

## Modellierung komplexer Gebäudestrukturen als digitaler Sammlungsraum

Anna Nöbauer M.A.<sup>a</sup> | Dr. Alexander Stenzer<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Bauforschung, Kompetenzzentrum für Denkmalwissenschaften und Denkmaltechnologien, Bamberg, Deutschland, anna.noebauer@uni-bamberg.de;

<sup>b</sup> Institut für Informationssysteme und Softwaretechnologie, Passau, Deutschland, alexander.stenzer@uni-passau.de;

**KURZDARSTELLUNG:** Der vorliegende Beitrag legt Aspekte der digitalen Raumbildung sowohl auf Datenebene als auch auf der Ebene der grafischen bzw. geometrischen Repräsentation des Originals dar. Am Beispiel der St. Lorenzkirche in Nürnberg werden die vielschichtigen Beziehungen zwischen dem Modell, dem Original und seinem gedanklichen Kontext erörtert.

Das Projekt „Die Nürnberger Großkirchen“ (NGK) ist am Kompetenzzentrum Denkmalwissenschaften und Denkmaltechnologien (KDWT) der Otto-Friedrich-Universität Bamberg im Fachbereich Bauforschung angesiedelt und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert. Projektpartner ist das Institut für Informationssysteme und Softwaretechnologie (IFIS) der Universität Passau.

### 1. EINFÜHRUNG

Monumentalbauwerke können als komplexe Sammlungen einer Vielzahl von Einzelobjekten, wie Portalen, Pfeilern, Bogenprofilen, Skulpturen und hochwertigen Ausstattungsstücken angesehen werden, welche eine ganze Bandbreite sozial-, kunst- und baugeschichtlicher, aber auch konstruktiver, materieller und konservatorischer Informationen transportieren. [1]

Innerhalb einer differenzierten räumlichen Struktur stehen die Bestandteile des baulichen Kulturerbes, aber auch die Bauwerke selbst in aussagekräftigen Relationen zueinander. Diese räumliche Struktur bildet einen Erfahrungs- und Bedeutungsraum, welcher mitunter die Authentizität des Baudenkmals bedingt.

Jene Mehrdimensionalität im Digitalen erfass- und erfahrbar zu machen, setzt die Modellierung der räumlichen Beziehungen sowie der semantischen Zusammenhänge sowohl im Datenmodell als auch in der visuellen Repräsentation des Originals voraus. In der konkreten Umsetzung ergeben sich zahlreiche Spielarten zur Modellierung digitaler Räume, die sowohl abstrakte Rekonstruktion zur Vermittlung früherer Bauzustände als auch neutrale Dokumentation in Form von annotierten Punktwolken oder bewusst konstruierter Gebäudegeometrien in 3D oder 2D sein können.

Das MonArch-System bietet die Möglichkeit zur semantischen Annotation dieser digitalen Räume, zweidimensionaler Pläne, 3D-Modelle und digitalisierten Archivguts. Die räumliche Verknüpfung der Digitalisate und Forschungsdaten ermöglicht neue Sichtweisen und Vermittlungsansätze zwischen dem Original und seinem digitalen Abbild.

### 2. VARIANTEN DER DIGITALEN RAUMBILDUNG ZUR KONTEXTUALISIERUNG VON RAUMBEZOGENEN INFORMATIONEN UND DATEN

Traditionell ist Architekturdarstellung stets bewusste, nach Abbildungsmaßstab gewählte Abstraktion gewesen. Die Genauigkeit von Messung und Darstellung blieb explizit daran angepasst. Mit der stetigen Fortentwicklung von Vermessungstechnik und zunehmender Verfügbarkeit von hochauflösenden Messverfahren scheint sich dies zu wandeln. Gelegentlich liegt der Schluss nahe, die Menge der Messpunkte oder Dreiecke bestimme über die Qualität und Glaubwürdigkeit eines Modells.

Doch auch in der dreidimensionalen Darstellungsweise bleibt die Möglichkeit der Abstraktion und bewussten Vereinfachung, denn weder eine hochpräzise Punktwolke noch eine genaue Replik verfügen tatsächlich über die Authentizität des Originals. Die bewusste

Modellierung räumlicher Zusammenhänge aber erlaubt einen gezielten Blick darauf.

Der 3D-Laserscan ist eine Möglichkeit zur wirklichkeitsgetreuen, millimetergenauen Gebäudevermessung und eine nicht-wertende Methode der Baudokumentation. Der Raum, den eine referenzierte Punktwolke aufspannt, kann sowohl Planungsgrundlage als auch Referenzmodell sein.

Punktwolkenmodelle verfügen über ein hohes Maß an geometrischer Genauigkeit bei der Abbildung von Gebäudeoberflächen. Die Anzahl der Messpunkte und die Messgenauigkeit des Scanners sind ausschlaggebend für den Detailgrad der Erfassung. Viel mehr als die Punktzahl und Genauigkeit der Einzelmessung entscheidet jedoch deren Referenzierung letzten Endes über die Qualität des Gesamtaufmaßes.

Die Summe der Messpunkte kann einen allgemeinen Raumeindruck vermitteln, einen gegenwärtigen Bauzustand dokumentieren und eine geometrische Realität abbilden. Obwohl die Materialität des Originals im Digitalen selbstverständlich per se fehlt, können bei ausreichender Detailierung und Genauigkeit der Vermessung Aussagen über den Zustand der Architekturoberfläche, Schäden und Gestaltungselemente getroffen oder bauliche Befunde analysiert werden.

Mindestens im selben Maße wie diese „geometrische Authentizität“ gehört zum Bedeutungskontext des baulichen Erbes der vielschichtige Blick auf das Original, der sich in der Vermessung nicht fassen, im Digitalen jedoch in unterschiedlichen Ausprägungen modellieren lässt.

