



DIPLOMARBEIT

Effiziente Workflows zur Erstellung von BIM-Modellen auf Basis von Punktwolken

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

Univ. Prof. DI Dr.techn. Iva Kovacic

E210 - Institut für Hoch- und Industriebau
Forschungsbereich Integrale Planung und Industriebau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Matthias Kriegler

01427383

Wien, 24.05.2023

Ort, Datum



Unterschrift



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Eidesstattliche Erklärung

Diese Arbeit wurde von der „Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft“ (FFG) im Rahmen des Projekts LargeClouds2BIM mit der TU-Projektnummer: 1873490 unterstützt.

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Wien, 24.05.2023

Ort, Datum



Unterschrift



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen Dank an Personen richten, die mich im Laufe meines Studiums und vor allem beim Erstellen meiner Abschlussarbeit unterstützt haben.

Den ersten Dank möchte ich an meine Betreuerinnen, Frau Univ. Prof. DI Dr.techn. Iva Kovacic und Frau DI Dr.techn. Meliha Honic, für die großartige Hilfestellung und Begleitung dieser Diplomarbeit richten.

Vielen Dank dafür!

Einen Dank möchte ich auch an meine Instituts-Kollegen der TU-Wien, Dipl. Ing. Dominik Breitfuß, Valentinas Petrinas BSc. und Arch. Dipl. Ing. Robin Jakoubek aussprechen, die mir immer mit gutem Rat zur Seite standen.

Ein herzliches „Danke“ geht an meine Familie, die mir im Laufe meiner gesamten Studienzzeit zur Seite stand.

Weiters möchte ich mich bei meinen Freund*innen und Kommiliton*innen bedanken, die mich nicht nur durch meine Studienzzeit, sondern vor allem beim Verfassen meiner Abschlussarbeit begleitet haben. Ein großes „Danke“ geht auch an meine Partnerin für die mentale und emotionale Unterstützung beim Verfassen dieser Arbeit sowie für die Hilfestellung bei der Finalisierung dieser Arbeit.

Kurzfassung

Ausgehend von der Situation, dass die punktwolkenbasierte BIM-Modellierung derzeit noch mit einem sehr hohen manuellen Aufwand verbunden ist, wird die Nachfrage nach einem möglichst schnellen und einfachen Workflow immer größer.

In dieser Arbeit wurden die grundlegenden Begriffe und Techniken der punktwolkenbasierten BIM-Modellierung erklärt und ein Überblick über die aktuell verwendeten Workflows geschaffen, sowie deren Stärken und Schwächen anhand verschiedener Parameter aufgezeigt.

Durch eine empirische Datenerhebung wurden die Einsatzbereiche der punktwolkenbasierten BIM-Modellierung in der Wirtschaft erhoben und die unten genannten Workflows, mittels Pilot-Use-Case auf Labor-Standard, sowohl für open- als auch für closed-BIM-Umgebungen, untersucht und verglichen.

01 Archicad direkt: Hierbei wurde mit einer Software gearbeitet, was die Kosten sehr geringhält. Jedoch musste der Workflow aufgrund von Referenzproblemen abgebrochen werden und konnte dadurch nicht vollständig evaluiert werden.

02 Revit – ReCap: Ein schneller und präziser Workflow, ohne Informationsverlust, jedoch mit Abstrichen in der Benutzerfreundlichkeit und im höheren Preissegment vertreten.

03 Archicad – NUBIGON: Ein preiswerter, präziser und benutzerfreundlicher Workflow, welcher jedoch mit viel Zeit und hohem Informationsverlust einhergeht.

04 Revit – NUBIGON: Ein präziser und benutzerfreundlicher Workflow, welcher jedoch mit viel Zeit, hohem Informationsverlust und hohen Kosten verbunden ist.

05 Archicad – PointCab: Ein Schneller, preiswerter und benutzerfreundlichen Workflow, zwar mit geringem Informationsverlust, jedoch höheren Abweichungen.

06 Archicad – BIMm: Ein preiswerter, schneller und präziser Workflow ohne Informationsverlust, jedoch mit einer geringen Benutzerfreundlichkeit verbunden.

07 Archicad - PointCab – BIMm: Ein schneller und benutzerfreundlicher Workflow ohne Informationsverlust, jedoch weist dieser hohe Kosten und höheren Abweichungen auf.

08 Revit - PointCab –PC4R: Ein schneller, genauer und benutzerfreundlicher Workflow ohne Informationsverlust, jedoch auch mit den höchsten Kosten verbunden.

Die Evaluierung zeigte, dass keiner der untersuchten Workflows als optimal oder der Beste bezeichnet werden konnte, da jeder, in den herangezogenen Bewertungskriterien, unterschiedliche Stärken und Schwächen aufweist.

Abstract

Based on the situation, point-cloud-based BIM modeling is currently associated with a very high level of manual effort, and the demand for a fast and simple workflow is increasing.

In this paper, the basic concepts and techniques of point-cloud-based BIM modeling were explained and an overview of the currently used workflows was provided, as well as their strengths and weaknesses based on various parameters.

Through empirical data collection, the application areas of point-cloud-based BIM modeling in the industry were determined, and the selected workflows were examined and compared by using a pilot use case in laboratory-standard, for open and closed BIM environments.

01 Archicad direct: A low-cost workflow working only with one software. However, the workflow had to be aborted due to reference problems and thus not fully evaluated.

02 Revit - ReCap: A fast and precise workflow, without loss of information, but with cutbacks in user-friendliness and represented in the higher price segment.

03 Archicad - NUBIGON: An inexpensive, precise and user-friendly workflow, which, however, comes with a lot of time and high information loss.

04 Revit - NUBIGON: A precise and user-friendly workflow, which, however, is associated with a lot of time, high information loss and high costs.

05 Archicad - PointCab: A fast, inexpensive and user-friendly workflow, but with little loss of information, but higher deviations.

06 Archicad - BIMm: A low-cost, fast and accurate workflow with no loss of information, but associated with low usability.

07 Archicad - PointCab - BIMm: A fast and user-friendly workflow without loss of information, but it has high costs and higher deviations.

08 Revit - PointCab -PC4R: A fast, accurate and user-friendly workflow with no loss of information, but it also has the highest costs.

The evaluation showed that none of the workflows examined could be described as optimal or the best, as each has different strengths and weaknesses in the evaluation criteria used.

Abkürzungsverzeichnis

BIM	.....	Building Information Modelling
BOKU	.....	Universität für Bodenkultur Wien
CAD	.....	Computer Aided Design
DG	.....	Dachgeschoss
EG	.....	Erdgeschoss
EP	.....	Einreichplan
FBOK	.....	Fußboden Oberkante
FFG	.....	Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG
GNNs	.....	Georeferenzierungssystem
IMU	.....	Inertial Measurement Unit
LiDAR	.....	Light Detection and Ranging
LOD	.....	Level of Detail
MMS	.....	Mobile Mapping Systems
OG	.....	Obergeschoss
PC4R	.....	PointCab 4Revit Plugin
PMMS	.....	portable mobile mapping systems
RDOK	.....	Rohdecken Oberkante
SLAM	.....	Simultaneous Location and Mapping
STB	.....	Stahlbeton
STUK	.....	Sturzunterkante
TLS	.....	Terrestrische Laserscanner
TLS	.....	(Terrestrial laser scanning) Terrestrischer Laser Scan
TU-Wien	.....	Technische Universität Wien
.dxf	.....	Drawing Interchange File Format
.e75	.....	unabhängiges Punktwolkenformat im Standard ASTM E2807
.ifc	.....	Industry Foundation Classes
.rcp	.....	ReCap Austauschformat
.rvt	.....	Revit Dateiformat

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	3
Danksagung	5
Kurzfassung	6
Abstract	7
Abkürzungsverzeichnis	9
Inhaltsverzeichnis	10
1 Einleitung	13
1.1 Problemstellung	14
1.2 Forschungsfrage	15
1.3 Forschungsziel	15
1.4 Methodik	16
2 Literaturrecherche	19
2.1 Stand der Technik	20
2.2 Identifizierte Workflows	30
3 Fragebogen	33
3.1 Identifizierte Workflows	35
3.2 Weitere Erkenntnisse des Fragebogens	36
4 Ermittlung der Modelliergrundlage	39
4.1 SLAM - LiDAR Punktwolke	40
4.2 Vergleich terrestrisch / SLAM	42
5 Vergleichende Studie (Workflows)	45
5.1 Referenzmodelle vom Einreichplan	49
5.2 01 - Archicad direkt	50
5.3 02 - Revit - ReCap	53
5.4 03 - Archicad - NUBIGON	59
5.5 04 - Revit - NUBIGON	67
5.6 05 - Archicad - PointCab	73
5.7 06 - Archicad - BIMm	79
5.8 07 - Archicad - PointCab – BIMm	85
5.9 08 - Revit - PointCab - PC4R	91

6	Auswertung der Bewertungskriterien	97
6.1	Anzahl der benötigten Programme	98
6.2	Kosten für die benötigten Programme	100
6.3	Benötigte Zeit	102
6.4	Abweichungen	104
6.5	Informationsverlust im Workflow	106
6.6	Benutzerfreundlichkeit	108
7	Gegenüberstellung der Workflows	111
7.1	Gegenüberstellung - einzeln	112
7.2	Gegenüberstellung - tabellarisch	114
7.3	Gegenüberstellung - gesamt	114
7.4	Gegenüberstellung - Revit	115
7.5	Gegenüberstellung - Archicad	116
7.6	Gegenüberstellung - NUBIGON	117
7.7	Gegenüberstellung - Plugins	117
7.8	Gegenüberstellung - PointCab & BIMm	118
7.9	Weitere Entscheidungsfaktoren	119
7.10	Zusammenfassung der Gegenüberstellung	121
8	Conclusio	123
8.1	Persönliches Fazit	125
8.2	Ausblick	125
9	Verzeichnisse	127
9.1	Quellenverzeichnis	127
9.2	Abbildungsverzeichnis	132
10	Anhang	137
10.1	Fragebogen	138
10.2	Radardiagramme	152
10.3	Liniendiagramme	154



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1 Einleitung

Die Digitalisierung der Baubranche verändert zunehmend die Art und Weise, wie Gebäude bearbeitet und visualisiert werden. Begriffen wie BIM, Scan, Punktwolke, Laserscan und Scan-to-BIM gewinnen in der Baubranche und darüber hinaus zunehmend an Bedeutung.

BIM (Building Information Modell) steht für ein sauber modelliertes und mit Informationen gespicktes dreidimensionales digitales Gebäudemodell, welches von allen beteiligten Branchen des Bauprojektes eingesehen und bearbeitet werden kann. Zudem steht der Begriff für die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Gewerke. Dabei kann ein BIM von der Planung über den Erhalt bis zum Abriss eines Projektes eingesetzt werden. BIM wird weltweit zur Norm in der Entwicklung und Planung von Bauprojekten (Son et al., 2015).

Die Begriffe Punktwolke, Scan oder Laserscan stehen für die schnelle und genaue Abbildung einer Struktur durch mehrere Millionen Einzelpunkte. Sie können innerhalb kürzester Zeit komplexe Strukturen abbilden und als digitales dreidimensionales Modell angezeigt werden (Kim et al., 2020; Soilán et al., 2020).

Die Kombination zu Scan-to-BIM, steht für eine Methode zur Erstellung eines Building Information Modells auf Basis einer Punktwolke (Laserscan). Diese Methode bietet eine Vielzahl an Vorteilen für die gesamte Branche. So ist ein schnelleres und genaueres Aufmaß möglich und durch das Überlagern von Scan und BIM können sowohl Baufortschritt, Baufehler und Kollisionen von Bauelementen frühzeitig erkannt und bearbeitet werden (Azhar et al., 2012; Skrzypczak et al., 2022).

In dieser Arbeit wurden die Grundlagen der punktwolkenbasierten BIM-Modellierung erklärt und ein Überblick über die aktuell verwendeten Workflows geschaffen, sowie deren Stärken und Schwächen anhand verschiedener Parameter aufgezeigt.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des FFG-geförderten Forschungsprojektes „Large-Clouds2BIM“, mit der TU-Projekt Nummer 1873490, durchgeführt. Die vom Forschungsprojekt zur Verfügung gestellten Daten beinhalten die Punktwolken eines Einfamilienhauses und den zugehörigen Einreichplänen.

