

Diplomarbeit

Digitale Transformation historischer Gebäude:

BIM-Integration mit Rhino.inside.Revit am Beispiel von Schloss Drosendorf

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung

Univ.Prof.in Dr.-Ing.in M.A. Marina Döring-Williams

Univ.Ass. Dipl.-Ing. BSc Lukas Stampfer

Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege

E251-01 - Forschungsbereich Baugeschichte und Bauforschung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Benedikt Triesch 12111401

Wien, am 25. Oktober 2023



Kurzfassung

Digitale Transformation historischer Gebäude

BIM-Integration mit Rhino.inside.Revit am Beispiel von Schloss Drosendorf

Mit zunehmender Digitalisierung hält Building Information Modelling auch im Kontext historischer Gebäude Einzug. Während bei BIM-Modellen jedoch meist der Planungsprozess von Anfang an begleitet wird, steht diese Vorgehensweise bei historischen Gebäuden vor der Herausforderung, die bereits vorhandenen Informationen nachträglich zu digitalisieren.

Diese Arbeit beschäftigt stellt eine Möglichkeit vor, Pointcloud Modelle in ein BIM-fähiges Modell zu übersetzen, ohne auf einen vordefinierten Bauteilkatalog zurückgreifen zu müssen. Hierbei wird das Plug-In Rhino.inside.Revit verwendet, welches die freie Modellierungsfähigkeit von Rhino3D mit der BIM-Funktionalität von Revit kombiniert. Dieser Ansatz ermöglicht die Modellierung komplexer historischer Strukturen und die Anpassung an verschiedene Gebäudetypen. Der erarbeitete Workflow soll zu einem umfassenden HBIM-Modell führen, das den Anforderungen unterschiedlicher Gewerke gerecht wird. Das Modell wird anhand des Schlosses Drosendorf erstellt, einem barocken Schloss in Niederösterreich an der Grenze zu Tschechien.

Abstract

Digital Transformation of Historic Buildings

BIM Integration with Rhino.inside.Revit Using the Example of Schloss Drosendorf

With increasing digitization, Building Information Modeling (BIM) is making its way into the context of historical buildings. However, unlike typical BIM models that accompany the planning process from the beginning, this approach presents a challenge for historical buildings as it requires the retrospective digitalization of existing information. This work focuses on the possibility of translating Pointcloud models into a BIM-capable model without the need for a predefined component catalog. It employs the Rhino.inside.Revit plugin, which combines the free modeling capabilities of Rhino3D with the BIM functionality of Revit. This approach facilitates the modeling of complex historical structures and adaptation to various building types. The developed workflow aims to result in a comprehensive Historic Building Information Modeling (HBIM) model that meets the requirements of different disciplines. The model is created based on Drosendorf Castle, a baroque castle located in Lower Austria on the border with the Czech Republic.

Inhaltsverzeichnis

1. Glossar	8
2. Einleitung	10
4. Methodik	14
5. Schloss Drosendorf	19
5.1 <i>Geschichte - Eine historische Übersicht</i>	20
5.2 <i>Bauaufnahme - Erfassung der Struktur</i>	24
6. Anwendung von Pointclouds	37
6.1 <i>Generierung der Pointcloud</i>	38
6.2 <i>Möglichkeiten der Umsetzung in ein BIM-Modell</i>	41
7. BIM-Systeme im Vergleich	45
7.1 <i>BIM - grundlegende Funktion</i>	46
7.2 <i>HBIM - Anpassung an den historischen Kontext</i>	48
7.3 <i>Rhino.inside.Revit - Vorteile von NURBS</i>	50
8. Informationsgehalt im Modell - LOD bei HBIM	55
8.1 <i>Querschnittsanalyse des Forschungsstands</i>	56
8.1.1 <i>LOD - Level of Detail/ Development</i>	56
8.1.2 <i>LOK - Level of Knowledge</i>	59
8.1.3 <i>BOM - Building Object Model</i>	61
8.1.4 <i>GOA - Goal Oriented Approach</i>	62
8.1.5 <i>LOG - Level of Geometry</i>	64
8.1.6 <i>GOG - Grade of Generation</i>	66
8.1.7 <i>3D-7D - Dimensionen</i>	68
8.2 <i>Zusammenfassung - Potenziale und Schwierigkeiten</i>	70

9. Interviews - Fachleute über HBIM	73
9.1 <i>Beatrix Hoche-Donaubauer - Denkmalpflege</i>	75
9.2 <i>Anonym - Brandschutz</i>	79
9.3 <i>Stefan Triesch - Architektur</i>	83
9.4 <i>Felix Matschinske - Digitalisierung</i>	87
9.5 <i>Clemens Landerl - Architektur</i>	91
10. Umsetzung des LOD	95
10.1 <i>Umsetzungsvorschlag - Definition des Workflows</i>	96
10.2 <i>Bauteile</i>	101
10.1.1 <i>Frühstücksraum - Gewölbe</i>	101
10.1.2 <i>Dachstuhl - Balken</i>	111
10.1.3 <i>Stiegenhaus - Raumverschnitt</i>	121
10.1.4 <i>Fassade - Oberfläche & Fenster</i>	131
10.2 <i>Auswahl BIM - Abgleich mit der Bauaufnahme</i>	138
11. Ergebnisdiskussion	145
11.1 <i>Ergebnis</i>	146
11.2 <i>Interpretation</i>	152
11.3 <i>Erkenntnis</i>	158
12. Anhänge	161
12.1 <i>Danksagung</i>	162
12.2 <i>Literaturverzeichnis</i>	164
12.3 <i>Abbildungsverzeichnis</i>	168

Glossar

BIM

Building Information Modeling (BIM) ist eine digitale Methode zur ganzheitlichen Planung, Gestaltung und Verwaltung von Bauprojekten, die alle relevanten Informationen und Daten in einem gemeinsamen 3D-Modell integriert.

HBIM

Historical Building Information Modeling (HBIM) ist eine digitale Methode zur Erfassung, Modellierung und Erhaltung historischer Gebäude und Denkmäler.

Laserscan

Ein 3D-Laserscan ist ein bildgebendes Verfahren, bei dem ein Laserstrahl zur Erfassung der dreidimensionalen Struktur eines Objekts oder einer Umgebung verwendet wird.

LOD

LOD steht für „Level of Detail“ und bezieht sich auf die verschiedenen Stufen der Detaillierung in 3D-Modellen, wobei höhere LOD-Stufen mehr Details und Genauigkeit aufweisen, während niedrigere LOD-Stufen weniger detailliert sind.

NURBS

NURBS steht für „Non-Uniform Rational B-Splines“ und ist eine mathematische Methode zur Darstellung von Kurven und Flächen in der Computergrafik und im CAD-Design.

Photogrammetrie

Photogrammetrie ist eine Methode zur Erstellung genauer 3D-Modelle von Objekten oder Gelände durch die Auswertung von Fotografien oder Luftbildern und die Berechnung von räumlichen Informationen aus den Bildern.

Pointcloud

Eine Pointcloud, zu deutsch Punktwolke, ist eine große Ansammlung von dreidimensional angeordneten Koordinatenpunkten, die zur Darstellung und Erfassung der Oberflächen und Strukturen von realen Objekten oder Umgebungen verwendet wird.

Rhino

Rhino ist eine 3D-Modellierungssoftware, die von Designern und Ingenieuren zur Erstellung und Bearbeitung von 3D-Modellen für verschiedene Anwendungen verwendet wird.

Rhino.inside.Revit

Rhino.inside.Revit (R.i.R) ist ein Plug-In, der es ermöglicht, Rhino-3D-Modelle und Funktionen nahtlos innerhalb der Revit-Software zu verwenden.

Workflow

Ein Workflow ist eine festgelegte Abfolge von Aufgaben, Aktivitäten und Prozessen, die in einer organisierten und effizienten Weise durchgeführt werden, um ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen.

Einleitung

In der sich stetig wandelnden Welt der Architektur und Bauindustrie hat Building Information Modeling (BIM) in den letzten Jahren einen unübersehbaren Einzug in nahezu allen Bereichen gehalten. Dieser Paradigmenwechsel hat nicht nur die Art und Weise, wie Bauvorhaben geplant und realisiert werden, verändert, sondern auch den „digitalen Zwilling“ als einen festen Bestandteil der Baubranche etabliert. Funktion und Nutzen dieses Modells bedienen dabei unterschiedlichste Gewerke:

Architekt*innen verwenden BIM für die Erstellung von 3D-Modellen von Gebäuden, um Entwurfskonzepte zu visualisieren und zu optimieren. Sie integrieren auch Informationen zu Materialien, Kosten und Energieeffizienz in ihre Modelle. Bauingenieur*innen setzen BIM ein, um Strukturen wie Brücken, Straßen und Gebäude zu entwerfen und zu analysieren. Sie verwenden BIM, um die Tragfähigkeit, Stabilität und Sicherheit von Bauwerken zu überprüfen. Bauprojektmanager*innen nutzen BIM zur Planung von Bauprojekten, zur Erstellung von Zeitplänen und zur Ressourcenverwaltung. Sie können Konflikte in der Planung frühzeitig erkennen und beheben. Elektroingenieur*innen verwenden BIM, um die elektrischen Systeme in Gebäuden zu entwerfen, darunter Beleuchtung, Stromversorgung und Kommunikationstechnologie. Ingenieur*innen im Bereich von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageanlagen verwenden BIM, um die thermische Leistung von Gebäuden zu optimieren und die Effizienz von HLK-Systemen zu verbessern. Diese Fachleute planen und gestalten technische Systeme für Gebäude, darunter Sanitär, Feuerlösch- und Sicherheitssysteme. Bauunternehmen setzen

BIM während des Bauprozesses ein, um den Baufortschritt zu überwachen, Ressourcen zu koordinieren und Qualitätskontrollen durchzuführen. BIM wird auch für das Facility Management eingesetzt, um Gebäude effizient zu betreiben und zu warten. Informationen aus dem BIM-Modell können zur Instandhaltung und zur Verwaltung von Ressourcen genutzt werden. BIM kann auch in der Immobilienentwicklung genutzt werden, um die Rentabilität von Projekten zu analysieren, potenzielle Mietflächen zu planen und Investitionsentscheidungen zu treffen.

Bei Neubauten dient das BIM-Modell bereits vor Baubeginn als umfassende Planungsgrundlage für alle beteiligten Gewerke, und es wird während des gesamten Bauverlaufs kontinuierlich aktualisiert und angepasst. Doch nicht nur während der Bauphase erweist sich BIM als wertvoll – auch nach Fertigstellung des Bauwerks bleibt das BIM-Modell als Instrument zur Betreuung und Bewirtschaftung des Objekts von großer Bedeutung. Zudem sind die Ansprüche der Gewerke klar definiert, sodass das Modell von Beginn an daran angepasst werden kann.

Parallel zu dieser Entwicklung hat sich das Konzept des Historic Building Information Modeling (HBIM) auch auf historische Gebäude ausgedehnt. Dabei besteht ein wesentlicher Unterschied zu herkömmlichen BIM-Ansätzen darin, dass das Modell erst nach der Fertigstellung des Baus erstellt wird. Der Hauptnutzen eines HBIM-Modells liegt in der Betreuung und Erhaltung historischer Gebäude, um deren einzigartige Merkmale und historischen Wert zu bewahren.

Allerdings stehen Anwender*innen von HBIM vor einer Reihe von Herausforderungen. Historische Gebäude zeichnen sich oft durch eine Vielzahl unterschiedlicher Details aus, die nicht immer nahtlos in herkömmliche BIM-Programme integriert werden können. Gängige BIM-Programme sind an Bauteilkataloge gebunden, was die Modellierung historischer Gebäude erschwert. Obwohl spezialisierte HBIM-Programme existieren, bleiben sie oft ebenfalls an Bauteile gebunden, was die Modellierung komplexer historischer Details problematisch macht. Die Programme können dann oft nur eine bestimmte Art historischer Gebäude bedienen. Diese Herausforderungen erschweren es, einen klaren Weg zur Erstellung von BIM-Modellen für historische Gebäude zu definieren, und die Festlegung des richtigen Level of Detail (LOD) solcher Modelle ist eine grundlegende Aufgabe und Abhängig von den Ansprüchen der daran arbeitenden Gewerke.

In dieser Arbeit wird ein möglicher Lösungsweg erarbeitet, um diese Herausforderungen zu bewältigen. Das CAD-Programm Rhino wird als Schlüsselinstrument eingesetzt, da es beim 3D-Modellieren kaum begrenzende Parameter aufweist und somit eine hohe Freiheit bei der Erfassung der vielfältigen Details historischer Gebäudestrukturen ermöglicht. Die Grundlage für dieses HBIM-Modell bildet eine Pointcloud, die vorab mithilfe von 3D-Scans und Photogrammetrie erstellt wurde und eine millimetergenaue Aufnahme des Bestands darstellt.

Obwohl Rhino nicht direkt BIM fähig ist, ermöglicht das Plugin Rhino.inside.Revit den Import von Rhino-Modellen in Autodesk Revit, wo das Modell mit den erforderlichen Informationen angereichert werden kann.

Um ein möglichst umfassendes Bild der Anforderungen an das HBIM-Modell zu erlangen, werden im ersten Schritt die Grundlagen ermittelt. Nachdem die Geschichte des Schlosses kurz aufgearbeitet wurde, werden die verschiedenen BIM Programme betrachtet und hinsichtlich ihrer Möglichkeiten miteinander verglichen. Nach der Betrachtung verschiedener Forschungsansätze des LOD zu HBIM, wird ein Lösungsvorschlag formuliert. Da sich die Arbeit auf das CAD Programm Rhino bzw. den Plugin Rhino.inside.Revit stützt, werden verschiedene Bauteile modelliert, um ein sinnhaftes LOD der verschiedenen Strukturen zu definieren. Dabei werden Schlüsselbauteile so gewählt, dass möglichst alle Strukturen des Gebäudes abgedeckt werden bzw. Arbeitsweisen hervorgehen, die auf alle Strukturen anwendbar sind.

Unter Betrachtung aller Aspekte der Grundlagenermittlung wird danach ein Workflow definiert, anhand dessen ein HBIM-Modell aufgezogen wird, welches möglichst alle Ansprüche der Beteiligten Gewerke abdeckt. Der in dieser Arbeit definierte Workflow wird so erarbeitet, dass er auch auf andere Gebäudetypologien angewendet werden kann.

Methodik

Zur Grundlage der Untersuchung soll ein Pointcloud-Modell von einem historischen Gebäude dienen. Pointcloud-Modelle bieten eine hochpräzise und umfassende 3D-Darstellung der realen Umgebung, was sie ideal für die exakte Vermessung und Dokumentation von komplexen Objekten macht. Im Rahmen des Projekt „landuni“ von der TU Wien, welche das Schloss Drosendorf als Lehrmöglichkeit im ländlichen Raum nutzt, wurden vom Fachbereich Baugeschichte Bauforschung der TU Wien bereits ausführliche 3D Scans erstellt und die verarbeiteten Daten sind als Pointcloud-Modell verfügbar.

Zunächst wird daher das Schloss Drosendorf als das Hauptobjekt der Studie vorgestellt. Dies beinhaltet eine Analyse seines historischen und architektonischen Kontexts sowie eine kurze Untersuchung seines strukturellen und geometrischen Aufbaus. Hierbei werden mögliche Herausforderungen bezüglich der Konstruktion identifiziert.

Im nächsten Schritt wird 2D Planmaterial erstellt, die den strukturellen Aufbau des Schlosses dokumentieren. Das Planmaterial wird auf Basis des Pointcloud-Modells gezeichnet. Durch das Abzeichnen der geschnittenen Pointcloud entsteht Planmaterial gemäß ÖNORM A 6250-2. Die Norm beinhaltet Definitionen verschiedener Aufnahmedichten, unter anderem zur Konturdarstellung. Die Pläne dienen zum einen dazu, einen Überblick über die aktuelle Struktur und die Raumkonstellationen zu bekommen, zum anderen kann es, durch seine Genauigkeit, im späteren Schritt mit den durch das HBIM-Modell erzeugten Plänen verglichen werden.

Die Grundlage für das HBIM-Modell wird durch eine Point-Cloud-Erfassung erstellt. Wird eine Pointcloud als Basis zum Erstellen von 3D-Modellen verwendet, bringt es verschiedene Schwierigkeiten mit sich. Eine Pointcloud ist eine Sammlung dreidimensional angeordneter Koordinatenpunkte, die den genauen räumlichen Kontext und die Geometrie eines realen Objekts oder einer Umgebung digital repräsentieren. An den räumlich angeordneten Punkten lässt sich die Struktur der Räume zwar ablesen, jedoch muss diese in ein Objekt übersetzt werden. Neben der Möglichkeit sie direkt in ein Mesh zu übersetzen, können sie in CAD-Programmen rekonstruiert werden, was für BIM-Modelle notwendig ist. Verschiedene Programme bieten dazu unterschiedliche Möglichkeiten.

Eine Analyse herkömmlicher BIM- und HBIM-Programme wird daher durchgeführt, um zu verstehen, wie sie mit solchen Projekten umgehen und welche Möglichkeiten sie bieten. Dabei wird zunächst betrachtet, mit welchem Anspruch die Programme grundsätzlich an das Modell haben. Anhand dessen werden die Probleme aufgeführt, die beim Rekonstruieren von Pointclouds auftreten und welche Nachteile in diesem Kontext ein vordefinierter Bauteilkatalog mit sich bringen kann.

Rhino 3D ist eine leistungsstarke 3D-Modellierungssoftware, die Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) als eines ihrer Hauptmodellierungswerkzeuge verwendet. Dadurch kann das Programm komplexe 3D-Modelle und -Oberflächen erstellen und bearbeiten. Es bie-

tet daher vielfältige Modellierungsmöglichkeiten, speziell die präzise 3D-Modellierung von Freiformflächen- und -körpermodellierung sowie komplexe Geometrieerstellung, was für die Rekonstruktion benötigt wird. Diese Eigenschaften machen es zu einem hervorragenden Werkzeug um unregelmäßige Gebäudestrukturen historischer Bauten zu rekonstruieren, weil jede Geometrie und Situation präzise modelliert werden kann. Zwar gibt es auch andere NURBS-basierte CAD Programme wie Cinema4D, Maya oder 3ds Max, jedoch ist keines der Programme BIM fähig. Autodesk Alias ist wiederum ein BIM fähiges, NURBS-basiertes CAD Programm, jedoch ist das Programm auf Oberflächenmodellierung und nicht auf 3D-Geometrien ausgelegt. Rhino ist zwar ebenfalls nicht direkt BIM fähig, jedoch ermöglicht der Plug-In Rhino.inside.Revit die direkte Übersetzung der Modelle von Rhino in Revit, was wiederum spezialisiert auf BIM-Modelle ist. Dadurch, dass das Programm nicht an vordefinierte Bauteile gebunden ist, muss das LOD der Bauteile genauer betrachtet werden.

LOD betitelt die Festlegung den Informationsgehalt von Modellen in BIM, wobei höhere LOD-Stufen mehr Informationen und Präzision in der Modellierung bieten. Der Forschungsstand bezüglich LOD konzentriert sich darauf, einheitliche Standards und Richtlinien für die Anwendung von LOD in BIM-Projekten zu entwickeln und zu definieren, um die Konsistenz und Vergleichbarkeit von Modellen in der Baubranche zu verbessern. Weil die Ansprüche vom LOD bei BIM- und HBIM-Modellen abweichen, werden verschiedene Forschungsstände in einer Querschnittsanalyse betrachtet.

Um ein Bild von der grundsätzlichen Sinnhaftigkeit und den praktischen Ansprüchen an das HBIM-Modell zu bekommen, werden im Anschluss Interviews mit Experten, die sich praktisch mit historischen Gebäuden auseinandersetzen, durchgeführt. Für ein möglichst

breit gefächertes Meinungsbild der Interviewpartner zu bekommen, wurden die Gespräche in Form eines „unstrukturierten Interviews“ durchgeführt. Die freien Antworten werden hier in den Grundaussagen zusammengefasst.

Danach werden im letzten Schritt vier verschiedene Strukturen aus dem Schloss rekonstruiert. Dabei werden die Ausschnitte so gewählt, dass das in den Beispielen erprobte LOD auf die gesamten Strukturen im Schloss übertragen werden kann. Die erprobten Workflows der verschiedenen Bauteile werden zudem hinsichtlich Modelliergeschwindigkeit, Detailgrad und BIM-Fähigkeit bewertet, um sie im Nachgang vergleichbar zu machen. Mit dem gewonnenen Erkenntnisstand wird dann ein Teil des Schlosses nach den definierten Parametern rekonstruiert und von Rhino in Revit exportiert. Um die Genauigkeit des HBIM-Modells zu prüfen, werden Grundrisse des Ausschnitts erstellt und mit den zuvor erstellten Grundrissen, die von der Pointcloud abgezeichnet wurden, verglichen. Anhand der Überlagerung von Zeichnungen kann die Abweichung des BIM-Modells von dem Bestandsplan quantifiziert werden.

Im letzten Schritt werden alle vorab gewonnen Informationen über das Generieren des HBIM-Modells zusammengefasst. Um ein abschließender Überblick bekommen zu können, werden alle vorab erarbeiteten Parameter erneut betrachtet und der hervorgegangene Workflow mit anderen HBIM-Methoden verglichen. Da der zunächst verfolgte theoretische Ansatz oftmals von dem praktischen Einsatz abweicht, wird dann die durch Interviews gewonnene Information mit den vorab gewonnenen Erkenntnissen abgeglichen. Auf Basis aller Informationen wird dann ein abschließendes Fazit bezüglich des Modellaufbaus und dem umsetzbaren LOD gezogen.



Schloss Drosendorf

Geschichte & Zustand

Schloss Drosendorf - Eine historische Übersicht

Die Ursprünge von Schloss Drosendorf reichen bis in das 12. Jahrhundert zurück. Das Bauwerk wurde erstmals im Jahr 1185 urkundlich erwähnt. In jener Zeit war Drosendorf ein wichtiger Handelsknotenpunkt in der Region und bot somit einen idealen Standort für eine Befestigungsanlage. Die ältesten erhaltenen Teile des Schlosses datieren aus dieser Epoche. Das Schloss war ursprünglich als Wehranlage konzipiert und verfügt daher über Elemente wie Wehrtürme, Mauern und einen Wassergraben. Diese Merkmale sind typisch für mittelalterliche Befestigungsanlagen und sind bis heute erhalten geblieben.

Im 13. Jahrhundert kam Schloss Drosendorf unter die Kontrolle der Babenberger, einer der bedeutendsten Adelsdynastien im Heiligen Römischen Reich. Unter ihrer Herrschaft erfuhr die Burg eine intensive Nutzung als Verwaltungszentrum für die umliegenden Ländereien. Die Babenberger hinterließen mit größeren Umbaumaßnahmen deutliche Spuren in der Geschichte und Architektur des Schlosses.¹

1 vgl. Georg Clam Martinic, Burgen & Schlösser in Österreich: Von Vorarlberg bis Burgenland (Linz: Landesverlag im Veritas Verlag, 1991), S.32.



Abb. 2: Ausschnitt eines Aquarells auf Pergament (um 1695)

Im 15. Jahrhundert erlitt Schloss Drosendorf während der Hussitenkriege schwere Schäden, jedoch wurde die Burg nach den Zerstörungen wieder aufgebaut. Im 16. Jahrhundert erlebte die Region eine Blütezeit der Renaissance, die sich in der Architektur von Schloss Drosendorf widerspiegelt. Die Burganlage erfuhr zu dieser Zeit erhebliche Erweiterungen und Verzierungen. Zudem wurden Renaissance-Elemente in die Architektur des Schlosses integriert. Dies zeigt sich in den dekorativen Elementen, wie beispielsweise den Erkern und Fassadendetails, die charakteristisch für diese Zeit sind.

Im 17. Jahrhundert wurde Schloss Drosendorf im barocken Stil umgebaut und erweitert. Dies führte zu seiner heutigen imposanten Erscheinung. Während dieser Zeit war die Region von Konflikten wie dem Dreißigjährigen Krieg betroffen, aber das Schloss selbst blieb weitgehend unbeschädigt und wurde zu einem wichtigen Zentrum für Kunst und Kultur.²

2 vgl. Franz Isfried, Drosendorf (München, u.a.: Schnell und Steiner, 1959), S.42-22.

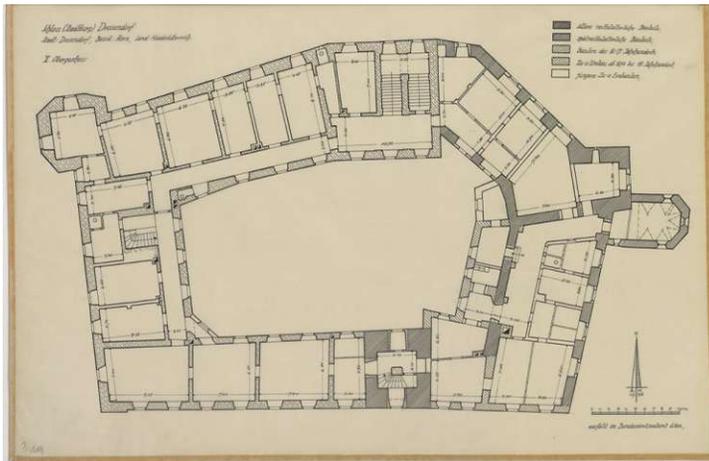


Abb. 3: Grundriss EG mit Bauphasen (1955)

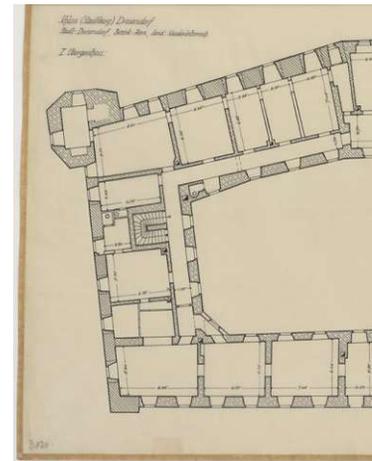
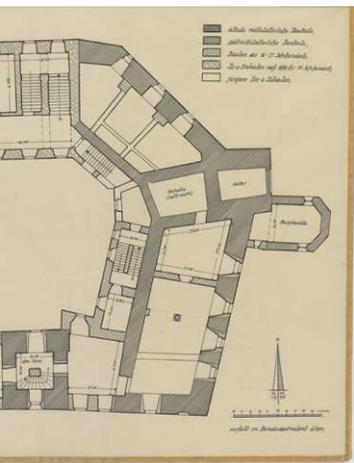


Abb. 4: Grundriss 1.OG

Es erfolgte eine weitere Umgestaltung des Schlosses, bei der barocke Elemente hinzugefügt wurden. Dies zeigt sich in den prächtigen Stuckdecken und den kunstvollen Verzierungen, die in einigen Räumen zu finden sind.

Im 18. Jahrhundert wurden auch klassizistische Elemente in die Architektur des Schlosses integriert. Dies spiegelt sich in den symmetrischen Fassaden und den geradlinigen Formen wider. Im 19. Jahrhundert wurden dann bedeutende Modernisierungen an Schloss Drosendorf durchgeführt.

Im 20. Jahrhundert überstand Schloss Drosendorf die beiden Weltkriege ohne größere Schäden. Es wurde später zu einem Museum und kulturellen Zentrum umgewandelt. Das Schloss erhielt zwischen 1980-1990 zeitgemäße Inneneinrichtungen und spielte weiterhin eine wichtige Rolle in der Verwaltung der Region. Während dieser Zeit wurde auch das



G mit Bauphasen (1955)

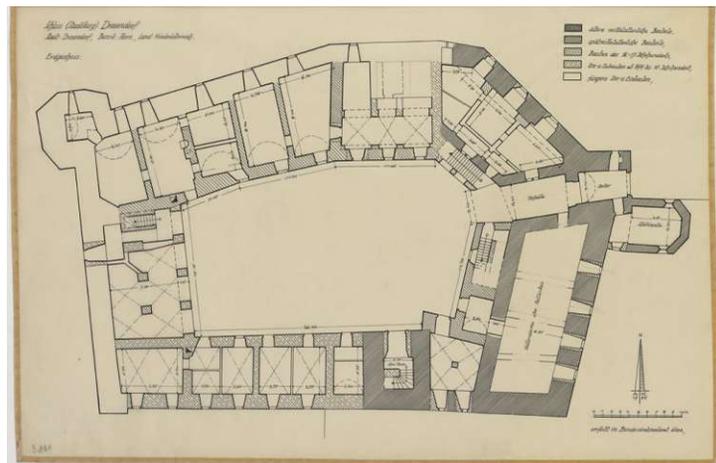


Abb. 5: Grundriss 2.OG mit Bauphasen (1955)

Schlossparkgelände gestaltet und erhielt seine heutige Form.³ Heute beherbergt es eine Sammlung von Kunstwerken und historischen Artefakten, darunter Gemälde, Möbelstücke und Waffen. Außerdem befindet sich heute ein Hotel in dem Schloss.

Das Projekt „landuni“ wurde von der Fakultät für Architektur und Raumplanung der TU Wien initiiert und umgesetzt und erhielt Unterstützung von der Wissenschaftsabteilung des Landes Niederösterreich. Es zielt darauf ab, den Leerstand von Schloss Drosendorf im ländlichen Raum zu nutzen, indem es das Schloss zu einer Bildungs- und Beherbergungsstätte reaktiviert hat. Das Projekt verfolgt das Ziel, Forschung, Lehre und Lernen im ländlichen Raum zu fördern und Innovationen zu zeigen. Es sollte ein kreatives Umfeld schaffen, in dem Studierende, Lehrende, interessierte Bürgerinnen und Bürger, Vereine, Gäste, Praktikerinnen und Praktiker sowie die Politik gemeinsam vor Ort an Zukunftsfragen, neuen Trends und Technologien forschen und Zukunftsperspektiven entwickeln können.⁴

3 vgl. Isfried, Drosendorf, S.67-68.

4 vgl. „Was ist die Landuni?“, TU Wien, aufgerufen am 04.10.2023, URL: <https://landuni.at/was-ist-die-landuni/>.

Baufaufnahme - Erfassung der Struktur



Abb. 6: Schwarzplan 1:10.000

Um einen Überblick über die Raumstruktur des Schlosses zu bekommen, wird zunächst Planmaterial erstellt. Das Vorgehen bei der Bauaufnahme beinhaltet das Abzeichnen der Pointcloud, was in seiner Genauigkeit der ÖNORM A 6250-2, der Richtlinie für die Konturdarstellung historischer Objekte, entspricht. Im Rahmen ergänzender Scans vor Ort war es erneut nicht möglich, eine private Wohnung im östlichen Teil des Schlosses aufzunehmen. Diese Räumlichkeiten sind in der Bauaufnahme nicht enthalten, die dazugehörige Fläche im zweiten Obergeschoss wird geschwärzt.

Insgesamt zeigt Schloss Drosendorf eine Mischung aus verschiedenen architektonischen Einflüssen, die im Laufe der Jahrhunderte zusammengeführt wurden. Der vorherrschende Renaissance-Stil, mit Teilen der Grundstruktur aus dem Mittelalter, verleiht dem Schloss seine charakteristische Anmut, während die späteren barocken und klassizistischen Elemente zu seiner architektonischen Vielfalt beitragen. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in den Plänen wider.

Der westliche Teil des Gebäudes ist in seiner Grundstruktur primär von der Renaissance geprägt. Die klare Aufteilung der Räume zeigt einen hofseitigen Gang mit großen, fassadenseitigen Räumen mit linearen Wandverläufen. Im südwestlichen Teil sind die Räume durch Durchgangstüren direkt verbunden.

Im östlichen Teil um das Eingangstor treffen mehr Bauphasen aufeinander. In Grundriss und Schnitt lassen sich vermehrt Wandversprünge, verschiedene Gewölbearten und unregelmäßige Wanddicken ablesen. Im Erdgeschoss sind die mittelalterlichen Strukturen noch in Gänze erhalten. Die weit spannenden Tonnen- und Kappengewölbe wurden in späteren Umbauphasen durch Einschnitte und eingezogene Wände ergänzt, sind aber in ihrem Grundaufbau noch vorhanden. Der heutige Eingangsbereich des Hotels ist optisch vor allem durch den Renaissancestil geprägt, es finden sich jedoch auch Stuckelemente aus den barocken und klassizistischen Umbauphasen.⁵

5 vgl. Isfried, Drosendorf, S.72-74.