## 2.1 EIN DIGITALES MODELL VON ST. LORENZ IN NÜRNBERG

Im Digitalisierungsprojekt „Die Nürnberger Großkirchen: Ein semantisch annotierter Planansatz“ (NGK) entsteht ein mehrdimensionales, semantisch annotiertes Modell des Bauwerks, das als digitaler Sammlungsraum der nachhaltigen Archivierung, Strukturierung und Verwaltung von objektspezifischen Dateien, digitalisierten Archivalien und objektspezifischen Informationen dient [2].

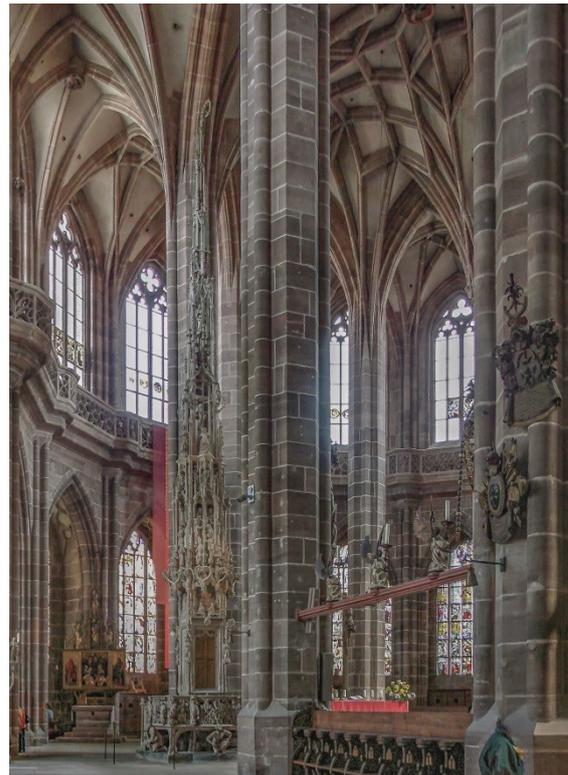


Abb. 1: St. Lorenz, Nürnberg; nördlicher Chorumgang des Hallenchores (erbaut 1439-1477) mit Sakramentshaus (1493-96), Arera-Rütenik 2008

Durch die Referenzierung von 3D-Scandaten, Gebäudemodell und Plänen kann nach Bedarf zwischen den Darstellungs- bzw. Dokumentationsmedien gewechselt und die semantische Annotation je nach Inhalt und Zielgruppe vorgenommen werden [3].

Ein limitierender Faktor bei der Arbeit mit Punktwolken ist die erhebliche Datenmenge der Mess-/Rohdaten. Die Gesamtdateigröße des 3D-Gebäudeaufmaßes beträgt in einem programminternen Dateiformat über 125 GB.

Beim Erstellen von Oberflächenmodellen aus Punktwolken werden in der Regel räumliche Geometrien durch Dreiecksflächen beschrieben. Vergleichbar mit einer Pixelgrafik bestimmt die Zahl der Einzelflächen dabei die Auflösung des Objekts sowie die Speichergröße der Datei.

Zugunsten der späteren Nutzbarkeit des Modells, der geringeren Dateigröße und der damit verbundenen Vorteile im Workflow wird im NGK-Projekt zur Gebäudemodellierung eine CAD-Software verwendet, welche zur Beschreibung der räumlichen Geometrie Nurbs (Non-uniform rational B-Splines) verwendet. Insbesondere organische Formen werden dabei nicht aus flachen Dreiecksformen zusammengesetzt, sondern als gekrümmte Geometrie berechnet. Vergleichbar mit

Vektorgrafiken, besteht die Objektgeometrie unabhängig von ihrer Skalierung.

Der große Mehrwert eines Modells gegenüber einer Punktwolke liegt vor allem aber auch in der Möglichkeit zur Darstellung vergangener Bauzustände.

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern des Lehrstuhls für Kunstgeschichte, insb. für Mittelalterliche Kunstgeschichte an der Universität Bamberg wurden für St. Lorenz aussagekräftige Bauzustände abgegrenzt, die notwendigen Grundlagen für deren Rekonstruktion zusammengetragen (Pläne archäologischer Grabungen, Vergleichsobjekte, historische Abbildungen, einschlägiger Forschungsstand) und als 3D-Modelle umgesetzt.

Um neben der zeitabhängigen Vielschichtigkeit des Baudenkmals die komplexe Beziehung zwischen dem Modell, dem Original und seinem gedanklichen Kontext zu verdeutlichen, soll sie an einem einzelnen Pfeiler erörtert werden.

## 2.2 EIN PFEILER IM KONTEXT DES GOTISCHEN BAUWERKS

Der 5. Pfeiler der nördlichen Arkadenreihe von St. Lorenz in Nürnberg hat eine horizontale Ausdehnung von ca. 1,95 x 2,05 m und eine Höhe von etwa 7,50 m über dem Fußbodenniveau. Seine Position lässt sich durch die Geokoordinaten N 49.451047 E 11.078551 (WGS84) beschreiben.

In der Literatur wird er häufig als Pfeiler nVIII bezeichnet, in der bestehenden Datenbankstruktur hat er die Kennung Lo\_bLH.MP5N, die hierarchisch in der Pfeilerachse 5 des Mittelschiffs verortet ist. Zusätzlich wird ein eindeutiger interner Identifikator in Form einer GUID (Globally Unique Identifier) vergeben.

Nach seiner Lage im Gebäude (Abb. 2) handelt es sich um einen Freipfeiler, wobei er sich auch als Mittelschiffpfeiler bezeichnen ließe, aber ebenso zu den angrenzenden Seitenschiffjochen gehört. Nach seiner Funktion in der Gebäudestruktur handelt es sich um einen Arkadenpfeiler und nach seiner Gestaltung lässt er sich als Bündelpfeiler definieren.

