

## 3D-SCANS FÜR DIE REKONTEXTUALISIERUNG ANTIKER SKULPTUR

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dominik Lengyel<sup>a</sup>, Dipl.-Ing. Catherine Toulouse<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Lehrstuhl Darstellungslehre, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU),  
Deutschland, lengyel@tu-cottbus.de;*

<sup>b</sup> *Lehrstuhl Darstellungslehre, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU),  
Deutschland, toulouse@tu-cottbus.de*

**KURZDARSTELLUNG:** Im Rahmen des BMBF-Projektes Berliner Skulpturennetzwerks wurden Skulpturen der Berliner Abgusssammlung dreidimensional gescannt und im neuen virtuellen, dreidimensionalen Modell der antiken Metropole Pergamon, das im Rahmen des Exzellenzclusters TOPOI 1 gemeinsam mit dem Deutschen Archäologischen Institut Istanbul entstand, wissenschaftlich rekontextualisiert. Das Ergebnis wurde in der ersten monografischen Ausstellung über Pergamon „Pergamon – Panorama der antiken Metropole“ im Pergamon Museum Berlin den Besuchern präsentiert.

Ohne weiteres lässt sich Skulptur im Original im Museum präsentieren. Dieser häufig kontextlosen Isolation stehen hyperrealistische virtuelle Simulationen gegenüber, die auf Grundlage von 3D-Scans der Skulptur eine Umgebung zudichten, wie sie zwar möglich gewesen sein könnte, deren Anteil an frei Erfundenem jedoch enorm sein kann. Während die Skulptur selbst außer Frage steht, können Simulationen in einem Maße verführen wie sie in die Irre führen können.

Die Methode der „Darstellung von Unschärfe“ thematisiert dieses Dilemma, indem es die Wissenschaftlichkeit mit der atmosphärischen Raumwirkung verbindet und dabei gleichzeitig die Unschärfe im archäologischen Wissen explizit vor Augen führt. Sie ist in die Bereiche Modell und Projektion gegliedert. Das Modell spiegelt die unterschiedlichen Grade an Sicherheit vom Befund zur Hypothese wieder, während die virtuelle Fotografie eine realistische Illusion dieser künstlichen Umgebung erzeugt.

### 1. EINFÜHRUNG

3D-Scans ermöglichen es, antike Skulpturen in virtueller Architektur in einer Weise zu rekontextualisieren, dass beide Bestandteile, Skulptur und Kontext, auf dieselbe Weise inszeniert werden können und so eine gezielte Gestaltung der visuellen Wiedergabe der Rekontextualisierung möglich ist.

Die Fotografie als Alternative zum 3D-Scan ermöglicht zwar ebenfalls eine Rekontextualisierung, allerdings mit den Einschränkungen, dass zum einen die Farbe nicht von der Form getrennt werden kann, der Kontext also in derselben Weise, also ggf. polychrom dargestellt werden muss, und zum anderen die räumliche Abhängigkeit umgekehrt wird, da sich dann die gesamte Rekontextualisierung nach den

fotografischen Bedingungen – Aufstellung, Blickrichtung, Abstand, Belichtung etc. – richten muss, um ein perspektivisch richtiges Gesamtbild erzeugen zu können (Abb. 17).



**Abb. 1:** Pergamon Trajaneum

Jenseits objektiver Kriterien wie der Treue zur wissenschaftlichen Hypothese in der Rekonstruktion ist ein wesentliches Ziel guter Gestaltung die Stringenz der Rekonstruktion, d.h. derjenigen gestalterischen Kriterien, die ein in sich stimmiges und damit glaubhaftes Gesamtbild verantworten, also ein Bild, das trotz seiner Immaterialität den Betrachter einfängt, sich mit dem Dargestellten zu identifizieren, ein Bild, das in der Lage ist, durch Perspektivität und Plastizität die räumliche Wahrnehmung zu kompensieren, und eine Vielzahl von Assoziationen zu wecken. Gestaltung ist keine Geschmackssache, sondern eine Frage der individuellen gestaltungsspezifischen Bildung, Erfahrung und Kreativität.

