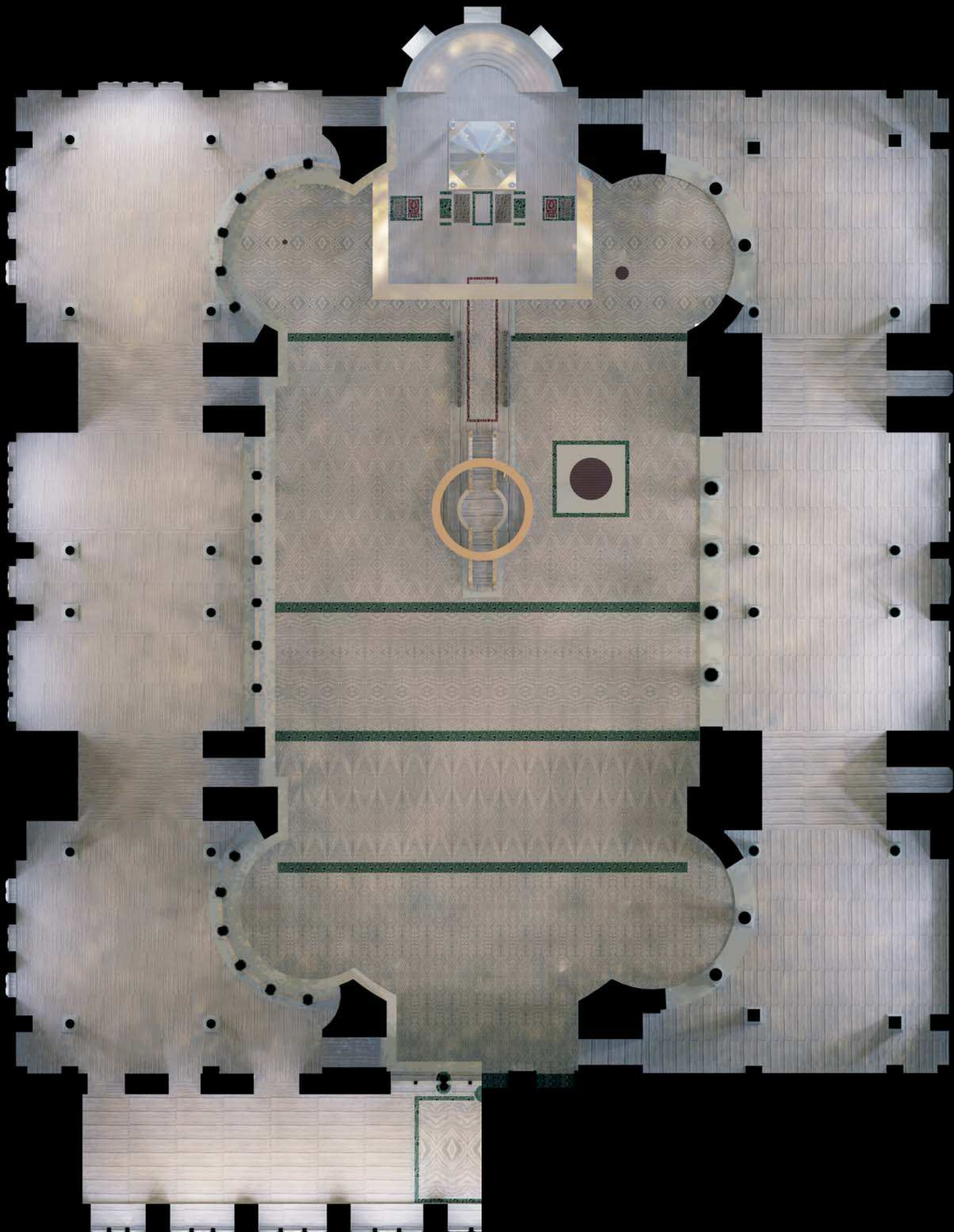




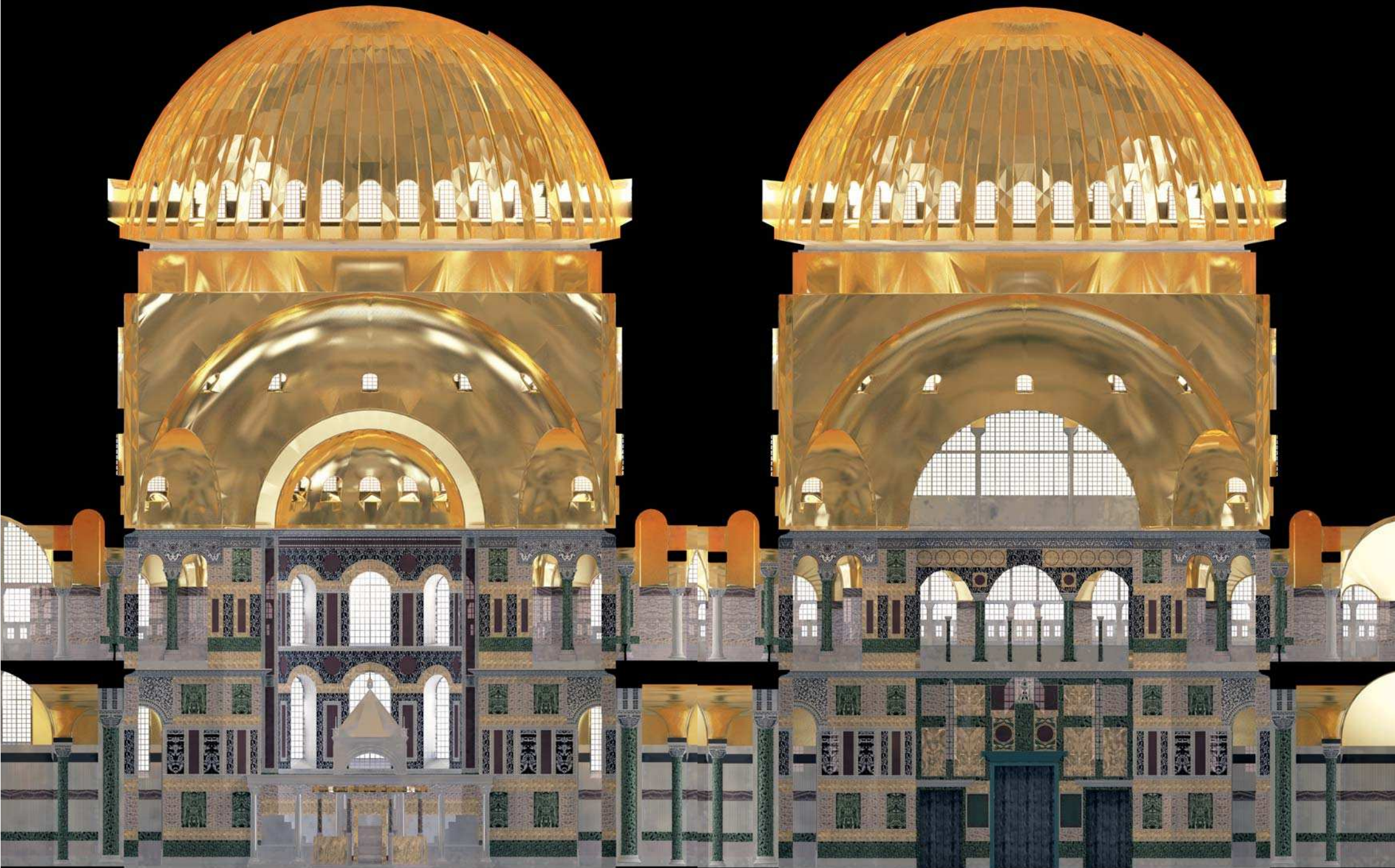
Taf. 4 Der Innenraum der Hagia Sophia an einem sonnigen Ostermorgen.