1.1 Problemstellung

So vielversprechend Scan-to-Bim klingt, birgt es dennoch einige Herausforderungen in der Praxis. Aktuell ist die Scan-to-BIM Modellierung größtenteils manuell, auch wenn es erste Ansätze für eine Automatisierung gibt (Bassier und Vergauwen, 2020). Obwohl die Punktwolken im Vergleich zu Messungen mit Distometern oder Theodoliten die Modelliergrundlage deutlich verbessern, ist die Modellierung ein manueller repetitiver Prozess, der sowohl fehleranfällig als auch zeitaufwendig ist. Zudem ist das Ergebnis stark von der Expertise der Modellierer*innen abhängig (Rodriguez et al., 2022; Son et al., 2015).

Ebenso wichtig wie die Expertise der Modellierer*innen ist die Wahl der richtigen Software. Der Markt bietet hierzu eine Vielzahl an Programmen, Programmkombinationen und Methoden, die von Standalone-Softwarelösungen über Plugins und unterschiedlichen Reduktionsmethoden der Punktwolken bis hin zu kompatiblen Austauschformaten reichen. (Angulo-Fornos und Castellano-Román, 2020; Bruno und Roncella, 2019; Cabo et al., 2018; Jakovljević et al., 2022; Janisio-Pawłowska, 2021; Kamel und Memari, 2019; Korumaz et al., 2017; Moyano et al., 2022; Rodríguez-Moreno et al., 2018; Sing et al., 2022; Son et al., 2015; Tommasi et al., 2016; Usmani et al., 2019; Volk et al., 2014)

Da eine einzige Software nicht in der Lage sein wird, alle erforderlichen Bedürfnisse aller Nutzer*innen zu erfüllen, ist es wichtig, einen Ansatz zu entwickeln, der verschiedene Methoden, Techniken und Softwarelösungen miteinander kombiniert (Tommasi et al., 2016).

1.2 Forschungsfrage

Aus der eben beschriebenen Ausgangssituation sowie der Problemstellung ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Welche aktuellen Scan-to-BIM-Methoden gibt es und welche Scan-to-BIM Modellierungs-Workflows lassen sich daraus ableiten?
2. Welcher ist der effizienteste Workflow, zur Erstellung von BIM-Modellen auf Basis von Punktwolken, am Beispiel eines Einfamilienhauses?

1.3 Forschungsziel

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden folgende Zwischenziele gesetzt:

1. Die Erhebung des aktuellen Wissenstandes.
2. Die Sammlung gängiger Workflows und Methoden.
3. Die Ableitung der zu vergleichenden Scan-to-BIM Workflows.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurden weitere Ziele definiert:

1. Die Beschaffung der Modellierbasis (Punktwolke eines Einfamilienhauses).
2. Die Beschaffung der Lizenzen für die in den Workflows enthaltenen Programme.
3. Das Festlegen der Bewertungskriterien für den Vergleich der Fallstudie.
4. Die Durchführung der vergleichenden Fallstudie.
5. Der kritische Vergleich der untersuchten Workflows und die Interpretation der Ergebnisse.

1.4 Methodik

Die Methodik dieser Arbeit gliedert sich in drei Säulen: die Schaffung der Grundlagen, die Durchführung der Fallstudie und die Evaluierung der durchgeführten Workflows.

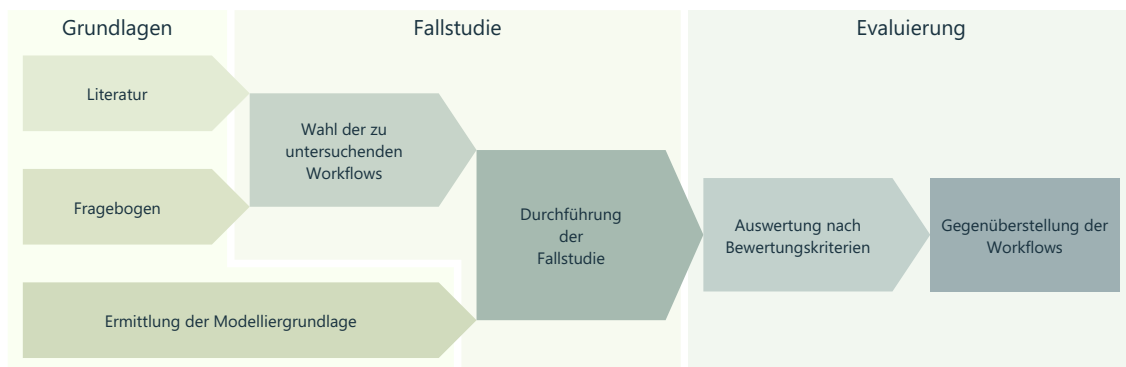


Abb. 1.1: ResearchDesignGrafik - Übersicht über die Grundlagenermittlung, die Fallstudie und die Evaluierung

Die Erhebung des aktuellen Wissenstandes wurde mittels einer umfangreichen Literaturrecherche durchgeführt. Dabei wurden die Suchmaschinen Google Scholar, ScienceDirect, ResearchGate, CatalogPlus (TU-Wien) und LITsearch (BOKU) herangezogen. Dabei wurde der Fokus auf die gängigen Laserscanner-Technologien, den Funktionen von Building Information Model (BIM) und der Scan-to-BIM-Methode gelegt.

Ergänzend zur Literatur wurde eine Umfrage mittels Online-Fragebogen durchgeführt, welcher sich an Personen im Bereich Scan-to-BIM richtet. Mit diesem Fragebogen konnten weitere Informationen über gängige Workflows und Methoden gesammelt werden. Aus der Literatur und dem Fragebogen wurden die zu untersuchenden Workflows definiert.

Die acht ausgewählten Workflows decken sowohl den direkten Import in die BIM-Software, den Import mittels Plugins in die BIM-Software, die Verknüpfung von Programmen mittels Plugins, die Reduktion der Punktwolke zu Polylinien als auch die Reduktion der Punktwolke in eine Bilddatei (.jpg/.dxf) ab. Zudem wurden die open- und die closed- BIM-Umgebung in die Fallstudie miteinbezogen.

Um die passende Modellierbasis zu definieren, wurden drei Punktwolken mit unterschiedlicher Scan-Methode gegenübergestellt.

Für die Untersuchung der Workflows wurden Studentenlizenzen für Autodesk Revit

2021/2022, Autodesk ReCap V.7.0 und Graphisoft Archicad 24/25 beantragt und aktiviert. Die Programmlizenzen für PointCab Origins 3.9 R8 / 4.0 R6, PointCab 4Revit 1.5 und BIMmTool 25.03.R00 / 25.01.R01 / 25.01.R01 wurden von den Herstellern zeitlich begrenzte Lizenzen zur Verfügung gestellt.

Die Programme Rhino 7 und NUBIGON 4.9.1 wurden für diese Arbeit kommerziell erworben. Die NUBIGON-Software wurde gewählt, da die Entwickler der Software Teil des Forschungsprojektes „LargeClouds2BIM“ waren.

Zur Auswertung der untersuchten Workflows wurden Bewertungskriterien festgelegt. Die Kriterien setzen sich sowohl aus quantitativen und qualitativen als auch aus objektiven und subjektiven Kriterien zusammen. So beinhalten sie die Programmanzahl, die Programmkosten, die Workflowzeit, die Abweichungen, den Informationsverlust und die Benutzerfreundlichkeit.

Die Grundlage für die Bewertung der ausgewählten Workflows stellt die Fallstudie dar. In dieser wurden acht Workflows in der Scan-to-BIM Modellierung durchgeführt und dokumentiert. Der Hauptfokus dieser Workflowanalyse bezieht sich auf die Modellierung eines BIM-Modelles, auf Basis einer Punktwolke. Der Punktwolkendatensatz eines Einfamilienhauses im .e57 Dateiformat bildet die Ausgangssituation aller untersuchten Workflows innerhalb der Fallstudie. Bei der Modellierung und Dokumentierung wurde besonderer Wert auf die Vergleichbarkeit gelegt.

Der kritische Vergleich der Workflows erfolgte sowohl in isolierter Form, in einer gesamtheitlichen als auch in vier kategorischen Gegenüberstellungen. Mit Hilfe ausgewählter Darstellungsmethoden konnten die Unterschiede in den Workflows grafisch aufgearbeitet und interpretiert werden.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2 Literaturrecherche

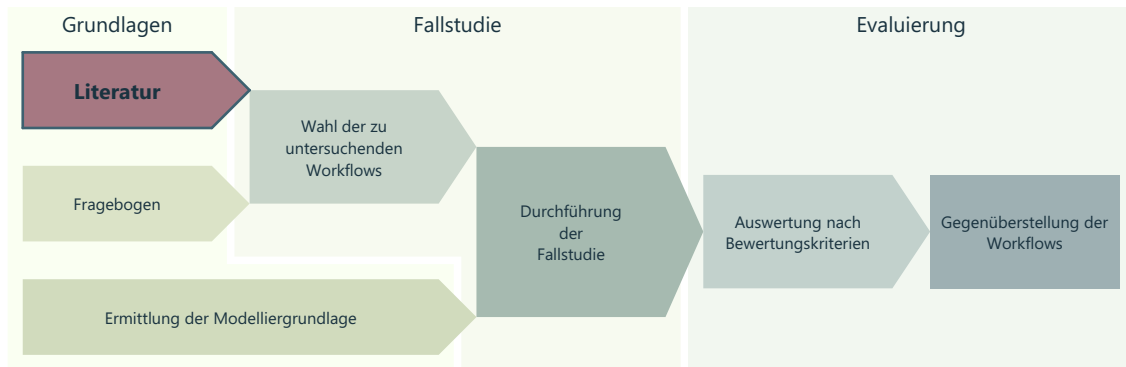


Abb. 1.2: Research-Design-Grafik - Grundlagen: Literaturrecherche

Um einen Überblick zu erhalten, welche Workflows derzeit den Stand der Technik bilden, wurde eine umfangreiche Literaturrecherche im Bereich Scan-to-BIM durchgeführt. Die Recherche fokussierte sich auf wissenschaftliche Publikationen und wurde mit dem gewerblichen Markt abgeglichen.

Folgende Suchmaschinen wurden systematisch herangezogen: Google Scholar, ScienceDirect, ResearchGate, CatalogPlus (TU-Wien) und LITsearch (BOKU).

Zur Ermittlung der wissenschaftlichen Daten und Informationen wurde die Literaturrecherche hauptsächlich mit englischen Schlagworten (keywords) durchgeführt.

Keywords: BIM, Building Information Modeling, Laserscanning, Scan-to-BIM, Cloud-to-BIM, pointcloud, Workflow, As-Built BIM, LiDAR, SLAM, iPad

2.1 Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Begriffe und Techniken der punktwolkenbasierten BIM-Modellierung erklärt.

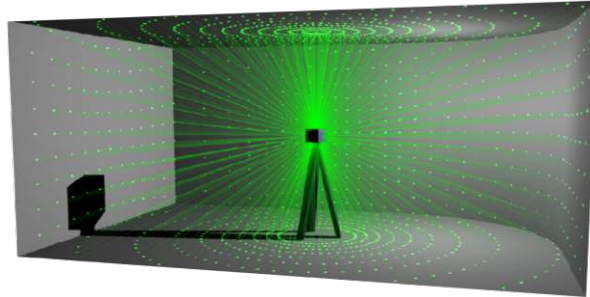


Abb. 2.1: Funktionsweise eines Terrestrischen Laserscanners (TU-München, 2021)

2.1.1 Laserscanning

Das Laserscanning ist eine berührungslose Messmethode, die auf Laserlicht basiert. Sie ersetzt immer mehr das herkömmliche Aufmessen und ist nach Hardware und Funktionsprinzip zu unterscheiden. Der Sensor des Laserscanners sendet hierfür einen Laserstrahl aus, welcher von Objekten reflektiert und durch die Empfangsoptik des Laserscanners wieder aufgenommen und verarbeitet wird. Die Zeit, die vom Aussenden bis zum Empfangen des Laserstrahls benötigt wird, bildet die Berechnungsgrundlage für die Entfernung (Masciotta et al., 2022). Die Aussendung der Laserimpulse erfolgt in einem Raster. Durch das Neigen und Rotieren der Laseroptik und das wiederholende Aussenden von Laserimpulsen können so bis zu 2 Millionen Punkte pro Sekunde erfasst und verarbeitet werden (Leica RTC360, 04.2022).

Es wird in zwei Hauptgruppen unterschieden: die terrestrischen Laserscanner (TLS) (Blais, 2004) und die Mobilten Laserscanner (MMS) (Puate et al., 2013).

