

Kapitel 15

Ausblick

15.1 Chancen digitaler Simulationsumgebungen für die Bauforschung

Bislang sind digitale Modelle in der Bauforschung vorwiegend hinsichtlich der Genauigkeit ihrer Produkte und ihrer wissenschaftlichen Dokumentation diskutiert worden. Das größte Potential digitaler Simulationsumgebungen liegt aber sicher in ihrem interdisziplinären Charakter. Simulationsumgebungen vertreten den unvollständigen historischen Bauzustand indem sie den empirisch gesicherten Befund erweitern. Wie gezeigt wurde, stützen sie sich dazu auf eine Reihe verschiedener Modelle aus unterschiedlichen Disziplinen (Abbildung 15.1):

- Die Rekonstruktion erweitert den Befund zu einem geometrischen Modell, das durch hinzuziehen von Textquellen, Kontextwissen und architektonische Expertise angereichert wird. Zusammen mit der gezeigten Vereinfachung des empirischen Befunds beim Modellieren entwickelt sich so eine plausible und im Detail nachvollziehbare Theorie des Bauzustandes.
- Die Modellierung der Materialien erweitert das geometrische Modell um optische Modelle der Oberflächen und bezieht durch Messung weitere empirische Befunde mit ein. Es wurde gezeigt, dass die Rekonstruktion der Geometrie und Modellierung der Materialien miteinander verschränkt sind und ein Verständnis der historischen Bau- bzw. Herstellungstechniken und der natürlichen Materialeigenschaften samt der Korrosion erfordern. Das dehnt die Methode der Lichtsimulation in Richtung von Fragestellungen der Technikgeschichte und der Materialwissenschaft hin aus.
- Die Tageslichtsimulation benötigt ein Modell des Himmels, erweitert die Methode damit um eine weitere Kategorie von Modellen, nämlich ein Umweltmodell. Es wurde bereits gezeigt, wie dynamische Umweltbedingungen wie das Wetter und architektonische Gestaltung interagieren. Fragen nach Umweltveränderungen und Umweltwahrnehmung liegen damit nahe.
- Die Berechnung basiert auf einer statistisch-optischen Modellierung der Lichtausbreitung. Auf diese Weise werden physikalische Methoden eingebunden. Zugleich stellt sich die Frage nach der historischen Kenntnis physikalischer Gesetze.

- Die Auswertung gründet auf physiologischen und psychologischen Modellen der menschlichen Wahrnehmung von Helligkeiten und Kontrasten. Die photometrischen Einheiten der Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte unterscheiden sich von den korrespondierenden strahlungsphysikalischen Einheiten durch Annahmen zur menschlichen Farbwahrnehmung.

Als Ganzes ersetzt die digitale Simulationsumgebung nicht nur einen verlorenen Bauzustand. Jeder notwendige Schritt hat die Untersuchung im interdisziplinären Forschungskontext erweitert und damit Erkenntnisse aus andern Forschungsfeldern einbezogen. In den Modellen manifestieren sich auf den Bauzustand zugeschnittene Annahmen und Theorien der unterschiedlichen Disziplinen. Durch diesen Charakter bieten sich digitale Simulationsumgebungen vor allem für Untersuchungen an, die ein Gebäude in Wirkungszusammenhänge von Technik und Umwelt eingebunden sehen. Die Gebäude erscheinen dabei nicht nur als Ergebnis schöpferischer Willensakte, sondern zugleich als Produkte der Eigenlogik dieser Systeme. Die Forschungsfragen, die untersucht werden können, richten sich im Fall der Lichtsimulation auf die Auswirkungen dieser Zusammenhänge in der visuellen Erfahrungswelt historischer Akteure.

Ein gutes Beispiel hierfür wäre die Frage, wie die Einführung von Fensterglas oder die Veränderungen in seiner Produktionsweise die römische Architektur durch die sich ergebenden Möglichkeiten der Beleuchtung verändert hat. Dabei werden die materiellen Eigenschaften von Fensterglas und seine technischen Aspekte zwangsläufig mit dem Umweltphänomen Tageslicht verknüpft.

Beleuchtung impliziert die Wahrnehmung von Helligkeiten und Kontrasten. Fragen der Intention und Vorstellungswelt historischer Akteure können insofern untersucht werden, als dass man nachvollziehen kann, wie die technischen Möglichkeiten für die Beeinflussung der Wahrnehmung eingesetzt werden. Vielleicht können auch Aspekte zeitgenössischer Philosophie und Technikvorstellung, die möglicherweise Einfluss auf Bauweise und Gestaltung haben, in ihrer intentionalen Wirkung nachgewiesen werden.

