



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Landschaftswissenschaften und Geomatik
Studiengang Geodäsie und Messtechnik

Bachelorarbeit

Vergleich von Strategien bei der Auswertung von Laserscandaten in
der Architektur-Vermessung

Genauigkeitsbetrachtungen von Building Information Models auf der Grundlage von
Punktwolken

zur
Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering

Vorgelegt von: Claas Kubanke

Betreuer: M. Eng. M. Kiskemper

Dipl. Ing. L. Sörensen

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2014-0736-5

Neubrandenburg, März 2015

Kurzfassung

Die Bachelorarbeit befasst sich mit der Dokumentation von Bauwerken mittels 3D-Modellierung aus Laserscandaten. Dabei wird zunächst allgemein auf die Architektur-Vermessung und das Building Information Modeling eingegangen, bevor die Durchführung der Messung per terrestrischem Laserscanning sowie die Auswertung der Daten mit den Softwarelösungen von LupoScan, Rhinoceros, VisualARQ, Revit 2015 und Scan to BIM beschrieben werden. Abschließend wird der Frage nachgegangen, wie genau die modellierten Bauteile den gemessenen Zustand des Bauwerks widerspiegeln können. Im Rahmen dieser Arbeit soll geklärt werden, ob das Building Information Modeling eine zukunftsweisende Methode ist und inwiefern die aktuellen Modellierungsansätze für eine Dokumentation des Bestandes geeignet sind.

Abstract

This thesis deals with the documentation of buildings by using 3D-Modelling based on laser scan data. At first general information is given about building inspection and Building Information Modeling, next the processing of measurement by terrestrial laser scanning is described as well as the data analysis with the software solutions of LupoScan, Rhinoceros, VisualARQ, Revit 2015 and Scan to BIM. Finally it is explored how accurate the modelled components can reflect the measured state of the building. As part of this piece of work it should be cleared whether the Building Information Modeling is a trendsetting method and to what extent the topical modelling attempts are suitable for a documentation of the continuance.

Aufgabenstellung

Ein wesentlicher Bestandteil der Liegenschaftsvermessung und der Ingenieurgeodäsie ist die Bauwerksvermessung. In den letzten drei Jahrzehnten haben sich in der Architektur-Vermessung im Zuge des technischen Fortschritts neue Methoden zur Erfassung und Dokumentation von Gebäuden etabliert. Man ging vom Handaufmaß zu Photogrammetrie, Online-Tachymetrie und Laserscanning über, und die zweidimensionalen Handzeichnungen wurden von digitalen Plänen und dreidimensionalen Modellen abgelöst.

Im Rahmen der Bachelorarbeit soll der Kandidat ein verformungsgerechtes Aufmaß mit einem Laserscanner durchführen. Anschließend soll aus den erzeugten Daten ein Building Information Model mit zwei unterschiedlichen Softwarepaketen erzeugt werden. Ziel ist es, das Potential des Building Information Modeling darzustellen, einen Überblick über die derzeitigen Möglichkeiten bei der Modellierung von Scandaten zu liefern und eine Aussage zur Genauigkeit der Modellelemente gegenüber der Punktwolke zu treffen.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit „Vergleich von Strategien bei der Auswertung von Laserscandaten in der Architektur-Vermessung – Genauigkeitsbetrachtungen von Building Information Models auf der Grundlage von Punktwolken“ ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Neubrandenburg, den 05.03.2015

Claas Kubanke

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	ii
Abstract	ii
Aufgabenstellung.....	iii
Eidesstattliche Erklärung.....	iv
Inhaltsverzeichnis.....	v
1. Einleitung	1
2. Die Architektur-Vermessung im Überblick	2
2.1. Begriffsbestimmung	2
2.2. Historie	3
2.3. Zweck und Einsatzgebiete.....	3
2.4. Aufnahmemethoden	4
2.5. Dokumentation	6
2.6. Genauigkeit	8
2.7. Aussicht.....	11
3. Building Information Modeling	12
3.1. Definition.....	12
3.2. Stand der Anwendung	15
3.3. Normen und Richtlinien	18
3.3.1. Datenaustausch.....	18
3.3.2. Detaillierung und Genauigkeit	20
4. Durchführung der Messung.....	22
4.1. Objektbeschreibung.....	22
4.2. Vorbereitung der Messung	24
4.3. Das Gebäudeaufmaß mit einem Laserscanner.....	26
5. Auswertung der Daten.....	28
5.1. Verwendete Software	28
5.1.1. LupoScan.....	28
5.1.2. Rhinoceros und VisualARQ.....	30
5.1.3. Revit und Scan to BIM.....	31
5.2. Vergleich der Modellierungsansätze	33
5.3. Vorgehensweise.....	34
5.4. Betrachtung der Ergebnisse.....	35
5.4.1. Modellierung	36

5.4.2.	Datenaustausch	42
5.4.3.	Genauigkeitsbetrachtung	44
6.	Fazit	49
	Literaturverzeichnis	50
	Abbildungsverzeichnis	53
	Tabellenverzeichnis	54
	Anhang	55
A-	Bildplan zur Ostfassade aus einem Orthofoto	55
B-	Revit-Elementstruktur	56
C-	LupoScan Orientation Results - Mon Jan 12 14:07:31 2015.....	57

1. Einleitung

In unserer heutigen Gesellschaft, gemeinhin als Informationsgesellschaft bezeichnet, hat die Gewinnung, Speicherung, Verarbeitung, Verbreitung und Nutzung von Daten eine enorm hohe Bedeutung. Um bei der rasanten technischen Entwicklung konkurrenzfähig zu bleiben, müssen Unternehmen, insbesondere die Kleineren, Herausstellungsmerkmale aufweisen, spezielle Produkte anbieten oder eben mit dem Fortschritt, also neuesten Technologien und Softwareprodukten, Schritt halten. Da diese Technologien und Softwareprodukte in der Regel aber sehr teuer sind, muss man sich vor einer Investition so viele Informationen wie möglich beschaffen und geeignete Untersuchungen durchführen, um abwägen zu können, ob sich eine Neuanschaffung tatsächlich lohnt.

In der jüngeren Vergangenheit befasste man sich im Bauwesen zunehmend mit der 3D-Modellierung und forschte nach Möglichkeiten zur Optimierung des Baumanagements. Ergebnis dieser Bemühungen war die Entwicklung des Building Information Modeling (BIM). Diese Methode bringt Veränderungen bezüglich der Arbeitsweise im Bauwesen mit sich, die sich auf alle am Projekt Beteiligten auswirken. Das gilt natürlich auch für die Fachleute des Vermessungswesens, die für die geometrische Erfassung und Dokumentation des Bauwerks zuständig sind. (1)

Unter diesen Gesichtspunkten entstand das Thema dieser Bachelorarbeit in Zusammenarbeit mit der Scan 3D Dienstleistungsgesellschaft mbH. Bei Scan 3D handelt es sich um ein florierendes Kleinunternehmen unter der Geschäftsleitung von Herrn Dipl.-Ing. Lars Sörensen. Das Unternehmen ist spezialisiert auf 3D-Laserscanning und bietet Dienstleistungen, Beratung und Schulungen in Architektur, Denkmalpflege, Archäologie, Industrie und Schiffbau an. Zu den Dienstleistungen zählen unter anderem 3D-Dokumentationen, digitale Bildpläne, CAD-Pläne, CAD-Modelle, As-Build-Dokumentationen, Verformungsanalysen und Visualisierungen. (2)

Im Folgenden soll ein Überblick über das Potential der BIM-Methode gegeben werden. Dazu wird ein Teil des Postamts Charlottenburg 1 per Laserscanning erfasst und anschließend mit den BIM-Softwarelösungen von Revit und Rhinoceros modelliert. Nach Fertigstellung der Modelle werden diese auf ihre geometrische Genauigkeit gegenüber den Messdaten geprüft.

2. Die Architektur-Vermessung im Überblick

2.1. Begriffsbestimmung

Der Begriff Architektur-Vermessung wurde Anfang der 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts geprägt. Die folgenden zwei Definitionen zeigen, dass man die Architektur-Vermessung als Spezialfall der Bauaufnahme sehen kann, der sich durch besonders hohe Anforderungen an die geometrische Genauigkeit und eine sachkundige, fachgerechte Dokumentation auszeichnet. Eben durch die Kompetenzen aus den Disziplinen, die der Name in sich vereinigt.

„Die Bauaufnahme besteht aus der Erfassung eines Bauwerks sowohl mit meßtechnischen, zeichnerischen, und verbalen Mitteln als auch aus dem Versuch, das Gebäude selbst und die Bedingungen seiner Entstehung, seiner Geschichte und seiner Einbindung in die Umgebung als historisches Phänomen zu begreifen und in die Dokumentation aufzunehmen.“ (3)

„Architektur-Vermessung bezeichnet das vermessungstechnische Erfassen und architekturgerechte Dokumentieren von Gebäudebestand. Architektur-Vermessung liefert Gebäudedaten, die mit der gebauten Wirklichkeit übereinstimmen. Sie erklärt die gebaute Wirklichkeit.“ (4)

Überhaupt ist die Bauaufnahme eine interdisziplinäre Aufgabe. Neben Geodäten und Architekten können beispielsweise Restauratoren, Bauforscher, Bauphysiker, Statiker oder Dendrochronologen an Projekten beteiligt sein und zum Erreichen eines optimalen Ergebnisses beitragen.

Im Zusammenhang mit Architektur-Vermessung wird auch häufig der Begriff „verformungstreu“ verwendet. Damit ist gemeint, dass Aufmaß und Zeichnung derart präzise, hochgenau und detailliert sein müssen, dass bauliche Verformungen ersichtlich werden. Das verdeutlicht nochmal, wie hoch die Ansprüche an die Architektur-Vermessung sind.

Auf Grundlage der erfassten Daten können dann alle weiteren baulichen Maßnahmen gewissenhaft geplant und Ressourcen sparend durchgeführt werden. Deshalb sollten bei der Bauaufnahme auch jegliche konstruktiven Zusammenhänge und stilistischen Besonderheiten des Gebildes eindeutig erfasst und wiedergegeben werden. Die Ergebnisse müssen zu diesem Zweck natürlich homogen, präzise und vollständig sein. Andernfalls können Versäumnisse zu einem erheblichen Mehraufwand führen.

Wie genau das Vermessungsergebnis und die Plandarstellung im Endeffekt sein müssen, hängt vom Zweck der Bauaufnahme ab. In unserer heutigen Zeit erwartet man in der Regel, dass die Ergebnisse kurzfristig zur Verfügung stehen und kostengünstig erzielt werden. Somit spielt die Auswahl der Aufnahme- und Auswertemethoden eine wichtige Rolle. (3) (4) (5)

2.2. Historie

Obwohl der Begriff der Architektur-Vermessung sich erst in den letzten 20 Jahren etabliert hat, reichen seine Wurzeln tief zurück.

In der geschichtlichen Entwicklung der Architektur-Vermessung ist das Zeitalter der Renaissance von herausragender Bedeutung. Tatsächlich bilden die Untersuchungen antiker Bauwerke Roms und Mittelitaliens in dieser Epoche den Grundstein für die Architektur-Vermessung, wie wir sie heutzutage kennen. Trotzdem liegt die Vermutung nahe, dass seit jeher bautechnisches Wissen durch das Messen gewonnen und weitergegeben wurde. Die Künstler, Baumeister und Architekten der Renaissance wie Leon Battista Alberti oder Andrea Palladio entwickelten bei ihren Analysen allerdings Methoden, die noch heute angewandt werden. Um die Bauweise der Antike zu verstehen, zogen sie historische Quellen zu Rate, führten Messungen durch, die noch heutigen Anforderungen an die Genauigkeit gerecht werden, und erstellten Zeichnungen von ganzen Gebäuden oder einzelnen Bauteilen. Jahrhundertlang wurden Bauaufnahmen mit Messband und Reißbrett durchgeführt. Erst vor ca. 25 Jahren wurden sie durch moderne Geräte und Softwarelösungen ersetzt. (5) (6)

Dass der Begriff der Architektur-Vermessung Anfang der 1990er Jahre aufkam, ist auch kein Zufall. Durch die Krise in der Baubranche zu dieser Zeit waren Fachleute diverser Gewerbe gezwungen sich nach neuen Geschäftsfeldern umzusehen. Auf Grund der historischen Entwicklung war das Gebäudeaufmaß nicht nur Geodäten vertraut, sondern auch Architekten, Bauforschern und Denkmalpflegern, um nur einige zu nennen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich die Fachleute dieser Disziplinen zusammenschlossen, um sich mit ihrem kombinierten Wissen Wettbewerbsvorteile zu verschaffen. (4)

2.3. Zweck und Einsatzgebiete

Der Zweck einer Bauaufnahme ist maßgebend für die Anforderungen an die Genauigkeit der Messung und den Detailgrad der zeichnerischen und verbalen Dokumentation, für die verwendete Methode der Datenerfassung und die Beteiligung unterschiedlicher Fachleute am Projekt. Das Ziel ist in jedem Fall eine geeignete Planungsgrundlage für das weitere Vorgehen zu schaffen.

In der Regel findet die Bauaufnahme erst zu einem späten Zeitpunkt im Lebenszyklus eines Gebäudes statt, es sei denn man benötigt aktuelle Daten während der Bauphase zur Beurteilung des Bauzustandes oder zur Abrechnung von Bauleistungen. Weniger umfangreiche Bauaufnahmen können für Massen- und Flächenberechnungen herangezogen werden, um den Wert des Bauwerks zu ermitteln. In der Regel muss die Bauaufnahme aber sehr ausführlich sein, beispielsweise für wissenschaftliche Zwecke. Archäologen, Bauforscher und Denkmalpfleger benötigen die bei der Bauaufnahme erworbenen Kenntnisse, um die originale Substanz freilegen, erforschen und erhalten zu können. Im Gegensatz dazu stehen Maßnahmen für bauliche Veränderungen, bei denen in den

Baubestand eingegriffen wird, meist sogar in erheblichem Maße. Ziel dieser Maßnahmen kann die Modernisierung oder Sanierung des Gebäudes sein. Eine Bauaufnahme kann auch zur Erschaffung eines Facility Management Systems dienen. Dieses noch recht neue Management System wird zum wirtschaftlichen Betrieb eines Gebäudes genutzt. (3) (5)

2.4. Aufnahmefethoden

Die Aufnahmefethoden haben sich im Zuge des technischen Fortschritts vervielfältigt. Die älteste und am weitesten verbreitete Methode ist das Handaufmaß. Mit der Erfindung der Photographie, der Lasertechnik und der stetigen Fortentwicklung der Elektronik kamen dann die Photogrammetrie, Tachymetrie und das Laserscanning als mögliche Verfahren hinzu.

Beim Handaufmaß kommen einfach zu handhabende, kostengünstige Geräte und Hilfsmittel zum Einsatz, die stets einsatzbereit sind. Zu den üblicherweise verwendeten Geräten bei einem Handaufmaß zählen zum Beispiel der Gliedermetermaßstab, das Messband oder Laserdistanzmessgerät (Disto), die Schlauch- und Wasserwaage und Lotschnüre. Da man mit diesen Geräten direkt mit dem Objekt in Kontakt kommt, setzt man sich automatisch intensiv mit diesem auseinander. Dafür ist der zeitliche Aufwand aber auch recht hoch. Des Weiteren ist das Handaufmaß in der Regel ungenauer als die anderen Verfahren, insbesondere wenn man die Einzelmessungen von Gebäudeteilen in einen einheitlichen Bezug bringen will. Die Messwerte, einzelne Maße oder Messketten, werden direkt vor Ort schriftlich dokumentiert und durch Skizzen und Photographien ergänzt, die zusätzliche Details zum Baubestand enthalten und den Ist-Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme dokumentieren. Alle Informationen die fehlerhaft, ungenau oder gar nicht festgehalten wurden, führen zu einem erheblichen Mehraufwand. Mittlerweile wird das Handaufmaß in der Architektur-Vermessung eher ergänzend eingesetzt.

Die Photogrammetrie ist ein Messverfahren, bei dem aus Bildern die Lage und Form von Objekten rekonstruiert werden kann. Im Gegensatz zum Handaufmaß ist die Photogrammetrie eine berührungsfreie Methode des Aufmaßes. Somit ist es ein zerstörungsfreies Verfahren, bei dem zudem auch unzugängliche Elemente des Objektes erfasst werden können. Ferner kann die Auswertung der Daten weit entfernt vom Objekt erfolgen, wodurch man sich vollkommen auf die Arbeit vor Ort konzentrieren kann. Das ist auch notwendig, da man nur das auswerten kann, was auf den Bildern abgebildet ist. Da der Prozess von der Datenerfassung über die Datenverarbeitung hin zur Auswertung recht zeitaufwendig ist, lohnt sich der Einsatz der Photogrammetrie im Grunde erst bei komplexen Objektgeometrien.

Weitere berührungslose Methoden sind die Tachymetrie und das Laserscanning. Bei der Tachymetrie wird die Lage und Höhe einzelner Punkte aus gleichzeitig gemessenen Winkeln (horizontal und vertikal) und Distanzen bestimmt. Bei elektronischen Tachymetern werden die gemessenen Daten auf einem internen Speicher abgelegt und können später an einem Rechner mit CAD-Programmen

verarbeitet werden. Eine wichtige Aufgabe bei den meisten Bauaufnahmen ist die Schaffung eines bauwerkübergreifenden Netzes. Dieses Netz kann lokal geschaffen werden, oder in ein bestehendes, übergeordnetes Bezugssystem integriert werden. Die Netze werden mit Tachymetern angelegt, nicht zuletzt wegen der sehr hohen Genauigkeit, die diese Geräte aufweisen.

Auch beim Laserscanning erfolgt die Punktbestimmung über Winkel- und Distanzmessung von einem Standpunkt, aber das Objekt wird dabei nicht punktuell, sondern flächenhaft erfasst. Ein einzelner Scan besteht daher schon aus Millionen von Messpunkten. Dadurch können auch komplexe Bauteile in relativ kurzer Zeit genau und detailreich aufgenommen werden. Dank der umfangreichen Erfassung des Bestandes können auch Nachmessungen zu einem späteren Zeitpunkt in entsprechenden Auswerteprogrammen erfolgen. Genau wie bei der Photogrammetrie kann später allerdings nur das ausgewertet werden, was vom Aufnahmestandpunkt aus sichtbar ist.

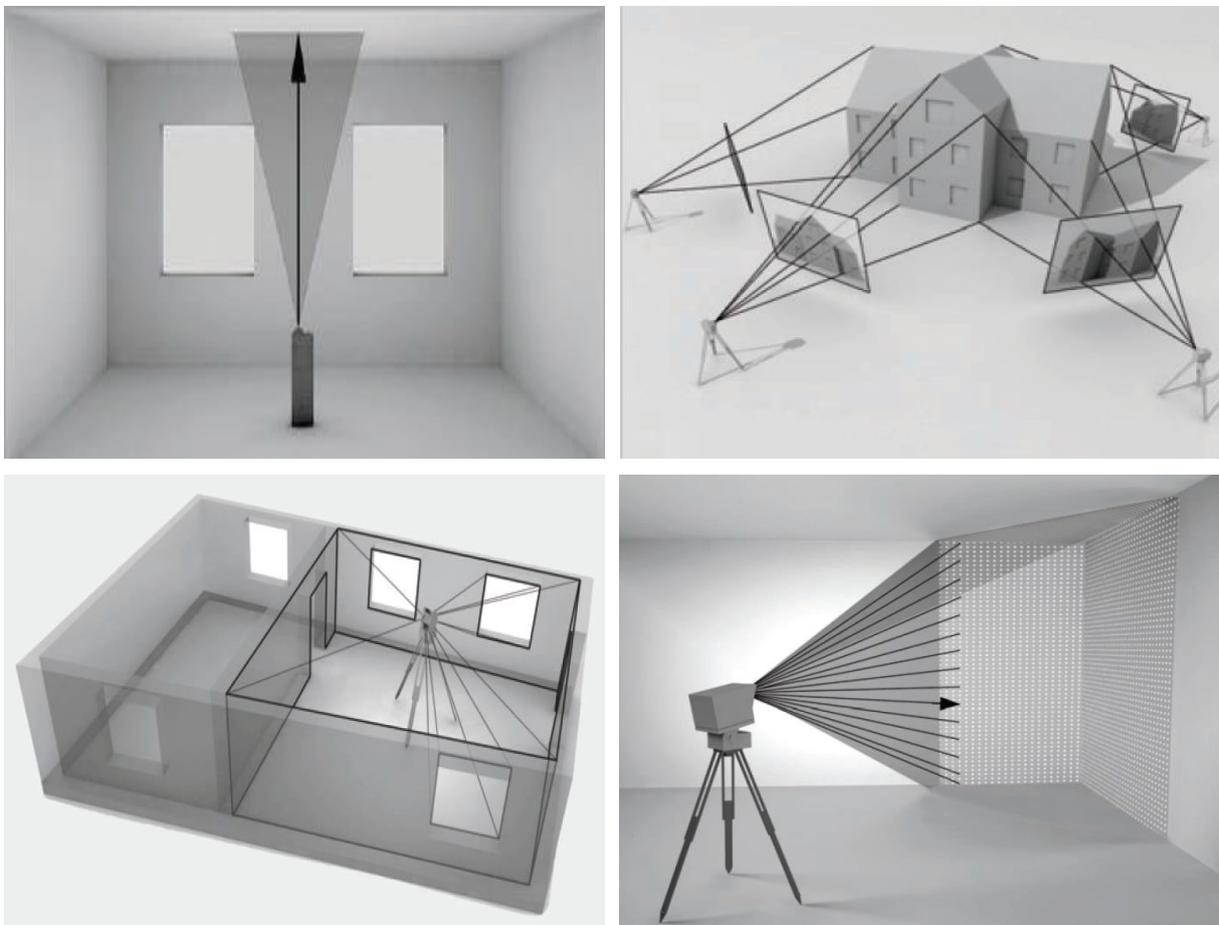


Abbildung 1: Grundprinzipien der Aufnahmemethoden Handaufmaß (o.l.), Photogrammetrie (o.r.), Tachymetrie (u.l.) und Laserscanning (u.r.) (nach: (7))

Obwohl jedes Verfahren für sich je nach Zweck ausreichend sein kann, werden sie für gewöhnlich kombiniert, um zu einem bestmöglichen Ergebnis zu gelangen. (3) (5)

2.5. Dokumentation

Ebenso vielfältig wie die Aufnahmemethoden sind die Möglichkeiten zur Dokumentation. Im Wesentlichen gibt es vier Wege ein Gebäude darzustellen: Die textliche Beschreibung, die Photographie, die zweidimensionale Zeichnung und das dreidimensionale Model.

Die textliche Beschreibung wird entweder ergänzend während des Aufmaßes oder ausführlicher danach in Form eines Raumbuches oder Bauteilkatalogs durchgeführt. Festgehalten werden müssen Hinweise zum Standort des Bauwerks und den Umwelteinflüssen, zum äußeren Erscheinungsbild, zu baulichen Veränderungen, zu Materialverwendung und Bauschäden. Um die Beschreibung den jeweiligen Bauteilen zuordnen zu können, werden sie durch Skizzen oder Photographien ergänzt.

Ein Raumbuch enthält außerdem Informationen zu den beabsichtigten und durchgeführten Maßnahmen.

Die Photographie ist aus der Bauaufnahme nicht mehr wegzudenken, da man auf keine andere Weise den Ist-Zustand des Gebäudes so gut visualisieren kann. Man sollte bei den Aufnahmen beachten, dass die Kamera orthogonal zum Objekt ausgerichtet ist, um ein möglichst maßstabgerechtes Abbild zu erhalten. Um einen Bezug zu den angrenzenden Flächen herstellen zu können, sollten diese auch aufgenommen werden. Oder man verwendet Codierungsnummern für die Identifikation des jeweiligen Aufnahmegegenstandes.

Zur zeichnerischen Wiedergabe von Bestand und Zustand des Bauwerks kommen Ansichten, Grundrisse und Schnitte zum Einsatz. Die Darstellung der Objekte erfolgt mit Hilfe von 2D-Elementen wie Punkten, Linien und Textelementen (Abbildung 2).

