

R. Ansätze zur semantischen 3D-Repräsentation von Bauwerken in Datenbanken

→ BIM, IFC, Modellierung, MonArch, Segmentierung, Strukturgraph, Strukturhierarchie

3D-Modelle von historischen Gebäuden oder archäologischen Stätten ermöglichen es, intuitiv räumliche Eigenschaften abzubilden und stellen darüber hinaus einen Ankerpunkt für eine raumbezogene Informationsverortung zur Verfügung. Es existieren verschiedene Ansätze wie etwa Building Information Modelling (BIM) oder Geographische Informationssysteme (GIS), welche Gebäude zwar in einer dreidimensionalen Darstellung repräsentieren können, jedoch unterschiedliche Herangehensweisen verwenden und damit auch verschiedene Zielsetzungen verfolgen. Monumentalbauten, Ensembles oder einfache Gebäude lassen sich meist **auf natürliche Weise** segmentieren und somit in einzelne Bereiche und Bauwerksteile zerlegen. Die Bauwerkserhaltung und -pflege ist auf eine genügend genaue bauliche Repräsentation des Bauwerks und seiner Teile angewiesen, um basierend auf einem feingranularen baulichen Modell mögliche Schadensphänomene und korrespondierende Erhaltungsmaßnahmen dokumentieren zu können. Diese Segmentierung bildet die Grundlage für eine semantische Repräsentation eines Bauwerks und seine informationstechnische Speicherung in einem Datenbanksystem. Die Kombination der Repräsentation des Gebäudes in einer Datenbank und die Repräsentation als grafisches 3D-Modell erlaubt die Erstellung eines 3D-Informationsmodelles. Je nach Herangehensweise ergeben sich drei verschiedene Wege, um an dieses 3D-Informationsmodell zu kommen: 1) eine separate Modellierung sowohl des graphischen Modells als auch des Strukturgraphen mit einer anschließenden Verknüpfung 2) kombinierte Modellierung von struktureller und graphischer Repräsentation 3) eine rein graphische Repräsentation. In unserem Beitrag werden zwei dieser Ansätze genauer verglichen und am Beispiel des MonArch-Systems illustriert.

R.1 Einleitung

Semantisch reiche Bauwerksmodelle erlauben nicht nur eine ansprechende und aussagekräftige grafische Darstellung des betrachteten Objekts, sondern auch eine multiperspektivische Beschreibung, die in ihrer Vielfalt und Tiefenschärfe über die rein architektonische Dimension hinausgeht. Für kunsthistorische Fragestellungen etwa ist es nötig, dass die Möglichkeit besteht, eine übergeordnete Perspektive einzunehmen, gleichzeitig muss aber auch gewährleistet sein, dass die Betrachtung einzelner Bauwerksteile und deren Verknüpfung nach verschiedenen Gesichtspunkten unterstützt wird. Darüber hinaus ist die Zuordnung weiterer, über die bauliche Dimension hinausgehender Beschreibungen und Informationsquellen zu dem Bauwerk oder seinen Teilen von entscheidender Bedeutung. Eine eher auf Bauwerkserhalt und -pflege ausgerichtete Zielstellung ist dagegen auf eine genügend genaue bauliche Repräsentation des Bauwerks und seiner Teile angewiesen, um basierend auf einem feingranularen baulichen Modell mögliche Schadensphänomene und korrespondierende Erhaltungsmaßnahmen dokumentieren zu können. Aus konzeptioneller Sicht bildet eine für den jeweiligen Zweck geeignete Segmentierung des Bauwerks die Grundlage einer adäquaten Modellierung. Aus technischer Sicht schließlich erlaubt erst die Segmentierung eine Identifikation einzelner Bauwerksteile und damit deren Verknüpfung untereinander oder mit weiteren Informationen.

Objekte wie Monumentalbauten, Ensembles oder einfache Gebäude lassen sich meist **auf natürliche Weise** segmentieren und somit in einzelne Bereiche und Bauwerksteile zerlegen. In vielen Fällen ist dabei eine abgestufte Segmentierung von Vorteil. Diese bietet die Möglichkeit, den jeweils passenden Detaillierungsgrad zu wählen: von einer übersichtsartigen groben Darstellung bis hin zur Darstellung feiner Details. Die Möglichkeit der Segmentierung bildet die Grundlage für eine semantische Repräsentation eines Bauwerks und seine informationstechnische Speicherung in einem Datenbanksystem.

Im Folgenden wird der Zusammenhang zwischen der grafischen Repräsentation und der Segmentierung eines Bauwerks beschrieben und am Beispiel des MonArch-Systems illustriert. **01 02**

■ 01
Lehrstuhl für Informatik mit Schwerpunkt Informationsmanagement,
Universität Passau, MonArch Projekt,
<http://www.monarch.uni-passau.de/>.

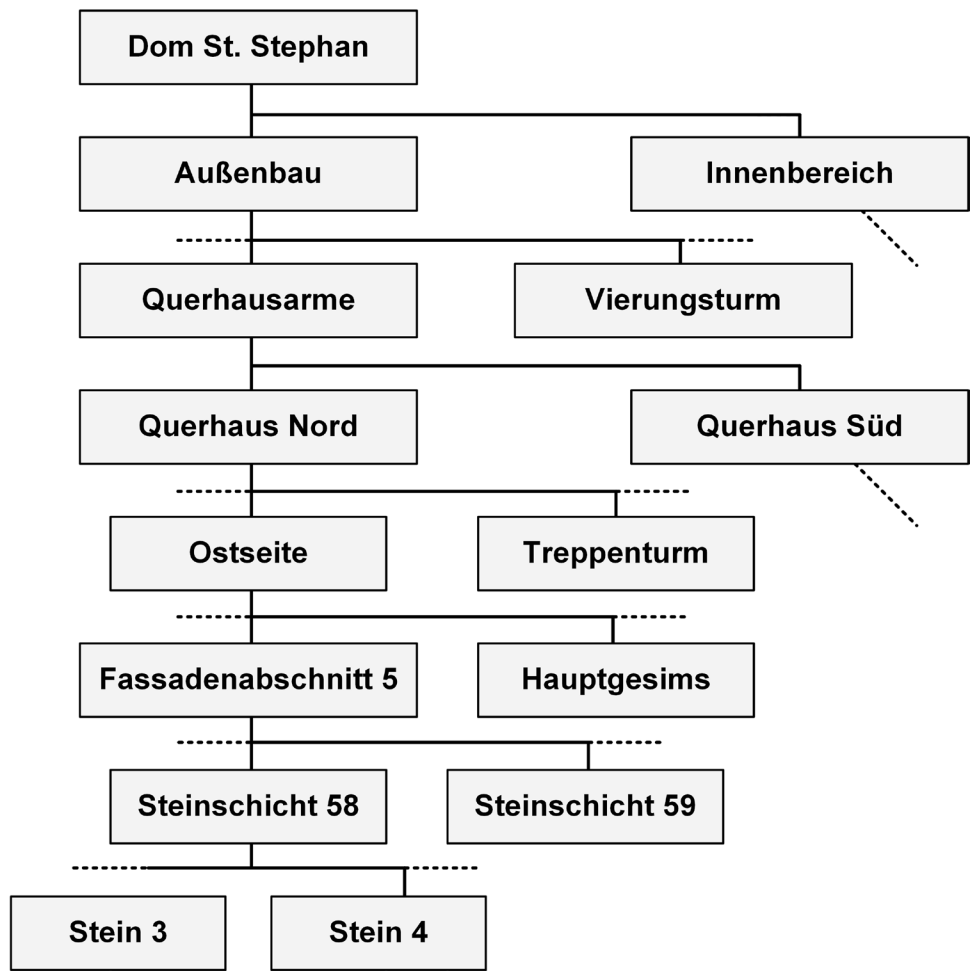
■ 02
Alexander Stenzer, Claudia Woller,
Burkhard Freitag, MonArch: Digital
archives for cultural heritage, in: 13th
International Conference on Infor-
mation Integration and Web-based
Applications and Services,
Ho Chi Minh City, Vietnam 2011.