Taf. 4 Der Innenraum der Hagia Sophia an einem sonnigen Ostermorgen.



Taf. 6 Links: Grundriss Obergeschoss. – Rechts: Grundriss Erdgeschoss.



Taf. 5a Schnitt Blick nach Osten.

Taf. 5b Schnitt Blick nach Westen.

BYZANZ – DAS RÖMERREICH IM MITTELALTER

VERZEICHNIS DER BEITRÄGE

TEIL 1 WELT DER IDEEN, WELT DER DINGE

WELT DER IDEEN

Ernst Künzl

Auf dem Weg in das Mittelalter: die Gräber Constantins, Theoderichs und Chlodwigs

Vasiliki Tsamakda

König David als Typos des byzantinischen Kaisers

Umberto Roberto

The Circus Factions and the Death of the Tyrant: John of Antioch on the Fate of the Emperor Phocas

Stefan Albrecht

Warum tragen wir einen Gürtel? Der Gürtel der Byzantiner – Symbolik und Funktion

Mechthild Schulze-Dörrlamm

Heilige Nägel und heilige Lanzen

Tanja V. Kushch

The Beauty of the City in Late Byzantine Rhetoric

Helen Papastavrou

Classical Trends in Byzantine and Western Art in the 13th and 14th Centuries

WELT DER DINGE

Birgit Bühler

Is it Byzantine Metalwork or not? Evidence for Byzantine Craftsmanship Outside the Byzantine Empire (6th to 9th Centuries AD)

Isabella Baldini Lipolis

Half-crescent Earrings in Sicily and Southern Italy

Yvonne Petrina

Kreuze mit geschweiften Hasten und kreisförmigen Hastenenden

Anastasia G. Yangaki

The Scene of »the Holy Women at the Tomb« on a Ring from Ancient Messene and Other Rings Bearing the Same Representation

Ellen Riemer

Byzantinische und romanisch-mediterrane Fibeln in der Forschung

Aimilia Yeroulanou

Common Elements in »Treasures« of the Early Christian Period

Tivadar Vida

Zur Formentwicklung der mediterranen spätantik-frühbyzantinischen Metallkrüge (4.-9. Jahrhundert)

Anastassios Antonaras

Early Christian and Byzantine Glass Vessels: Forms and Uses

Binnur Gürler und Ergün Lafli

Frühbyzantinische Glaskunst in Kleinasien

Ronald Bockius

Zur Modellrekonstruktion einer byzantinischen Dromone (chelandion) des 10./11. Jahrhunderts im Forschungsbereich Antike Schifffahrt, RGZM Mainz

Isabelle C. Kollig, Matthias J. J. Jacinto Fragata und Kurt W. Alt

Anthropologische Forschungen zum Byzantinischen Reich – ein Stiefkind der Wissenschaft?

TEIL 2 SCHAUPLÄTZE

KONSTANTINOPEL / ISTANBUL

Albrecht Berger

Konstantinopel – Gründung, Blüte und Verfall
einer mediterranen Metropole

Rudolf H. W. Stichel

Die Hagia Sophia Justinians, ihre liturgische Einrichtung
und der zeremonielle Auftritt des frühbyzantinischen
Kaisers

Helge Svenshon

Das Bauwerk als »aistheton soma« – eine Neuinter-
pretation der Hagia Sophia im Spiegel antiker
Vermessungslehre und angewandter Mathematik

Lars O. Grobe, Oliver Hauck und Andreas Noback

Das Licht in der Hagia Sophia – eine Computersimulation

Neslihan Asutay-Effenberger

Die justinianische Hagia Sophia: Vorbild oder Vorwand?