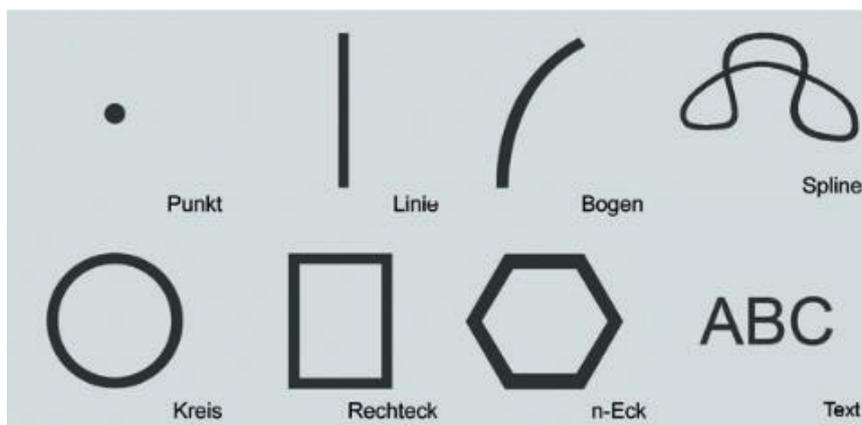


Abbildung 2: Übersicht der Elemente für die Objektbeschreibung in 2D-Plänen (Quelle: (7))

Ansichten entstehen durch die senkrechte Projektion der Objektinformationen auf eine Ebene. Bei Grundrissen und Schnitten liegt die Ebene im Objekt und alles was die Ebene schneidet wird dargestellt. Überdies werden oftmals auch wichtige Elemente abgebildet, die oberhalb oder unterhalb der Ebene (Grundriss) oder in der Blickrichtung (Schnitte) liegen. Die Grundrissebene ist immer

horizontal und wird meistens einen Meter über dem Boden angesetzt, damit alle Wandöffnungen erfasst werden können. Schnitte verlaufen dagegen immer vertikal (Abbildung 3).

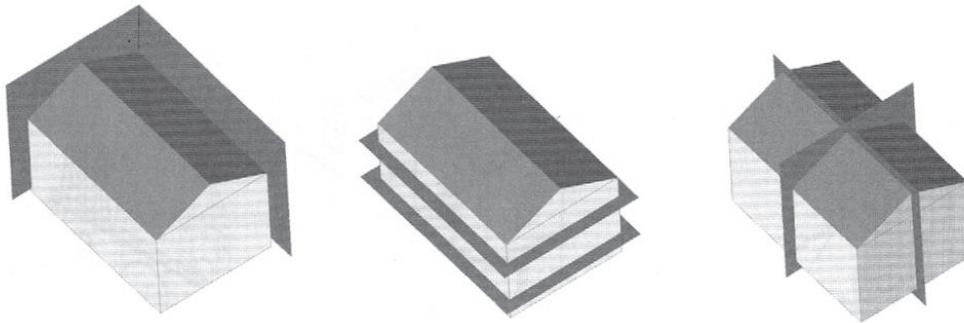


Abbildung 3: Projektionsebenen für Ansichten (links), Grundrisse (Mitte) und Schnitte (rechts) (Quelle: (5))

In eine Zeichnung sollten nur tatsächlich mess- und sichtbare Einzelheiten eingebracht werden, da sie ein Beleg der Messergebnisse ist. Für Informationen zur Geländeform, zu Objekten im Außenbereich des Gebäudes und zum Grenzverlauf werden Katasterunterlagen, Amtliche Karten und Lagepläne erstellt. Diese Unterlagen werden immer dann benötigt, wenn ein bauwerksübergreifendes Netz in ein übergeordnetes Bezugssystem eingegliedert werden soll oder Information über die Geländebeziehungen oder umliegenden Gebäude benötigt werden.

Ein dreidimensionales Modell vom Objekt setzt sich allgemein aus einfachen geometrischen Formen zusammen. Anhand der verwendeten Grundformen haben sich unterschiedliche Arten von Modellen gebildet. Das Drahtmodell etwa setzt sich ausschließlich aus Linien zusammen, das Flächenmodell entsteht durch aneinandergrenzende Flächen und beim Volumenmodell werden räumliche Primitive kombiniert (Abbildung 4).

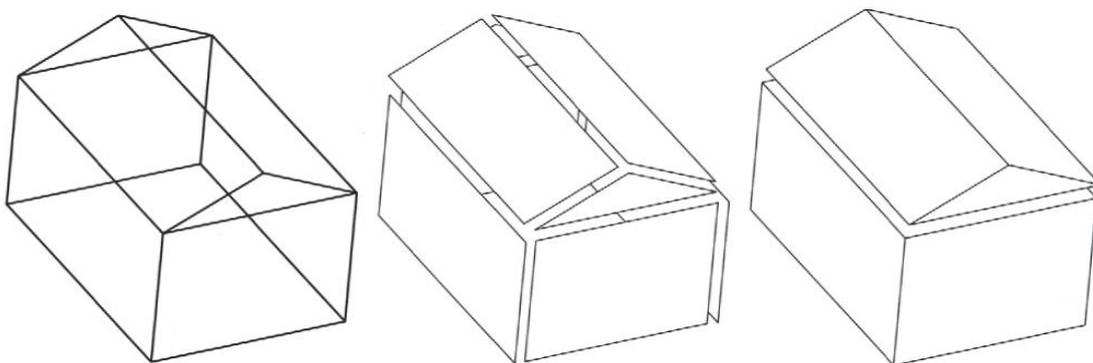


Abbildung 4: CAD-Modelle: Drahtmodell (links), Flächenmodell (Mitte) und Volumenmodell (rechts) (Quelle: (5))

In Abbildung 5 sind die Elemente zusammengefasst, die zur Erstellung eines Volumenmodells verwendet werden können.

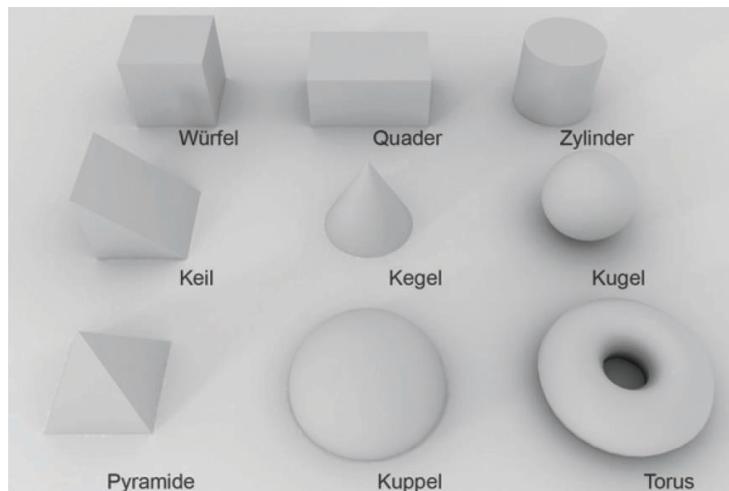


Abbildung 5: Übersicht der Elemente zur Generierung von Volumenmodellen (Quelle: (7))

Mit dem sogenannten Rendering kann das Modell mit einer Textur und Farbe versehen werden, wodurch es noch plastischer wirkt. Modelle können dadurch geometrische Genauigkeit mit einer hohen Anschaulichkeit verbinden. Die Genauigkeit der Modelle hängt allerdings davon ab, wie exakt sich die gemessenen Werte mit den Linien- und Flächen-Werkzeugen der Software nachbilden lassen.
(3) (5)

2.6. Genauigkeit

Die Genauigkeit wird in der Architektur-Vermessung in Messgenauigkeit und Darstellungsgenauigkeit unterschieden.

Die Messgenauigkeit ist in erster Linie vom verwendeten Instrument / Verfahren und der Sorgfalt des Ausführenden abhängig. Mit modernen Instrumenten und Messverfahren können leicht Genauigkeiten im Millimeter- bis Submillimeterbereich erreicht werden. Die zu fordernde Messgenauigkeit sollte sich aber nicht danach richten, was möglich ist, sondern nach dem was notwendig ist. Daher spielt der Zweck der Bauaufnahme bei dieser Frage eine erhebliche Rolle.

Die Darstellungsgenauigkeit ist abhängig vom gewählten Abbildungsmaßstab. Sie beeinflusst ebenfalls die erforderliche Messgenauigkeit. Gängige Maßstäbe sind 1:100, 1:50, 1:25 und 1:20. Generell gilt, dass man beim manuellen Zeichnen eine Zeichengenauigkeit¹ von 0,1 mm, mindestens aber 0,5 mm, erreichen kann.

¹ Lageabweichung einer Zeichnung gegenüber der Soll-Lage infolge ungewollter persönlicher oder gerätetechnischer Einflüsse

Daraus ergeben sich in Abhängigkeit vom Maßstab folgende Mess- und Darstellungsgenauigkeiten (hier als Gesamtfehler bezeichnet):

Tabelle 1: Mess- und Darstellungsgenauigkeiten in Abhängigkeit vom Maßstab (Quelle: (3))

Maßstab	Abbildungsverhältnis	Meßgenauigkeit	Gesamtfehler nach Zeichengenauigkeit
M 1:100	1 mm \triangleq 10 cm	1,0 cm	1,0 – 5,0 cm
M 1: 50	1 mm \triangleq 5 cm	0,5 cm	0,5 – 2,5 cm
M 1: 20	1 mm \triangleq 2 cm	0,2 cm	0,2 – 1,0 cm
M 1: 10	1 mm \triangleq 1 cm	0,1 cm	0,1 – 0,5 cm

Für kleinmaßstäbliche Zeichnungen bedeutet das, dass man genauer messen als darstellen kann. Das führt wiederum dazu, dass Informationen generalisiert werden müssen.

Arbeitet man mit digitalen Systemen ist die Darstellungsgenauigkeit gleich der Messgenauigkeit. Trotzdem gelten hier dieselben Bedingungen wie für Handzeichnungen. Pläne müssen anschaulich und aussagekräftig sein. Generalisierungen sind deshalb auch bei digitalen Plänen nötig. Für Detaildarstellungen sollten Zeichnungen daher in den Maßstäben 1:10, 1:5 oder gar 1:1 erstellt werden. (3) (8)

Eine Richtlinie für eine sinnvolle Kombination aus Messgenauigkeit und Darstellungsgenauigkeit bietet G. Eckstein in seinen „Empfehlungen für Baudokumentationen“. Er klassifizierte sie nach vier Genauigkeitsstufen. Seine Vorschläge in überarbeiteter Form können Tabelle 2 entnommen werden. Für die Ansprüche der Architektur-Vermessung kommen natürlich nur die Genauigkeitsstufen III und IV in Frage. (5)

Wichtige Normen sind die „DIN 1356-6“, „DIN 18202“, „DIN 18710-1“ sowie die „Baufachlichen Richtlinien Vermessung (BFR Verm)“. Die DIN 1356-6 regelt die Anforderungen für Bestandsaufnahmezeichnungen und für Angaben zum Inhalt eines Bestandsplanes. Die DIN 18710-1 enthält allgemeine Anforderungen an die Ingenieurvermessung inklusive Genauigkeitsangaben für Lage und Höhe und die DIN 18202 reglementiert die Toleranzen im Hochbau und für zulässige Ebenheitsabweichungen. Die „BFR Verm“ soll als „*Grundlage für den Aufbau und die Führung von Bestandsdokumentationen der Außenanlagen von Liegenschaften des Bundes*“ (9) dienen.

All diese Normen und Richtlinien reglementieren entweder das Messergebnis oder die Erstellung von zweidimensionalen Plänen. Eine konkrete Regelung zur geometrischen und semantischen Genauigkeit von 3D-Modellen scheint es aber bisher noch nicht zu geben.

Tabelle 2: Genauigkeitsstufen für eine Bauaufnahme (Quelle: (5) nach (8))

	I	II	III	IV
Verwendung	Schematisches Aufmaß	Standardaufmaß (annähernd wirklichkeitsgetreues Aufmaß)	Verformungsgetreues Aufmaß	Verformungsgetreues Aufmaß mit detaillierter Darstellung
Maßstab	1 : 100 und kleiner	1 : 50 oder 1 : 100	1 : 50	1 : 25 und größer
Genauigkeit	Darstellungsgenauigkeit	besser ± 10 cm	besser $\pm 2,5$ cm	besser ± 2 cm, bei großen Maßstäben anzupassen
Inhalt	Außenabmessungen und lichte Raummaße (Fertigmaße inkl. Putz) Lage und Größe der Wandöffnungen Geschoss- und Dachstuhlhöhen Wand- und Deckenstärken Vereinfachte Darstellung von Dachkonstruktion und Sichtfachwerk Raumnummern	zusätzlich: Konstruktion und Struktur der Wände Spannrichtung der Deckenbalken Deckendurchbiegungen, Fußbodengefälle, Wandneigungen und Abweichungen vom rechten Winkel Hinweise auf frühere Bauzustände	zusätzlich: Ausbaudetails wie Türen, Fenster, etc. Bezeichnung von Baumaterialien und Konstruktion Erfassung von Bauschäden Konstruktion und Ansicht und Aufbau von Decken und Fußböden Zimmermanns- und Steinmetzzeichen Baufugen	zusätzlich: Fenster- und Türleibungen Doppellinien bei Steinfugen und Fachwerkverbindungen Holznägel, Beschlaglöcher, etc.

2.7. Aussicht

Die Zukunft der Architektur-Vermessung ist eng verknüpft mit der stetigen Weiterentwicklung der digitalen Welt. Die Messgeräte werden beständig verbessert in Bezug auf Genauigkeit, Messentfernung, Einsatzdauer und Bedienkomfort. Viele Geräte werden auf die eine oder andere Weise miteinander kombiniert oder enthalten neuartige Technologien. Man kann zum Beispiel mit Tachymetern ein Foto von der Aufnahmesituation machen, Kameras besitzen GPS-Empfänger, wodurch für jedes Foto die Aufnahmekoordinaten zur Verfügung stehen und viele Laserscanner sind mittlerweile W-LAN-tauglich und können dadurch ferngesteuert werden. Auch die Dokumentation wird zunehmend digitalisiert und profitiert von der Kombination verschiedener Verfahren. Beispielsweise ergänzen sich Photogrammetrie und Laserscanning bereits hervorragend. Indem die Laserscandaten mit den Bildinformationen texturiert werden, erhält man ein anschauliches und zugleich ausmessbares Ergebnis und somit viele Informationen in einem Produkt. Die gesammelten Daten werden heutzutage zunehmend in Informationssystemen gespeichert.

Wiedemann schrieb 2004: *„[D]ie ideale Form, Daten zu einem Bauwerk zu speichern, wäre in einem mächtigen Informationssystem, in dem alle Daten miteinander verknüpft sind und mit ihren relativen und topologischen Verbindungen analysiert werden könnten. Die Fachleute aller Disziplinen sollten in der Lage sein, ihre Informationen selbst darin abzulegen und auf ihre eigenen Daten und die Daten der anderen Gewerke zuzugreifen. (...) Dies ist eine ideale Vorstellung, deren Verwirklichung in naher Zukunft nicht zu erwarten ist.“* (5) Tatsächlich gibt es ein solches Informationssystem noch nicht, aber mit dem Building Information Modeling (BIM) ist das möglicherweise bald realisierbar. Was man unter BIM versteht und wie es sich auf die Arbeit des Geodäten in der Architektur-Vermessung auswirken könnte, wird im nun folgenden Kapitel geklärt.

3. Building Information Modeling

3.1. Definition

Der Begriff „Building Information Modeling“ (BIM) wird in Deutschland bisher durch keine Norm oder offizielle Richtlinie erläutert. Allerdings wurde 2014 der „BIM-Leitfaden für Deutschland“ im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (BBR) veröffentlicht.

In diesem Leitfaden lässt sich eine Definition finden, die in übersetzter Form vom National Building Information Model Standard Project Committee (NBIMS), welches in den Vereinigten Staaten in Fragen BIM und Standardisierung für den openBIM-basierten Datenaustausch zuständig ist, übernommen wurde. Die Definition entstand 2007 und lautet: *„Building Information Modeling (BIM) ist eine Planungsmethode im Bauwesen, die die Erzeugung und die Verwaltung von digitalen virtuellen Darstellungen der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks beinhaltet. Die Bauwerksmodelle stellen dabei eine Informationsdatenbank rund um das Bauwerk dar, um eine verlässliche Quelle für Entscheidungen während des gesamten Lebenszyklus zu bieten; von der ersten Vorplanung bis zum Rückbau.“*

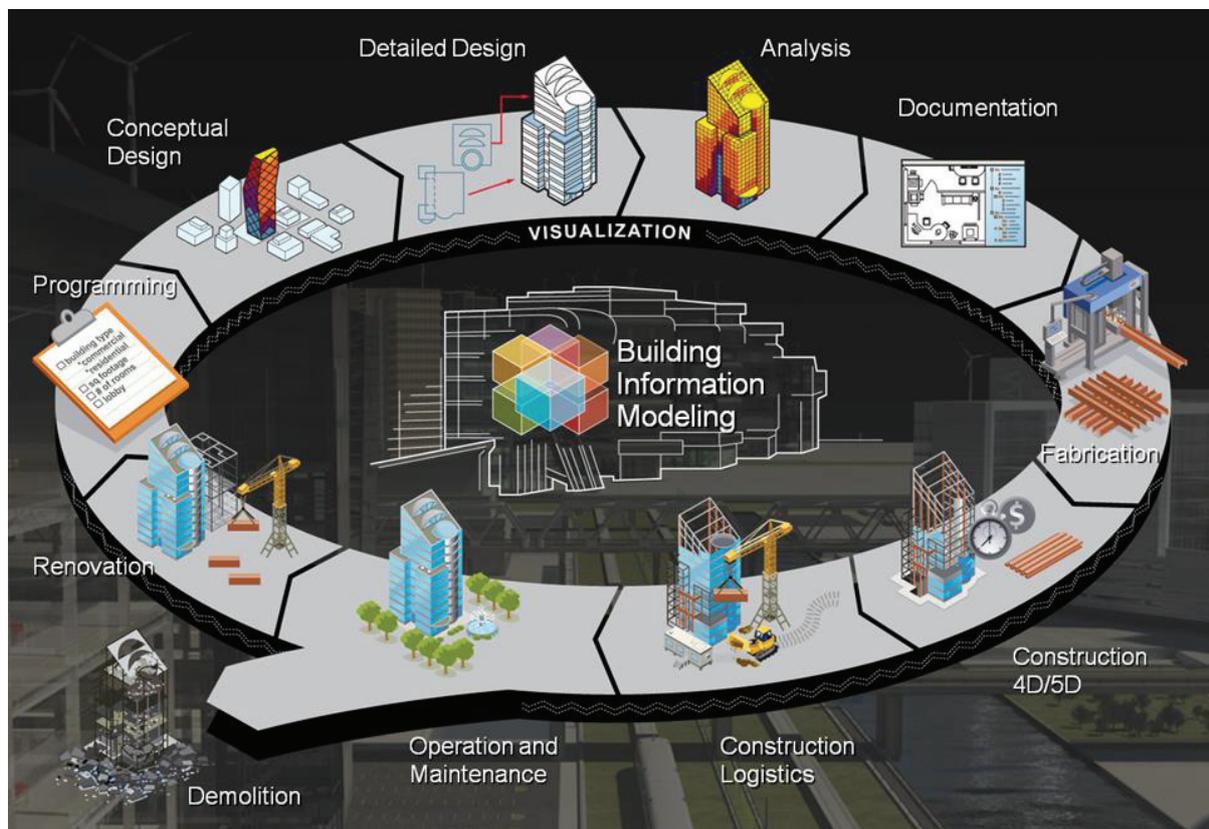


Abbildung 6: BIM-Planungsmethode über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes (Quelle: (10))

Ein Bauwerksmodell im Sinne des Building Information Modeling stellt also nicht einfach nur die Geometrie des Gebäudes dar. Das Besondere sind die Informationen über die Eigenschaften und Abhängigkeiten der einzelnen Bauteile. In das Modell fließen im besten Fall sämtliche erfassten Daten aller am Projekt beteiligten Fachleute über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes ein. Trotzdem darf man sich unter diesem Modell nicht ein einzelnes Gesamtmodell vorstellen, an dem alle Beteiligten über eine Cloud gleichzeitig in Echtzeit arbeiten. Zwar gibt es bereits Softwarelösungen die diese Möglichkeit bieten, doch in der Praxis hat sich gezeigt, dass diese Arbeitsweise über sehr kleine Projekte hinaus noch nicht realisierbar ist. Stattdessen erstellen die beteiligten Fachleute getrennt voneinander spezifische Bauwerksmodelle entsprechend ihrer Expertise. Diese fachspezifischen Bauwerksmodelle, auch Fachmodelle genannt, werden erst nach vorher festgelegten Zeitpunkten und Qualitätskontrollen zu dem Gesamtmodell zusammengeführt.

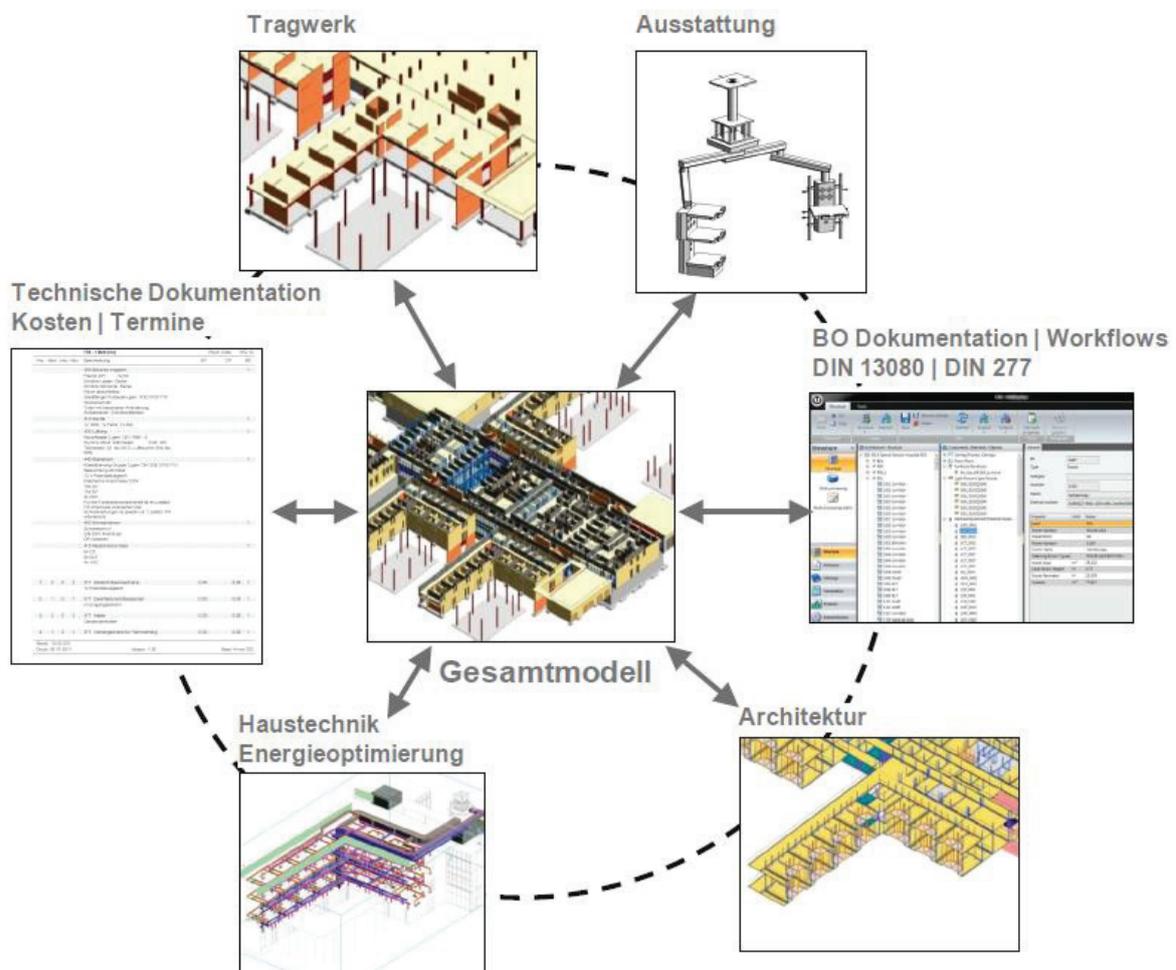


Abbildung 7: Zusammenführung der Fachmodelle zu einem Gesamtmodell (Quelle: (11))

Es gibt eine ganze Reihe von Fachmodellen und sie kommen in verschiedenen Phasen des Projektes (Planung, Bau, Nutzung) zum Einsatz. Der Planungsprozess beginnt in der Regel mit dem Architekturmodell, es sei denn es werden vorher noch Umgebungsmodelle und Baukörper- oder

Massenmodelle angefordert. Das ist aber meist nur bei Großprojekten nötig. Das Architekturmodell wird dann als Referenz für die Erzeugung von Tragwerks- und TGA- (Technische Gebäudeausrüstung) Modellen genutzt. Baufirmen nutzen die Modelle aus dem Planungsprozess als Grundlage für ihre Baustelleneinrichtungs-, Bauablauf-, Bau- und Montage- sowie Bauübergabe- bzw. Dokumentationsmodelle. Für die Nutzungsphase wird auf Basis der bis dahin entstandenen Objektdokumentationen ein CAFM (Computer Aided Facility Management) Modell erstellt.