R.2 Segmentierung

Unter Segmentierung wird im Folgenden die Aufteilung eines Bauwerks in Teile bzw. Bereiche verstanden. Diese können wieder in Teile bzw. Bereiche aufgeteilt werden. Dabei wird die Entscheidung, wo ein Teil eines Gebäudes beginnt, welche räumliche Ausdehnung es hat und aus welchen Teilen es aufgebaut ist, von verschiedenen Faktoren beeinflusst.

Einen Faktor für die Segmentierung kann die funktionale Unterteilung des Objekts sein. Ein Sakralbau kann beispielsweise in seine Schiffe, den Chor und die Türme segmentiert werden. Diese Aufteilung ist nicht zwingend, spiegelt aber teilweise die Funktion der einzelnen Bereiche des Sakralbaus wider. Betrachtet man beispielsweise ein Haus, so lässt sich auch dieses nach funktionalen Eigenschaften segmentieren. Wird ein Haus in Räume, Stockwerke und Gänge aufgeteilt, so kann auch hier die (geplante) Nutzung des Gebäudes die Wahl der Segmentierung beeinflussen. Ein weiterer Faktor, der die Segmentierung beeinflusst, ist die räumliche Ausdehnung eines Gebäudes. Ein Büroraum wird im Allgemeinen durch Wände begrenzt. Räume befinden sich auf einem Stockwerk, und Decken beziehungsweise Fußböden unterteilen ein Bauwerk in Stockwerke. Eine alternative Segmentierung teilt das Gebäude in Quader mit einer Seitenlänge von beispielsweise einem Meter ein. Letzten Endes hängt die Wahl der Segmentierung und die davon abgeleitete digitale Repräsentation des Bauwerks davon ab, welche Segmentierung den Nutzerinnen und Nutzern, die mit der digitalen Repräsentation arbeiten, es am besten ermöglicht, sich intuitiv im Bauwerk zu orientieren. Durch die Segmentierung eines Bauwerks in einzelne identifizierbare Bestandteile und deren Benennung oder gar Typisierung wird ihm eine Semantik aufgeprägt, welche später für eine Suche nach Informationen über und zu dem Bauwerk oder Teilen davon genutzt werden kann.

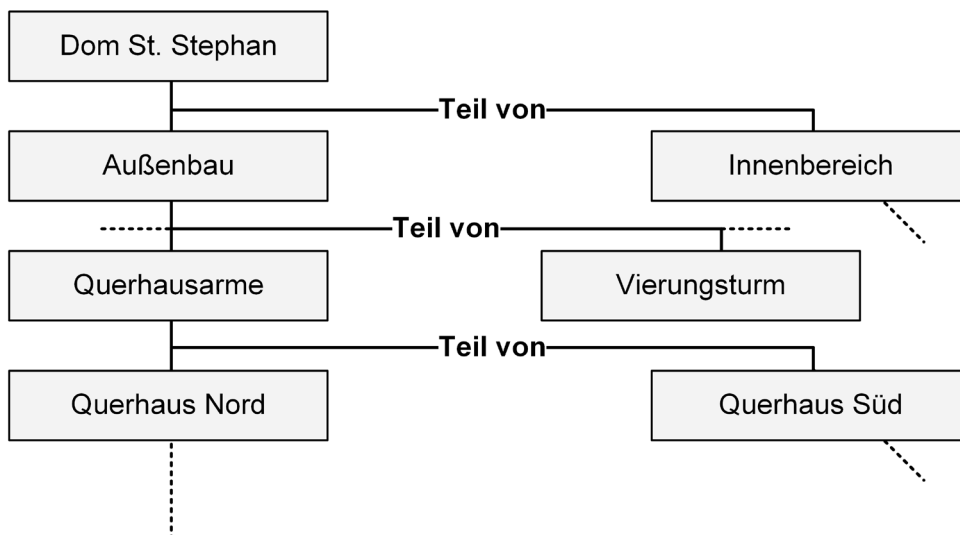
In 01 ist ein Ausschnitt einer möglichen Segmentierung für einen Sakralbau, hier für den Dom St. Stephan in Passau, dargestellt. Die Segmentierung sieht hier vor, das Gebäude in einen Außenbau und einen Innenbereich aufzuteilen. Der Außenbau kann wiederum in Querhausarme und Vierungsturm sowie weitere Segmente unterteilt werden. An diesem Beispiel ist gut erkennbar, dass mit jeder Benennung eines Segmentes und der Aufteilung in Untersegmente eine Entscheidung getroffen wurde, die sich später auf die Repräsentation des Gebäudes auswirkt. Die Trennung in einen Außen- und Innenbereich ermöglicht unterschiedliche Repräsentationen für das Äußere und das Innere eines Gebäudes. Die hier angedeutete Modellierung bis hinunter zum einzelnen Stein erlaubt beispielsweise eine sehr detaillierte Zuordnung von Informationen.



01
Mögliche Segmentierung des Doms St. Stephan in Passau. (Stenzer 2017)

R.3 Strukturhierarchie und Strukturgraph

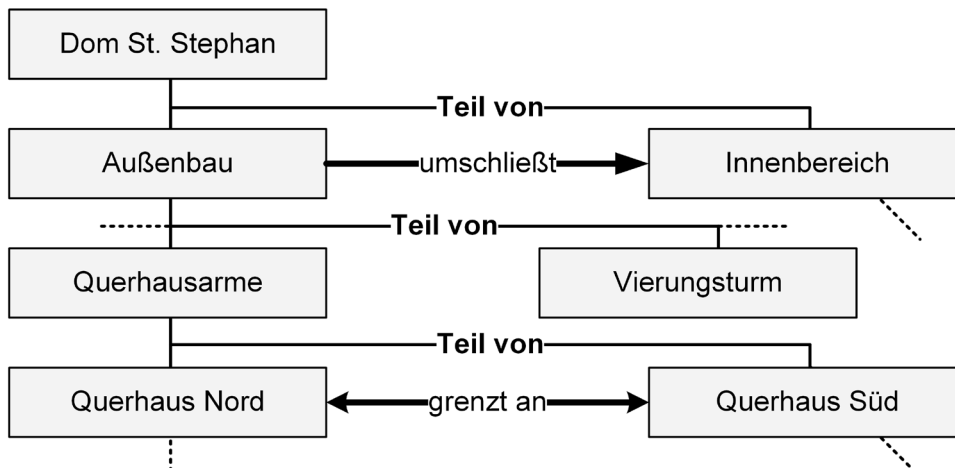
Ausgehend von einer Segmentierung eines Bauwerks lässt sich eine symbolische Repräsentation in Form einer Strukturhierarchie oder eines Strukturgraphen ableiten. Eine Strukturhierarchie ist eine baumartige Zerlegung eines Bauwerks auf der Grundlage einer vorher definierten Segmentierung. Dabei werden die Bauwerksteile benannt und zueinander in eine **Teil von**-Beziehung gesetzt. In [02] ist die vorher beschriebene Segmentierung als Strukturhierarchie dargestellt. Sie stellt zwischen den einzelnen Bauwerksteilen eine Beziehung her. Querhaus Nord und Querhaus Süd bilden hier beispielsweise Teile der Querhausarme. Diese Bauwerksteile können wiederum in weitere Bauwerksteile zerlegt werden.



□ 02
Strukturhierarchie. (Stenzer 2017)

Ein Strukturgraph hingegen erlaubt über die **Teil von**-Beziehung hinaus zusätzliche Querbeziehungen. Im Allgemeinen liegt dann nicht mehr eine baumartige Repräsentation der Beziehungen zwischen Bauwerksteilen vor.