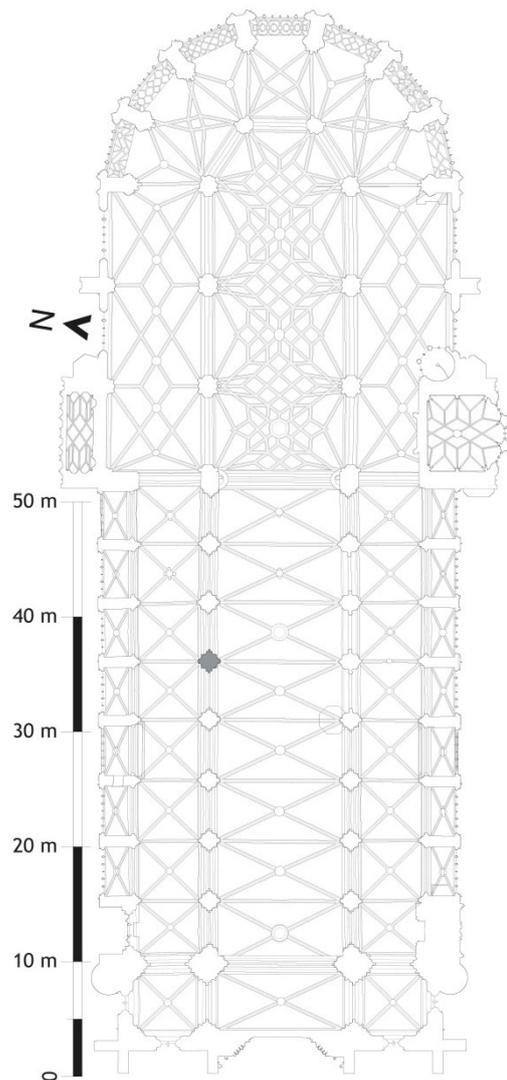


Abb. 2: St. Lorenz, Nürnberg, Grundrisszeichnung, der Pfeiler 5 bzw. nVIII ist grau markiert, Nöbauer / Salzer 2019

Der Schnitt durch die Punktwolke auf einer Höhe von fünf Metern zeigt eine Ansammlung von Punkten, welche in unterschiedlicher Genauigkeit auf der Pfeileroberfläche liegen. Die Ableitung einer Planzeichnung setzt ein gewisses Maß an Interpretation voraus. Ob die Authentizität der Darstellung durch diese Abstraktion zu- oder abnimmt, liegt im Auge des Betrachters.

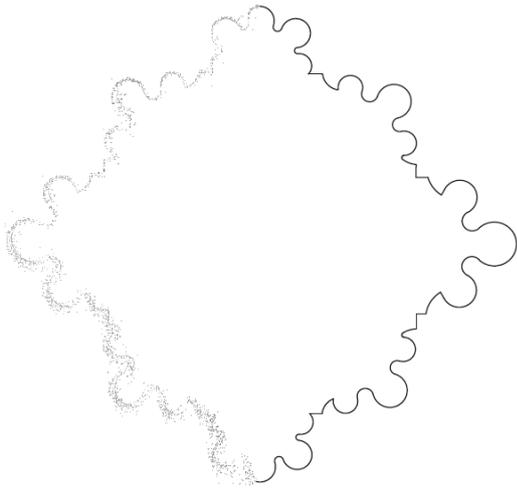


Abb. 3: Schnitt durch den Pfeiler nVIII auf einer Höhe von 5 m, links: Schnitt durch die Punktwolke, rechts: CAD-Zeichnung, Nöbauer 2019

Die Vermessung legt offen, dass es kleinere Unterschiede in der Größendimension der nördlichen Arkadenpfeiler gibt, welche mit dem Bauablauf zusammenhängen können. Die zeichnerische Auswertung oder auch die Betrachtung des Pfeilers im Original verdeutlicht, dass es sich generell aber immer um dieselbe Pfeilerform handelt.

Betrachtet man die Profilfolgen im Kontext des Gewölbesystems, wird deutlich, dass die Struktur der Rippen- und Arkadenbögen bereits im Pfeilergrundriss angelegt ist. In einer kunstwissenschaftlichen Betrachtungsweise „bedienen“ die Dienste des Pfeilers die Rippen und Bögen des Gewölbes. In der räumlichen Modellierung wird dieses Entwurfsprinzip der Gewölbestruktur vermittelbar.



Abb. 4: Kapitell- bzw. Kämpferzone des Pfeilers mit Übergang von Pfeilerschaft zu den zugehörigen Gewölbebögen, Nöbauer 2019

In dieser bauelementbezogenen Sichtweise besteht der Pfeiler insgesamt aus dem Pfeilersockel, dem Pfeilerschaft und einer Kapitellzone. Der Pfeilerschaft setzt sich aus acht Dienstbündeln mit jeweils drei oder fünf Diensten zusammen (Abb. 5 Variante 3). Analog sind Sockel und Kapitellzone ausgebildet. Diese Segmentierung entspricht ebenfalls einem statisch-konstruktiven Verständnis gotischer Architektur, da der Gewölbeschub vom Schlussstein über die Rippen auf den Pfeiler/Dienst ins Fundament übertragen wird.