Terrestrische Laserscanner (TLS)

TLS ermöglicht durch die stationäre Aufnahme von Millionen Punktmessungen eine 3D-Punktwolke mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern und erzeugen daraus eine genaue dreidimensionale Rekonstruktion der gescannten Objekte in geringer Zeit. Die gescannten Punkte werden beim Erfassen mit ihrer räumlichen Position (in polaren oder kartesischen Koordinaten) sowie mit den reflektierten Intensitätswerten des Laserstrahls gespeichert und liefern eine graustufige Punktwolke. Wird eine Farbpunktwolke benötigt, so ist bei der Aufnahme darauf zu achten, dass der TLS eine integrierte Kamera besitzt oder mit einer externen Kamera ausgestattet werden kann. Die Kamera bildet parallel zum Laser die Umgebung ab und wird in einem weiteren Verarbeitungsschritt, mit der 3D-Punkten

überlagert, um die Farbinformationen auf die Punkte zu übertragen. Die Aufnahme einer Farbpunktwolke benötigt durch das Aufzeichnen der Fotos etwas länger, kann jedoch in weiteren Schritten, wie der Scan-to-BIM Modellierung (Jakovljević et al., 2022; Rodriguez et al., 2022; Sing et al., 2022) oder der Visualisierung (Dumic et al., 2021) erhebliche Vorteile bieten.

Da nur Oberflächen erfasst werden können, die von der gewählten Scannerposition aus sichtbar sind, muss bei größeren oder komplexeren Objekten mehrfach gescannt werden. Beim sogenannten Multi-Scan-Ansatz wird versucht möglichst wenige tote Winkel (nicht einsehbare Bereiche) zu erzeugen (Shanoer und Abed, 2018). Wobei ein Kompromiss zwischen Scans mit optimalem Einfallswinkel (maximale Datenerfassung) und der Anzahl der vorgenommenen Scans zu treffen ist. Eine zu hohe Anzahl an vorgenommenen Scans kann in der Ausrichtungsphase, dem Registrieren (siehe Absatz Registrieren) zu einer Erhöhung der Fehlerquellen führen (Korumaz et al., 2017; Nowak et al., 2020; Wojtkowska et al., 2021). Das Laserscannen ist ein Prozess, der in jeder neuen Umgebung (z. B. Gebäude, Infrastruktur) eine neue komplexe Aufgabe darstellt. So spielt sowohl Wahl der verwendetet Technik, der angewandten Methode und die Erfahrung eine wichtige Rolle (Rodriguez et al., 2022).



Abb. 2.2: TLS-Laserscanner (Laser Scanning Architecture, 2022)



Abb. 2.3: Erzeugte Punktwolke eines TLS-Scanner (Roger Lustenberger, 2022)

Mobile Mapping Systems (MMS)

Dank der Fortschritte im Bereich der Sensoren und der Positionierungssystemen bieten „mobile mapping systems“ (MMS) eine kosteneffiziente Alternative zu der teuren TLS-Technologie. Die MMS setzt sich aus einer Positions- und Navigationseinheit (räumliche Referenzierung), einer Sensoreinheit (Kartierung) und einer Zeitreferenzierungseinheit (Datensynchronisierung) zusammen (Alsadik und Khalid Jasim, 2019).

Der Hauptunterschied zu TLS-Systemen besteht darin, dass MMS die Fähigkeit besitzen Daten zu erfassen, während sie sich selbst in Bewegung befinden. Zusätzlich wird in fahrzeuggesteuerte MMS und tragbare MMS („portable mobile mapping systems“ - PMMS), unterschieden (Puentes et al., 2013). Erstere eignen sich durch ihr direktes Georeferenzierungssystem (GNSS) und der Schnelligkeit der Sensoren für Anwendungen im städtischen Bereich und zur Erfassung von Außenbereichen. PMMS setzt sich hingegen aus einer IMU (inertial measurement unit) und einem leichten drehbaren Laserkopf zusammen, der Segmente einer Szene erfassen und sich daran orientieren kann.

Die erfassten Daten werden mittels SLAM-Algorithmus (Simultaneous Location and Mapping) verarbeitet (Dissanayake et al., 2001). Dieser verfolgt den Pfad des Scanners und erstellt durch das Erkennen und Abgleichen geometrische Merkmale immer detailliertere Abbildungen. Wird ein Pfad gewählt, bei dem Start und Ende gleich sind, kann die Qualität des Ergebnisses zusätzlich verbessert werden (di Filippo et al., 2018).

Trotz ausreichender Qualität in den meisten Anwendungsfällen (Cabo et al., 2018; Lagüela et al., 2018), kann MMS nicht mit der Genauigkeit von TLS mithalten und eignet sich unter anderem nicht für die anfängliche Strukturabweichung (di Filippo et al., 2018; Wojtkowska et al., 2021).



Abb. 2.4: MMS - Laserscanner
GeoSlam-ZEB Revo RT
(Sumo Services Ltd, 2022)



Abb. 2.5: Colorierte Punktcloud aufgenommen mit einem MMS-Laserscanner (Diversified Communications, 2023)

In Mobilgeräte integrierte LiDAR-Sensoren

In den letzten Jahren wurden große Fortschritte bei der Integration von Lasercan-Technologien in Smartphones und Tablets gemacht. Besonders durch die Integration von LiDAR-Sensoren in ausgewählte Apple-Produkte. Dies hat zu günstigeren Lösungen im Vergleich zu teuren TLS- oder MLS- basierten Systemen geführt (Jakovljević et al., 2022). LiDAR steht für „Light Detection and Ranging“ und umfasst die ToF-Messung. Bei der ToF-Messung (Time of Flight) wird die Zeit bestimmt, die eine Welle benötigt, um eine Strecke zurückzulegen. Es wird die Zeit gemessen, die ein vom LiDAR gesendetes moduliertes Lichtsignal benötigt, um wieder zum Sensor zurückzukehren.(Vogt et al., 2021)



Abb. 2.6: LiDAR Scanner in einem iPhonePro
(MIXED.DE by DEEP CONTENT GB, 2023)



Abb. 2.7: Punktwolke einer Dachstuhlkonstruktion mittels iPad LiDAR-Scan

Registrierung von Punktwolken

Das Registrieren bezeichnet den Vorgang, bei dem alle Scans miteinander abgeglichen und deren einzelne Koordinatensysteme auf ein gemeinsames Koordinatensystem Bezug nehmen. Zur Registrierung der TLS-Scans werden heutzutage drei Methoden angewandt. Die zielbasierte Methode orientiert sich an Referenzobjekten (planare oder sphärisch), wovon mindestens drei in jedem Scan sichtbar sein müssen. Diese können von der Registrierungs-Software automatisch erkannt werden. Sie ist die schnellste Methode, benötigt jedoch mehr Zeit in der Vorbereitung und Planung.

Bei der ebenenbasierten Ausrichtung werden gemeinsame Ebenen der einzelnen Scans extrahiert und abgeglichen. Die Cloud-to-Cloud Methode verwendet einen Optimierungsalgorithmus (Iterative-closest-point - ICP) um die Differenz zwischen den gemeinsamen Punkten zweier Punktwolken zu minimieren. Ebenen und Cloudbasierte Methoden benötigen keine Referenzobjekte, sondern orientieren sich nur an den manuell grob ausgerichteten Punktwolken. Die manuelle Ausrichtung erfolgt meist bei der Datenaufbereitung im Büro. Neue Technologien ermöglichen bereits vor Ort eine grobe Vorab-Ausrichtung der aufgenommenen Punktwolken, was als gute Annäherung für die finale Ausrichtung mit dem ICP-Algorithmus gesehen werden kann (Huang et al., 2021).

2.1.2 Building Information Model (BIM)

Die Abkürzung BIM (Building Information Model) steht für ein digitales Abbild eines Gebäudes, dem sogenannten Bauwerksdatenmodell. BIM steht in der Baubranche aber auch für den Prozess und die zugehörige Methode, die mit der Erstellung, der Pflege und der Aktualisierung des Bauwerksdatenmodelles einhergeht. Die Projektabwicklung erfolgt hierbei auf Basis eines digitalen Datenmodelles in Form eines dreidimensionalen virtuellen Bauwerks, welches alle Aspekte der Lebenszyklusphasen des Gebäudes abdeckt (Krek et al., 2009; Niedermaier und Bäck, 2018). Durch die BIM-Methode wird somit die Planung, Steuerung und Überwachung von Bauprojekten ermöglicht und unterstützt die Durchführung des Projektes (Konior und Szóstak, 2020).

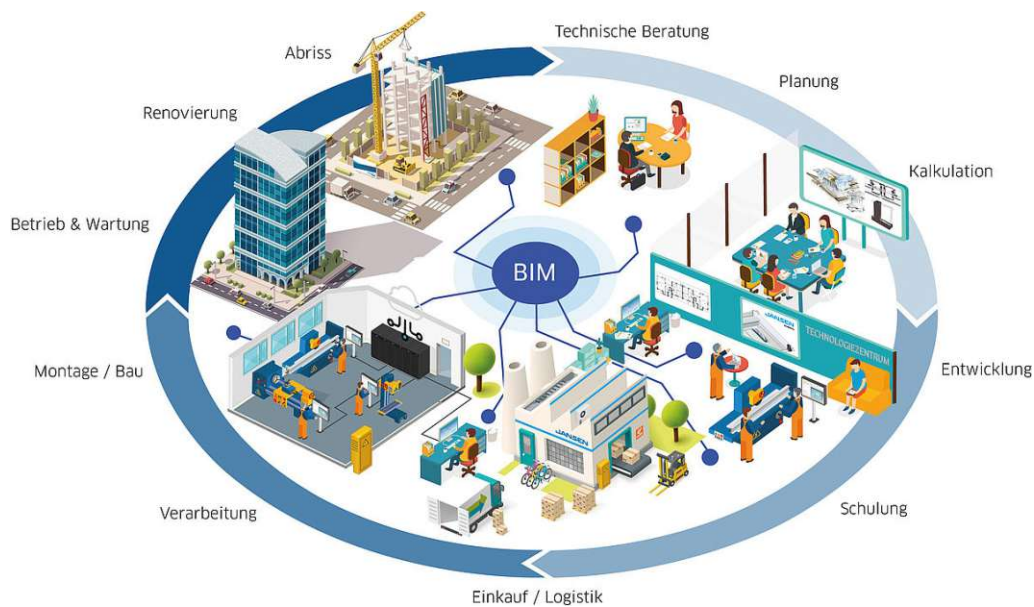


Abb. 2.8: Einsatzbereiche von BIM
(Jansen AG, 2023)

2014 einigte sich das „United States National Building Information Model Standard Project Committee“ auf folgende Definition:

„Building Information Modeling (BIM) is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition.“

Das Modellieren (Erzeugen) eines BIM-Modelles erfolgt in mehreren Ebenen. Zu diesen zählen unter anderem das grafisch geometrische Modellieren der Architekturelemente sowie das laufende Ergänzen und Anheften von Bauwerksinformationen und Attributen. Bei der Modellierung der Architekturelemente werden zum Beispiel Wände, Decken, die Haustechnik und die Ausstattungselemente zu einem dreidimensionalen Modell zusammengefügt.

Die anzuheftende planungs-, ausführungs- und betriebsrelevanten Bauwerksinformationen sowie Kennwerte sind unter anderem Kosten, Materialeigenschaften (Gewicht, Brandschutz, usw.) Modellnummer oder Errichtungsdauer (Niedermaier und Bäck, 2018). Diese bieten die Grundlage für die interdisziplinäre Zusammenarbeit aller beteiligten Branchen (Trach et al., 2022). Ziel ist es sämtliche Prozesse im Lebenszyklus eines Bauwerkes darzustellen und im Idealfall ein virtuelles Abbild des Bauwerks, den „digital Twin“ (digitaler Zwilling) zu erstellen. Das entstandene Bauwerksdatenmodell steht, mit all seinen Informationen, allen Projektbeteiligten zu Verfügung. Dabei beschränkt sich der Umfang der Projektbeteiligten keinesfalls auf den Planungs- und Ausführungsprozess, sondern es können auch Beteiligte mitwirken, die am Betrieb des Gebäudes beteiligt sind. Wird das BIM-Modell nach der Fertigstellung kontinuierlich weitergeführt, so kann das für den Betrieb und die Wartung des Bauwerks von erheblicher Bedeutung sein. Ebenfalls können der Abriss und die anschließende Entsorgung mittels vorhandener BIM-Modelle geplant, beschrieben, simuliert und durchgeführt werden.