In 03 wurde die Strukturhierarchie zu einem Strukturgraphen erweitert, indem zwischen Außenbau und Innenbereich eine Querbeziehung **umschließt** eingefügt wurde. Diese zusätzliche Information beschreibt, dass der Außenbau den Innenbereich räumlich umschließt. Eine weitere Eigenschaft, die in einem Strukturgraphen beschrieben werden kann, stellt die Nachbarschaftsbeziehung von Bauwerksteilen dar. Das Beispiel modelliert hier eine **grenzt an**-Beziehung zwischen den beiden Querhäusern, welche in diesem Fall die räumliche Nachbarschaft zwischen den beiden Bauwerksteilen beschreibt.



□ 03
Strukturgraph. (Stenzer 2017)

R.4 Grafische Repräsentation

Eine grafische Repräsentation eines Gebäudes kann in verschiedenen Ausprägungen vorliegen. Als Repräsentation kann man sich eine einfache 2D-Grafik bis hin zu einem volltexturierten 3D-Volumenmodell mit Segmentierung der Bauwerksteile vorstellen. Allerdings ist nicht jede dieser Varianten für eine semantische Repräsentation in der Datenbank geeignet. Mindestens folgende Anforderungen sollten an die grafische Repräsentation gestellt werden:

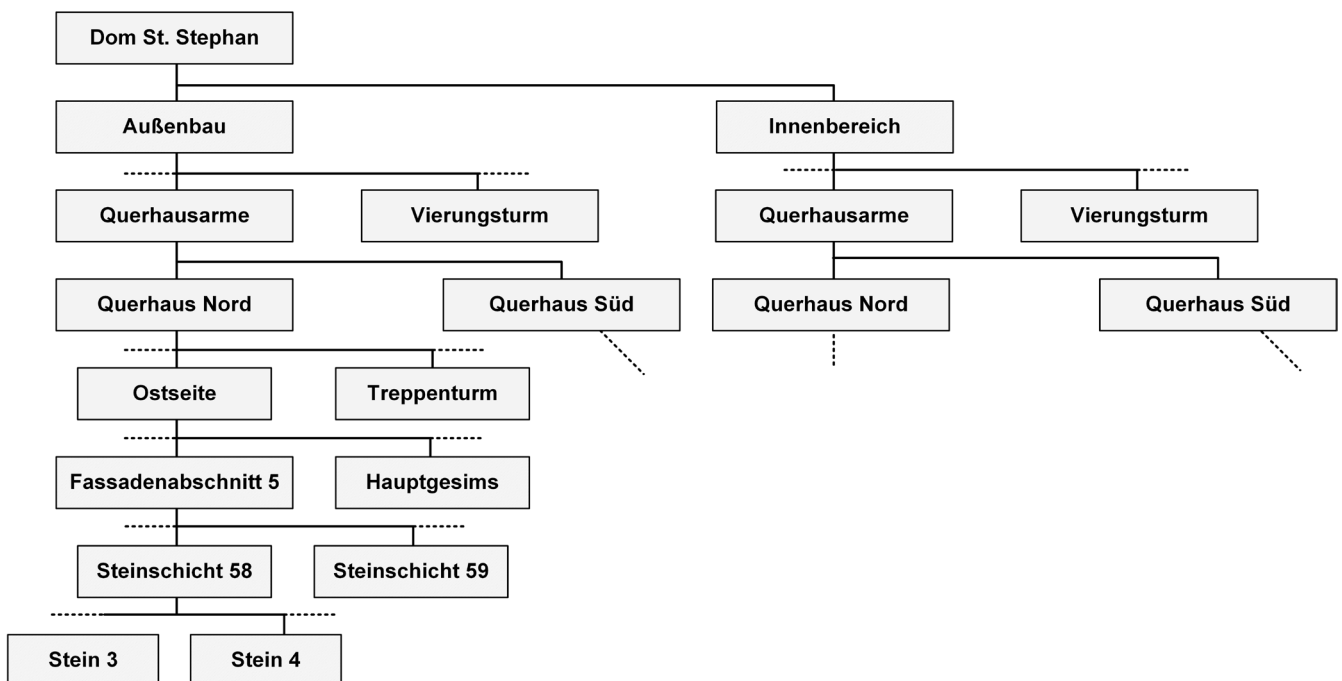
- Segmente des Bauwerks müssen (grafisch) selektierbar sein. In der Regel bedeutet das für den zweidimensionalen Fall, dass Segmente eine Fläche haben und somit als geschlossenes Polygon gezeichnet sind. Im dreidimensionalen Fall heißt das im Idealfall, dass Segmente des Bauwerks als eigenständige Objekte in einem Volumenmodell modelliert werden. Ein Oberflächenmodell wäre denkbar, dieses schränkt jedoch die Möglichkeiten, Segmente als eigene Objekte zu repräsentieren, ein, da dann nur Flächen zur Verfügung stehen.
- Die Granularität der Segmentierung muss frei wählbar sein. Dazu muss es möglich sein, innerhalb der Modellierung einzelne Segmente zu definieren und diese weiter in ihre jeweiligen Teilsegmente zu zerlegen.
- Die Elemente der grafischen Repräsentation müssen identifizierbar sein. Die Identifizierbarkeit ist notwendig, um die grafische Repräsentation eines Segmentes mit der dazugehörigen strukturellen Repräsentation zu verknüpfen. Darüber hinaus kann sie als Anker für weitere Informationen dienen.

R.5 Vom Bauwerk zur Repräsentation

Als erster Schritt zur Repräsentation eines Bauwerks muss die Segmentierung definiert werden. Hierzu werden Bauwerksteile und Segmente definiert, wobei die Granularität der Segmentierung eine wichtige Rolle spielt. Je feiner die Segmentierung, d. h. je mehr Segmente definiert werden, desto aufwendiger kann die Erstellung der Repräsentation sein. Im Gegenzug erlaubt eine sehr feine Segmentierung auch eine detaillierte Zuordnung der Informationen zum Gebäude.

In [04](#) ist die Segmentierung für den Dom St. Stephan aus den vorherigen Beispielen zu sehen. Sie weist nun einen größeren Detailgrad auf. Diese Segmentierungsvariante unterscheidet explizit zwischen Außen- und Innenbereich und modelliert jeden einzelnen Stein. Diese Art der Segmentierung ist sehr aufwendig, da für ein so großes Bauwerk wie den Dom St. Stephan die Modellierung jedes einzelnen Steins einen enormen Aufwand generiert. Der Vorteil dieser Art von Modellierung besteht in der Möglichkeit, zu jedem Stein Informationen zu speichern und auch den Stein oder die Steinfugen selbst mit Informationen zu versehen. Entfernt man die schraffierten Elemente aus der Segmentierung, werden Außen- und Innenbereich nicht mehr unterschieden und es werden keine Fassadenabschnitte, Steinschichten oder Steine mehr modelliert. Der Aufwand für diese zweite Art der Segmentierung ist sehr viel geringer. Bei Bedarf kann sie dennoch bis hinunter zum Stein erweitert werden, bietet aber nicht die Möglichkeit, zwischen Außen- und Innenbereich zu unterscheiden.

Nach Abschluss der Segmentierung eröffnen sich mehrere Möglichkeiten, die Repräsentation in einer Datenbank zu realisieren. Zwei Ansätze und die dazugehörigen Workflows werden im Folgenden dargestellt.



□ 04

Detailierungsgrad der Segmentierung.
(Stenzer 2017)

R.6 Separate Modellierung

Diese Möglichkeit überführt die Segmentierung in eine Strukturrepräsentation, z. B. in eine Strukturhierarchie, und speichert diese in einer geeigneten Form in einer Datenbank. Dazu müssen die Bauwerksteile in Beziehung zueinander gesetzt werden. Anschließend werden eine oder mehrere grafische Repräsentationen erstellt, welche die zuvor geforderten Mindestanforderungen erfüllen. Die Granularität der Segmentierung kann sich hierbei durchaus von der Strukturhierarchie unterscheiden. Abschließend wird die Strukturhierarchie mit den entsprechenden Segmenten in der grafischen Repräsentation verknüpft und wieder in geeigneter Form in einer Datenbank repräsentiert.