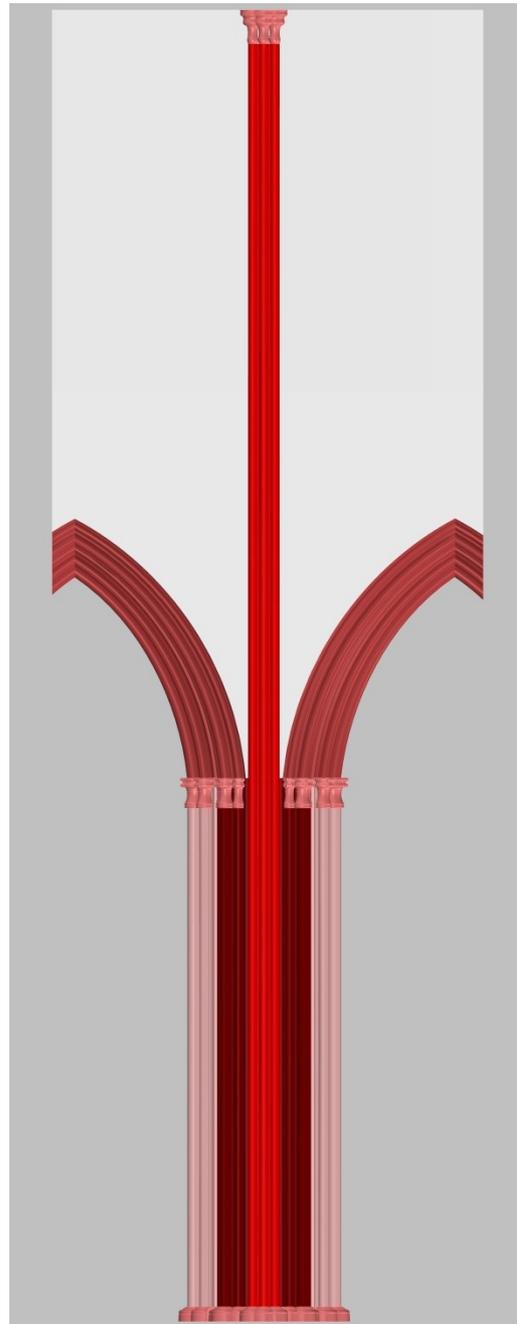


Abb. 5: Modell des Pfeilers in bauelementbezogener Segmentierung, Schalk / Nöbauer 2019

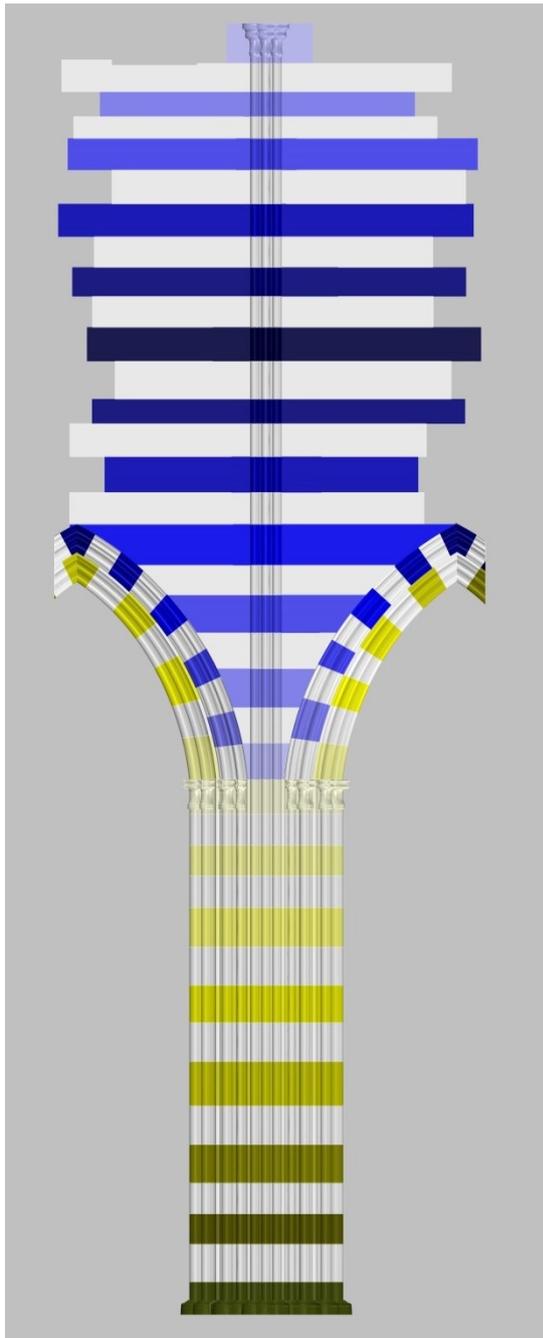


Abb. 6: Modell des Pfeilers in steinlagenweiser Segmentierung, Schalk / Nöbauer 2019

Bei einer werksteinbezogenen Betrachtungsweise, wie sie Restauratoren und Bauforscher gerne einnehmen, kommt man zu dem Ergebnis, dass sich der Pfeiler aus 72 Werksteinen und fünf Vierungen (Natursteinerergänzungen) verschiedener Größe zusammensetzt (Abb. 7). Die Werksteine bilden insgesamt 15 Steinlagen (Abb. 6). Die Vierungen früherer Restaurierungsphasen sind teilweise über Steinlagen hinweg versetzt worden, lassen sich also keiner Lage eindeutig zuordnen. Einige der Werksteine haben Ergänzungen aus Natursteinersatzmasse, manche haben

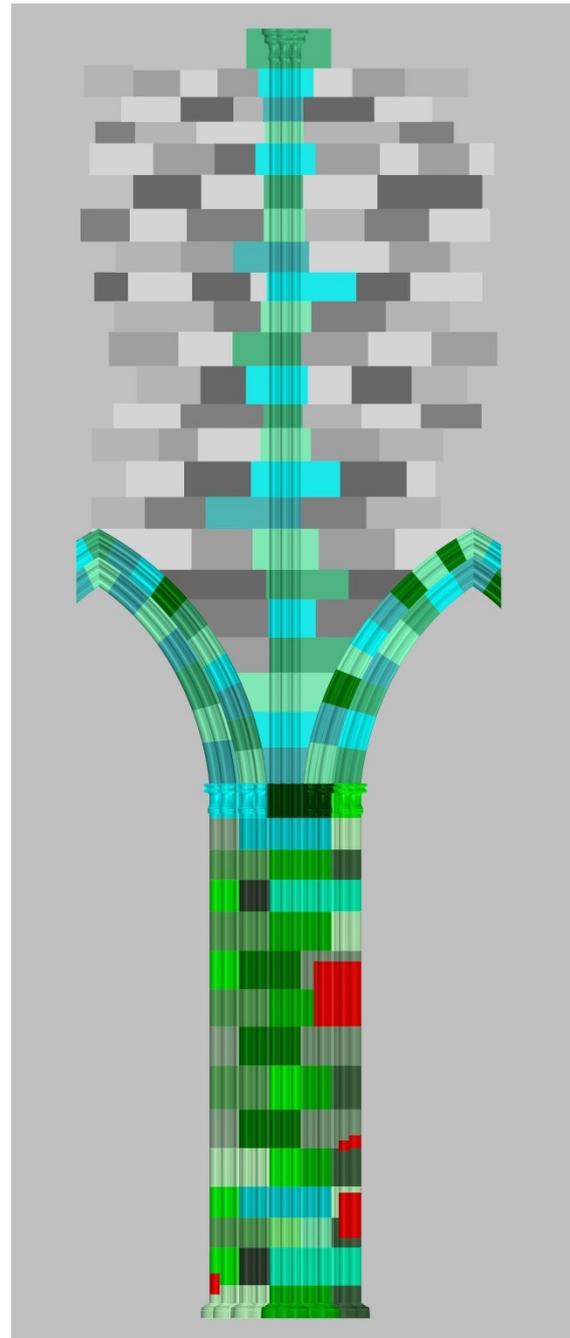
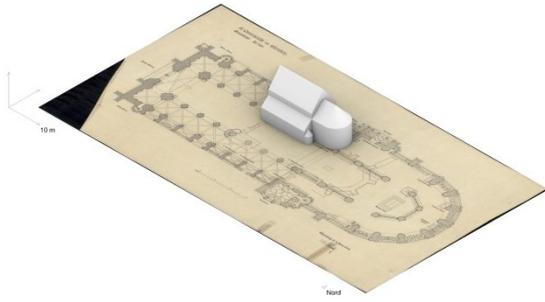