Das Arbeiten in einer Simulationsumgebung erlaubt gegenüber der Untersuchung am empirischen Befund umfangreichere Manipulationen, z. B. das Schließen einzelner Fenster zum Studium der Beleuchtung durch die anderen. Das schließt auch die Möglichkeit des Vergleichs von Varianten ein, wie an den Glasmaterialien gezeigt wurde. Reihenuntersuchungen erlauben die systematische Analyse von Effekten, die sonst nur anekdotisch beschrieben werden können. So lassen sich in der Umgebung Forschungsdesigns besser auf spezifische Fragen der Bauforschung anpassen.

15.2 Genauigkeit und Weiterentwicklung von Simulationsumgebungen

Die verschiedenen Modelle innerhalb der Simulationsumgebung haben sich in den beteiligten Wissenschaften etabliert und werden laufend überprüft und erweitert. So kann nicht nur die Genauigkeit der Verfahren oder konkreter Materialmodelle sichergestellt und quantifiziert,

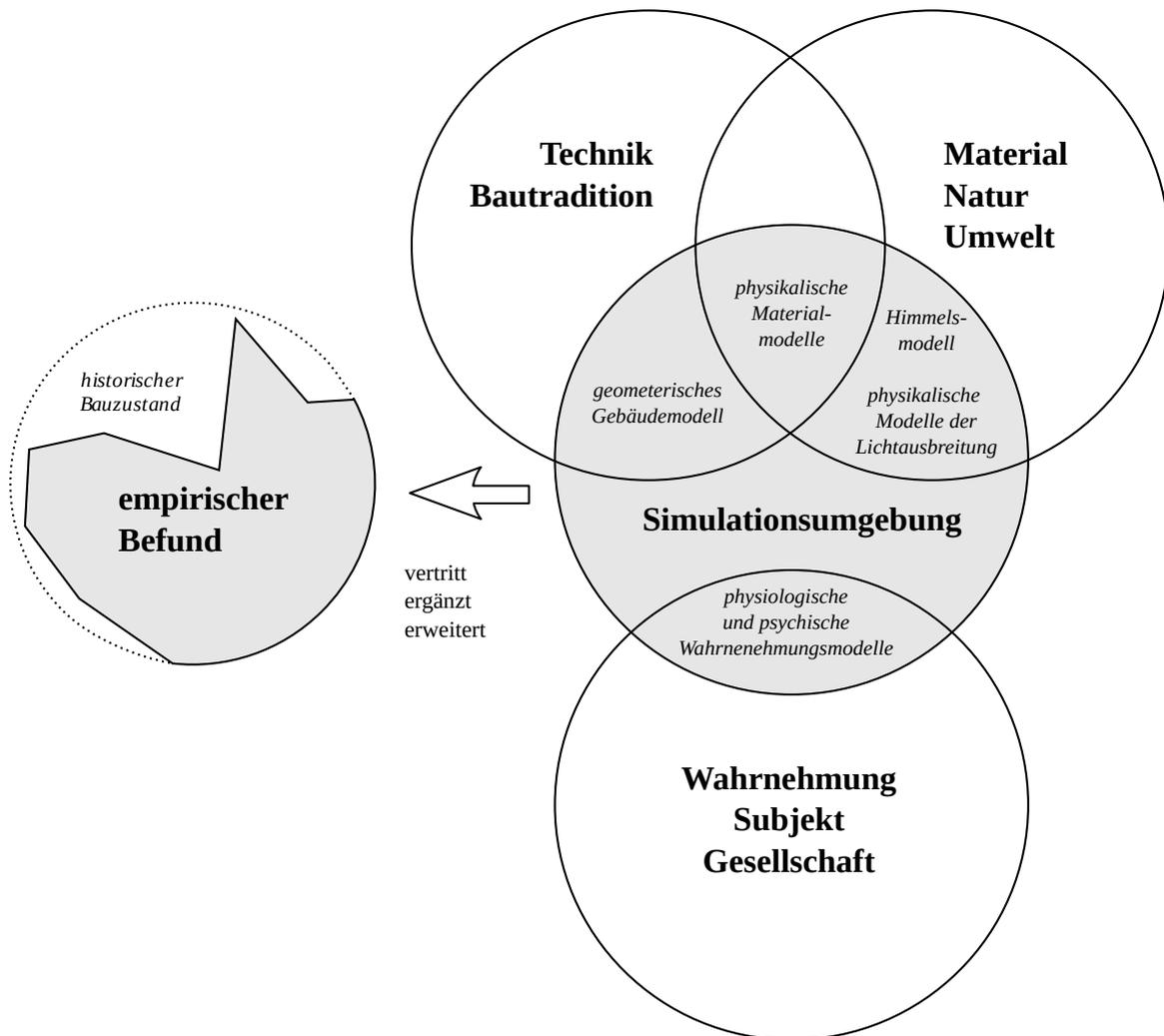


Abbildung 15.1: Die Simulationsumgebung ersetzt und erweitert den empirischen Befund im Forschungskontext. Durch ihre Teilmodelle ist die Simulationsumgebung mit Systemen der Technik, Umwelt und Wahrnehmung verknüpft.