Bei der Verknüpfung kann die unterschiedliche Granularität zwischen der strukturellen und der grafischen Repräsentation dazu führen, dass nicht jedes Segment in beiden Repräsentationen vorhanden ist und somit nicht alle Segmente auch verknüpft werden können. Dies kann durchaus gewollt sein und muss daher vom Informationsmodell unterstützt werden. Diese Art und Weise der Repräsentation der Räumlichkeit wurde z. B. bei der Entwicklung des Standards CityGML **03** analysiert und als informationsreiche Darstellungsform für Gebäude herausgearbeitet. CityGML stellt ein Standard-(austausch)format für digitale 3D-Modelle von Städten und Landschaften dar.

■ 03

Thomas H. Kolbe, *Representing and exchanging 3d city models with cityGML*, in: *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 2009.

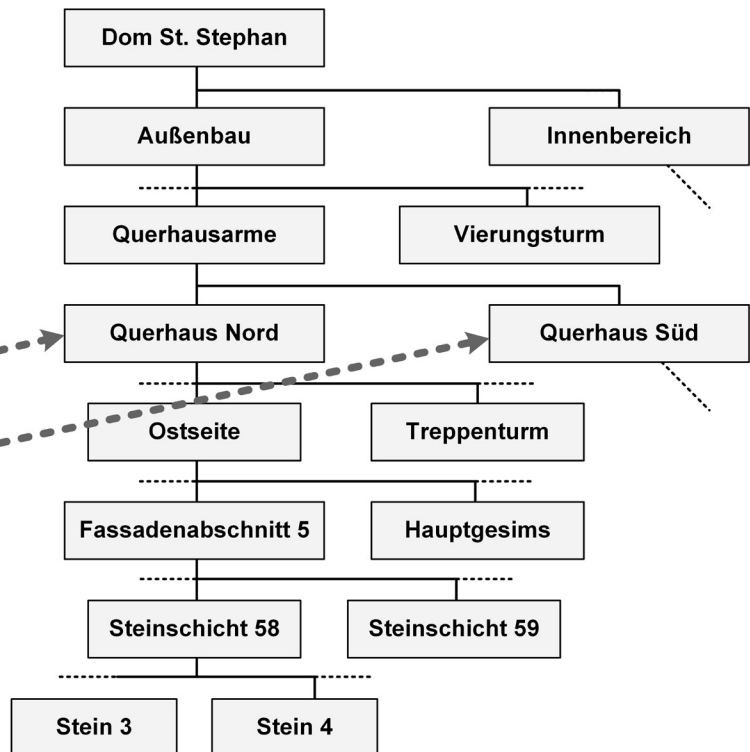
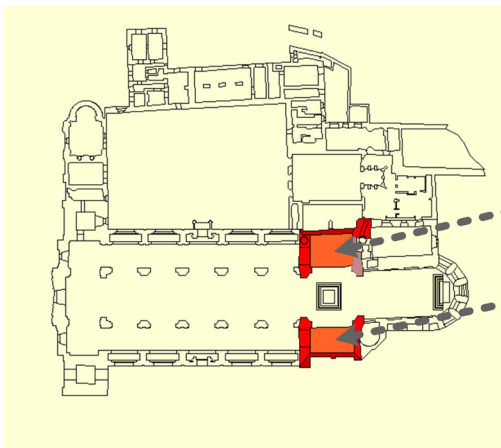
In 05 sieht man eine Verknüpfung zwischen der grafischen Repräsentation und einer strukturellen Repräsentation des Doms St. Stephan. Hier sind beispielsweise die Querhäuser sowohl grafisch in der 2D-Übersichtskarte als auch in der Strukturhierarchie als Bauwerksteile repräsentiert. Die Bauwerksteile der Steine haben in der 2D-Übersichtskarte keine grafische Repräsentation und sind somit nur im Strukturgraphen zu finden.

■ 04


Alexander Stenzer, Claudia Woller, Burkhard Freitag, MonArch: Digital archives for cultural heritage, in 13th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services, Ho Chi Minh City, Vietnam 2011.

Dem MonArch System 04, einem Informationssystem für die Repräsentation und Dokumentation von Bauwerken und Informationen über Bauwerke und ihre Teile, liegt die Herangehensweise der separaten Modellierung zugrunde. Eine genauere Beschreibung wird in Abschnitt **MonArch-Ansatz 2D/3D** gegeben.


□ 05
Verknüpfung zwischen Repräsentationen.
(Stenzer 2017)

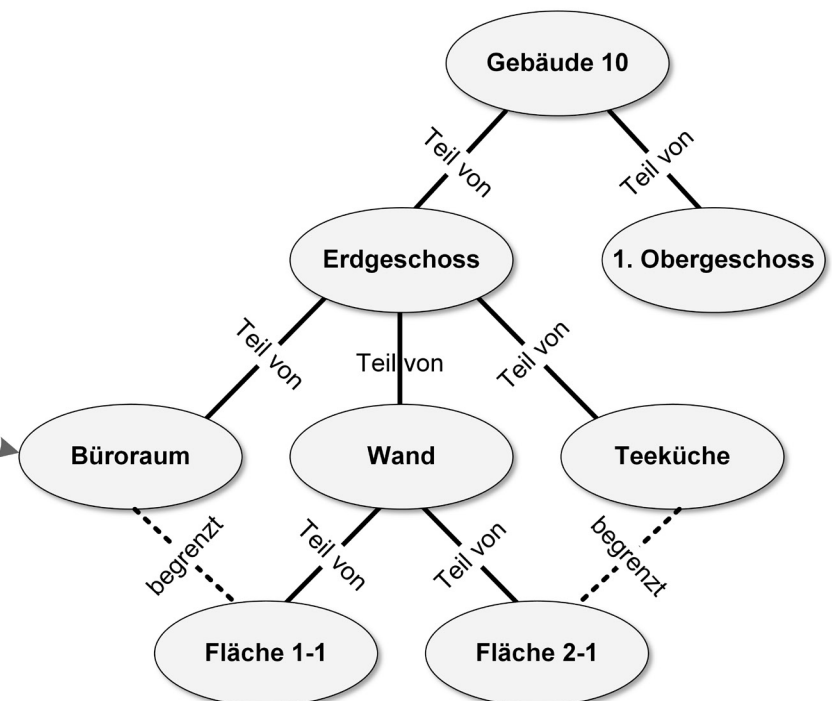
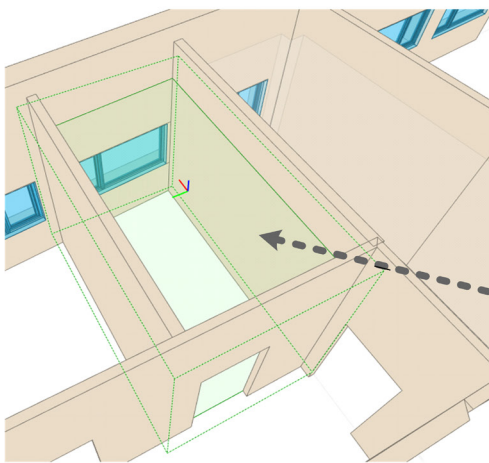


R.7 Kombinierte Modellierung

In dieser Vorgehensweise werden die strukturelle und die grafische Repräsentation nicht getrennt voneinander in zwei Schritten entwickelt. Für jedes Segment wird bei der Umsetzung eine Repräsentation erstellt und diese in Beziehung zu anderen Segmenten gesetzt. Hier entfällt der Schritt der Verknüpfung der Repräsentation.  zeigt auf der linken Seite das 3D-Modell eines Bürogebäudes. Zur Modellierung des Gebäudes wird bei der Erstellung jedes grafischen Elements zusätzlich die Information gespeichert, um welches Bauwerksteil es sich handelt, d. h., es werden Bezeichnungen und gegebenenfalls auch weitere Informationen angefügt.