## 2.1 ARCHITEKTUR

Die hier vorgestellten Beispiele rekontextualisierter Skulptur konzentrieren sich auf den architektonischen Raum (Abb. 5-6). Das bedeutet, dass zur Nutzung und zum Gebrauch von Architektur und Skulptur bewusst keine Aussage getroffen wird, um stattdessen die rein räumlichen Qualitäten umso stärker hervorzuheben. Diese Qualitäten sind anders als der historisch bedingte Gebrauch von zeitloser, universeller Bedeutung. Das Potential, aus diesen Qualitäten Schlussfolgerungen auch für aktuelle Architekturplanungen zu ziehen, ist ungleich höher als dies bezogen auf den Gebrauch möglich wäre (Abb. 1).

## 2.2 IDEALISIERUNG

Ähnlich wie Gebrauch und Form werden Planung und Realisierung in der Architektur differenziert. Während die Realisierung von den konstruktiven – dies auch abhängig vom verwendeten Baumaterial – und den organisatorischen – beispielhaft sei die Logistik einer antiken Großbaustelle genannt – Möglichkeiten abhängt, sind die räumlichen Qualitäten von übergeordneter, zeitloser Bedeutung. Die Komposition beispielsweise der Bebauung des Burgbergs von Pergamon, also der Terrassen, der Großbauten und der Stadttextur, aber auch der Hierarchie der Volumina im Verhältnis zum Berg haben bis heute – soweit dies rekonstruierbar erscheint – nichts von ihrer Attraktivität und Aktualität eingebüßt (Abb. 1-2). Daher ist die Visualisierung der architektonischen Idee anstelle ihrer Realisierung eine

Würdigung der Architektur als historische intellektuelle Leistung und macht sie damit zu einem Ausgangspunkt architektonischer Reflexion – historischer wie auch aktueller [1].

Die Gestaltung wissenschaftlicher Visualisierungen dreht sich also um den unstrittigen Punkt der Treue zur wissenschaftlichen Hypothese, zugleich aber auch um eine höchsten architektonischen Ansprüchen genügende Gestaltung dieser nicht greifbaren – und damit streng wissenschaftlich nicht simulierbaren – wissenschaftlichen Grundlagen.

## 2.3 SKULPTUR



*Abb. 2: Pergamon*

3D-Scans von Skulpturen ermöglichen zum einen die plastische Bearbeitung der virtuellen Skulptur. Hierdurch können Hypothesen wie die Dimensionierung der ursprünglichen Steinblöcke oder auch die Zusammensetzung aus mehreren Steinblöcken visuell vermittelt werden (Abb. 3). 3D-Scans ermöglichen die virtuelle Bearbeitung, vor allem auch die Ergänzung oder Verschmelzung fragmentarischer Funde. Grundlage für die Widder des Amuntempels in Naga [2] waren zum einen 3D-Scans, denen jedoch der Kopf fehlte, und die Modellierung des fehlenden Kopfes in Anlehnung an einen anderen, aber vollständig erhaltenen Widder aus einer kulturell nahe stehenden Stadt in der Umgebung von Naga (Abb. 13-14). Auch für die Strukturanalyse der Oberflächenausführung ist der 3D-Scan, der die reine Form ohne Überlagerung durch Farbe und Materialität freistellen kann, eine große Vereinfachung (Abb. 4). Für die Rekontextualisierung zählt

jedoch vielmehr die Möglichkeit, die Aufstellung von Skulptur im architektonischen Kontext wiederzugeben und zu überprüfen (Abb. 7-8). Allerdings ist es eine Frage der fotografischen Interpretation, wie das Verhältnis von Skulptur und Architektur im virtuellen Foto oder Film eingefangen wird. Denn anders als in Grundrissen oder anderen schematischen Darstellungen ist die fotografische Interpretation unvermeidbar.



*Abb. 3: Schema nach Mathias Hofter*

Damit die Rekontextualisierung dennoch nicht nur für ihre Betrachter, sondern auch für die Urheber der zugrunde liegenden Hypothesen Erkenntnisse liefern kann, folgen die architektonische Gestaltung der Rekonstruktionsmodelle sowie die fotografische Gestaltung der virtuellen Fotografie bekannten, traditionellen Methoden, durch die der Anteil an frei Erfundenem auf ein Minimum reduziert wird und die in

der „Darstellung von Unschärfe“ zusammengefasst sind.