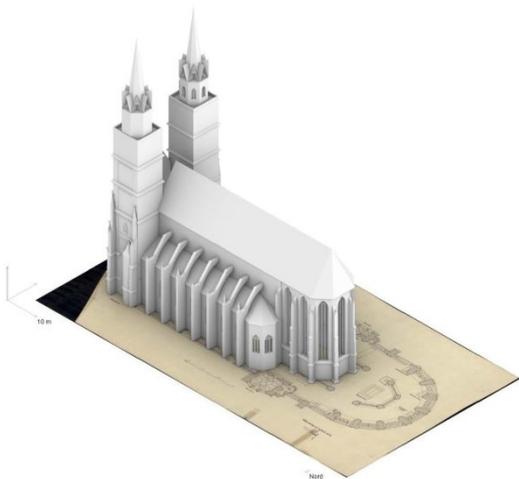
Abb. 7: Modell des Pfeilers in steingenaue Segmentierung, Schalk / Luib / Nöbauer 2019

Steinmetzzeichen, die meisten Zangenlöcher und nicht zuletzt befindet sich am Pfeiler auf einer Konsole eine mittelalterliche Skulptur des heiligen Judas Thaddäus, der von einem Baldachin bekrönt wird. Betrachtet man den Pfeiler in einem zeitlichen Kontext, befand sich um 1250 an seiner Stelle eine romanische Kapelle, deren Fundamente in den 1920er Jahren ergraben wurden [4].



*Abb. 8: 3D-Modell zum romanischen Vorgängerbau, auf einem Grabungsplan von 1930, Nöbauer 2019*

Um 1350 gibt es den Pfeiler bereits. Der gesamte Kirchenbau unterscheidet sich jedoch deutlich vom heutigen. Die Vierungen wurden erst im Laufe von mehreren Restaurierungsphasen der jüngeren Vergangenheit Teil des Baukörpers.



*Abb. 9: 3D-Modell zur gotischen Basilika mit Rekonstruktion des ehemaligen Chorabschlusses Luib / Nöbauer 2019*

In einem raumbezogenen Kontext kann der Pfeiler im Gesamtkirchenbau dem Langhaus, dem Mittelschiff, dem nördlichen Seitenschiff und je zwei Seitenschiff- bzw. Mittelschiffjochen zugeordnet werden.

Neben den Informationen zur Ausprägung und Materialität des Pfeilers können ihm historische Planzeichnungen und Ansichten, Fotografien, Restaurierungsberichte und Archivalien zugeordnet werden.

Weder die Punktwolkendatei des terrestrischen Laserscanners noch gezeichnete 2D-Pläne, Kartierungen, Oberflächenmodelle mit hochauflösender Textur oder konstruierte NURBS-Geometrien und Metadaten können jene wechselseitigen Beziehungen der realen Architektur und ihrer semantischen Kontexte

gänzlich abbilden. Sie eignen sich jedoch jeweils zur Abbildung einer gewissen Facette der Realität und können in Kombination einen räumlich referenzierten Sammlungsraum bilden. Letztendlich ist das digitale Modell selbst nicht authentisch, sondern ermöglicht verschiedene Blickwinkel auf das authentische Original.

### 3. VERSCHIEDEN SICHTEN UND STRUKTURGRAPHEN

Da sich die Komplexität eines Bauwerks wie der Großkirche St. Lorenz in Nürnberg nicht ausschließlich über ein 3D-Modell vermitteln lässt, ist es notwendig, weitere digitale Abbildungen zu untersuchen und einzuführen.

Ein Gebäude wie St. Lorenz lässt sich in seine Bauteile wie z.B. Pfeiler, Joche oder Seitenschiff zerlegen. Diese Zerlegung kann nun genutzt werden, um neben der graphischen Repräsentation eines Gebäudes als 3D-Modell oder auch 2D-Plan eine symbolische Repräsentation abzuleiten. Diese symbolische Repräsentation stellt die Grundlage dar, ein Abbild des Gebäudes in einem Informationssystem, wie z.B. das MonArch-System [5], zu verarbeiten und die einzelnen Information in einer Datenbank zu speichern.

Bevor verschiedene Möglichkeiten der symbolischen Repräsentation aufgezählt und bewertet werden, wollen wir hier den Nutzen und Vorteil der Speicherung eines Gebäudemodells in der Datenbank aufzählen. Neben den klassischen Vorteilen einer Datenbank, die einen verteilten Zugriff auf die Daten und Mehrbenutzerbetrieb erlaubt, liegt einer der Hauptvorteile in den umfangreichen Anfragemöglichkeiten.