Möchte man den hier dargestellten Raum im 3D-Modell erstellen, müssen zuerst die Wände des Raumes erstellt werden. Die Wände werden in 3D hier als Quader repräsentiert, wobei zu jedem Quader die Eigenschaft gespeichert wird, dass es sich um eine Wand handelt und in welchem Stockwerk des Gebäudes sich diese Wand befindet. Der eigentliche Raum, hier Büroraum, wird nicht als eigener Quader modelliert, sondern definiert sich aus den vier Wänden, die den Raum begrenzen. Damit ergibt sich für diesen Raum auch wieder, in welchem Stockwerk er sich befindet, welche Wandflächen den Raum auszeichnen und welche Räume an diesen Raum angrenzen. Angrenzende Räume teilen sich in diesem Beispiel eine Wand.

 06
Überführung Segmentierung in Strukturgraph mit 3D-Repräsentation (Schmid 2017)



R.8 Grafische Modellierung

Eine weitere Möglichkeit, die aber in diesem Beitrag nicht weiterverfolgt wird, ignoriert die strukturelle Repräsentation und geht von einer rein grafischen Repräsentation aus. Dazu werden die Segmente als grafische Elemente wie etwa Punkte, Linien und Polygone dargestellt und in einer Datenbank gespeichert. Die reine grafische Repräsentation als Anker für weiterführende Informationen wird unter anderem in geografischen Informationssystemen (GIS) und deren Anwendungen verwendet.

R.9 Modellierungsansätze

Abhängig von der Realisierung der Segmentierung in der Datenbank ergeben sich verschiedene Ansätze zum schrittweisen Aufbau der Bauwerksrepräsentation.

R.10 MonArch-Ansatz 2D/3D

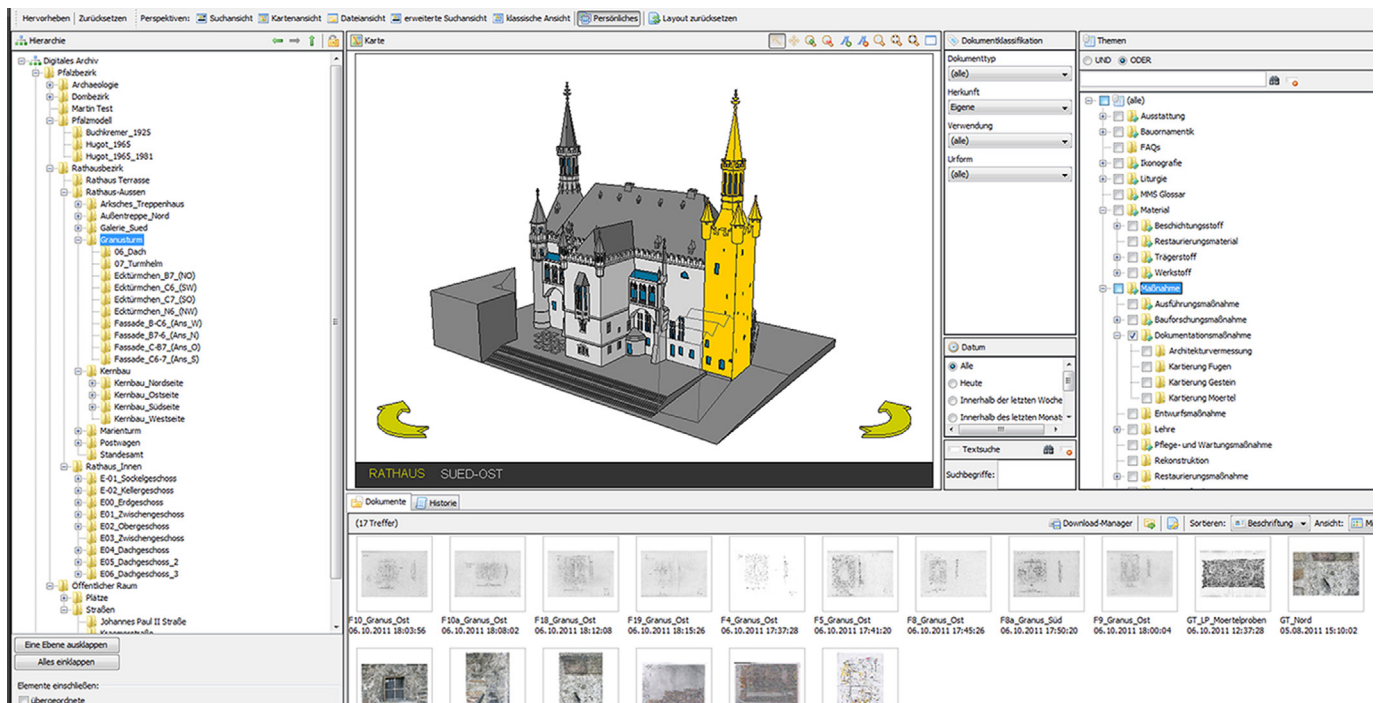
Der MonArch-Ansatz kombiniert die grafische Visualisierung eines Gebäudes mit der strukturellen Aufschlüsselung des Gebäudes nach Art eines Raumbuches. Sowohl die grafische Repräsentation des Gebäudes als auch die Aufschlüsselung werden mithilfe moderner Datenbanktechnologien gespeichert. Für die grafische Repräsentation können OpenGIS **05**-kompatible relationale Datenbanksysteme eingesetzt werden. Für die Aufschlüsselung der Gebäudestrukturen bieten sich ebenfalls ein relationales Datenbanksystem an. Diese Kombination von grafischer und struktureller Repräsentation auf Basis einer vorher definierten Segmentierung bildet die primäre Ordnungsstruktur für die Zuordnung von Informationen und Dokumenten. Diese Ordnungsstruktur ist im Datenmodell wie auch in der Oberfläche wiederzufinden.

Durch die Segmentierung des Gebäudes und die Abbildung der Segmente in der Datenbank erlaubt der MonArch-Ansatz die Zuordnung von Informationen zu Gebäudeteilen oder auch zum Gesamtgebäude. Die grafische Visualisierung in MonArch kann in 2D als auch in 3D mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden, abhängig vom Gebäudeteil oder Bauwerksteil, frei gewählt und konfiguriert werden. **07** zeigt den Einsatz eines 3D-Modells, hier des Aachener Rathauses **06**, für die grafische Repräsentation in MonArch. Der Detaillierungsgrad wurde hierbei so gewählt, dass die wichtigsten Bauwerksteile im 3D-Modell als 3D-Objekte hinterlegt sind. Die Strukturhierarchie hingegen ist detaillierter modelliert (siehe linke Seite der Abbildung). Die grafische Repräsentation dient hier nicht nur zur Visualisierung des Gebäudes, sondern ist auch ein Anker für Informationen über das Gebäude.

□ 07
Einsatz von MonArch bei der Pfalzfor-
schung in Aachen. (Wietheger 2016)

■ 05
**Open Geospatial Consortium Inc.,
OpenGIS Implementation
Specification for Geographic information,
[http://www.opengeospatial.org/
standards/sfs](http://www.opengeospatial.org/standards/sfs).**

■ 06
**Judith Ley, Marc Wietheger, Pfalzfor-
schung in Aachen, [http://arch.rwth-aa-
chen.de/cms/Architektur/Forschung/
Verbundforschung/Cultural-Herita-
ge/~cbjv/Pfalzforforschung-in-Aa-
chen/](http://arch.rwth-aa-
chen.de/cms/Architektur/Forschung/
Verbundforschung/Cultural-Herita-
ge/~cbjv/Pfalzforforschung-in-Aa-
chen/).**



■ 07

W3C Working Group, SKOS Simple Knowledge Organization System Primer, <https://www.w3.org/TR/skos-primer/>.