Abb. 7: Lageplan 1:1000

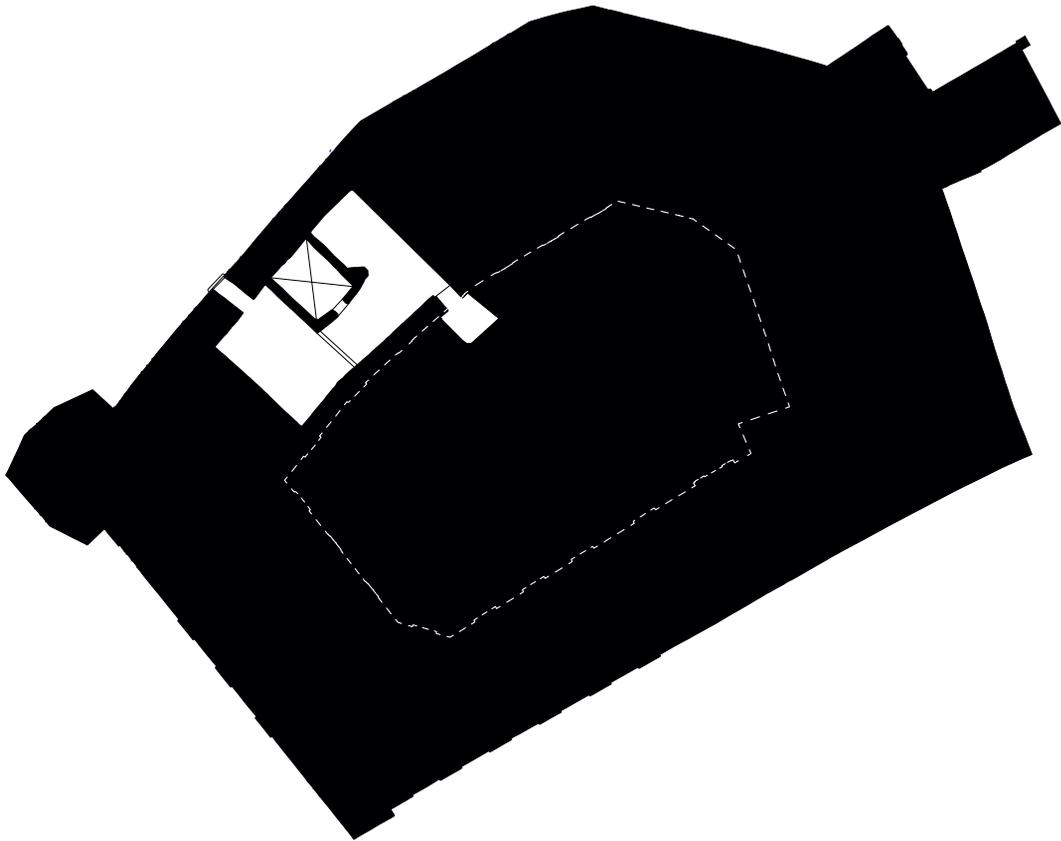


Abb. 8: Grundriss KG 1:250

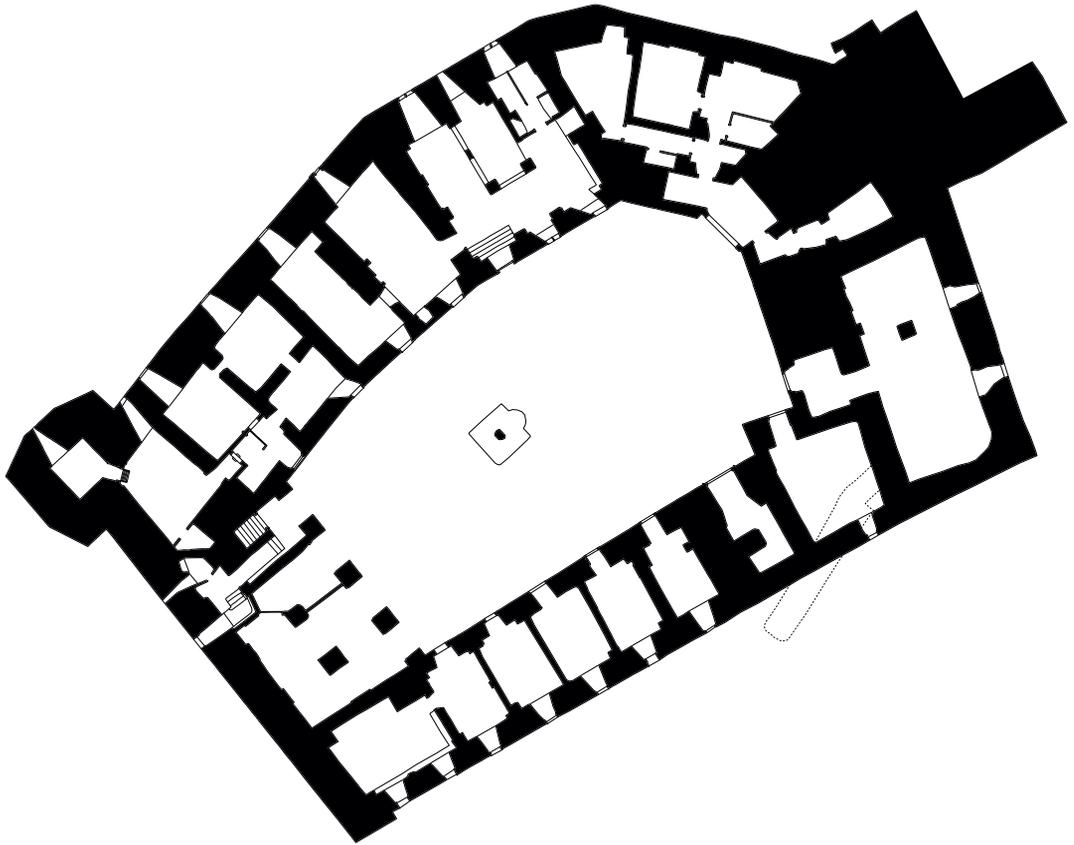


Abb. 9: Grundriss EG 1:250

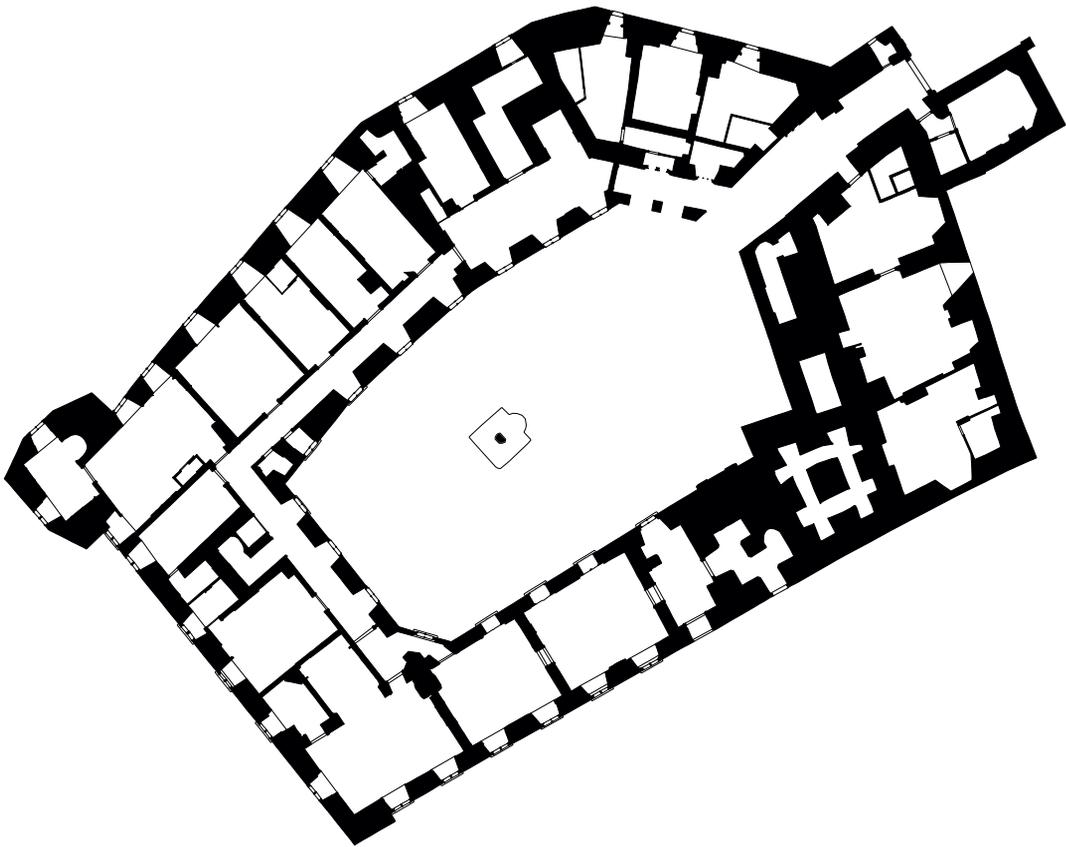


Abb. 10: Grundriss 1.OG 1:250

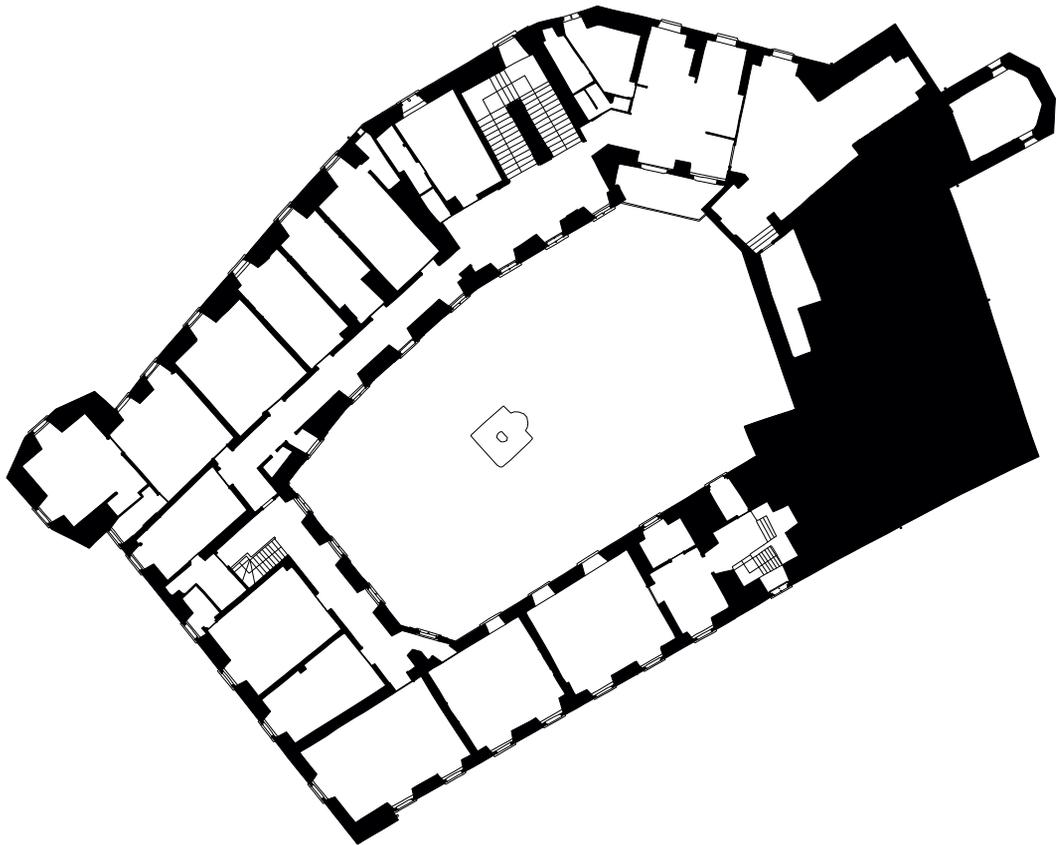


Abb. 11: Grundriss 2.OG 1:250

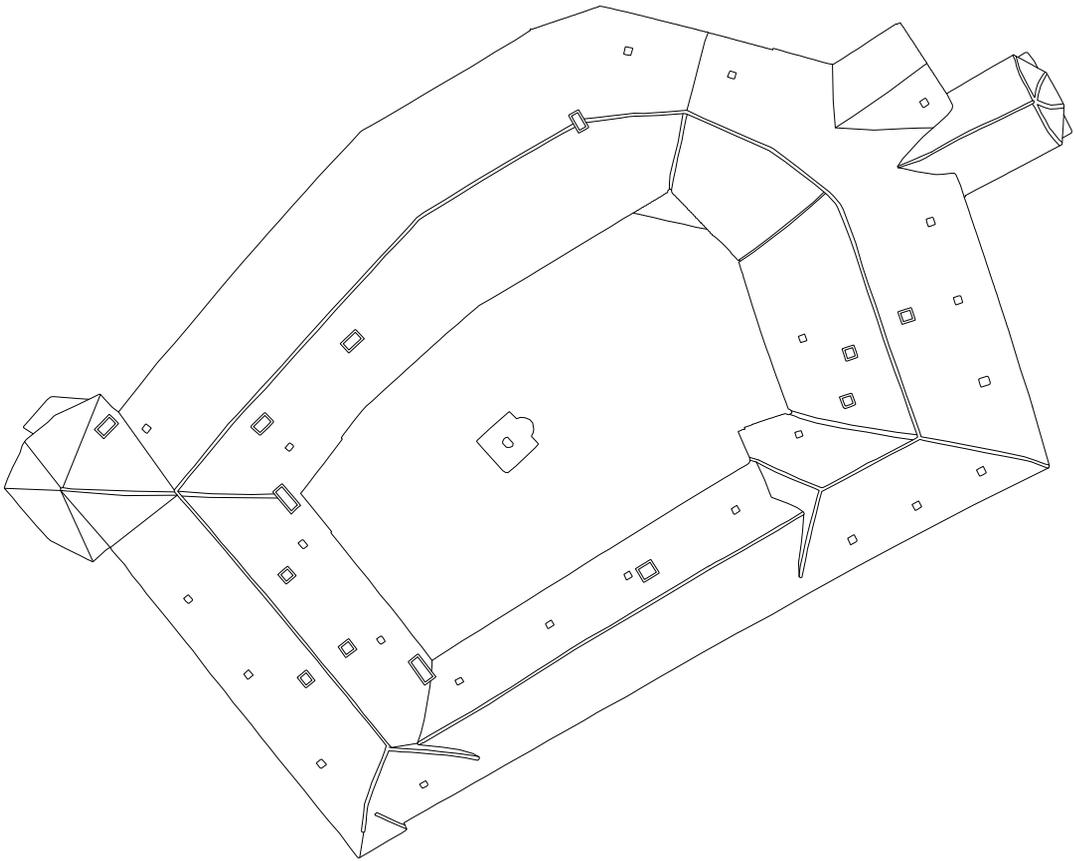
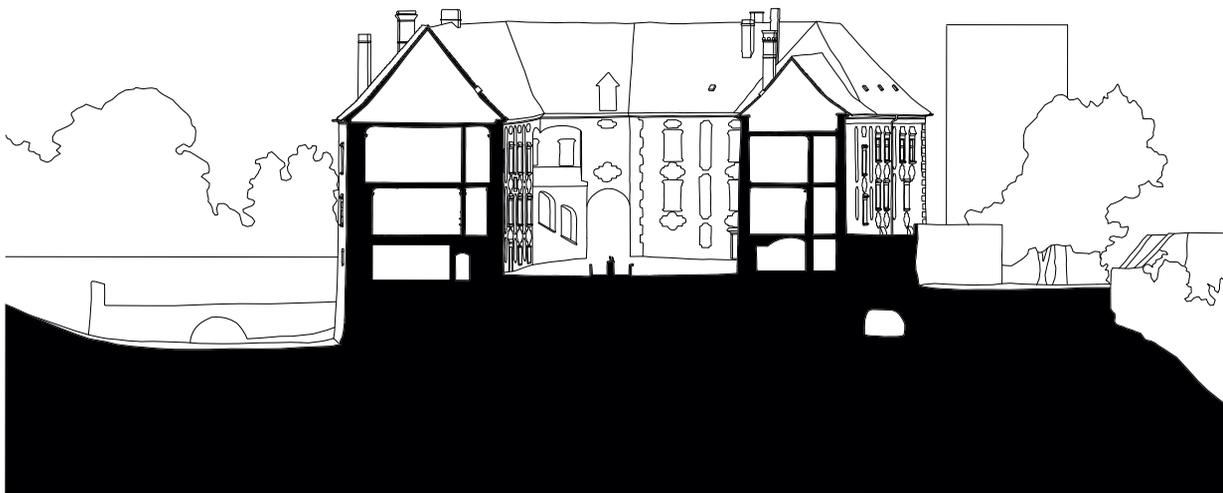


Abb. 12: Grundriss 3.OG 1:250



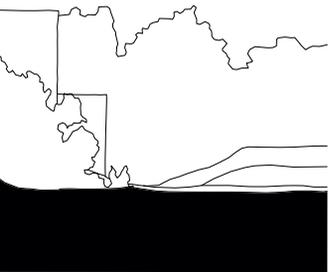


Abb. 13: Schnitt 1:250

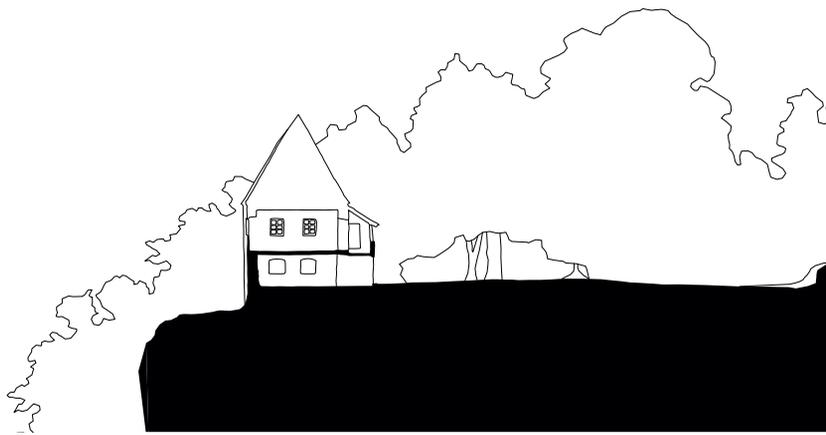
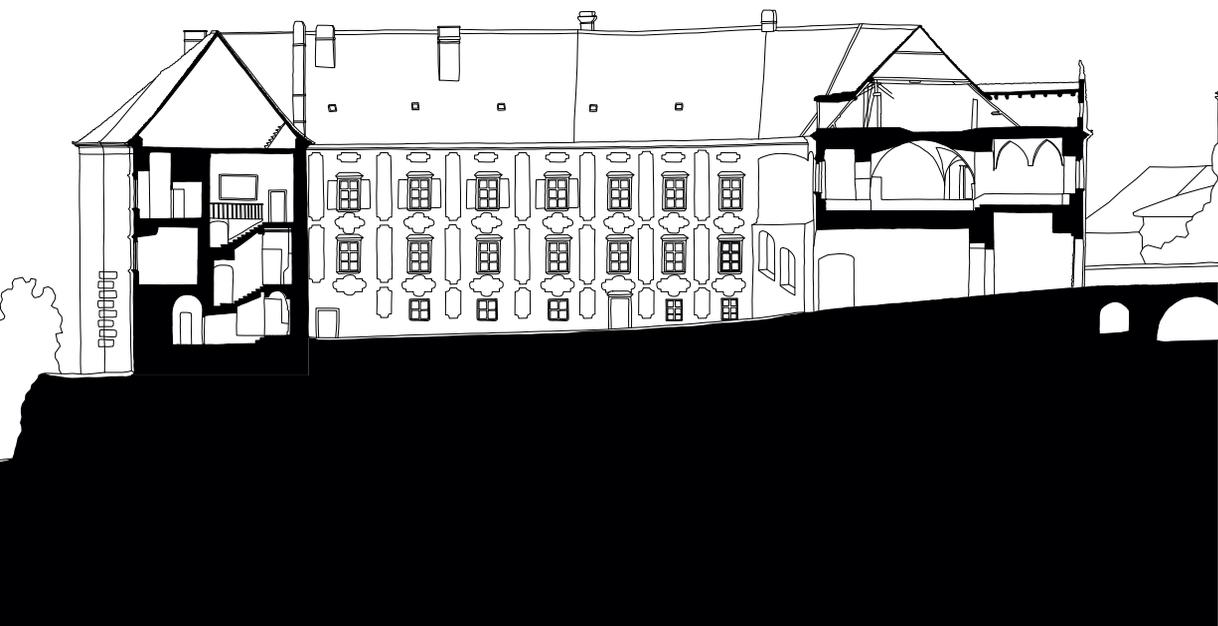


Abb. 14: Schnitt 1:250





Anwendung von Pointclouds

Generierung & Umsetzung

Generierung der Pointcloud

Pointclouds werden grundsätzlich in verschiedensten Anwendungsbereichen genutzt. In der Baubranche werden Pointclouds für die Bestandsaufnahme und Überwachung von Bauprojekten eingesetzt. Sie unterstützen die Planung und Konstruktion, da sie präzise Informationen über vorhandene Strukturen liefern. Die Aufnahmen ermöglichen es, detaillierte Untersuchungen durchzuführen, auch ohne vor Ort zu sein. Diese Pointcloud repräsentiert die Oberflächen von physischen Objekten oder Umgebungen. Pointclouds können generiert werden, indem Laserscanner oder bildgebende Technologien wie Photogrammetrie verwendet werden. Das Schloss wurde hauptsächlich mit einem Laserscanner aufgenommen und durch Photogrammetrie ergänzt.

Laserscanner senden Laserstrahlen aus und messen die Zeit, die benötigt wird, um von der Lichtquelle zur Oberfläche eines Objekts und zurückzugelangen. Basierend auf diesen Daten werden Punkte in der Pointcloud generiert. Die so erfassten Daten haben eine hohe Punktdichte, jedoch kann der Scanner nur die von der Lichtquelle direkt sichtbaren Oberflächen erfassen. Dies bedeutet, dass Bereiche, die durch Hindernisse verdeckt sind oder sich hinter anderen Oberflächen befinden, von Laserscannern nicht erfasst werden können.⁶ Insbesondere in komplexen Räumen erfordert die Erfassung dieser verdeckten Bereiche einen erheb-

6 vgl. Florent Poux, u.a., „3D Point Clouds in Archaeology: Advances in Acquisition, Processing and Knowledge Integration Applied to Quasi-Planar Objects“, *Geoscience* 7(4), 96 (September 2017): S.5, <https://doi.org/10.3390/geosciences7040096>.

lichen zusätzlichen Aufwand.⁵ Bei dem hier verwendeten Laserscanner handelt es sich um einen RIEGL VZ-400i. Damit können Entfernungen von bis zu 800 Meter erfasst werden mit 1,2 Millionen Punkten pro Sekunde.⁷

Photogrammetrie hingegen nutzt hochauflösende Bilder, um Pointclouds zu generieren. Wenn Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen werden, können Softwareprogramme Parallaxeneffekte nutzen, um 3D-Informationen zu extrahieren. Parallaxeneffekte treten auf, wenn sich die Position eines Objekts aufgrund unterschiedlicher Beobachtungsperspektiven oder Blickwinkel ändert. Diese Technik funktioniert sowohl mit herkömmlichen Kameras als auch mit Drohnen. Drohnenflüge können dabei ohne viel Aufwand Blickwinkel auf Bauteile ermöglichen, die durch 3D-Scanner nicht erreicht werden können. Sie eignet sich somit für hohe Fassaden, Dächer oder eine grundsätzliche Übersicht. Die Qualität der erzeugten Pointclouds hängt in hohem Maße von der Auflösung der Kamera und der Qualität der aufgenommenen Fotos ab. Dies bedeutet, dass die Auflösung der Kamera und die Bildqualität entscheidende Faktoren sind, die die Qualität der Pointcloud beeinflussen.⁸

Die erzeugten Pointclouds müssen im nächsten Schritt miteinander und mit einem gemeinsamen Koordinatensystem registriert werden. Dies stellt sicher, dass alle Daten korrekt ausgerichtet sind. Registrierungsalgorithmen werden verwendet, um die Überschneidungen und Beziehungen zwischen den verschiedenen Punktwolken zu bestimmen. Wurde bei der Aufnahme mit Satellitenveortung gearbeitet, dann kann dies im globalen Koordinatensystem umgesetzt werden. Die Fusion kann Rauschen und unerwünschte Artefakte erzeugen, die sich negativ auf die Qualität der Pointcloud auswirken. Aus diesem Grund ist es häufig erforderlich, die Daten durch einen Prozess der Datenaufbereitung und -filterung zu bereinigen, um eine präzise und saubere Pointcloud zu erhalten.

7 vgl. G. Konecny „UAVs and Terrestrial Laser Scanning for Building Documentation: A Complementary Workflow?“ *ISPRS Archives XLVI* (M1), 362-369 (2021): S.365, <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00897-5>.

8 vgl. „Riegl VZ-400i“, Riegl, aufgerufen am 17.10.2023. URL: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/48/>.



Abb. 16: Laserscanner bei der Bauaufnahme

Die Pointclouds werden im Dateiformat E57 bereitgestellt. E57 ist ein Dateiformat, das verwendet wird, um Scandaten effizient zu speichern und auszutauschen. Zudem ist es ein offenes und erweiterbares Dateiformat, dessen Spezifikationen von der ASTM (American Society for Testing and Materials) standardisiert sind. Es ermöglicht die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Softwareanwendungen und Plattformen, da es einen Standard für Datenorganisation bietet. E57-Dateien sind ideal für die Archivierung, Datenverarbeitung und Szenenverwaltung von Pointclouds. Sie werden importiert und exportiert, um Daten aus verschiedenen Quellen nahtlos zu integrieren und in Visualisierungs-, Simulations- und Analyseanwendungen zu verwenden. Die effiziente Datenkompression reduziert Dateigrößen, während die Datenqualität erhalten bleibt, was die Speicherung und den Datenaustausch erleichtert.⁹ E57 Dateien können direkt in Rhino Dateien importiert werden, wobei das Programm mit einem Projekt-Koordinatensystem arbeitet. Dieses wird in ein globales Koordinatensystem transformiert, wodurch die Information über die Verortung der Pointcloud erhalten bleibt.

9 vgl. „libE57: Software Tools for Managing E57 Files“, libE57, aufgerufen am 23.10.2023. URL: <http://libe57.org/index.html>

Möglichkeiten der Umsetzung in ein BIM-Modell

Da die Pointclouds nicht aus geschlossenen Flächen oder Volumina bestehen, müssen die vereinzelt Punkte für ein BIM-Modell übersetzt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, ein Mesh zu erstellen. Ein Mesh besteht aus Polygonen wie Dreiecken oder Vierecken und definiert die Oberfläche eines 3D-Objekts. Dazu müssen zuerst die in der Pointcloud enthaltenen Daten vorbereitet werden. Dies kann die Entfernung von Rauschen oder unerwünschten Punkten umfassen, um die Qualität der Daten zu verbessern. Die Pointcloud sollte dabei möglichst alle vorhandenen Oberflächen abdecken. Ein häufig verwendetes Verfahren zur Erzeugung eines Meshs aus einer Pointcloud ist die Triangulation. Dabei werden die Punkte in Dreiecke unterteilt, um die Oberfläche zu definieren. Dies kann mithilfe von Triangulationsalgorithmen durchgeführt werden.¹⁰

Aus den triangulierten Punkten und den berechneten Oberflächennormalen kann das Mesh erstellt werden. Obwohl das Mesh als Grundlage für ein BIM-Modell genutzt werden kann, bringt es einige Probleme mit sich. Meshes bestehen aus Vertices und Polygonen, die die Geometrie repräsentieren, aber keine semantischen Informationen über Bauelemente, Materialien, Strukturen oder Funktionalität enthalten. BIM-Modelle sind darauf ausgelegt, reichhaltige semantische Informationen zu speichern, die über die reine Geometrie hinausgehen. Wenn Änderungen am Gebäude vorgenommen werden, kann die Aktualisierung des Meshs zeitaufwendig und schwierig sein. In einem BIM-Modell können Änderungen

10 vgl. Timothy Nuttens, u.a., *Terrestrial laser scanning and digital photogrammetry for cultural heritage: An accuracy assessment* (FIG Working Week, Marrakesch, Marokko, 2011), S.15.

an einem Bauelement automatisch auf alle relevanten Stellen im Modell übertragen werden. Ein wesentlicher Aspekt von BIM-Modellen ist die Erfassung von Bauteileigenschaften wie Kosten, Herstellerdaten, Baustandards und Lebenszyklusinformationen. Ein Mesh enthält in der Regel keine solchen Informationen. Auch wenn die Grundstruktur theoretisch mit Informationen angereichert werden kann, entstehen durch das Mesh deutlich größere Datenmengen. Zudem ist der Prozess der Umwandlung in ein BIM-Modell im Revit-Kontext nur mit der Revit-Erweiterung Dynamo möglich. Dynamo ist eine visuelle Programmiersprache, die es ermöglicht, visuell parametrische Modelle zu erstellen, Prozesse zu automatisieren und Daten in Revit zu manipulieren. Das erhaltene BIM-Modell hat jedoch begrenzte Parameter und es fehlt eine explizite geometrische Beschreibung, da die automatische Erstellung von parametrischen Familien in Revit aus der Geometrie zu nicht editierbaren Festkörperelementen führt.¹¹

Die Alternative zur Erzeugung eines Meshs ist das Nachmodellieren der Pointcloud. Es gibt verschiedene Ansätze, die Pointcloud bei BIM zu rekonstruieren: manuelle Modellierungsvorgänge von Grund auf, halbautomatische Verfahren, durch Verwaltung von Querschnitten und Oberflächenextrusionen, und automatische Verfahren, um das Objekt gemäß der automatischen Oberflächenextraktion aus der Pointcloud neu aufzubauen. Automatische Verfahren sind auf lineare und homogene Oberflächen ausgelegt. Insbesondere aufgrund der stark variierenden geometrischen Eigenschaften historischer Gebäude ist in den meisten Fällen eine manuelle Neumodellierung erforderlich, da aufgrund erheblicher metrischer Unterschiede zwischen realen Objekten und virtuellen Rekonstruktionen keine automatische Erkennung verwendet werden kann.¹²

11 vgl. Xiucheng Yang u.a. „Mesh-to-BIM: from segmented mesh elements to BIM modell with limited parameters“ *ISPRS Archives XLII-2*, 1213–1218 (2018): S.1215, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-1213-2018>.

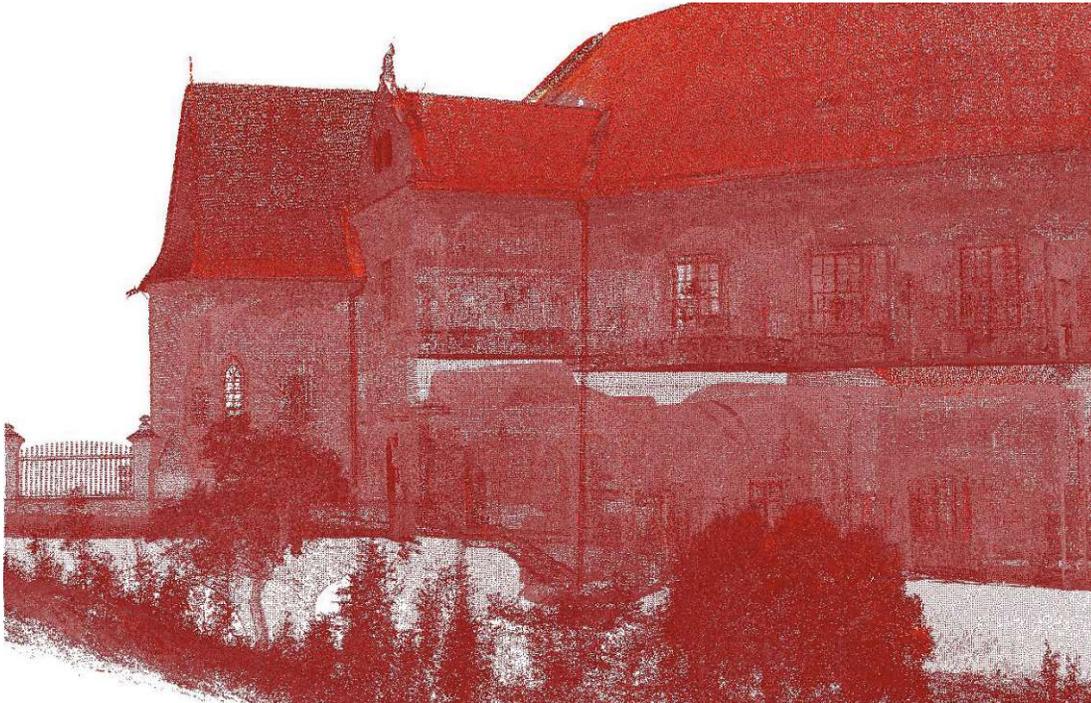


Abb. 17: Transparenz der Pointcloud durch Abstand der Punkte

Da der Fokus in verschiedenen Räumen auf gewissen Bauteilen liegen kann, kann eine Mischung aus halbautomatischen und manuellen Verfahren sinnvoll sein, es muss aber grundsätzlich betrachtet werden, worauf der Fokus liegt. Die verschiedenen Programme haben zudem unterschiedliche Grundausrichtungen.

12 vgl. Filiberto Chiabrando, u.a. „Modeling the decay in an HBIM Sstarting from 3D poinclouds.“ *ISPRS Archives XLII-2 W5*, 605–612 (2017): S.608, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-605-2017>.

BIM-Systeme im Vergleich

Funktion & Anwendung

Building Information Modeling (BIM)

BIM-Programme konzentrieren sich hauptsächlich auf die Erfassung und Verwaltung von Gebäudedaten und -informationen, einschließlich 3D-Geometrie, Materialien, Kosten, Zeitplanung und mehr. In BIM-Programmen liegt der Schwerpunkt auf der Schaffung intelligenter, parametrischer Gebäudemodelle, die weit über die reine Geometrie hinausgehen. Die meisten BIM-Programme repräsentieren die Geometrie durch parametrische 3D-Elemente. Zwar unterstützen manche Programme auch NURBS, jedoch liegt der Hauptfokus auf 3D-Elementen wie Wände, Decken, Treppen, Fenster, Türen und andere Bauteile.

Durch die vordefinierten 3D-Elemente sind BIM-Programme an einen Bauteilkatalog gebunden. Dieser ist eine umfassende Datenbank, die eine Vielzahl von standardisierten Bauteilen und Baustoffen enthält. Dies ermöglicht den Anwendern, schnell auf vordefinierte Komponenten zuzugreifen und diese in ihren BIM-Modellen zu verwenden, was die Effizienz und Konsistenz bei der Modellierung und Planung von Bauprojekten erhöht. Zudem können Baustoffhersteller Elemente wie Türen und Fenster bereitstellen.

Während das Importieren von Pointclouds in den meisten Programmen möglich ist und automatische Verfahren zur Oberflächenextraktion aus der Pointcloud angeboten werden, sind diese auf planare Flächen und einfache Geometrien begrenzt. Die Komplexität histori-

13 vgl. Luigi Barazzetti u.a. „From Laser Scans... Not Just for Buildings: NURBS-Based Parametric Modeling of a Medieval Bridge.“ *ISPRS Archives* III(5), 51–56 (2016): S.53, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-III-5-51-2016>.

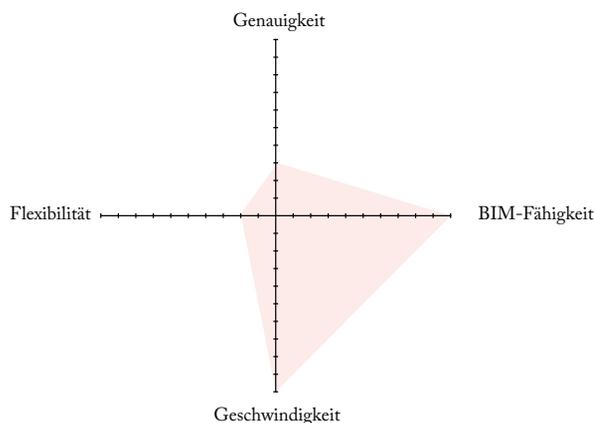


Abb. 18: eigene Einstufung BIM

scher Gebäude mit unregelmäßigen Formen, die nicht in vorhandenen Objektbibliotheken verfügbar sind, erfordert die Entwicklung von Verfahren für parametrische Modellierung, um den Mangel an kommerzieller Software zu überwinden, die das in den Laserscanning-Punktwolken eingebettete Detailniveau bewahren kann.¹³

Da aber genau diese Detailinformationen bei der Arbeit mit historischen Gebäuden wichtig sind, stoßen die Programme an ihre Grenzen. Um mit den unregelmäßigen Strukturen umzugehen, müssen parametrische Familien angelegt werden, die spezielle Bauteile eines Gebäudes widerspiegeln. Es ist erforderlich, die Details aufgrund der Komplexität und Vielfalt der Formen zu vereinfachen. In der Folge wird die Aufmerksamkeit auf spezielle Bauteile wie Nischen, Gewölbe oder Fenster gelegt, wobei die Elemente generalisiert werden und nur repräsentieren, was sich im Gebäude befindet, und nicht, was das Bauteil im Einzelnen ausmacht.¹⁴

Selbst wenn ein breit aufgestellter Bauteilkatalog für ein Gebäude bereitgestellt wird, können Details also nicht dargestellt werden. Zudem kann ein vordefinierter Bauteilkatalog immer nur eine gewisse Gebäudeart abdecken, wodurch dieser für jedes Projekt neu aufgesetzt werden muss. Der Grundgedanke der Effizienz hinter dem Bauteilkatalog geht dabei verloren.

14 vgl. Valeria Allegra u.a. „Scan-to-BIM for the Management of Heritage Buildings: The Case Study of the Castle of Mareldolce.“ *ISPRS Archives XLIII (B2)*, 1355–1362 (2020): S.1359, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1355-2020>.

Historic Building Information Modeling (HBIM)

HBIM-Programme sind spezialisierte Softwarelösungen, die darauf ausgerichtet sind, historische Gebäude und Denkmäler in digitaler Form zu modellieren und zu dokumentieren. Grundsätzlich funktionieren HBIM-Programme wie BIM-Programme bzw. basieren oft darauf. Programme wie Autodesk Revit, Archicad Heritage oder Edificius verfügen über einen angepassten Bauteilkatalog und erweiterte, NURBS-basierte Modellierfunktionen.

Die angepassten Anforderungen dieser Programme resultieren aus der Tatsache, dass die mangelnde Kompatibilität von BIM-Programmen mit historischen Gebäuden auf den unzureichenden Bauteilkatalog zurückgeführt wird.¹⁵ Einerseits stellen diese Programme spezielle Bauteile wie Bögen, Gewölbe oder Fenster zur Verfügung, andererseits sind diese Bauteile nicht statisch, was bedeutet, dass ihre Abmessungen und Geometrien durch zusätzliche Einstellmöglichkeiten angepasst werden können. Darüber hinaus bieten sie zusätzliche Tools zur Erfassung von Informationen für diese Bauteile. Bereitgestellte Texturen, Fotos oder 3D-Kartierungen von Oberflächenverfall, basierend auf 2D-Orthofotos, können auf die Fassadenelemente projiziert und interaktiv bearbeitet werden.

15 vgl. Bruno Nazarena u.a. „HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling“ *Remote Sensing* 11(15), 1751 (2019): S. 1751, <https://doi.org/10.3390/rs11151751>.

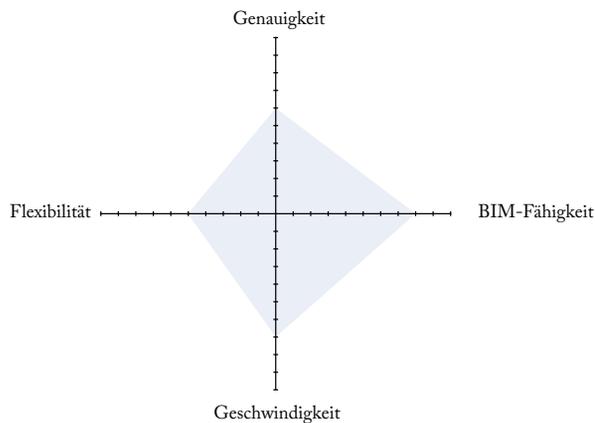


Abb. 19: eigene Einstufung HBIM

Obwohl die bereitgestellten Bauteile bereits ein komplexeres Spektrum abdecken, ist es immer noch notwendig, diese Bauteile zu simplifizieren. Einerseits können spezielle Bauteile nur bis zu einem gewissen Grad generalisiert werden, und andererseits erfolgt die Anpassung der Bauteile in der Regel nur über geometrische Faktoren. Das Erfassen der Tiefe von Öffnungen beispielsweise ist in diesem Workflow nicht möglich. Wenn man die Point Cloud als Grundlage des Modells betrachtet, enthält diese viele Informationen, die im HBIM-Modell verloren gehen.

Der Hauptvorteil spezialisierter HBIM-Programme liegt in den vordefinierten LODs der Bauteile. Diese ermöglichen eine konsistente Darstellung von 3D-Modellen und helfen, Datenmengen möglichst klein zu halten. Darüber hinaus können Informationen über das Gebäude oder einzelne Bauteile in vordefinierten LODs leichter aktualisiert werden.¹⁶ Die Modelle bleiben dank benutzerfreundlicher Oberflächen leichter zugänglich. Dennoch gestaltet sich die Berücksichtigung von Unregelmäßigkeiten und Besonderheiten der Substanz in solchen vordefinierten LODs als schwierig.

16 vgl. Junshan Liu u.a. „Integrating Stakeholders’ Priorities into Level of Development Supplemental Guidelines for HBIM Implementation“ *Buildings* 13(2), 530 (2023): S.530, <https://doi.org/10.3390/buildings13020530>.

Rhino.inside.Revit

Obwohl Rhino an sich nicht BIM-fähig ist, ermöglicht das Plug-in Rhino.inside.Revit eine nahtlose Zusammenarbeit zwischen den beiden Programmen. Revit ist gegenüber Rhino eine gängige, spezialisierte BIM-Software. Modelle können über Rhino oder Grasshopper, eine visuelle Programmiersprache und Erweiterung für Rhino, die es ermöglicht, komplexe geometrische Formen und Prozesse zu erstellen und zu automatisieren, in Echtzeit in Revit bearbeitet werden. Der grundlegende Unterschied zwischen Rhino und BIM-Programmen liegt im Anwendungsgebiet und der Ausrichtung. Rhino ist ein 3D-Modellierungstool, das auf freier Formgebung und NURBS-Modellierung basiert. Dadurch bietet es große Freiheit bei der Modellierung und eignet sich besonders gut für die Gestaltung und das Modellieren von komplexen Formen und organischen Strukturen. Der große Vorteil dabei ist, dass komplexe 3D-Strukturen wie Gewölbe, organische Formen und strukturierte Oberflächen detailliert modelliert werden können. Zudem ist die Fusion von NURBS-Oberflächen möglich, sodass die Erstellung von nahtlosen Verbindungen zwischen verschiedenen Bauteilen möglich ist und verschiedene geometrische Formen kombiniert werden können. Dadurch können technisch sämtliche Bauteile in hoher Präzision modelliert werden, da jedes im Einzelnen rekonstruiert werden muss.¹⁷

17 vgl. „Getting Started with Rhino.Inside.Revit: What is Rhino.Inside.Revit“, Robert McNeel & Associates, aufgerufen am 10.07.2023. URL: <https://www.rhino3d.com/inside/revit/1.0/getting-started>.