Beim BIM und dem daraus resultierenden Prozess wirken Beteiligte aus der Architektur, der Statik, der TGA (Technische Gebäudeausstattung) & Haustechnik, der Baufirma & Fertigung sowie dem Facility Management über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks zielorientiert zusammen. Somit können alle Beteiligten auf Basis aussagekräftiger Simulationen Entscheidungen treffen und gemeinsam Abläufe optimieren. Dabei wird hoher Wert auf Transparenz, Informationsqualität und Kosten-Terminsicherheit gelegt, um ein optimales Zusammenarbeiten zu ermöglichen (Niedermaier und Bäck, 2018).

BIM Modelle werden nicht nur als **3D-Modelle** verstanden, sie können über das Adaptieren weiter Dimensionen auch als 4D, 5D, 6D oder 7D interpretiert werden. Bei einem **4D-Modell** wird zusätzlich zu den geometrischen Eigenschaften eines Gebäudes die Dimension „Zeit“ hinzugefügt. Dies ermöglicht die Erstellung von Terminplänen für die Gebäudefertigstellung, die Lieferzeiten und eine Simulation des Baufortschrittes. Ein **5D-Modell** enthält neben den Geometrie- und Zeitinformationen weiter auch die Kosteninformationen. Damit können durch Mengen/Kosten- oder Gesamtkostenanalysen frühzeitig Entscheidungsgrundlagen

für verschiedene Ausführungsvarianten erstellt und visualisiert werden (Kim et al., 2013; Niedermaier und Bäck, 2018). Mit der Möglichkeit schnell verschiedene Konzept-Versionen von Projekten zu erstellen, können die Kosten für eine spätere Änderung bereits in der Bauphase reduziert werden (Demian und Walters, 2014).

Bei **6D-Modellen**, oder auch As-Built-Modelle, werden den Modellbestandteilen Informationen angehängt, die für die tatsächliche Herstellung wichtig sind. Diese beinhalten auch Informationen zum Ressourcenverbrauch bei der Herstellung. So ist ein Zusammenwirken von Gebäudedatenmodellierungs- und Energiesimulationstools oder die Anwendung von BIM in der Energieanalyse möglich (Kamel und Memari, 2019).

Werden Informationen, die eine entscheidende Rolle in der Phase des Gebäudebetriebs und der Bewirtschaftung (Raumbelegungspläne, Reinigungs- und Wartungszyklen, usw.) spielen, so wird von einem **7D-Modell** gesprochen (Niedermaier und Bäck, 2018).

7D-Modelle ermöglichen durch ihre Dateninhalte das Produktlebenszyklusmanagement (PLM) oder im Bauwesen auch Building Lifecycle Management (BLM) genannt (Ding et al., 2014; Kim et al., 2013).

In der Modelliermethode wird auch hinsichtlich der Programmumgebung unterschieden. Werden nur Produkte und Formate eines Herstellers verwendet, oder bewegt man sich nur innerhalb einer Produktfamilie, so wird von „Closed BIM“ gesprochen. Weitgehende Vermeidung der Datenkonvertierung und daraus resultierender geringerer Koordinationsaufwand zählen zu den größten Vorteilen von Closed BIM. Jedoch wird dadurch die Auswahl an möglichen Projektpartnern reduziert, da nicht für alle Bereiche die passenden Anwendungen zur Verfügung stehen (Niedermaier und Bäck, 2018).

Beim „Open BIM“ gibt es solche Einschränkungen nicht, da alle Projektbeteiligten, die für sie am besten passende Softwares nutzen können. Der Datenaustausch erfolgt mittels herstellernerneutraler Formate, wie dem IFC (Industry Foundation Classes) (Niedermaier und Bäck, 2018).

Folgende Normen und Regulationen bieten eine Grundlage für eine standardisierte und funktionale BIM-Modellierung:

- EN ISO 16739:2016 (Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facilitymanagement industries), der
- EN ISO 29481-2:2016 (Building information models - Information delivery manual - Part 2: Interaction framework),
- EN ISO 12006-3:2016 (Building construction - Organization of information about construction works- Part 3: Framework for object-oriented information)

2015 wurde in Österreich mit dem Einführen von folgenden ÖNORMEN zur Digitale Baudokumentation ein wichtiger Schritt zur standardisierten BIM-Modellierung getätigt:

- ÖNORM A6241-1 (Digitale Baudokumentation – Teil 1 : CAD-Datenstrukturen und Building Information Modeling (BIM) – Level 2)
- ÖNORM A6241-2 (Digitale Baudokumentation – Teil 2 : Building Information Modeling – Level3-iBIM)

In Ländern wie Großbritannien, Finnland und Singapur ist die Erstellung von BIM für öffentliche Infrastrukturprojekte bereits vorgeschrieben (Agarwal et.al, 2016).

2.1.3 Scan-to-BIM

Die Kombination der Laserscanner-Technologie und der BIM Methode bietet ein leistungsfähiges Instrument zur Prozessoptimierung für die Architektur und die Baubranche, da in kürzester Zeit sehr genaue Daten geliefert werden können (Utica et al., 2017). Scan-to-BIM eignet sich besonders für die und Analyse des Baufortschrittes (Kim et al., 2020), die Bestandsmodellierung (Sing et al., 2022; Skrzypczak et al., 2022) und die Modellierung historischer Gebäude (Janisio-Pawłowska, 2021; Shanoer und Abed, 2018).

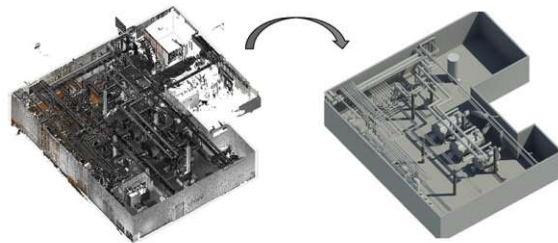


Abb. 2.9: Punktwolke zu BIM (STATECH BH doo, 2020)

Die Analyse des Baufortschrittes ist ein wichtiger Teil in der Bauabwicklung. Durch das Abgleichen von geplantem und gebautem Zustand, können Abweichungen erkannt, analysiert und bearbeitet werden. Aktuell ist diese Aufgabe (Überwachen, Messen, Bewerten) zu großen Teilen manuell, was vor allem bei großen Projekten zeitintensiv, arbeitsaufwendig und fehleranfällig ist (Maalek und Sadeghpour, 2013). Durch das Einsetzen von Laserscannern kann dieser Arbeitsschritt deutlich vereinfacht und beschleunigt werden. Die aufgenommene Punktwolke kann mit dem BIM-Modell überlagert, verglichen und analysiert werden. Auftretende Fehler sind so leichter zu erkennen und lassen sich schneller bearbeiten (Wang et al., 2020).

Enorme Vorteile bietet Scan-to-BIM im Bereich der Bestandsmodellierung, besonders wenn die Projektdokumentation veraltet, fehlerhaft oder nicht vorhanden ist. So können selbst historische Gebäude, Gründerzeitbauten oder Gebäuden mit komplexer Form in kürzester Zeit mit einem Laserscanner aufgenommen werden. Die Modellierung bestehender Gebäude auf Basis von Punktwolken kann die Genauigkeit erhöhen und den Zeitaufwand deutlich reduzieren (Angulo-Fornos und Castellano-Román, 2020; Bruno und Roncella, 2019).

Scan-to-BIM spielt auch bei der Digitalisierung komplexer Geometrie eine wichtige Rolle. Das Erfassen von bestehenden Leitungsschemen, in großen Industriebauten, und ihre Digitalisierung ist ein aufwendiger Prozess und kann durch Scan-to-BIM beschleunigt werden. Abhängig von der gewählten Software ist dieser Prozess teilweise automatisierbar (Utica et

al., 2017).

Bereits bei der Aufnahme vom Laserscan muss auf eine möglichst gute Modellierbarkeit geachtet werden. Rodriguez et al. (2022) beschreiben fünf Regeln, die die Modellierbarkeit verbessern können. Unter anderem beschreiben Rodriguez et al. (2022) Regeln, wie die Wahl des passenden Scanners und der richtigen Scaneinstellung, der angemessenen Präzision, das Umgehen mit Öffnungen und das richtige Handling mit Reflexionen.

Bei der Modellierung auf Basis von Punktwolken bietet der Markt aktuell eine große Auswahl an Software. Das Angebot reicht von Programmen der Scanner-Hersteller (FARO® As-Built™ Software, Leica Cyclone) über spezielle Unternehmen für Scan-to-BIM Software (PointCab GmbH, © PointFuse® 2023.), bis hin zu großen CAD-Software Firmen, die passend zu ihrer BIM-Software ein Punktwolkentool entwickeln (ReCap® Pro von © 2023 Autodesk Inc.).

2.2 Identifizierte Workflows

In der Literatur werden nur in wenigen Fällen, wie in Rodríguez-Moreno et al. (2018), in die Scan-to-BIM Workflows direkt behandelt. Meist ist die gewählte Software nebensächlich und es wird der Fokus auf ein bestimmtes Projekt und deren Besonderheiten gelegt wie in Skrzypczak et al. (2022). Teils wird die verwendete Software nicht erwähnt, sondern nur mit Begriffen wie „CAD-Software“, „BIM-Software“ oder „Scan-to-BIM-Workflow“ umschrieben. Tommasi et al. (2016) geben einen Überblick über mögliche Workflows von der Punktwolkenbearbeitung bis zum BIM-Modell. Son et al. (2015) beschreiben mögliche Workflows mit dem Fokus auf die Modellierung von Leitungssystemen.

Mit der gemeinsamen Erwähnung von Programmen wird in dieser Arbeit auf mögliche Workflowkombination geschlossen. Kompatibilitäten der Programme wurden zusätzlich im Internet überprüft.

Die Austauschformate reichen von gängigen Punktwolkenformaten (.e57, .xyz, .las, .laz, ...), über gängige CAD- Formate (.dxf, .dwg, .rcp, ...) bis hin zu der direkten Verknüpfung durch Plugins (Calypso, PointCab 4, Faro As-Built, ...).

In Abb. 2.10 werden alle in der Literatur genannten Programme und daraus abgeleiteten Workflows visualisiert. Die Intensität der verbindenden Linien visualisiert die Häufigkeit der Software in unterschiedlichen Workflows. So wird Autodesk Revit in vielen verschiedenen Workflowkombinationen genannt und Graphisoft - Archicad in den wenigsten.

Bei der Überprüfung der Programm-Kompatibilitäten aus der Literatur im Internet, konnten weitere mögliche Workflows identifiziert werden.

So wurde unter anderem das Plugin „Scalypso“ auf die Kompatibilität von neun Programmen erweitert oder der Plugin „BIMm“ für Graphisoft Archicad entwickelt. Weitere BIM-Programme, Punktwolkenverarbeitungsprogramme und verbindende Plugins konnten ebenfalls identifiziert werden .

In Abb. 2.11 werden Workflows visualisiert, welche in der Kompatibilitätsüberprüfung der Literatur identifiziert wurden. Die Intensität der verbindenden Linien visualisiert die Häufigkeit der Software in unterschiedlichen Workflows. So werden Autodesk Revit und Graphisoft Archicad in den meisten Workflowkombinationen genannt und Bentley Microstation in den wenigsten.