*Abb. 4: Lichtstudie Aphrodite Pergamon*

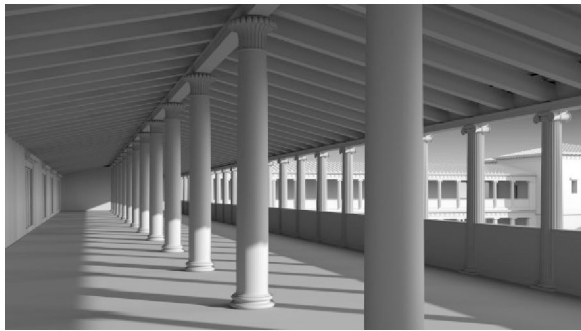
## 2.4 DARSTELLUNG VON UNSCHÄRFE

Die Methoden der „Darstellung von Unschärfe“ sind in die beiden Bereiche Gestaltung des virtuellen Modells und Gestaltung der virtuellen Fotografie untergliedert. Während der virtuelle Modellbau die wissenschaftliche Hypothese so unmittelbar wie möglich in Geometrie übersetzt, kann die virtuelle Fotografie selten direkt eine konkrete Hypothese übersetzen. Denn sie ist auf die Erforschung der fotografischen Kompositionsmöglichkeiten innerhalb des gegebenen Modells angewiesen [3]. Dadurch lassen sich die Entscheidungen im Modellbau deutlich stärker auf die wissenschaftliche Hypothese zurückführen als diejenigen in der Fotografie.

## 2.5 GESTALTUNG DES MODELLS

Gerade im Kontext detaillierter oder ornamentierter Architektur wie derjenigen der klassischen Antike ist die

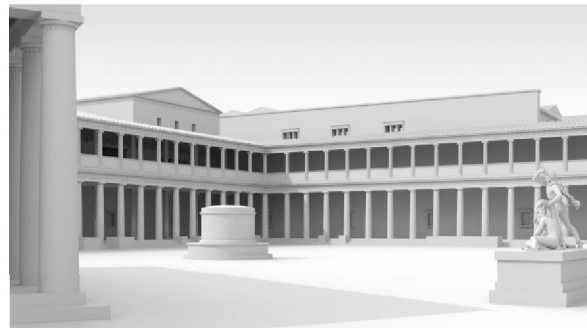
geometrische Abstraktion, wie sie in architektonischen Entwurfsmodellen traditionell angewandt wird, ein intuitiv verständliches Mittel, um unscharfes Wissen auszudrücken.



*Abb. 5 und 6: Pergamon Hallen im Athenaheiligtum*

wird. Hier werden vereinfachte Formen als Stellvertreter für Allgemeinformen unspezifischer Bau- oder Gebäudeteile erzeugt, deren möglichst intuitive Lesbarkeit allerdings nicht im Widerspruch zur Hypothese stehen darf. Der ideale Quader als visuelles Symbol für eine unbestimmte Wand ist die vielleicht einfachste Form der präzisen Wiedergabe einer unscharfen Hypothese. Auch kann das aus Quader und Prisma bestehende ikonische Bild des Urhauses je nach visuellem Kontext die allgemeine Präsenz eines Hauses präzise wiedergeben, ohne dass die individuelle Ausgestaltung des Gebäudes auch nur angedeutet wird [4].

Eine komplexere Weiterentwicklung dieser Idealisierung ist die Typisierung, wie sie beispielsweise für das Erzeugen von Stadttexturen verwendet wird. Hier werden auf Grundlage von konkreten wissenschaftlichen Aussagen Regeln aufgestellt, die ausreichend Variationsmöglichkeiten beinhalten, um eine Gesamtstruktur zu erzeugen, die widerspruchsfrei und glaubhaft ist, so dass sie ohne sichtbare Unterscheidung auch konkrete Befunde aufnehmen kann (Abb. 10).