Örgü Dalgıç

The Corpus of Floor Mosaics from Istanbul

Stefan Albrecht

Vom Unglück der Sieger – Kreuzfahrer in Konstantinopel
nach 1204

Ernst Gamillscheg

Hohe Politik und Alltägliches im Spiegel
des Patriarchatsregisters von Konstantinopel

AGHIOS LOT / DEIR 'AIN 'ABATA

Konstantinos D. Politis

The Monastery of Aghios Lot at Deir 'Ain 'Abata
in Jordan

ANAIA / KADIKALESİ

Zeynep Mercangöz

Ostentatious Life in a Byzantine Province:
Some Selected Pieces from the Finds of the Excavation
in Kuşadası, Kadikalesi/Anaia (Prov. Aydın, TR)

Handan Üstündağ

Paleopathological Evidence for Social Status in a Byzan-
tine Burial from Kuşadası, Kadikalesi/Anaia: a Case of
»Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis« (DISH)

ANDRONA / AL ANDARIN

Christine Strube

Al Andarin, das antike Androna

Marlia Mundell Mango

Androna in Syria: Questions of Environment
and Economy

AMORIUM / HISARKÖY

Christopher S. Lightfoot

Die byzantinische Stadt Amorium:
Grabungsergebnisse der Jahre 1988 bis 2008

Eric A. Ivison

Kirche und religiöses Leben im byzantinischen
Amorium

Beate Böhlendorf-Arslan

Die mittelbyzantinische Keramik aus Amorium

Edward M. Schoolman

Kreuze und kreuzförmige Darstellungen
in der Alltagskultur von Amorium

Johanna Witte

Freizeitbeschäftigung in Amorium: die Spiele

CHERSON / SEWASTOPOL

Aleksandr Ajbabin

Das frühbyzantinische Chersonesos/Cherson

*Adam Rabinowitz, Larissa Sedikova
und Renata Henneberg*

Daily Life in a Provincial Late Byzantine City:
Recent Multidisciplinary Research in the Southern Region
of Tauric Chersonesos (Cherson)

Tatjana Jašaeva

Pilgerandenken im byzantinischen Cherson

EPHESOS / SELÇUK

Sabine Ladstätter

Ephesos in byzantinischer Zeit – das letzte Kapitel
der Geschichte einer antiken Großstadt

Andreas Külzer

Ephesos in byzantinischer Zeit – ein historischer Überblick

Andreas Pülz

Das Stadtbild von Ephesos in byzantinischer Zeit

Martin Steskal

Badewesen und Bäderarchitektur von Ephesos
in frühbyzantinischer Zeit

Gilbert Wiplinger

Die Wasserversorgung von Ephesos in byzantinischer
Zeit

Norbert Zimmermann

Die spätantike und byzantinische Malerei
in Ephesos

Johanna Auinger und Maria Aurenhammer

Ephesische Skulptur am Ende der Antike

Andrea M. Pülz und Feride Kat

Byzantinische Kleinfunde aus Ephesos –
ein Materialüberblick

Stefanie Wefers und Fritz Mangartz

Die byzantinischen Werkstätten von Ephesos

Manfred Koob, Mieke Pfarr und Marc Grellert

Ephesos – byzantisches Erbe des Abendlandes
Digitale Rekonstruktion und Simulation
der Stadt Ephesos im 6. Jahrhundert

IUSTINIANA PRIMA / CARIČIN GRAD

Vujadin Ivanišević

Caričin Grad – the Fortifications and the Intramural
Housing in the Lower Town

KRASEN

Valery Grigorov

The Byzantine Fortress »Krasen« near Panagyurishte

PERGAMON / BERGAMA

Thomas Otten

Das byzantinische Pergamon – ein Überblick
zu Forschungsstand und Quellenlage

Manfred Klinkott

Die byzantinischen Wehrmauern von Pergamon
als Abbild der politisch-militärischen Situationen
im westlichen Kleinasien

Sarah Japp

Byzantinische Feinkeramik aus Pergamon

TELANISSOS / QAL'AT SIM'AN

Jean-Luc Biscop

The Roof of the Octagonal Drum of the Martyrium
of Saint-Symeon

USAYS / ĠĀBAL SAYS

Franziska Bloch

Öllampenfunde aus dem spätantik-frühislamischen
Fundplatz Ġabal Says im Steppengürtel Syriens