Jedes Fachmodell setzt sich aus den sogenannten Modellelementen zusammen. Unter den Modellelementen versteht man Bauteile wie Wände, Türen, Fenster, Stützen, Decken, etc. Für jedes Bauteil gibt es ein Werkzeug; eine Tür wird mit einem Türwerkzeug erstellt und als solches zweifelsfrei in allen Ansichten, ob in 2D, 3D oder in einer tabellarischen Auflistung, korrekt wiedergegeben (siehe Abbildung 8). (11)

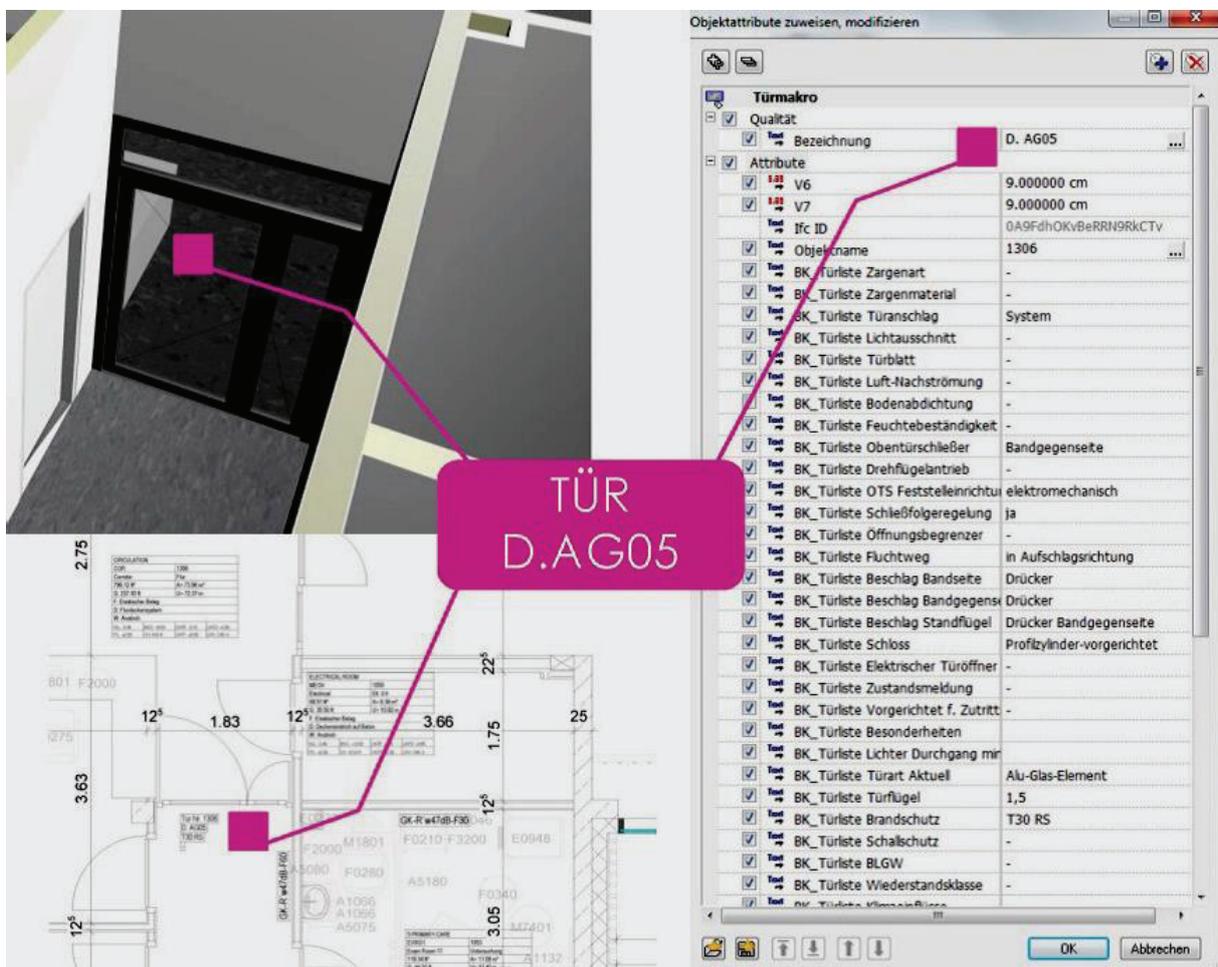


Abbildung 8: Verknüpfung eines Modellelements in unterschiedlichen Ansichten (Quelle: (11))

Modellelemente werden durch geometrische, alphanummerische, relationale und parametrische Eigenschaften sowie durch Abhängigkeiten definiert. Alphanummerische Daten sind beispielsweise Materialität, bauphysikalische Werte, Bauphase, Angaben zum Hersteller und Kosten. Relationale Daten geben Auskunft über die Beziehung von Elementen zueinander. Die parametrischen

Eigenschaften eines Objektes bestimmen dessen Erscheinungsbild oder Verhalten. Als Abhängigkeit bezeichnet man eine Beziehung zwischen zwei Modellelementen, bei der eine Änderung des einen Elements eine Änderung des anderen bewirkt. Beispielsweise könnte man festlegen, dass eine Tür mittig in einer Wand liegen soll. Verändert man dann die Länge der Wand, würde die Position der Tür automatisch entsprechend angepasst werden. (12)

Auf Grund dieser Informationsfülle entsteht schon zu Beginn des Projektes ein hoher Aufwand. Dafür liegen aber bereits in der Planungsphase sehr detaillierte Modelle vor, dank denen gesicherte Entscheidungen früh getroffen werden können.

3.2. Stand der Anwendung

Obwohl sich die BIM-Methode im Ausland bereits als Standardmethode für die Durchführung von Projekten etabliert hat, was durch zahlreiche Richtlinien, Standards, Handbücher und Projekte belegt wird, konnte sie sich hierzulande bisher noch nicht richtig durchsetzen.

Das größte Problem besteht in Deutschland momentan darin, dass zu wenig Wissen hinsichtlich der Anwendung und dem Nutzen von BIM-Methoden vorliegt. Nur einige wenige private Auftraggeber wie Automobilhersteller oder Flughäfen verwenden BIM in ihren Unternehmen, wofür sie ihre eigenen Richtlinien erstellen oder von den ausländischen ableiten. Die anderen Auftraggeber und Auftragnehmer sind meist noch zu verunsichert, um die Methode für ihre Projekte einzusetzen. Dabei hat sich im Ausland bereits gezeigt, dass die Anwendung von BIM ein großes Optimierungspotential aufweist. Die britische Regierung beispielsweise geht davon aus, dass durch die Verwendung von BIM im öffentlichen Bausektor Investitionskosten und die CO₂-Belastung jeweils um 20% reduziert werden können.

Grund für die Verunsicherung sind fehlende Erfahrung, Richtlinien und Vertragsgrundlagen sowie mangelhafte Informations-, Prozess- und Kommunikationsstrukturen. Bei bisher durchgeführten Projekten hat sich dann auch gezeigt, dass die meisten Fehler gleich zu Beginn gemacht wurden, eben weil die Arbeitsprozesse und Verträge noch nicht an die neuen Anforderungen angepasst sind.

Oftmals wurde der Arbeitsaufwand nicht richtig eingeschätzt. Ein BIM-Modell erfordert umfassendere und detailliertere Informationen als eine 2D-Zeichnung, weshalb sich der Aufwand in die Planungsphase vorverlagert. Gerade bei Großprojekten ist auch der Koordinationsaufwand erheblich, weswegen man spezielle BIM Management Teams gründet, welche nur für die Festlegung und Überwachung der Strategie und zu erbringenden Leistungen zuständig sind. Vielen Beteiligten ist gar nicht klar, wie umfassend sich die BIM-Methode auf das Projekt und alle Beteiligten auswirkt, oder sie haben im Gegenteil viel zu hohe Erwartungen. Der Mehraufwand macht sich aber in späteren Phasen und Prozessen bezahlt. Die Informationen können genutzt werden, um Mengen- und Massenermittlung, Raumbücher, Türlisten, etc. zu erstellen. Die BIM-Softwareprodukte ermöglichen es, diese Datenauswertung automatisch durchzuführen, sodass man zum Beispiel nicht mehr

gezwungen ist Stücklisten manuell in Tabellen zu führen. Somit gleicht sich der anfängliche Mehraufwand wieder aus. Die Vorverlagerung des Aufwands in die Planungsphase macht sich auch in finanzieller Hinsicht bemerkbar. Da Fehler und Widersprüche früher aufgedeckt werden können, entfallen hohe Änderungskosten. Das führt zu einem Kostenvorteil gegenüber der traditionellen Methode, wie man in Abbildung 9 sieht.

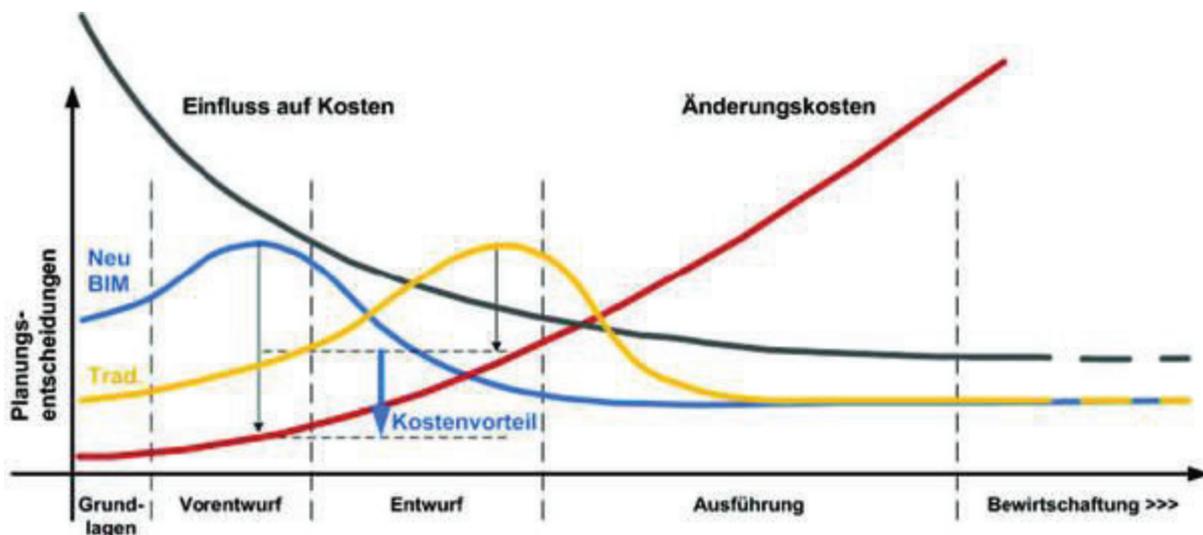


Abbildung 9: Kostenvorteil von BIM gegenüber der traditionellen Methode (Quelle: (13))

Einige Schwierigkeiten liegen derzeit auch noch im technischen Bereich. Die großen Datenmengen stellen hohe Ansprüche an die Hard- und Software. Zur Verarbeitung dieser Daten kommt unterschiedliche, fachspezifische Software zum Einsatz, was den Datenaustausch erschwert.

Trotz der gegenwärtigen Schwierigkeiten lassen sich die Vorteile der BIM-Methode nicht von der Hand weisen. Der Schlüssel für eine erfolgreiche Anwendung ist die konsequente und über das gesamte Projekt durchgängige Zusammenarbeit aller Beteiligten. Mit BIM lassen sich umfassende, qualitativ hochwertige und aktuelle Projektinformationen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks erstellen. Die Daten sind transparent und somit offen zugänglich und von jedem nutzbar. Dies führt zu einer größeren Planungs-, Termin- und Kostensicherheit.

Bauherr und Projektleiter können den Projektfortschritt stets überwachen und bei Bedarf rechtzeitig eingreifen. Durch die dreidimensionale Darstellung der Informationen in einem Modell können Zusammenhänge schnell visuell erfasst und auch fachfremden Personen anschaulich vermittelt werden. Außerdem lassen sich an den Bauwerksmodellen diverse Untersuchungen wie die Kollisionsprüfung durchführen, wodurch Missverständnisse und Fehler frühzeitig aufgedeckt und vermieden werden können.

Mit Hilfe von Datenbanken und vorbereiteten Bauteilen können Arbeitsprozesse wesentlich schneller abgeschlossen werden. Da das Bauwerksmodell wegen der hohen Datenqualität und Transparenz sehr konsistent ist, kann es schon frühzeitig für belastbare Entscheidungen herangezogen werden. Zudem

können dank der durchgängigen und zentralen Verwaltung der Daten Medienbrüche² verringert und Arbeitsabläufe optimiert werden.

Natürlich lassen sich die genannten Schwierigkeiten nicht von heute auf morgen lösen. Schließlich ist der Ansatz einer zentralen, lebenszyklus-übergreifenden und objektorientierten Datenverwaltung und -koordination auch völlig anders als die bisherige Herangehensweise. Daraus ergeben sich zwangsläufig neue Anforderungen, Leistungsbilder, Arbeitsprozesse und Teamstrukturen sowie die Notwendigkeit neuer Richtlinien.

Gleichzeitig entsteht dadurch auch eine große Chance für alle Unternehmen. Wer sich jetzt intensiv mit BIM auseinandersetzt und entsprechende Kompetenzen aufbaut, wird in den kommenden Jahren große Wettbewerbsvorteile haben und auch für Auftraggeber aus dem Ausland attraktiver.

Mittelständischen Unternehmen wird durch BIM die Chance geboten sich zu gemeinschaftlich agierenden Gruppen zusammenzuschließen. In solchen Gruppen können sie ihre Leistungen viel besser aufeinander abstimmen und eine höhere Qualität für ihre Produkte erreichen, was wiederum letztendlich dem Auftraggeber zugutekommt. (11)

Ein großer Förderer der BIM-Methode ist die Organisation buildingSMART international. Die Organisation wurde 1995 in den USA gegründet und hat mittlerweile nationale Ableger in Europa, Asien und Australien.

Noch im selben Jahr wurde der deutsche Ableger buildingSMART e.V. von führenden Softwareunternehmen der Baubranche gegründet, um die damals neuartigen modellbasierten Planungstools im Bauwesen zu etablieren und zu verbessern, insbesondere in Bezug auf den Datenaustausch. Daher steht das Building Information Modeling natürlich im Mittelpunkt ihrer Bemühungen. Um das umzusetzen, arbeiten sie an der Entwicklung offener IT-Standards und Prozessdefinitionen für die interdisziplinäre Zusammenarbeit und fördern ihre Anwendung und Verbreitung.

Mittlerweile sind dem buildingSMART e.V. viele Privatpersonen aus allen Bereichen des Bauwesens, diverse Forschungs- und Bildungsstätten und Einrichtungen der öffentlichen Hand beigetreten, was das zunehmende Interesse am Building Information Modeling zeigt.

Das bedeutendste Ergebnis ihrer bisherigen Arbeit ist das Industry Foundation Classes (IFC) – Datenmodell. (14) Dieses wird in Kapitel 3.3.1. näher beleuchtet.

² Unter einem Medienbruch versteht man einen Wechsel des informationstragenden Mediums innerhalb eines Informationsbeschaffungs- oder -verarbeitungsprozesses. (Quelle: (33))

3.3. Normen und Richtlinien

Zwar gibt es bisher in Deutschland noch keine allgemein eingeführten Normen und Richtlinien für das Building Information Modeling, doch mit Inkrafttreten der neuen Richtlinien zur Modernisierung des EU-Vergaberechts am 17.04.2014 ist Deutschland verpflichtet das zu ändern. (15)

„Die Verabschiedung der Richtlinie für das EU-Vergaberecht bedeutet, dass bis 2016 alle 28 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union die Nutzung von BIM bei der Realisierung von öffentlich finanzierten Bau- und Infrastrukturprojekten fördern sollen und diese genauer spezifizieren sowie verpflichtend anordnen können.“ (16)

Erste Maßnahmen zur Umsetzung wurden schon eingeleitet: *„Die Verankerung im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur bei Minister Alexander Dobrindt, die Etablierung der „Reformkommission Bau von Großprojekten“ und die Einberufung einer „BIM Task Group“ zeigen, dass auch Deutschland dieser Forderung entsprechen wird. Die Einführung der BIM-basierten Prozesse ist somit in vollem Gang und politisch gewollt.“* (17)

Es bleibt abzuwarten wie schnell tatsächlich die dringend benötigten Standards eingeführt werden. Im Ausland gibt es bereits zahlreiche Normen, Richtlinien und Handbücher. In Deutschland hat das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung schon einige Empfehlungen erarbeitet. Diese könnten zur Schaffung deutscher Standards herangezogen werden.

Im Folgenden sollen, auf Grund ihrer Relevanz für diese Arbeit, bestehende Standards und Vorschläge zum Datenaustausch und der Detaillierung und Genauigkeit des Modells beleuchtet werden. Für all diejenigen, die sich mit rechtlichen und ordnungspolitischen Fragen auseinandersetzen möchten, wird die Lektüre des Gutachtens „Die Auswirkungen von Building Information Modeling (BIM) auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung“ (13) empfohlen.

3.3.1. Datenaustausch

Beim Building Information Modeling ist der Datenaustausch ein essentieller Faktor für eine erfolgreiche fachübergreifende Projektdurchführung. Die bewährten CAD-Austauschformate sind dafür gar nicht oder nur bedingt geeignet, weil sie Daten ausschließlich in Form von 2D-Elementen übertragen können und proprietär sind. Für BIM benötigt man aber ein neutrales objektorientiertes Austauschformat für Bauwerksmodelle.

Bislang gibt es nur ein einziges Format, das diesen Anforderungen gerecht wird: Die Industry Foundation Classes (IFC). Dieses Datenformat ist weltweit gültig und wurde 2013 auch zum offiziellen ISO-Standard (ISO 16739) erhoben.

Bei den IFC handelt es sich in erster Linie um ein Datenmodell zur Beschreibung der Information eines Gebäudes über dessen gesamten Lebenszyklus.

Dieses Datenmodell basiert auf der Definition von Modellelementen, ihren Eigenschaften und Relationen. Alle Daten werden in einer Gebäudedatenbank konsistent gehalten.

Dank der neutralen Objektbeschreibung kann das Datenmodell als Spezifikation für eine IFC Schnittstelle eingesetzt werden und ermöglicht somit einen offenen, hersteller- und softwareunabhängigen Datenaustausch.

Die folgende Auflistung zeigt beispielhaft einige Informationen, die übertragen werden können:

- Projektstruktur (Liegenschaft, Gebäude, Stockwerke)
- Modellelemente (wie Balken, Heizkessel, Kabeltrassen, Stützen, Vorhangfassaden, Regelklappen, etc.)
- CAD Layer (werden in der Übergangsphase immer noch genutzt und auch übertragen)
- Relationen zwischen Modellelementen und Strukturelementen (technische Anlagenstruktur)
- Herstellerangaben (wie Artikelnummer, Artikelname, Hersteller)
- Modellelementangaben (wie globale ID – wichtig für Versionierung, Name, Layerzuordnung, etc.)
- Mengenangaben (Basismengen, wie Länge, Fläche des Profils, Mantelfläche, Volumen)
- Materialnamen

Der Austausch von Standardbauteilen funktioniert bereits gut, bei komplexen Bauteilen mit parametrischen Definitionen gibt es aber immer noch Einschränkungen. In Abbildung 10 wird das angedeutet.

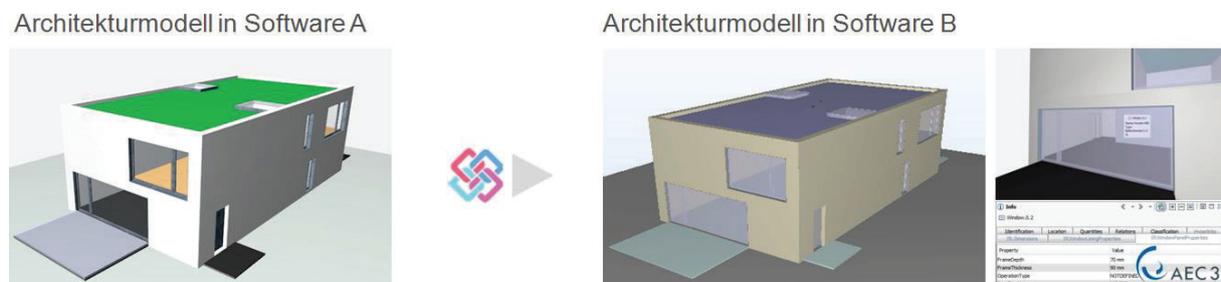


Abbildung 10: Einschränkungen bei der Modellübernahme über die IFC-Schnittstelle (Quelle: (11))

Die Qualität und Zuverlässigkeit der übertragenen Daten hängt von der Qualität der IFC-Implementierung durch die Softwarehersteller ab.

In Zukunft sollen Modelle bei der Projektübergabe sowohl im IFC-Format als auch im nativen Format übergeben werden. Im nativen Modell kann man dann direkt Änderungen und Umbaumaßnahmen vornehmen und das IFC-Modell dient der Dokumentation, Koordination, Kontrolle und Langzeitarchivierung. (11) (18)

3.3.2. Detaillierung und Genauigkeit

Detaillierungsgrad und Genauigkeit des Modells werden durch den Zweck der Bauaufnahme bestimmt. Während in Bereichen wie der Denkmalpflege und Bauforschung sehr hohe Ansprüche an die Detaillierung und Genauigkeit gestellt werden, können für andere Aufgaben auch Generalisierungen in gewissen Maßen zulässig oder gar erwünscht sein.

Die Genauigkeit des Modells könnte man daher aufteilen in eine 1:1 Darstellung ohne Generalisierung und eine Darstellung unter Berücksichtigung gewisser baulicher Konventionen und Restriktionen. Bei der zweiten Variante müssten die Abweichungen des BIM-Modells zu den Messdaten durch die Generalisierungen natürlich trotzdem nachvollziehbar sein. Entsprechende Toleranzen für die Eigenschaften der Modellelemente wie Ebenheit, Rechtwinkligkeit, Parallelität, etc. müssten formuliert werden. (19) (12)

Der Detaillierungsgrad der Modellierung wird als Level of Development (LoD), zu Deutsch Fertigstellungsgrad, bezeichnet. Er gibt an, welche fachlichen Informationen und Leistungen in den jeweiligen Leistungsphasen erbracht werden müssen.

