

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Abbildungsverzeichnis | xi |
| Tabellenverzeichnis | xv |
| Dank | xvii |
| Zusammenfassung | xix |
| Abstract | xx |
| Abkürzungsverzeichnis | xxi |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Übersicht und Struktur der Arbeit | 1 |
| 1.2 Baubeschreibung der Hagia Sophia | 3 |
| 1.3 Errichtung der Hagia Sophia | 8 |
| 1.4 Metaphysik des Lichts und die Kunst der Beleuchtung | 10 |
| 1.5 Licht als Analogie des Guten | 11 |
| 1.6 Lichtsimulation und Interpretation | 12 |
| 1.7 Visuelle Wahrnehmung | 13 |
| 1.8 Photometrie | 14 |
| 1.9 Kontrastwahrnehmung und Adaptionsvermögen | 16 |
| 1.10 Kontrastdarstellung | 18 |
| 1.11 Tageslicht als dynamische Beleuchtung | 20 |
| 1.12 Historische Lichtkonzepte | 22 |
| 1.13 Gestaltungsmittel antiker und spätantiker Tageslichtarchitektur | 26 |
| 1.14 Beispiele römischer und spätantiker Lichtkonzepte | 29 |
| 2 Grundlagen und theoretische Herleitung der Methode | 31 |
| 2.1 Darmstädter Modell der Hagia Sophia | 31 |
| 2.2 Computermodele und Simulation | 32 |
| 2.3 Computergrafische Visualisierung und Lichtsimulation | 33 |
| 2.4 Methodik der Lichtsimulation historischer Bauzustände | 34 |
| 2.5 Forschungslücke und methodischer Ansatz | 37 |
| 3 Hypothesen und Forschungsziele | 43 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4 | Rekonstruktionsmodell der Hagia Sophia des 6. Jahrhunderts | 47 |
| 4.1 | Grundlagen der Rekonstruktion | 47 |
| 4.2 | Bauzustand zur 2. Einweihung 562 nach Wiedererrichtung der Kuppel | 48 |
| 4.3 | Freilegung des ursprünglichen Bauzustands | 49 |
| 4.4 | Lage, Umgebung und Ausrichtung der Hagia Sophia | 55 |
| 4.5 | Geometrische Rekonstruktion | 57 |
| 4.6 | Rekonstruktion der Kuppel von 562 | 62 |
| 4.7 | Rekonstruktions- und Simulationsmodell | 66 |
| 4.8 | Weiterentwicklung des Darmstädter Modells | 68 |
| 4.9 | Weiterer Forschungsbedarf | 70 |
| 5 | Rekonstruktion der Wandgestaltung der Hagia Sophia | 75 |
| 5.1 | Marmorausstattung des Baus | 75 |
| 5.2 | Rekonstruktion und Modellierung der Marmorausstattung | 80 |
| 5.3 | Identifikation der verwendeten Marmorsorten | 80 |
| 5.4 | Zuordnung der Marmorsorten innerhalb der Wandgestaltung | 83 |
| 5.5 | Vergoldete und silberne Bauteile | 88 |
| 5.6 | Geometrische Modellierung gemäß der Materialverteilung | 89 |
| 6 | Materialmodelle und goniophotometrische Messungen | 93 |
| 6.1 | Raytracing und Materialmodelle | 93 |
| 6.2 | Streuungsmessungen mit einem Goniophotometer | 94 |
| 6.3 | Datenbasierte und analytische Materialmodelle | 96 |
| 7 | Materialmodelle I: Marmordekoration | 101 |
| 7.1 | Materialmodell für die Marmoroberflächen | 101 |
| 7.2 | Ermittlung der Reflexionskoeffizienten mit einer Kamera | 101 |
| 7.3 | Muster der Marmormaterialien | 105 |
| 7.4 | Festlegung der Parameter <i>Specularity</i> und <i>Roughness</i> | 109 |
| 7.5 | Materialmodelle für die vergoldeten und silbernen Bauteile | 113 |
| 7.6 | Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf | 115 |
| 8 | Materialmodelle II: Römisches Fensterglas | 119 |
| 8.1 | Die Verglasung der Hagia Sophia | 119 |