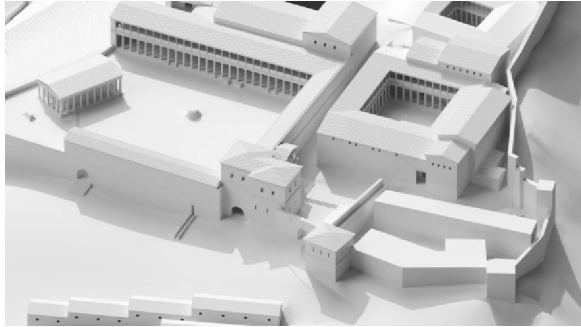


*Abb. 7 und 8: Pergamon Gallier der Ludovisi-Gruppe im Athenaheiligtum*

Allerdings bleibt es eine Frage der architektonischen Gestaltung, ob die Methoden zu einem Ergebnis führen, das so gelesen wird wie beabsichtigt, ebenso wie es in einem architektonischen Entwurfsmodell der Fall ist. Durch reinen Schematismus ist das Ergebnis nicht zu erreichen. Dafür sind die Mechanismen der Gestaltung zu komplex: Es entstehen Formen, die weder der historischen Realität noch den verbliebenen Funden entsprechen. Erst durch gezielte Gestaltung können die abstrakten Formen die gewünschte unscharfe Hypothese vermitteln. Übergeordnetes Ziel der Abstraktion ist dabei stets die größtmögliche Nähe zur Hypothese, und das bedeutet auch bei sehr großer Unschärfe die Herausforderung, den Anteil des frei Erfundenen so klein zu halten wie nur möglich.

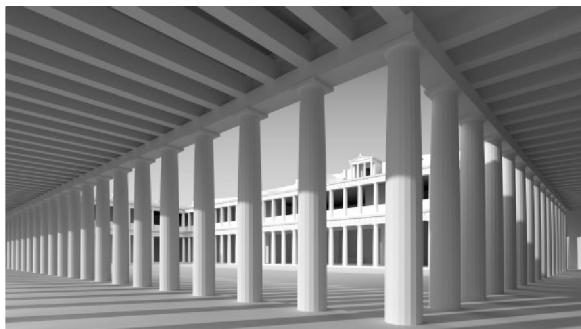
Im direkten Kontrast zwischen höchst sicherer Rekonstruktion, etwa basierend auf Funden, und höchst unsicherer Rekonstruktion, basierend beispielsweise auf schwachen Analogieschlüssen und Plausibilität, wird die Ablesbarkeit des Schärfegrades besonders deutlich (Abb. 9).

Das betrifft in der Antike in besonderem Maße die Polychromie von Architektur und Skulptur. Um den Grad an



*Abb. 9 und 10: Pergamon Burgtor und Stadtbebauung auf dem Osthang*

Sicherheit in der Visualisierung auf einem möglichst hohen Niveau zu halten, sind die hier gezeigten Beispiele der antiken Rekontextualisierung konsequenz monochrom. Erst durch die durchgängige Schwarzweißdarstellung sind nicht nur das Bild, sondern auch die dargestellte Geometrie ohne Aussage zur Farbigkeit. Ein blauer Himmel etwa würde der Architektur und der Skulptur ebenfalls sofort eine Farbe zuweisen, in diesem Falle die Farbe Weiß. Auch die standortbedingt monochrome Einfärbung der Königstadt Naga im Sudan enthält sich einer Aussage zur Farbigkeit, und auch hier sind Gebäude, Skulptur, Landschaft und Himmel in demselben Ton gehalten (Abb. 15-16).



*Abb. 11 und 12: Pergamon Gymnasion mit Tondo*

Erlauben es dagegen die Umstände, etwa weil ein Großteil des Dargestellten noch erhalten oder mit großer Sicherheit rekonstruiert werden kann, die Polychromie beizubehalten, kann die gesamte Visualisierung polychrom ausgeführt werden, so dass dann auch polychrome Skulptur rekontextualisiert werden kann. Im Falle des Chorinnenraumes des Kölner Domes bestehen bezüglich der Farbigkeit so geringe Unsicherheiten, dass die fotografische Rekontextualisierung ohne 3D-Scan keine Auswirkungen auf den hohen Grad an Sicherheit in der Rekonstruktion hatte. Die polychrome Rekonstruktion folgt denselben Regeln der „Darstellung von Unschärfe“ wie die Beispiele der Antike, ausschließlich die Beschaffenheit der Grundlagen für die Rekonstruktion ermöglichten die Einbeziehung von Farbe (Abb. 17).