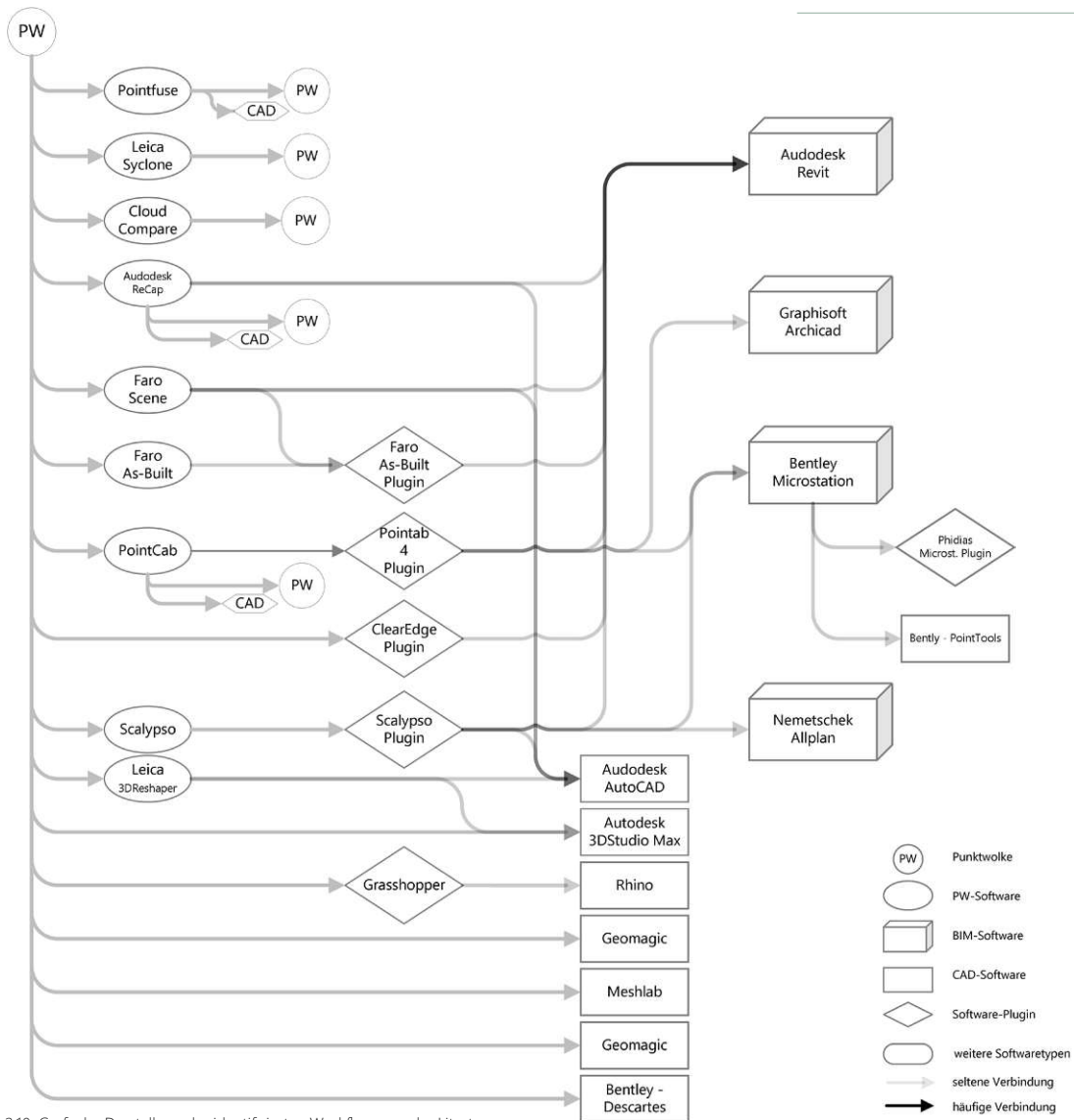


Abb. 2.10: Grafische Darstellung der identifizierten Workflows aus der Literatur.

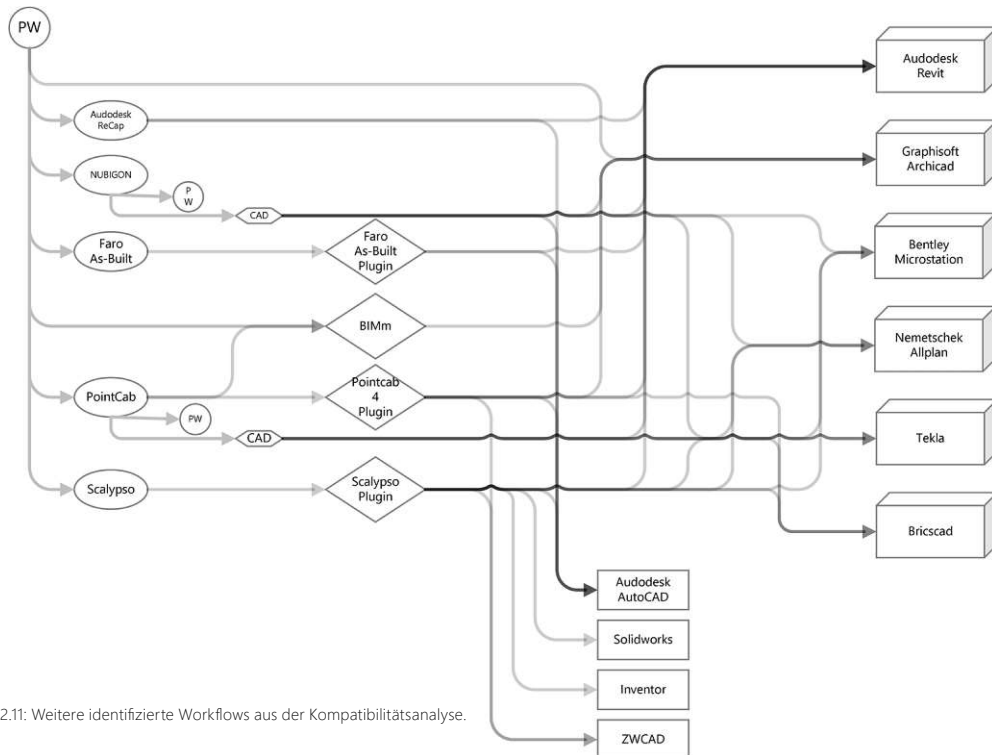


Abb. 2.11: Weitere identifizierte Workflows aus der Kompatibilitätsanalyse.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3 Fragebogen

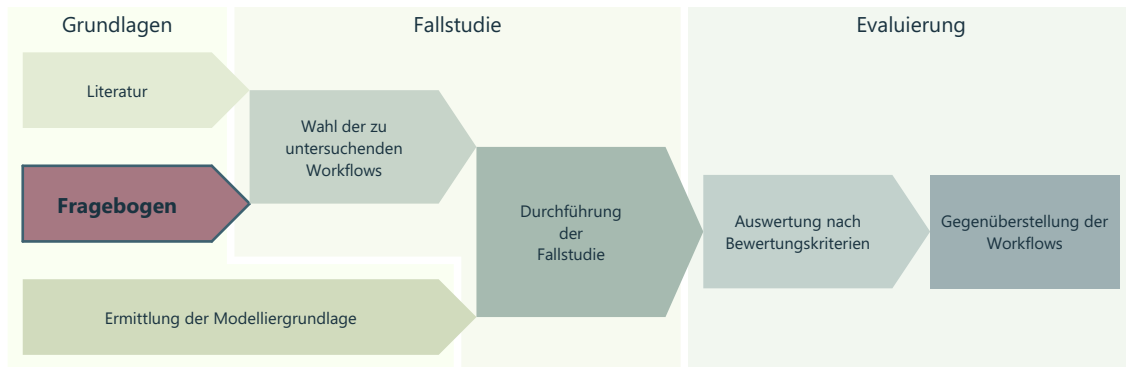


Abb. 3.1: Research-Design-Grafik - Grundlagen: Fragebogen

Ergänzend zur Literaturrecherche wurde für diese Arbeit eine Umfrage mittels Online-Fragebogen durchgeführt, um mehr über die tatsächlichen Workflows der Wirtschaft zu erfahren.

Der Fragebogen wurde an Personen geschickt, welche im Bereich Scan-to-BIM tätig sind. Dabei spielte die Spezialisierung keine Rolle, da alle Bereiche Aufschluss auf die Praxis bieten.

Es wurden sowohl Scan-to-BIM Unternehmen aus dem Internet, dem persönlichem Kontaktbereich in der Baubranche und Teilnehmer eines Workshops kontaktiert. Letzterer wurde im Zuge des FFG-Forschungsprojektes LargeClouds2BIM durchgeführt. So konnte eine große Bandbreite der Beteiligten im Bereich Scan-to-BIM abgedeckt werden. Die Fragebögen wurden auf Grund von Datenschutz anonymisiert. Die einzelnen ausgefüllten Fragebögen sind im Anhang zu finden.

Es wurden offenen und geschlossenen Fragen gestellt. Die Fragen wurden so gestellt, dass sie den kompletten Workflow von der Aufnahme der Scans über die Registrierung und Modellierung bis hin zum Export des fertigen BIM abdecken.

Workflowspezifische Fragen sollten Aufschluss auf die Stärken und Schwächen der Workflows bieten. Dazu wurden folgende Fragen gestellt:

- Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?
- Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?
- Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?
- Wie funktioniert die Absprache?
- In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?
- Mit welcher Software wird gearbeitet?
- Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?

Zusätzlich zu den workflowspezifischen Fragen wurden Umfeldfragen gestellt, um weitere Informationen zu den betriebsinternen Abläufen zu erhalten:

- Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung
- Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?
- Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?
- Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?
- Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?
- Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?
- Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?
- Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung
- Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?
- Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM.

3.1 Identifizierte Workflows

Da sich aus dem Fragebogen kein standardisierter Workflow ableiten lässt (siehe Anhang), wurde der Fokus zur Auswertung auf die verwendeten Programme gelegt.

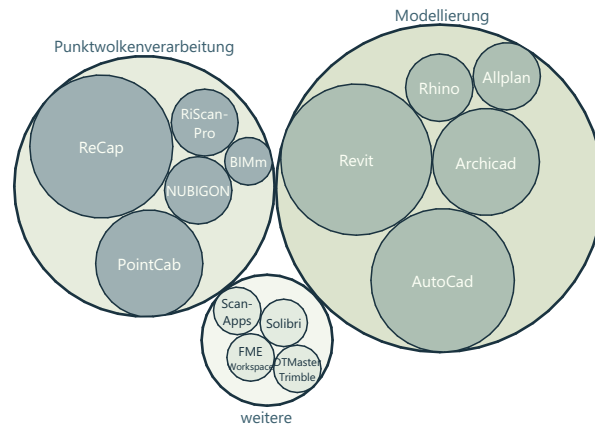


Abb. 3.2: Verteilung der verwendeten Programme (aus dem Fragebogen)

Aus den verwendeten Programmen wurde, wie in Kapitel 2.2, für diese Arbeit auf mögliche Workflows geschlossen. In Abb. 3.2 wird die Häufigkeit der verwendeten Programme gegenübergestellt.

In Abb. 3.3 werden die durch den Fragebogen erhaltenen Workflows visualisiert. Die Intensität der verbindenden Linien visualisiert die Häufigkeit der Software in unterschiedlichen Workflows. So werden Autodesk Revit und Graphisoft Archicad vermehrt in Workflowkombinationen genannt und Nemetschek Allplan in weniger.

Zusätzlich zu PC-basierten Programmen wurden im Fragebogen auch Scan-Apps erwähnt, welche als kostengünstige Alternative zu den teuren Laserscannern genannt wurden. Die genannten Workflows bestätigen zu großen Teilen die Workflows der Literaturrecherche (Kapitel 2.2).

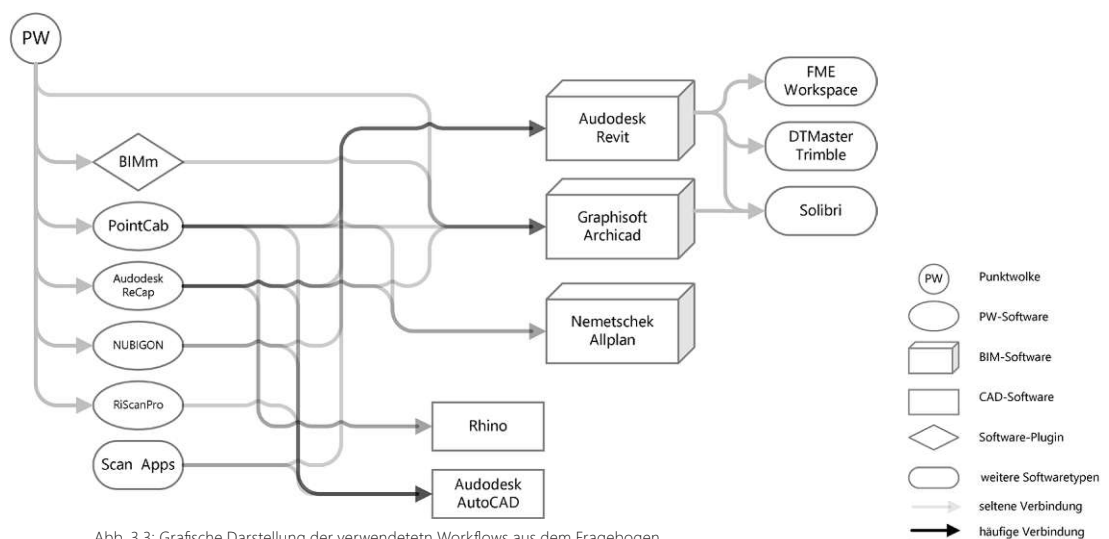


Abb. 3.3: Grafische Darstellung der verwendeten Workflows aus dem Fragebogen

3.2 Weitere Erkenntnisse des Fragebogens

Die weiteren Erkenntnisse des Fragebogens beziehen sich auf Antworten der Befragten auf die Umfeldfragen.