Im Ausland findet man einige Anregungen zu diesem Thema, wie das australische NATSPEC BIM Paper oder den britischen Standard PAS 1192-2. Das NATSPEC BIM Paper steht jedem kostenlos zum Download auf der Website von NATSPEC³ zur Verfügung. Die Fertigstellungsgrade dieser Richtlinie beziehen sich auf Modellelemente.

Im BIM-Leitfaden werden ebenfalls Vorschläge für die Klassifizierung der Fertigstellungsgrade gemacht. Diese gelten aber für das gesamte Modell. (11)

Tabelle 3 fasst die Festlegungen des NATSPEC BIM Paper und des BIM-Leitfaden zusammen.

³ www.natspec.com.au

Tabelle 3: Fertigstellungsgrade für BIM-Modelle (nach (11) und (20))

Fertigstellungsgrad / 2D-Maßstab	Leistungsphase	Beschreibung
1:1000-1:500, 1:200	Grundlagenermittlung	Im Modell werden Baugelände, Umgebung und Raummodell dargestellt. Informationen zum Bauwerk sind noch nicht vorhanden.
LoD 100 1:500-1:200	Vorentwurfsplanung	Das Modell enthält nur die wesentlichen raumbildenden Modellelemente, welche grafisch mit einem Symbol oder einer anderen allgemeinen Abbildung dargestellt werden können.
LoD 200 1:200-1:100	Entwurfsplanung	Modellelemente werden typgerecht erstellt und grafisch als allgemeines System, Objekt oder Baugruppe mit ungefähren Mengen, Größe, Lage und Orientierung dargestellt. Informationen wie Raumname, Raumnummer, Nutzung, Fläche sollten beigefügt werden.
LoD 300 1:100-1:50	Genehmigungsplanung	Angaben zu Menge, Größe, Lage und Orientierung der Modellelemente müssen nun präzise sein. Außerdem müssen die Modellelemente sämtliche alphanummerischen Daten enthalten.
LoD 400 1:50-1:10	Ausführungsplanung	Die Modellelemente werden nun mit allen Details dargestellt und mit Informationen zur Herstellung, zum Aufbau und zur Installation versehen.
LoD 500 1:50-1:10	Objektdokumentation	Das Modell spiegelt die Realität wider. Modellelemente werden mit Hilfe geprüfter Messdaten in Sachen Größe, Aussehen, Lage und Orientierung angepasst. Dieses Modell sollte alle semantischen Informationen enthalten.

4. Durchführung der Messung

Die Durchführung jeder Messung erfordert strukturiertes und diszipliniertes Vorgehen. In der Regel müssen die Messungen in kurzen Zeiträumen erfolgen, um den laufenden Betrieb nicht zu stören. Daher sollte man so früh wie möglich Informationen über das Objekt einholen, sich für ein Messverfahren entscheiden und die nötige Ausrüstung zusammenstellen. Der prinzipielle Ablauf der Messung wird für gewöhnlich bei einer ersten Begehung des Objektes geplant.

Für diese Arbeit wurde ein Ausschnitt des Postamts Charlottenburg 1 mit einem 3D-Laserscanner aufgenommen.

4.1. Objektbeschreibung

Das Postamt Charlottenburg 1 ist ein Berliner Baudenkmal. Es befindet sich an der Ecke Otto-Suhr-Allee 80-82 / Warburgzeile 1-3 im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf, Ortsteil Charlottenburg. Die Gesamtanlage, wie sie heute besteht, entstand baugeschichtlich in zwei Abschnitten. Zunächst baute Wilhelm Tuckermann um 1900 ein Fernmeldeamt an diese Stelle (1). Im Jahr 1929 erhielten dann die Architekten Robert Gaedicke und Arthur Freitag den Auftrag ein Postamt zu entwerfen, welches das Fernmeldeamt einbeziehen sollte. In den folgenden sechs Jahren entstanden eine Packkammer (2), ein Dienstgebäude (3) und eine Werkstatt (4). Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die einzelnen Gebäude (1-4) der Gesamtanlage.

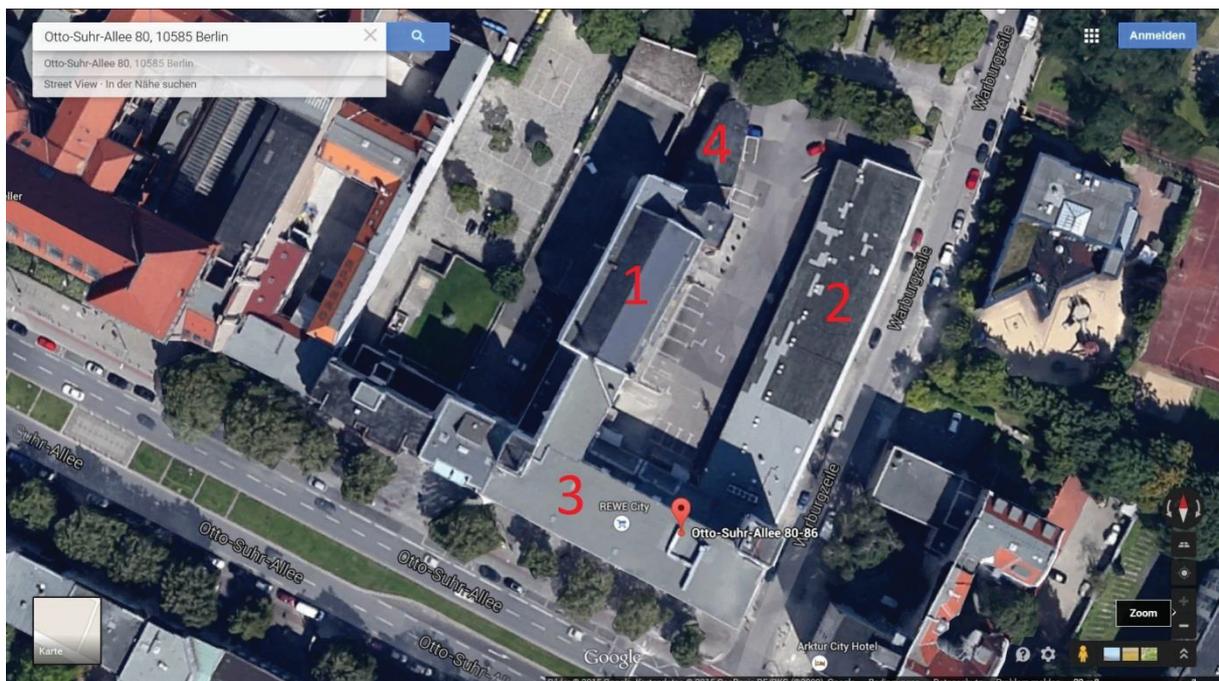


Abbildung 11: Das Postamt eingenordet in der Draufsicht (Quelle: (21))



Abbildung 12: Die einzelnen Gebäudeteile in der Frontansicht (Quelle: (22))

Heutzutage wird nur noch das Erdgeschoss des ehemaligen Fernmeldeamtes und das Dienstgebäude von der deutschen Post genutzt. Im Erdgeschoss des Dienstgebäudes wurde ein Supermarkt der Kette REWE City untergebracht. Der Innenhof der Gesamtanlage wird nun als Kundenparkplatz von REWE genutzt. Die Räumlichkeiten in den ersten beiden Obergeschossen des ehemaligen Fernmeldeamtes und die Werkstatt werden gemeinschaftlich von den Unternehmen Scan 3D Dienstleistungsgesellschaft mbH und R&S Vermessung genutzt.

Die weitere Objektbeschreibung beschränkt sich auf das Fernmeldeamt, da in Absprache mit Scan 3D nur ein Ausschnitt dieses Gebäudekomplexes aufgenommen werden sollte.

Das ehemalige Fernmeldeamt setzt sich aus dem Hauptgebäude und einem Anbau zusammen. Beide gehen über fünf Etagen: ein Kellergeschoss, das Erdgeschoss und drei Obergeschosse. Das Hauptgebäude schließt im Süden an das Dienstgebäude an, während der Anbau im Norden direkt mit der Garage verbunden ist (siehe Abbildung 13).

Im Anbau sind das Treppenhaus, sanitäre Anlagen und zusätzliche Büroräume untergebracht. Das Treppenhaus lässt sich über einen Eingang auf der Ostseite betreten, wo sich ebenfalls der Zugang zum Keller befindet.

Als das Dienstgebäude gebaut wurde, schuf man Durchgänge zum Fernmeldeamt. Daher kommt man auch von der Otto-Suhr-Allee in das Gebäude.

Über der Garage wurde nachträglich eine Terrasse auf Höhe der ersten Etage errichtet, auf die man über das Treppenhaus gelangt. Für den Durchgang wurde eines der hohen Fenster der Nordfassade durch eine Tür ersetzt, die man von innen über eine freistehende Treppe erreicht.

Zwischen der ersten und zweiten Bauphase fand ein Stilwandel in der Architektur statt, der sich äußerlich in dem Gebäude wiedererkennen lässt.

Die Ostfassade weist Merkmale des Klassizismus auf. Die rechteckige Fassade wird vertikal durch Lisenen, die zur Traufe hin bogenförmig zusammenlaufen, in fünf Achsen geteilt. Roter Backstein wechselt sich mit glattem, weißem Putz ab. Im ersten Obergeschoss wurden Stichbogenfenster, im



Abbildung 13: Das ehemalige Fernmeldeamt von Norden betrachtet (Quelle: (32))

zweiten Rechteckfenster und im dritten Rundbogenfenster verbaut. Da die Fenster für eine klare horizontale Gliederung sorgen, wurde auf weitere Gesimse verzichtet. Das Erdgeschoss wird zudem durch eine Glasüberdachung geschützt und durch einige Zierelemente aufgewertet. Weitere Zierelemente wurden unterhalb der Traufe angebracht.

Die Nord- und Westfassade sind sachlich und funktional gehalten. Sie wurden durchgehend weiß verputzt und weisen keinerlei Zierrat oder ähnliches auf. Die Fenster sind bis auf wenige Stichbogenfenster in der Nordfassade und die Rundbogenfenster im dritten Obergeschoss auf der Westseite alle rechteckig.

Auf dem Hauptgebäude sitzt ein Satteldach, welches allerdings durch die hohen Brüstungsmauern verdeckt wird. Der Anbau verfügt über ein Flachdach.

Im Inneren wird das Gebäude durch mehrere Säulen und Unterzüge gestützt. Die Raumhöhen variieren zwischen rund 3,0m bis 4,5m. Das dritte Obergeschoss wird von dem Dach durch keine Zwischendecke abgetrennt, wodurch die stützende Stahlkonstruktion sichtbar ist. Dieses Geschoss wurde früher als Turnhalle genutzt, ist mittlerweile baufällig und bedarf einer Totalsanierung.

4.2. Vorbereitung der Messung

Sobald genügend Informationen über das Objekt gesammelt wurden und man sich für ein Messverfahren entschieden hat, sollte man mit der Zusammenstellung der Ausrüstung beginnen. Für diese Arbeit stand das Laserscanning als Messverfahren von Anfang an fest. Bei diesem Verfahren benötigt man neben dem Scanner ein Stativ, Zielmarken, doppelseitiges Klebeband mit dem man empfindliche Oberflächen nicht beschädigt und in seltenen Fällen auch Sprühkreide für reflektierende Oberflächen. Das Stativ muss stabil und robust genug sein, um Erschütterungen zu widerstehen. Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn es höhenverstellbar ist, damit man flexibel auf die Aufnahmesituation reagieren kann. Moderne Scanner sind mittlerweile über eine W-LAN Verbindung fernsteuerbar, weshalb ein robustes Laptop oder Smartphone meistens ebenfalls zur Standardausrüstung gehört. Außerdem können die modernen Instrumente inzwischen Farbinformationen aufnehmen. Diese reichen derzeit qualitativ aber noch nicht an Fotoaufnahmen von Spiegelreflex-Kameras heran, weshalb man für hochwertige Kolorierungen der Scans auf solche Kameras zurückgreifen sollte.

Vor größeren Projekten sollte die Ausrüstung immer überprüft werden. Es gibt ein Testverfahren, mit dem man Laserscanner sogar vor Ort noch leicht auf grobe Messfehler hin testen kann. Dazu muss man nur ein Testfeld mit elf Zielmarken aufbauen. Die Zielmarken sollten gleichmäßig sowie in der Höhe variierend über vier Wände und die Decke eines Raumes verteilt werden. Danach scannt man den Raum von zwei Standpunkten aus, die um etwa einen Meter zueinander verschoben werden. Bei der Orientierung wird einer der beiden Scans als Referenzdatei für den anderen benutzt. Sind die dabei ermittelten Restklaffen zu groß, sollte man das Gerät nicht für die Messung verwenden. Weiterhin

kann man das Messrauschen des Gerätes untersuchen, indem man Punkte einer glatten Oberfläche nimmt und sie gegen eine erzeugte ausgeglichene Ebene abgleicht. Bei niedrigem Messrauschen dürften die Punkte kaum um die Ebene streuen.

Als nächstes muss man sich um die Verteilung der Zielmarken kümmern. Im Inneren von Gebäuden bietet es sich an, die Marken an Wänden und Decken anzubringen. Dabei sollte man auf eine gleichmäßige Verteilung über die gesamte Länge und Höhe jeder einzelnen Wand achten, weil dadurch das Ergebnis der Orientierung stabiler wird. Prinzipiell reichen schon drei Zielmarken für die Orientierung aus. Verfügt der Scanner über einen Neigungsscanner benötigt man sogar nur zwei. Für ein sicheres Orientierungsergebnis sollten aber mindestens fünf Marken pro Scan zur Verfügung stehen. Beim Befestigen der Marken muss man ihre Sichtbarkeit von den Standpunkten berücksichtigen. Bei Fassadenscans hat es sich ebenfalls bewährt, die Zielmarken über die gesamte Länge und alle Geschosse zu verteilen. Allerdings weisen die Passpunkte in den oberen Etagen wegen der steilen Visuren meist größere Abweichungen auf, wenn man vom Boden aus misst. Deshalb ist es bei hohen Genauigkeitsanforderungen prinzipiell besser den Scanner mit einem Kurbelstativ oder Hubsteiger an die Höhe anzupassen.

Für dieses Projekt konnte bei der Zusammenstellung der Ausrüstung auf das Inventar von Scan 3D zurückgegriffen werden. So standen zur Durchführung der Messung ein Faro X330-Laserscanner, ein leichtes Fotostativ für die Scans im Innenraum und Fotoaufnahmen der Ostfassade sowie ein robustes geodätisches Stativ für die Scans im Außenbereich, Schachbrettzielmarken im A5- und A4-Format, doppelseitiges Klebeband und eine Nikon D300S für die Fotoaufnahmen zu Verfügung.

Das Testverfahren zur Überprüfung des Faro X330 wurde erfolgreich in der Werkstatt durchgeführt. Bei der Orientierung betrug die maximale Abweichung $v(\max) = -3,8\text{mm}$ und die Standardabweichung $\sigma = 2,0\text{mm}$. Die Untersuchung des Messrauschens ergab für beide Scans eine Standardabweichung von $\sigma = 0,8\text{mm}$. Diese Werte bilden ein durchschnittliches Ergebnis. Daher konnte der Scanner bedenkenlos eingesetzt werden.

Die Zielmarken im A5-Format wurden im Treppenhaus, die im A4-Format im Außenbereich angebracht. Im Außenbereich sind in der Regel die Zielweiten größer, wodurch auch der Punktabstand zunimmt. Wird der Punktabstand zu groß, kann das Muster der Zielmarke nicht mehr hoch genug aufgelöst werden. Um dem entgegen zu wirken, verwendet man daher größere Zielmarken im Außenbereich. In den drei Obergeschossen, und teilweise auch im Außenbereich, wurden markante Objektpunkte für die Orientierung verwendet. Damit bei den verschiedenen verwendeten Passpunkten keine Punktnummern doppelt vorkamen, wurden den einzelnen Objektteilen (Außenbereich, Treppenhaus, Büroräume, Turnhalle) unterschiedliche Punktnummernbereiche zugeteilt.

4.3. Das Gebäudeaufmaß mit einem Laserscanner

Entscheidet man sich bei einem Gebäudeaufmaß für das Laserscan-Verfahren, so sollte man bei der Durchführung der Messung auf einige Besonderheiten bei der Standpunktwahl achten.

Zunächst muss einem bewusst sein, dass man mit einem Laserscanner nur das erfassen kann, was vom Standpunkt aus sichtbar ist. In einem wirtschaftlich genutzten Gebäude sind weitere Abschattungen durch Möbel, Verkleidungen oder Grünpflanzen unvermeidbar. Es mag banal klingen, ist tatsächlich aber für einen reibungslosen Ablauf ein sehr wichtiger Punkt. Wenn man mit einem Scan nicht genügend Zielmarken oder die entscheidenden Objektstrukturen erfasst, werden unter Umständen Nachmessungen nötig, was zu einem erheblichen Mehraufwand führen kann. Es liegt in der Verantwortung des Vermessers dafür zu sorgen, dass alle relevanten Objektinformationen erfasst werden.

An Glasflächen und Objektkanten wird der Laserstrahl gebrochen, was zu Fehlmessungen führt. Dieser Effekt ist unvermeidbar, das Problem kann aber durch geschicktes Bereinigen / Filtern der Daten gelöst werden. Glasflächen könnte man abkleben oder mit Sprühkreide einsprühen, um ihre geometrische Beschaffenheit zu ermitteln.

Man sollte mit dem Scanner immer einen Mindestabstand von 0,5m zum Objekt einhalten, da die Laserscanner keine brauchbaren Daten bis zu dieser Entfernung liefern. Der Maximalabstand hängt vom Instrument ab und wird vom Hersteller angegeben. Bei zu geringen Entfernungen kann auch der sogenannte Moiré-Effekt auftreten. Dabei handelt es sich um einen Spezialfall des Alias-Effektes, der durch Unterabtastung zustande kommt. Er äußert sich durch grobe Raster in den Scandaten, die den Mustern aus Interferenzen ähnlich sind.

Neben der Entfernung ist auch der Auftreffwinkel entscheidend für die Qualität der Daten. Je kleiner der Schnittwinkel zwischen Laserstrahl und Objekt wird, desto ungenauer werden die Messwerte. Dasselbe gilt für Messungen an Kanten und Ecken. Die Probleme werden in Abbildung 14 veranschaulicht. Bei Winkeln unter 10° spricht man von schleifenden Schnitten. Punkte, die unter einem schleifenden Schnitt entstehen, sind für die Auswertung unbrauchbar.

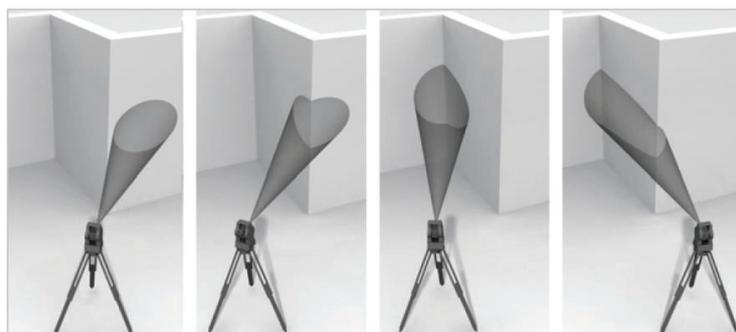


Abbildung 14: Probleme bei der Reflexion des Messstrahls an Ecken, Kanten und bei schräg auftreffenden Messstrahlen. (Anm.: Der Laserstrahldurchmesser wurde zum besseren Verständnis übertrieben vergrößert) (Quelle: (7))

Die Problematik kann durch Messung von mehreren Standpunkten gelöst werden. Für vertikale Winkel muss der Scanner über ein Kurbelstativ oder Hubsteiger an die Höhe des Objektes angepasst werden.

Um schleifende Schnitte bei Wänden und Fassaden zu vermeiden, sollte man Standpunkte in die Nähe der Enden legen. Je nach Länge der Wand oder Fassade müssen dann noch einer oder mehrere Standpunkte dazwischen eingerichtet werden. Wenn man dann noch darauf achtet, dass die Scans sich überlappen, kann man das Objekt vollständig erfassen.

Die Standpunktauswahl wird ebenso von der Komplexität des Objektes beeinflusst. Damit sind nicht nur Abweichungen von quadratischen oder rechteckigen Grundrissen gemeint. In vielen Gebäuden sind die Deckenstrukturen nicht weniger komplex. Man trifft auf Gewölbe, Stuck und Unterzüge verschiedenster Art. Für diese Fälle sollte man ebenfalls ein Kurbelstativ bereithalten, will man Verschattungen umgehen.

Bei Fassadenaufmaßen hat sich gezeigt, dass es vorteilhaft ist je Fensterachse einen Scan vorzunehmen. Die Standpunkte sollten in einer Entfernung zum Gebäude liegen, die mindestens dessen Höhe, besser noch dem doppelten, entspricht. So können zu steile Visuren meistens vermieden werden. Spätestens bei Bauten die höher als 20m sind, sollte man aber eher auf einen Hubsteiger zurückgreifen als sich noch weiter vom Bauwerk zu entfernen.

Das Aufmaß des Postamts erfolgte mit insgesamt 44 Scans, neun davon dienten zur Erfassung der Fassade. Die Standpunkte wurden so gewählt, dass die einzelnen Objektteile untereinander verknüpft werden konnten. Den Ausgangspunkt bildeten Standpunkte auf der Terrasse, von denen Verknüpfungspunkte im Treppenhaus sowie auf der östlichen und auf der westlichen Seite des Gebäudes zu sehen waren. Weitere Verbindungen zwischen den Innenraum- und Fassadenscans bestanden durch Standpunkte an den Türen und Fenstern im Treppenhaus und den Büroräumen im ersten und zweiten Obergeschoss. Um den laufenden Arbeitsbetrieb bei R&S-Vermessung nicht zu stören, wurden die Scans der Büroräume auf eine Zeit nach 16 Uhr verschoben. Das Fassadenaufmaß konnte auf Grund des starken Verkehrs auf dem Kundenparkplatz erst nach 18 Uhr durchgeführt werden.

Im Gebäude wurde mit einer Auflösung von 1/4 gescannt, was einem Punktabstand von ca. 6mm auf 10m Entfernung entspricht. Außen wurde die Auflösung auf 1/2 gesetzt, wodurch sich der Punktabstand bei gleicher Entfernung auf 3mm reduziert.

5. Auswertung der Daten

5.1. Verwendete Software

Die Auswertung von Laserscandaten erfolgt immer in zwei Schritten. Zunächst müssen die Daten aufbereitet werden, bevor man sie im zweiten Schritt verarbeiten kann.

Zur Datenaufbereitung gehören Aufgaben wie die Bereinigung und Orientierung der Scans sowie die Erstellung von Schnittscharen oder Punktwolken bestimmter Bereiche des Objektes. In der Architektur-Vermessung werden die aufbereiteten Daten dann zu Grundrissen, Schnitten, Ansichten und 3D-Modellen verarbeitet.

Die meisten Programme bieten nur Lösungen für einen dieser Arbeitsschritte. Aus diesem Grund und um die unterschiedlichen Ansätze bei der Modellierung von Scandaten in der Architektur-Vermessung untersuchen zu können, wurden drei verschiedene Programme für die Auswertung genutzt: LupoScan, Rhinoceros und Revit.

5.1.1. LupoScan

Bei LupoScan handelt es sich um eine herstellerunabhängige Software, die von der Firma Lupos3D GbR entwickelt wurde. Diese Software weist eine Vielzahl von Funktionen auf, durch die sie prädestiniert für die Datenaufbereitung ist.

Zunächst einmal können in LupoScan alle gängigen Formate (zfs, zfc, 3dd, fls, pts, ptx, ptg, cl3, asc, e57, STL, ptb, osf) importiert werden. Beim Import werden die Dateien automatisch in das LupoScan-Format (*.lps) umgewandelt. Dieses Format ermöglicht eine schnellere Bearbeitungsgeschwindigkeit und die Anwendung verschiedener Filter zur Eliminierung von Fehlmessungen. Bei dieser Filterung können unter anderem Achsfehler behoben (durch manuelles Eingeben der Winkelfehler oder mit einer Kalibrierdatei), Lücken gefüllt und isolierte Punkte sowie Punkte mit schleifendem Auftreffwinkel gelöscht werden. Die Filterung beim Import ist optional und kann jederzeit nachgeholt werden. Dann ist auch der Einsatz von Glättungsfiltern zur Reduzierung des Messrauschens möglich.