Ein Besonderheit in der Plausibilität von Rekonstruktionsmodellen stellen grafische bzw. malerische Mittel wie das Verwenden von Linien oder halb durchscheinender Volumina dar, die sich zudem in ihrer räumlichen Präsenz deutlich unterscheiden: Während skizzenhafte Linien im räumlichen Modell die Präsenz der körperhaften Geometrie visuell kaum beeinträchtigen, erzeugt die Verwendung transparenter Körper eine Raumwirkung, die weder dem Zustand ohne noch demjenigen mit diesem Körper entspricht. Besteht also die Unschärfe eines Körpers darin, ob er überhaupt existiert oder nicht, führt nichts an der alternativen, also getrennten Rekonstruktion beider Möglichkeiten vorbei [5].

## 2.6 GESTALTUNG DER FOTOGRAFIE

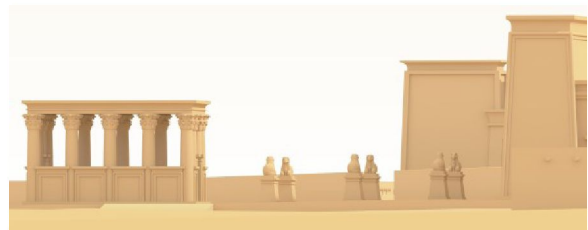
Die virtuelle Fotografie verfolgt neben der Vermittlung der Hypothesen vor allem das Ziel, die Raumwirkung zu maximieren. Hierfür verwendet sie Methoden der traditionellen Architekturfotografie. So wird die Virtualität der Rekonstruktion durch die Tradition der Architekturfotografie so weit wie möglich kompensiert, die hypothetische Rekonstruktion also so realistisch wie möglich abgebildet (Abb. 11-12).



*Abb. 13 und 14: Königstadt Naga Blick aus dem Amuntempel*

Einen entscheidenden Einfluss auf die subtile Überzeugungskraft einer virtuellen Fotografie ist die Kohärenz der dargestellten Welt. Es geht darum, ein Bild einer virtuellen Wirklichkeit zu erzeugen, das auch im Rahmen seiner Unschärfe glaubhaft ist. Deshalb ist die konsequente Kontextualität von besonderer Bedeutung, nicht nur der Skulptur als 3D-Scan, sondern der Architektur insgesamt. Es ist architektonisch bedeutend, in welchem Kontext ein Gebäude steht, ob es also von anderen Gebäuden umgeben ist oder in der Landschaft steht, die entweder eben oder bewegt sein kann. Hierfür muss die Ausformulierung des Horizontes, also im allgemeinen Fall eines jeden Bildes der Übergang von Gebäuden und Gelände in den Himmel definiert sein (Abb. 7), notfalls werden

Gebäude durch den fotografischen Ausschnitt angeschnitten, um eine nicht definierte Umgebung nicht zu erkennen zu geben.



*Abb. 15 und 16: Königstadt Naga Amuntempel Nordansicht und Südansicht*

Die Belichtung als Simulation natürlicher Lichtverhältnisse dient ebenfalls auf subtile Weise der Plausibilität. Wichtiger aber ist der Einfluss der Belichtung auf die Plastizität des Modells. Die Belichtung muss daher beiden Ansprüchen genügen. Erschwerend kommt hinzu, dass farbliche Markierungen, auch wenn es sich nur um leichte Variationen der Graustufen handelt, beispielsweise zur Markierung von Fundstücken innerhalb einer Rekonstruktion, sich deutlich von durch Lichtwirkung hervorgerufenen Strukturen, also vor allem Schlagschattenkanten, unterscheiden müssen. Eine Lösung ist auch hier die Gegenüberstellung mehrerer Darstellungen.