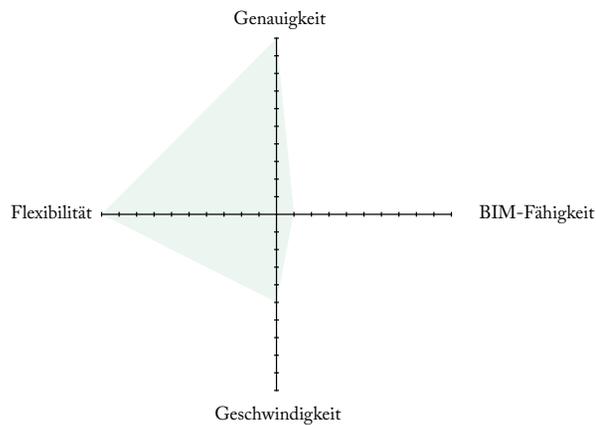


Abb. 20: eigene Einstufung Rhino

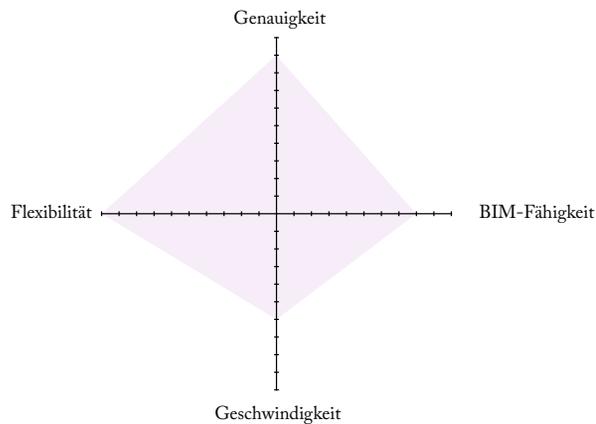


Abb. 21: eigene Einstufung R.i.R

Der Nachteil gegenüber herkömmlichen BIM-Programmen ist, dass es kein Programmgebundenes, vordefiniertes LOD der Bauteile gibt. Zwar verwendet Revit in der Regel parametrische BIM-Geometrien, die aus Bauteilen und parametrischen Formen bestehen, jedoch werden NURBS unterstützt. Daher können alle in Rhino erzeugten Formen und Geometrien problemlos importiert werden. Wird auf Basis der Pointcloud in Rhino modelliert, dann ist grundlegend ein breites Spektrum an Informationen vorhanden. Das Erstellen des Modells ist durch halbautomatische und manuelle Modellierprozesse möglich.

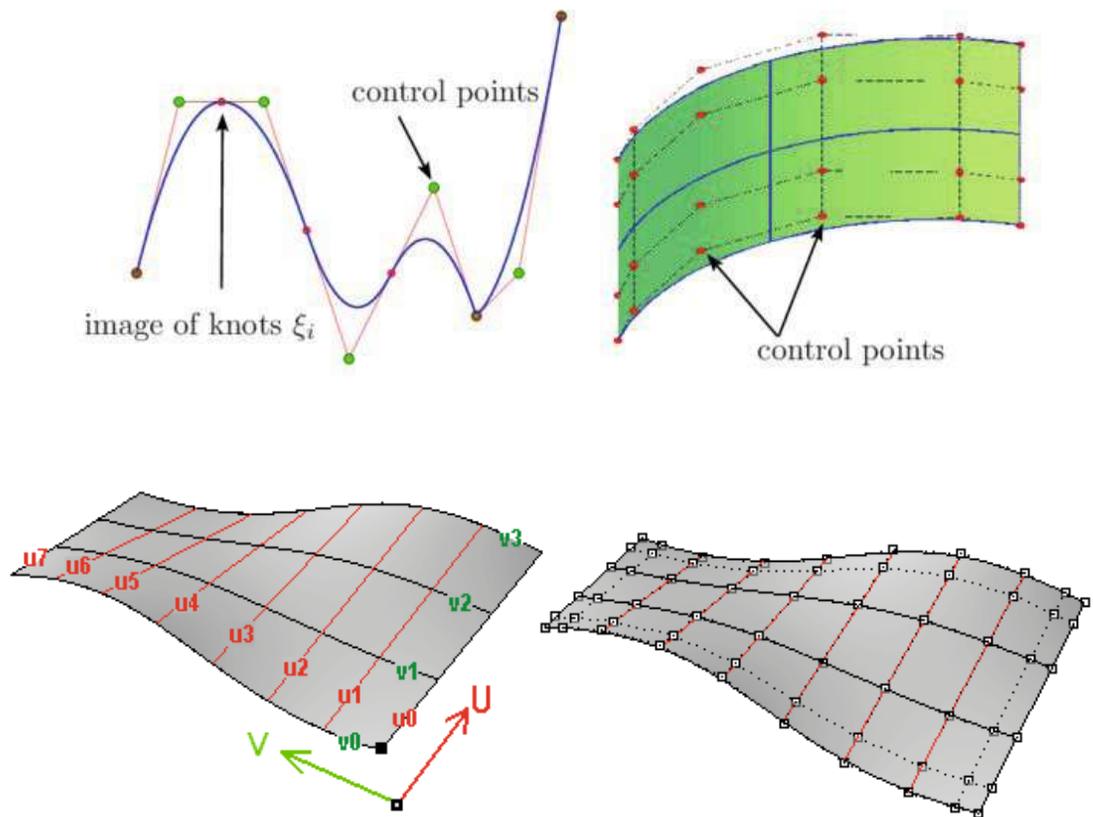


Abb. 22: 2D- und 3D-Aufbau von NURBS nach Nguyen

NURBS, oder Non-Uniform Rational B-Splines, sind mathematische Kurven und Flächen zur Darstellung von komplexen Formen in Computergrafik und CAD-Software. Sie werden durch eine Reihe von Kontrollpunkten definiert, die die Form der Kurve oder Fläche beeinflussen. Jeder Kontrollpunkt hat ein Gewicht, was die Stärke seines Einflusses bestimmt. Die Bezeichnung "nicht-uniform" bedeutet, dass die Abstände zwischen den Kontrollpunkten variabel sein können. "Rational" ermöglicht die Anpassung der Kurven und Flächen durch die Gewichtung der Punkte. NURBS sind mathematisch glatt und unterstützen komplexe, präzise Formen. Sie bieten exakte Interpolation, was bedeutet, dass sie präzise durch die Kontrollpunkte verlaufen können.¹⁸

18 vgl. Vinh Phu Nguyen u.a. „Two- and three-dimensional isogeometric cohesive elements for composite delamination analysis“ *Composites Part B: Engineering* 60, 193-212 (2014): S.195, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.12.018>.

Je nach Erhaltungszustand des Gebäudes, sind Geometrien und Nutzungsansprüche an das Modell unterschiedlich. Archäologische Arbeiten haben einen anderen Anspruch an den Detailgrad als denkmalgeschützte Zinshäuser. Das führt dazu, dass für das LOD individuelle Lösungen für jedes Projekt durch eine Testphase erprobt werden muss. Durch das LOD wird bestimmt, welche Informationen für Bauteile und das Gebäude von Bedeutung sind.

TYPE	NURBS MODEL (.3dm)	HBIM OBJECT (.rvt)
VAULT	448 KB	5 MB
ARCH	116 KB	800 KB
COLUMN	504 KB	4,9 MB
SIMPLE WALL	82 KB	750 KB
COMPLEX WALL	3 MB	37 MB
ENTIRE MODEL	270 MB	1,56 GB

Abb. 23: Vergleich: Dateigröße NURBS & BIM-Objekte nach Fabrizio Banfi

Ist das LOD der Bauteile einmal festgelegt, bietet das NURBS-Modell den Vorteil, dass die Dateigröße im Vergleich zu der von vordefinierten Bauteilen um ein Vielfaches kleiner ist. Obwohl die NURBS-Modelle in einem späteren Schritt in BIM-Bauteile übersetzt werden, bietet die kleinere Dateigröße während des rechenintensiven Modellierprozesses, insbesondere bei großen Modellen, mehr Rechenleistung, sodass die Dateien von den Computern besser verarbeitet werden können. Die in der Tabelle dargestellten Werte beziehen sich auf eine detaillierte Rekonstruktion der Basilika von Sant' Ambrogio.¹⁹

19 vgl. Fabrizio Banfi u.a. „Extended reality and informative models for the architectural heritage: from scan-to-BIM process to virtual and augmented reality“ *Virtual Archeology Review* 10(21),14 (Juli 2019): S.25-26, 10.4995/var.2019.11923.

Informationsgehalt im Modell

LOD bei HBIM

LOD - Forschungsstand

Der Begriff „LOD“ steht für „Level of Detail“ oder „Level of Development“. Aufgrund verschiedener Interpretationsansätze werden für LOD auch alternative Abkürzungen wie „LOG“ für „Level of Geometry“ oder „LOA“ für „Level of Accuracy“ verwendet, die jedoch die gleiche Bedeutung haben. Dieser Begriff wird insbesondere im Bereich von BIM, wie z. B. in der Computergrafik und 3D-Modellierung, verwendet. Bei herkömmlichen BIM-Modellen beschreibt LOD den Informationsumfang des Modells. Das LOD wird im Verlauf des Bauprozesses kontinuierlich angepasst. Der Detaillierungsgrad wird dabei von verschiedenen Institutionen vorgegeben um die reibungslose Zusammenarbeit aller Gewerke am BIM-Modell sicherzustellen. Nationale Normungsgremien wie das Deutsche Institut für Normung (DIN) in Deutschland, das American National Standards Institute (ANSI) in den USA und das British Standards Institution (BSI) im Vereinigten Königreich spielen eine bedeutende Rolle bei der Festlegung von BIM-Standards auf nationaler Ebene. BuildingSMART und die International Organization for Standardization (ISO) sind internationale Organisationen, die sich auf die Entwicklung und Förderung von offenen BIM-Standards konzentrieren. Ein Beispiel hierfür ist die ISO 19650-Reihe, die sich mit BIM-Management und Informationsverwaltung befasst.²⁰

Die von diesen Institutionen definierten Systeme basieren auf einem Modell, das den kontinuierlich steigenden Detailgrad im Bauprozess begleitet.

20 vgl. Janakiram Karlapudi u.a., *„Ontological approach for LOD-sensitive BIM-data management“* (LDAC2021, Belval, Luxembourg, 2021), S.105.

UK LOD	US LOD	DESCRIPTION	CONTENT
1		Brief	A model communicating the performance requirements and site constraints. Building models would be block models only
2	LOD 100	Concept	Conceptual or massing model including basic areas and volumes, orientation and cost. In the RIBA Plan of Work, this is equivalent to stage 2
3	LOD 200	Developed design	A design development model, "generalized systems with approximate quantities, size, shape, location and orientation." Equivalent to RIBA stage 3
4	LOD 300	Production	Equivalent to RIBA stage 4. Production, or pre-construction, "design intent" model representing the end of the design stages. Modelled elements are accurate and coordinated, suitable for cost estimation and regulatory compliance checks.
5	LOD 400	Installation	Model suitable for fabrication and assembly, with accurate model of the construction requirements and specific components, including specialist sub-contract geometry and data.
6	LOD 500	As Built	An "as built" model showing the project as it has been constructed. The model and associated data is suitable for maintenance and operations of the facility.
7		In Use	Asset Information Model used for ongoing operations, maintenance and performance monitoring

Abb. 24: LOD Struktur nach US & UK Standard nach AIA building SMART

Die Bezeichnungen „LOD 100-500“ repräsentieren verschiedene Stufen in Bezug auf die Darstellung von 3D-Modellen. Wie in der Abbildung zu sehen ist, ist der Umfang in jedem Schritt klar definiert und umfasst den gesamten Prozess von Baubeginn bis zur Instandhaltung des fertigen Gebäudes. Diese Systeme berücksichtigen auch zusätzliche Zwischenstufen wie LOD 125 oder LOD 350. Die Wahl zwischen LOD 125 und LOD 350 hängt von den Anforderungen eines bestimmten BIM-Projekts oder einer spezifischen Phase innerhalb eines Projekts ab und kann ergänzt werden.²¹

LOD 100 repräsentiert die grundlegende Stufe, die einen schematischen Entwurf eines Gebäudes oder einer Struktur darstellt. Es enthält grundlegende Informationen zur Form und Lage, ist jedoch nicht detailliert und enthält keine spezifischen Maße. Bei LOD 200 werden

21 vgl. „AIA buildingSMART Austria“, buildingSMART, aufgerufen am 13.10.2023. URL: https://www.buildingsmart.co.at/wp-content/uploads/2020/12/2020050_AIA-buildingSMART-Austria-_Webinar.pdf.

weitere Informationen hinzugefügt, einschließlich räumlicher Lage, Abmessungen und der allgemeinen Form des Gebäudes. Dies ermöglicht eine grobe Vorstellung davon, wie das Gebäude aussehen wird. Bei LOD 300 erfolgt eine detaillierte Darstellung des Gebäudes, einschließlich genauer Abmessungen und der Position von Bauteilen wie Wänden, Fenstern, Türen und anderen wichtigen Elementen. Dies ist eine Stufe, die oft für die Planung und das Design verwendet wird. Beim LOD 400 werden zusätzliche Informationen zur Konstruktion hinzugefügt, einschließlich Materialien, struktureller Integrität und anderen wichtigen Aspekten. Es ist besonders nützlich für die Bauplanung und -ausführung. LOD 500 umfasst Informationen zur Betriebs- und Wartungsphase des Gebäudes und enthält Details zu Installationen, Wartungshinweisen und anderen relevanten Daten, die während des gesamten Lebenszyklus des Gebäudes von Bedeutung sind.²²

Insgesamt ist dieses System eine Methode, die den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojekts abdeckt, angefangen bei der Konzeptentwicklung und Planung bis zur Konstruktion und der späteren Instandhaltung des Gebäudes. Die Strukturen sind dabei darauf ausgerichtet, den kontinuierlich wachsenden Informationsgehalt im Laufe des Bauprozesses zu begleiten.

Der wesentliche Unterschied zu HBIM besteht darin, dass zu Beginn des Modellierungsprozesses die gesamte Gebäudestruktur bereits existiert. Neben den Herausforderungen komplexerer Geometrien, einer Vielzahl von Materialien und den verschiedenen Zuständen des Gebäudes, bei denen herkömmliche BIM-Werkzeuge an ihre Grenzen stoßen, sind auch die international gängigen Struktursysteme aufgrund ihrer grundlegenden Ausrichtung nicht auf HBIM-Modelle anwendbar. Die LOD-Stufen definieren den Informationsgehalt des Modells, welcher bei HBIM-Modellen abhängig von dem Zweck ist. Es gibt dazu verschiedene Ansätze, die den Aufbau des Informationsgehalts definieren. Alternativvorschläge zum Aufbau können verschiedene Faktoren der Struktur des Modells berücksichtigen wie Historische Genauigkeitsstufen, Perioden, denkmalpflegerische Werte, Materialien und Techniken. Dabei ist vor allem der Zweck des Modells für das gewählte LOD ausschlaggebend. Um den Detaillierungsgrad des Modells zu klassifizieren, wird eine Querschnittsanalyse unterschiedlicher Ansätze durchgeführt.

22 vgl. „BIM Regelwerk (AIA+BAP)“, buildingSMART, aufgerufen am 13.10.2023. URL: <https://www.buildingsmart.co.at/wp-content/uploads/2020/12/BIM-Regelwerk-AIABAP-2020.08.20-V1.0322305843009224465678.pdf>.

LOK - Level of Knowledge

Im Artikel „HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez“ wird eine Vorgehensweise gezeigt, die auf die strategische Planung des Denkmalmanagements abzielt. Diese wurde in vier aufeinanderfolgenden Phasen entwickelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Gebäude starke Beschädigungen hat und in großen Teilen rekonstruiert werden muss. Um die ursprüngliche Struktur des Gebäudes nachvollziehen zu können, beinhaltet der Workflow eine historische Aufarbeitung. In der ersten Phase erfolgte daher die Überprüfung der dokumentarischen Quellen, um ein möglichst umfassendes Informationsarchiv zu erstellen, das die notwendigen Daten für die Modellierung des Klosters lieferte. Dieses Archiv wurde als „Heritage Building Information Repository“ (HBIR) bezeichnet. Die zweite Phase beinhaltete die Nutzung des Gebäudes selbst als zusätzliche dokumentarische Quelle, indem man die physischen Spuren analysierte, die die in den Dokumenten gefundenen Informationen bestätigten oder widerlegten. Die dritte Phase konzentrierte sich auf die architektonische Analyse, die darauf abzielte, die Gestaltungs- und Bauprozesse sowie die architektonischen Raumkonzepte, die darin verankert sind, zu interpretieren. Schließlich wurde in der vierten Phase das HBIM-Modell erstellt und der Bauvorgang virtuell getestet.²³

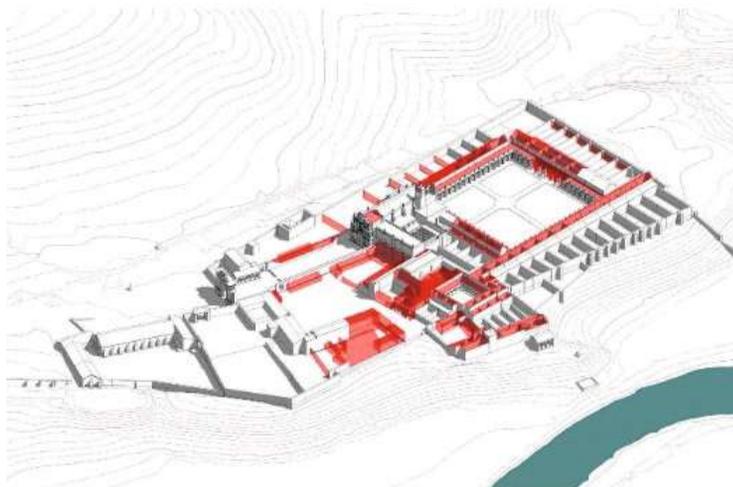


Abb. 25: HBIM-Modell vom Charterhouse von Jerez - Beschädigungen nach Donato

23 vgl. M. Castellano-Román u.a. „HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)“ *ISPRS Archives XLII-2 (W15)*, 285–290 (2019): S.287, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-285-2019>.

Die Frage der Erhaltung des Charterhouse, wie es sich für ein äußerst komplexes Monument gehört, muss in verschiedenen Entwicklungsstufen unterteilt werden. Diese Forschung befasst sich mit der Voruntersuchung, der Wissensgenerierung sowie der präventiven Erhaltung und Interventionsplanung. Daher wurden Parameter festgelegt, die sich mit der Schwere der Schäden an den Hauptstrukturen und der Dringlichkeit der Interventionen befassen.²⁴ Für die Zwecke dieser Forschung wurden vier Schadensstufen festgelegt:

Maximum: Unmittelbar bevorstehender Verfall

High: Schwere Schäden, Beeinträchtigung der Sicherheit

Medium: Bedeutende Schäden, keine Beeinträchtigung der Sicherheit

Low: Anfängliche, wiederherstellbare Schäden

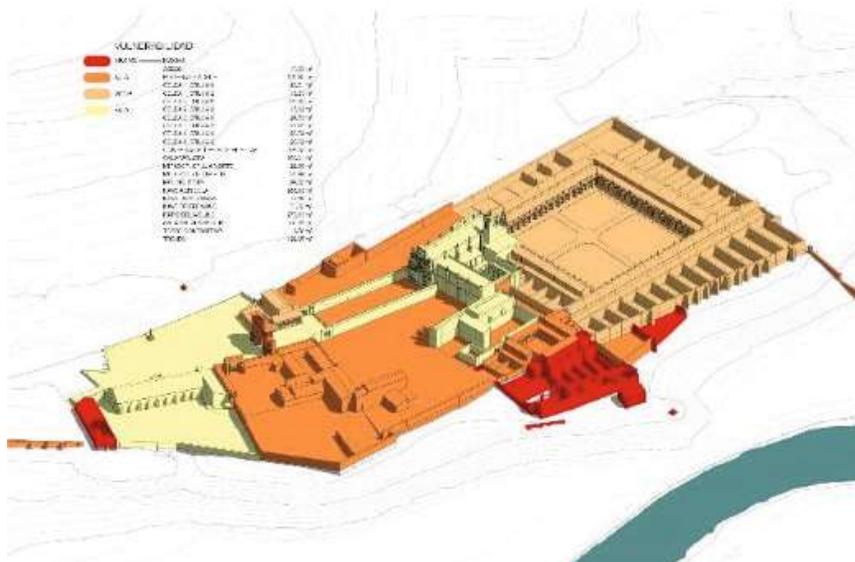


Abb. 26: HBIM-Modell vom Charterhouse von Jerez - Verfall nach Donato

Der Aufbau des Modells beinhaltet die rekonstruierte Gebäudestruktur und unterteilt in den Erhaltungszustand des Gebäudes. Dabei stehen vor allem Gebäudevolumen im Vordergrund, die exakte Rekonstruktion der Geometrien ist nicht erforderlich. Die Datei umfasst zusätzlich historisches Planmaterial. Das LOD fokussiert sich auf die Verfallstufen des Gebäudes

24 vgl. Castellano-Román „HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)“, S.285–290.

und fokussiert sich auf die Nachvollziehbarkeit der historischen Entwicklung, wobei denkmalpflegerische und restauratorische Arbeiten grob kartiert werden.

BOM - Building Object Model

Building Object Model ist ein Konzept im Kontext des Building Information Modeling, das sich ausschließlich auf die detaillierte digitale Repräsentation von Objekten und deren Eigenschaften bezieht und mit Stücklisten der Bauteile arbeitet. Es konzentriert sich auf einen Teil des umfassenderen BIM-Modells und beinhaltet die Modellierung und Verwaltung von einzelnen Bauteilen oder Objekten innerhalb eines Gebäudes. Dieses Konzept beleuchtet somit mehr die Geometrischen Eigenschaften und Materialität, andere Informationen werden gezielt herausgefiltert. Dabei muss ein Ausgleich zwischen geometrischer Genauigkeit und dem endgültigen Zweck gefunden werden. Da sich dieser Ansatz vor allem auf die Konstellation von Flächen, Wanddicken und Raumvolumen stützt, und nicht den reinen Bauprozess, bietet es sich zur Aufnahme von historischen Bauten an. Wenn es nicht notwendig ist, Vermessungsdokumente zu erstellen, können zulasten der metrischen Genauigkeit vereinfachte BOMs verwendet werden, die alle physischen und numerischen Daten enthalten, um die Interoperabilität mit externer Software sicherzustellen. In Bezug auf die Berechnung können zwei verschiedene BOM-LOD-Punkte das Potenzial haben, im Wesentlichen dieselben Ergebnisse zu erzielen, sofern die erforderlichen Daten in der vereinfachten Geometrie enthalten sind.²⁵

Die Erstellung eines BOM (Stückliste) für historische Gebäude bedeutet sicherzustellen, dass die Fähigkeit zur automatischen Änderung des LOD gewährleistet ist. Eine mögliche Methode könnte sein, mehrere Modelle, die verschiedene LODs repräsentieren, an derselben Position zu überlappen. Der erste Schritt bei der Erstellung einer BOM besteht darin, die äußeren Volumen zu identifizieren, die aufeinanderfolgende detaillierte Elemente umgeben.

25 vgl. Vincenzo Donato, u.a., „Building Object Models (BOMs) for the documentation of historical building heritage“ *Appl Geomat* 13, 29–54 (Januar 2014): S.27, 10.13140/RG.2.1.1108.2005.

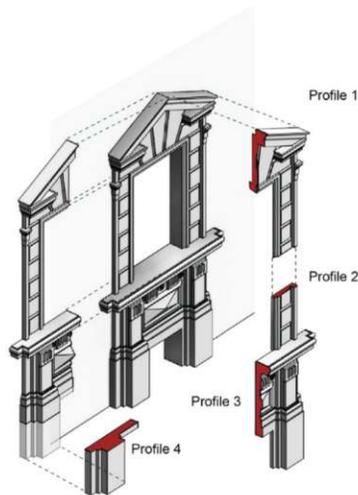


Abb. 27: HBIM-Bauteil mit Aufteilung nach Donato

Durch das gezielte Herausfiltern von Informationen, wird ein vereinfachtes Modell des Gebäudes erstellt und im Anschluss zerstückelt, sodass es alle notwendigen Informationen beinhaltet. Dieser Ansatz eignet sich vor allem für Berechnungen des Gebäudes wie Flächenaufmaß, gebäudetechnische Analysen und Statik. Es reduziert gezielt auf die Geometrie, beinhaltet aber nicht Informationen zu Beschädigungen, Bauphasen oder Details wie Ornamenten. Zudem eignen sich die Modelle vor allem für vollständig erhaltene Bauten, für Ruinen ist es nicht geeignet.²⁶

GOA - Goal Oriented Approach

GOA beschreibt einen zielorientierten Ansatz in BIM und bezieht sich auf die Festlegung konkreter Ziele und Anforderungen für ein Bauprojekt und darauf, wie die BIM-Methodik verwendet wird, um diese Ziele zu erreichen.

Im Kontext historischer Bauten kann dies bedeuten, dass GOA als Einstufung genutzt wird, um den Detailgrad des ausgewählten Bauteils vor dem Modellieren zu bestimmen. Der Vorschlag nach Raffaella Brumana im Artikel „Models and scales for quality cont-

²⁶ vgl. Donato „Building Object Models (BOMs) for the documentation of historical building heritage“, S.9.

rol: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment“ ist, verschiedene Stufen des GOA zu definieren und die Bauteile danach einzustufen.

Der Skalenindex eines Objektmodells wird hier vorgesehen, um durch den Grad der Genauigkeit (GOA10, GOA20, GOA50, GOA100) zu erläutern, der automatisch die verschiedenen Mindestdetails und Toleranzen definiert, die bei der Modellerstellung berücksichtigt werden. Danach bedeutet GOA20, dass die Genauigkeit des Modells von Gewölben sowie anderer Komponenten im Vergleich zu den Punktwolken innerhalb der Toleranz dieser Skala liegen muss. Die Präzision der Vermessung, wie im Fall von mit einem Laserscan erfassten Punktwolken, ermöglicht die Extraktion von vertikalen und horizontalen Profilen mit hoher Genauigkeit, was somit den Skalen GOA20 und GOA50 entspricht. Wird eine Modellskala gewählt, die größer ist als die Genauigkeit der Vermessung, wird dies zugunsten des zu erstellenden Objektmodells wirken.²⁷

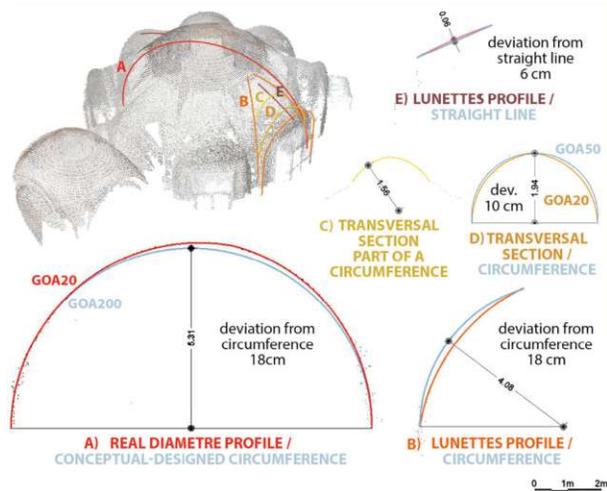


Abb. 28: Bestimmung des GOA nach Brumana

Das System zielt vor allem auf die Bestimmung der Genauigkeit bei der Rekonstruktion der Pointcloud ab. Zusammenfassend können so die „Grundformen“ nützlich sein, um die Elemente zu vergleichen und die konstruktive Entstehung eines Bauteils zu verstehen. Der

27 vgl. Raffaella Brumana u.a. „Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment“ *Appl Geomat* 14 (Suppl 1), 151–179 (März 2022): S.155, <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00351-2>.

Fokus liegt vor allem auf der exakten Rekonstruktion der Oberfläche von Bauteilen, diese sind nicht direkt BIM-fähig, Raumgrößen und Beziehungen können aber dadurch nachvollzogen werden. Die Ansprüche definieren die benötigte Genauigkeit des Bauteils.

LOG - Level of Geometry

Während die bisherigen Vorschläge zum Aufbau des Modells auf sehr spezifische Themen abzielen, wird beim LOG versucht den herkömmlichen BIM-Aufbau im vollen Umfang auf historische Bauten zu übertragen. Hier besteht das Potential, zuvor vorgestellte Workflows miteinander zu verbinden und wenn benötigt auf das gewählte Bauteil anzuwenden.

LOGs werden im HBIM-Bereich vorgeschlagen und auf die Erstellung einer Gewölbeobjektbibliothek angewendet, die nach dem Prozess geteilt werden könnte. Das System soll so eine umfassende Bibliothek mit Bauteilen konstant anreichern, die dann auf zukünftige Projekte angewendet werden kann.²⁸

Die HBIM-Geometriestufe sollte als eine Funktion der Entwicklungsphasen (LOD) verstanden werden. Diese wird hier vorgeschlagen und an die Anforderungen von HBIM angepasst. Von den analytischen und gestalterischen Phasen, die von verschiedenen Akteur*innen und Betreiber*innen geleitet werden, bis hin zu den Phasen der Baustellenverwaltung, Wartung und Kommunikation, ist alles abgedeckt. Die Phasen, die im Wissensprozess zur Erstellung eines Erhaltungsplans unerlässlich sind, fehlen völlig in der beschriebenen Geometriestufe für den BIM-Bau. Die verschiedenen Grade der Genauigkeit (GOA), die von komplexen Modellen bis zu deren Vereinfachung reichen, können innerhalb der sogenannten Entwicklungsphasen und Geometriestufen gewählt werden, abhängig von der Orientierung des Modells. Der Fortschritt der verschiedenen Geometriestufen innerhalb der Entwicklungsstufen basiert auf der BIM-Logik des Neubaus, wird jedoch im Kontext des HBIM

28 vgl. Brumana „Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment“, S.14.

spezifiziert und um neue Vorschläge erweitert (LOG 100–600).²⁹ Gleichzeitig erfolgt eine erste vorläufige Beschreibung des Standardisierungsprozesses für die verschiedenen HBIM LOGs im Bereich des historischen Erbes. Da ein Kulturerbe-Objekt hohen Aufwand erfordert, um Wissen und Details zu sammeln und Entscheidungsprozesse zu unterstützen oder nachhaltige und zuverlässige Lösungen in der Entwurfsphase vorzuschlagen oder es zu erhalten, erfolgt die Anpassung der LODs und LOGs wie folgt:

LEVEL OF DEVELOPMENT (PROCESS PHASES)					
LOD 100 PRE DESIGN	LOD 200 DIGITAL DOCUMENTATION	LOD 300 AS-FOUND HBIM MODEL	LOD 400 DESIGN DEVELOPMENT CONSERVATION PLAN	LOD 500 CONSTRUCTION STAGE	LOD 600 FACILITY MANAGEMENT
REQUIRED HBIM LEVEL OF GEOMETRY					
LOG 100 CONCEPTUAL MODEL, HISTORICAL REPORTS, ARCHIVES	LOG 200 APPROPRIATE GEOMETRY, 3D SURVEY, DATA ACQUISITION	LOG 300 PRECISE GEOMETRY, SCAN-to-BIM MODEL OBJECT	LOG 400 BIM USES CONSERVATION PLAN	LOG 500 CONSERVATION SITE	LOG 600 AS-BUILT, LLCM, CDE, HUBs
<i>historical building contracts, historical drawings, historical documentation (pictures, photos and documents)</i>	<i>on-site data acquisition, 3D surveying, 2D/3D restitutions (plans and sections, 3D meshes)</i>	<i>object modeling, precise drawing extraction</i>	<i>material/decay mapping, diagnostics IRT, NTD, BIM-to-FEA, energy analysis, BIM implants, on- site construction management, WBS and computation</i>	<i>on-site construction interventions of conservation</i>	<i>Life Cycle Cost Management and Monitoring, VR and sensor-based communication purposes</i>

Abb. 29: Vergleich des Aufbaus von LOD & LOG nach Brumana

Die LOD100 (Vorentwurf) wird auf das LOG100 „Konzeptmodell, historische Berichte und Archive“ ausgerichtet. Anstelle der schematischen Entwurfsphase wird eine „Digitale Dokumentationsphase“ (LOG200) hinzugefügt, die die „Angemessene Geometrie, 3D-Vermessung, Datenerfassung durch Vermessung und Datensammlung vor Ort“ beschreibt. Ein neues „Wie-gefunden-HBIM-Modell“ (LOG300) mit einem „Präzisen Geometrie-SCAN-to-BIM-Modellobjekt“ (LOG300) für die HBIM-Modellierungsphase wird eingeführt. Die

29 vgl. Brumana „Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment“, S.15.

Wahl und Verwendung einer oder mehrerer Skalen zur Modellierung in LOG300 hängt von Kontext, Geometrie und Zweck ab. Die LOD400 (Entwicklungsdesign - Konservierungsplan) wird auf die HBIM-Nutzung für den „Konservierungsplan“ (LOG400) verschoben und angepasst. Die LOD500 (Bauabschnitt) und das LOG500 „Konservierungsort“ wird auf die HBIM-Baustelle verschoben und angepasst. Die LOD600 (Facility Management) wird durch das LOG600 „As-Built, LLCM, CDE, HUBs“ implementiert und auf den Management-, Überwachungs- und Kommunikationsprozess in der Cloud ausgerichtet.³⁰

Das übergeordnete System ist in Kombination mit dem zuvor beschriebenen GOA zum Modellieren von Bauteilen angedacht. Es versucht die Grundfunktion bezüglich Wartung und Instandhaltung eines BIM-Modells auf die HBIM-Spezifikationen anzupassen. Ein großer Vorteil dabei ist, dass verschiedene Stadien unterschiedliche Detaillierungsgrade, ähnlich der herkömmlichen LOD-Unterteilung, berücksichtige. Von einer Grundstruktur (LOG 100) ausgehend, kann das Modell über einen längeren Zeitraum immer weiterentwickelt werden.

GOG - Grade of Generation

GOG steht für „Grade of Generation.“ Das System basiert grundsätzlich auf einer Punktwolke als Grundlage und der anschließenden Nachmodellierung dieser durch ein NURBS-basiertes Programm. Anhand der vorgeschlagenen Kategorien wurden interne Modellierungsbefehle analysiert und schrittweise eine einfache und intuitive Referenzskala definiert. Ein Gesamtmodell kann vollständig durch GOG 1 charakterisiert werden oder durch die Kombination aller GOGs (von 1 bis 10). Sie können in derselben BIM-Umgebung harmonisch koexistieren und für mehr Stabilität bei der 3D-Rekonstruktion sorgen. Die Vorteile eines Systems, das Informationen zu jedem einzelnen architektonischen und strukturellen Element hinzufügen kann, sollen dann erzielt werden, wenn jedes einzelne Element realisiert wird. Dies soll es ermöglichen, sich in die BIM-Logik einzuloggen, um Informationen zu

30 vgl. Brumana, u.a., „Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment“, S.16.

erstellen und jedes Element automatisch zu berechnen, wodurch ein parametrisches Informationsmanagementsystem erhalten bleibt. Das System baut daher auf das NURBS-basierte Modellieren auf, und die dadurch generierten Modelle werden im Nachgang mit Informationen angereichert. GOG 1-8 beschreiben den Detailgrad im modellierten Modell, während GOG 9 und 10 sich auf automatisierte Modellierprozesse beziehen.³¹

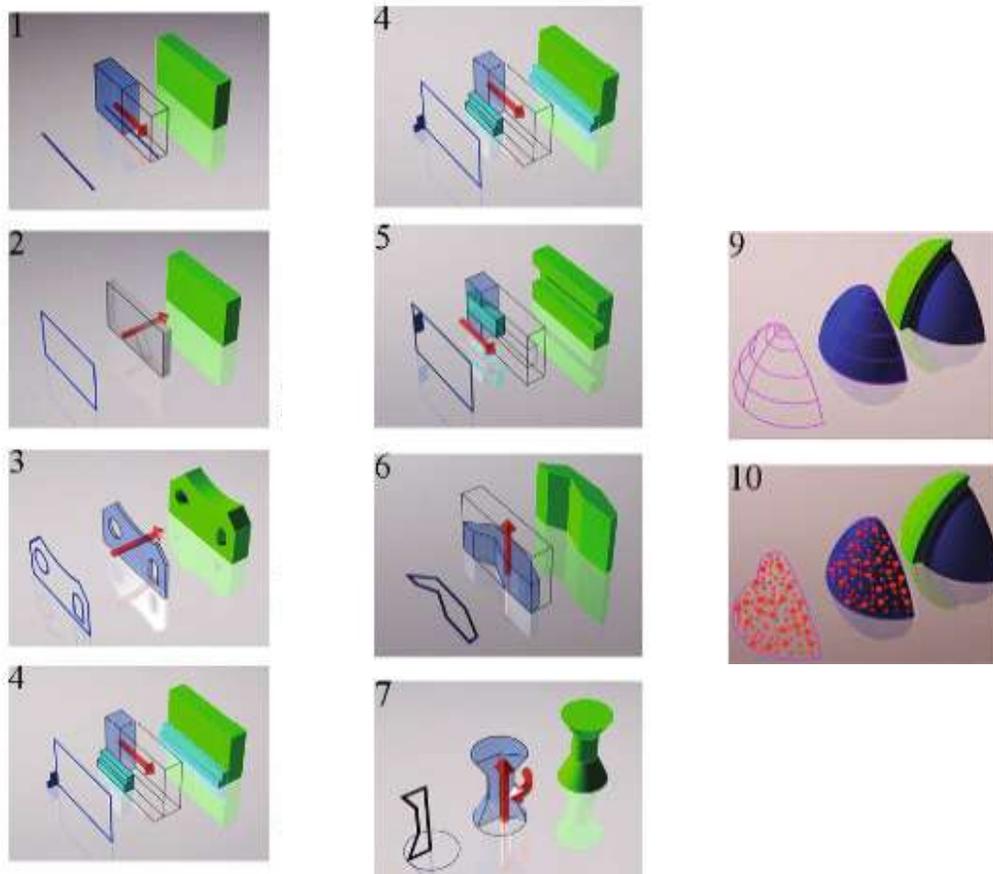


Abb. 30: GOG-Stufen nach Banfi

Die traditionelle Definition von LOD sollte nicht mit den verschiedenen GOG verwechselt werden. Diese Grade repräsentieren Phasen, in denen verschiedene Experten sich mit verschiedenen Arten von Analysen befassen müssen, während LODs spezifische Anforderungen für Unter-BIM-Bereiche beschreiben.