Über die grafische und strukturelle Repräsentation hinaus erlaubt das Informationsmodell des MonArch Systems, die hinterlegten Informationen und Dokumente semantisch auszuzeichnen. Dazu können hierarchisch strukturierte Schlagwortkataloge definiert oder vorhandene kontrollierte Vokabulare importiert werden. Die darin enthaltenen Schlagworte können beispielsweise Dokumenten zugeordnet werden. Dabei sind Mehrfachzuordnungen möglich. Zudem werden diese Zuordnungen und die Vokabulare als SKOS-Ontologie **07** in der Datenbank gespeichert. Dies stellt die Verknüpfbarkeit mit externen Vokabularen als auch die Exportierbarkeit sicher. Operative Metadaten wie Erstellungszeit, Autor(en) etc. können zusätzlich gespeichert werden.

Durch die Speicherung in der Datenbank ist es jederzeit möglich, die strukturelle Aufschlüsselung oder auch die hinterlegten Vokabulare später zu erweitern oder zu verfeinern. Verschiedene visuelle Repräsentationen können gespeichert und nachträglich erweitert oder ersetzt werden, ohne dabei die verknüpften Informationen zu verlieren.

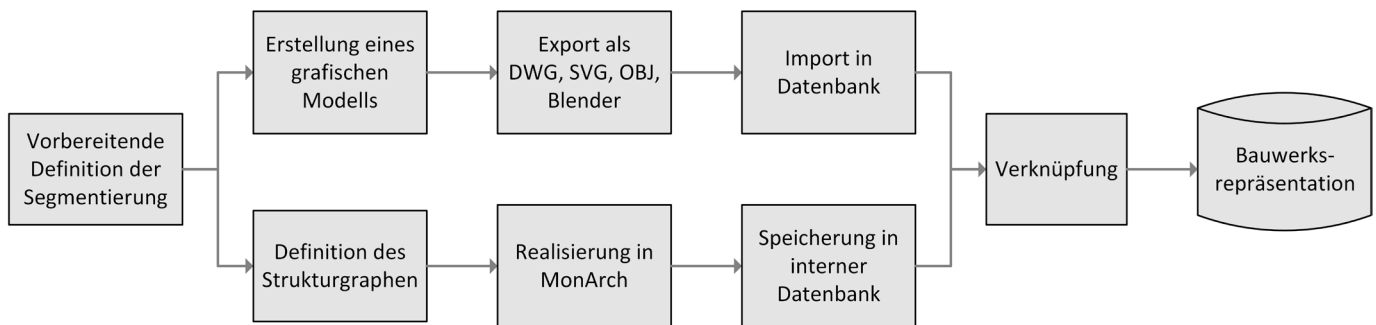
Diese Art der Repräsentation hat das Ziel, beliebige Eigenschaften, Dokumente und Informationen Gebäudeteilen zuzuordnen. Dies können beispielsweise Materialeigenschaften, die Spezifikation der Steinsorte eines Sockels oder Schadenskartierungen sein. Auch digitale Dokumente, beispielsweise aus alten Bauarchiven oder eine fotografische Dokumentation der letzten Grabungsmaßnahme, können an die passenden Gebäudeteile beziehungsweise Flächensegmente angehängt werden.

R.11 Workflow für die semantische 2D/3D-Repräsentation

Der erste Schritt (siehe [08]) zur semantischen 2D- oder auch 3D-Repräsentation eines Gebäudes ist die Festlegung einer Segmentierungsstrategie. Es sollte geklärt werden, welche Bauwerksteile man später sowohl strukturell als auch grafisch repräsentieren möchte. In diesem Schritt sollten Überlegungen angestellt werden, in welcher Beziehung die Bauwerksteile zueinander stehen. Dies umfasst beispielsweise die Frage, welche Räume repräsentiert und ob diese in Stockwerke eingeordnet werden sollen.

Der Detaillierungsgrad der Segmentierung sollte dabei dem späteren Nutzungsszenario entsprechen und möglichst auch für später hinzukommende Anforderungen geeignet sein. Wie schon beschrieben, ist eine spätere Verfeinerung der Segmentierung meist nur mit zusätzlichem Aufwand möglich.

Ist dieser konzeptionelle Schritt abgeschlossen, wird die grafische Visualisierung und die strukturelle Repräsentation des Bauwerks vorbereitet. Die grafische Visualisierung in Form eines 2D-Plandokuments oder eines 3D-Gebäudemodells kann auf Grundlage einer Aufnahme des Bauwerks (z. B. klassische Vermessung, Laserscan) erstellt werden.



□ 08

Workflow 2D/3D-Repräsentation.
(Stenzer 2017)

Bei der Erstellung der Visualisierung müssen die Bauwerksteile, die später selektierbar sein sollen und als räumliche Anker für weiterführende Informationen gedacht sind, als eigenständige Objekte modelliert werden. Das Resultat dieses Schrittes ist die Visualisierung in einem Standardformat für 2D, wie beispielsweise SVG oder DWG, und für 3D entsprechend OBJ oder Blender. Parallel dazu kann ein konkreter Strukturbaum oder -graph des Gebäudes realisiert werden, der die konzeptuelle Segmentierung des Bauwerks widerspiegelt.

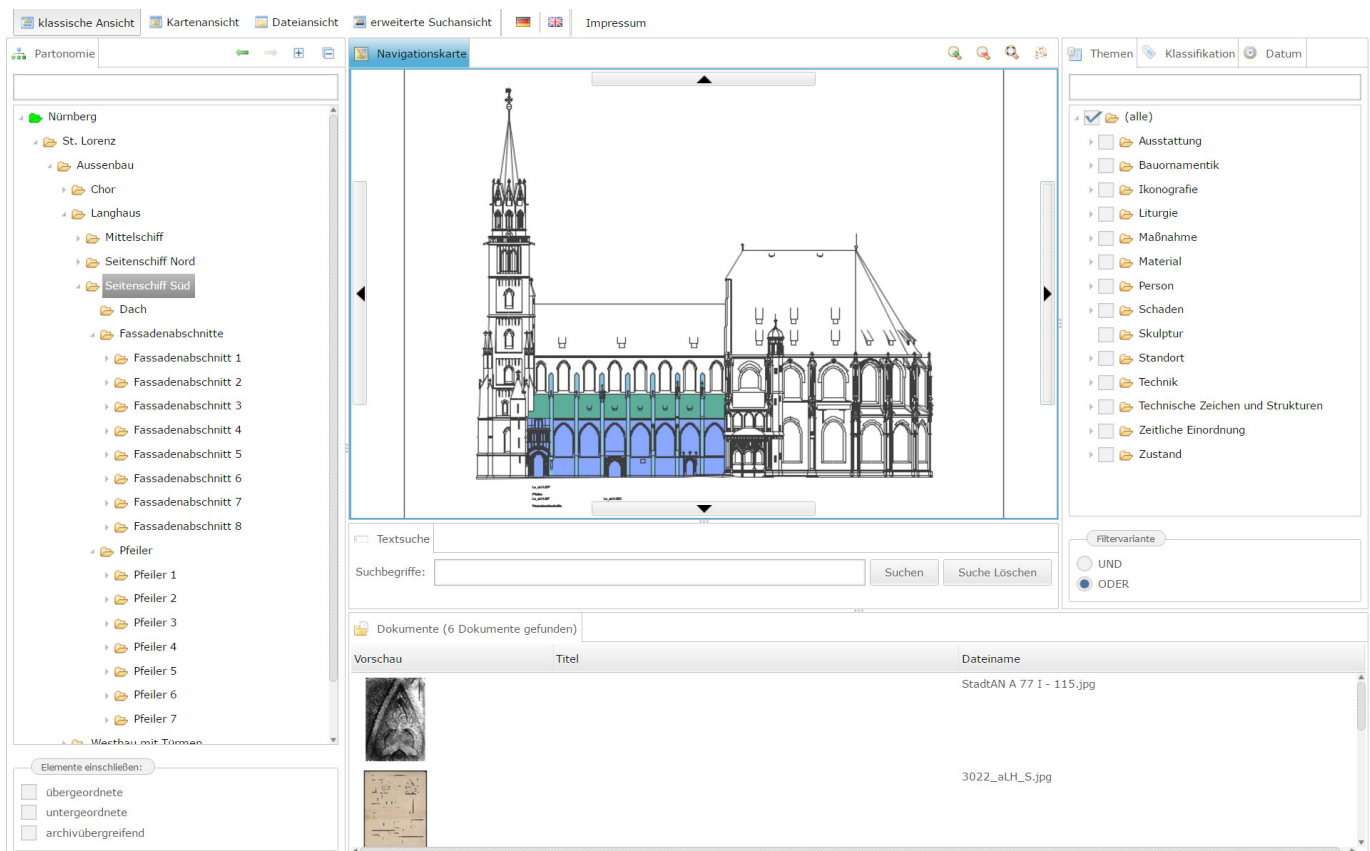
Der Strukturgraph bzw. -baum (siehe [09]) wird anschließend mithilfe der MonArch-Software in der Datenbank gespeichert. Ist der Strukturgraph gespeichert, kann die vorher erstellte grafische Visualisierung ebenfalls in der Datenbank gespeichert werden. Der Workflow sieht hier durchaus vor, dass mehrere Repräsentationen des Gebäudes, seien es 2D-Zeichnungen oder 3D-Modelle mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden, in der Datenbank gespeichert werden können.