93 % der befragten Betriebe bieten BIM-Modellierung an. Das Aufnehmen der Punktwolke (Scan) wird von 64 % der befragten Betriebe angeboten. 50 % bieten den gesamten Scan-to-BIM Workflow an. Rund 80 % können sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken. Ausgehend aus dem Fragebogen liegt der Hauptanwendungsfall von Scan-to-BIM mit 86 % im Bereich des Umbaus.

Im Zusammenhang mit den Vorteilen für das Unternehmen wurden Schlagworte wie schnelleres Arbeiten / Zeitersparnis, sauberes Arbeiten, unkompliziertes Arbeiten, Nachvollziehbarkeit, genaueres Aufmaß, umsatzsteigerndes Geschäftsfeld genannt.

64 % beschrieben ihre Einschulung mit „learning by doing“. Nur sieben % der Befragten erhielten eine Einschulung in den Workflow durch externe Schulungsunternehmen.

Das Arbeiten der Befragten im Scan-to-BIM Bereich reicht von einzelnen Scan-to-BIM Modelliererfahrung bis hin zu einer Expertise mit Punktwolken von 23 Jahren.

79 % sehen Optimierungsbedarf im Arbeiten mit Scan-to-BIM, vor allem im Bereich der Einschulungen und der Automatisierung von Arbeitsschritten.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4 Ermittlung der Modelliergrundlage

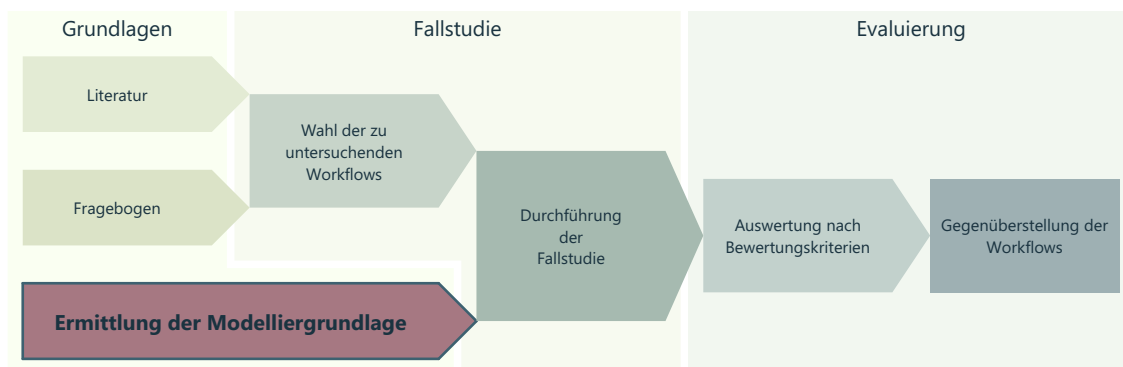


Abb. 4.1: Research-Design-Graphik - Grundlagen: Ermittlung der Punktwolken-Modelliergrundlage

In diesem Kapitel wird die passende Basis für die Fallstudienmodellierung gewählt. Hierfür werden drei Scanmethoden miteinander verglichen (Abb. 4.2).

Zu den Scanmethoden zählen ein TLS-Laserscanner ein Mobiler-Laserscanner (SLAM) und ein LiDAR-Laserscanner verbaut in einem Tablet (siehe 2.1.1).

Erst werden die SLAM- und die LiDAR-Punktwolke miteinander verglichen und weiters die SLAM- und die terrestrische-Punktwolke.

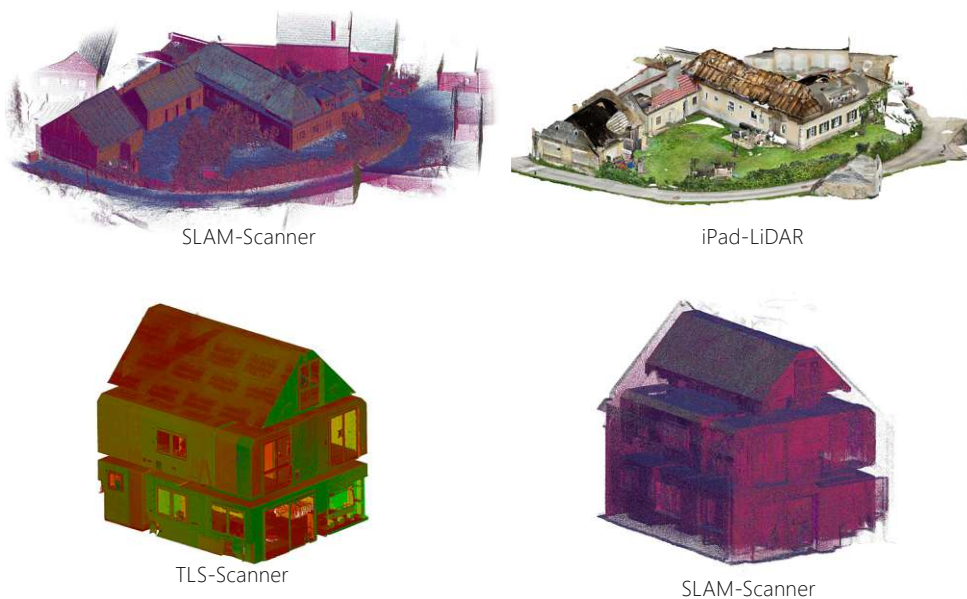


Abb. 4.2: Punktwolken unterschiedlicher Scanmethoden

4.1 SLAM - LiDAR Punktwolke

Die SLAM-Punktwolke wurde mit einem mobilen Laserscanner aufgenommen und besteht aus gesamt elf Einzelscans, welche zueinander referenziert sind. Die Größe der Datei liegt bei ca. 2,31GB und beinhaltet ungefähr 130'260'000 Punkte.



Abb. 4.3: Visualisierung einer SLAM-Punktwolke (GeoSlam-ZEBRevoRT)

Die LiDAR-Punktwolke wurde mit einem LiDAR-Scanner aufgenommen, welcher in einem Tablet verbaut wurde. Die Punktwolke besteht aus gesamt 77 Einzelscans, welche manuell zueinander ausgerichtet wurden. Die Größe der Datei liegt bei ca. 2,62 GB und beinhaltet ungefähr 142'091'000 Punkte.



Abb. 4.4: Visualisierung einer LiDAR-Punktwolke (iPadPro)

Bereits bei der manuellen Ausrichtung zeigte sich, dass die einzelnen Scanaufnahmen voneinander abweichen, weswegen eine korrekte Ausrichtung nicht möglich war. Eine grobe Ausrichtung für Visualisierung konnte jedoch durchgeführt werden.

Vergleich:

Um die Potenziale der LiDAR-Scans eines Tablets zu zeigen, wurde für dein Vergleich ein Einzelscan herangezogen und mit dem SLAM-Abbild verglichen. Der Vergleich wurde anhand eines einzelnen Raumes durchgeführt. Die isolierte Darstellung des Raumes erlaubt einen direkten Vergleich.

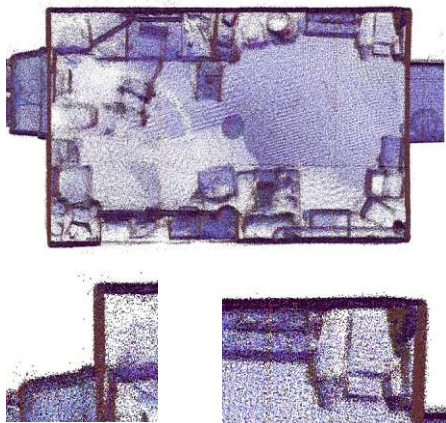


Abb. 4.5: Grundriss eines Raumes (SLAM-Punktwolke)

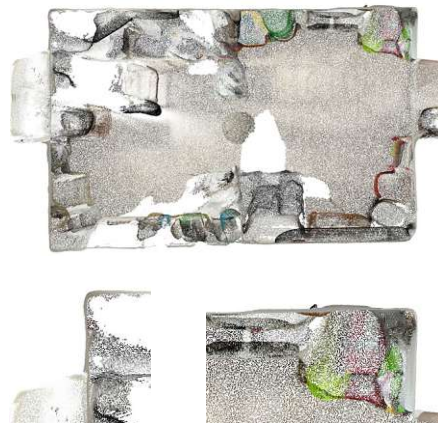


Abb. 4.6: Grundriss eines Raumes (LiDAR-Punktwolke)

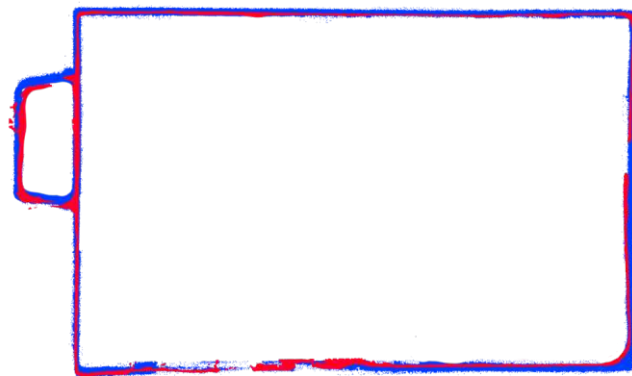


Abb. 4.7: Vergleich von LiDAR (rot) und SLAM-Punktwolke (blau)

Der Vergleich zeigt, dass die LiDAR-Aufnahme mit dem Tablet eindeutige Mängel aufweist. Die Abrundung von Ecken als auch die wellige Darstellung einer geraden Wand kann bei der BIM-Modellierung Nachteile bringen. Zudem zeigt Abb. 4.7, dass die Aufnahme mit dem Tablet (rot) etwas kleiner ist als der SLAM-Scan (blau).

Der integrierte LiDAR-Scanner in Tablets hat zwar Potential für eine akkurate BIM-Modellierung weist dieser, jedoch noch zu viele Mängel auf.

4.2 Vergleich terrestrisch / SLAM

Die terrestrische Punktwolke wurde mit einem TLS-Laserscanner aufgenommen und besteht aus gesamt 13 Einzelscans, welche zueinander referenziert sind. Die Größe des Datensatzes liegt bei ca. 10,6 GB und beinhaltet ungefähr 580'900'000 Punkte. Der Scan bildet nur den Innenraum des Objektes ab.

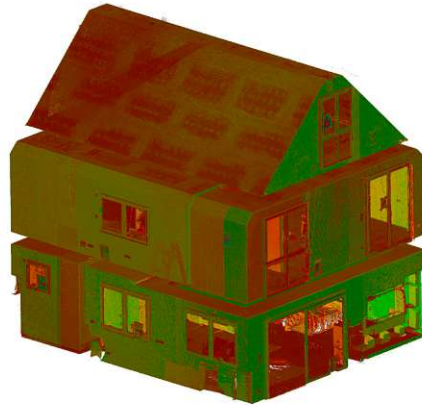


Abb. 4.8: Punktwolke eines Einfamilienhauses (TLS-Scanner)

Die SLAM-Punktwolke wurde mit einem mobilen Laserscanner aufgenommen und besteht aus zwei Scans, welche in einer Vorverarbeitung zusammengeführt wurden. Die Größe der Datei liegt bei ca. 554 MB und beinhaltet ungefähr 34'685'000 Punkte. Der Scan bildet sowohl den Innenraum als auch Teile der Fassade ab.

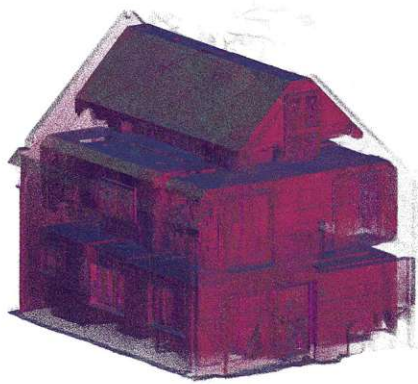


Abb. 4.9: Punktwolke eines Einfamilienhauses (SLAM-Scanner)

Für den Vergleich der beiden Punktwolken (terrestrisch und SLAM) wurde aus beiden Punktwolken eine Horizontalschnitt hergestellt und das Rauschverhalten verglichen (Abb. 4.10, Abb. 4.11, Abb. 4.12). Die Horizontalschnitte haben eine Schnitttiefe von ca. 70 cm. Die beiden Scans wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen. Beim Scan der terrestrischen Aufnahme war das Objekt unmöbliert, wobei zum Zeitpunkt der SLAM-Aufnahme das Objekt bereits möbliert war. Daher wurde für den Vergleich eine unverstellte Wand herangezogen.