31 vgl. Fabrizio Banfi, „BIM Orientation: Grades of generation and Information for different Type of Analysis and Management Process“ *ISPRS Archives XLII-2 (W5)*, 57–64 (2017): S.61, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>.

Das System wird durch das GOI (Grade of Information) ergänzt. Diese Ergänzung dient dazu, den Informationsgrad des NURBS-basierten Modells zu bemessen. Diese Ergänzung ist wie folgt definiert:

In GOI 01 wird Information für architektonische und strukturelle Elemente definiert, einschließlich Verwendung, Abmessungen, Identitätsdaten, Phasen, Funktion und Materialdetails. GOI 02 erhöht das Informationsniveau mit analytischen Eigenschaften, Materialdaten, Erscheinungsbild und Grafikspezifikationen. GOI 03 führte ein cloudbasiertes System zur gemeinsamen Wissensverbesserung im Bereich des Kulturerbes ein. Verschiedene Disziplinen implementierten ihre eigenen Prozesse und definierten nationale Detail- oder Informationsstufen. BIM-Cloud bot zwei Ansätze: interne Datenbanken mit bidirektionaler Logik und externe Datenbankverbindungen über Plug-ins wie DBLink. Die Flexibilität ermöglichte es verschiedenen Disziplinen, ihre eigenen Entwicklungs-, Detail- und Informationsstufen zu definieren.³²

Dieser Ansatz versucht also, den Modellierungsgrad des NURBS-basierten Modells mithilfe eines 10-Stufen-Systems zu definieren. Der Definitionsgrad wird dabei über die Attribute des Modells gemessen. Zusätzlich soll der Informationsgrad der Bauteile bemessen werden, um eine klarere Struktur des Digitalisierungsgrads der Gebäude zu schaffen und die Vergleichbarkeit zu erhöhen.

3D - 7D

Ein weiteres System, das den Ansatz verfolgt, das herkömmliche LOD-System an HBIM anzupassen, strukturiert den Informationsgehalt im Modell grundlegend um. In Bezug auf die Details, den Umfang und die Qualität der Informationen wurden Standards entwickelt, um den Anforderungen von HBIM-Projekten und den Erfordernissen einzigartiger, spezialisierter Herangehensweisen gerecht zu werden. Ähnliche Bemühungen wurden unternommen, um die Dimensionsklassifikation in historischen BIM-Projekten anzuwenden. Bei den meisten dieser Kategorien ergeben sich gewisse Unterschiede, die spezielle Umwandlungen

32 vgl. Banfi „BIM Orientation: Grades of generation and Information for different Type of Analysis and Management Process“, S.62.

erfordern. Daher ist die genaue Äquivalenz bisher noch nicht eindeutig geklärt. Dennoch herrscht derzeit eine allgemeine Zustimmung bezüglich der Dimensionen von 3D bis 7D.³³



Abb. 31: Dimension 3-7 nach Koutros

Während die Dimension 3 lediglich die Grundlagenermittlung beinhaltet, beschreiben die Dimensionen 4 bis 7 das tatsächliche Modell. Die vierte Dimension (4D) in einem HBIM-Projekt ermöglicht die Erfassung der Stratigraphie eines historischen Gebäudes, einschließlich nicht „in situ“ erhaltener Phasen, was Historikern die Interpretation des Bauprozesses und relevanter Ereignisse ermöglicht. Im Gegensatz dazu steht die fünfte Dimension (5D), die sich mit den Kosten für den Bau moderner Gebäude befasst, während bei Kulturerbegebäuden die Kosten für Restaurierung und Erhaltung sowie zusätzliche Ausgaben für die Förderung kultureller Werte berücksichtigt werden. Die Wechselwirkung von neuen Gebäuden mit der Umgebung und physischen Aspekten wird in der sechsten Dimension (6D) erfasst, wobei Umweltbedingungen sowohl moderne als auch historische Gebäude beeinflussen. Die siebte Dimension (7D) ist derzeit die höchste Ebene der Entsprechung zwischen BIM und Historical BIM, in der HBIM mit Informationen zum Erhaltungsstatus, Verfall, Korrosion, Interoperabilität und Aktivitäten zur Verbreitung kultureller Werte angereichert wird, um das nachhaltige Management historischer Gebäude und ihrer kulturellen Werte zu unterstützen.

33 vgl. Efstratios Koutros, u.a., *A Review of Heritage Building Information Modelling: Classification of HBIM through the Utilization of Different Dimensions (3D to 7D)* (Cham: Springer, 2023), S.289.

Zusätzlich zu den Dimensionen spielt die Pointcloud hier eine entscheidende Rolle. Der Ansatz besteht darin, dass in der Dokumentation von Kulturerbegebäuden durch BIM der Schwerpunkt auf der Nutzung dichter Punktwolken liegt, um eine umfängliche Erfassung der historischen Struktur zu ermöglichen, wobei gleichzeitig hochpräzise Technologien zur Realitätserfassung verwendet werden. Das Ergebnis ist ein 3D-Modell im HBIM, das aus sinnvollen geometrischen Elementen auf konzeptionelle Weise zusammengesetzt ist und somit den Modellierungsprozess effizienter gestaltet. Das HBIM-Modell soll so auf das Notwendigste reduziert werden.³⁴

Die Strukturierung der HBIM-Modelle mithilfe von Dimensionen ermöglicht eine klare Gliederung. Durch das System können zudem umliegende Gebäude und Strukturen einbezogen werden, wodurch mehr Kontext geschaffen wird. Das Ziel jedes Gebäudes besteht darin, den Informationsgehalt der Dimension 7 zu tragen, um das Management und die Instandhaltung historischer Bauten bestmöglich sicherzustellen. Die integrierte Pointcloud schafft zudem eine weitere Ebene im Modell, die zusätzliche Detailinformationen enthalten kann.

Zusammenfassung

Die vorgeschlagenen Systeme sind fast ausschließlich auf das Lösen spezieller Probleme ausgelegt. Die darin aufgeführten Problemstellungen werden zwar alle gelöst, jedoch sind kaum umfassende Lösungsansätze vertreten.

Der Ansatz des LOG in Kombination mit dem GOA-System ist der einzige, bei dem mehrere Entwicklungsstufen abgedeckt werden und ein umstrukturiertes LOD-System, welches übergeordnet funktionieren kann, vorgeschlagen wird. Dieser Workflow bietet eine sehr präzise Umsetzung für das Rekonstruieren der Gebäude auf Basis einer Pointcloud und schafft ein Ordnungssystem, nach dem diese bemessen werden kann.

In einer Studie von Ewart und Zuecco aus dem Jahr 2017, in der 52 vorgeschlagene HBIM-

34 vgl. Kuotros, *A Review of Heritage Building Information Modelling: Classification of HBIM through the Utilization of Different Dimensions (3D to 7D)*, S.290.

Modelle analysiert wurden, wurde herausgestellt, dass es an klaren Zielen und einer Struktur für HBIM-Systeme mangelt. Wie auch in den hier vorgestellten Systemen, stand meist die Bewältigung technischer Herausforderungen im Vordergrund, auf die Bedürfnisse der beteiligten Interessengruppen wird nicht ausreichend eingegangen. In der Studie wird abschließend gesagt, dass die Entwickler oft kein umfassendes Bild über die Bedürfnisse der beteiligten Akteure haben, sondern nur auf einen spezifischen Zweck abzielen.³⁵

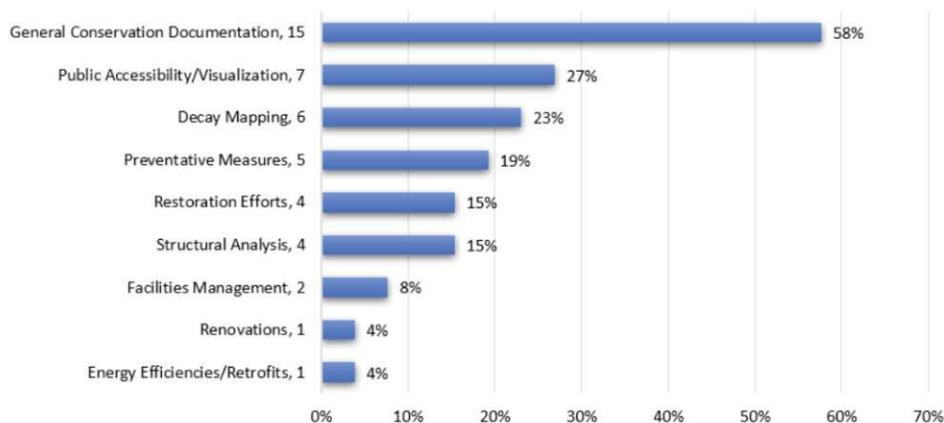


Abb. 32: Ausrichtung der erarbeiteten HBIM-Modelle nach Ewart

Eine weitere Studie, die 2022 durchgeführt wurde, unterstreicht die Ergebnisse von 2017. Die 26 dort analysierten Fallstudien zeigen klar, dass die HBIM-Systeme fast ausschließlich auf ein Thema ausgerichtet sind. Abbildung 32 zeigt, wie dabei die Verteilung der Fachbereiche ist. Die Mehrheit der Fallstudien hatte zum Ziel, vorläufige HBIM-Rahmenwerke auf spezifische Forschungsbereiche anzuwenden, wie beispielsweise die Analyse des strukturellen Verfalls von Holzbauteilen oder von Mauerwerk.³⁶

Die Modelle haben alle gemeinsam, dass sie einen Workflow entwickeln, der ein spezifisches Problem bedient. Um sich möglichst präzise auf das Problem zu beziehen, stützen sie sich auf eine vordefinierte Basis. So wird z.B. bei der Rekonstruktion die Punktwolke möglichst genau nachgezeichnet, bei der Ablaufstruktur werden LOD-Rahmenbedingungen übersetzt und bei der Rekonstruktion einzelner Bauteile wird eine sinnvolle Stückelung diskutiert.

35 vgl. Ian J. Ewart, u.a., *Heritage Building Information Modelling (HBIM): A Review of Published Case Studies* (Cham: Springer, 2018), S.35-41.

36 vgl. Junshan Liu, u.a., „Integrating Stakeholders’ Priorities into Level of Development Supplemental Guidelines for HBIM Implementation“ *Buildings* 13(2), 530 (2023): S.16, <https://doi.org/10.3390/buildings13020530>.

Interviews

Fachleute über HBIM

Da der theoretische Ansatz zur Umsetzung einige HBIM-Modell Aspekte vernachlässigen kann, die für die tatsächliche Nutzung wichtig sind, wurden Interviews mit verschiedenen Expert*innen durchgeführt. Primärziel dabei war herauszufinden, ob grundsätzlich Potential in der Arbeitsweise gesehen wird, welche Informationen für den praktischen Nutzen relevant sein können und inwiefern das Modell praktisch in den Arbeitsalltag eingebunden werden kann. Die Interviews wurden als „unstrukturiertes Interview“ durchgeführt. Ein unstrukturiertes Interview ist eine Form des Interviews, bei dem es keine vordefinierten Fragen oder eine festgelegte Reihenfolge von Fragen gibt. Dadurch ergibt sich im Gespräch mehr Freiheit und Flexibilität und es ermöglicht, bei Themen, die für den Interviewpartner*innen von Bedeutung sind, tiefer in das Thema einzusteigen. Wegen des freien Gesprächsaufbaus werden die Hauptaussagen hier in Unterpunkten in der Kernaussage zusammengefasst.

Dipl. Ing. Beatrix Hoche-Donaubauer

Oberrätin Bundesdenkmalamt Österreich

Expertise: Abteilung für Architektur

15.05.2023

Frau Dipl.-Ing. Beatrix Hoche-Donaubauer ist Oberrätin in der Abteilung für Architektur im Bundesdenkmalamt von Österreich. Die Fachabteilung ist für die denkmalpflegerischen Belange des Planens und Bauens zuständig. Sie koordiniert bundesweit die Grundlagen, Methoden und Regelwerke für bauliche Veränderungen am Denkmal. Durch dieses Aufgabenfeld ist Frau Dipl.-Ing. Beatrix Hoche-Donaubauer konstant mit den verschiedenen bautechnischen Aufgaben am Baubestand konfrontiert.

Bauteile im Detail

Bauteile wie Fenster und Türen werden in Bezug auf Material, Baujahr und Beschaffenheit erfasst. Dabei benötigt es keine Erstellung eines vollständigen, detaillierten Modells. Dies entspricht der Arbeitsweise von Restauratoren, die häufig an Einzelobjekten arbeiten und spezifische Details vor Ort untersuchen müssen.

Gewährleistung der Planungssicherheit

Ein weiterer, hoch relevanter Aspekt, den Frau Hoche-Donaubauer hervorhob, betrifft die Gewährleistung der Planungssicherheit, insbesondere für spezialisierte Berufsgruppen wie Statiker und Brandschutztechniker. Mithilfe von BIM kann der konstruktive Aufbau von Gebäuden mit Präzision analysiert werden, wodurch ein Höchstmaß an Sicherheit in der Planung erreicht wird. Dabei sind vor allem Aspekte wie Verortung von Kaminschächten, Wanddicken und Wandaufbauten wichtig.

Historische Entwicklung des Gebäudes

BIM ermöglicht es, die historische Entwicklung eines Gebäudes über die Jahre hinweg nachzuvollziehen und im Modell zu archivieren. Diese Funktion ist relevant bei Renovierungsprojekten oder Sanierungsmaßnahmen. Der originale Zustand nach dem Ergänzen notwendiger Unterteilungen von Räumen oder das Ergänzen von Türen kann einfach nachvollzogen werden.

Sinnhaftigkeit von BIM

Frau Hoche-Donaubauer führte die grundsätzliche Sinnhaftigkeit von Building Information Modeling (BIM) aus. Dieses Konzept ermöglicht die vollständige digitale Erfassung und Organisation sämtlicher bautechnischer Informationen. Durch das Erstellen eines digitalen Zwillings können restauratorische Abreiten sowie Umbauten betreut und archiviert werden.

Präzise Schadenskartierung und Verortung

Ein weiterer Nutzen von BIM liegt in der Möglichkeit zur präzisen Kartierung und Verortung von Schäden im digitalen Modell. Dies erleichtert Instandhaltungsmaßnahmen und Reparaturen erheblich. Zudem können Schadensentwicklungen nachvollzogen werden.

Umfangreiche bautechnische Daten

Im Rahmen des BIM-Ansatzes werden umfangreiche bautechnische Daten erfasst und archiviert. Dazu zählen Informationen über Fundamente, Wandaufbauten, technische Installationen, Kaminschächte sowie Details zur Traufengestaltung. Diese umfassende Datenbank gewährleistet, dass sämtliche relevante Informationen für Planung und Ausführung zur Verfügung stehen. Zudem können sämtliche Daten in einer Datei zusammengefasst werden.

Anonym

Mitarbeiter Bauingenieurbüro

Expertise: Brandschutz

08.07.2023

Zwar möchte der interviewte Bauingenieur anonym bleiben, doch seine Expertise erstreckt sich von der Planung und Implementierung von Brandschutzsystemen in Gebäuden bis zur Überwachung und Wartung dieser Systeme. Er arbeitet eng mit Architekten, Bauunternehmen und Brandschutzbehörden im Raum Vorarlberg zusammen, um sicherzustellen, dass alle Projekte den geltenden Sicherheitsvorschriften entsprechen.

Verbesserte Planung und Analyse

Vor allem ist die Möglichkeit interessant, BIM-Modelle zu nutzen, um die Feuerwehruzufahrten, Fluchtwege und Brandabschnitte effektiv zu planen und zu analysieren. Dies kann dazu beitragen, potenzielle Risiken frühzeitig zu erkennen und die Gebäudesicherheit zu erhöhen.

Simulation von Brandereignissen

BIM ermöglicht die Durchführung von Simulationen von Brandereignissen, um zu verstehen, wie sich ein Feuer in einem Gebäude ausbreiten könnte. Brandschützer können diese Simulationen verwenden, um ihre Einsatzstrategien zu optimieren.

Sicherstellung der Einhaltung von Vorschriften

Brandschutzvorschriften und -normen sind in vielen Ländern streng geregelt. Es muss sichergestellt werden, dass BIM-Modelle diese Vorschriften berücksichtigen und die Einhaltung während des gesamten Bauprozesses gewährleisten.

Wartung und Inspektion

Nach der Fertigstellung eines Gebäudes kann BIM verwendet werden, um die Wartung und Inspektion von Brandschutzsystemen zu erleichtern. Dies kann die Effizienz erhöhen und sicherstellen, dass diese Systeme ordnungsgemäß funktionieren. Zudem haben Brandschutzsysteme dichte Wartungsintervalle.

Kommunikation

Die Zusammenarbeit mit Architekten, Ingenieuren und anderen Gewerken ist wichtig. BIM kann eine Plattform für eine effektive Kommunikation und Zusammenarbeit bieten, da alle relevanten Informationen in einem zentralen Modell verfügbar sind.

Notfallplanung

BIM kann bei der Erstellung von Notfallplänen und Evakuierungsstrategien hilfreich sein. Die Informationen aus dem Modell kann genutzt werden, um realistische Szenarien zu entwickeln und entsprechende Maßnahmen zu planen.

Bessere Datensicherheit

Die digitale Natur von BIM ermöglicht eine sicherere Speicherung und den Zugriff auf wichtige Brandschutzdaten. Dies kann die Integrität der Informationen über die Lebensdauer eines Gebäudes hinweg gewährleisten.

Schulung und Ausbildung

Das Modell kann in Schulungs- und Ausbildungsprogrammen für Feuerwehrleute und Brandschutzexperten verwendet werden, um sie auf verschiedene Szenarien und Gebäudegeometrien vorzubereiten. Die Ereignisse lassen sich mit steigender Detailtreue des Modells genauer durchspielen.

Dipl. Ing. Stefan Triesch

Selbstständiger Architekt

Expertise: Denkmalpflege

23.07.2023

Dipl.-Ing. Stefan Triesch ist seit rund 40 Jahren als Architekt in Karlsruhe tätig. Er hat sich im Laufe seiner Karriere auf die Arbeit mit Denkmälern spezialisiert. In seiner langjährigen Erfahrung als Architekt hat er verschiedene Modi/ Technologien in der Anfertigung von Architekturzeichnungen kennengelernt und angewandt. Angefangen bei Handzeichnungen, über die Umstellung auf Computer gestütztes zeichnen (CAD), bis hin zur Erstellung von 3D Modellen hat er ein solides Wissen über die verschiedenen Arbeitsweisen eines Architekten.

Standardisierte Layerstruktur

Ein zentrales Anliegen, das Triesch anspricht, ist die Notwendigkeit einer standardisierten Layerstruktur in BIM. Dies ist entscheidend, um eine einheitliche und effektive Nutzung dieser Technologie sicherzustellen. Ohne die Layerstruktur können keine nachträglichen Informationen und das Modell eingespielt werden, was dem Modell viel Potential nimmt.

Planungsdruck durch ständigen Zugriff

Ein weiterer wichtiger Punkt, den er betonte, betrifft die Aktualisierung von BIM-Modellen. Er wies darauf hin, dass dies oft unter zeitlichem Druck geschieht, da die Aktualisierung nicht immer kontinuierlich durchgeführt wird. Dies kann zu Überwachungsproblemen führen und die Effizienz beeinträchtigen.

Streitpotential

Ein weiteres potenzielles Problem, das Triesch anspricht, ist das Streitpotential, das bei Fehlern in BIM-Modellen entstehen kann. Es ist wichtig, klare Verantwortlichkeiten und Verfahren zur Fehlerbehebung festzulegen.

Dateiformat beim Informationsaustausch

Die Wahl eines vorher festgelegten Dateiformats für den Datenaustausch in BIM wurde ebenfalls als wesentlich erachtet, um Interoperabilität sicherzustellen. Zudem wurde betont, dass kein standardisiertes Dateiformat in der Praxis oft zu Informationsverlust durch Unlesbarkeit der Dateien führt.

Struktur im Modell

Stefan Triesch betonte die Bedeutung der Kommunikation, insbesondere bei der Bearbeitung von BIM-Modellen. Eine effektive Kommunikation zwischen den am Bau Beteiligten ist unerlässlich, um Missverständnisse zu vermeiden und den reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. Im besten Fall sollte eine Person voll Überblick haben.

Planungsspezifisches Potential

Trotz dieser Herausforderungen sieht Triesch BIM als prinzipiell gute Idee an, die jedoch strukturiert und sorgfältig implementiert werden muss. Er betonte auch einige konkrete Anwendungsbereiche, in denen BIM wertvoll sein kann, darunter Statik und Brandschutz, die Archivierung von Umbauten und Sanierungen sowie die Schadenskartierung.

Dipl. Ing. Felix Matschinske

MUH-Architekten Berlin

Expertise: Digitalisierung

31.08.2023

Felix Matschinske ist selbständiger Architekt in Berlin. Mit seinem Büro „MUH-Architekten“ setzt er sich, mitunter anderem, viel mit der Digitalisierung von Bestandsgebäuden auseinander. Das Büro hat eine interne Software zum web-basierten Darstellen und Vermessen von Pointclouds entwickelt und bietet den gesamten Workflow vom Vermessen bis zu BIM-Modell von Bestandsgebäuden an.

Strukturierte Informationen

Jedes Gebäude trägt eine Fülle von Informationen in sich, die durch HBIM strukturiert werden können. Dies ermöglicht eine geordnete Verwaltung und Pflege.

Datenmanagement

Die Betreuung und Verwaltung der gesammelten Daten ist äußerst aufwendig und erfordert effiziente Datenmanagement-Systeme.

Statische Informationen und Point Clouds

Alle relevanten Informationen können statisch erfasst werden, während Point Clouds detaillierte Informationen bieten, die auf Abruf verfügbar sind.

Bauteilkatalog und Oberflächen

Die Erstellung eines Bauteilkatalogs ermöglicht die Weiterverarbeitung von Daten, während die Point Clouds die Oberflächenstrukturen des Gebäudes widerspiegeln.

Kommunikation und Strukturierung

Die Kommunikation und Strukturierung der Informationen stellen oft eine Herausforderung dar. Bauteile können genauer mit Bauherren und Vertretern der verschiedenen Gewerke ohne Besichtigung vor Ort begutachtet werden.

Unzureichende Tools

Die derzeit verfügbaren Tools sind häufig nicht ausgereift und können schwierig zu bedienen sein.

Höheres LOD für Denkmäler

Besonders bei Denkmälern ist ein höheres LOD erforderlich, um die detaillierten Informationen angemessen festzuhalten. Dies betrifft vor allem tragende Strukturen.

Digitaler Zwilling

HBIM ermöglicht die Verknüpfung von noch mehr Daten mit historischen Gebäuden. Dadurch kann ein digitaler Zwilling erstellt werden. Dieser ermöglicht die Dokumentation von Kontrollen und Veränderungen und eine bessere Pflege von historischen Gebäuden.

Kreislaufgerechtes Bauen

Durch HBIM entwickeln wir ein besseres Gespür für Bauteile und Gebäude, und es wird möglich, Dinge wie CO₂-Berechnungen durchzuführen. Mit zunehmender Texturierung der Daten erhalten wir immer bessere Details, und die Visualisierung von historischen Bauvorhaben wird für Bauherren und andere Stakeholder erleichtert.

Clemens Landerl

Mitarbeiter Atelier Georg Töpfer Wien

Expertise: Denkmalpflege

13.09.2023

Clemens Landerl ist als Angestellter in einem Architekturbüro in Wien tätig, welches auf Baudenkmal und Umbauten von Bestand spezialisiert ist. Durch die Tätigkeit mit historischen Bauten verschiedenster Art, von Umbaumaßnahmen bis hin zu Sanierungen, hat er einen tiefen Einblick in den Arbeitsalltag des Architekten in diesem Feld, kennt aber auch die Ansprüche beteiligter Gewerke.

Genauigkeit und Vollständigkeit

Die Verwendung von BIM im Bestand ermöglicht die Erstellung präziser 3D-Modelle, die nicht nur die komplexe Geometrie von bestehenden Gebäuden, sondern auch zusätzliche Informationen wie Oberflächenbeschaffenheit, Schadenskartierungen und Massenermittlungen umfassen.

Dies erleichtert die Planung und Durchführung von Renovierungen oder Umbauten erheblich.

Kontextualisierung

Alle Projektbeteiligten können auf die BIM-Modelle zugreifen, um ihre jeweiligen Ergebnisse und Planungen im Kontext des gesamten Projekts darzustellen. Dadurch können Probleme frühzeitig erkannt und vermieden werden, was zu einer reibungsloseren Umsetzung führt.

Historische Dokumentation

BIM-Modelle ermöglichen die Aufzeichnung des Vorzustands, der Zwischenschritte und des Endzustands eines Gebäudes. Dies ist besonders wertvoll für die Qualitätssicherung, die Behebung von Bauungenauigkeiten und die Dokumentation.

Mehrwertwahrnehmung

Ein Hauptproblem ist, dass Auftraggeber den Mehrwert von BIM im Bestand oft nicht erkennen oder es als kostspielig und ineffizient betrachten, da es im Vergleich zu Neubau-BIM erhebliche Vorleistungen erfordert.

Aufnahme und Modellierung

Die 3D-Aufnahme von bestehenden Gebäuden erfordert spezielle Technologien, die nicht immer verfügbar sind. Die Nachmodellierung komplexer Geometrien kann zeitaufwändig sein und erfordert CAD-Fähigkeiten.

Mangelndes Wissen und Widerstand gegen Veränderung

Sowohl Auftraggeber als auch Planer und Ausführende können über unzureichendes Wissen und den Widerstand gegen den Einsatz neuer Technologien verfügen, was die Implementierung von BIM im Bestand behindert.

Forschung und Großprojekte

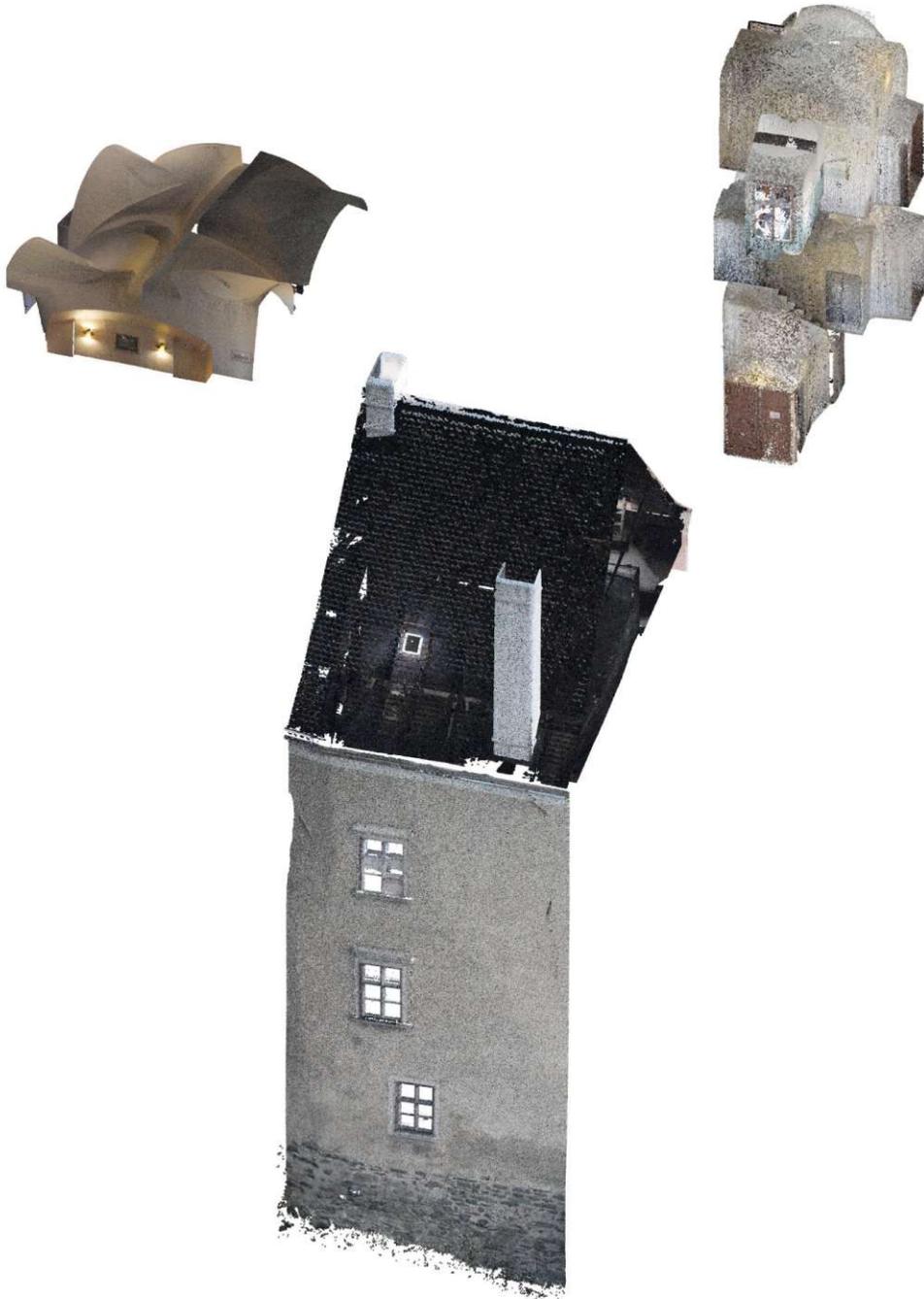
BIM im Bestand hat insbesondere in der Forschung und bei großen Bauprojekten mit ausreichendem Budget und Ressourcen Potenzial. Die Mehrkosten für Vorleistungen können in diesen Fällen besser gerechtfertigt werden.

Technologische Fortschritte

Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Aufnahme- und Verarbeitungstechnologien sowie der einfachere Zugang zu BIM-fördernden Systemen werden die Akzeptanz von BIM im Bestand erhöhen.

Generationswechsel und Bildung

Mit dem Generationswechsel in der Baubranche und der Integration von BIM in die Ausbildung wird die Verwendung von BIM im Bestand allmählich zur Norm werden.



Bauteile

Umsetzung des LOD

Umsetzungsvorschlag

Um der vielfältigen Bandbreite der Anforderungen an das HBIM-Modell gerecht zu werden, wird das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Modell von Grund auf anders konstruiert. In den zuvor betrachteten Beispielen wurde das LOD stets anhand des beabsichtigten Informationsgehalts bestimmt. BIM-LOD-Systeme definieren den Fortschrittsprozess in einem laufenden Bauprojekt. Nach Fertigstellung dient das Modell ausschließlich der Übersicht und Wartung.

Im Fall von HBIM-Modellen ist der Ausgangspunkt in der Regel das fertige Bauwerk. Handelt es sich um eine Ruine, die durch Umbauarbeiten ergänzt oder erweitert werden soll, kann der herkömmliche BIM-Prozess angewendet werden, da der Bauprozess wieder zur primären Dokumentationsinstanz wird. Bei Gebäuden in einem guten Erhaltungszustand dient das Modell vor allem der Instandhaltung.

Der hier vorgeschlagene Workflow beinhaltet die Pointcloud als eigenständige Komponente im HBIM-Modell. Diese bildet nicht nur die Grundlage für das Gesamtmodell, da sie im ersten Schritt durch Laserscan und Photogrammetrie generiert wird und dann als Grundlage für das 3D-Modell dient, sondern ist auch selbst ein Bestandteil des Modells. Neben der Pointcloud ist historisches Planmaterial ein weiterer wichtiger Bestandteil des Modells. Um den Anforderungen aller Akteure gerecht zu werden, wird ein alternativer Aufbau des HBIM-Modells vorgeschlagen. Dazu wird das Modell zunächst in Informationsgruppen unterteilt.

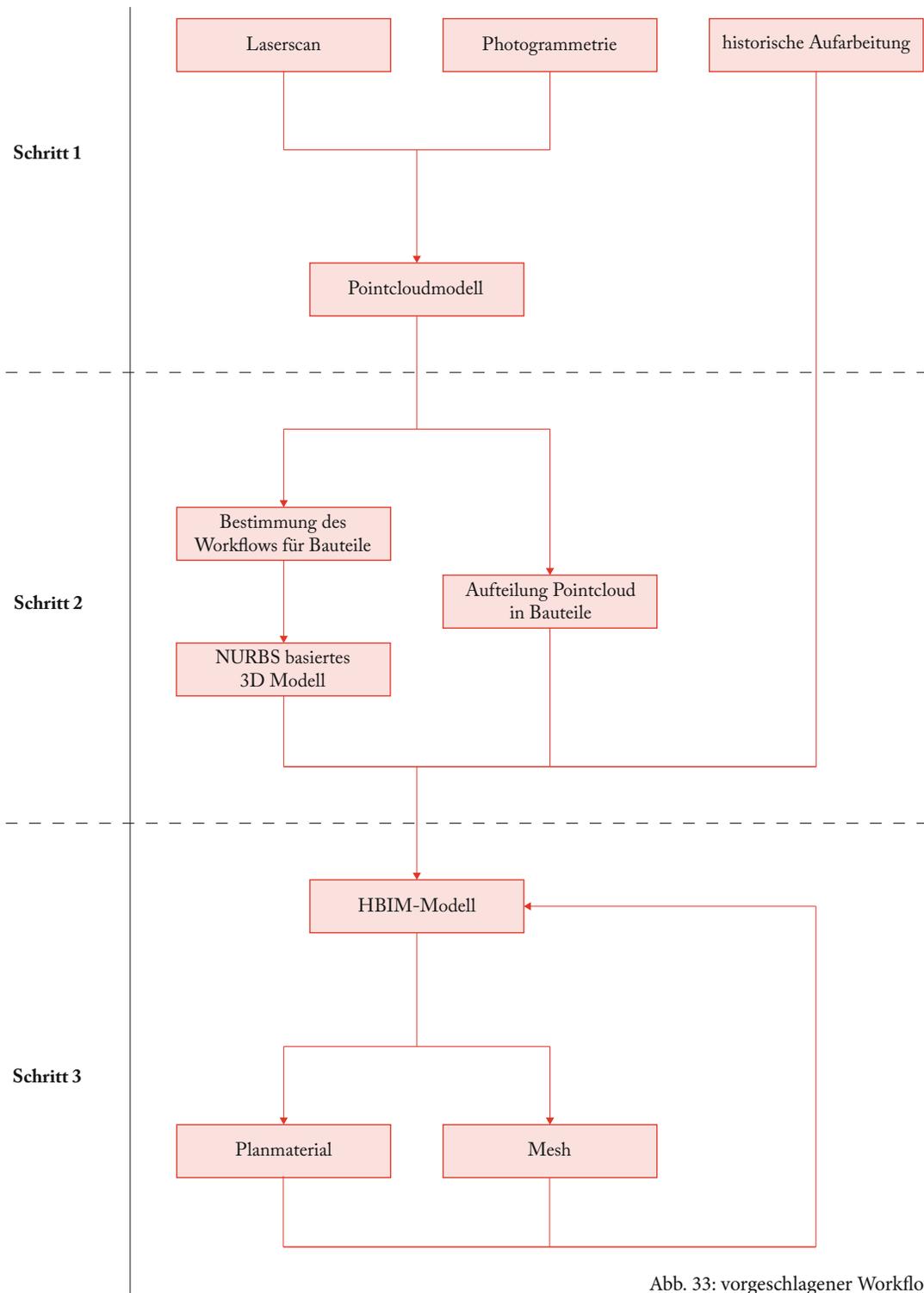


Abb. 33: vorgeschlagener Workflow

Die erste Informationsgruppe betrifft den technischen Anspruch: Zur Instandhaltung müssen kontinuierlich Brandschutzsysteme und Statik überprüft werden. Hierzu genügt ein Modell, das die Raumkonstellationen, Wanddicken, Flächen, Treppen und Raumgeometrien enthält. In diese Struktur können auch technische Installationen integriert werden. Um die geometrische Genauigkeit beim Rekonstruieren der Pointcloud mit NURBS sicherzustellen, wird darauf geachtet, dass das Modell sich nicht um mehr als 5 cm von der Pointcloud unterscheidet.

Die zweite Informationsgruppe enthält Detailinformationen. Obwohl durch das Modellieren mit NURBS eine sehr genaue Rekonstruktion möglich ist, wird das generierte Modell nie so viele Informationen wie die Pointcloud enthalten. Daher wird die Pointcloud direkt in das HBIM-Modell integriert. Dies ermöglicht nicht nur die genaue Verortung von Schäden im Gesamtmodell, sondern auch das Nachverfolgen verschiedener Zustände des Gebäudes und Schadensentwicklungen durch das Importieren mehrerer Pointclouds, beispielsweise aus verschiedenen Jahren.