sondern auch laufend verbessert werden. Die Modelle und Verfahren sollten aber auch im Kontext der Bauforschung überprüft und angepasst werden. Es wurde gezeigt, dass die Kombination aus streuendem Fensterglas, komplexer Gebäudegeometrie und glänzenden Materialien hohe Ansprüche an die Berechnungsverfahren stellt, die eine Weiterentwicklung erfordert hat und weitere sinnvoll erscheinen lässt, z. B. noch größere Photonmaps. Die Beseitigung des Fehlers bei der Berechnung der Beleuchtungsstärken ist von allgemeiner Bedeutung für die Arbeit mit der Photonmap-Erweiterung. Komplexe Materialien wie das Goldmosaik und subtile Oberflächeneffekte, verlangen nach erweiterten Möglichkeiten der Materialmodellierung in der Lichtsimulation. Viele Auswertungsmethoden und Modelle der Wahrnehmung sind von Ansprüchen moderner Arbeitsumgebungen geprägt. So existieren Auswertungsmethoden, die Blendung als Beeinträchtigung der Produktivität verstehen, aber keine die sie als Teil einer Inszenierung bewerten können.

Für den Bereich der historischen Bauforschung ergeben sich daraus folgende Aufgaben:

- Sie muss sicherstellen, dass die Simulationsumgebungen den Bezug zum empirischen Befund nicht verlieren und die untersuchten Fragen dem Kenntnisstand angemessen sind, also nicht rein spekulativen Charakter haben.
- Die Erforschung der optischen Eigenschaften der historischen Oberflächen ist auszuweiten. Das schließt ein besseres Verständnis von Alterung und der Herstellungsmethoden in Bezug auf diese Eigenschaften ein. Neue Verfahren wie die Nachfertigung von Oberflächen mit anschließender Vermessung im Abgleich mit Funden sind unter ihrer Leitung zu entwickeln. Das schließt auch eine umfangreichere Erforschung der Entwicklung handwerklicher Techniken und des Einsatzes unterschiedlich hergestellter und bearbeiteter Materialien in Gebäuden ein.
- Der Komplex Wahrnehmung und Rezeption durch die historischen Akteure bedarf einer genaueren Auseinandersetzung. Die in der theoretischen Herleitung gezogene Abgrenzung zwischen übertragbaren Erkenntnissen zu den physiologischen und psychologischen Grundlagen der Wahrnehmung (Perzeptionsanalyse) und der nur partiell anhand von Quellen zugänglichen Rezeption führt eine Sichtweise in das Feld der Interpretation historischer Architektur ein, die für viele Methoden und Erkenntnisse Konsequenzen haben dürfte. Zugleich ist diese Grenzziehung aber weiter zu präzisieren, wenn man Sehen als aktiven Prozess der Erkundung der Umgebung betrachtet, der einen permanenten Abgleich mit erinnerten Formen, Farben und Helligkeiten vornimmt. Dazu müssen Erkenntnisse der Wahrnehmungspsychologie der Analyse historischer Texte gegenübergestellt werden und die Unterschiede der visuellen Wahrnehmung herausgearbeitet werden.

15.3 Bedeutung der Lichtsimulation für die Erforschung der Hagia Sophia

Mit dieser Arbeit ergeben sich für die Erforschung der Hagia Sophia zwei neue Möglichkeiten: zum einen die Interpretation der Ergebnisse zur ursprünglichen Beleuchtung im 6. Jh., die

deutlich anderes als die heutige ist, zum anderen, die Nutzung und Erweiterung der Simulationsumgebung zur Überprüfung weiterer Hypothesen.

Diese Arbeit fokussiert auf die Analyse der am Bau heute noch sichtbaren und durch die Rekonstruktion erschließbaren Elemente der architektonischen Gestaltung in ihrer Wirkung auf die Lichtverteilung und die Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung. Wie aber wurde die vom menschlichen Wahrnehmungsapparat perzipierte Umgebung von den historischen Beobachtern rezipiert? Welche Ziele haben die Erbauer mit diesen Mitteln in Bezug auf die Funktion des Gebäudes als Kirche und Ort der Inszenierung kaiserlicher Macht verfolgt? Diese Fragen kann die Lichtsimulation allein nicht beantworten. Dazu müssen die Ergebnisse der Quellenanalyse gegenübergestellt und in die architektonische Entwicklung der Zeit eingeordnet werden. Dabei ist zu prüfen, inwieweit die neu gewonnen Erkenntnisse existierende Interpretationsansätze zum Verständnis der Architektur in Frage stellen oder bestätigen. Es ist zu erwarten, dass sich in dieser Auseinandersetzung neue Forschungsfragen ergeben, die das Untersuchungsprogramm erweitern können und die neue Auswertungsmethoden erfordern.