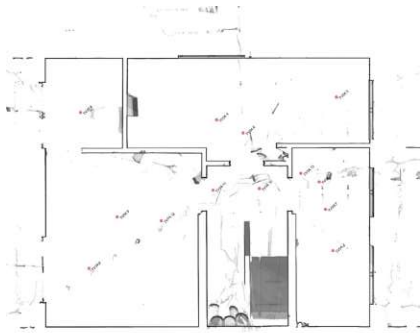


Abb. 4.10: TLS-Punktwolke im Grundriss

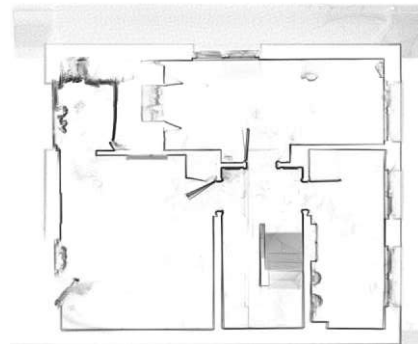


Abb. 4.11: SLAM-Punktwolke im Grundriss

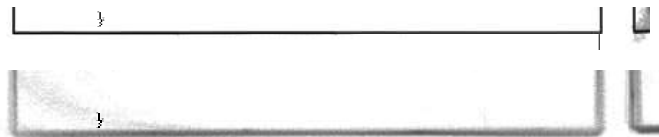


Abb. 4.12: Vergleich des Rauschverhaltens von TLS-(oben) und SLAM-Punktwolken (unten)



Abb. 4.13: Vergleich des Rauschverhaltens von TLS- (links) und SLAM-Punktwolken (rechts)

Werden die beiden Schnitte im Detail miteinander verglichen zeigt sich, dass der terrestrische Scan ein deutlich geringeres Rauschverhalten aufweist. Der terrestrische Scan weist ein Rauschen von etwa 3 cm auf, wobei der SLAM-Scan ein Rauschen von 5-8 cm aufweist (Abb. 4.13).

Bei der modellierung von BIM-Modellen kann ein geringeres Rauschverhalten die Genauigkeit der Modellierung erhöhen.

Um die Vergleichbarkeit in der Bewertungskategorie „Abweichung“ zu steigern, wurde für diese Arbeit ein terrestrischer Scan als Basis für die Fallstudienmodellierung herangezogen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5 Vergleichende Studie (Workflows)

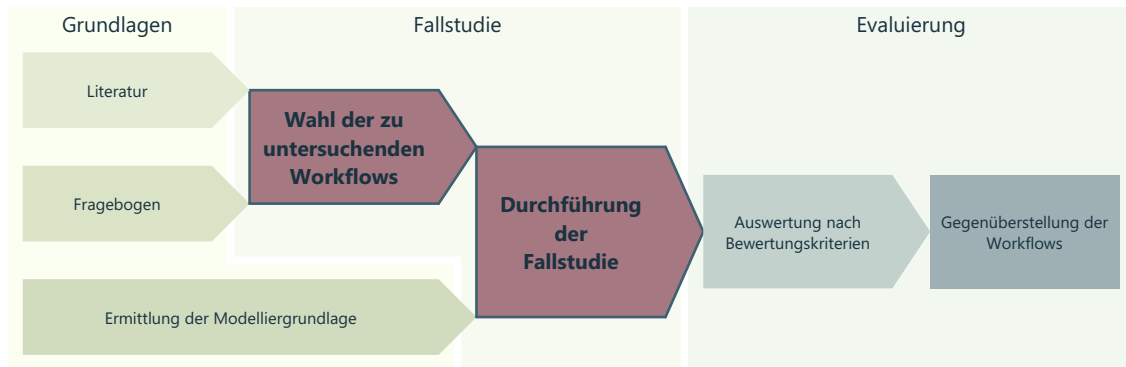


Abb. 5.1: Research-Design-Graphik - Fallstudie: Wahl der Workflows und Durchführung der Fallstudie

Bei der Auswahl, der zu untersuchenden Workflows, wurde darauf geachtet, dass unterschiedliche Methoden der möglichen Workflows abgedeckt werden. So sollten sowohl der direkte Import in die BIM-Software, der Import mittels Plugins in der BIM-Software, die Verknüpfung von Programmen mittels Plugins, die Reduktion der Punktwolke zu Polylinien und die Reduktion der Punktwolke in eine Bilddatei (.jpg/.dxf) in der Fallstudie enthalten sein. Zudem sollten sowohl die open- als auch closed- BIM-Umgebung in der Fallstudie vertreten sein.

Für die Fallstudie folgende Workflows ausgewählt:

- Archicad – (Direkter Import) (siehe Kapitel. 4.2)
- Revit - ReCap (siehe Kapitel. 4.3)
- Archicad - NUBIGON (siehe Kapitel. 4.4)
- Revit - NUBIGON (siehe Kapitel. 4.5)
- Archicad - PointCab – (siehe Kapitel. 4.6)
- Archicad – BIMm (siehe Kapitel. 4.1.7)
- Archicad - PointCab – BIMm – (siehe Kapitel. 4.8)
- Revit - PointCab –PC4R (siehe Kapitel. 4.9)

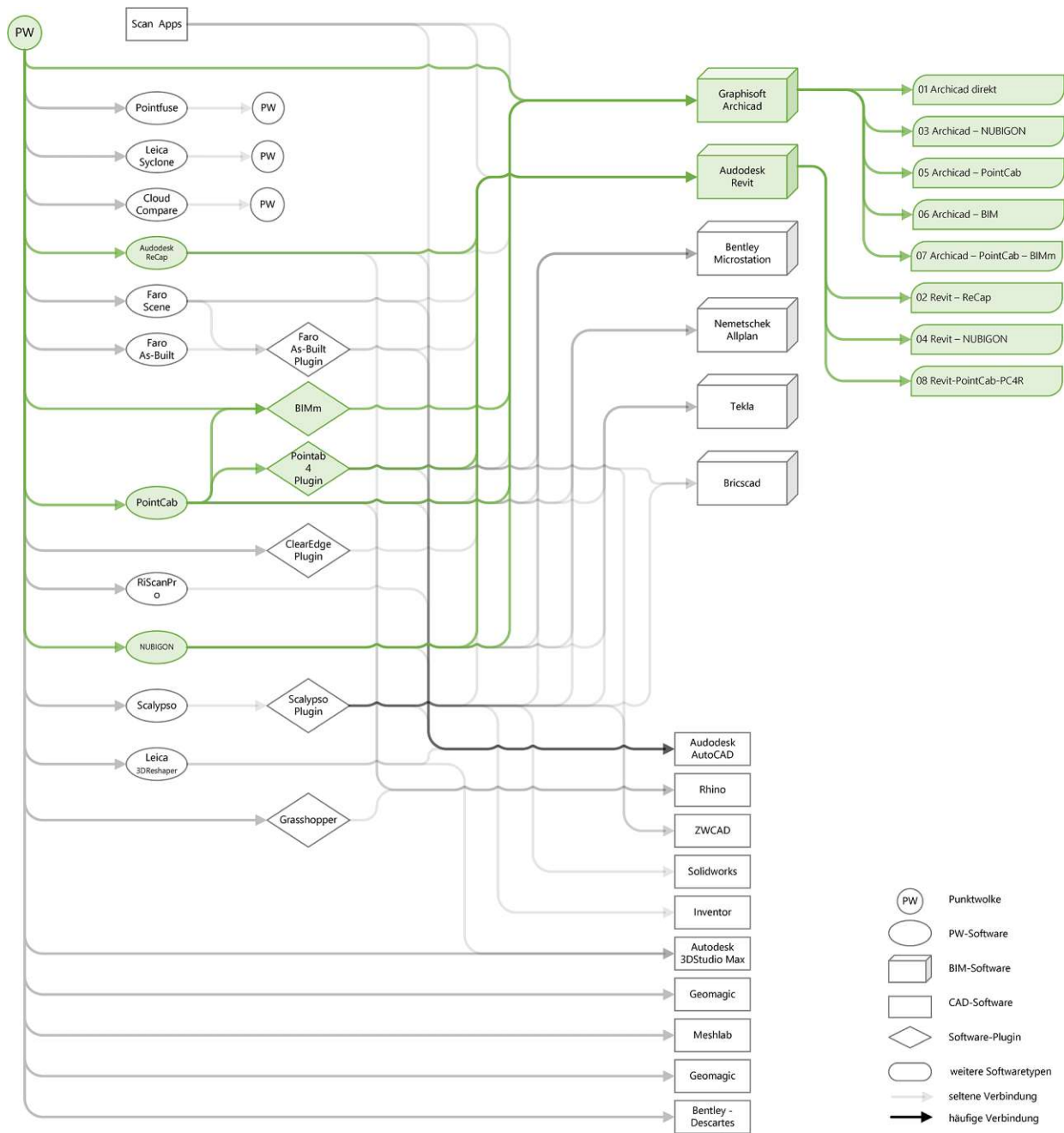


Abb. 5.2: Gesamtübersicht über die identifizierten Workflows, und die für die Fallstudie ausgewählten Workflows (grün).

Abb. 5.2 zeigt alle identifizierten Workflows aus der Literaturrecherche und dem Fragebogen visuell aufbereitet. Die unterschiedlichen Formen beschreiben unterschiedliche Software-Schwerpunkte. Die verbindenden Linien visualisieren eine mögliche Kombination. Je dunkler die verbindende Linie dargestellt ist, desto mehr Kombinationsmöglichkeiten bietet dieser Workflow. In Grün wurden alle Workflows dargestellt, die für die Fallstudie ausgewählt wurden.

Für die Untersuchung wurden folgende Programme verwendet:

- Autodesk Revit 2021 / 2022
- Autodesk ReCap V.7.0
- Graphisoft Archicad 24 /25
- Rhino 7
- PointCab Origins 3.9 R8 / 4.0 R6
- PointCab 4Revit 1.5
- BIMmTool 25.03.R00 / 25.01.R01 / 25.01.R01
- NUBIGON 4.9.1

Als Vergleichsobjekt für die Fallstudie wurde ein Einfamilienhaus gewählt. Zum Zeitpunkt des Punktwolkenscans befand sich das Haus im Rohbau, welcher mit Fenstern und Türen geschlossen wurde. Das Haus besteht aus einem Erdgeschoss, einem Obergeschoss und einem Dachgeschoss mit einer Gesamtfläche von ca. 156 m². Im EG befinden sich neben einem offenen Wohn-Essbereich ein Vorzimmer, ein Badezimmer und einem Abstellraum welcher zudem als Technikraum dient. Im Obergeschoss befinden sich ein Badezimmer und zwei Schlafzimmer. Das Dachgeschoss besteht aus einem großen Raum, welcher durch die Dachschrägen geschnitten wird.

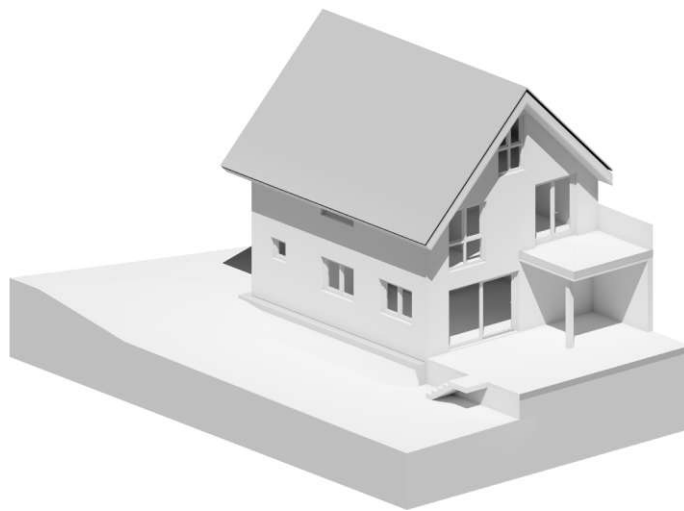


Abb. 5.3: 3D-Modell des Vergleichobjektes (Einfamilienhaus)

Für eine möglichst gute Vergleichbarkeit werden die Wände, Decken, Fenster, Türen und das Dach modelliert. Auf die Modellierung der Treppen wird verzichtet. Der Aufwand und die Qualität der Treppe stehen in Abhängigkeit vom Programm sowie den Kenntnissen der Modellierer*innen und sind somit für die späterer Evaluierung in dieser Arbeit nicht relevant.