Die Kompensation des dreidimensionalen Sehens ist eine der großen Herausforderungen der perspektivischen Projektion, vor allem bei virtuellen Modellen: Eine Besonderheit des menschlichen Sehens ist die Korrektur der geometrischen Ordnung: Obwohl die Netzhaut gekrümmt ist, ist das Auge in der Lage, gerade Kanten im Allgemeinen senkrechte Kanten im Speziellen als solche zu erkennen. Die perspektivische Projektion auf eine ebene Fläche, sei es auf Papier oder in einer Fotokamera, ist grundsätzlich anders als die Projektion im sphärischen Auge – bis auf die praktisch unbedeutende Ausnahmesituation, wenn der Betrachter einer planen Perspektive exakt den Hauptpunkt fixiert. Schwerwiegender aber als die reine Verzerrung ist die Verfälschung der Charakters der dargestellten

Architektur, wenn die Bildebene nicht senkrecht steht, und dadurch senkrechte Kanten geneigt erscheinen, so dass eigentlich senkrechte Gebäude geneigte Wände zu haben scheinen, ähnlich wie es in der Architektur der maghrebinischen Kasbahs tatsächlich der Fall ist. Die traditionelle architektonische Perspektivzeichnung verwendet daher in der Konstruktion der Perspektive eine senkrechte Bildebene, ebenso wie die traditionelle Architektur fotografie auf eine senkrechte Bildebene notfalls mit Hilfe von Spezialobjektiven mit verschiebbarer Trägerplatte belichtet. Aus dieser Tradition heraus steht auch die Bildebene in der virtuellen Fotografie der „Darstellung von Unschärfe“ senkrecht und stellt Architektur so dar, wie das Auge sie wahrnimmt.



*Abb. 17: Chorinnenraum des Kölner Domes um 1856*

Die im räumlichen Sehen natürliche Dimensionierung des Wahrgenommenen kompensiert die virtuelle Fotografie durch das konsequente Einhalten des natürlichen Augenhöhe, auch weil die Größenverhältnisse über die Interpretation des Dargestellten entscheiden können. Und gerade in abstrakter Geometrie findet das Auge wenig Anhaltspunkte, um Größen- und Höhenverhältnisse richtig

einschätzen zu können. Durch die Konvention der natürlichen Augenhöhe in jeder perspektivischen Projektion kann sich der Betrachter auf die historische Relevanz der Darstellung verlassen, die also die Architektur perspektivisch so zeigt, wie sie der historische Betrachter wahrgenommen hätte. Das bedeutet umgekehrt, dass der Übersicht dienende Luftbilder eindeutig als solche erkennbar sind. Gesteigert wird die Eindeutigkeit des Luftbildes durch die Parallelprojektion, also durch eine Axonometrie anstelle einer Perspektive. Gerade in antiken Kontexten ist die perspektivische Wahrnehmung aus der Luft historisch ohnehin irrelevant.

### 3. SCHLUSS

3D-Scans in der Rekontextualisierung antiker Skulptur sind nicht nur ein effizienter Weg, Skulpturen in den virtuellen Raum zu bringen, sondern ermöglichen aufgrund ihrer Virtualität auch, Skulpturen nach den Regeln der „Darstellung von Unschärfe“ in ein stimmiges Gesamtbild einzufügen. Das betrifft in erster Linie die Möglichkeit, Form und Farbe getrennt wiederzugeben, aber auch die Möglichkeit, Skulpturen plastisch zu variieren. Anders als Bauornamentik, deren regelhafte Geometrie in der idealisierenden Rekonstruktion treffender wiedergegeben werden kann als durch 3D-Scans ihrer verwitterten, beschädigten oder unvollständigen Funde, ist die detaillierte, individuelle Beschaffenheit jedes einzelnen Abschnitts der Oberfläche ein essentieller, wesensgebender Bestandteil einer Skulptur. Bei aller technischen Präzision ist jedoch die Rekontextualisierung – und das bezieht sich sowohl auf die Modellierung des Kontextes als auch auf die Fotografie – eine anspruchsvolle Aufgabe der Gestaltung, d.h. des architektonischen Modellbaus wie auch der Architekturfotografie.