Die Möglichkeit, auf die Information, gespeichert in einer Datenbank, mit einer Anfragesprache zuzugreifen, erlaubt eine flexible Recherche der Daten, die weit über eine Speicherung der Daten oder Modelle als Dateien in einem Dateisystem hinausgeht. Öffnet man die Modelle in CAD Programmen, ist eine Bearbeitung und Annotation der Geometrien sehr gut möglich. Eine Recherechfunktion ist aber nur teilweise oder garnicht vorhanden.

Nun hängt die Flexibilität auch vom Datenmodell ab, das verwendet wird, um das Gebäude, seine Teile und die assoziierten Informationen zu repräsentieren.

Eine sehr nahliegende Möglichkeit ist nun, jedes Bauteil im Datenmodell und später in der Datenbank als eigenes Objekt zu modellieren. Dies erlaubt bereits, Metadaten zu einem Bauteil in der Datenbank zu speichern.

Repräsentiert man z.B. den 5. Pfeiler als Objekt in der Datenbank, ist es möglich, Aussagen über das verwendete Material, die zeitliche Epoche oder seine Funktion im Gebäude zu speichern und bei Bedarf abzufragen.

Eine mögliche Abfrage könnte sein: „Welche Pfeiler im Gebäude sind Arkadenpfeiler?“

Diese Möglichkeit berücksichtigt aber nicht den räumlichen Kontext, also wo sich der Pfeiler relativ zu anderen Bauteilen befindet. Hier bietet es sich an, die einzelnen Bauteile in eine hierarchische Beziehung zu stellen. Die daraus resultierte Strukturhierarchie kann in der Datenbank mit geeigneten Mitteln repräsentiert werden.

#### DEFINITION STRUKTURHIERARCHIE:

Eine *Strukturhierarchie* ist eine hierarchische Zerlegung eines Gebäudes oder Bauwerks in seine Bauteile, die als *Strukturelemente* in der Datenbank als eigene Objekte repräsentiert werden.

Es bietet sich an, als Beziehung zwischen den Strukturelementen eine „*Teil-von*“-*Beziehung* zu verwenden. Dies hat zur Folge, dass ein untergeordnetes Strukturelement existenziell abhängig ist von seinem übergeordneten Strukturelement. Zusätzlich ist es nur erlaubt, maximal eine Beziehung zu einem übergeordneten Strukturelement aufzubauen. Im Gegenzug kann ein übergeordnetes Strukturelement zu vielen untergeordneten Strukturelementen Beziehung aufbauen.

#### BEISPIEL STRUKTURHIERARCHIE:

Betrachten wir dazu eine mögliche Strukturhierarchie von St. Lorenz. Diese beginnt bei der Repräsentation des gesamten Gebäudes als Strukturelement mit dem Bezeichner „St. Lorenz“ (siehe Abbildung 10). Darauf folgt eine Aufteilung in Außenbau und Innenbau. Der Innenbau lässt sich in Langhaus und Chor unterteilen.

Im Langhaus existieren ein Mittelschiff und zwei Seitenschiffe. Der 5. Pfeiler könnte nun dem Mittelschiff zugeordnet werden. Damit würde das Ergebnis eine Anfrage nach Bauteilen im Mittelschiff den 5. Pfeiler enthalten.

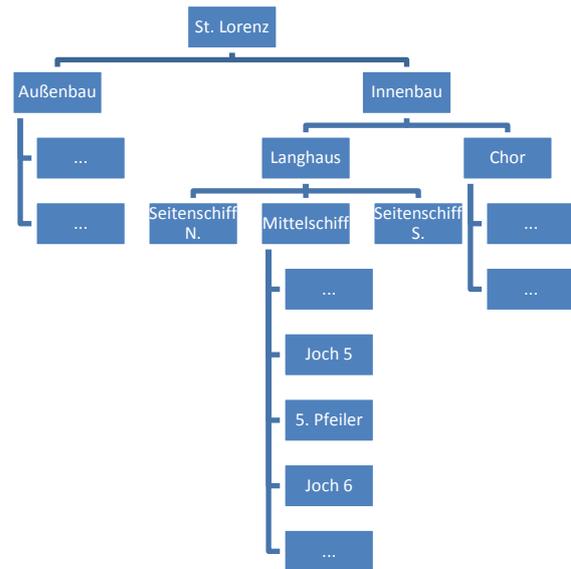


Abb. 10: Ausschnitt einer Strukturhierarchie für St. Lorenz

Man sieht an diesem doch sehr einfachen Beispiel, dass die Entscheidung, den 5. Pfeiler dem Hauptschiff unterzuordnen zur Konsequenz hat, dass über das Seitenschiff dieser 5. Pfeiler nicht auffindbar ist, obwohl der 5. Pfeiler auch einen räumlichen Bezug zum Seitenschiff aufweist.

Um diese räumliche Situation besser abbilden zu können, muss mindestens eine weitere räumliche Beziehung neben der „Teil-von“-Beziehung eingeführt werden. Es bietet sich an, eine rein referenzierende Beziehung „Gehört-zu“ einzuführen. Damit wird die Strukturhierarchie zum Strukturgraphen.

#### DEFINITION STRUKTURGRAPH:

Im *Strukturgraph* kann ein Strukturelement beliebig viele „Gehört-zu“-Beziehungen zu anderen Strukturelementen herstellen, aber weiterhin nur eine „Teil-von“-Beziehung.

Ein Strukturgraph erlaubt zusätzlich zu der „Teil-von“-Beziehung einer Strukturhierarchie Querbeziehungen. Im Allgemeinen liegt dann nicht mehr eine baumartige Repräsentation der Beziehungen zwischen Bauwerksteilen vor. Zusätzlich können Strukturelemente im Strukturgraphen mit einem *Strukturtyp* versehen werden.