Die dritte Informationsgruppe umfasst historisches Planmaterial, Dokumente und Fotos. Da hier vergangene Zustände des Gebäudes dokumentiert sind, können diese Informationen digitalisiert und in das HBIM-Modell importiert werden. Dadurch können vergangene Zustände, Umbauarbeiten und Entwicklungen um das Gebäude nachvollzogen werden. Dies kann nicht nur für das Verständnis der historischen Entwicklung des Gebäudes wichtig sein, sondern auch Statikern und Architekten bei Berechnungen Planungssicherheit bieten.

Ein aus der Pointcloud generiertes Mesh kann das HBIM-Modell gezielt ergänzen. Dies kann zur genaueren Darstellung von Detailbereichen genutzt werden, aber auch ganze Räume abbilden. Die Mesh-Modelle können einzeln exportiert oder wieder in das HBIM-Modell integriert werden, ohne dass die Problematik der Mesh-Aufteilung, um es BIM-fähig zu machen, entsteht, da die Hauptstruktur weiterhin das durch NURBS rekonstruierte Modell bildet.

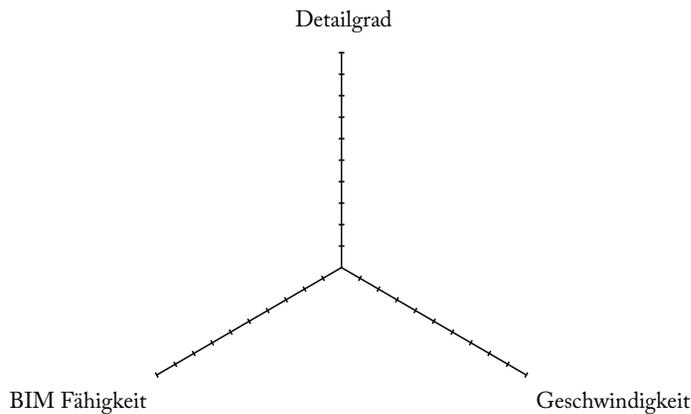
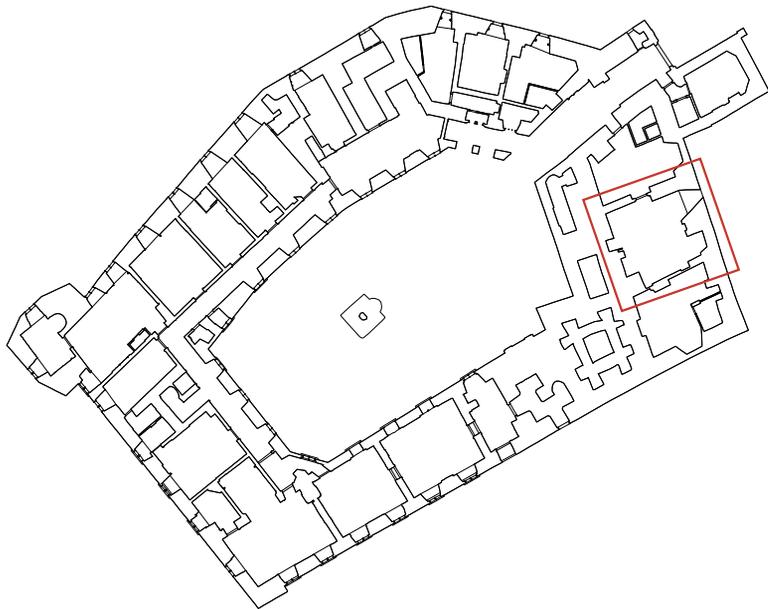


Abb. 34: Bewertungssystem

Die Vorgabe, nicht mehr als 5 cm von der Pointcloud abzuweichen, erfordert das Erproben von Workflows für das NURBS-basierte Modellieren. Durch die Rekonstruktion komplexer Bauteile kann eine Arbeitsweise entwickelt werden, die die Grundlage für das folgende HBIM-Modell bildet. Dabei werden Ausschnitte so gewählt, dass möglichst komplexe Geometrien erprobt werden. Das Ziel besteht darin, den in den Beispielen erprobten Workflow auf die gesamten Strukturen im Schloss übertragen zu können.

Da nicht nur die Genauigkeit des Modells in der praktischen Umsetzung ein wichtiger Faktor ist, wird sie in Beziehung zur BIM-Fähigkeit und zur Modelliergeschwindigkeit gesetzt. BIM-Fähigkeit bezieht sich auf die Kompatibilität des in Rhino erzeugten Modells mit Revit. Zudem wird an den Bauteilen aufgeführt, wie und wo eine sinnvolle Aufteilung der Pointcloud funktionieren kann.



Frühstücksraum

Gewölbe

An dem Raum werden die Modelliermöglichkeiten verschiedener Gewölbearten und Strukturen getestet. Durch die verschiedenen Bauphasen kommen diverse Konstruktionsweisen in einem Raum zusammen. Die Hauptstruktur bildet dabei die zentrale Säule, von der vier Bögen abgehen. Zwischen den Bögen sind Kappengewölbe. Die Raumstruktur ist im hinteren Bereich durch eine später eingezogene Wand unterbrochen. In dieser Wand befindet sich eine Nische.

Die komplexe Geometrie bringt verschiedene Konstruktionsweisen zusammen, die im CAD, nach Erprobung, auf einen großen Teil der anderen Gewölbe im Schloss übertragen werden können.



Abb. 37: Pointcloud

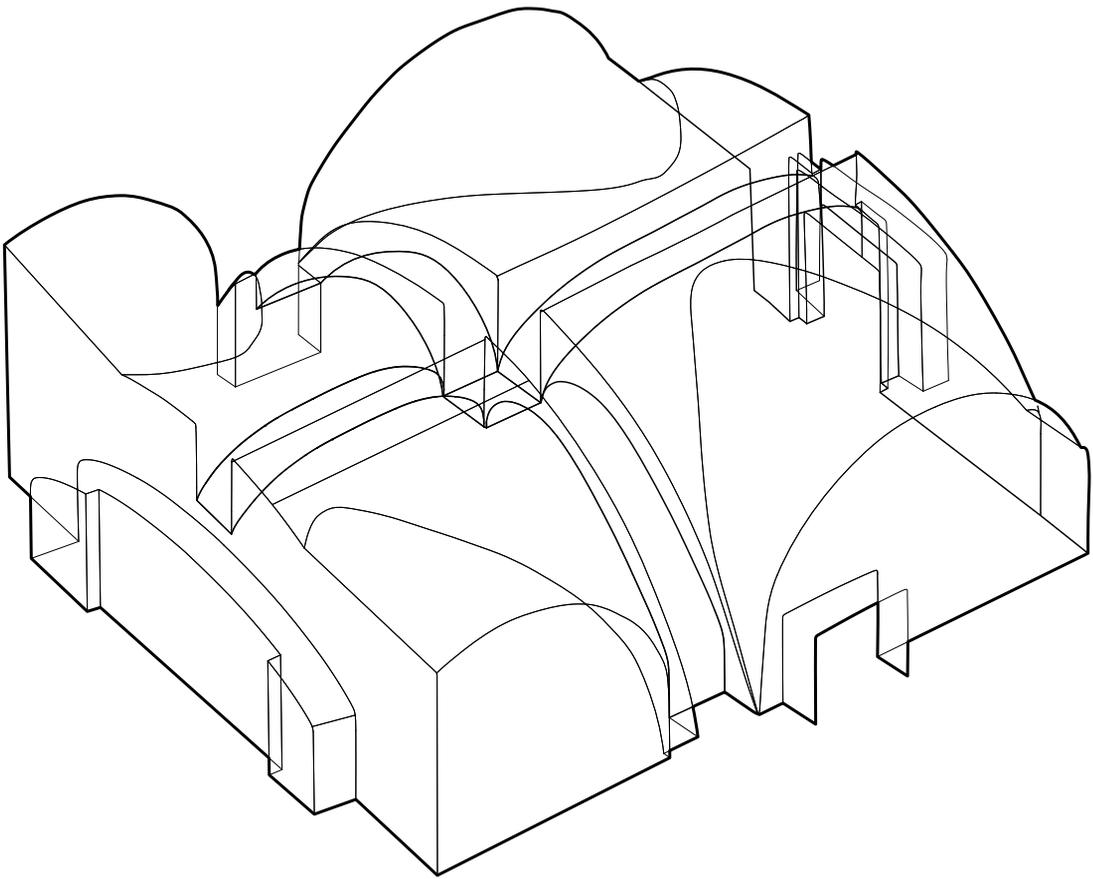


Abb. 38: Konstruktion der Kontur

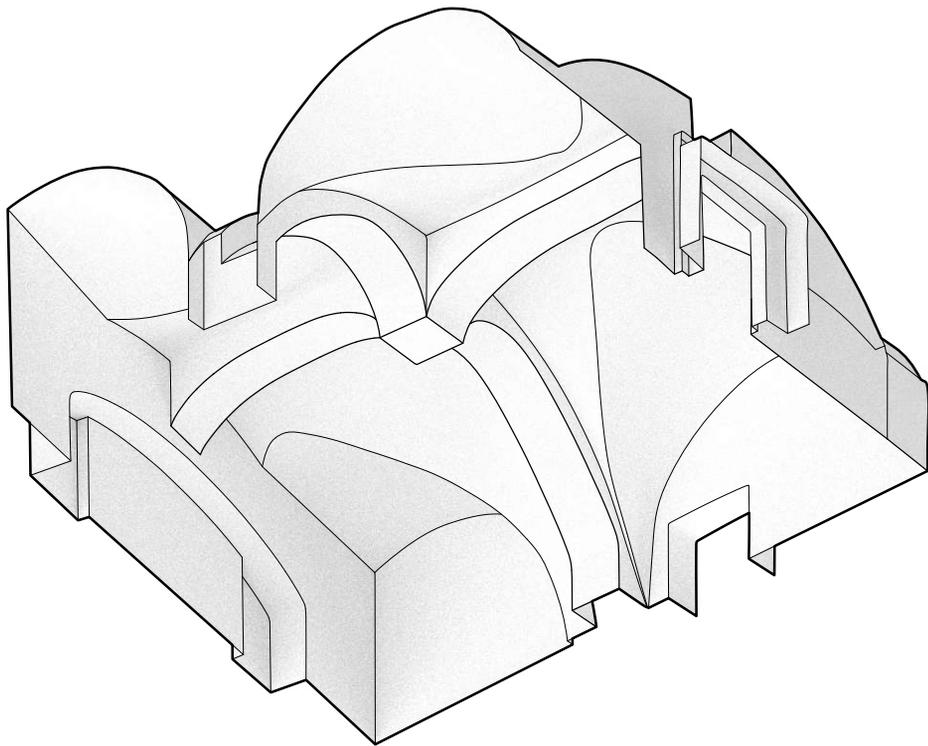


Abb. 39: Füllflächen aus Konturen

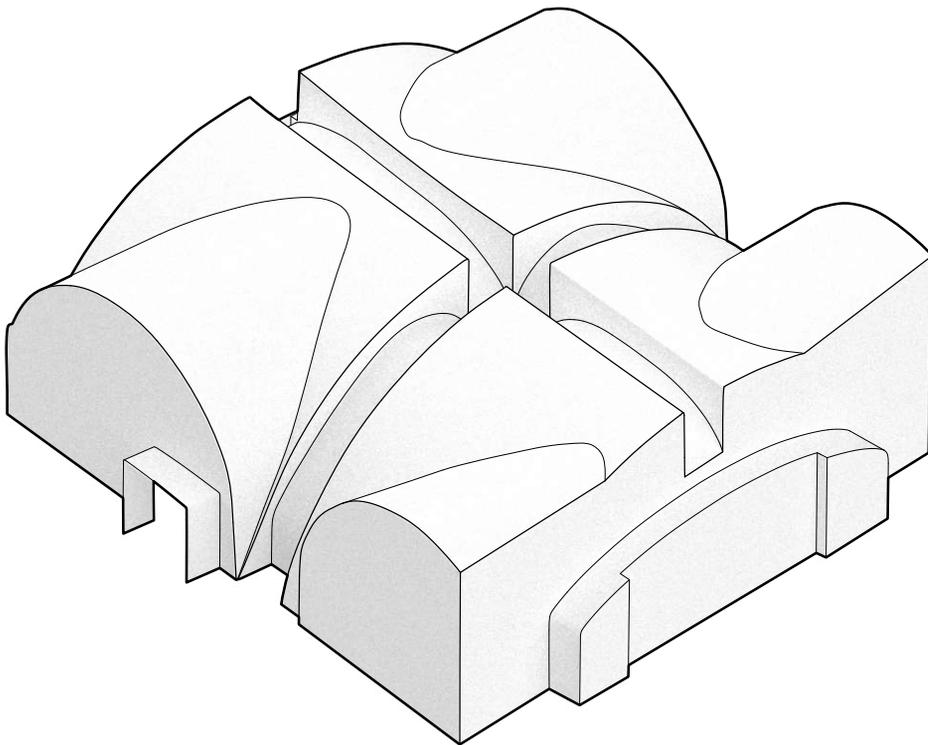


Abb. 40: Negativ des Gewölbes

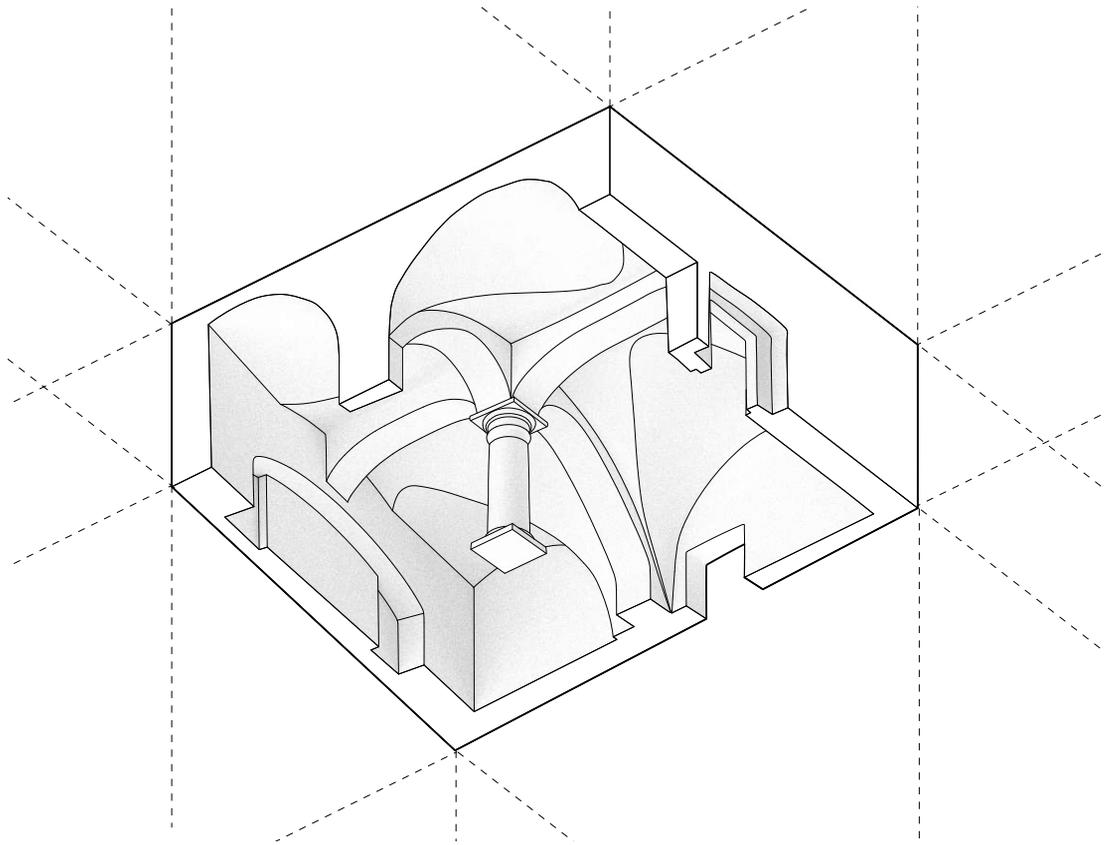


Abb. 41: Ergänzen des Raumvolumens & der Säule

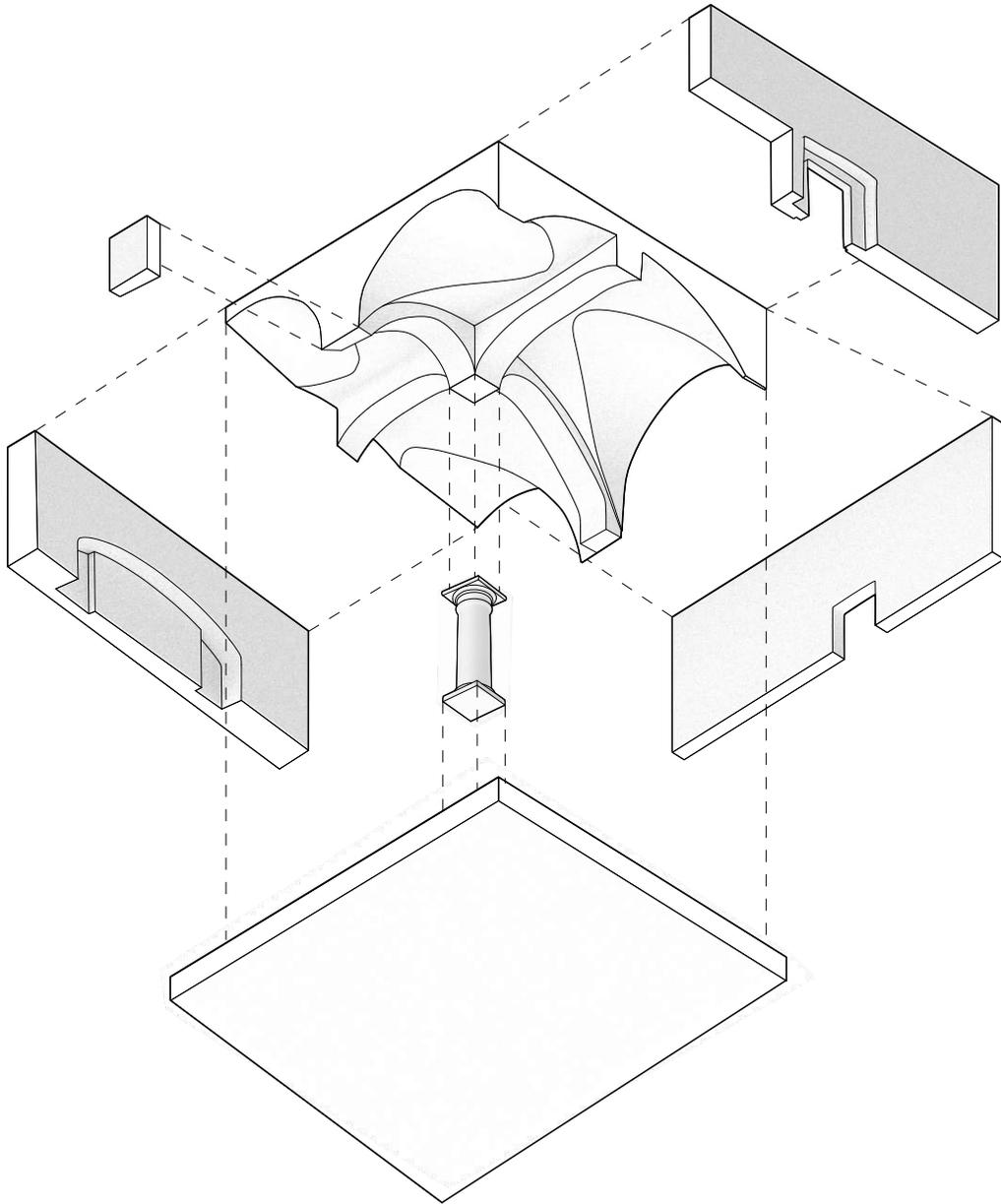


Abb. 42: Unterteilung in Bauteile

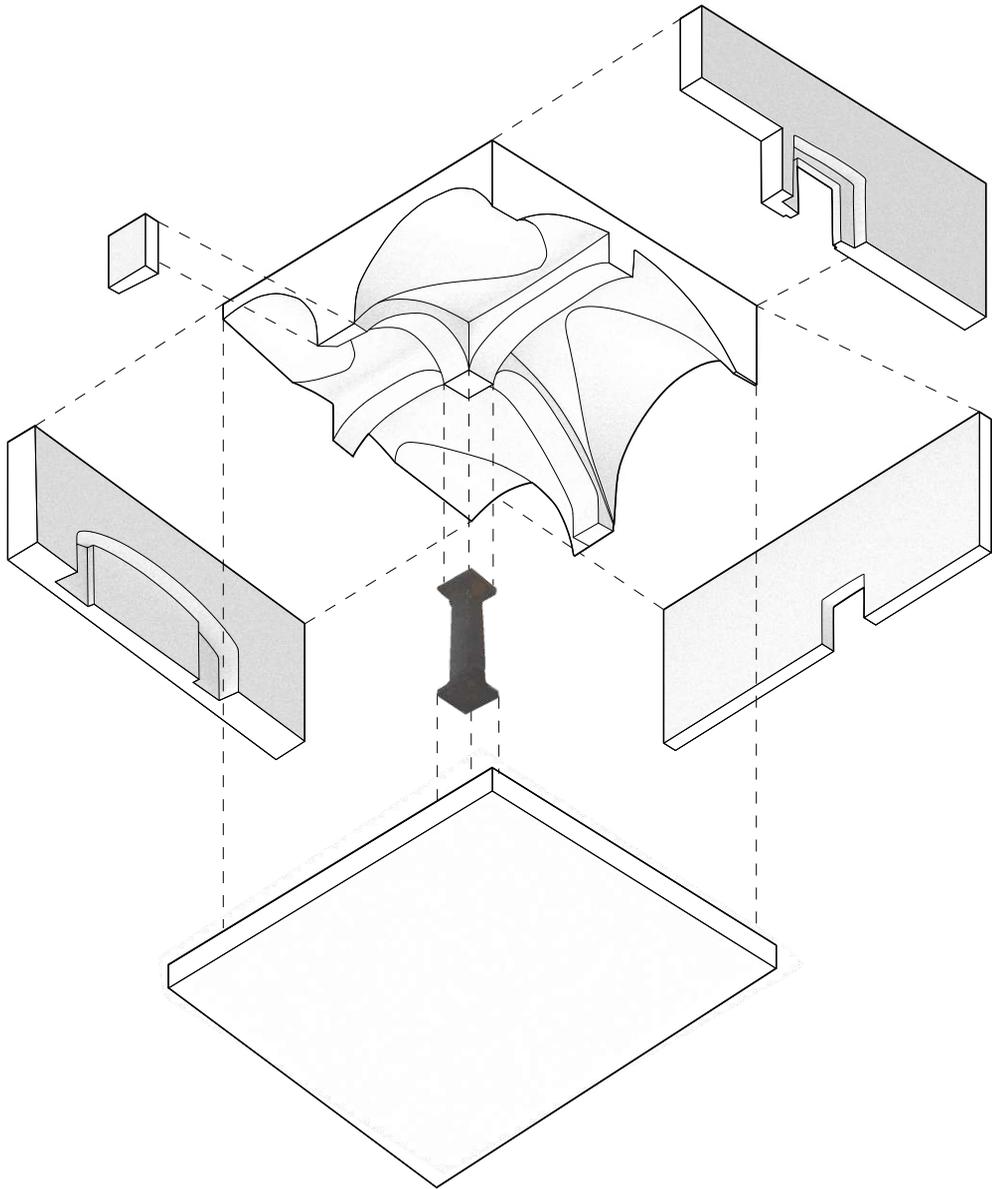


Abb. 43: Unterteilung in Bauteile & Ergänzung der Pointcloud

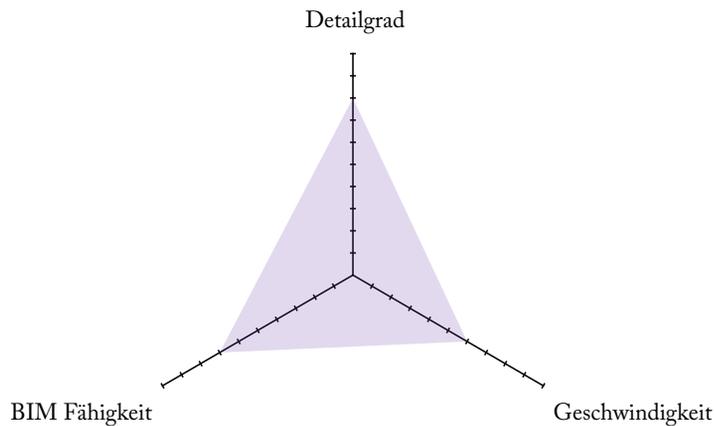
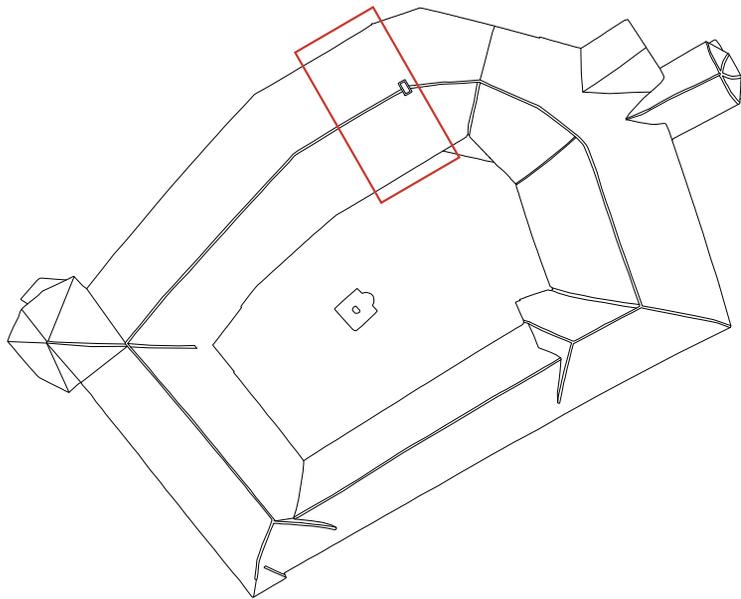


Abb. 44: Einstufung des Bauteils

Im Zentrum des Raumes befindet sich eine markante Säule, die in mehreren Aspekten von der umgebenden Architektur abweicht. Der offensichtlichste Unterschied besteht im Material: Während die umliegenden Flächen in Putz gehalten sind, besteht die Säule aus Naturstein. Dieser Materialunterschied ist nicht nur visuell, sondern auch haptisch wahrnehmbar und erzeugt eine zusätzliche Schicht der Detaillierung. Darüber hinaus weist die Säule auch geometrische Unterschiede auf, die bei der Darstellung beachtet werden müssen. Ihre spezifische Form und Oberflächenstruktur können selbst bei einem hohen Level of Detail (LOD) niemals so präzise dargestellt werden wie in der zugrunde liegenden Pointcloud, aus der das ursprüngliche Scan-Datenmaterial stammt.

Die Lösung besteht darin, eine vereinfachte Trägerstruktur zu erstellen, die die Säule in ihrer Darstellung repräsentiert. Diese vereinfachte Darstellung berücksichtigt die wesentlichen geometrischen Merkmale der Säule, ohne dabei zu sehr ins Detail zu gehen. Zur Erlangung einer genaueren und exakteren Ansicht, insbesondere in Bezug auf das Material und die Oberflächenbeschaffenheit, wird die Pointcloud als Referenz verwendet. Die Pointcloud kann über Layer ein- und ausgeschaltet werden, je nachdem, ob eine genaue Darstellung erforderlich ist oder nicht.



Dachstuhl

Balken

Bei der Rekonstruktion eines Dachstuhls liegt der Hauptfokus auf der Statik. Dies beinhaltet die Berücksichtigung des Balkenverlaufs, der Verbindungspunkte und der Aussteifungen. Beschaffenheit des Materials, eventuellen Verformungen und Schäden sind beim Modellieren nicht so wichtig wie die grundsätzliche Geometrie. Ziel ist es, die grundlegende Nachvollziehbarkeit des Aufbaus zu gewährleisten.

Die Kamine sind ein weiterer wichtiger Aspekt, da sie auf die unteren Geschosse Bezug nehmen. Oft kann die genaue Platzierung der Kamine nur aus der Dachstruktur abgelesen werden, da Schachtzugänge im Laufe der Zeit vermehrt verschlossen wurden. Selbst wenn die Kaminschächte nicht mehr in Funktion sind, bieten sie dennoch Möglichkeiten für Installationen und Leitungsführungen und sind somit interessant für mögliche Umbaumaßnahmen.