Scandateien werden beim Öffnen in LupoScan originär in einer 2D-Ansicht mit ihren Intensitätswerten angezeigt. Neben dieser Ansicht lassen sich auch noch Spot- und Normalen-Bilder berechnen. Bei der Spot-Ansicht wird für jedes Pixel der Auftreffwinkel eines Lichtstrahls auf die Oberfläche berechnet, welcher in Grauwertstufen dargestellt wird. Dadurch wird die Oberflächenstruktur deutlicher. Bei der Normalen-Ansicht wird für jedes Pixel die Flächennormale berechnet und farbig dargestellt. Durch diese Darstellung lassen sich Flächen gleicher Ausrichtung leichter erkennen und Kanten werden deutlicher. Die Punktwolken können auch als Ganzes oder ausschnittsweise in einer 3D-Ansicht dargestellt werden.

Nach dem Import können die Daten orientiert werden. Bei der Orientierung handelt es sich um eine Transformation, bei der alle Scans eines Projektes in ein einheitliches Koordinatensystem überführt werden. In LupoScan wird eine 3D-Helmerttransformation angewandt. Als Passpunkte können Zielmarken, Kugeln oder markante Objektpunkte verwendet werden. Prinzipiell reichen drei Punkte für die Orientierung eines Scans; für ein sicheres Ergebnis sollten aber mindestens fünf Punkte verwendet werden. Eine gute Verteilung der Passpunkte verbessert zusätzlich das Ergebnis. Die Orientierung jedes Scans wird protokolliert. In diesem Protokoll werden die Standardabweichung, die Restklaffen jedes Passpunktes und die Parameter der Äußeren Orientierung (Koordinaten und Drehwinkel des Scanners bei der Aufnahme) aufgeführt.

Sobald alle Scans orientiert sind, kann man für die weitere Datenverarbeitung objektübergreifende Schnitte erzeugen oder Punktwolkenausschnitte aus den Scans in die 3D-Ansicht laden. Diese gesonderten Messdaten können dann an andere Programme übergeben werden. LupoScan bietet aber auch selbst einige Funktionen im Bereich der Modellierung und Analyse. Mit interaktiven Werkzeugen können in den einzelnen Scans Punkte, Linien, Polygone und Volumenkörper bestimmt werden. Weiterhin können Ausgleichskörper wie Ebenen, Zylinder und Kugeln erstellt, Orthofotos und Abwicklungen berechnet sowie Deformationsanalysen durchgeführt werden. Die gesonderten Messdaten und erstellten Objekte lassen sich über Direkt-Schnittstellen in CAD-Programme wie Rhinoceros oder AutoCAD übertragen oder können in den Formaten dxf, STL, vml, E57, pts, ptx, ptg, ptb, osf, tiff exportiert werden.

Orthofotos und Abwicklungen entstehen durch die senkrechte Projektion der Bildinformationen, sprich der Intensitätswerte und Distanzen des Laserscans, auf eine Oberfläche. Sie bestehen also aus Grauwert-, Tiefen- und gegebenenfalls Farbinformationen der Punktwolke. Kommen die Farbinformationen nicht aus dem Scan, kann man auch externe Messfotos in die Scans, Orthofotos oder Abwicklung einrechnen. Dazu setzt man identische Passpunkte im Orthofoto und in der Fotografie. Die Punkte des Orthofotos werden dann zur Erstellung einer Referenzdatei benutzt, mit der die Fotografie über eine direkte lineare Transformation in das System des Orthofotos transformiert wird. Sobald das Messfoto auf diese Weise orientiert ist, kann es in das Orthofoto eingerechnet werden. In Anhang A sieht man ein Orthofoto der Ostfassade ohne Texturierung.

LupoScan eignet sich mit seinen Funktionen besonders gut für Projekte in den Bereichen Architektur, Denkmalpflege, Geologie und Ingenieurvermessung.

Es wird in drei Versionen angeboten: als kostenloser Viewer, als Basic- und als Pro-Version. Da nur die Pro-Version Zugang zu allen Funktionen gewährt, wurde sie für diese Arbeit verwendet. (23)

5.1.2. Rhinoceros und VisualARQ

Die zweite verwendete Software heißt Rhinoceros, oder kurz Rhino. Entworfen wurde sie von der Privatgesellschaft McNeel. Bei dieser Software handelt es sich um ein CAD (Computer Aided Design)-Programm mit einem sehr umfangreichen Repertoire an Funktionen für 2D- und 3D-Konstruktionen. Deshalb kann Rhino auch Allgemein eingesetzt werden, womit gemeint ist, dass sie nicht auf die Anwendung in einzelnen Branchen beschränkt ist. Nichtsdestotrotz wird sie wegen der 3D-Modellierungswerkzeuge hauptsächlich von Architekten und Designern verwendet. Von feinsten mechanischen Bauteilen bis hin zu Wolkenkratzern lässt sich alles entwerfen. Selbst komplexe Freiformflächen können dank integrierter Werkzeuge für NURBS-Kurven, -Flächen und -Volumenkörper problemlos erstellt werden. Außerdem stehen dem Anwender eine Reihe von Werkzeugen zur Verarbeitung von Polygonnetzen und Punktwolken zur Verfügung. So kann man beispielsweise ausgeglichene Linien, Ebenen und Freiformflächen aus den Punkten erzeugen oder Deformationsanalysen durchführen. Ferner können in Rhino die konstruierten Objekte dokumentiert, gerendert und animiert werden.

Genauso wie LupoScan verfügt Rhinoceros über eine große Bandbreite an Import- und Export-Schnittstellen. Zu den nutzbaren Formaten gehören IGES, STEP, STL, dwg/dxf, obj, ply, um nur ein paar zu nennen.

Obwohl Rhino zahlreiche Möglichkeiten bietet, um ein Bauwerksmodell zu erzeugen, handelt es sich hierbei um keine BIM-Software. Allerdings verfügt Rhino über ein C++ SDK (Software Development Kit) und einige Scripting-Methoden, mit denen Programmierer die Funktionen der Software erweitern können.

Über diese Schnittstelle wurde von der Firma Asuni CAD ein Plug-In namens VisualARQ entwickelt, welches die BIM-Anforderungen erfüllt. VisualARQ verfügt über parametrische Modellierungswerkzeuge⁴ und die gesamte Projektdokumentation ist mit dem Modell verknüpft, wodurch sich diese bei jeder Änderung am Modell automatisch aktualisiert. Außerdem wird mit VisualARQ eine IFC-Export-Schnittstelle integriert. Eine Import-Schnittstelle gibt es in der aktuellen Version noch nicht, ist aber für zukünftige Versionen geplant.

Rhinoceros kann für 90-Tage, VisualARQ für 30 Tage, als Testversion von der Homepage des jeweiligen Unternehmens heruntergeladen werden. (24) (25)

⁴ Man spricht von parametrischer Modellierung, weil in der Mathematik und bei mechanischem CAD Zahlen (Bemaßungen) oder Eigenschaften (Verknüpfungen / Proportionen), die Beziehungen definieren, Parameter genannt werden.

5.1.3. Revit und Scan to BIM

Autodesk konzipierte mit Revit eine Bauplanungssoftware, die speziell auf das Building Information Modeling zugeschnitten ist. Die Funktionen von Revit decken die Bereiche Architektur, Gebäudetechnik und Tragwerksplanung ab.

Jederzeit können Informationen zu Projektentwürfen und -umfang, Materialmengen und den Bauphasen abgerufen werden. Sämtliche Pläne, Ansichten und Bauteillisten werden aus der Gebäudemolldatenbank abgeleitet. Dank der parametrischen Änderungs-Engine werden Umgestaltungen des Gebäudemodells automatisch in die verbundenen Pläne, Ansichten und Bauteillisten übertragen. Damit dieser Vorgang funktioniert, müssen Abhängigkeiten zwischen den Bauteilen definiert werden. Fenster und Türen sind abhängig von Wänden, die wiederum abhängig von Referenzlinien und –ebenen sein können, welche ihre Position und Höhe festlegen. So wird sichergestellt, dass ein Fenster nicht plötzlich in der Luft hängt, wenn man die Lage einer Wand verändert.

Man kann diverse Analysen durchführen wie etwa zur Statik, Energieeffizienz oder Kollision von Bauteilen.

Eine der Besonderheiten von Revit ist die klare Struktur der Elemente und ihrer Eigenschaften, durch die der parametrische Ansatz unterstützt wird.

Die Elemente werden in drei Kategorien unterteilt:

- Modellelemente, welche die reale 3D-Geometrie des Gebäudes darstellen
- Bezugselemente, durch die Zusammenhänge innerhalb des Projekts verdeutlicht werden sollen
- und ansichtsspezifische Elemente, die zur Beschreibung oder Dokumentation des Modells dienen.

Eine Übersicht über die Elementstruktur kann dem Anhang B entnommen werden. (26)

Jedes Element folgt dann nochmal einer dreistufigen Hierarchie, wie in Abbildung 15 zu sehen ist.

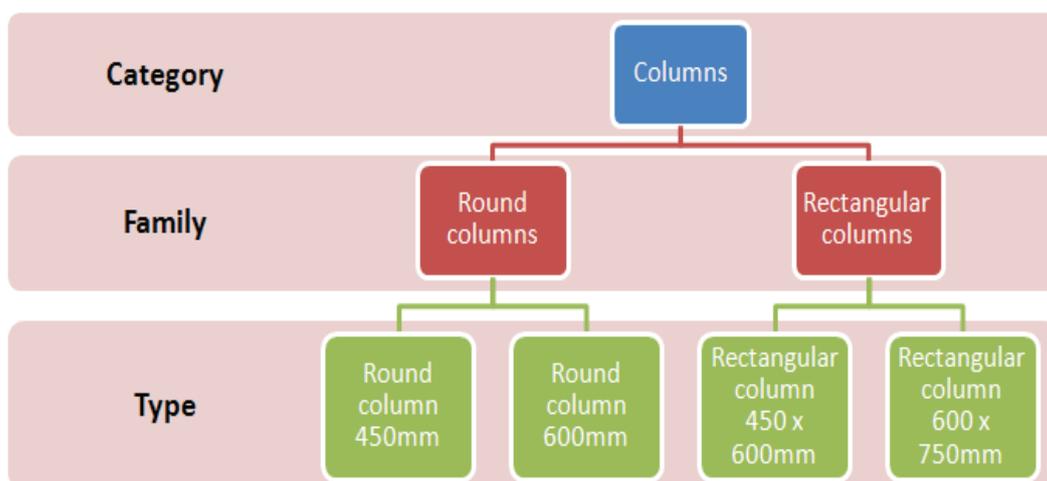


Abbildung 15: Elementstruktur in Revit (Quelle: (27))

An erster Stelle steht die Kategorie. Sie umfasst alle Elemente die zur Modellierung (Wände, Decken, Fenster, Türen etc.) und Dokumentation (Bemaßungen, Notizen, Bauelementschlüssel, Beschriftungen und Symbole) des Bauwerks eingesetzt werden.

In Familien werden die Elemente dann nach gemeinsamen Eigenschaften, identischem Gebrauch und ähnlicher graphischer Darstellung klassifiziert. Zwei Elemente einer Familie können sich in einer oder mehreren Eigenschaften unterscheiden und gehören trotzdem zur selben Familie, wenn die Namen und die Bedeutungen der Eigenschaften dieselben sind.

Für die Unterscheidung zwischen den verschiedenen Eigenschaften ist der Typ eines Elements zuständig. Typeigenschaften können beispielsweise Größe oder Material eines Elements betreffen. Diese Eigenschaften wirken sich auf alle Exemplare eines Typs aus. Verändert man den Wert einer Eigenschaft, so betrifft das alle aktuellen und künftigen Exemplare des Familientyps.

Dann gibt es noch die sogenannten Exemplareigenschaften. Im Gegensatz zu den Typeigenschaften beeinflussen diese immer nur das momentan ausgewählte Exemplar. Der Durchmesser eines Rohrs ist beispielsweise eine Typeneigenschaft, die Länge des Rohrs eine Exemplareigenschaft. (26) (27)

In einem Editor kann man Familien eigenständig entwerfen, wodurch man nicht auf Bauteilbibliotheken angewiesen ist.

Die Bauwerksmodelle können in den Formaten rvt, dwg, dwf, dxf, 3ds, ifc, dgn, sat und gbXML exportiert werden.

Da Revit auf die Planung von Bauwerken ausgelegt ist, gibt es kaum Möglichkeiten Modellelemente interaktiv aus rohen Messdaten zu bilden. Das lässt sich vermutlich damit erklären, dass in der Planungsphase Verformungen selbstverständlich nicht vorgesehen sind.

Immerhin ist der Import von Punktwolken trotzdem schon möglich und man kann auch Punkte fangen, wenn man Elemente erstellt. So könnte man eine Wand entlang einer Punktschar verlaufen lassen, indem man Punkte in einem bestimmten Intervall einfängt. Da diese Methode gerade bei streuenden Punktwolken weder geometrisch exakt noch statistisch belegbar ist, sind verformungstreue As-Build Dokumentationen derzeit nur schwer durchführbar. Mittlerweile wurden aber Plug-Ins entwickelt, die diese Problematik angehen.

Eines dieser Plug-Ins heißt Scan to BIM. Es entstand in dem Unternehmen IMAGINiT Technologies. Mit diesem Plug-In erhält man die Möglichkeit Modellelemente aus der Punktwolke zu erzeugen. Der Prozess von der Erkennung hin zur Platzierung der Bauteile wurde automatisiert. Wände, Säulen, Ebenen, Rohre, Leitungen und Kabelkanäle lassen sich auf diese Weise aus der Punktwolke erstellen. Des Weiteren gibt es Funktionen, um die Elemente mit der Punktwolke abzugleichen oder Abstände auszumessen. Scan to BIM erweitert zudem den Datenaustausch um Tachymeter-lesbare Formate. So können Daten auch für Feldprüfungen bereitgestellt werden.

Von Autodesk wird für Revit eine 30-tägige und von IMAGINiT für Scan to BIM eine 21-tägige Testversion angeboten. (28) (29)

5.2. Vergleich der Modellierungsansätze

Die verwendeten Softwarepakete offerieren unterschiedliche Ansätze für das Building Information Modeling aus Scandaten.

In Scan to BIM nutzt man verschiedene Algorithmen, um Bauteile in die Punktwolke einzupassen.

Für Rohre und Säulen kommt das best-fit-Verfahren zum Einsatz. Für die Einpassung der Modellfläche werden nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate⁵ die kürzesten senkrechten Abstände der Messpunkte zur Modellfläche errechnet. Die zu untersuchenden Punkte werden über eine Fensterauswahl selektiert.

Wände werden über die „Region Growing“-Technik gebildet. Zunächst wählt man drei repräsentative Punkte aus der Punktwolke aus, die eine vorläufige Ebene bilden. Basierend auf ihrem Normalenvektor⁶ wird die Ebene auf alle Punkte mit ähnlichen Normalen erweitert. Zusätzliche Berechnungskriterien sind die Ebenheitstoleranz⁷ und der Ebenenabstand⁸. Abschließend hat man die Wahl entweder eine „Profile Wall“ oder eine „Mass Wall“ zu erstellen. Beim Typ „Profile Wall“ wird eine streng vertikale Wand erzeugt, wohingegen sich bei einer „Mass Wall“ die Oberfläche der Wand bestmöglich an die Punktwolke anpassen soll. Leider benötigt man zum Erzeugen einer „Mass Wall“ eine spezielle Vorlage, die für diese Arbeit nicht zur Verfügung stand. Weder wurde sie vom Hersteller angeboten, noch konnte sie anderweitig besorgt werden.

Für die Erstellung von Decken benötigt man Referenzebenen, die ebenfalls aus den Scandaten erzeugt werden können. Die Referenzebene stellt die obere Begrenzung der Decke dar. Die Decke selbst wird dann in Richtung der Nullebene extrudiert⁹. Da die Referenzebenen in Revit so konzipiert wurden, dass sie immer streng horizontal verlaufen, benötigt man nur einen Z-Wert aus den Koordinaten. Um diesen zu erhalten kann man einen einzelnen Punkt auswählen, dessen Z-Koordinate dann die Höhe der Ebene definiert. Oder man definiert über eine Fensterauswahl eine ganze Punktschar. Die Höhe der Ebene ergibt sich dann aus dem Mittel aller Z-Werte. (30)

VisualARQ verfügt über zwei unterschiedliche Möglichkeiten, um Wände zu bilden. Die Funktionen stützen sich auf die in Rhino vorhandenen Linien- und Flächen-Werkzeuge.

Wände können zum einen aus Kurven und zum andern aus Volumenkörpern erstellt werden. Wände aus Kurven entstehen durch Extrusion. Indem man eine Höhe und den Wandtyp (zuständig für die Wandstärke) angibt, werden die Wandflächen links, rechts oder zu beiden Seiten der Kurve durch Parallelverschiebung aufgebaut. Bei Wänden aus Volumenkörpern werden die Volumenkörper direkt in Wände umgewandelt. Diese Funktion ist besonders nützlich, wenn man den Volumenkörper aus

⁵ Gaußsches Ausgleichsprinzip, nach dem die Summe der gewichteten Verbesserungsquadrate minimiert werden soll.

⁶ Ein Vektor der orthogonal auf einer Fläche steht, wird Normalenvektor genannt.

⁷ Wird eingehalten, wenn die tolerierte Fläche zwischen zwei parallelen Ebenen vom festgelegten Abstand liegt.

⁸ Punkte, die einen maximalen senkrechten Abstand zur Ebene überschreiten, werden nicht berücksichtigt.

⁹ In der Geometrie versteht man unter Extrusion die Dimensionserhöhung eines Elements durch Parallelverschiebung im Raum.

NURBS¹⁰-Flächen formt. Da sich solch eine Fläche optimal an die Punktwolke anpasst, erhält man verformungstreue Wände.

Decken werden ebenfalls extrudiert. Man muss dafür nur vorher eine ausgeglichene Ebene durch die Punktwolke legen. Danach zeichnet man eine geschlossene planare Kurve für die Deckenform und projiziert diese in die Ebene. Die Extrusion erfolgt in Richtung der Nullebene. Mit dieser Methode kann auch die Neigung einer Decke dargestellt werden.

5.3. Vorgehensweise

Die Auswertung der Daten begann mit der Bereinigung und Orientierung der Scans in LupoScan. Steht wie in diesem Fall für die Orientierung keine Referenzdatei zur Verfügung, bietet LupoScan die Möglichkeit Referenzdateien aus Scans zu schreiben. Jeder Scan verfügt vor der Orientierung über ein eigenes lokales Koordinatensystem mit dem Koordinatenursprung im Standpunkt. Wenn man eine Referenzdatei aus einem Scan schreibt, werden die restlichen Scans also in dessen System transformiert. Eine Referenzdatei aus einem einzelnen Scan kann natürlich unmöglich alle Passpunkte auf einmal enthalten, gerade wenn man ein Gebäude über mehrere Etagen sowohl von innen als auch von außen scannt. Deshalb wurde für die Referenzdatei ein Scan ausgewählt, der gleichsam zentral im Gebäude lag und über sehr viele Passpunkte verfügte. Auf diese Weise war gewährleistet, dass für die nachfolgenden Scans genügend identische Passpunkte für die Orientierung zur Verfügung standen. Diejenigen Passpunkte, die während des Orientierungsprozesses neu hinzukamen, wurden automatisch in die Referenzdatei übernommen. Zuerst wurden die Scans mit den meisten bekannten und unbekanntem Passpunkten ausgewählt, denn so konnten alle Scans mit der größtmöglichen Anzahl an Passpunkten orientiert werden. Das Ergebnis der Orientierung aus dieser Arbeit wird in Anhang C präsentiert.

Das Koordinatensystem, in dem die Scans nach der Orientierung vorlagen, war für die weitere Verarbeitung der Daten ungeeignet, weshalb die Scans in ein lokales Gebäudesystem transformiert wurden. Um die Transformationsparameter zu ermitteln, wurden LupoScan und Rhino benutzt. Als Erstes wurde in LupoScan ein horizontaler Schnitt durch das Gebäude erzeugt und in Rhino importiert. Dort wurde in der Draufsicht auf Höhe der Schnittschar ein rechtwinkliges Dreieck gezeichnet. Die beiden Katheten dieses Dreiecks sollten die X- und Y-Achse des neuen Koordinatensystems darstellen. Entsprechend wurde das Dreieck in der Schnittschar positioniert. Die Eckpunkte dieses Dreiecks dienten für die Transformation als Passpunkte des Quellsystems. Durch kopieren und anschließendes verschieben/drehen des Dreiecks in den Nullpunkt, konnten die Passpunkte für das Zielsystem ermittelt werden. Die Koordinaten der Passpunkte wurden dann in

¹⁰ NURBS steht für non-uniform rational B-Splines. Dabei handelt es sich um Kurven und Flächen, die jede beliebige Form annehmen können.

Referenzdateien übertragen. Diese mussten neben den Koordinaten auch Punktnummern enthalten. Die Benennung und Zuteilung der Punktnummern musste für beide Systeme identisch sein.

Nachdem die Scans in einem geeigneten Koordinatensystem vorlagen, wurden Schnitte und Punktscharen für die Bearbeitung in Rhino und Revit erzeugt. Zwischen LupoScan und Rhino konnten die Daten dank der Direkt-Schnittstelle sofort ausgetauscht werden. Für den Import in Revit musste die Gesamtpunktswolke in LupoScan im pts- oder e57-Format exportiert werden. Dort wurden die Daten dann in das Revit-Format *.rcs umgewandelt. Nach dem Import wurde das Bauwerk mit Hilfe der in Kapitel 5.2 gezeigten Methoden aus den Punktwolken nachgebildet. Da die Scans in einem wirtschaftlich genutzten Gebäude durchgeführt wurden, wiesen sie teilweise recht starke Verschattungen auf, was die Erstellung von einigen Bauteilen erschwerte. Grundlegend sollte man bei einem Architekturmodell zuerst die Referenznetze und -ebenen erzeugen, weil viele Bauteile Abhängigkeiten zu diesen aufweisen. Als nächstes kommen die Wände. Mit Referenzebenen und Wänden als Begrenzung können dann Geschossdecken und Dächer gebildet werden. Danach folgen Treppen, Fenster, Türen und so weiter.

Nach Fertigstellung der Modelle wurden das VisualARQ-Modell im IFC-Format und das Revit-Modell im DWG-Format für die anschließenden Untersuchungen exportiert.

5.4. Betrachtung der Ergebnisse

Die momentan zur Verfügung stehenden BIM-Systeme wurden für die Planung von Gebäuden konzipiert, nicht aber für die Dokumentation des Bestandes. Daraus ergeben sich Beschränkungen hinsichtlich des Funktionsumfangs: Wände müssen beispielsweise orthogonal sein, die Wandoberflächen parallel, die Wandquerschnitte gleichförmig und so weiter. Verformungen können wegen dieser Beschränkungen nur aufwendig oder auch gar nicht dargestellt werden. Dabei steigt die Nachfrage nach Lösungen, um aus Messdaten BIM-Modelle zu erzeugen, beständig. (12)

Dass schon einige anwendbare Lösungen existieren, konnte bereits gezeigt werden. Die Fertigstellung der Modelle mit Hilfe dieser Ansätze lief aber nicht vollkommen unproblematisch ab. In diesem Kapitel sollen zunächst die aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Modellierung und dem Datenaustausch dargelegt werden, bevor die Ergebnisse der Genauigkeitsuntersuchung präsentiert werden.

5.4.1. Modellierung

Die Modellierungsansätze von Scan to BIM und VisualARQ sind gute Beispiele für die eingangs genannten Beschränkungen.