TEIL 3 PERIPHERIE UND NACHBARSCHAFT

Franz Alto Bauer

Byzantinische Geschenkdiplomatie

DER NÖRDLICHE SCHWARZMEERRAUM

Elzara Chajredinova

Byzantinische Elemente in der Frauentracht der Krimgoten im 7. Jahrhundert

Rainer Schreg

Zentren in der Peripherie: landschaftsarchäologische Forschungen zu den Höhengründungen der südwestlichen Krim und ihrem Umland

DER UNTERE DONAURAUM

Andrey Aladzhov

The Byzantine Empire and the Establishment of the Early Medieval City in Bulgaria

Stanislav Stanilov

Der Pfau und der Hund: zwei goldene Zierscheiben aus Veliki Preslav

DER MITTLERE UND OBERE DONAURAUM

Jörg Drauschke

Halbmondförmige Goldohrringe aus bajuwarischen Frauengräbern – Überlegungen zu Parallelen und Provenienz

Péter Prohászka

Die awarischen Oberschichtgräber von Ozora-Tótipuszt (Kom. Tolna, H)

Falko Daim, Jérémie Chameroy, Susanne Greiff, Stephan Patscher, Peter Stadler und Bendeguz Tobias
Kaiser, Vögel, Rankenwerk – byzantinischer Gürteldekoration des 8. Jahrhunderts und ein Neufund aus Südungarn

Ádám Bollók

The Birds on the Braid Ornaments from Rakamaz: a View from the Mediterranean

Péter Langó

Crescent-shaped Earrings with Lower Ornamental Band

Miklós Takács

Die sogenannte Palmettenornamentik der christlichen Bauten des 11. Jahrhunderts im mittelalterlichen Ungarn

SKANDINAVIEN

John Ljungkvist

Influences from the Empire: Byzantine-related Objects in Sweden and Scandinavia – 560/570-750/800 AD

Unter diesem Banner erscheint im Jahr 2010 eine Reihe von Publikationen des Verlages des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, die sich mit der Archäologie und Geschichte des Byzantinischen Reiches beschäftigen. Anlass ist die Ausstellung »Byzanz – Pracht und Alltag«, die vom 26. Februar bis zum 13. Juni 2010 in Bonn gezeigt wurde. Veranstaltet von der Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland wurde sie vom RGZM in Zusammenarbeit mit zahlreichen Fachkollegen konzipiert. Das RGZM setzt damit seine Forschungen im Bereich der Spätantike im Mittelmeerraum und des Byzantinischen Reiches fort, die bereits auf eine lange Tradition zurückblicken können und die in den letzten Jahren – nicht zuletzt durch einige Projekte, die zusammen mit Kooperationspartnern an Plätzen im Gebiet des Byzantinischen Reiches selbst durchgeführt werden – zu einem Schwerpunkt der Tätigkeiten des RGZM geworden sind.



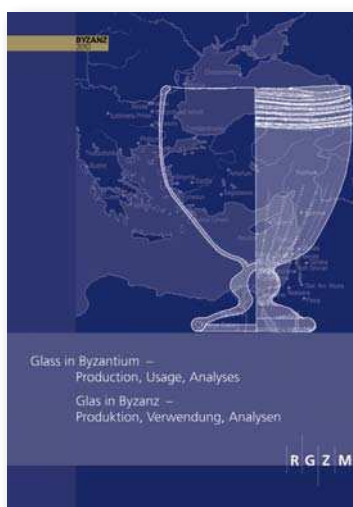
Falko Daim · Jörg Drauschke (Hrsg.)
Byzanz – das Römerreich im Mittelalter
Monographien des RGZM
Band 84, 1-3

Teil 1 Welt der Ideen, Welt der Dinge
507 S. mit 319 meist farb. Abb.
ISBN 978-3-88467-153-5
€ 90,–

Teil 2 Schauplätze
2 Bd., 922 S. mit 701 meist farb. Abb., 1 Falttaf.
ISBN 978-3-88467-154-2
€ 170,–