Bevor die initiale semantische Repräsentation des Gebäudes abgeschlossen ist, muss für die spätere Nutzung ein letzter essentieller Schritt vorge-

nommen werden: Jede grafische Repräsentation muss nun mit dem Strukturgraphen verknüpft werden. Die Komplexität der Verknüpfung hängt dabei wesentlich von dem vorhandenen Detaillierungsgrad ab.

Als Resultat dieses Workflows kann nun sowohl die grafische als auch die strukturelle Repräsentation als Bezugspunkt gewählt werden. Semantische Informationen und Dokumente sind sowohl über die visuelle grafische Repräsentation des Gebäudes als auch über die damit verknüpften Bauwerksteile auf intuitive Weise zugänglich.

In [09](#) sieht man die Südfassade von St. Lorenz in Nürnberg. Diese zweidimensionale Gebäuderepräsentation wurde wie in diesem Workflow durch manuelle Verknüpfung der strukturellen Repräsentation (linke Seite der Abbildung) und der grafischen Repräsentation (Mitte der Abbildung) erstellt. Im Schritt der Verknüpfung wurde jeder Pfeiler und jeder Fassadenabschnitt mit dem korrespondierenden Element in der 2D-Grafik verbunden.



□ 09

Verknüpfung von Bauwerksteilen mit Mon-Arch. (Stenzer 2017)

R.12 MonArch-Ansatz BIM

Der bisherige beschriebene MonArch-Ansatz nutzt die 2D- oder 3D-Gebäuderepräsentation zusammen mit dem Strukturgraphen als räumliche Referenzstruktur zur Verortung von Informationen zu einem Bauwerk. Soll das Bauwerk selbst modelliert werden, ergeben sich neue Anforderungen für die Gebäuderepräsentation. Hierbei kann ein 3D-Gebäudemodell selbst schon Informationsträger sein, da es beispielsweise den Zustand eines Gebäudes zu einem bestimmten Zeitpunkt repräsentiert. Der bisherige Ansatz muss folglich dahingehend modifiziert werden, dass nun das 3D-Gebäudemodell die Rolle des zentralen Informationsträgers übernimmt. Eine Segmentierung des Bauwerks, die auf das 3D-Gebäudemodell übertragen wird, ist weiterhin entscheidend, um als Referenzstruktur für die gespeicherten Dokumente und Informationen dienen zu können.

Anforderungen wie beispielsweise die Ablesbarkeit von direkten Hinweisen über Aufmaße, Materialeigenschaften oder Erhaltungszustand stellen neue Anforderungen an die 3D-Gebäudemodellierung. Diese Anforderungen können letztlich nur von sehr genauen 3D-Gebäudemodellen erfüllt werden. 3D-Modelle, die als Punktwolke oder als Netz von einer großen Zahl an Oberflächenelementen aufgebaut sind, eignen sich weniger gut, können aber als Ausgangspunkt für ein 3D-Gebäudemodell verwendet werden.

Damit stellt sich die Frage, wie geeignete segmentierte 3D-Gebäudemodelle erstellt und repräsentiert werden sollten, damit sie für die Zwecke der Bauwerksrepräsentation genutzt werden können. Hierzu müssen keine neuen Methoden für die Gebäudemodellierung erarbeitet werden, sondern es kann auf die sich immer stärker durchsetzende Methodik des Building Information Modeling (BIM) ⁰⁸ zurückgegriffen werden. Die objektbezogene BIM-Methodik bietet eine Grundlage für eine einheitliche Gebäudemodellierung, und zusätzlich existiert mit den Industry Foundation Classes (IFC) ⁰⁹ auch ein standardisiertes Austauschformat. IFC ist ein ISO-Standard ¹⁰, der es ermöglicht, die 3D-Repräsentation von Gebäuden und Gebäudeteilen ebenso wie die Beschreibung ihrer Eigenschaften mit unterschiedlichen Softwareanwendungen und Anwendungsgebieten auszutauschen. Die Anwendungsgebiete sehen dabei Prozesse zur Erstellung, Nutzung und Wartung eines Gebäudes vor. Alle nötigen Informationen werden als BIM-Daten gespeichert, die anschließend weiter genutzt werden können.

Viele Dienstleister stellen jetzt schon ihre CAD-Konstruktionen gemäß BIM-Standard zur Verfügung ¹¹. Die so entstehenden 3D-Gebäudemodelle können von anderen BIM-kompatiblen Softwaresystemen übernommen und genutzt werden.

■ 08

Salman Azhar, Michael Hein, Blake Sketo, *Building information modeling (BIM): Benefits, risks and challenges*, in: 44th ASC Annual Conference, 2008.

■ 09

buildingSmart, *Industry Foundation Classes (IFC)*, <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview>.

■ 10

International Organization for Standardization, *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries*, <https://www.iso.org/standard/51622.html>.

■ 11

ALLPLAN, *Allplan Architecture*, <https://www.allplan.com/de> und Autodesk, *Revit*, <https://www.autodesk.de/products/revit-family/overview>.

Eine wesentliche Grundannahme von BIM besteht darin, dass Gebäude aus Bauwerksteilen zusammengesetzt sind. Die BIM-Methodik und die daraus resultierenden 3D-Gebäudemodelle bringen folgende Eigenschaften mit, die für eine semantische 3D-Repräsentation eines Gebäudes aus unserer Sicht notwendig sind:

- BIM stellt durch die Art, wie Gebäude modelliert werden, sicher, dass einzelne Bauwerksteile identifizierbar sind und somit später als Anker für Informationen dienen können.
- Die grafische als auch die strukturelle Repräsentation wird bei BIM in einem Schritt erstellt; dies erleichtert dem Modellierer des 3D-Modells das Gebäude auf geeignete Weise zu repräsentieren.
- Die grafische und auch die strukturelle Repräsentation bilden nur einen Aspekt von BIM. Die BIM-Methodik sieht viele Möglichkeiten vor, Gebäude- oder Bauwerksteile weiter auszuzeichnen und somit das 3D-Modell in ein semantisches 3D-Modell zu überführen.

Gerade für die Dokumentation von baulichem Kulturgut eröffnet die Verwendung eines BIM- Modells eine Vielzahl neuer Möglichkeiten, um Informationen über das Bauwerk zu repräsentieren.