Beim „Region Growing“ wird die Position der Wand in der Punktwolke durch drei ausgewählte Punkte bestimmt. Je nachdem welche Punkte man auswählt, verändert sich die Lage der Wand. Bei Gesamtpunktwolken ist es auf Grund der Punktdichte und der Perspektive nicht immer klar ersichtlich, ob die ausgewählten Punkte in einer Ebene liegen oder womöglich zu einem anderen Objekt gehören. Um mögliche Irrtümer zu minimieren, sollte man die Punktwolke dementsprechend in Bereiche unterteilen oder planare Ansichten erzeugen, um die Übersicht zu behalten. Aber selbst dann ist es schwierig zu erkennen, wie gut sich das erstellte Modellelement in die Punktwolke einfügt (siehe Abbildung 16, links). Als Ergebnis erhält man dann eine quaderförmige, glatte Wand oder eine, bei der zumindest die Verformungen auf der Seite der Punktwolke dargestellt werden.

Dasselbe gilt für die VisualARQ-Methode „Wand aus Kurve“. Die Verformung der ausgewählten Kurve wird zwar exakt wiedergegeben, aber da die Wand durch Extrusion entsteht, werden die Verformungen auf der Rückseite der Wand nicht berücksichtigt. Im rechten Bildausschnitt von Abbildung 16 wird dies veranschaulicht. Man schaut von links oben auf die Wand. Die weißen Linien stellen die modellierte Wand dar, die schwarzen Linien wurden aus den Messdaten erstellt und stehen somit für das Messobjekt. Man kann klar erkennen, dass die Wände auf der Innenseite von den gemessenen Daten abweichen. Dadurch, dass die Kurve als ausgeglichene Linie aus einem Schnitt erzeugt wird, repräsentiert sie natürlich auch nur die Verformung auf der Höhe der Schnittlinie in horizontaler Richtung. Verformungen der gesamten Fläche können nicht erfasst werden.

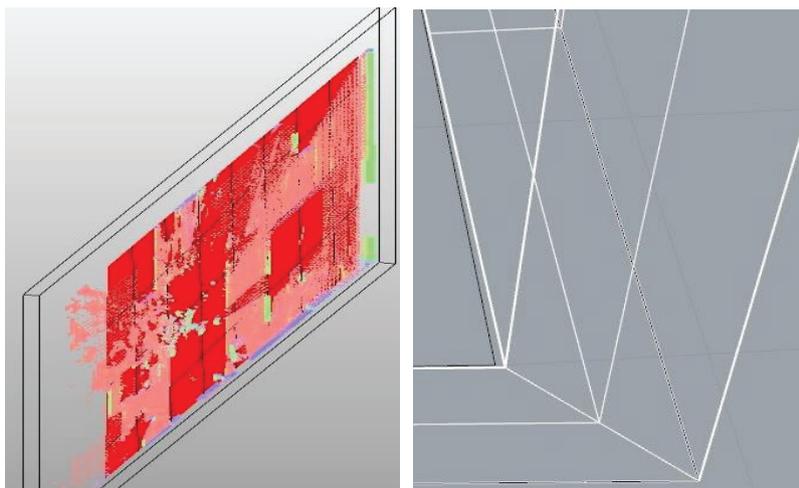


Abbildung 16: Einschränkungen bei der Modellierung von Wänden in Scan to BIM (links) und VisualARQ (rechts)

Im Gegensatz dazu bietet die VisualARQ-Methode „Wand aus Volumenkörper“ dank der NURBS-Flächen die Möglichkeit, Verformungen auf beiden Seiten der Wand mit hoher Genauigkeit nachzubilden. Der Nachteil dieser Methode gegenüber den anderen beiden liegt im wesentlich höheren Aufwand, den man zur Erstellung der Wand betreiben muss.

Bei den Modellierungsansätzen für Decken wurden die Beschränkungen noch deutlicher. Die Decken entstehen in beiden Systemen durch Extrusion aus planaren Kurven, das heißt sie werden zu quaderförmigen Volumenkörpern mit glatten Oberflächen. Unebenheiten werden also überhaupt nicht berücksichtigt. Immerhin kann man aber mit dem Verfahren von VisualARQ die Neigung der Decke aus den Messdaten ermitteln und somit die Oberfläche ein wenig besser an die tatsächlichen Gegebenheiten anpassen.

Für Bauteile wie Fenster, Türen und Treppen gestaltete sich die realitätsgetreue Modellierung noch schwieriger. Derzeit gibt es noch keine Lösungen, um diese Bauteile aus den Messdaten heraus zu generieren. Ihre Parameter (wie Breite, Höhe usw.) und ihre Position müssen vorab ermittelt werden. Bleibt noch das Problem mit der Form des Bauteils. Bauteile können sehr komplex und vielfältig sein. Ein Fenster beispielsweise ist nicht einfach nur eine Öffnung in einer Wand. Es wird durch eine Vielzahl von Ausprägungen definiert (Fensterbrett, Fenstergriff, Rahmen, Sprossen, Flügel, etc.) und kann die unterschiedlichsten Formen annehmen (dreieckig, bogenförmig, rautenförmig, rund, abgeschrägt, etc.). Fassaden weisen Gesimse und Zierelemente auf, Wände können vertäfelt sein, Säulen münden in Kapitellen. Es ließen sich noch viele weitere Beispiele anführen, die belegen wie schwierig und zeitaufwendig die Modellierung sein kann.

Revit und VisualARQ verfügen beide über einen Familieneditor, in dem Bauteile modifiziert oder ganz neu erstellt werden können.

Die Werkzeuge von Revit geben einem dabei alle Freiheiten, die man braucht, um sämtliche Ausprägungen des Bauteils detailgetreu nachzubilden. Der Editor von VisualARQ dagegen basiert auf einem Baukasten-Prinzip, wodurch die Ausprägungen der Modellelemente fest vorgegeben sind. Der Anwender kann lediglich Maße und Anzahl ändern. Für Bestandsdokumentation reicht das aber nicht aus, wie Abbildung 17 beweist. Im linken Bildausschnitt sieht man ein Orthofoto von einem Fenster aus dem Treppenhaus des Postamts Charlottenburg 1. Die Bildausschnitte in der Mitte und rechts zeigen die jeweiligen modellierten Versionen des Fensters. Wie man unschwer erkennen kann, konnte die besondere Geometrie der Sprossen in VisualARQ wegen des Baukasten-Prinzips nicht wiedergegeben werden. Stattdessen ließ sich nur die Anzahl der horizontalen und vertikalen Sprossen angeben, woraufhin die Position der Sprossen automatisch festgelegt wurde.

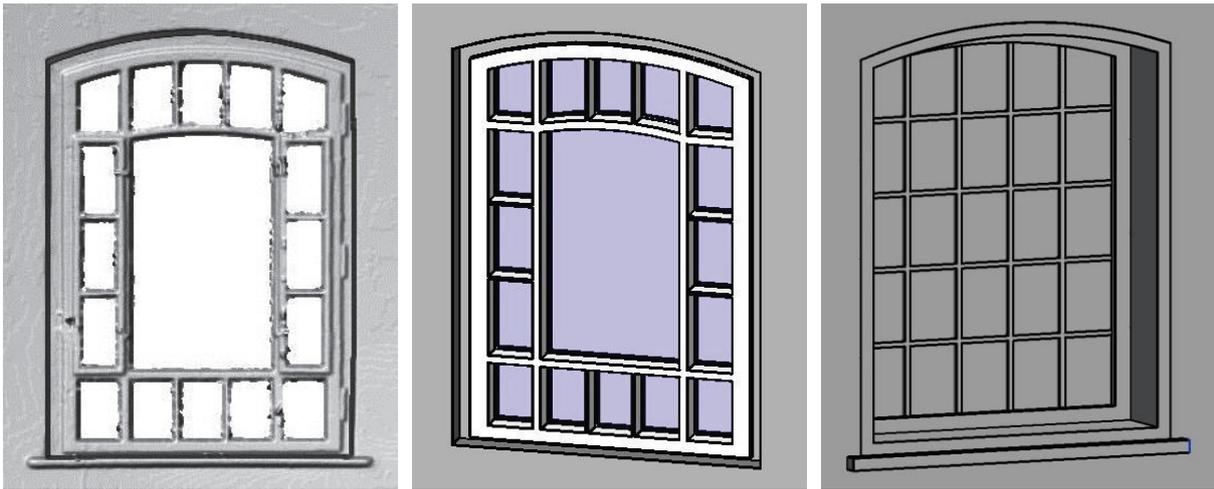


Abbildung 17: Vergleich der modellierten Fenster aus Revit (Mitte) und VisualARQ (rechts) mit einem Orthofoto (links)

Treppen sind ein weiteres gutes Beispiel dafür, dass die parametrischen Workflows für Bestandsdokumentationen noch suboptimal sind. Um eine Treppe zu erstellen, muss man ihren Startpunkt, die Richtung ihres Verlaufs, ihre Höhe und Breite sowie die Auftrittsbreite und Anzahl der Stufen angeben. Die Höhe der Stufen und die Neigung der Treppen werden aus diesen Angaben über eine Formel berechnet. Wie sich herausstellte, können Treppen dadurch aber nur sehr mühsam an die realen Bedingungen angeglichen werden. Schon geringe Ungenauigkeiten bei den eingegebenen Parametern können große Abweichungen der Treppe zur Soll-Geometrie nach sich ziehen, wie Abbildung 18 zeigt. Dadurch artet die automatische Erstellung einer Treppe zu einem langwierigen, iterativen Prozess aus.

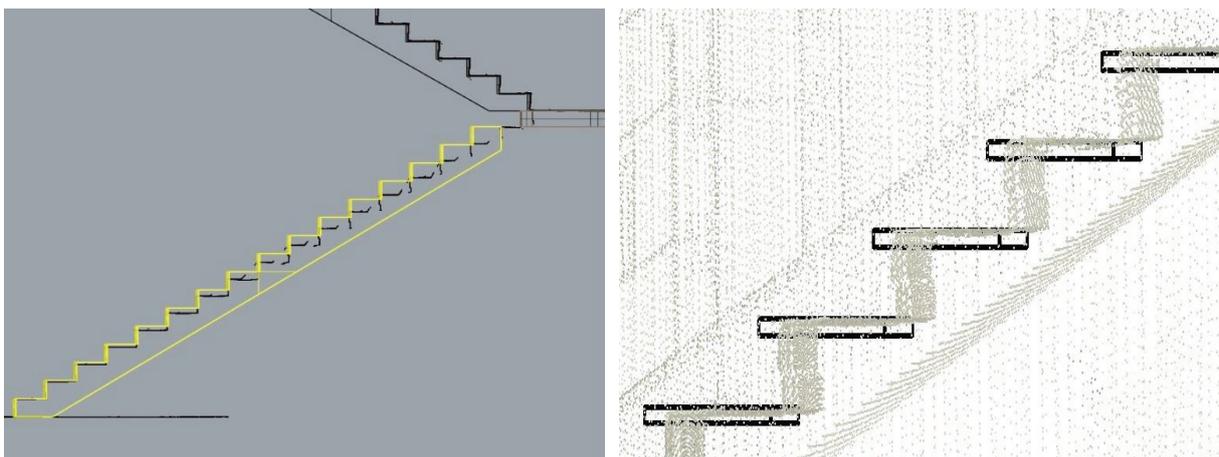


Abbildung 18: Abweichung der Treppe zur Soll-Geometrie in VisualARQ (links) und Revit (rechts)

In Revit kann man automatisch erstellte Treppen noch bearbeiten, was möglich ist, weil die Bauteile in Revit auf Skizzen basieren. Im Skizzenmodus kann man die Bauteile mit Hilfe diverser 2D-Elemente frei nach Bedarf umformen. Bei Treppen können beispielsweise die Stufen, Begrenzungen (Wangen)

und der Lauf jeweils einzeln in der Draufsicht verändert und somit optimal an die Punktwolke angepasst werden (siehe Abbildung 19).

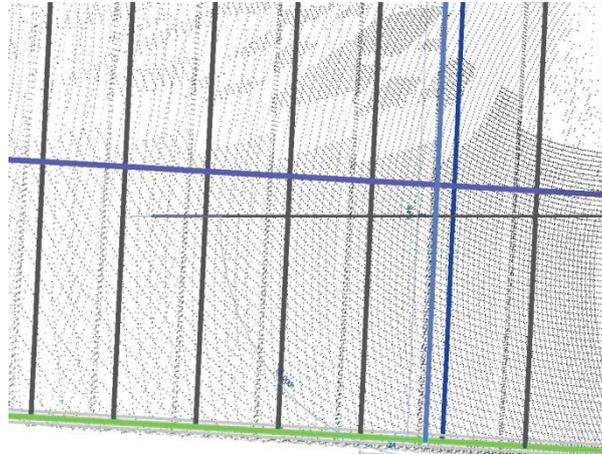


Abbildung 19: Bearbeitung eines Revit-Treppenelements im Skizzenmodus

Einziges Wermutstropfen dieser Bearbeitungsmethode ist der beschränkte Ansichtsbereich der Draufsicht. Dieser wird durch drei Ebenen definiert. Bei der ersten Ebene handelt es sich um die Referenzebene, in der man das Bauteil erstellen will. Die anderen beiden Ebenen liegen ober- und unterhalb der Referenzebene und definieren somit den Sichtbereich. Der voreingestellte Ansichtsbereich ist knapp bemessen, sodass auch bloß ein kleiner Teil der Punktwolke angezeigt wird. Dadurch wird man bei der Bearbeitung der Skizze natürlich sehr eingeschränkt (siehe Abbildung 20).

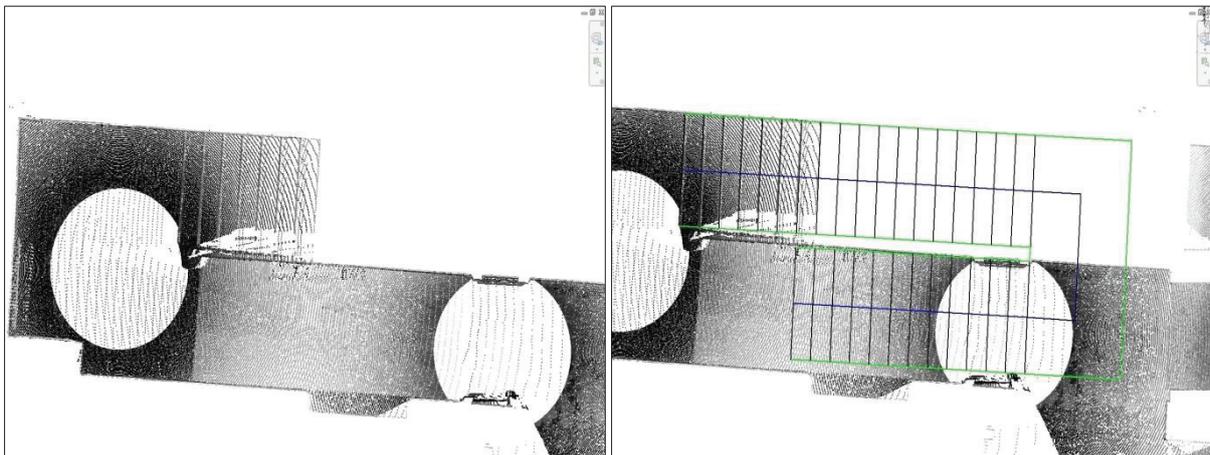


Abbildung 20: Beschränkung der Draufsicht (links) und die Auswirkungen auf die Bearbeitung einer Skizze anhand einer Punktwolke (rechts)

Man kann den Ansichtsbereich aber erweitern und damit dieses Problem umgehen. Problematischer ist, dass die Skizzen an eine Referenzebene gebunden sind und man während der Bearbeitung nicht auf eine andere Ebene wechseln kann. Es scheint so vorgesehen zu sein, dass man die Treppen nur von Etage zu Etage konstruieren kann. Damit man nicht immer wieder neue Skizzen anfangen muss, gibt

es eine Funktion in Revit, mit der man die Treppen automatisch vervielfältigen kann. Ob diese Funktion den Arbeitsaufwand wirklich reduziert, ist objektabhängig. Beim Postamt hat sich gezeigt, dass alle Etagen unterschiedliche Höhen aufweisen. Nach der Vervielfältigung hätten bei diesem Objekt also alle Treppen noch nachbearbeitet werden müssen. Insgesamt kann man sagen, dass der Workflow für Treppen in Revit schon recht gut für Dokumentationszwecke geeignet ist, der Arbeitsaufwand aber noch sehr hoch ist.

In VisualARQ kann man Treppen durchgängig konstruieren, da sie weder an Referenzebenen noch an bestimmte Ansichten gebunden sind. Dafür kann man die Treppe aber nicht bearbeiten. Weiterhin werden nur Treppen mit geradem oder L-förmigem Lauf unterstützt, nicht aber solche mit U-förmigem Lauf wie sie im Postamt vorkommen. Stattdessen wurden für dieses Projekt zwei Treppen mit geradem Lauf konstruiert und das Podest mit einer Decke dargestellt. Dabei entstand das Problem, dass die letzte Stufe der Treppe entweder in das Podest hineinragte oder die Treppe in der Luft hing (Abbildung 21). Eine andere Möglichkeit, bei der die Treppe geometrisch korrekt wiedergegeben wurde, konnte jedenfalls nicht gefunden werden. Die Verbindungen von Treppen- und Deckenelementen scheint daher noch nicht richtig implementiert worden zu sein.

Das führt zu einer wichtigen Erkenntnis: Bei einer As-Built-Dokumentation mit BIM ist nicht nur die geometrische Form der Bauteile wichtig, man muss genauso die Beziehungen und Eigenschaften der Bauteile berücksichtigen.

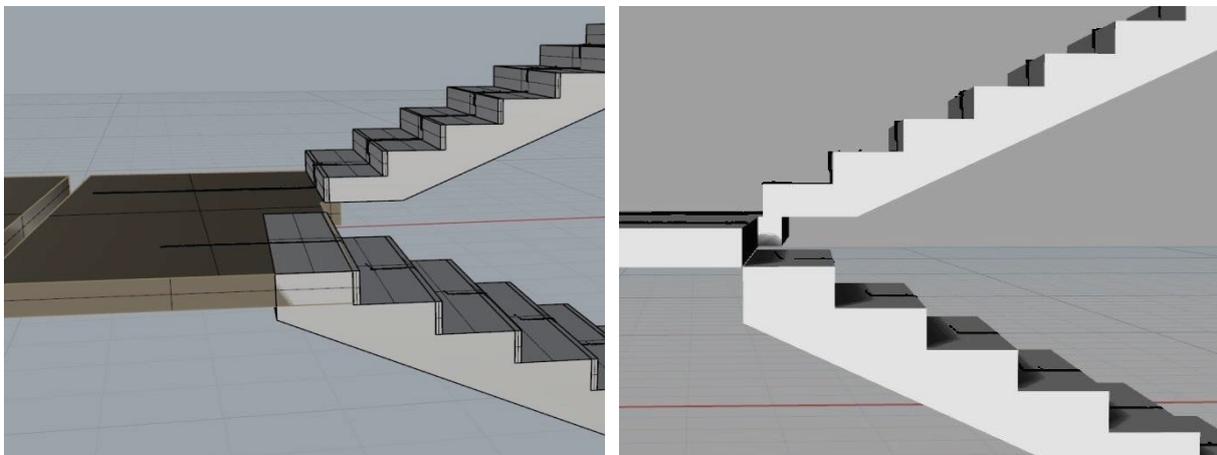


Abbildung 21: Problem bei der Verbindung von Treppen- und Deckenelementen

Dass die Verknüpfung der Bauteile nicht immer reibungslos funktioniert, lässt sich mit einem weiteren Beispiel belegen. Veranschaulicht wird dieses in Abbildung 22. Im linken Teil der Abbildung kann man beobachten wie drei Wände mit unterschiedlichen Wandstärken orthogonal aufeinander treffen. Die Wände wurden alle aus unterschiedlichen Kurven erzeugt. Wie man sieht, wurden nur zwei Wände miteinander verbunden, während die dritte abgeschnitten wurde.

Ein ähnliches Verhalten konnte bei der Verbindung von Wänden, die mit unterschiedlichen Modellierungsansätzen erzeugt wurden, festgestellt werden. Im rechten Bildausschnitt von Abbildung 22 wird demonstriert, was passiert, wenn eine Wand aus einer Kurve und eine Wand aus einem

Volumenkörper aufeinander treffen. Durch die Verformungstreue der Wand aus dem Volumenkörper konnten die beiden Wände nicht zusammengefügt werden. Das Resultat ist ein Spalt zwischen den Wänden.

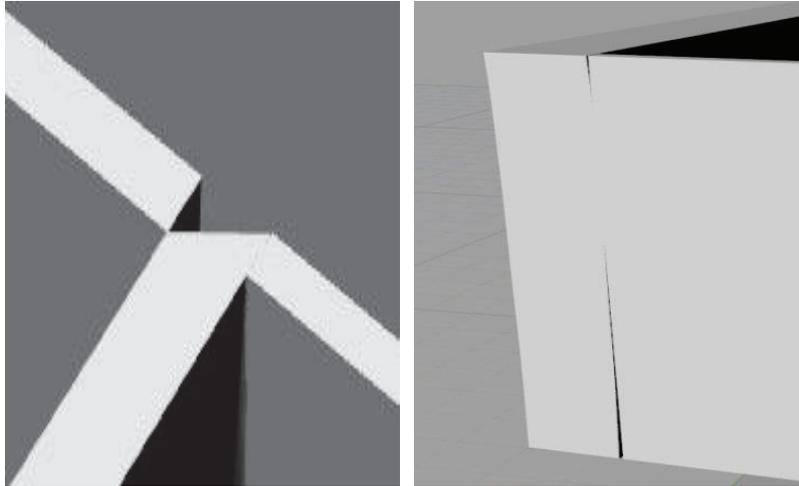


Abbildung 22: Probleme bei der Verbindung von Wandelementen

5.4.2. Datenaustausch

Der Datenaustausch konnte auf Grund der beschränkten Datenschnittstelle von VisualARQ nur in Revit mit dem VisualARQ-Modell untersucht werden. Deshalb musste auch das Revit-Modell im DWG-Format exportiert werden.

Als erstes konnte festgestellt werden, dass sämtliche erstellten Objekte lagerichtig sowie form- und funktionsgetreu übertragen wurden. Allerdings wurde die Situation mit den drei Wänden, die im linken Bildausschnitt von Abbildung 22 dargestellt wurde, in Revit etwas anders gelöst. Die Verbindung der zwei Wände wurde wieder aufgehoben, wodurch die Wände wieder auf ihre volle Länge erweitert wurden. Die Lücke ist damit nun wieder geschlossen. Wie man in Abbildung 23 sieht, ist diese Lösung ebenfalls nicht zufriedenstellend.

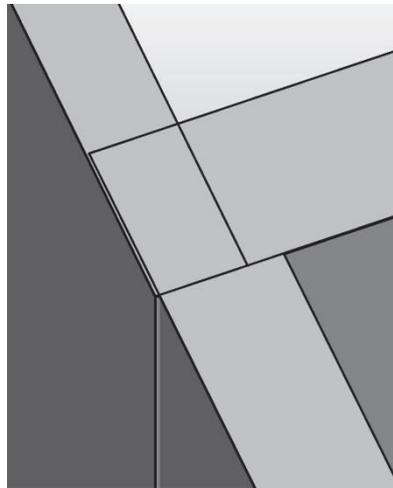


Abbildung 23: Verbindung der Wandelemente nach dem Datenaustausch

Die übertragenen Bauteile konnten auch nicht bearbeitet werden. Das IFC-Modell scheint also tatsächlich nicht als Arbeitsmodell vorgesehen zu sein. An und für sich macht das durchaus Sinn, schließlich hätte es fatale Folgen, wenn jeder einfach „willkürlich“ Änderungen am Modell ohne das Wissen der anderen Beteiligten vornehmen würde. Wenn die weitere Bearbeitung des Projektes aber nur in einer anderen Software fortgesetzt werden soll, könnte diese Einschränkung problematisch sein oder zumindest unnötigen Mehraufwand bedeuten.