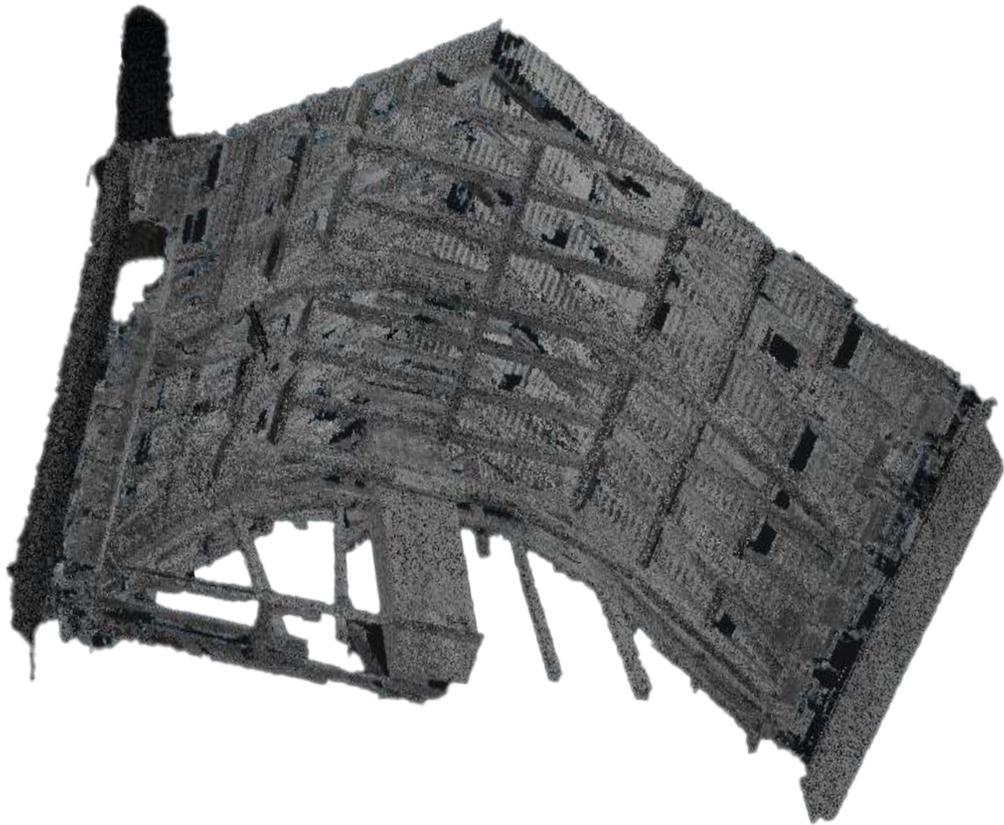


Abb. 46: Pointcloud

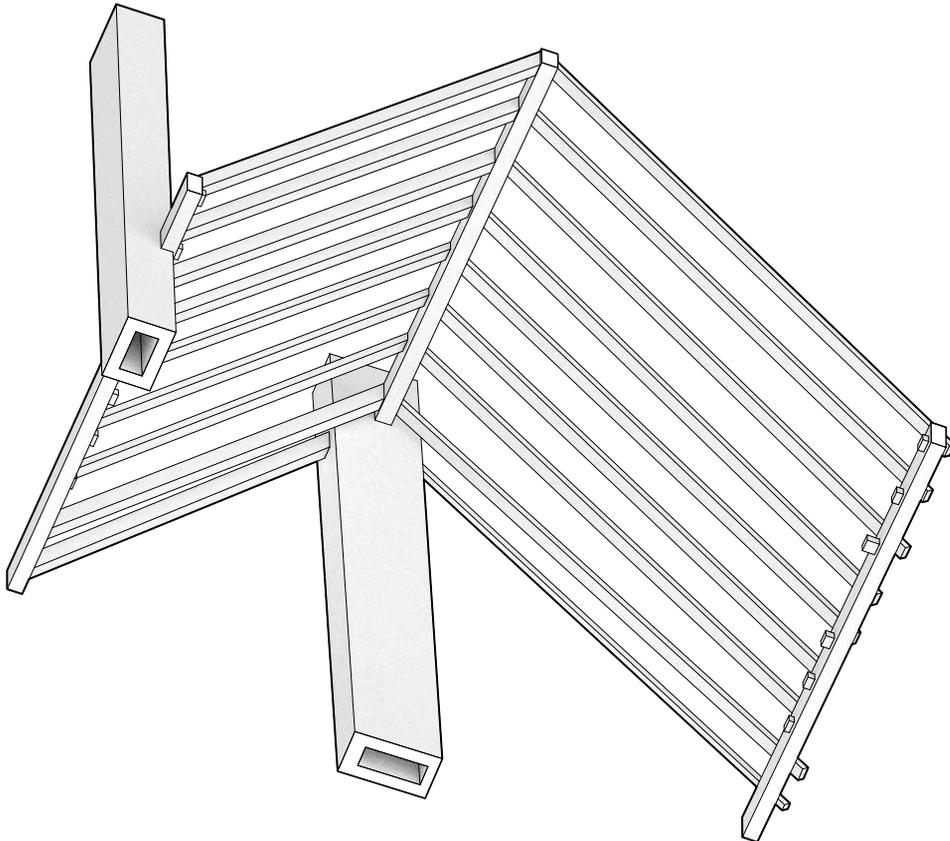


Abb. 47: Sparren & Kamine

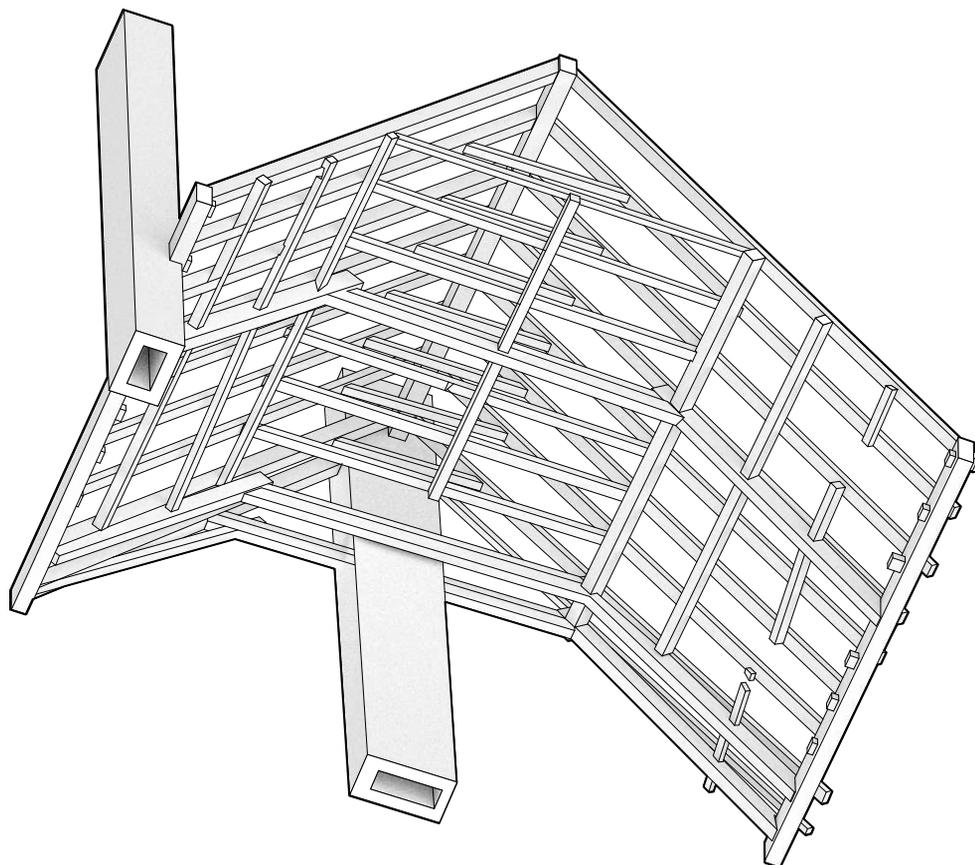


Abb. 48: Aussteiffungen & Querbalken

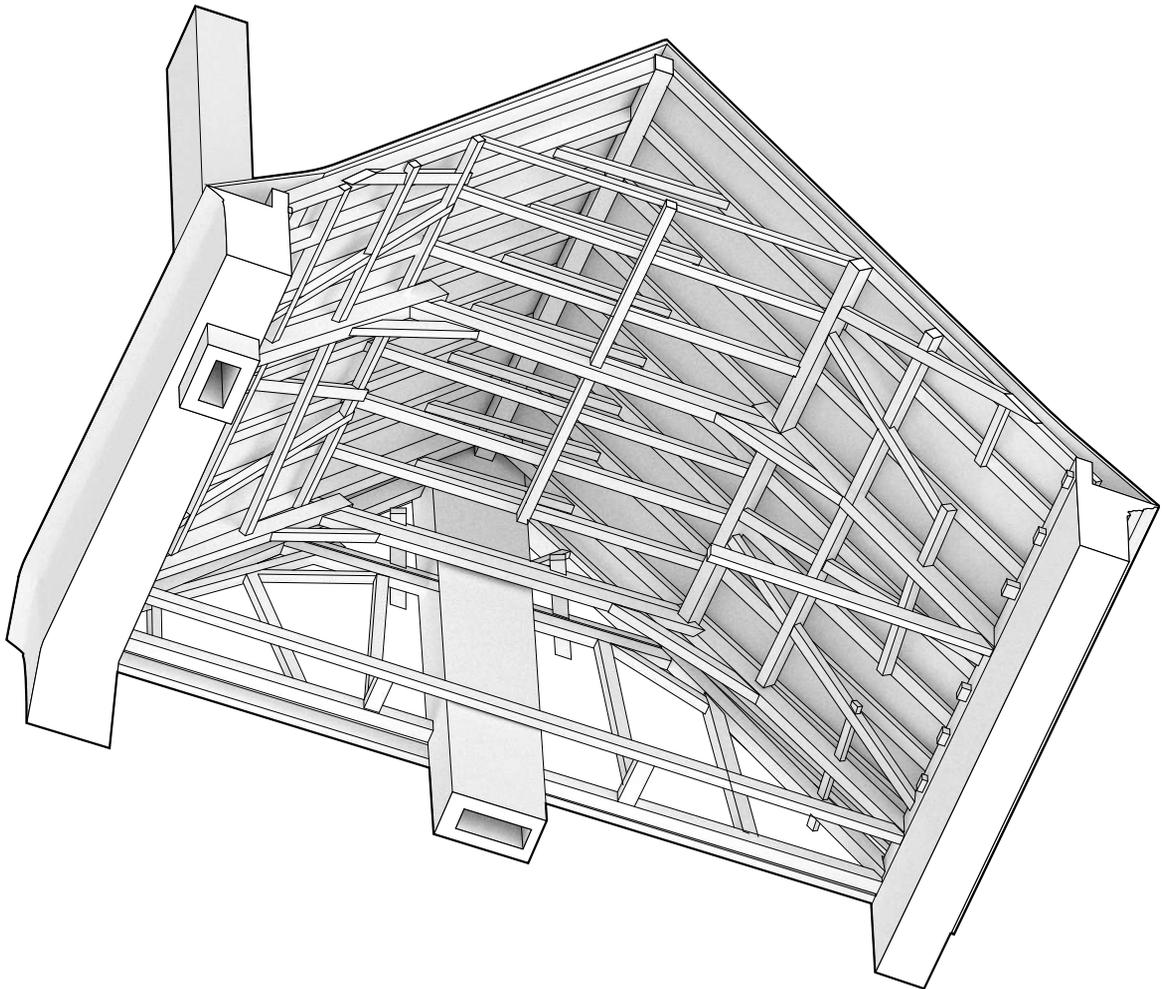


Abb. 49: Fassade & Dach

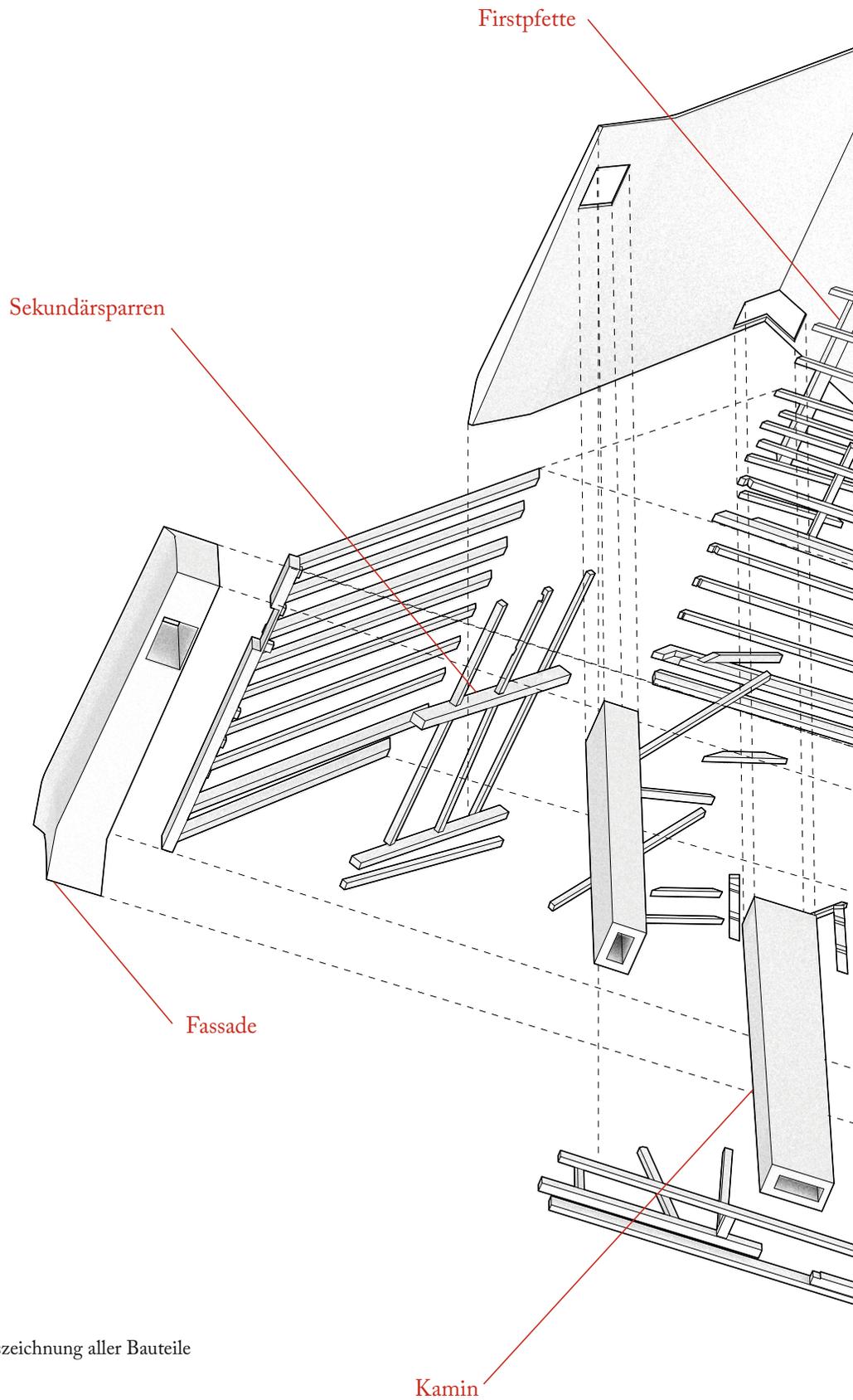
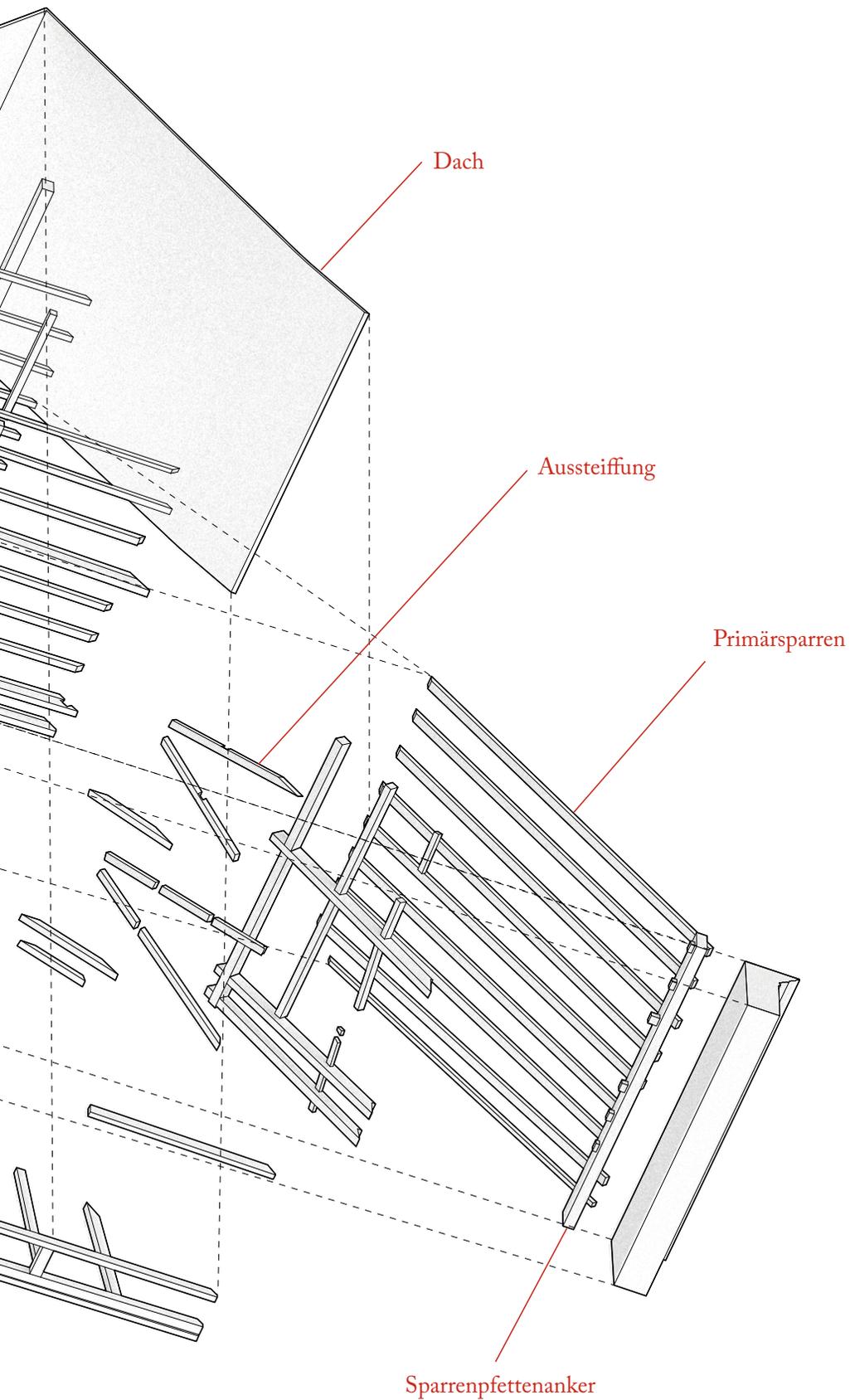


Abb. 50: Explosionszeichnung aller Bauteile



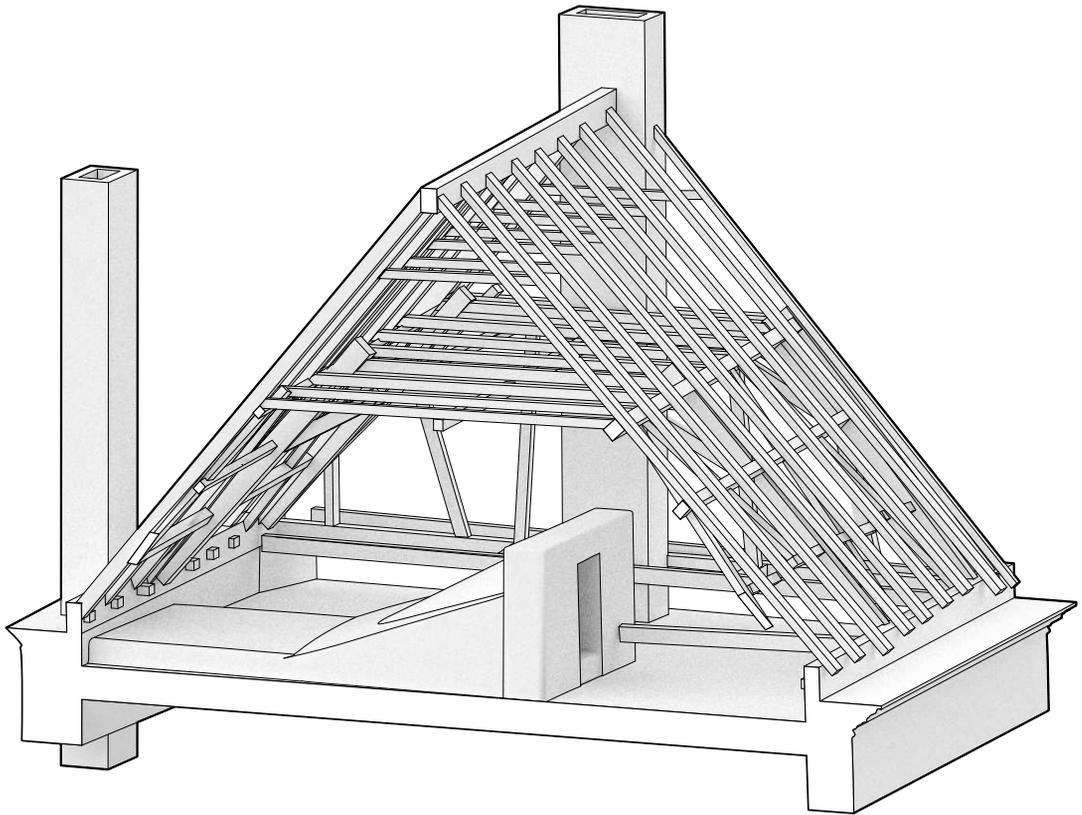


Abb. 51: Axonometrie des Dachstuhls

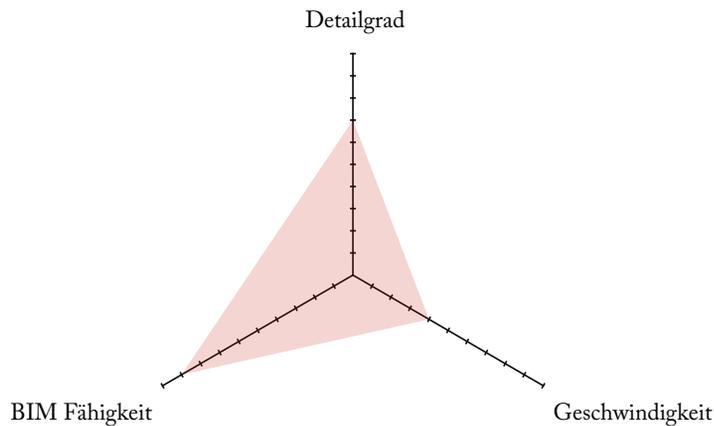


Abb. 52: Einstufung des Bauteils

Das Modell konzentriert sich hauptsächlich auf die Wiederherstellung der Struktur. Jeder Balken, der Teil der ursprünglichen Konstruktion ist, verfügt über eine komplexe Oberfläche. Die Grundstruktur wird jedoch vereinfacht nachmodelliert, wobei besonderes Augenmerk auf die Konstruktion gelegt wird, um eine genaue Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Der Querschnitt der Balken kann aus dem Modell exportiert und zur Durchführung von Statikberechnungen verwendet werden.

Die Rekonstruktion erfolgt in derselben Konstruktionsreihenfolge wie beim Bau des ursprünglichen Dachstuhls. Nur auffällige Verformungen, die im Laufe der Zeit aufgetreten sind, werden dabei berücksichtigt. Die Pointcloud, die den gesamten Dachstuhl erfasst, dient als Referenz, aus der exakte Daten über Verformungen und Beschaffenheit entnommen werden.

Besonders wichtig ist der durchlaufende Kamin, dessen Verlauf von großer Bedeutung für die unteren Geschosse ist. Die Rekonstruktion zielt darauf ab, diesen Verlauf präzise wiederherzustellen, um die Integrität und Stabilität des Gebäudes sicherzustellen. Das Dach wird vereinfacht dargestellt, auch hier steht die Geometrie im Vordergrund.



Stiege

Raumverschnitt

Die Rekonstruktion eines Stiegenhauses ist eine komplexe Aufgabe, da es sich um einen über mehrere Etagen hinweg zusammenhängenden Raum handelt. Dieser Raum zeichnet sich durch Stufen mit unterschiedlichem Trittmaß aus und weist durchgängig Gewölbe in verschiedenen Maßen auf. Zusätzlich sind zahlreiche kleine Gewölbe mit verschiedenen Formen zu berücksichtigen, und es existieren verschiedene Raumanschlüsse. Die erfolgreiche Rekonstruktion erfordert eine sorgfältige Planung und Umsetzung.

Auch wenn das Stiegenhaus sowohl Anschlüsse an die Außenfassade, als auch an die anliegenden Räume hat, liegt der Fokus hier auf die Umsetzung der Geometrie. Zudem wird betrachtet, wie das Stiegenhaus unterteilt werden kann, um es im BIM Modell möglichst flexibel mit Informationen anzureichern.

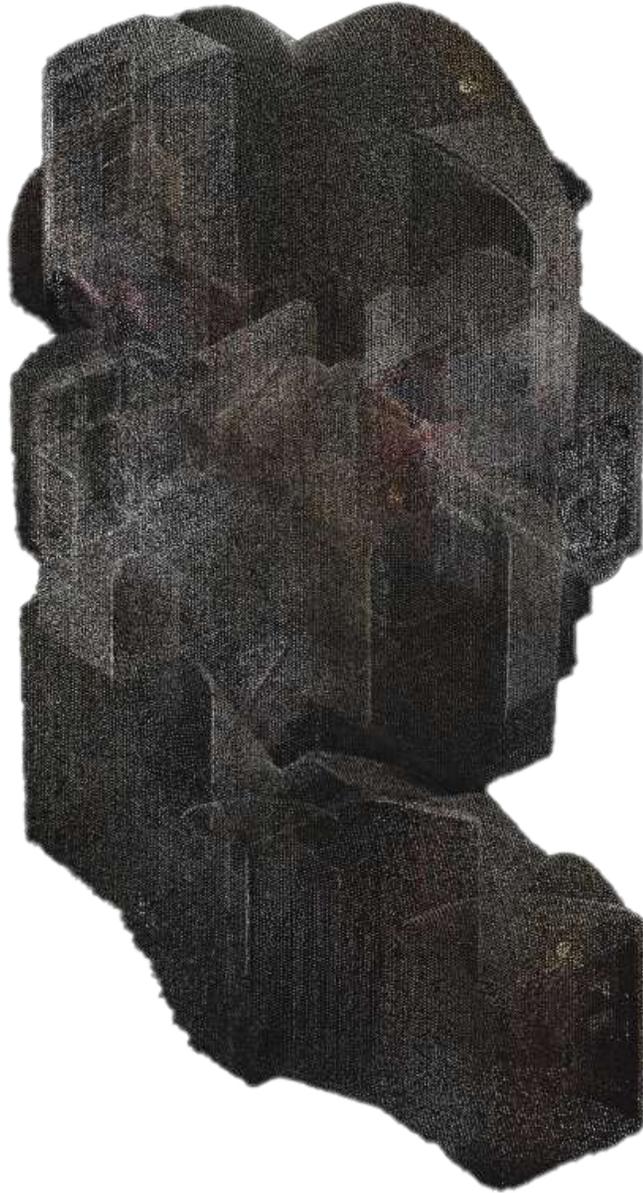


Abb. 54: Pointcloud

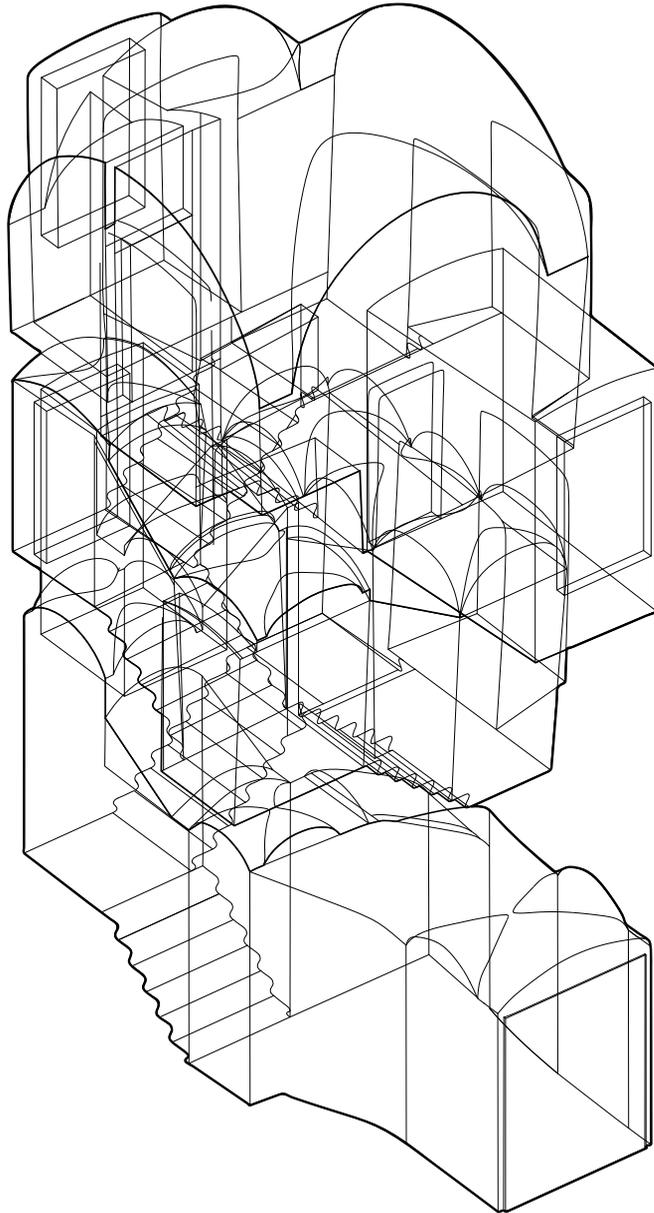


Abb. 55: Konstruktion der Kontur

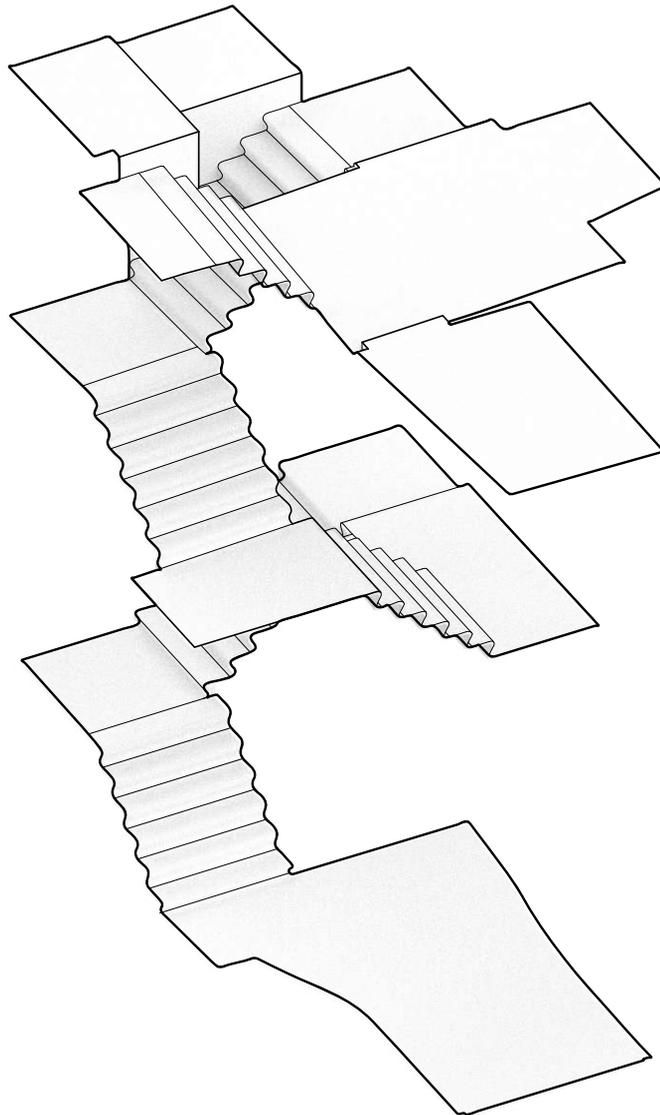


Abb. 56: Boden & Stiegen

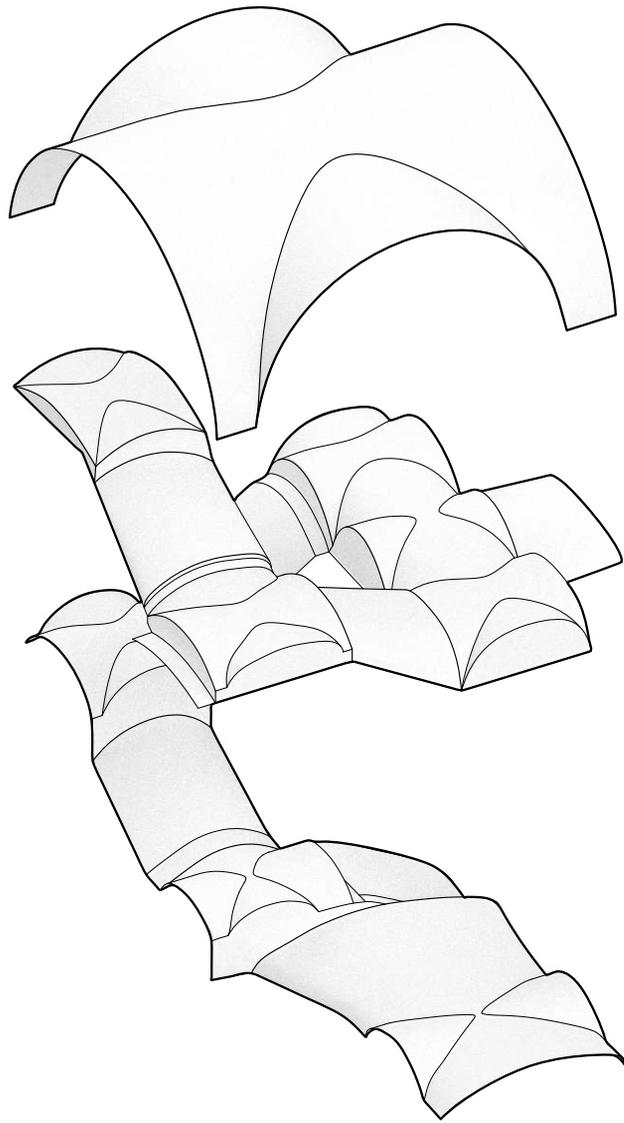


Abb. 57: Gewölbe

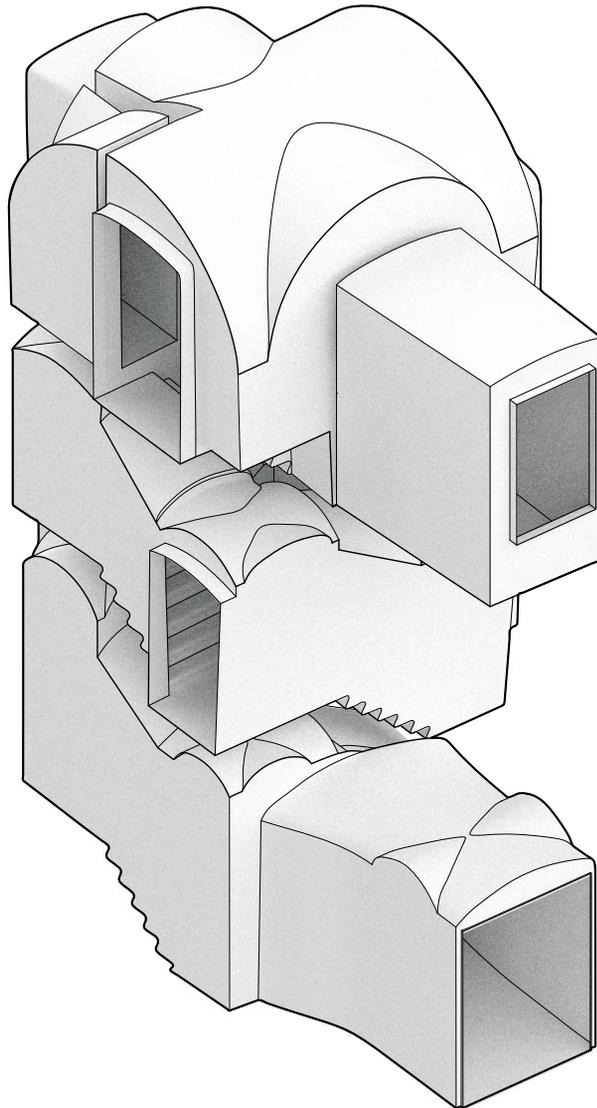


Abb. 58: Negativvolumen des Stiegenhauses

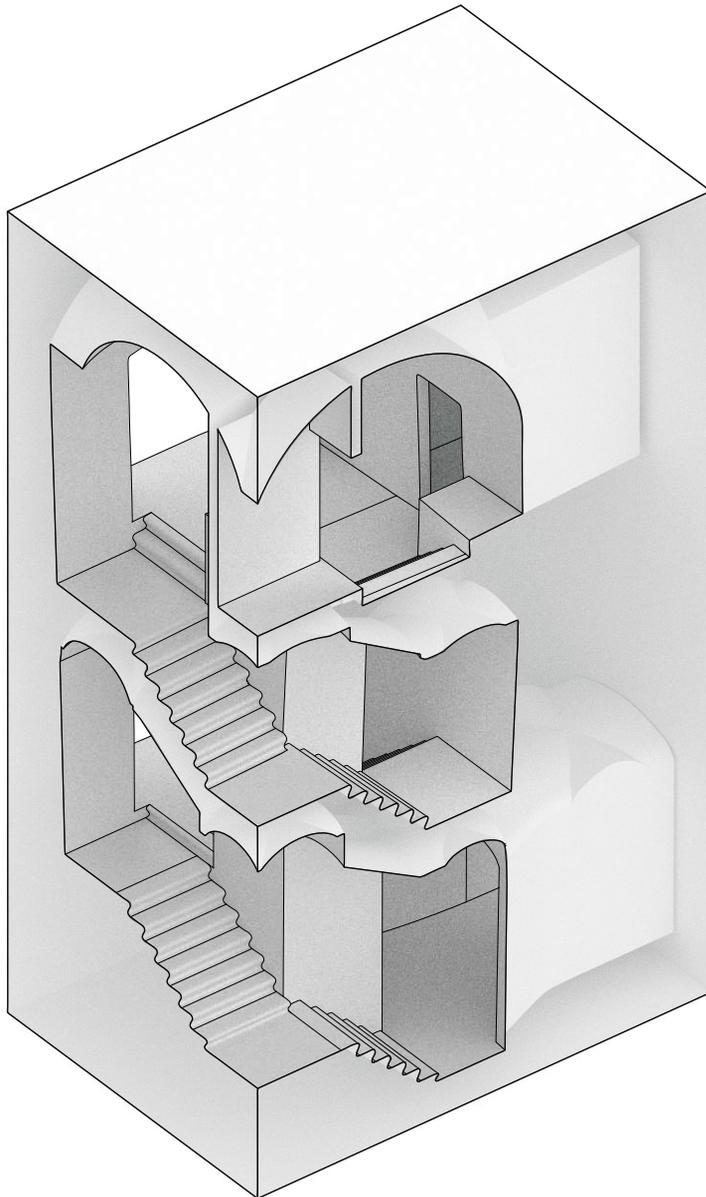


Abb. 59: Ergänzung des Raumvolumens

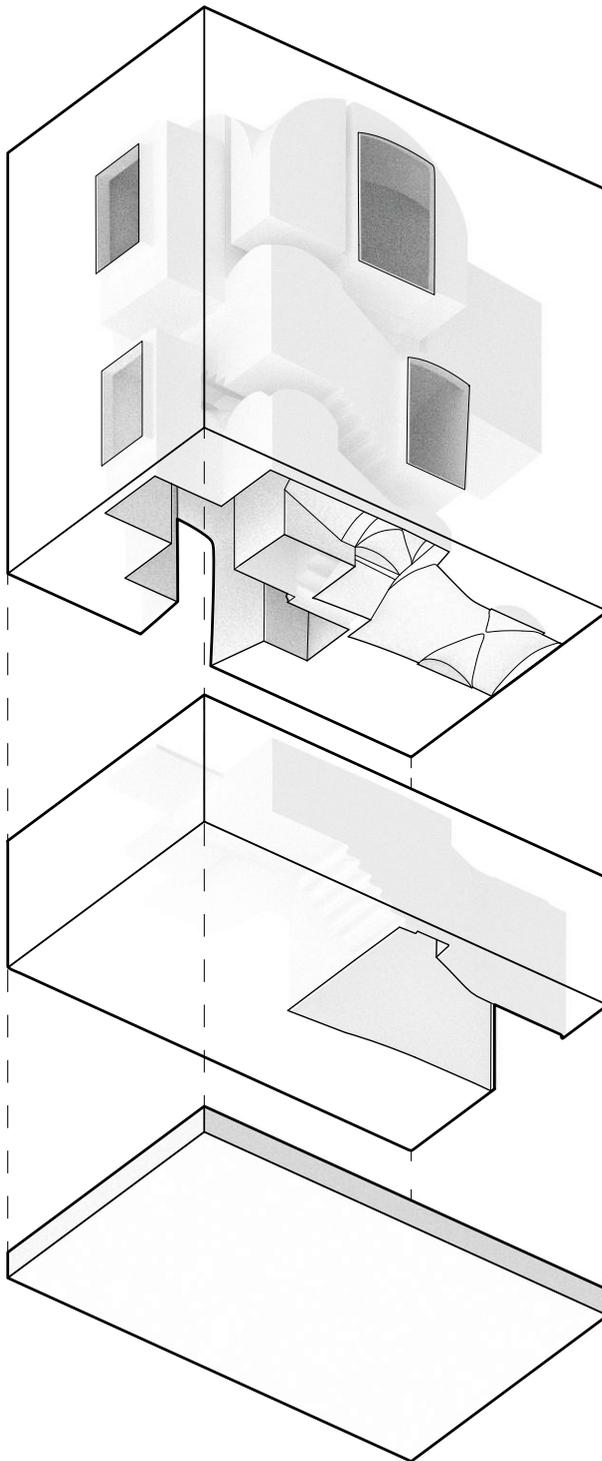


Abb. 60: Explosionszeichnung

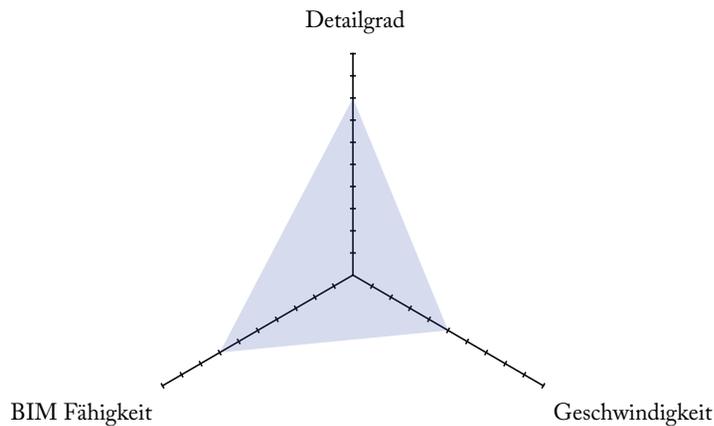
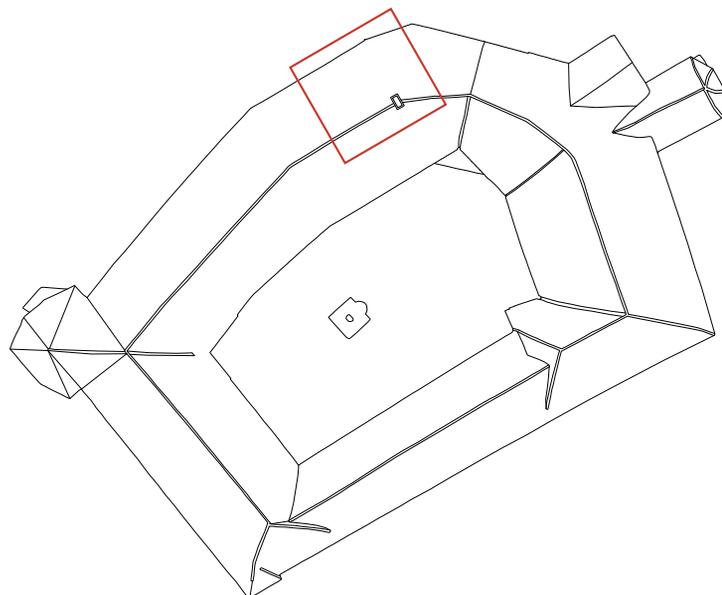


Abb. 61: Einstufung des Bauteils

Die Stufen werden vereinfacht, da die abgelaufene unebene Oberfläche nicht relevant für den geometrischen Aufbau des Raums ist. Dies ermöglicht eine effiziente und übersichtliche Modellierung. Ungenauigkeiten und Details werden aus der Pointcloud extrahiert, um eine möglichst präzise Rekonstruktion zu gewährleisten. Hierbei ist es wichtig, die vorhandenen Datenquellen optimal zu nutzen. Das Stiegenhaus wird als ein zusammenhängender Raum betrachtet, da aufgrund der komplizierten Gewölbestruktur und der fehlenden klaren Etagenunterteilung eine Aufteilung in Etagen nur schwer umzusetzen ist, wie in der Abbildung dargestellt. Die Gewölbestruktur erfordert eine genaue Betrachtung, da jedes Gewölbe unterschiedliche Maße aufweisen kann. Dies erfordert eine gewisse Vereinfachung, um den geometrischen Aufbau grob korrekt darzustellen. Die Schaffung eines geschlossenen Gesamtraumvolumens ist von großer Bedeutung, da es für Berechnungen und Analysen von entscheidender Wichtigkeit ist. Dies gewährleistet eine zuverlässige Grundlage für weitere Schritte in der Rekonstruktion.



Fassade

Oberfläche & Fenster

Die größte Schwierigkeit bei der Bearbeitung der Fassade besteht darin, eine Methode zu entwickeln, mit der die Fassade so präzise wie möglich realisiert werden kann. Dies bedeutet, die unebene Oberfläche und den Sockel des Gebäudes so akkurat wie möglich nachzubilden, um eine authentische Wiedergabe zu erzielen.