Teil 3 Peripherie und Nachbarschaft
451 S. mit 261 meist farb. Abb.
ISBN 978-3-88467-155-9
€ 80,–

Teil 1-3 zusammen € 295,–



Jörg Drauschke · Daniel Keller (Hrsg.)
Glas in Byzanz – Produktion, Verwendung, Analysen
RGZM Tagungen

Band 8
270 S. mit 200 Abb., 15 Farbtaf.
ISBN- 987-3-88467-147-4
€ 44,–



Mechthild Schulze-Dörrlamm
Byzantinische Gürtelschnallen und Gürtelbeschläge im RGZM

Teil 1: Die Schnallen ohne Beschläg, mit Laschenbeschläg und mit festem Beschläg des 5. bis 7. Jahrhunderts
 Kataloge Vor- und Frühgeschichtlicher Altertümer
 Band 30,1

2. Aufl., 268 S. mit 545 Abb., 4 Farbtaf.

ISBN 978-3-88467-134-4

€ 70,-



Mechthild Schulze-Dörrlamm
Byzantinische Gürtelschnallen und Gürtelbeschläge im RGZM

Teil 2 Die Schnallen mit Scharnierbeschläg und die Schnallen mit angegossenem Riemendurchzug des 7. bis 10. Jahrhunderts

Kataloge Vor- und Frühgeschichtlicher Altertümer
 Band 30,2 (2009)

414 S. mit 522 Abb., 2 Farbtaf., 1 Beil.

ISBN 978-3-88467-135-1

€ 98,-



Fritz Mangartz
Die byzantinische Steinsäge von Ephesos

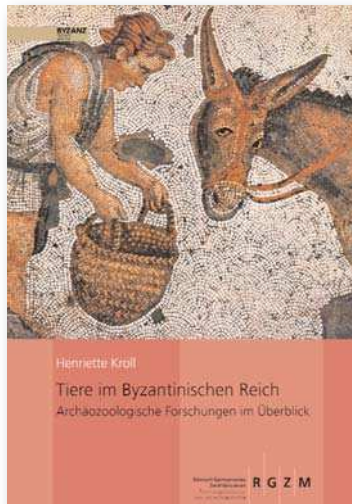
Monographien des RGZM

Band 86

122 S. mit 100 Abb., 23 Farbtaf.

ISBN 978-3-88467-149-8

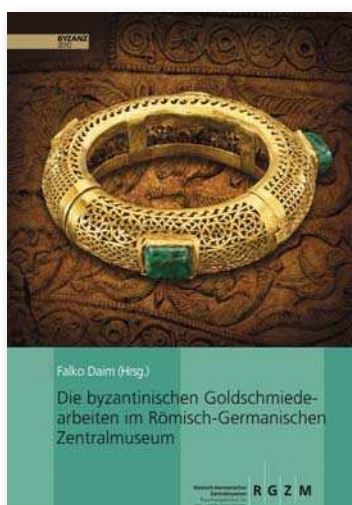
€ 45,-



Henriette Kroll
Tiere im Byzantinischen Reich
 Archäozoologische Forschungen im Überblick
 Monographien des RGZM
 Band 87
 306 S. mit 80 Abb.; 16 Farbtaf.
 ISBN 978-3-88467-150-4
 ca. 55,-€



Birgit Bühler
Der »Schatz« von Brestovac, Kroatien
 Monographien des RGZM
 Band 85
 ca. 400 S. mit 300 z.T. farbige Abb.
 ISBN 978-3-7954-2348-3
 ca. 120,-€



Falko Daim (Hrsg.)
**Die byzantinischen Goldschmiedearbeiten
 im Römisch-Germanischen Zentralmuseum**
 Kataloge Vor- und Frühgeschichtlicher Altertümer
 Band 42
 ca. 300 S. mit 650 meist farbigen Abb.
 ISBN 978-3-7954-2351-3