## BEISPIEL STRUKTURGRAPH:

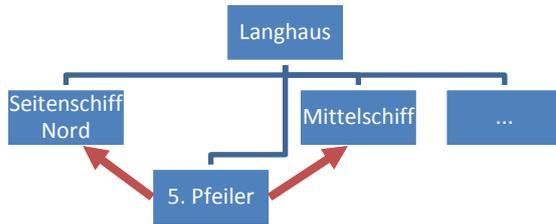


Abb. 11: Ausschnitt eines Strukturgraphs für 5. Pfeiler

Unser 5. Pfeiler lässt sich nun passend als Teil des Langhauses modellieren.

Zusätzlich gehört er zum Mittelschiff und zum Seitenschiff Nord. Damit ist der 5. Pfeiler sowohl aus dem Mittelschiff als auch aus dem Seitenschiff zu erreichen (siehe Abbildung 11). Der Strukturgraph erlaubt eine differenzierte Abbildung des räumlichen Kontexts des Pfeilers.

Wie wir am Beispiel des Pfeilers gesehen haben, gibt es aber verschiedene Sichtweisen auf ein und denselben Pfeiler, bspw. eine bauelement- oder werksteinbezogene Betrachtung. Beide 3D-Modelle unterscheiden sich deutlich. Dies hat zur Folge, dass ein Strukturgraph nicht ausreicht, um diesen Pfeiler und seine Sichtweisen abzubilden.

Daher ist es notwendig, verschiedene Strukturgraphen für ein und dasselbe Bauteil zuzulassen.

Wir erweitern den Strukturgraphen um ein Sichtenkonzept, wie man es auch aus relationalen Datenbanken kennt.

## DEFINITION SICHT IM STRUKTURGRAPH:

Eine *Sicht* im Strukturgraph ist damit eine Ausprägung des Strukturgraphen unter einem bestimmten Aspekt oder Blickwinkel. Ein Strukturelement kann somit in verschiedenen Sichten vorkommen und abhängig von der Sicht unterschiedliche Beziehungen zu anderen Strukturelementen aufbauen. Wählt man eine Sicht aus, bekommt man einen in sich konsistenten Strukturgraphen.

## BEISPIEL SICHTEN IM STRUKTURGRAPH:

Betrachtet man nun ausgehend von einer bauelement- und einer werksteinbezogenen Sicht den 5. Pfeiler, ergeben sich zwei Strukturgraphen.

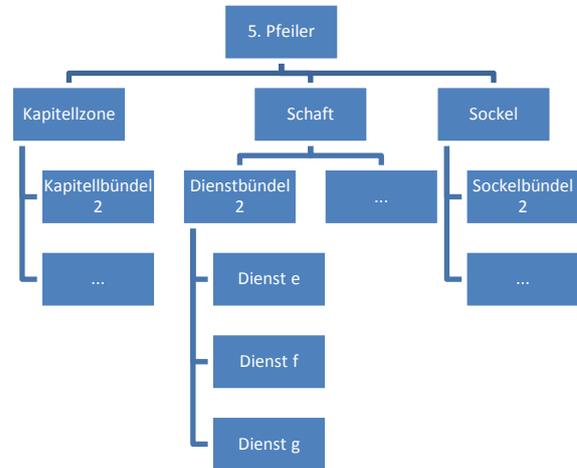


Abb. 12: Ausschnitt bauelementbezogene Sicht auf den 5. Pfeiler

Der bauelementbezogene Strukturgraph (siehe Abbildung 12) zerlegt den 5. Pfeiler in Kapitellzone, Schaft und Sockel. Der Schaft wird dann z.B. in seine Dienstbündel aufgeteilt. Diese wiederum werden in einzelne Dienste zerlegt.

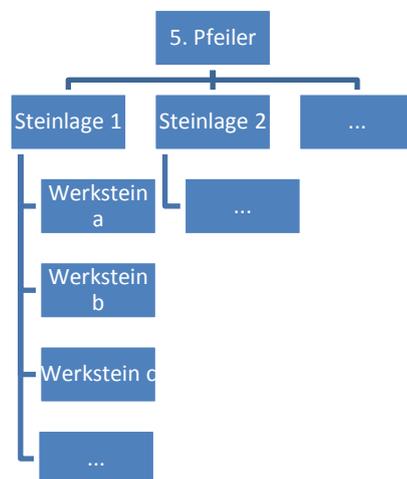


Abb. 13: Ausschnitt werksteinbezogene Sicht auf den 5. Pfeiler

Der werksteinbezogene Strukturgraph (siehe Abbildung 13) hingegen setzt den einzelnen Stein in den Mittelpunkt der Zerlegung.

Dabei wird der 5. Pfeiler in unserem Beispiel in seine Steinlagen zerlegt, die dann wiederum in die einzelnen Werksteine zerlegt werden.

Das neue Sichtenkonzept auf den Strukturgraphen ermöglicht es, verschiedene Zerlegungen des Gebäudes nebeneinander zu

verwenden und diese auch mit unterschiedlichen 3D-Modellen zu verknüpfen. Dabei können die Sichten nicht nur strukturell motiviert sein. Auch die zeitliche Entwicklung eines Gebäudes, in dem sich die Bauteile und auch die Beziehung der Bauteile zueinander verändern, lässt sich mit diesem Sichtenkonzept abbilden.

Es stellt sich nun die Frage, welchen Mehrwert die zusätzliche Abbildung des Gebäudes als Strukturgraph neben der Modellierung als 3D-Modell bietet. Beide Repräsentationen erfüllen unterschiedliche Aufgaben. Das 3D-Modell erlaubt eine visuelle, räumliche Auswahl von Bauelementen, wohingegen im Strukturgraph die Beziehungen zwischen den Bauelementen den Mehrwert darstellen. Die Beziehungen können verwendet werden, um eine Suchanfrage ausgehend von einem ausgewählten Bauelement auf Bauelemente zu erweitern, die z.B. in einer „Gehört-zu“-Beziehung zueinander stehen. Zusätzlich erlaubt der Strukturgraph in Kombination mit dem vorgestellten Sichtenkonzept, dass unterschiedliche Disziplinen wie z.B. im Forschungsprojekt NGK mit angepasster Sicht auf das Gebäude zugreifen. Darüber hinaus kann unter der Voraussetzung, dass einzelne Strukturelemente in mehreren Sichten verwendet werden, sichtübergreifend recherchiert werden. Zusätzlich ist es auch noch möglich, abhängig von der Sicht verschiedene Benennungen für die einzelnen Bauteile einzuführen. Der Strukturgraph entwickelt sich somit zum Knowledge Graph [6] für Bauwerke und dient als Kontextwissen für die Recherche. Strukturgraphen kommen auch im Bereich des Building Information Modeling (BIM) vor und werden da zur Informationsverarbeitung verwendet [7].