Die in VisualARQ verwendeten Familienstile wurden ebenfalls übertragen (Abbildung 24). Allerdings wurden die Typeneigenschaften dabei nicht automatisch mit übernommen. Lediglich die IFC-Parameter werden aufgelistet (Abbildung 25). Es muss aber auch erwähnt werden, dass alphanumerische Daten den Modellelementen in VisualARQ nicht beigefügt wurden und der Datenaustausch bezogen auf die Eigenschaften somit nicht vollständig untersucht werden konnte.



Abbildung 24: Übertragung der Familienstile

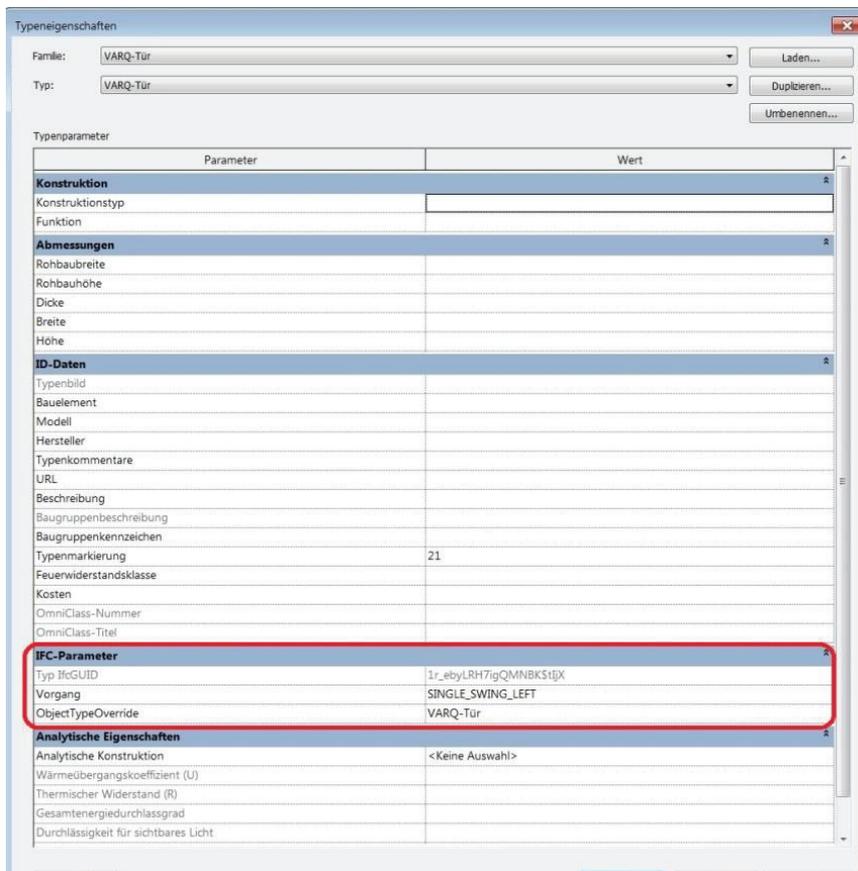


Abbildung 25: Fehlende Typenparameter bei den übertragenen Familienstilen

5.4.3. Genauigkeitsbetrachtung

Für die Untersuchung der Abweichung des Punktsatzes gegenüber den Modellelementen wurde die Funktion „PunktAbweichung“ von Rhino verwendet. Das Revit-Modell musste dafür natürlich zuerst importiert werden. Wie bereits erwähnt wurde, konnte das Revit-Modell nicht im IFC-Format importiert werden, weshalb stattdessen das DWG-Format gewählt wurde. In diesem Fall wurden die Bauteile (Volumenkörper) beim Export aus Revit durch Polygonnetze repräsentiert. Da die Funktion „PunktAbweichung“ aber nur zwischen Punkten und Flächen funktioniert, mussten die Polygonnetze noch in NURBS-Flächen umgewandelt werden. Genauso mussten die in VisualARQ erstellten Bauteile vor der Analyse erst noch in ihre einzelnen Bestandteile (Flächen) zerlegt werden. Als Prüfkörper dienten beispielhaft eine Wand und eine Geschossdecke vom Büroraum im ersten Obergeschoss sowie die Treppe im Eingangsbereich der Ostfassade.

Startet man die Funktion „PunktAbweichung“ muss man als nächstes die Punktwolke und die gewünschte Fläche auswählen. Danach öffnet sich sofort ein Dialogfenster, in dem Angaben zum Intervall des Farbspektrums und zu den statistischen Kenngrößen Durchschnittsabstand, Mittelabstand und Standardabweichung ausgegeben werden. Das Intervall des Farbspektrums kann man bei Bedarf anpassen.

Die Kenngrößen sind, bezogen auf diese Anwendung, folgendermaßen definiert:

$$\text{Durchschnittsabstand (Mittelwert)} \bar{x} = \frac{\text{Summe aller Abstände}}{\text{Anzahl der Abstände}} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\text{Mittelabstand } d = \frac{\text{Summe aller Abstände vom Mittelwert}}{\text{Anzahl der Stichprobenwerte}} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

$$\text{Standardabweichung } \sigma = \sqrt{\frac{\text{Summe aller Abstandsquadrate vom Mittelwert}}{\text{Anzahl der Stichprobenwerte minus eins}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Die nachfolgenden Abbildungen 26 bis 33 zeigen das Dialogfenster für die Punkt- / Flächenabweichung sowie die Abweichungen der Punktwolken zu den Modellelementen, die aus unterschiedlichen Modellierungsansätzen heraus entstanden sind. Das Farbintervall wurde bei allen Untersuchungen so gewählt, wie in Abbildung 26 zu sehen. Wird ein Punkt dunkelblau eingefärbt, dann liegt er genau auf der Fläche. Bei Rot eingefärbten Punkten beträgt der Abstand zur Fläche 1cm oder mehr. Die Farbe gibt nur Auskunft über den Betrag der Abweichung. Die Richtung der Abweichung wird durch die Haarlinien dargestellt.



Abbildung 26: Dialogfenster für die Punkt- / Flächenabweichung

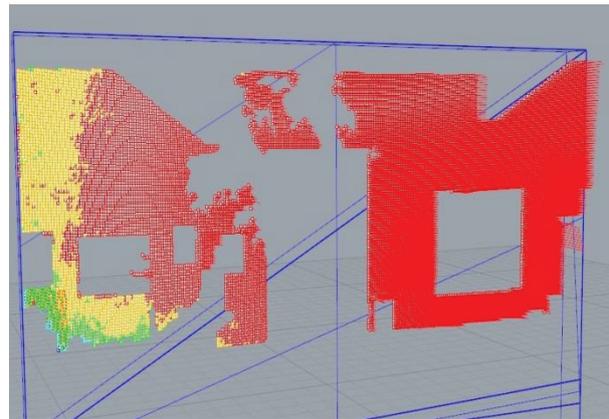


Abbildung 27: Abweichung der Punktwolke zur Scan to BIM-Wand

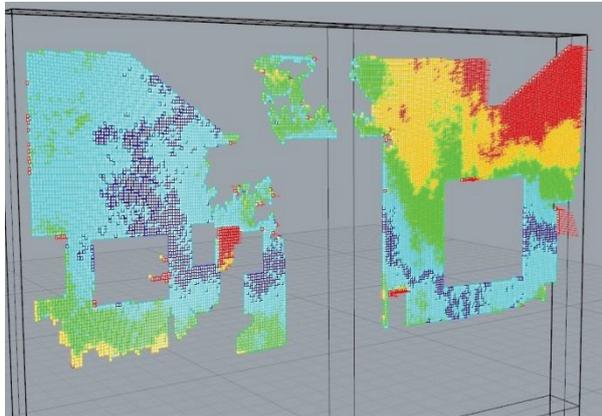


Abbildung 28: Abweichung der Punktwolke zur VisualARQ-Wand aus Kurven

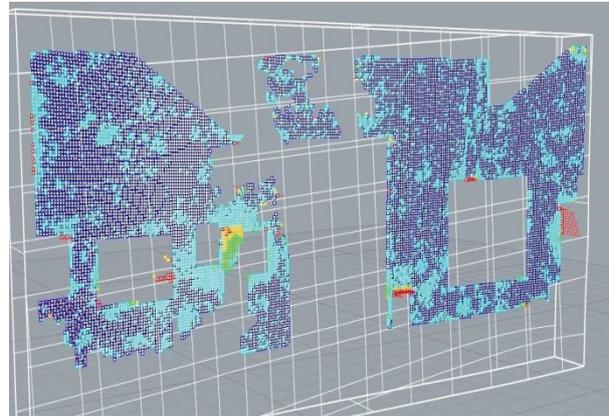


Abbildung 29: Abweichung der Punktwolke zur VisualARQ-Wand aus einem Volumenkörper

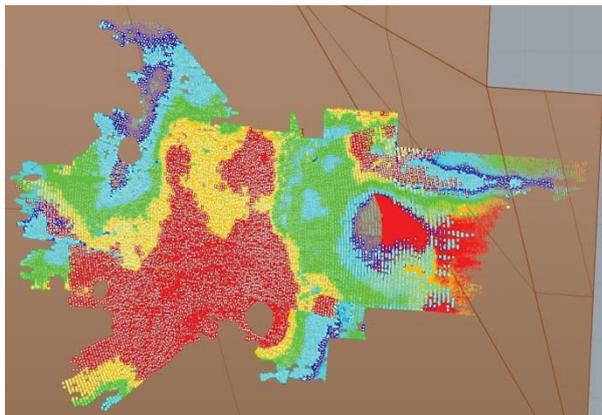


Abbildung 30: Abweichung der Punktwolke zur Scan to BIM-Decke

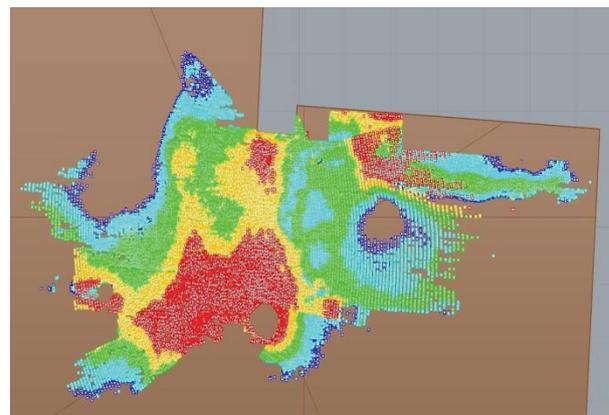


Abbildung 31: Abweichung der Punktwolke zur VisualARQ-Decke

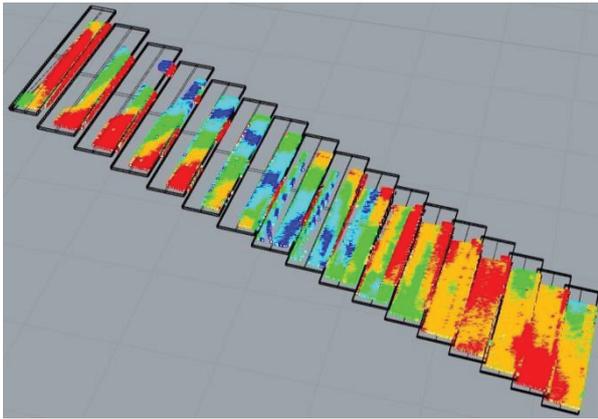


Abbildung 32: Abweichung der Punktwolke zur Revit Treppe

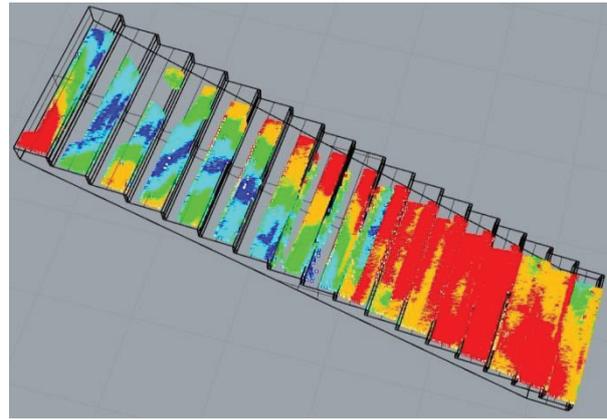


Abbildung 33: Abweichung der Punktwolke zur VisualARQ Treppe

In Tabelle 4 wurden die ermittelten statistischen Kennwerte für alle Modellelemente zusammengetragen.

Tabelle 4: Vergleich der Punkt- / Flächenabweichung

Bauteil	Software / Methode	Punktzahl	Durchschnitts- abstand [m]	Mittel- abstand [m]	Standard- abweichung [m]
Wand	Scan to BIM	16567	0.022	0.022	0.009
	VisualARQ-aus Kurve		0.005	0.004	0.004
	VisualARQ-aus Volumenkörper		0.001	0.001	0.002
Decke	Scan to BIM	281270	0.006	0.006	0.005
	VisualARQ		0.006	0.006	0.004
Treppe	Revit	78075	0.008	0.008	0.004
	VisualARQ	79654	0.008	0.009	0.004

Bei Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse fällt als erstes auf, dass alle Bauteile, die mit Modellierungsansätzen von Scan to BIM /Revit erstellt wurden, die größten Abweichungen vom Punktsatz aufweisen.

Während die Abweichungen der Decke und der Treppe nur geringfügig größer sind als beim jeweiligen VisualARQ-Element, weist die Wand eine deutlich höhere Abweichung als die beiden anderen auf.

Bei der Suche nach einer Erklärung für diese vergleichsweise hohe Abweichung stellte sich heraus, dass es ganz allgemein mehrere mögliche Ursachen dafür geben kann.

Die erste Vermutung war, dass der Modellieransatz selbst das Problem ist. Da die Wand nur als „Profile Wall“ erstellt werden konnte, war von vornherein schon zu erwarten, dass die Abweichung höher sein würde als bei den anderen Modellieransätzen.

Außerdem ist beim „Region Growing“ die Position der Wand stark von den ausgewählten Punkten und eingestellten Parametern abhängig. Da in Revit mit der Gesamtpunktwolke gearbeitet wurde, waren neben den Punkten der Wand auch unerwünschte Punkte von Störobjekten wie Bildern, Möbeln und Grünpflanzen vorhanden. Ein gewisser Anteil dieser Störpixel fließt unweigerlich mit in die Berechnung ein und verfälscht somit das Ergebnis. Insbesondere die Bilder sind in diesem speziellen Fall problematisch, weil sie sehr groß sind, einen breiten Rahmen haben und natürlich sehr ähnliche Normalenvektoren aufweisen. In Abbildung 27 erkennt man, dass die Abweichungen von links unten nach rechts oben zunehmen. Beim Vergleich mit Abbildung 28 wird deutlich, dass diese Abweichung tatsächlich mit einer Verformung der Wand in der oberen, rechten Ecke zusammenhängen. Da die Abweichungen der Scan to BIM-Wand aber flächendeckend so groß sind, kann das nicht der Grund sein. Die Störpixel konnten auch nicht für diese Abweichungen verantwortlich sein, denn dann müssten die Haarlinien in Richtung Wand zeigen, weil die Störobjekte ja vor der Wand liegen und nicht dahinter.

Daher wurde als nächstes die Punktwolke untersucht. Dazu wurden zunächst alle Punktwolken, welche die Wand betrafen, aus den Einzelscans extrahiert und in Rhino importiert. Auf Grund der verschiedenen Entfernungen der Scanstandpunkte zur Wand, waren die Punktwolken unterschiedlich groß. Bei Betrachtung der Punktwolken in der Draufsicht kam heraus, dass die Punktwolken um bis zu 2cm voneinander divergieren, was sich natürlich negativ auf das Ergebnis des „Region Growing“ auswirkt (Abbildung 34). Die Divergenz der Punktwolken resultiert aus den Restklaffen. In diesem Fall sind die recht hohen Abweichungen auf die Verwendung von markanten Objektpunkten bei der Orientierung zurückzuführen. Das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges ist zu gering, um die Objektpunkte auf den Bruchteil eines Pixels genau wiederzufinden. Wie dem auch sei, durch die vorliegende Situation ließe sich das Verhalten der Wand erklären. Die grüne Punktwolke ist offensichtlich mit Abstand am größten, die Wand könnte also durchaus als ausgeglichene, vertikale Ebene durch diese Punktwolke gehen. Die blaue Punktwolke ist diejenige, die für den Vergleich verwendet wurde. Der Abstand und die Richtung der Haarnadeln würden ebenfalls dazu passen. Um Gewissheit zu erhalten, wurde dann die Wand eingeblendet. Entgegen der Erwartung, verlief die Wand aber nicht einmal näherungsweise entlang der Punktwolke (Abbildung 35). Wie sich herausstellte, war der tatsächliche Grund für die Abweichung der Wand zur Punktwolke ihre Relation zur angrenzenden Wand.

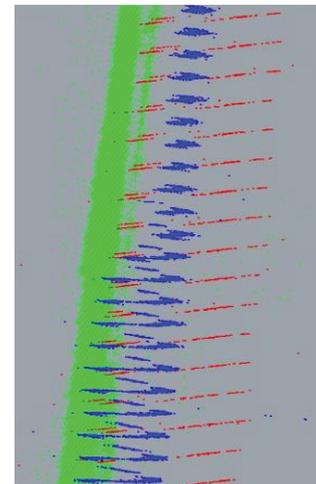


Abbildung 34: Divergenz der einzelnen Punktwolken

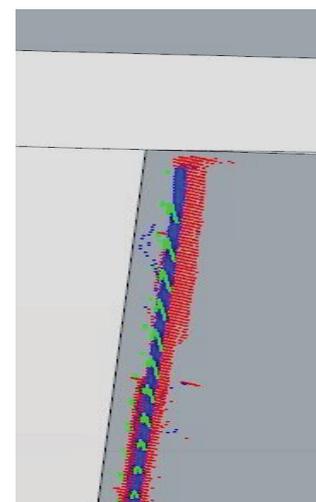


Abbildung 35: Tatsächliche Abweichung der Wand zur Punktwolke

Hier zeigen sich wieder die anfangs erwähnten Beschränkungen hinsichtlich des Funktionsumfangs. Die Wände müssen orthogonal zueinander sein, deshalb wurde die Lage der Wand bei der Verbindung mit der anderen Wand verändert. Während des Modellierungsvorgangs fiel das überhaupt nicht auf.

Mit den Modellierungsansätzen von VisualARQ traten derartige Probleme nicht auf.

Bei der Methode „Wand aus Kurve“ wurde nur ein Schnitt verwendet. In LupoScan kann man einen Toleranzbereich einstellen, wodurch sich der Schnitt klar definieren lässt (Streupunkte werden vermieden). Mit dieser Methode kann man die horizontale Verformung der Wand wiedergeben. Für eine vollständige Erfassung aller Deformationen reicht das nicht aus, wie man in Abbildung 28 sieht. Ein durchschnittlicher Abstand von rund 5mm ist trotzdem ein gutes Ergebnis, das für die meisten Aufgaben ausreichend sein dürfte.

Der Ansatz „Wand aus Volumenkörper“ hat die Erwartung vollauf erfüllt. Ein Durchschnittsabstand von 1mm ist ein sehr gutes Ergebnis, insbesondere wenn man bedenkt, dass die Scangenaugigkeit bei max. 3mm liegt. Es wäre interessant zu sehen gewesen, ob ein ähnlich gutes Resultat auch mit der „Mass Wall“-Funktion von Scan to BIM hätte erzielt werden können. Das größte Manko der VisualARQ-Methode ist nämlich der hohe Aufwand, den man zur Erzeugung der Wand betreiben muss. Die Region growing-Methode ist dagegen wesentlich unkomplizierter.

Auch wenn die Abweichungen der Decken nahezu gleich sind, zeigen die Abbildungen 30 und 31 doch deutlich, dass die Neigung der Decke in VisualARQ das Ergebnis stark im positiven Sinne beeinflusst. Man kann sich leicht vorstellen, dass die Verwendung von NURBS-Flächen auch bei Decken zu einer wesentlichen Verbesserung der Genauigkeit führen würde.

Die Treppen konnten leider nur auf die Abweichung der Auftrittsflächen hin untersucht werden, da in Revit keine entsprechende Familie mit Steigungen zur Verfügung stand. In den Abbildungen 32 und 33 kann man erkennen, dass unterschiedliche Treppenfamilien verwendet wurden. Daraus resultieren auch die unterschiedlich großen Punktwolken. Was aus der Abbildung 32 nicht hervorgeht ist, dass die Revit-Treppe um ca. 5° schräg zur Punktwolke verläuft.

Um eine qualifizierte Aussage zur Genauigkeit der Modellelemente aus den verschiedenen Ansätzen treffen zu können, müssten noch wesentlich umfangreichere Untersuchungen durchgeführt werden, die den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden. Eines ist jedoch bereits deutlich geworden: Für 1:1 Darstellung der gebauten Wirklichkeit sind nur NURBS-Flächen wirklich geeignet.

6. Fazit

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit haben gezeigt, dass der neuartige, lebenszyklusübergreifende Ansatz von BIM das Baumanagement revolutioniert. Die BIM-Methode bietet allen Beteiligten viele Vorteile, schafft neue Leistungs- und Rollenbilder und macht die Dokumentation von Gebäuden wesentlich gehaltvoller und informativer. Daher ist davon auszugehen, dass das Building Information Modeling die traditionellen Methoden in nicht allzu ferner Zukunft ablösen wird. Nicht umsonst ist diese Methode schließlich auch politisch gewollt.

Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die aktuellen Modellierungsansätze hinsichtlich der geometrischen Genauigkeit schon für Dokumentationszwecke geeignet sind. Allerdings sind die Workflows noch optimierungsbedürftig, insbesondere bei komplexen Strukturen. Die Fertigstellung der Modelle ist gegenwärtig noch sehr zeitaufwendig und benötigt gute Software-Kenntnisse. Und auch der Datenaustausch muss weiter verbessert werden.

Bis sich das Building Information Modeling vollständig im deutschen Bauwesen etabliert hat, muss noch einiges getan werden. Unter anderem müssen diverse Richtlinien und gesetzliche Grundlagen geschaffen, die Technik verbessert und Schulungen durchgeführt werden.

Die Geodäten müssen ebenfalls ihren Beitrag dazu leisten. Als Experten für die Erfassung und Dokumentation des Bestandes könnten sie beispielsweise an der Entwicklung von Softwarelösungen oder an der Ausarbeitung von Richtlinien zur Modellgenauigkeit mitarbeiten. Möglicherweise könnten auch die Vermessungsämter die Archivierung der Bauwerksmodelle übernehmen. Zumindest bei Aufträgen der öffentlichen Hand bräuchte man gewiss eine zentrale Verwaltungsstelle.

Es liegt jetzt in der Hand der Geodäten, ihre Rolle im BIM zu gestalten.