Mit der Möglichkeit, historische Bauwerke unter Verwendung von BIM zu repräsentieren, befasst sich das Historic Building Information Modeling (HBIM). ¹²

Soll ein bereits bestehendes oder historisches Bauwerk in BIM gezeichnet werden, so ist es oftmals nötig, eigens dafür Bauwerksteile (grafisch) zu konstruieren, da im Gegensatz zu modernen Gebäuden hierfür noch kaum vordefinierte Objekte verfügbar sind. Dies kann jedoch mit einem enormen Aufwand verbunden sein, möchte man das Gebäude realitätsnah darstellen. Derzeit lässt sich die Erstellung der oftmals komplexen geometrischen Bauteile nicht ohne Weiteres mit auf dem Markt befindlichen Softwarelösungen durchführen. Grundsätzlich existieren zwar bekannte Verfahren, um derartige Bauwerksteile in mehreren Arbeitsschritten zu konstruieren, jedoch ist dazu die Zusammenarbeit von Experten verschiedener Gebiete (beispielsweise Laservermessung und Photogrammetrie) zu empfehlen. ¹³

■ 12

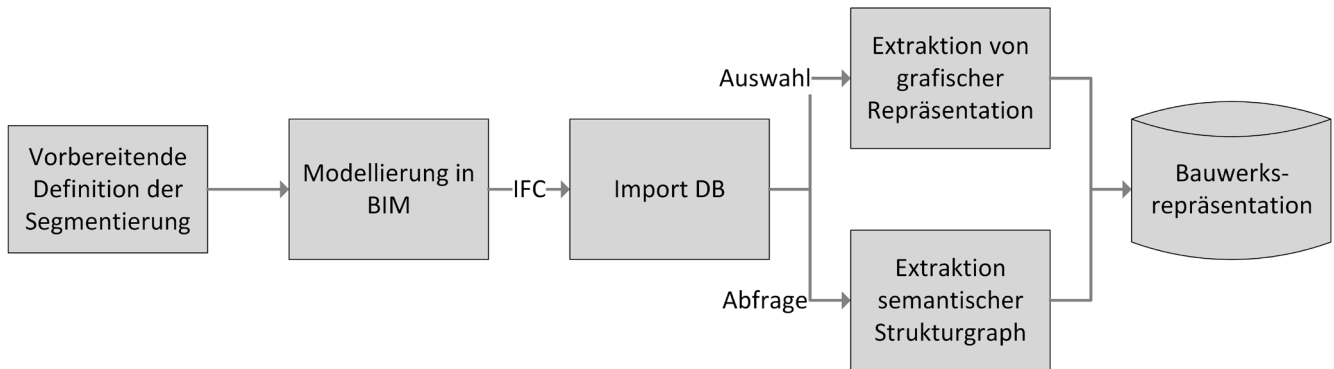
Murphy Maurice, Eugene McGovern, Sara Pavia, *Historic building information modelling (HBIM)*, in: *Structural Survey*, 2009.

■ 13

Banfi, Barazzetti, Previtali, F. Roncoroni, *Historic BIM: A New Repository for Structural Health Monitoring*, Copernicus Publications, 2017.

R.13 Workflow für eine semantische IFC-Repräsentation

Im Folgenden wird ein möglicher Workflow beschrieben (siehe [10](#)), der sich die in BIM/IFC hinterlegten Informationen zunutze macht, um daraus eine semantische 3D-Repräsentation in der Datenbank zu realisieren.



□ 10
Workflow IFC-Repräsentation. (Stenzer 2017).

Auch hier beginnt der Workflow mit der Definition der Segmentierung. In diesem Schritt ist es wichtig, nicht nur die Aufteilung eines Gebäudes zu definieren, sondern Bauwerksteiltypen wie Räume, Stockwerke oder Pfeiler zu identifizieren, um diese später bei der Modellierung umsetzen zu können. Sind diese grundlegenden Überlegungen abgeschlossen, kann das Gebäudemodell in BIM modelliert werden. Im eigentlichen Modellierungsschritt bietet BIM den Vorteil, dass die strukturelle und die grafische Repräsentation zusammen erstellt werden. Im Gegensatz zum zuvor beschriebenen Workflow muss kein zusätzlicher Aufwand zur Verknüpfung der beiden Repräsentationen betrieben werden. Dies kann allerdings auch als Nachteil oder zusätzliche Schwierigkeit gesehen werden, denn nun ist die fachliche Sicht der späteren Nutzerinnen und Nutzer bereits bei der baulichen grafischen Modellerstellung zu berücksichtigen. Sobald das Gebäude in BIM modelliert ist und somit strukturell als auch grafisch repräsentiert ist, kann es im IFC-Format exportiert werden. In diesem Workflow werden die im IFC-Format vorliegenden Daten in eine spezielle Datenbankanwendung importiert. Dadurch kann selektiv auf die IFC-Daten zugegriffen werden. Als technische Grundlage kommen für die Speicherung dieser Daten prinzipiell sowohl relationale als auch nicht-relationale Datenbanksysteme in Betracht, wobei die Autoren wegen ihrer Universalität für geeignete erweiterte relationale Systeme plädieren. Im nächsten Schritt kann aus dieser Datenbankanwendung die grafische Repräsentation des Gebäudes extrahiert und in ein für die 3D-Repräsentation geeignetes Format konvertiert werden. Das hat den Vorteil, dass für die eigentliche visuelle Darstellung des Gebäudes auf Standardtechnologie zurückgegriffen werden kann. Darüber hinaus bietet dieser Ansatz die Möglichkeit, je nach Anwendungszweck verschiedene 3D-Engines (z. B. jMonkeyEngine [14](#)) zu verwenden und dazu das passende optimierte 3D-Format (z. B. Blen-

■ 15

IfcOpenShell, ifcBlender: An ifc importer for Blender, <http://ifcopenshell.org/ifcblender.html>.

der **15**) aus IFC zu extrahieren. Parallel zu dem beschriebenen Schritt kann aus den IFC-Daten der Strukturgraph des Gebäudes (z. B. für die MonArch-Anwendung) extrahiert werden. Auch hier zeigt sich erneut die Flexibilität des Ansatzes, da je nach Anforderung der Strukturgraph sehr detailliert – z. B. alle Räume mit Wänden und Türen eines Gebäudes – oder grob – beispielsweise nur alle Stockwerke eines Gebäudes – extrahiert werden kann.

Der hier beschriebene Workflow sieht vor, sowohl die extrahierte grafische Repräsentation als auch den extrahierten Strukturgraphen in eine Datenbank zu importieren. Auf diese Weise kann sowohl der Strukturgraph als auch die grafische Repräsentation semantisch angereichert und mit Informationen und Dokumenten verknüpft werden.

R.14 Ausblick

In diesem Beitrag wurden drei Ansätze zur semantischen 3D-Repräsentation von Gebäuden dargestellt, von denen zwei genauer betrachtet wurden. Ein Ansatz sieht vor, dass die strukturelle und die grafische Repräsentation unabhängig voneinander erstellt werden und die Verknüpfung der beiden Repräsentationen erst in der Datenbank stattfindet. Im zweiten Ansatz erfolgt die Verknüpfung bereits während der Modellierung des Gebäudes, und zwar mithilfe von BIM/IFC. Unabhängig davon, welcher der beiden Ansätze gewählt wird: Immer bilden die strukturelle und die grafische Repräsentation in der Datenbank die Grundlage zur semantischen Repräsentation eines Gebäudes.

IFC bietet ein Datenformat und ein Datenmodell, die es erlauben, semantisch angereicherte Informationen über Gebäude zwischen verschiedenen Informationssystemen auszutauschen und somit für unterschiedlichste Anwendungen nutzbar zu machen. Mit dem CIDOC Conceptual Reference Model **16** (CIDOC CRM) existiert ein Standard, um Informationen zum kulturellen Erbe zu beschreiben. Zukünftige Arbeiten werden die Kombination der Möglichkeiten von IFC mit den Möglichkeiten des CIDOC CRM untersuchen. Ist dieser Schritt vollzogen, steht für die semantische 3D-Gebäuderepräsentation von Kulturerbe ein umfassendes Werkzeug zur Verfügung, mit dem das Gebäude selbst mit all seinen Facetten als auch Informationen zum Gebäude digital abgebildet und ausgetauscht werden können.

■ 16

Nick Crofts, Martin Doerr, Tony Gill, Stephen Stead und Matthew Stiff, Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model, ICOM/ CIDOC CRM Special Interest Group, http://www.cidoc-crm.org/sites/default/files/cidoc_crm_version_5.0.4.pdf.