### 4. DANKSAGUNG

Das virtuelle Modell des Burgbergs Pergamon wurde gefördert vom Exzellenzcluster „The Formation and Transformation of Space and Knowledge in Ancient Civilizations“ (TOPOI) der Freien Universität und Humboldt-Universität Berlin und weiterer Forschungspartner<sup>1</sup> sowie vom Bundesministerium für

Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Skulpturennetzwerks Berlin<sup>2</sup>. Die Modellierung erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Istanbul des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI)<sup>3</sup>. Die Rekonstruktion der Königstadt Naga wurde im Rahmen des „Projekt Naga“<sup>4</sup> gefördert vom Verein zur Förderung des Ägyptischen Museums Berlin e.V. der Staatlichen Museen zu Berlin (SMB). Der Chorinnenraum des Kölner Domes entstand in Zusammenarbeit mit dem Kölner Dombauarchiv<sup>5</sup> und wurde anlässlich des 150-jährigen Jubiläums des Kölner Domchores vom Metropolitankapitel der Hohen Kirche Köln gefördert.

Besonderer Dank gilt <sup>1</sup>Prof. Dr. Ulrike Wulf-Rheidt und Prof. Dr. Klaus Rheidt, <sup>2</sup>Prof. Dr. Johanna Fabricius, <sup>3</sup>Prof. Dr. Felix Pirson, <sup>4</sup>Prof. Dr. Dietrich Wildung und <sup>5</sup>Dr. Klaus Hardering.

## 5. ABBILDUNGSNACHWEIS

Abb. 1–3, 5–12:

Prof. Dominik Lengyel und Catherine Toulouse, Lehrstuhl Darstellungslehre, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg  
[www.tu-cottbus.de/darstellung](http://www.tu-cottbus.de/darstellung)

Abb. 4:

Erik Lippold, Studierendenarbeit in Betreuung durch Prof. Dominik Lengyel und Catherine Toulouse, Lehrstuhl Darstellungslehre, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Abb. 13–17:

Lengyel Toulouse Architekten, Berlin  
[www.lengyeltoulouse.com](http://www.lengyeltoulouse.com)

## 6. LITERATURHINWEIS

[1] Laufer, E., Lengyel, D., Pirson, F., Stappmanns, V., Toulouse, C. (2011). Die Wiederentstehung

Pergamons als virtuelles Stadtmodell. In: Scholl, A., Kästner, V., & Grüssinger, R. (Hrsg.): Antikensammlung Staatliche Museen Berlin. Pergamon. Panorama der antiken Metropole. Petersberg: Verlag Imhof. S. 82–86, weitere Abb. S. 68, 69, 73, 77, 78, 79, 146, 165, 252–254, 261–263, 266, 273, 275, 307.

- [2] Lengyel, D. & Toulouse, C. (2011d): Die Gestaltung der Vision Naga - Designing Naga's Vision. In: Kröper, K., Schoske, S., Wildung, D. (Hg.), Königsstadt Naga - Naga, Royal City. Grabungen in der Wüste des Sudan - Excavations in the Desert of the Sudan. München - Berlin: Naga-Projekt Berlin - Staatliches Museum Ägyptischer Kunst München, S. 163-175.
- [3] Lengyel, D., Schock-Werner, B., Toulouse, C. (2011) Die Bauphasen des Kölner Doms und seiner Vorgängerbauten. Cologne Cathedral and Preceding Buildings. Köln: Verlag Kölner Dom e.V., Köln.
- [4] Lengyel, D. & Toulouse, C. (2013). Die Bauphasen des Kölner Domes und seiner Vorgängerbauten: Gestaltung zwischen Architektur und Diagrammatik. In: Boschung, D., Jachman, J. (Hg.), Diagrammatik der Architektur, Tagungsband Internationales Kolleg Morphomata der Universität zu Köln. Paderborn: S. 327-352.
- [5] Lengyel, D. & Toulouse, C. (2011b). Darstellung von unscharfem Wissen in der Rekonstruktion historischer Bauten. In: K. Heine, K. Rheidt, F. Henze, A. Riedel (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech III. 3D in der historischen Bauforschung. Darmstadt/Mainz: Verlag Philipp von Zabern. S. 182–186.