Literaturverzeichnis

1. **Riegel, Knut und Borgmann, Jelde.** Erstellung eines BIM-Modells aus einer Punktwolke am Beispiel des Konstanzer Konzilgebäudes. *VDVmagazin. Geodäsie und Geoinformatik*, 2014, 2.
2. **Sörensen, Lars.** *Scan3D Laserscanning - Laserscanning Scan3D Vermessung - Denkmalpflege Architektur Schiffbau Industrie Archäologie in Berlin Lübeck Warschau Linz Maschinenbau Ingenieurvermessung 3D Laserscanning Photogrammetrie.* [Online] Scan 3D GmbH. [Zitat vom: 5. Januar 2015.] <http://www.scan-3d.com>.
3. **Wangerin, Gerda.** *Bauaufnahme: Grundlagen, Methoden, Darstellung.* Wiesbaden : Vieweg, 1992. ISBN 3-528-18834-0.
4. **Heiliger, Ralph.** *Architektur-Vermessung.* [Online] Februar 2003. [Zitat vom: 8. Januar 2015.] http://www.architektur-vermessung.de/05-Literatur/doc/2003_2_Heiliger.pdf.
5. **Wiedemann, Albert.** *Handbuch Bauwerksvermessung: Geodäsie, Photogrammetrie, Laserscanning.* Berlin : Birkhäuser Verlag, 2004. ISBN 2-7643-6722-9.
6. **Weferling, Ulrich, Heine, Katja und Wulf, Ulrike.** *Von Handaufmaß bis High Tech: messen, modellieren, darstellen; Aufnahmeverfahren in der historischen Bauforschung.* Mainz am Rhein : von Zabern, 2001. ISBN 3-8053-2818-4.
7. **Donath, Dirk.** *Bauaufnahme und Planung im Bestand: Grundlagen - Verfahren - Darstellung - Beispiele.* Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, 2009. 978-3-8348-9236-2.
8. **Eckstein, Günter.** *Empfehlungen für Baudokumentationen: Bauaufnahme - Bauuntersuchung .* Stuttgart : Theiss-Verlag, 1999.
9. **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.** *Baufachliche Richtlinien Vermessung (BFR Verm).* Bonn : Z 32, Druckerei des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2007.
10. **Dispenza, Kristin.** Buildipedia.com. *The Daily Life of Building Information Modeling (BIM).* [Online] 29. Juni 2010. [Zitat vom: 9. Januar 2015.] <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>.
11. **Liebich, Thomas, et al., et al.** *BIM-Leitfaden für Deutschland, Information und Ratgeber, Endbericht.* s.l. : Forschungsinitiative ZukunftBAU, BBSR, 2013.
12. **Braunes, Jörg.** Von der Punktwolke zum Building Information Model (BIM). *VDVmagazin. Geodäsie und Geoinformatik*, 2014, 2.
13. **Liebich, Thomas, Schweer, Carl-Stephan und Wernik, Siegfried.** *Die Auswirkungen von Building Information Modeling (BIM) auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung.* Bonn : Forschungsinitiative ZukunftBAU, BBSR, 2011.

14. **buildingSMART e.V.** *buildingSMART, german speaking chapter*. [Online] [Zitat vom: 5. Februar 2015.] <http://www.buildingsmart.de/>.
15. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Referat Öffentlichkeitsarbeit.** *Reform des Vergaberechts*. [Online] [Zitat vom: 8. Januar 2015.] <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/Wettbewerbspolitik/oeffentliche-auftraege,did=670740.html>.
16. **Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V.** *Neue EU Richtlinie zu Building Information Management (BIM)*. [Online] 3. Februar 2014. [Zitat vom: 8. Januar 2015.] http://www.baumeister-online.de/aktuell/news/?tx_pxinformation_newslst%5Btype%5D=news&tx_pxinformation_newslst%5Bitem%5D=243&tx_pxinformation_newslst%5Baction%5D=newsShow&tx_pxinformation_newslst%5Bcontroller%5D=InformationItem&cHash=e9bace3b55c8345be.
17. **Detail, Das Architekturportal.** *BIM im Bauwesen - Planungsprozess im Wandel*. [Online] [Zitat vom: 8. Januar 2015.] <http://www.detail.de/architektur/news/bim-im-bauwesen-planungsprozess-im-wandel-023909.html>.
18. **Liebich, Thomas und Hoffeller, Tim.** *Anwenderhandbuch Datenaustausch BIM/IFC*. München : IAI-Industrieallianz für Interoperabilität e.V., 2008.
19. **Bringmann, Oliver.** *Vom Bauaufmaß zum konsistenten Bauwerksmodell. Nutzerorientierte Bausanierung*. Weimar : Verlag der Bauhaus-Universität Weimar, 2010.
20. **NATSPEC.** *BIM and LOD, Building Information Modelling and Level of Development*. Australien : Construction Information Systems Limited, 2013. ABN 20 117 574 606.
21. Google Maps. [Online] Google Inc., 19. Dezember 2014. [Zitat vom: 11. Februar 2015.] <https://goo.gl/maps/YX1IW>.
22. Liste der Kulturdenkmale in Berlin-Charlottenburg. *wikipedia*. [Online] [Zitat vom: 11. Februar 2015.] http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Kulturdenkmale_in_Berlin-Charlottenburg.
23. Lupos 3D | Software. *Lupos 3D - Laserscanning, Photogrammetrie, Softwareentwicklung*. [Online] Lupos 3D GbR. [Zitat vom: 3. Februar 2015.] <http://www.lupos3d.de/software>.
24. Rhinoceros. [Online] Robert McNeel & Associates, 2014. [Zitat vom: 04. Februar 2015.] <https://www.rhino3d.com/>.
25. VisualARQ-Architectural Tools for Rhino. [Online] Asuni CAD S.A., 2015. [Zitat vom: 4. Februar 2015.] <http://www.visualarq.com/de/>.
26. **Autodesk Inc.** *Revit Hilfe*. 2015.
27. Revit Architecture 2011 User Assistance. *autodesk.com*. [Online] Autodesk Inc., 16. September 2010. [Zitat vom: 4. Februar 2015.] <http://docs.autodesk.com/REVIT/2011/ENU/filesUsersGuide/WS1a9193826455f5ff-1e1423d1125831bda67-6351.htm>.

28. Revit. *autodesk.de*. [Online] Autodesk Inc., 2015. [Zitat vom: 5. Februar 2015.] <http://www.autodesk.de/products/revit-family/overview>.
29. Scan to BIM. *IMAGINIT Technologies*. [Online] IMAGINIT Technologies, 2015. [Zitat vom: 5. Februar 2015.] <http://www.imaginit.com/Software/IMAGINIT-Software-Other-Products/Scan-to-BIM>.
30. **Cone, Kelly**. Scan to BIM: Point Clouds Reloaded. *Autodesk University 2012*. [Online] [Zitat vom: 05. Februar 2015.] http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAD&url=http%3A%2F%2Fautodesk.com%2Fau2012%2FsessionsFiles%2F3057%2F4440%2Fhandout_3057_AU_2012_class_handout_Scan_AB3057.docx&ei=OpDUVlu3IcrtaNjBgNAC&usg=AFQjC.
31. **Hichri, N., et al., et al.** Review of the << As-Built BIM >> Approaches. [Online] International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 25-26. Februar 2013. [Zitat vom: 18. Februar 2015.] <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W1/107/2013/isprsarchives-XL-5-W1-107-2013.pdf>.
32. Denkmaldatenbank / Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. *Berlin.de*. [Online] 10. April 2014. [Zitat vom: 11. Februar 2015.] http://www.stadtentwicklung.berlin.de/cgi-bin/hidaweb/getdoc.pl?DOK_TPL=lda_doc.tpl&KEY=obj%2009040532.
33. Medienbruch. *wikipedia*. [Online] [Zitat vom: 4. Februar 2015.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Medienbruch>.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundprinzipien der Aufnahmemethoden Handaufmaß (o.l.), Photogrammetrie (o.r.), Tachymetrie (u.l.) und Laserscanning (u.r.) (nach: (7))	5
Abbildung 2: Übersicht der Elemente für die Objektbeschreibung in 2D-Plänen (Quelle: (7))	6
Abbildung 3: Projektionsebenen für Ansichten (links), Grundrisse (Mitte) und Schnitte (rechts) (Quelle: (5))	7
Abbildung 4: CAD-Modelle: Drahtmodell (links), Flächenmodell (Mitte) und Volumenmodell (rechts) (Quelle: (5))	7
Abbildung 5: Übersicht der Elemente zur Generierung von Volumenmodellen (Quelle: (7))	8
Abbildung 6: BIM-Planungsmethode über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes (Quelle: (10))	12
Abbildung 7: Zusammenführung der Fachmodelle zu einem Gesamtmodell (Quelle: (11))	13
Abbildung 8: Verknüpfung eines Modellelements in unterschiedlichen Ansichten (Quelle: (11))	14
Abbildung 9: Kostenvorteil von BIM gegenüber der traditionellen Methode (Quelle: (13))	16
Abbildung 10: Einschränkungen bei der Modellübernahme über die IFC-Schnittstelle (Quelle: (11))	19
Abbildung 11: Das Postamt eingenordet in der Draufsicht (Quelle: (21))	22
Abbildung 12: Die einzelnen Gebäudeteile in der Frontansicht (Quelle: (22))	23
Abbildung 13: Das ehemalige Fernmeldeamt von Norden betrachtet (Quelle: (32))	23
Abbildung 14: Probleme bei der Reflexion des Messstrahls an Ecken, Kanten und bei schräg auftreffenden Messstrahlen. (Anm.: Der Laserstrahldurchmesser wurde zum besseren Verständnis übertrieben vergrößert) (Quelle: (7))	26
Abbildung 15: Elementstruktur in Revit (Quelle: (27))	31
Abbildung 16: Einschränkungen bei der Modellierung von Wänden in Scan to BIM (links) und VisualARQ (rechts)	36
Abbildung 17: Vergleich der modellierten Fenster aus Revit (Mitte) und VisualARQ (rechts) mit einem Orthofoto (links)	38
Abbildung 18: Abweichung der Treppe zur Soll-Geometrie in VisualARQ (links) und Revit (rechts)	38
Abbildung 19: Bearbeitung eines Revit-Treppenelements im Skizzenmodus	39
Abbildung 20: Beschränkung der Draufsicht (links) und die Auswirkungen auf die Bearbeitung einer Skizze anhand einer Punktwolke (rechts)	39
Abbildung 21: Problem bei der Verbindung von Treppen- und Deckenelementen	40
Abbildung 22: Probleme bei der Verbindung von Wandelementen	41
Abbildung 23: Verbindung der Wandelemente nach dem Datenaustausch	42
Abbildung 24: Übertragung der Familienstile	43
Abbildung 25: Fehlende Typenparameter bei den übertragenen Familienstilen	43
Abbildung 26: Dialogfenster für die Punkt- / Flächenabweichung	45
Abbildung 27: Abweichung der Punktwolke zur Scan to BIM-Wand	45
Abbildung 28: Abweichung der Punktwolke zur VisualARQ-Wand aus Kurven	45
Abbildung 29: Abweichung der Punktwolke zur VisualARQ-Wand aus einem Volumenkörper	45
Abbildung 30: Abweichung der Punktwolke zur Scan to BIM-Decke	45
Abbildung 31: Abweichung der Punktwolke zur VisualARQ-Decke	45
Abbildung 32: Abweichung der Punktwolke zur Revit Treppe	46
Abbildung 33: Abweichung der Punktwolke zur VisualARQ Treppe	46
Abbildung 34: Divergenz der einzelnen Punktwolken	47
Abbildung 35: Tatsächliche Abweichung der Wand zur Punktwolke	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mess- und Darstellungsgenauigkeiten in Abhängigkeit vom Maßstab (Quelle: (3))	9
Tabelle 2: Genauigkeitsstufen für eine Bauaufnahme (Quelle: (5) nach (8))	10
Tabelle 3: Fertigstellungsgrade für BIM-Modelle (nach (11) und (20))	21
Tabelle 4: Vergleich der Punkt- / Flächenabweichung	46

Anhang

A- Bildplan zur Ostfassade aus einem Orthofoto

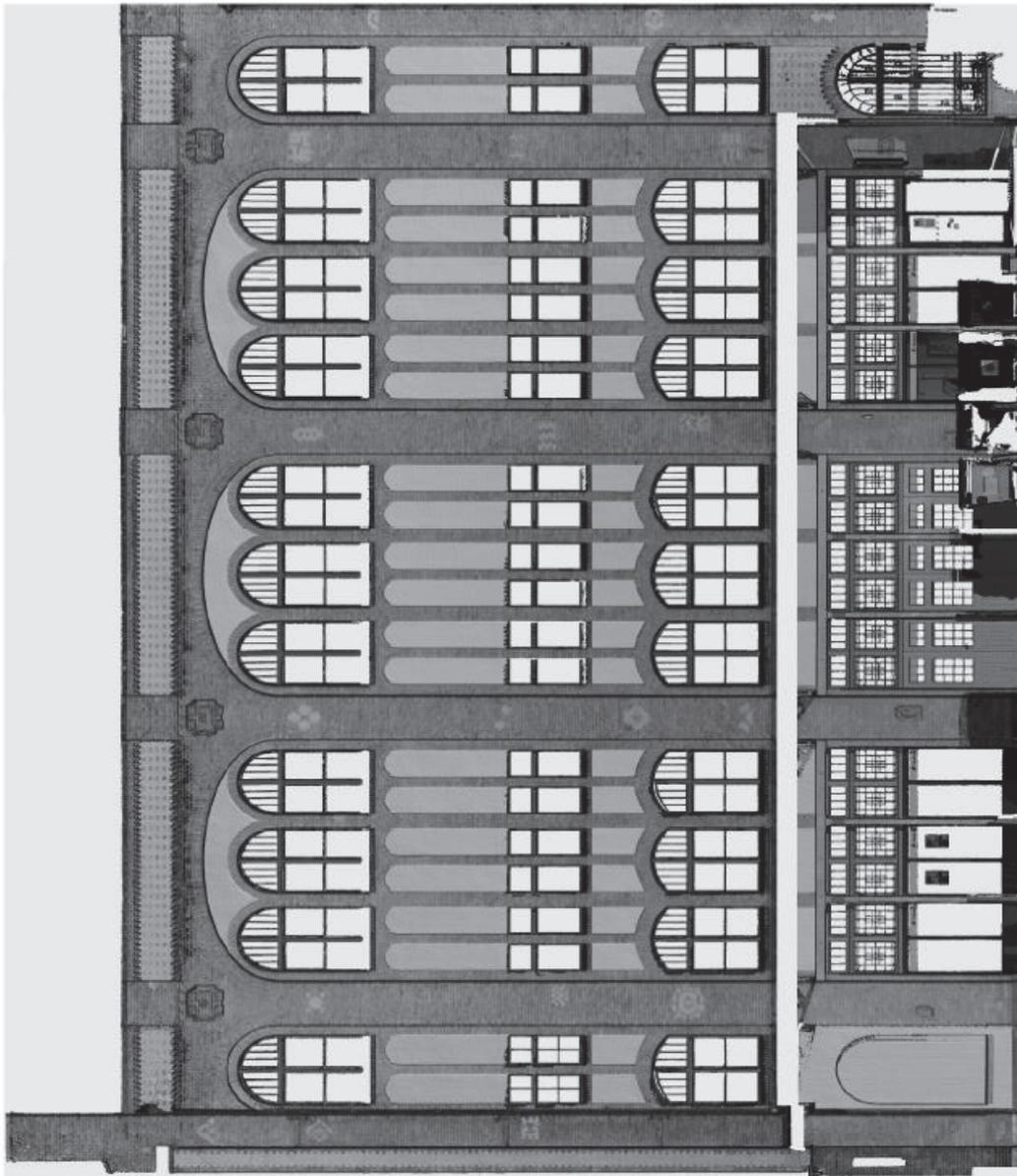
SCAN 3D

Alte Post
Orto-Suhr-Allee 8z (Hof Warburgzeile)
10585 Berlin
Charlottenburg
AUFTRAGGEBER
R&S Vermessung

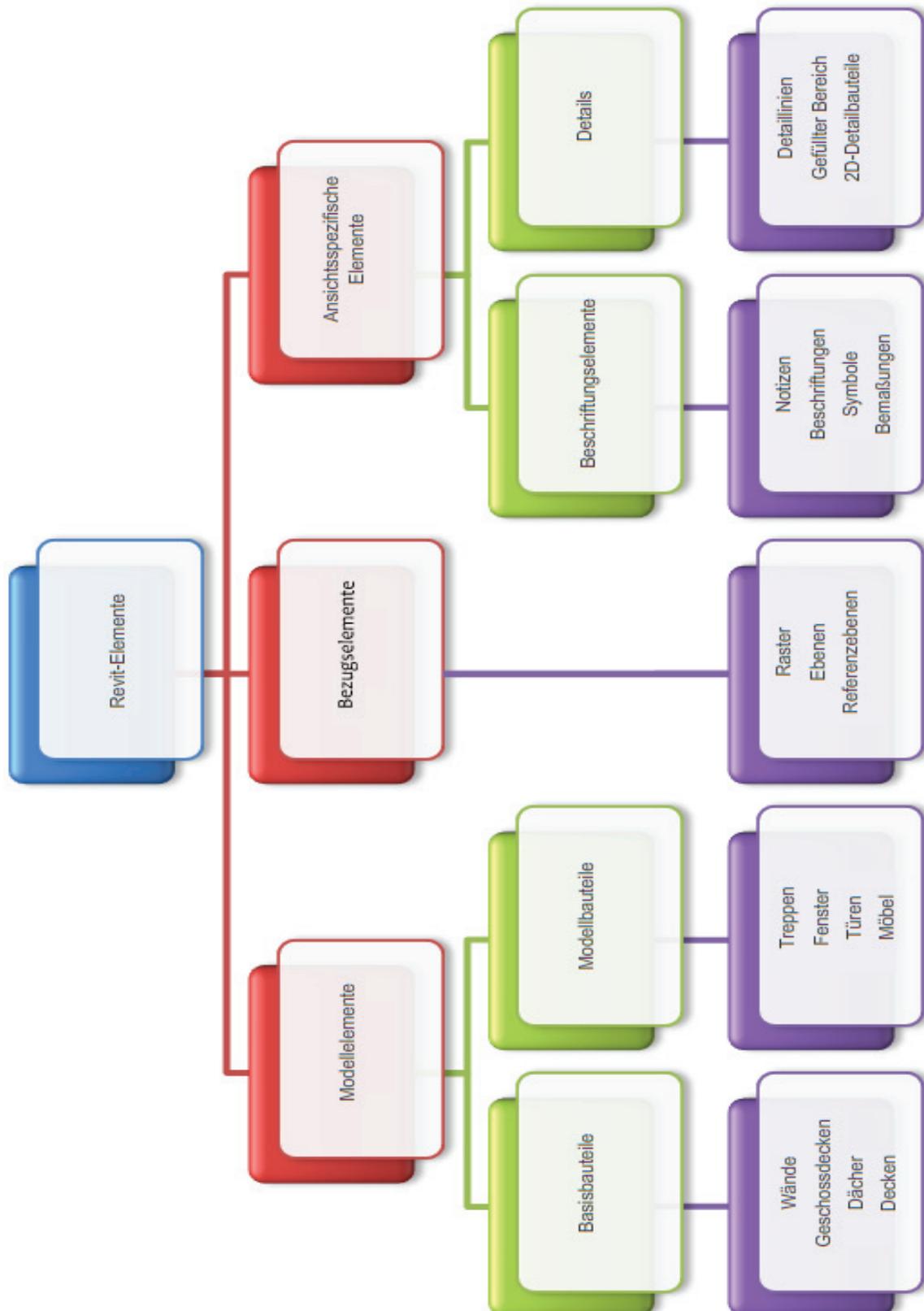
PLANART
Ansicht
PLANINHALT
Bildplan aus Orthofoto
Ansicht Ost

Vorbau

ANDEUTUNGEN
00
ELATT
1 VON 1
MASSSTAB
1:50
UNTERSCHRIFT AUFTRAGSZEICHEN AUFTRAGSZEICHEN
GEZEICHNET
CK
DATUM
20.8.2014



B- Revit-Elementstruktur



Quelle: (26)

C- LupoScan Orientation Results - Mon Jan 12 14:07:31 2015

Scan	v(x) [m]	v(y) [m]	v(z) [m]	points	sigma [m]
FARO_LS4669_Scan_062.1ps	0.0023	0.0015	0.0011	8	+/- 0.00204128
FARO_LS4669_Scan_063.1ps	0.0000	0.0000	0.0000	9	+/- 0.00000025
FARO_LS4669_Scan_064.1ps	0.0016	0.0018	0.0005	8	+/- 0.00166784
FARO_LS4669_Scan_066.1ps	0.0012	0.0022	0.0009	5	+/- 0.00215966
FARO_LS4669_Scan_067.1ps	0.0008	0.0017	0.0014	6	+/- 0.00173123
FARO_LS4669_Scan_068.1ps	0.0013	0.0011	0.0010	6	+/- 0.00144645
FARO_LS4669_Scan_069.1ps	0.0006	0.0004	0.0001	4	+/- 0.00065131
FARO_LS4669_Scan_070.1ps	0.0018	0.0031	0.0027	6	+/- 0.00330673
FARO_LS4669_Scan_071.1ps	0.0010	0.0006	0.0011	5	+/- 0.00129588
FARO_LS4669_Scan_072.1ps	0.0007	0.0001	0.0005	10	+/- 0.00056688
FARO_LS4669_Scan_073.1ps	0.0022	0.0007	0.0008	5	+/- 0.00192508
FARO_LS4669_Scan_075.1ps	0.0000	0.0000	0.0000	12	+/- 0.00003290
FARO_LS4669_Scan_076.1ps	0.0021	0.0018	0.0022	10	+/- 0.00231689
FARO_LS4669_Scan_077.1ps	0.0007	0.0008	0.0007	4	+/- 0.00117174
FARO_LS4669_Scan_078.1ps	0.0011	0.0009	0.0013	4	+/- 0.00173349
FARO_LS4669_Scan_079.1ps	0.0011	0.0021	0.0015	9	+/- 0.00186671
FARO_LS4669_Scan_080.1ps	0.0026	0.0029	0.0027	7	+/- 0.00330960
FARO_LS4669_Scan_081.1ps	0.0017	0.0009	0.0011	6	+/- 0.00161945
FARO_LS4669_Scan_082.1ps	0.0011	0.0006	0.0009	6	+/- 0.00113523
FARO_LS4669_Scan_083.1ps	0.0012	0.0008	0.0005	9	+/- 0.00103809
FARO_LS4669_Scan_084.1ps	0.0006	0.0003	0.0006	4	+/- 0.00079440
FARO_LS4669_Scan_085.1ps	0.0012	0.0023	0.0004	4	+/- 0.00232901
FARO_LS4669_Scan_086.1ps	0.0022	0.0027	0.0026	6	+/- 0.00324515
FARO_LS4669_Scan_087.1ps	0.0006	0.0009	0.0005	5	+/- 0.00092592
FARO_LS4669_Scan_088.1ps	0.0017	0.0008	0.0006	5	+/- 0.00155517
FARO_LS4669_Scan_089.1ps	0.0012	0.0025	0.0016	5	+/- 0.00252734
FARO_LS4669_Scan_090.1ps	0.0017	0.0017	0.0023	8	+/- 0.00230210
FARO_LS4669_Scan_091.1ps	0.0019	0.0023	0.0023	7	+/- 0.00266742
FARO_LS4669_Scan_092.1ps	0.0021	0.0017	0.0025	7	+/- 0.00260846
FARO_LS4669_Scan_093.1ps	0.0014	0.0024	0.0029	8	+/- 0.00276224
FARO_LS4669_Scan_094.1ps	0.0011	0.0021	0.0009	6	+/- 0.00183213
FARO_LS4669_Scan_095.1ps	0.0016	0.0027	0.0025	11	+/- 0.00256343
FARO_LS4669_Scan_096.1ps	0.0030	0.0018	0.0014	7	+/- 0.00267704
FARO_LS4669_Scan_097.1ps	0.0016	0.0007	0.0011	4	+/- 0.00185430
FARO_LS4669_Scan_098.1ps	0.0029	0.0030	0.0018	6	+/- 0.00339428
FARO_LS4669_Scan_099.1ps	0.0011	0.0026	0.0029	5	+/- 0.00320489
FARO_LS4669_Scan_100.1ps	0.0027	0.0024	0.0032	6	+/- 0.00355107
FARO_LS4669_Scan_101.1ps	0.0033	0.0027	0.0021	7	+/- 0.00333905
FARO_LS4669_Scan_102.1ps	0.0025	0.0013	0.0018	10	+/- 0.00219155
FARO_LS4669_Scan_103.1ps	0.0022	0.0023	0.0017	6	+/- 0.00265934
FARO_LS4669_Scan_104.1ps	0.0029	0.0017	0.0017	8	+/- 0.00259314
FARO_LS4669_Scan_105.1ps	0.0021	0.0022	0.0013	6	+/- 0.00246867
FARO_LS4669_Scan_106.1ps	0.0016	0.0016	0.0027	6	+/- 0.00261561
FARO_LS4669_Scan_107.1ps	0.0030	0.0027	0.0018	8	+/- 0.00300412
Total	0.0016	0.0016	0.0015		+/- 0.00206097