#### 4. LINKED-OPEN-DATA

Als Ergebnis des NGK Projekts werden die verschiedenen Sichten und die dazugehörigen Strukturgraphen im Rahmen einer LOD-Initiative bereitstehen. Es bietet sich an, einen Strukturgraph als RDF-Graph zu veröffentlichen. Dabei müssen folgende Elemente des Strukturgraphen auf adäquate RDF-Konstrukte abgebildet werden.

Die Strukturelemente werden als Instanzen der neu definierten Klasse Strukturelement im RDF-Graph realisiert.

Die beiden räumlichen Beziehungen „Teil-von“ und „Gehört-zu“ werden als Properties im RDF-Graphen realisiert.

Für die Beschriftung der einzelnen Elemente wird auf das SKOS-Labeling System zurückgegriffen, das zwischen bevorzugtem Bezeichner und alternativem Bezeichner unterscheiden kann.

Für das Sichtenkonzept auf Strukturgraphen wird das Graphen-Konzept aus RDF verwendet. Somit ergibt sich für jede Sicht ein eigener RDF-Graph, der in sich alle notwendigen und relevanten Informationen enthält.

Im NGK Projekt z.B. existiert ein RDF-Graph für die bauelementbezogene Sicht und ein RDF-Graph für die werksteinbezogene Sicht.

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Abbildung der komplexen Gebäudestruktur mittels Partonomie bzw. Graph erlaubt die Aufschlüsselung von Teilbereichen bis hin zum einzelnen Werkstein, wodurch die bauteilgenau Referenzierung fachrelevanter Daten ermöglicht wird. Das ausdifferenzierbare Geflecht von Teilobjekten innerhalb der Repräsentation der Bauwerksstruktur erlaubt folglich fachspezifische Tiefenschärfe und gibt die Möglichkeit zur Ausdifferenzierung von Fragestellungen und Datenabfragen [2].

Die Kombination von 3D-Modellen, 2D-Zeichnungen und Strukturgraphen erlaubt die Komplexität des Gebäudes und seine Struktur und Bauelemente adäquat digital abzubilden. Dabei ist es nicht das Ziel, eine digitale Kopie des Gebäudes in der Datenbank oder am Bildschirm zu erzeugen. Vielmehr sind die verschiedenen Repräsentationen und Sichten auf das Gebäude, auf die Bedürfnisse der verschiedenen Fragestellungen und Disziplinen, die sich mit dem Gebäude und seiner Geschichte befassen, zugeschnitten.

Die im Rahmen des NKG Projekt gewonnenen Erkenntnisse fließen in das MonArch-System ein.

#### 6. DANKSAGUNG

Das Projekt „Die Nürnberger Großkirchen“ (NGK) wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01UG1883AX für drei Jahre gefördert.



## 7. LITERATURHINWEIS

- [1] T. Arera-Rütenik, „Digital Humanities in der Bauforschung. Systematik und Potential kodierter Bau- und Befundbeschreibungen als Wissensgewinnungs- und Wissensdistributionswerkzeug,“ in *Bauforschung in der Denkmalpflege – Qualitätsstandards und Wissensdistribution, Forschungen des Instituts für Archäologie, Denkmalkunde und Kunstgeschichte 5*, Bamberg, Breitling, Stefan - Giese, Jürgen (Hg.), 2018, pp. 219-242.
- [2] T. Arera-Rütenik, „Die Nürnberger Großkirchen. Vernetzung und Beteiligung auf der Denkmalbaustelle,“ in *Berichte des KDWT 1*, Bamberg, Arera-Rütenik, Tobias - Breitling, Stefan - Drewello, Rainer - Hess, Mona - Vinken, Gerhard (Hg.): Kompetenzzentrum Denkmalwissenschaften und Denkmaltechnologien, 2016 - 2018, pp. 68-69.
- [3] T. Arera-Rütenik, „Datenmanagement in der Bauforschung und Baudenkmalpflege. Zusammenführung von Darstellungs- und Dokumentationsmethoden,“ in *Berichte des KDWT 1*, Bamberg, Arera-Rütenik, Tobias - Breitling, Stefan - Drewello, Rainer - Hess, Mona - Vinken, Gerhard (Hg.): Kompetenzzentrum Denkmalwissenschaften und Denkmaltechnologien, 2016 - 2018, pp. 56-59.
- [4] M. Popp, „Die Lorenzkirche in Nürnberg. Restaurierungsgeschichte im 19. und 20. Jahrhundert,“ Regensburg, 2014, pp. 406-414.
- [5] B. Freitag und A. Stenzer, „MonArch – A Digital Archive for Cultural Heritage,“ in *Das Digitale und die Denkmalpflege: Bestandserfassung - Denkmalvermittlung - Datenarchivierung - Rekonstruktion verlorener Objekte*, 2017.
- [6] S. Malyshev, M. Krötzsch, L. González, J. Gonsior und A. Bielefeldt, „Getting the Most Out of Wikidata: Semantic Technology Usage in Wikipedia's Knowledge Graph,“ in *The Semantic Web - ISWC 2018*, Cham, 2018.
- [7] A. Ismail, B. Strug und G. Slusarczyk, „Building Knowledge Extraction from BIM/IFC Data for Analysis in Graph Databases,“ in *Artificial Intelligence and Soft Computing - 17th International Conference, ICAISC 2018, Zakopane, Poland, June 3-7, 2018, Proceedings, Part II*, 2018.