| 8.2 | Römisches Fensterglas | 120 |
| 8.3 | Pilotstudie zur Streuung von Licht durch römisches Fensterglas | 124 |
| 8.4 | Untersuchung der Lichtstreuung in der Hagia Sophia | 134 |
| 8.5 | Weitere Untersuchungen an römischen Fenstergläsern | 137 |
| 8.6 | Ergebnisse der Pilotstudie | 138 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 9 | Materialmodelle III: Goldenes Glasmosaik | 145 |
| 9.1 | Goldenes Glasmosaik | 145 |
| 9.2 | Ein parametrisches Materialmodell für eine komplexe Oberfläche | 148 |
| 9.3 | Reflexionsmodell für die Tesserae | 160 |
| 9.4 | Komplexe Materialmodelle historischer Materialien | 169 |
| 10 | Simulationsanordnung und Berechnungsmethoden | 173 |
| 10.1 | Himmelsmodelle für die Tageslichtsimulation verlorener Bauzustände | 173 |
| 10.2 | Berechnung der Lichtverteilung mit RADIANCE und der Photonmap | 175 |
| 10.3 | Parametrisierung und Ressourcenverbrauch der Berechnung | 182 |
| 10.4 | Vom Rekonstruktionsmodell zur Simulationsanordnung | 187 |
| 11 | Auswertungsmethoden | 193 |
| 11.1 | Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten | 193 |
| 11.2 | Perzeptionsanalyse mittels Tone Mapping | 193 |
| 11.3 | Darstellung der Ergebnisse | 197 |
| 12 | Untersuchungsprogramm | 199 |
| 12.1 | Vergleich der heutigen Hagia Sophia mit dem Bauzustand von 562 | 199 |
| 12.2 | Darstellung der Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten | 200 |
| 12.3 | Beleuchtung bei bedecktem und sonnigem Himmel | 202 |
| 12.4 | Einfluss der Verglasung auf die Innenraumbeleuchtung | 202 |
| 12.5 | Einfluss des Marmorbodens auf die indirekte Beleuchtung | 203 |
| 12.6 | Einfluss des Glasmosaiks auf die indirekte Beleuchtung | 203 |
| 12.7 | Anteile der Fenstergruppen an der Innenraumbeleuchtung | 203 |
| 12.8 | Die Beleuchtung im Tages- und Jahresverlauf | 204 |
| 13 | Ergebnisse und Diskussion | 207 |
| 13.1 | Übersicht über die Forschungsergebnisse | 207 |
| 13.2 | Vergleich der heutigen Hagia Sophia mit dem Bauzustand von 562 | 209 |
| 13.3 | Beleuchtung bei bedecktem und sonnigem Himmel | 211 |
| 13.4 | Einfluss der Verglasung auf die Innenraumbeleuchtung | 215 |
| 13.5 | Einfluss des Marmorbodens auf die indirekte Beleuchtung | 216 |
| 13.6 | Einfluss des Goldmosaiks auf die indirekte Beleuchtung | 218 |
| 13.7 | Anteile der Fenstergruppen an der Innenraumbeleuchtung | 219 |
| 13.8 | Die Beleuchtung im Tages- und Jahresverlauf | 225 |
| 14 | Fazit | 237 |
| 14.1 | Anwendung der theoretisch hergeleiteten Methode | 237 |
| 14.2 | Bedeutende Elemente der ursprünglichen Beleuchtung | 241 |
| 14.3 | Dynamik und Statik der Tageslichtbeleuchtung | 241 |
| 14.4 | Rückschlüsse auf das Lichtkonzept der Hagia Sophia | 242 |

| | |
|---|------------|
| 15 Ausblick | 247 |
| 15.1 Chancen digitaler Simulationsumgebungen für die Bauforschung | 247 |
| 15.2 Genauigkeit und Weiterentwicklung von Simualtionsumgebungen | 248 |
| 15.3 Bedeutung der Lichtsimulation für die Erforschung der Hagia Sophia | 250 |
| 15.4 Erweiterung des Darmstädter Modells der Hagia Sophia | 251 |
| 15.5 Simulation im Kontext des Digital Turn | 252 |
| Literaturverzeichnis | 253 |
| Tafelband | |