Die Fassade selbst weist als einziges Detail die Fenster oder den Anschluss an die Fassade auf. Hierbei handelt es sich um entscheidende Elemente, die das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes prägen und die Funktionalität des Raumes beeinflussen. Daher ist besonderes Augenmerk auf die korrekte Darstellung und Umsetzung dieser Details zu legen.



Abb. 63: Pointcloud

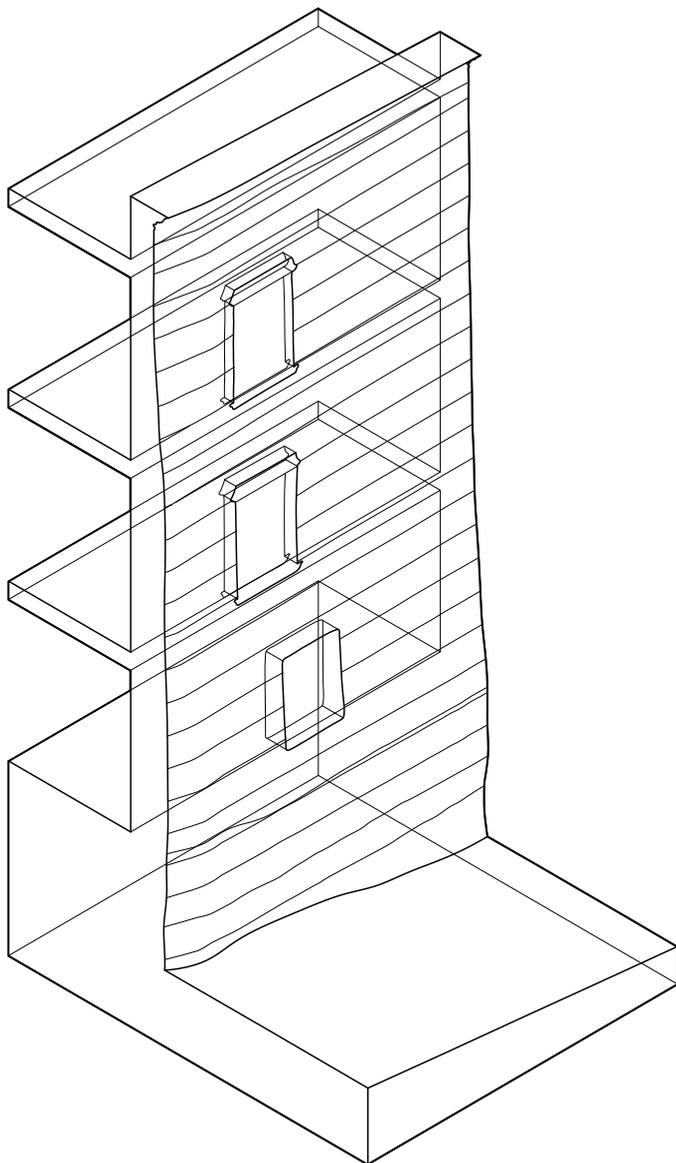


Abb. 64: Konstruktion der Kontur

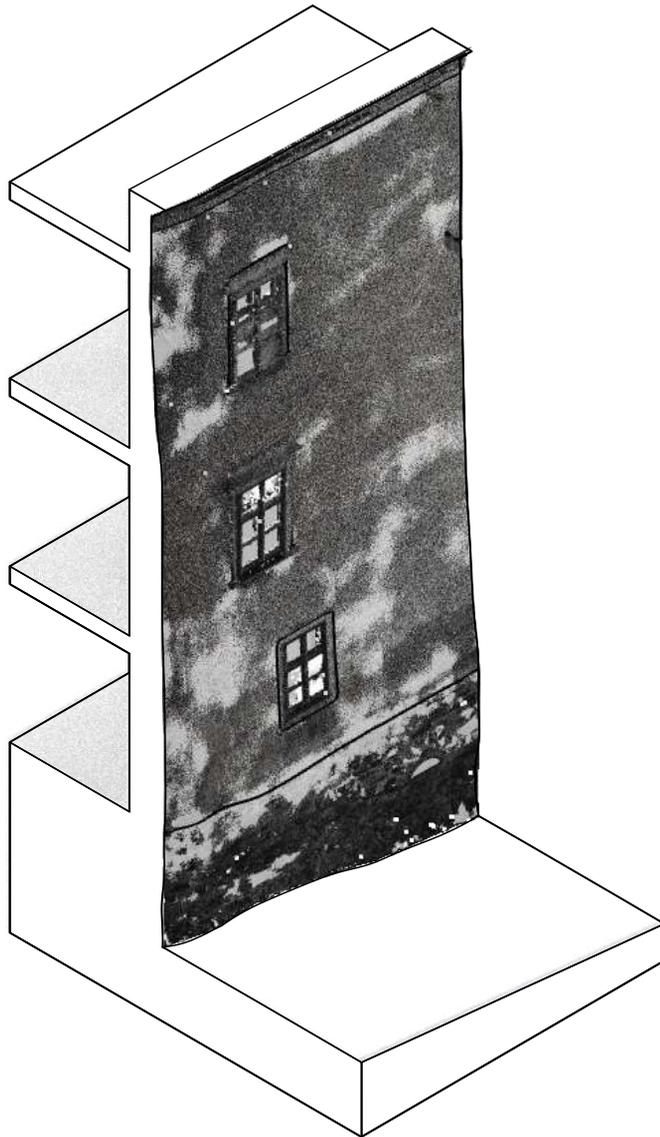


Abb. 65: Verschnitt aus Modell & Pointcloud

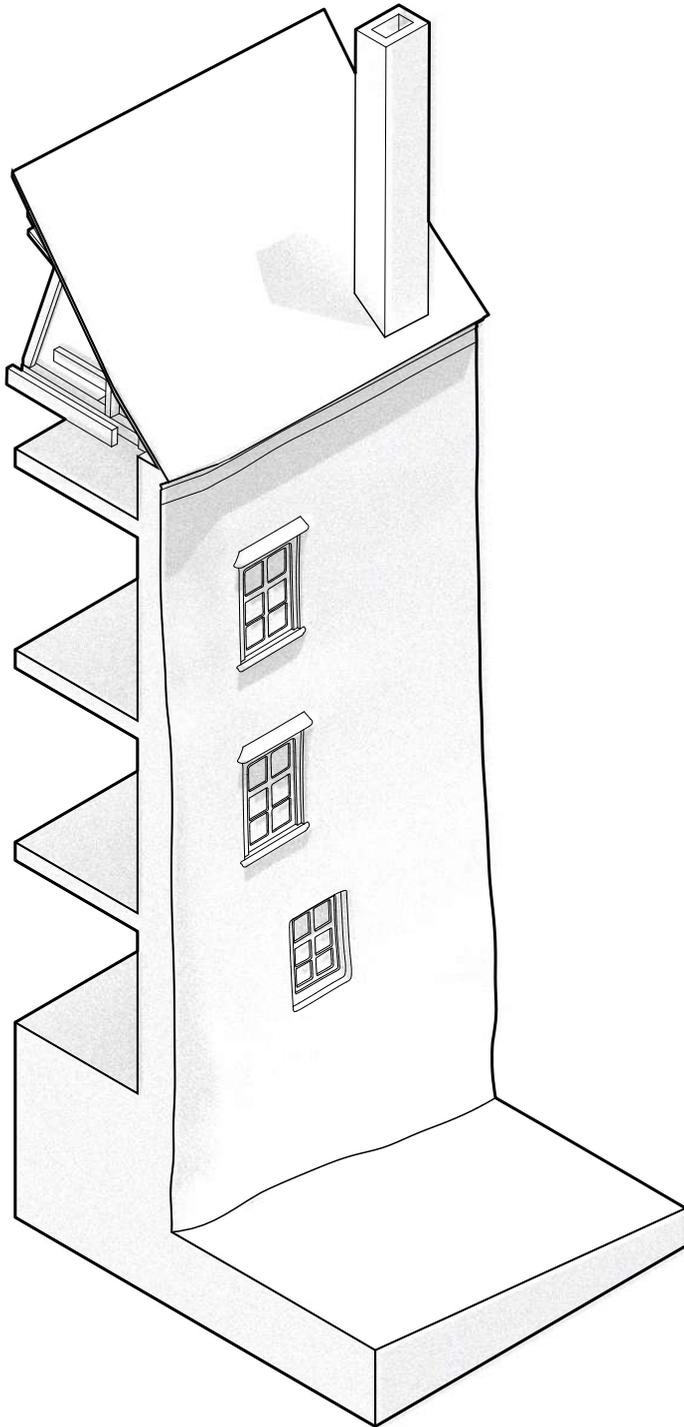


Abb. 66: Hinterlegen von Pointcloudteilen

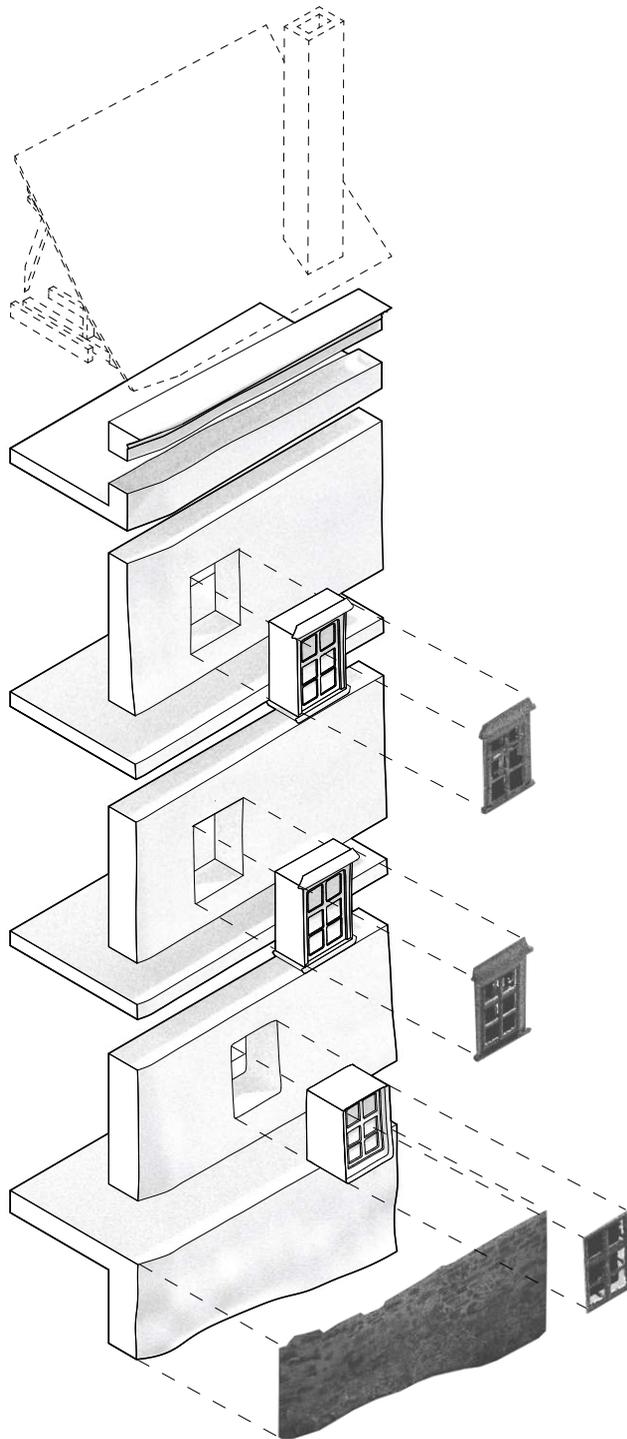


Abb. 67: Explosionszeichnung

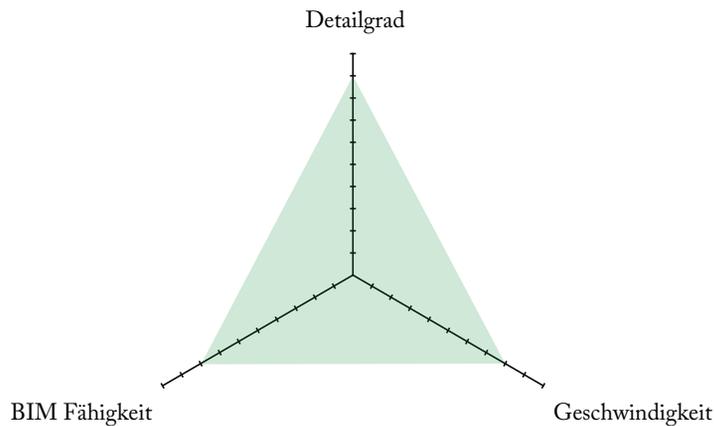


Abb. 68: Einstufung des Bauteils

Um die unebene Oberfläche der Fassade zu rekonstruieren, werden Schnitte im Abstand von 0,7 Metern durch die Pointcloud gesetzt und abgezeichnet. Durch die Anwendung eines Kurvennetzwerks kann eine Fläche generiert werden, bei der der Verschnitt äußerst gering ist, wie in der beigefügten Abbildung 68 zu erkennen ist. Dies stellt sicher, dass die Oberfläche der Fassade möglichst akkurat rekonstruiert wird.

Bei der Rekonstruktion der Fenster handelt es sich um einen mehr pragmatischen Ansatz, bei dem die Pointcloud als Grundlage dient. Die Fenster werden in erster Linie als Platzhalter dargestellt, in die weitere Informationen eingefügt werden können. Die Hinterlegung der Pointcloud ermöglicht eine genauere und detailliertere Erfassung der Bauteile.

Der Sockelbereich des Gebäudes wird in dieser Vorgehensweise auf die gleiche Weise behandelt wie die übrigen Teile der Fassade. Dabei erfolgt die Unterteilung der Fassade in Etagen, wobei der Sockelbereich dem Erdgeschoss (EG) zugeordnet wird, es sei denn, hinter ihm befindet sich ein separater Raum.

Auswahl BIM

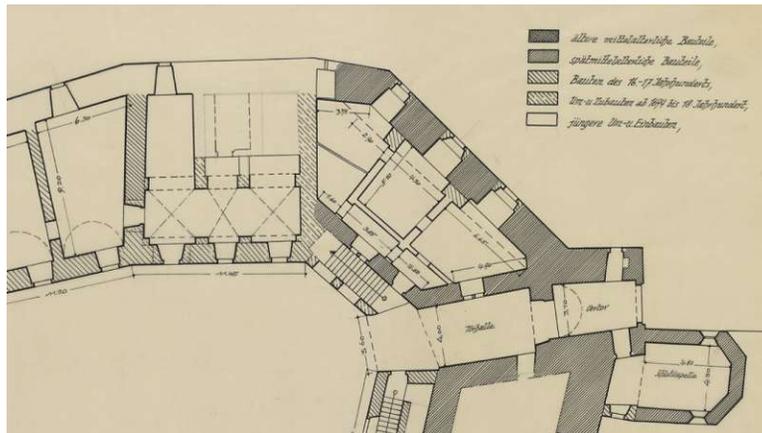


Abb. 69: Grundriss mit Bauphasen (1955)

Aufgrund der repetitiven Struktur des Schlosses wurde ein Ausschnitt exemplarisch erstellt, um die geometrische Genauigkeit des HBIM-Modells zu überprüfen. Dabei war das Ziel, einen Bereich auszuwählen, der möglichst viele Facetten des Schlosses abdeckt, um eine breite Palette von Bauphasen zu repräsentieren. Insbesondere im Nord-Ost-Bereich des Schlosses treffen grundsätzlich drei Bauphasen aufeinander, was eine interessante Vielfalt an architektonischen Elementen bietet. Dazu gehören das Stiegenhaus, die Eingangsstiege, die Durchfahrt des Eingangs, der Brückenanschluss, verschiedene Gewölbe und Bögen.

Anhand dieses Ausschnitts wird geprüft, wie groß die Abweichung von den zuvor erarbeiteten Techniken zur Rekonstruktion der Bauteile im Vergleich zum ursprünglich auf Basis der Pointcloud erstellten Planmaterial ist, und ob die Rekonstruktion im generierten HBIM-Modell die Grundrisse strukturell darstellt.

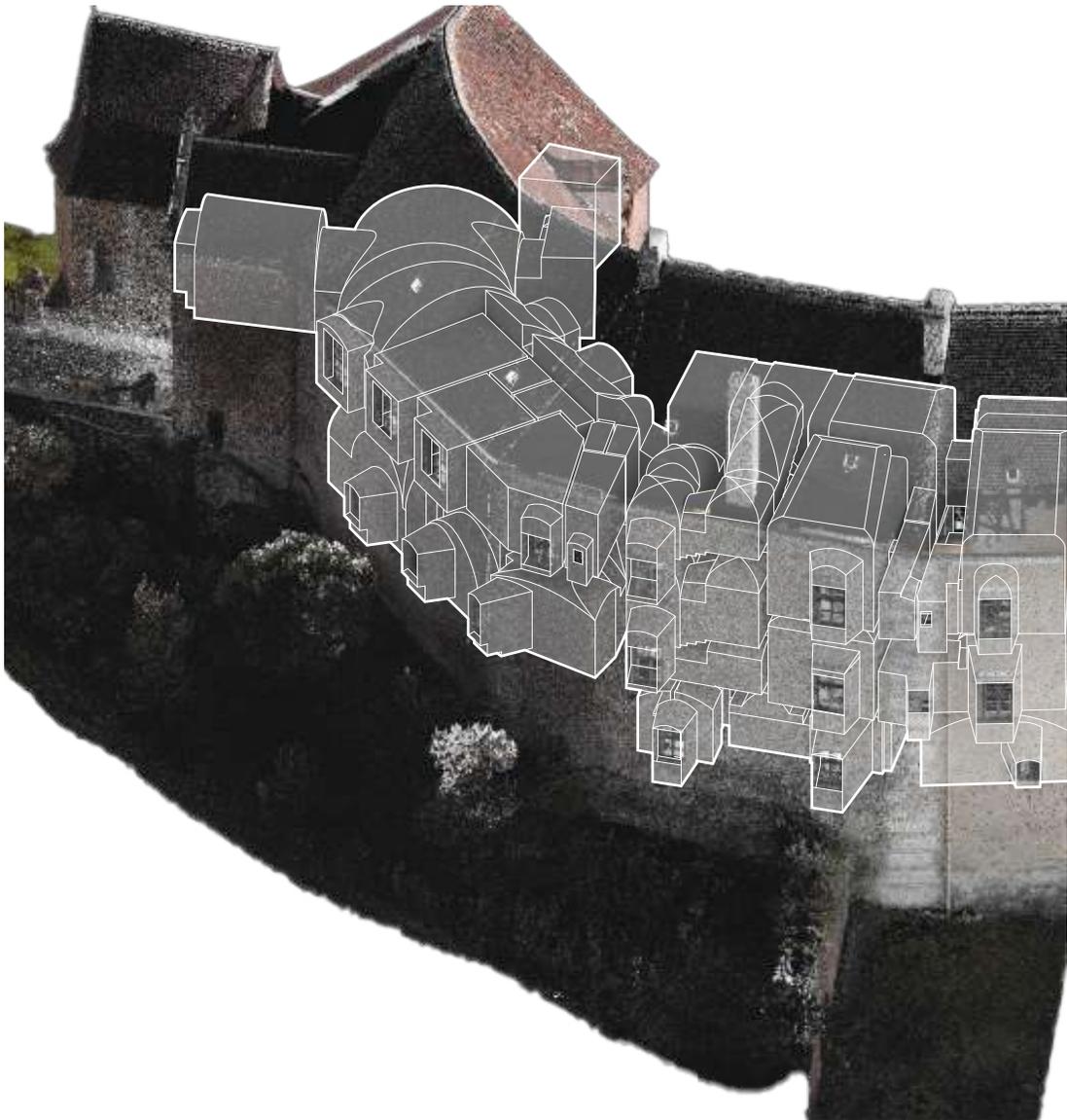
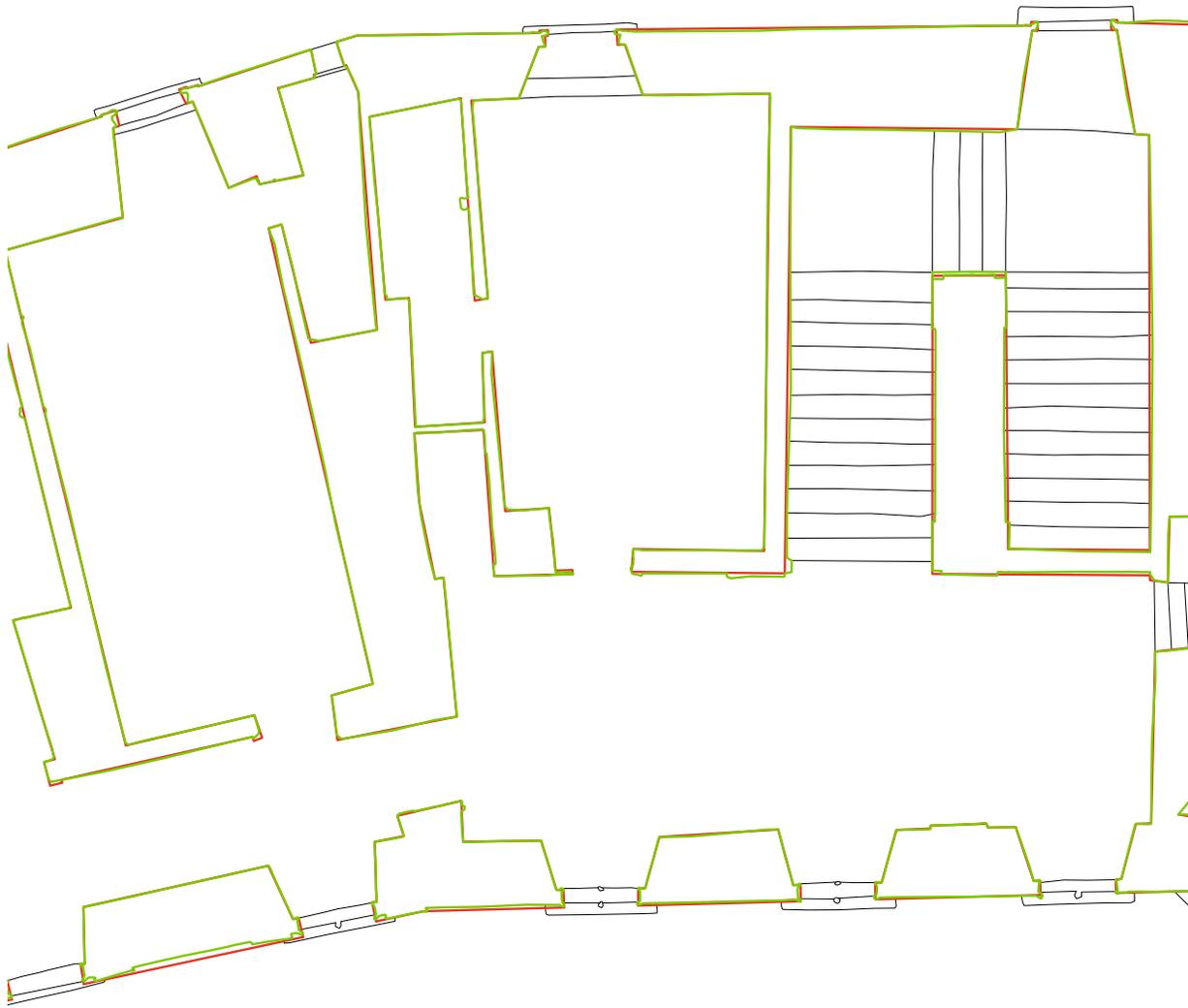


Abb. 70: HBIM-Modell & Pointcloud

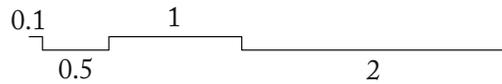


Der Verschnitt der Grundrisse zeigt, dass sich die größten Versprünge durch vereinfachte Stuckleisten an Fenstern und Türen befinden. Diese Elemente sind im HBIM-Modell nur grob als Volumen dargestellt, die Pointcloud enthält die Detailinformationen. Die für das Modell vereinfachten Wände haben einen maximalen Versprung von 7.3cm.



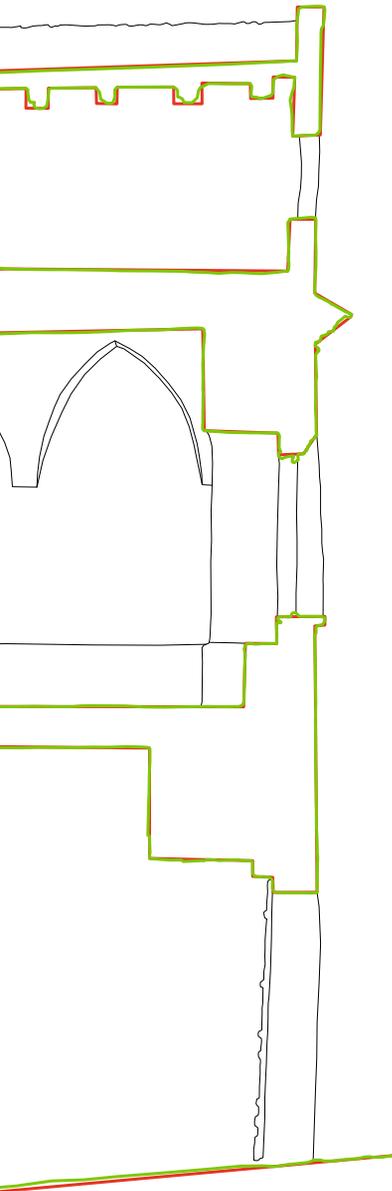
Abb. 71: Überlagerung der Grundrisse 2.OG M 1:100





● abgezeichnete Pointcloud

● HBIM-Modell



Die Überlagerung der Schnitte zeigt das gleiche Ergebnis wie bei den Grundrissen. Im Bereich des Dachstuhls liegt der maximale Versprung bei 10,3cm, bei den Gewölben sind es lediglich 5,8cm. Dabei ist zu beachten, dass der Dachstuhl in dem Modell zugunsten der Revit-Kompatibilität vereinfacht wurde, der Fokus dabei lag auf der Verortung und dem Umfang der Balken.

Abb. 72: Überlagerung der Schnitte 2.OG M 1:100

Ergebnisdiskussion

Ansprüche des BIM Modells

Ergebnis

Bei der Forschung zum LOD in HBIM-Modellen wird deutlich, dass hauptsächlich spezifische Lösungen für einzelne Probleme entwickelt werden. Die LOD-Systeme konzentrieren sich oft auf Einzelbauteile und vernachlässigen andere Aspekte.

Der vorgeschlagene Ansatz bietet eine Möglichkeit zur Schaffung einer Struktur, in der alle notwendigen Informationen gesammelt und verwaltet werden können. Es zielt auf den praktischen Einsatz ab und ermöglicht verschiedene Detailgrade, die im Modell übereinanderliegen. Durch das NURBS-basierte Modellieren in Rhino können Pointcloud-Modelle präzise nachgebildet werden. Da das NURBS-basierte Modellieren einen unbegrenzten Detailgrad erlaubt, muss ein LOD definiert werden, das Raumstrukturen so weit vereinfacht, dass primär wichtige räumliche Strukturen repräsentiert werden. Um die BIM-Kompatibilität beim Export nach Revit sicherzustellen, sollte eine sinnvolle Aufteilung der Bauteile definiert werden, die dann zu Volumenkörpern erweitert werden können. Diese Volumenkörper können in Revit problemlos als Bauteilfamilien definiert werden. Bauteile mit hohem Detailgrad wie Fenster, Türen und Stuck sollten vereinfacht und im finalen Modell durch Pointcloud-Modelle repräsentiert werden. Auch Gewölbe und besondere Raumelemente können durch die Pointcloud ergänzt werden, um den vollständigen Detailgrad im finalen HBIM-Modell zu gewährleisten. Die Raumstruktur und die Pointcloud werden durch historisches Planmaterial ergänzt, um verschiedene Entwicklungen des Gebäudes nachvollziehen zu können. Darüber hinaus können Fotos und Notizen im Modell verortet werden. Schließlich können aus der Pointcloud Mesh-Modelle generiert werden, die je nach Bedarf von kleinen Details

bis hin zu ganzen Räumen reichen können. Diese Mesh-Modelle können ebenfalls in das HBIM-Modell integriert werden. Das Ziel ist es, die Bedürfnisse aller Beteiligten im Bauwesen durch die verschiedenen Informationsebenen im Modell zu bedienen.

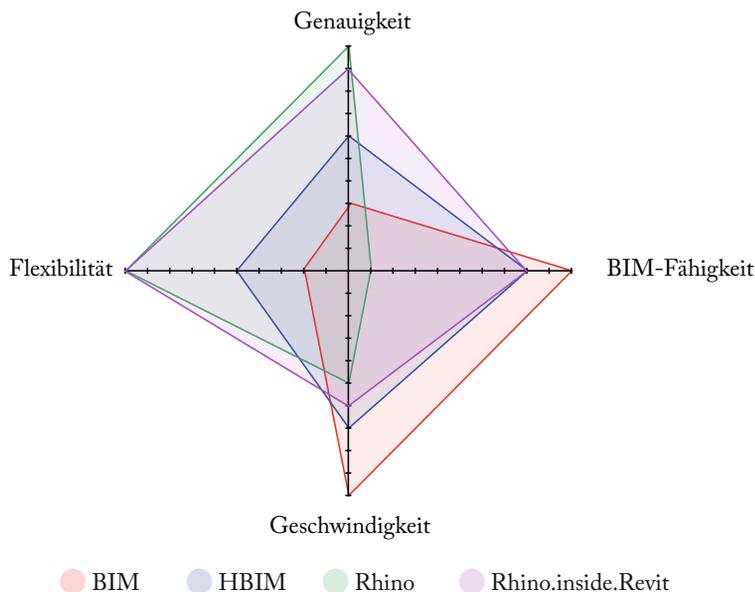


Abb. 73: Auswertung CAD

Die Basis des Modells soll in diesem Workflow mit Rhino generiert werden. Im direkten Vergleich mit herkömmlichen BIM- und HBIM-Programmen wird klar, dass Rhino mit dem Plugin Rhino.inside.Revit deutlich mehr Flexibilität beim Modellieren zulässt. Der Grund dafür ist, dass sich herkömmliche BIM- und HBIM-Programme größtenteils auf das Modellieren mit vordefinierten Bauteilen stützen. Zwar sollen diese in den HBIM-Programmen an die anspruchsvollen Geometrien historischer Gebäude angepasst werden, jedoch stoßen die Bauteilkataloge durch die Vielzahl an unterschiedlichen Bauteilen immer wieder an ihre Grenzen. Da Rhino NURBS-basiert funktioniert, gibt es keine Limitierung in den Modelliermöglichkeiten. Durch die Ergänzung von Revit können im zweiten Schritt sämtliche BIM-Funktionen genutzt werden. Die Aufgabe besteht darin, ein passendes LOD zu bestimmen, um die Modelle gezielt aufbauen zu können.

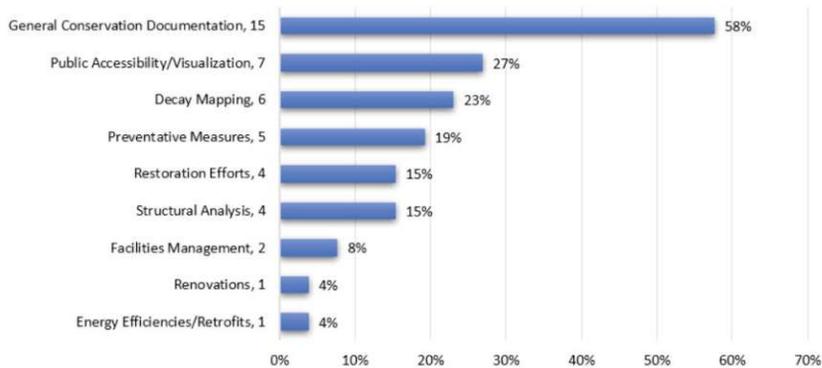


Abb. 74: Ausrichtung der HBIM-Modelle nach Ewart

LOD beschreibt den Informationsgehalt in BIM-Modellen. Die gängige Unterteilung von LOD 100-500 orientiert sich dabei an dem fortlaufenden Bauprozess und definiert zu welchem Zeitpunkt welche Information in dem BIM-Modell enthalten sein muss. Dadurch dass historische Bauten zum Zeitpunkt des Erstellens vom Modell bereits fertiggestellt sind, muss also ein anderes LOD-System entwickelt werden.

Die vorgeschlagenen LOD-Systeme für HBIM fokussieren sich dabei überwiegend nur auf die Lösung eines speziellen Problems. Abbildung 74 zeigt, wie dabei die Verteilung auf die Fachbereiche ist. Dabei entstehen Modelle, die beispielsweise nur die Bauphasen, sinnhafte Aufteilung von Bauteilen oder das exakte Rekonstruieren von Pointclouds fokussieren.

Ein umfassender Ansatz, das LOG (Level of Geometry), versucht die herkömmliche LOD-Unterteilung auf historische Bauten zu übertragen. Dabei beschreiben die vorangehenden LOD-Stufen die Definition des geometrischen Fortschritts. Über die LOD-Stufen wird auch hier definiert, wieviel Information in dem Modell enthalten ist und wie exakt das Gebäude modelliert ist. Um die Genauigkeit des Modells zu bestimmen, wird das System GOA (Goal Oriented Approach) vorgestellt. Dabei wird die Differenz zwischen Modell und Pointcloud bemessen.³⁷

Auch wenn mit NURBS-basierten Programmen modelliert wird, kann ein rekonstruiertes Modell nie soviel Informationen wie eine Pointcloud enthalten. Um diese Informationen zusätzlich im Modell verfügbar zu machen, wird demnach ein Ansatz gewählt, bei dem das

37 vgl. Ewart „Heritage Building Information Modelling (HBIM): A Review of Published Case Studies“, S.35-41.

Modellierte nur ein Teil des HBIM-Modells ist. Durch das Aufteilen von Informationsgruppen entstehen so drei Grundbausteine: das vereinfachte, aber geometrisch korrekte 3D-Modell, die in relevante Bauteile zerteilte Pointcloud und die Foto- und Schriftdokumentation, welche historisches Planmaterial und Fotos beinhalten soll.

Um das LOD einzelner Raumkonstellationen zu bestimmen, muss vorab ein Probelauf mit verschiedenen bauteilen durchgeführt. Neben dem Anspruch nicht mehr als 5cm von der Pointcloud abzuweichen, soll auch die Aufteilung in Bauteile und die sinnhafte Referenzierung von Pointclouds erprobt werden.

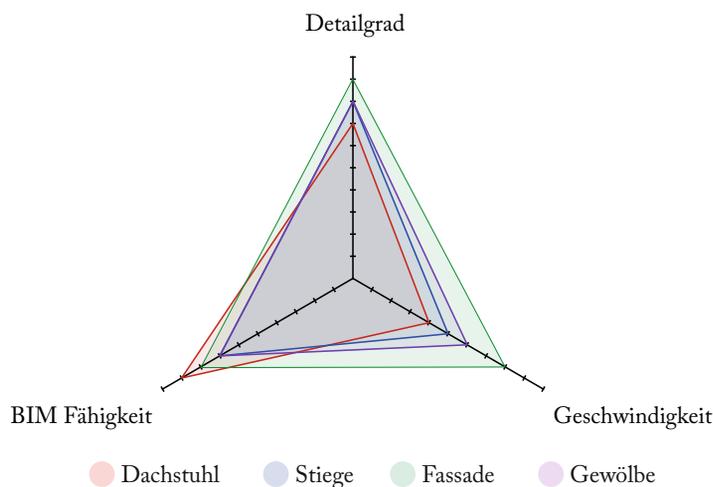


Abb. 75: Auswertung Bauteile

Um die Geometrien effizient modellieren zu können, müssen Workflows für die einzelnen Bauteile erprobt werden. Durch das vorab definierte Vorgehen, ist es möglich mit dem vorgegebenen Detailgrad in kurzer Zeit Raumgeometrien zu rekonstruieren. Manche Bauteile wie Fenster, Türen oder die im Beispiel aufgeführte Säule werden dabei vereinfacht dargestellt und durch die freigestellte Pointcloud ergänzt.

Bei dem Vergleich der durch Revit erzeugten Grundrisse mit den vorab, von der Pointcloud abgezeichneten Grundrissen, wird zwar vereinfachte Geometrie der Räume sichtbar, jedoch verspringt diese nie mehr als 5cm. Grobe Versprünge der Wände werden abgedeckt und der

strukturelle Aufbau wird klar. Da in diesem Workflow der Grundriss vor allem dem Flächen-
aufmaß, der räumlichen Planung und dem Verständnis von Wandverläufen dient, reicht die-
ser Detailgrad aus. Für einen erhöhten Detailgrad ist die Pointcloud im Modell referenziert.