Besonderes Augenmerk sollten dabei die künstlerischen und technischen Strategien der drei bekannten Architekten oder Ingenieure erfahren. Diese waren nachweislich mit wissenschaftlichen Werkzeugen wie der *Katoptrik* vertraut und diese Arbeit hat Anhaltspunkte geliefert, dass sie diese auch im Gebäude angewendet haben, um die Beleuchtung zu steuern. Dabei liegt auch eine einordnende bauhistorische Betrachtung der technischen und architektonischen Entwicklung der Beleuchtung in der Spätantike nahe.

15.4 Erweiterung der existierenden Simulationsumgebung und des Darmstädter Modells der Hagia Sophia

Schon jetzt ergeben sich für die weitere Erforschung der Hagia Sophia mittels der erarbeiteten Simulationsumgebung vorrangige Ziele:

- Die Rekonstruktion der künstlichen Beleuchtung auf Grundlage der Beschreibung bei Paulus Silentiarius und reichlich verfügbarer Beispiele von Öllampen und Leuchtern.
- Die Fortführung der Forschung zur Streuwirkung von handwerklich hergestelltem Fensterglas und die Verbesserung Simulation der Streuung durch datenbasierte Transmissionsmodelle.
- Die Rekonstruktion der farbigen Bänder und Kreuze im Goldmosaik der Gewölbe erlaubt die Untersuchung ihrer Wirkung unter den verschiedenen Beleuchtungsbedingungen und im Zusammenspiel mit dem glitzernden Hintergrund. Dadurch ergibt sich ein vollständiges Bild der Architektur des Innenraums.
- Die existierende Rekonstruktion sollte um Narthex und Exonarthex und in Bezug auf die Umgebung erweitert werden. Damit könnte auch die Rolle der Türen für das Lichtkonzept untersucht werden.

15.5 Simulation im Kontext des Digital Turn

Rekonstruktionsmodelle kann man sich als fertige Produkte eines abgeschlossenen Arbeitsprozesses vorstellen, die man auf geeignete Weise dokumentieren sollte und die dadurch kritikfähig werden. *Bilder* im Sinne des Predictive Rendering sind ebensolche Produkte, die man auf ihre Genauigkeit hin bewerten und in der weiteren Forschung referenzieren kann. Beide könnte man, sollten sich neue Erkenntnisse ergeben, überarbeiten oder erneut generieren.

Die zwanzigjährige Erfahrung mit dem Darmstädter Modell lädt aber zu einem anderen Umgang ein. Allein dessen Herstellungsaufwand legt eine Weiternutzung nahe. Statt Simulationsumgebungen bloß zu archivieren und ihre Ergebnisse zu verwerten, sollten sie daher als jederzeit *aktivierbare* und dauerhaft *wiederverwendbare Forschungswerkzeuge* behandelt werden:

- Mit ihnen lassen sich Untersuchungen einfach reproduzieren und variieren. Für neue Forschungsfragen lassen sich Untersuchungsprogramme einfach formulieren und mit verringertem Aufwand durchführen.
- Dabei können die zugrundeliegenden Modelle und Auswertungsmethoden dem jeweiligen Stand der Forschung und der aktuellen Fragestellung angepasst werden.
- Schließlich kann auch der untersuchte Bauzustand und letztlich das Gebäude durch andere ausgetauscht werden. Neben der Wiederverwendung etablierter Modelle und Methoden werden dadurch Vergleiche zwischen Bauzuständen und Gebäuden unter gleichen Bedingungen möglich.

Die tatsächliche Weiterverwendung und der Austausch solcher Umgebungen zur Untersuchung neuer Forschungsfragen kann man als Zeichen eines vollzogenen *Digital Turn* verstehen. Im entstehenden digitalen Forschungsumfeld erhalten die Simulationsumgebungen dadurch Permanenz und werden zu einer besonderen Form der im Motto dieser Arbeit erwähnten »informierten Simulacra«. Als solche repräsentieren sie dauerhaft verlorene Gebäude und Bauzustände in einer virtuellen Wissenswelt, die zugleich eine neue Form von wissenschaftlichem *Text* ist. Dieser kann unter den Vorzeichen einer forcierten interdisziplinären Arbeitsteilung permanent fortgeschrieben und durch Modularisierung, Vernetzung und Automatisierung immer dichter und effizienter werden. Dadurch entsteht zwangsläufig eine neue Dynamik und ein neues Verhältnis von Forschungswerkzeugen und -inhalten, von denen die Bauforschung nur profitieren kann.