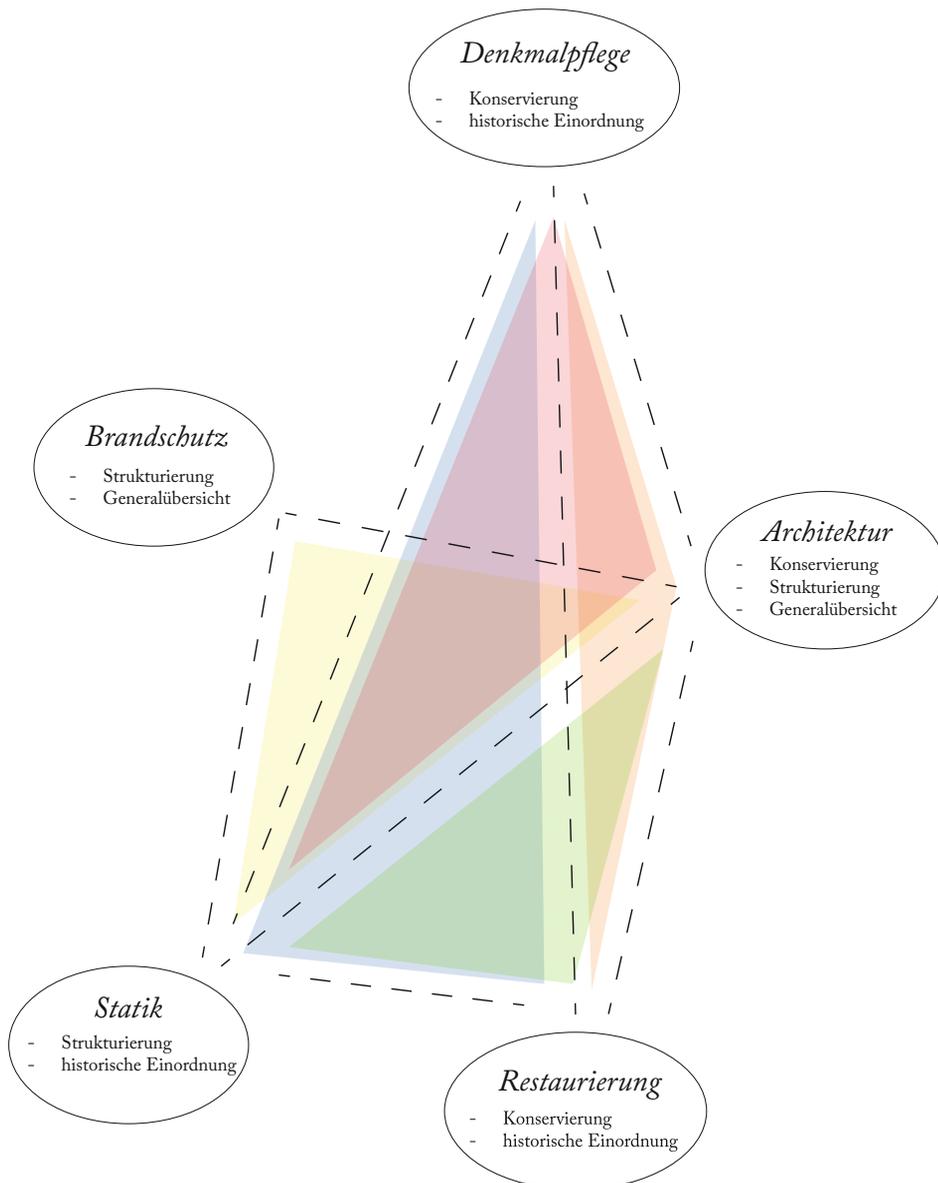


Abb. 76: Auswertung Interviews

Die Interviews mit verschiedenen Expert*innen zeigen ein grundsätzliches Interesse an HBIM-Modellen. Dabei gibt es Überschneidungen in den Interessen der verschiedenen Akteure.

In der Denkmalpflege liegt der Fokus auf der Konservierung und der historischen Einordnung von Gebäuden. Die Brandschutz-Expert*innen haben ein starkes Interesse an der Strukturierung und der Erstellung einer umfassenden Generalübersicht. In der Architektur steht die Konservierung im Vordergrund, wobei gleichzeitig Wert auf die Strukturierung und die Schaffung einer umfassenden Generalübersicht gelegt wird. Bei der Restaurierung wird besonderes Augenmerk auf die Konservierung und die historische Einordnung gelegt. Statiker*innen sind insbesondere an der Strukturierung und historischen Einordnung von Gebäuden interessiert.

Neben den Kernaussagen zum Nutzen des Modells wurden auch kritische Punkte angebracht. Hinsichtlich der Komptabilität der an dem Modell beteiligten Parteien stehen dort vor allem die Layerstruktur und das Dateiformat im Vordergrund. Zudem sind die verwendeten Programme nicht sehr zugänglich, es braucht Erfahrung, um diese bedienen zu können. Das HBIM-Modell benötigt einen Manager, der das Modell pflegt und Änderungen und neue Informationen in das Modell einarbeitet. Werden diese Schwierigkeiten überwunden, dann besteht jedoch großes Potential in den Modellen.

Einer der wichtigsten Ansprüche an das Modell ist die Schadenkartierung und Entwicklung des Modells. Da Schäden oft über längere Zeiträume beobachtet werden müssen, um entscheiden zu können, ob sie behoben werden müssen, soll das Modell zur Verortung und Nachverfolgung dienen. Dabei ist die detaillierte Bauteilansicht von großer Bedeutung. Des Weiteren kann das Modell als Sammelort sämtlicher Dokumente genutzt werden. Das hilft zum einen bei der logistischen Herausforderung physischer Objekte und zum anderen macht es die Dokumente zugänglicher, da diese gebündelt in einer Datei vorhanden sind. Zudem können Bauteile kategorisiert werden, um eine Übersicht des Gebäudes zu bekommen.

Interpretation

Betrachtet man die Ansprüche der Interviewpartner*innen genauer, lassen sich für jeden Akteur wesentliche Schwerpunkte in Bezug auf ihre Anforderungen an das Modell herausarbeiten. Wie in der Grafik ersichtlich, überschneiden sich diese Anforderungen, was zu einer sinnvollen Verknüpfung der verschiedenen Aspekte führt. Die Grundstruktur bietet eine Generalübersicht, unterstützt bei der Flächenaufnahme und der Planung. Hierdurch können Brandschutzpläne erstellt und Umbauprojekte geplant werden. Das 3D-Modell trägt dazu bei, die Raumvolumina und Wandverläufe nachzuvollziehen. Oberflächenmaterialien und Zustände können aus der Pointcloud abgeleitet werden. Darüber hinaus kann die Pointcloud durch Aufnahmen aus verschiedenen Jahren erweitert werden, was die Verfolgung der Gebäudeentwicklung, beispielsweise von Schäden, ermöglicht. Somit erweist sie sich als wertvolles Werkzeug für die Konservierung von Gebäuden.

Um vergangene Zustände des Gebäudes zu rekonstruieren, wird auf historisches Planmaterial Bezug genommen. Dies kann sowohl für Statikberechnungen als auch für denkmalpflegerische Arbeiten äußerst nützlich sein. Ein großer Vorteil dabei ist die Möglichkeit, die Genauigkeit des historischen Planmaterials und seine Beziehung zu den darüber liegenden Räumen nachzuvollziehen. Für restauratorische Arbeiten kann die Pointcloud eine bedeutende Rolle spielen. Schäden können lokalisiert und im Gesamtkontext analysiert werden. Selbstverständlich ersetzt dies nicht die Vor-Ort-Besichtigung, kann aber bei Kalkulationen, insbesondere bei Gebäuden in weiter Entfernung, hilfreich sein. Sollte ein NURBS-Modell benötigt werden, kann die Pointcloud in ein Mesh umgewandelt werden.

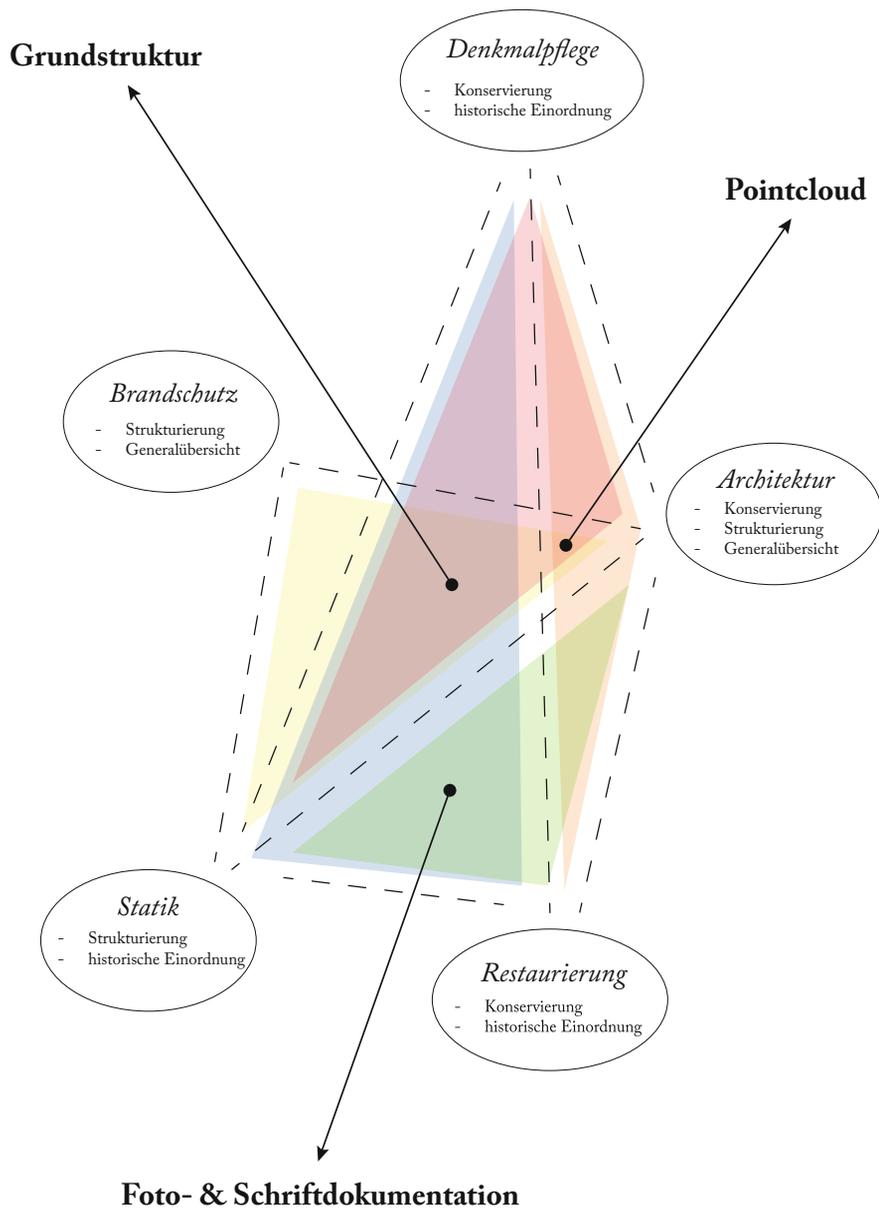


Abb. 77: Auswertung Interviews & Deutung

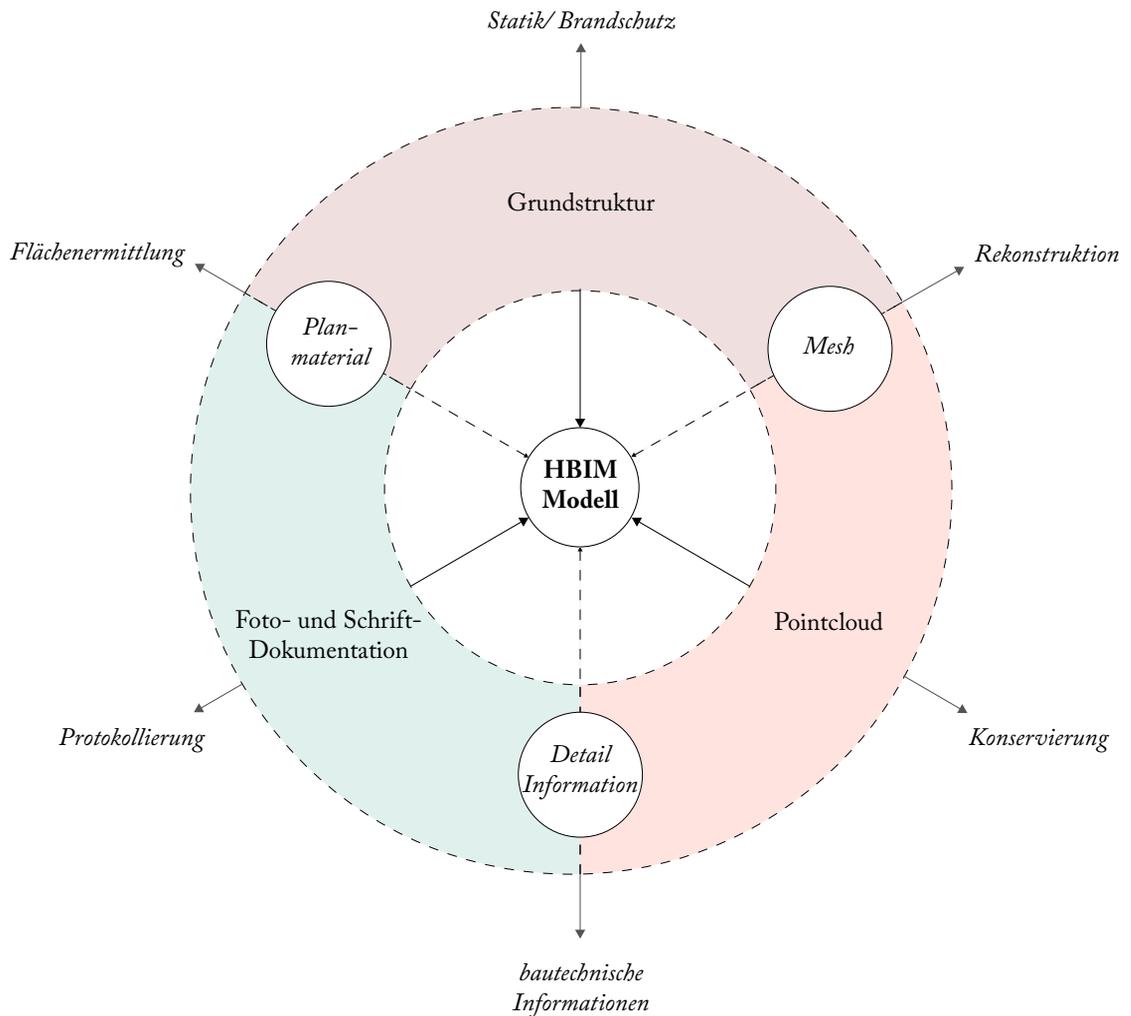


Abb. 78: Aufbau BIM Modell

Wie bereits erwähnt, können Meshes bei Bedarf auch in das HBIM-Modell zurückgeführt und dieses ergänzen. Da das Modell in Revit exportiert wird, können auch bautechnische Informationen, die beispielsweise durch Wandöffnungen dokumentiert wurden, den Bauteilen im HBIM-Modell als Attribute zugewiesen werden. Die Gesamtstruktur ist so gestaltet, dass sie kontinuierlich erweitert und angepasst werden kann.

Ein Nachteil dieses hier verwendeten Workflows besteht darin, dass viele verschiedene Programme erforderlich sind. HBIM-Programme versuchen in der Regel, möglichst viele Schritte in einem Programm zu vereinen. In diesem Workflow sind die Schritte auf verschiedene Programme aufgeteilt, um das volle Potenzial nutzen zu können. Dies kann sich negativ auf die Zugänglichkeit der Workflows auswirken. Allerdings sind alle Informationen bei der aktiven Nutzung im Revit-Modell gebündelt. Ähnlich wie bei BIM-Modellen ergibt es Sinn, alles um ein zentrales BIM-Management zu organisieren.

Eine weitere Schwäche des Systems ist die fehlende Definition und Messbarkeit der Geometrien. Zwar wurde beim Modellieren vorgegeben, dass keine größeren Abweichungen als 5 cm von der Pointcloud auftreten dürfen, jedoch wäre ein Richtwert zur Beurteilung der Differenz zwischen Modell und Pointcloud eine sinnvolle Ergänzung, um die Genauigkeit des 3D-Modells zu bewerten. Zudem fehlt dem Modell ein Bemessungssystem, das angibt, wie viele Informationen tatsächlich enthalten sind. Obwohl die Kombination der Informationsgruppen das Gebäude ganzheitlich abdeckt, bildet sie lediglich die Grundlage für potenzielle Umbauprojekte, statische Berechnungen und technische Installationen.³⁷

Die Kombination mit dem zuvor vorgestellten LOG (Level of Geometry) und GOA (Goal Oriented Approach) kann eine sinnvolle Ergänzung sein. Anhand der Bestimmungen des GOA kann die Abweichung von der Pointcloud anhand der GOA-Richtwerte 20-100 festgelegt werden. Falls für ein Bauteil keine exakte Rekonstruktion erforderlich ist, wird dies zumindest im Bauteil vermerkt. Bei Bauteilen, die nach GOA 100 modelliert wurden, kann zusätzlich die Pointcloud als Vergleichswert hinzugezogen werden. Dadurch kann auch eine grundsätzliche Aussage darüber getroffen werden, auf welchem Niveau das 3D-Modell erstellt wurde. Die Abbildung zeigt, wie die hier rekonstruierte Fassade anhand dieses Ansatzes eingestuft werden kann.

38 vgl. Brumana „Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment“, S.15.

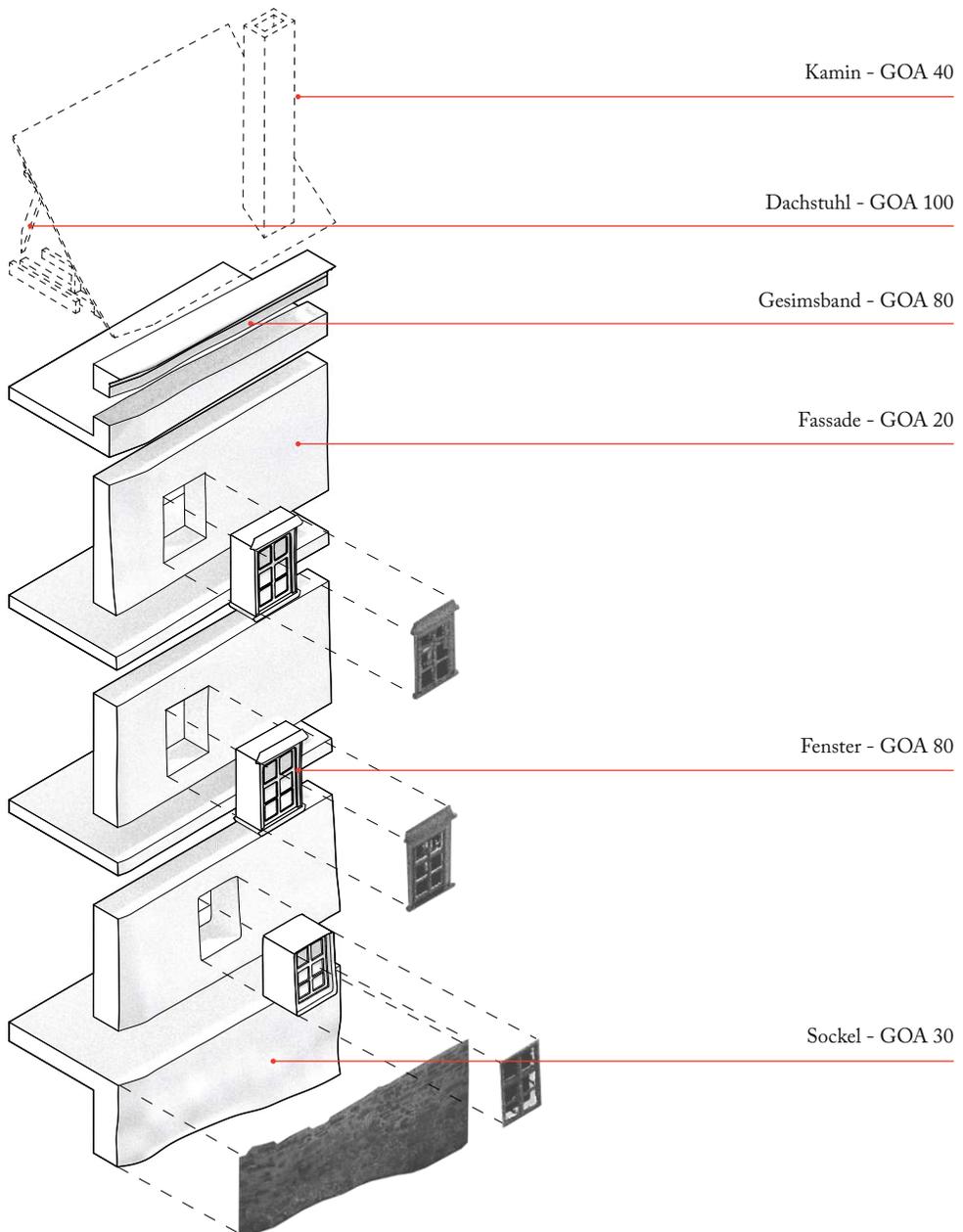


Abb. 79: Ergänzung des Bauteils durch GOA-Definition

REQUIRED HBIM LEVEL OF GEOMETRY					
LOG 100 CONCEPTUAL MODEL HISTORICAL REPORTS, ARCHIVES	LOG 200 APPROPRIATE GEOMETRY, 3D SURVEY, DATA ACQUISITION	LOG 300 PRECISE GEOMETRY, SCAN-to-BIM MODEL OBJECT	LOG 400 BIM USES CONSERVATION PLAN	LOG 500 CONSERVATION SITE	LOG 600 AS-BUILT, LLCM, CDE, HUBs
<i>historical building contracts, historical drawings, historical documentation (pictures, photos and documents)</i>	<i>on-site data acquisition, 3D surveying, 2D/3D restitutions (plans and sections, 3D meshes)</i>	<i>object modeling, precise drawing extraction</i>	<i>material/decay mapping, diagnostics IRT, NTD, BIM-to-FEA, energy analysis, BIM implants, on- site construction management, WBS and computation</i>	<i>on-site construction interventions of conservation</i>	<i>Life Cycle Cost Management and Monitoring, VR and sensor-based communication purposes</i>

Abb. 79: LOG-Definitionen nach Brumana

Durch die Integration des LOG-Systems kann zudem der Fortschritt des Modells dokumentiert werden. Nicht in jedem Projekt ist immer ein vollständig ausgereiftes Modell erforderlich, aber die Anforderungen können sich im Laufe der Zeit ändern und das Modell kann entsprechend angepasst werden.

Insgesamt hat der Abgleich mit den Anforderungen der Interviewpartner gezeigt, dass der vorgeschlagene Modellaufbau sämtliche erforderlichen Informationen bereitstellen kann. Die Integration der segmentierten Pointcloud im Modell ermöglicht einen erheblich gesteigerten Informationsgehalt im Vergleich zu einem reinen 3D-Modell. Das HBIM-Modell unterstützt jedoch bei der Verortung und den praktischen Anforderungen, die die Pointcloud allein nicht erfüllen kann. Zudem hat das HBIM-Modell das Potenzial, eine zentrale Sammelstelle für sämtliche Informationen zu sein. Mit zunehmender Anzahl von HBIM-Programmen macht es auch Sinn, den Aufbau um zusätzliche Messwerte (GOA & LOG) zu erweitern, um die Vergleichbarkeit und Kommunikation zwischen allen Parteien zu verbessern.

Erkenntnis

Der Bedarf an HBIM-Modellen ist grundsätzlich vorhanden. Die Interviews haben gezeigt, wie verschiedene Akteure von den Informationen in dem Modell profitieren können. Das Modell soll dabei, ähnlich wie ein herkömmliches BIM-Modell, als zentrale Sammelstelle aller Informationen funktionieren. Obwohl es bereits vorgegebene Strukturen in BIM-Modellen gibt, gestaltet sich die geplante Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten oft schwierig, da Layerstrukturen und Dateiformate voneinander abweichen können. Diese Faktoren müssen vorgegeben werden, um eine problemlose Kommunikation zu gewährleisten.

Da HBIM-Modelle jedoch einen anderen Anspruch haben als herkömmliche BIM-Modelle, muss der Aufbau des Modells grundsätzlich anders erfolgen. Die verschiedenen Ansätze, das LOD zu definieren, zeigen, wie viele verschiedene Anforderungen an das Modell gestellt werden. Zudem muss ein Maß gefunden werden, an dem der Informationsgehalt bemessen werden kann.

Grundsätzlich bildet eine Punktwolke eine präzise Grundlage für das Erstellen des Modells, und sie dient in fast allen Studien als Grundlage für die Bauaufnahme. Im Gegensatz zu BIM/HBIM-Modellen ist hier das Dateiformat mit E57-Dateien definiert und ermöglicht eine problemlose Zusammenarbeit. Die Frage der Übersetzung und Funktion der Po-

intcloud. wird jedoch oft unterschiedlich angegangen. NURBS-basiertes Modellieren bietet eine gute Grundlage, um auf Basis der Punktwolke die Raumstrukturen zu rekonstruieren. Der entscheidende Faktor dabei ist die Definition des gewünschten Informationsgehalts und die damit verbundene Festlegung des LOD.

Betrachtet man die schnelle Entwicklung neuer Technologien, können automatisierte Prozesse bereits heute aus einfachen Gebäudegeometrien funktionsfähige BIM-Modelle generieren. Wenn eine hohe Genauigkeit gewährleistet werden kann, haben diese Prozesse das Potenzial, das Erstellen des Modells zu automatisieren. Insbesondere Abläufe wie die korrekte Zerlegung eines Mesh-Modells könnten automatisiert werden, was noch genauere und besser nutzbare Modelle hervorbringen würde. Auch die Benutzeroberfläche von Laserscannern wird immer zugänglicher für die breite Masse. Mobiltelefone mit LiDAR-Sensoren können bereits rudimentäre Punktwolken- und Mesh-Modelle generieren. Prozesse wie die Bereinigung von Punktwolken können ebenfalls schon teilweise automatisiert durchgeführt werden.

Durch die erhöhte Zugänglichkeit zu den Technologien ist es von umso größerer Bedeutung, Parameter zu schaffen, die die Rahmenbedingungen des Modells definieren. Mit zunächst grob definierten Rahmenbedingungen können sich laufende Studien auf diese einstellen. Da es keinen vollständig richtigen Ansatz geben kann, weil die Anforderungen an das Modell von Gebäude zu Gebäude unterschiedlich sind, können diese Rahmenbedingungen einen Vergleichswert schaffen, nach dem die HBIM-Modelle in ihrem Informationsgehalt bemessen werden können. Der hier erarbeitete Workflow kann so als Ausgangsbasis für die Digitalisierung der Gebäude genutzt werden und durch die in Studien erarbeiteten Techniken ergänzt bzw. erweitert werden.

Anhänge

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Lukas Stampfer, der meine Masterarbeit betreut und begutachtet hat. Für seine unermüdliche Unterstützung und fachliche Anleitung während des gesamten Prozesses möchte ich mich herzlich bedanken. Seine Geduld, Ratschläge und Expertise haben entscheidend dazu beigetragen, diese Arbeit erfolgreich abzuschließen.

Ich bedanke mich bei Anton Kottbauer für seine Initiative beim Projekt Landuni und dem Landuni-Team für die Organisation aller Besuche und Zugang zu sämtlichen Räumlichkeiten.

Ein besonderer Dank gilt allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen meiner Befragung, ohne die diese Arbeit nicht entstanden wäre. Mein Dank gilt ihrer Bereitschaft zur Information und ihren interessanten Beiträgen und Antworten auf meine Fragen.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern und Großeltern bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben.

Benedikt Triesch

25.10.2023



Literaturverzeichnis

Allegra, V.; Di Paola, F.; Lo Brutto, M. & Vinci, C. Scan-To-BIM for the management of heritage buildings: the case study of the castle of Mareddolce (Palermo, Italy), *ISPRS Archives XLIII(B2)*, (2020), 1355–1362, URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1355-2020>

Arayici, Y. & Ghassa, A. „Building information modelling (BIM) for construction lifecycle Management“. in *Construction and Building: Design, Materials, and Techniques*, Sophie G. Doyle (Hg.), 99-118. New York: Nova Science Publishers, 2010

Bafni, F.; Brumana, R. & Stanga, C. „Extended reality and informative models for the architectural heritage: from scan-to-BIM process to virtual and augmented reality“, in „Virtual Archeology Review“ *Virtual Archaeology Review* 10(21), 14 (July 2019), URL:https://www.researchgate.net/publication/334682079_Extended_reality_and_informative_models_for_the_architectural_heritage_from_scan-to-BIM_process_to_virtual_and_augmented_reality

Banfi, F. „BIM orientation: Grades of generation and information for different type of analysis and management process“ *ISPRS Archives XLII-2 (W5)*, 57–64 (2017), URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>, 2017.

Barazzetti, L.; Banfi, F.; Brumana, R.; Previtali, M. & Roncoroni, F. „BIM from laserscans... not just for buildings NURBS-based parametric modeling of a medieval bridge, ISPRS“ *Remote Sens* III-5, 51–56 (2016), URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-III-5-51-2016>

Brumana, R., Stanga, C. & Banfi, F.: “Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment” *Geomat 14* (Suppl 1), 151–179 (2022), URL: <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00351-2>

Bruno, N. & Roncella, R. „A New Proposal for Information Modeling. Remote Sens“ *Remote Sens* 11, 1751 (2019), URL: <https://doi.org/10.3390/rs11151751>

buildingSMART. „AIA buildingSMART Austria“, aufgerufen am 13.10.2023. URL: https://www.buildingsmart.co.at/wp-content/uploads/2020/12/2020050_AIA-buildingSMART-Austria-_Webinar.pdf

buildingSMART. „BIM Regelwerk (AIA+BAP)“, aufgerufen am 13.10.2023. URL: <https://www.buildingsmart.co.at/wp-content/uploads/2020/12/BIM-Regelwerk-AIABAP-2020.08.20-V1.0322305843009224465678.pdf>

Castellano-Román, M. and Pinto-Puerto, F. “HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)” *ISPRS Archives XLII-2 (W15)*, 285–290 (2019), URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-285-2019>

Chiabrando, F., Lo Turco, M., and Rinaudo, F. “Modeling the decay in an HBIM starting from 3D Point Clouds. A followed approach for cultural heritage knowledge” *ISPRS Archives XLII-2 (W5)*, 605–612 (2017), URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-605-2017>

Dandois, J. P., & Ellis, E. C. „Remote sensing in ecology and conservation: Monitoring, mapping, and modeling spatial patterns of ecosystems.“ In „Ecology Letters, 2010,“ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1461-0248.2010.01506.x>

Donato, V, & Biagini, C. „Building Object Models (BOMs) for the documentation of historical building heritage“ *Appl Geomat* 13, 29–54 (Januar 2014): S.27, URL: [10.13140/RG.2.1.1108.2005](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1108.2005)

Ewart, I.J. & Zuecco, V.: Heritage Building Information Modelling (HBIM): A Review of Published Case Studies. Cham: Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering im Springer Verlag (2019), URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_5

Historic England: BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. Liverpool: Liverpool University Press, 2017.

Isfried, F. Drosendorf. München u.a.: Schnell und Steiner, 1959.

Karlapudi, J.; Valluru, P. & Menzel, K. *Ontological approach for LOD-sensitive BIM-data management*. LDAC2021, Belval, Luxembourg, 2021, URL: https://www.researchgate.net/publication/355377281_Ontological_approach_for_LOD-sensitive_BIM-data_management

Moropoulou, A., Georgopoulos, A., Ioannides, M., Doulami, A., Lampropoulos & K., Ronchi, A. *A Review of Heritage Building Information Modelling: Classification of HBIM through the Utilization of Different Dimensions (3D to 7D)* Cham: Springer, URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-42300-0_25

libE57. „libE57: Software Tools for Managing E57 Files“, aufgerufen am 23.10.2023. URL: <http://libe57.org/index.html>

Liu, J.; Foreman, G.; Sattineni, A. & Li, B. „Integrating Stakeholders’ Priorities into Level of Development Supplemental Guidelines for HBIM Implementation.“ *Buildings* 13, 530 (2023), URL: <https://doi.org/10.3390/buildings13020530>

Graham, K., & Jeong, W. „The application of BIM and HBIM for documenting and monitoring the past, present and future state of historic sites.“ *ISPRS Archive* III (5), 197 (2016), URL: <https://www.isprs-ann-pho-togramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/III-5/197/2016/isprs-annals-III-5-197-2016.pdf>

Nuttens, T.; De Maeyer, P.; De Wulf, A.; Goossens, R. & Stal, C. *Terrestrial laser scanning and digital photogrammetry for cultural heritage: An accuracy assessment*. FIG Working Week, Marrakesch, Marokko, 2011, URL: https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2011/papers/ts06e/ts06e_nuttens_demaeyer_et_al_5267.pdf

Poux, F.; Neuville, R.; Van Wersch, L.; Nys, G. & Billen, R. „3D Point Clouds in Archaeology: Advances in Acquisition, Processing and Knowledge Integration Applied to Quasi-Planar Objects“ *Geosciences* 7(4), 96 (September 2017). URL: doi:10.3390/geosciences7040096

Riegl. „Riegl VZ-400i“, aufgerufen am 17.10.2023, URL: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrialscanning/produktdetail/product/scanner/48/>

Robert McNeel & Associates. „Getting Started with Rhino.Inside.Revit: What is Rhino.Inside.Revit“. Aufgerufen am 10.07.2023. URL: <https://www.rhino3d.com/inside/revit/1.0/getting-started>

Sacks, R.; Eastman, C.; Lee, G. & Teicholz, P. „BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.“ New Jersey: Wiley John + Sons, 2011

TU Wien. „Was ist die Landuni?“. Aufgerufen 04.10.2023. URL: <https://landuni.at/was-ist-die-landuni/>

Phu Nguyen, V.; Lerfriden, P. & Bordas, S. „Two- and three-dimensional isogeometric cohesive elements for composite delamination analysis“ *Engineering* Volume 60, 193-212 (2014) URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.12.018>

Yang, X., Koehl, M., & Grussenmeyer, P.: “Mesh-to-BIM: from segmented mesh elements to BIM model with limited parameters“ *ISPRS Archive XLII-2*, 1213–1218 (2018), URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-1213-2018>

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1

Luftaufnahme, Schloss Drosendorf (2023), Didier Letouzé

Abb. 2

Ausschnitt eines Aquarells auf Pergament, Prospect der Stadt und Altstadt, Drosendorff Von Oriens gegen Occidenz (einst Teil eines Urbars, um 1695). Topographische Sammlung der NÖ Landesbibliothek

Abb. 3

Baualterplan, Schloss Drosendorf (1955), A. Klaar, Planarchiv Bundesdenkmalamt

Abb. 4

Baualterplan, Schloss Drosendorf (1955), A. Klaar, Planarchiv Bundesdenkmalamt

Abb. 5

Baualterplan, Schloss Drosendorf (1955), A. Klaar, Planarchiv Bundesdenkmalamt

Abb. 6-21

eigene Darstellung

Abb. 22

Phu Nguyen, V.; Lerfriden, P. & Bordas, S. „Two- and three-dimensional isogeometric cohesive elements for composite delamination analysis“ Composites Part B: Engineering 60, 193-212 (2014): S.195, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.12.018>

Abb. 23

Bafni, F.; Brumana, R. and Stanga, C. „Extended reality and informative models for the architectural heritage: from scan-to-BIM process to virtual and augmented reality“ *Virtual Archeology Review* 10(21),14 (Juli 2019): S.25-26, 10.4995/var.2019.11923

Abb. 24

‘Level of Definition’ as a new classification system with seven levels (1-7), <https://rebim.io/level-of-detail-or-development-lod-in-bim/>

Abb. 25

Castellano-Román, M. and Pinto-Puerto, F. „HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)“ *ISPRS Archives XLII-2 (W15)*, 285–290 (2019): S.287, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-285-2019>

Abb. 26

Castellano-Román, M. and Pinto-Puerto, F. „HBIM oriented towards the master plan of the charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)“ *ISPRS Archives XLII-2 (W15)*, 285–290 (2019): S.287, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-285-2019>

Abb. 27

Donato, V. & Biagini, C., „Building Object Models (BOMs) for the documentation of historical building heritage“ *Appl Geomat* 13, 29–54 (Januar 2014): S.27, 10.13140/RG.2.1.1108.2005.

Abb. 28

Brumana, R., Stanga, C. & Banfi, F.: “Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment”, *Appl Geomat* 14 (Suppl 1), 151–179 (2022), S.12

Abb. 29

Brumana, R., Stanga, C. & Banfi, F.: “Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment”, *Appl Geomat* 14 (Suppl 1), 151–179 (2022), S.18

Abb.30

Banfi, F. „BIM Orientation: Grades of generation and Information for different Type of Analysis and Management Process“ *ISPRS Archives XLII-2 (W5)*, 57–64 (2017): S.61, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>.

Abb.31

Moropoulou, A., Georgopoulos, A., Ioannides, M., Doulamis, A., Lampropoulos & K., Ronchi, A. *A Review of Heritage Building Information Modelling: Classification of HBIM through the Utilization of Different Dimensions (3D to 7D)* (Cham: Springer, 2023), S.289.

Abb. 32

Liu, J.; Foreman, G.; Sattineni, A.; Li, B. „Integrating Stakeholders’ Priorities into Level of Development Supplemental Guidelines for HBIM Implementation“ *Buildings* 13(2), 530 (2023): S.14, <https://doi.org/10.3390/buildings13020530>.

Abb. 33-68

eigene Darstellung

Abb. 69

Bualterplan, Schloss Drosendorf (1955), A. Klaar, Planarchiv Bundesdenkmalamt

Abb. 70-73

eigene Darstellung

Abb. 74

Liu, J.; Foreman, G.; Sattineni, A.; Li, B. „Integrating Stakeholders’ Priorities into Level of Development Supplemental Guidelines for HBIM Implementation“ *Buildings* 13(2), 530 (2023): S.14, <https://doi.org/10.3390/buildings13020530>.

Abb. 75-79

eigene Darstellung

Abb. 80

Brumana, R., Stanga, C. & Banfi, F.: “Models and scales for quality control: toward the definition of specifications (GOA-LOG) for the generation and re-use of HBIM object libraries in a Common Data Environment”, *Appl Geomat* 14 (Suppl 1), 151–179 (2022), S.18

Abb. 81

Luftaufnahme, Schloss Drosendorf (2023), Didier Letouzé