Die Basis für die Modellierung ist eine terrestrische Punktwolke Abb. 5.4. Sie besteht aus einem unbereinigten Punktwolkensatz aus 14 zueinander referenzierten Einzeldateien im Format .e57. Der Datensatz besitzt keine Farbinformationen und bildet nur den Innenraum des Hauses ab.

Zusätzlich steht der Einreichplan des Hauses zur Verfügung. Aus diesem wurden die Außenwand-, Fundament- und Dachaufbau entnommen. Zudem wurden die Materialinformationen für die Innenwände und Decken entnommen. Maße wurden bei der Modellierung nicht verwendet.

Um eine Referenz für die Auswertung zu erhalten, wurde vorab eine Modellierung auf Basis des Einreichplanes durchgeführt. Diese Modellierung wurde sowohl in Archicad als auch in Revit durchgeführt. Diese dient bei der Evaluierung als Bezugspunkt zu Auswertung der Abweichungen.



Abb. 5.4: Terrestrische Punktwolke als Basis für die Fallstudie.

5.1 Referenzmodelle vom Einreichplan

In diesem Workflow werden die Referenzmodelle für die Evaluierung in Archicad (Abb. 5.6) und Revit (Abb. 5.7) beschrieben.

Die Referenzmodelle des Einfamilienhauses wurden sowohl in Graphisoft Archicad (open BIM) als auch in Autodesk Revit (closed BIM) modelliert.

Die Modellierung wurden auf Basis der Maßketten des Einreichplanes (Abb. 5.5) durchgeführt. Diese modellierten Modelle bietet in weiterer Folge die Vergleichsgrundlage der Evaluierung.



Abb. 5.5: Einreichplan des Einfamilienhauses für die Referenzmodelle.



Abb. 5.6: 3D-Modell des Referenzmodelles (Archicad).

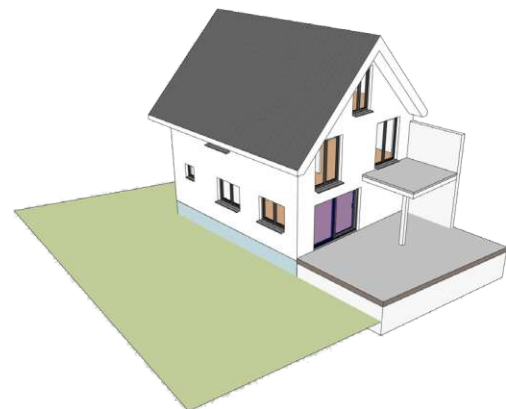


Abb. 5.7: 3D-Modell des Referenzmodelles (Revit).

5.2 01 - Archicad direkt

In diesem Workflow wurde der direkte Import einer Punktwolke in Archicad und die BIM-Modellierung untersucht.

Die Basisdaten wurden direkt in Archicad importiert. Der Import erfolgte über die Interoperabilitätsfunktion (Ablage -> Interoperabilität -> Punktwolke importieren). Die Dateien wurden beim Import in Objekte umgewandelt und in die Objektbibliothek eingebettet. Die Platzierung der Punktwolken erfolgte automatisch.

Die importierten Punktwolken enthalten keine Farbinformation und wurden in Archicad schwarz dargestellt. Im 3D-Ansichtsfenster wurde eine schwarze Silhouette des Hauses abgebildet (Abb. 5.8). Im Grundriss wurde ebenfalls eine schwarze Silhouette abgebildet. Beim Heranzoomen an die Punktwolke löste sich die schwarze Silhouette etwas auf, die einzelnen Punkte wurden sichtbar und erleichterten die Orientierung (Abb. 5.9).



Abb. 5.8: Ansicht des Punktwolke in Archicad (3D)

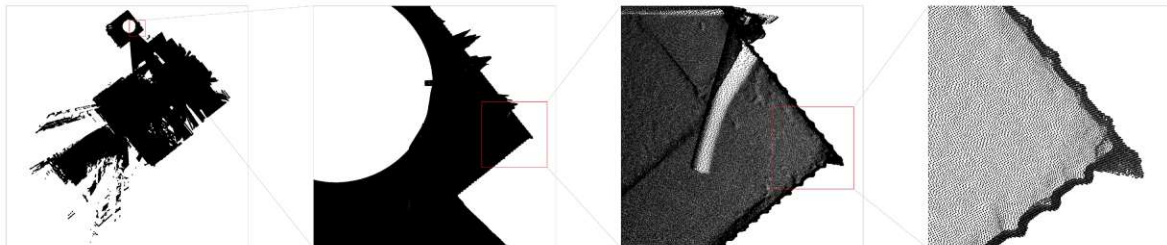


Abb. 5.9: Ansicht der Punktwolke im Grundriss (Schrittweiser Zoom).

Bei näherer Betrachtung der Punktwolken in den verschiedenen Ebenen wird sichtbar, dass die Einzeldateien einen Versatz zueinander aufweisen (Abb. 5.10).

Auf Grund von fehlerhafter Ausrichtung beim automatischen Import (Abb. 5.10) und der drastischen Leistungsabnahme von Archicad wurde die Untersuchung dieses Workflows abgebrochen.

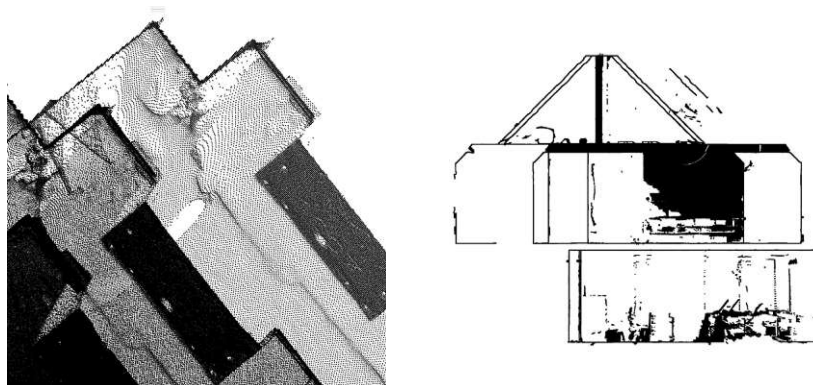


Abb. 5.10: Versatz der Punktwolken-Einzeldateien Grundriss (links) und Schnitte (rechts)

5.3 02 - Revit - ReCap

In diesem Workflow wird das Zusammenspiel zwischen ReCap und Revit untersucht. ReCap wird für die Visualisierung und der groben Säuberung der Punktwolke verwendet. Der Import der Punktwolke in Revit verläuft über ein eigenes Datenformat (.rcp). In Revit wird die BIM-Modellierung durchgeführt.

5.3.1 ReCap pro

In ReCap wurde die Punktwolke visualisiert und für den Import in Revit vorbereitet. Der Basisdatensatz wurde in ReCap geladen und indiziert. Dabei wurden die 14 Einzeldateien richtig zueinander verortet. Um die spätere Modellierung in Revit zu erleichtern, wurde die Punktwolke grob gesäubert (Abb. 5.11). Zudem wurde der Ursprung des Datensatzes neu definiert. Die Drehung wurde nicht korrigiert. Die Punktwolke wurde als „vereinheitlichtes RCP“ exportiert. Diese vereinigt alle Scandateien und sorgt für höhere Performance in der weiteren Modellierung.

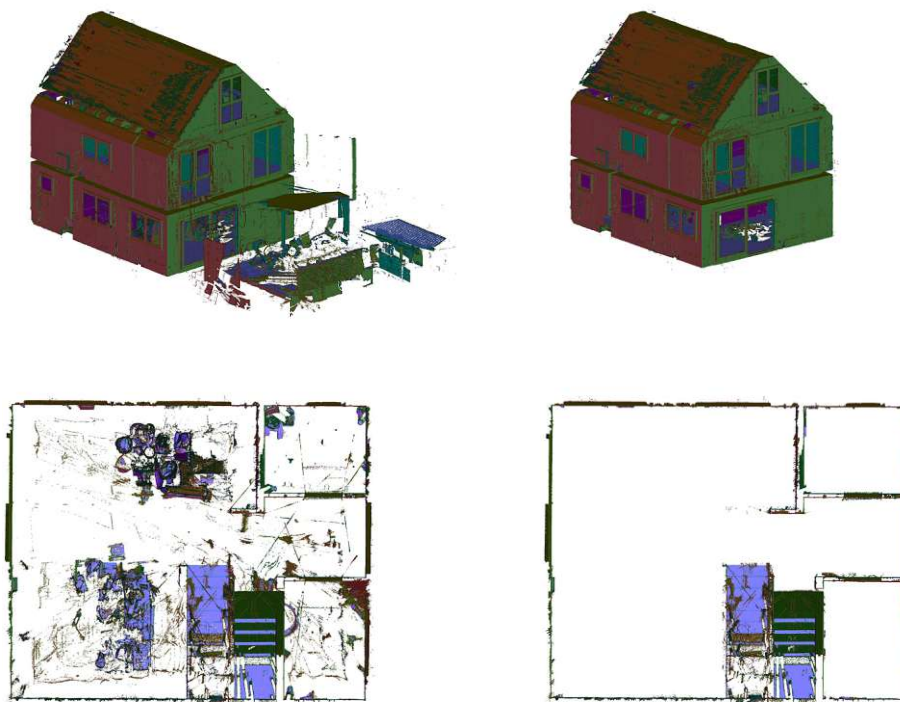


Abb. 5.11: Darstellung der Modellierbasis in ReCap vor (links) und nach (Rechts) der Bereinigung von störenden Punkten.

5.3.2 REVIT

Die in ReCap erstellte .rcp Datei wurde in Revit über den Punktwolkenimport (Einfügen-> Punktwolke) importiert und im Projektursprung platziert. Die Punktwolke ist in den Grundrissen, den Schnitten und in der 3D-Ansicht sichtbar (Abb. 5.12).

Als Vorbereitung für die Modellierung wurden die Modellierbereiche angepasst. Weiters wurde ein Schnitt erstellt, um die Punktwolke in Z-Achse passend auszurichten und die Geschosshöhen im Projekt einzustellen. Die Einstellung der Geschosshöhen erfolgte direkt im Schnitt mit dem Verziehen der Höhenkote an der Punktwolke.



Abb. 5.12: 3D Ansicht der Punktwolke in Revit

Außenwände: Die Modellierung des Hauses wurde mit den Außenwänden begonnen. Diese konnte auf Basis der importierten Punktwolke in einer Grundrissansicht (Abb. 5.13) durchgeführt werden. Da die Punktwolke nur die Innenkontur des Hauses abbildet wurde der Wandaufbau aus dem Einreichplan (EP) übernommen, an den Baufortschritt angepasst und ein passender Wand-Typ erstellt. Bei der Modellierung wurde die Basislinie auf „Tragende Schicht: innen“ gestellt. Nach der Modellierung der einzelnen Geschosse wurden die Außenwände miteinander verglichen und angepasst, um möglichst wenig Abweichungen zur Punktwolke zu erhalten (Abb. 5.13).

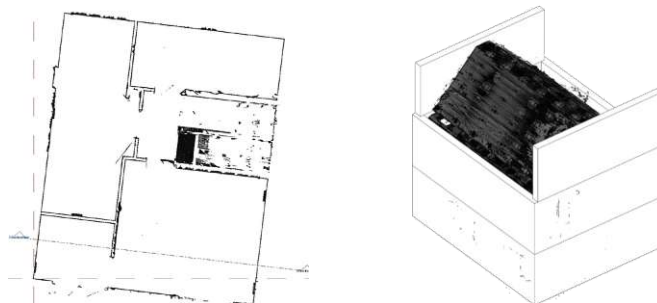


Abb. 5.13: Grundrissansicht der importierten Punktwolke (links) und die fertig angepassten Außenwände aller Geschosse (rechts)

Decken und Deckendurchbrüche: Im weiteren Schritt wurden die Decken und Deckendurchbrüche modelliert. Vor der Modellierung wurden die Deckenstärken im Schnitt gemessen, die Materialität über den EP ermittelt und der passende Decken-Typ erstellt. Die Modellierung selbst erfolgte in den Grundrissen. Um die Deckendurchbrüche im Bereich der Stiege definieren zu können, wurden die Schnittgrenzen für die Grundrissdarstellung im Ansichtsbereich so verändert, dass sie nur den Bereich der Decke abbilden (Abb. 5.14).



Abb. 5.14: Grundrissansicht nach dem Anpassen der Schnittgrenzen

Innenwände: Beim Modellieren der Innenwände wurde erst in den Grundrissen die Wandstärke gemessen und mit der Materialinformation aus dem EP auf Standardwandstärken geschlossen. Mit dem Deaktivieren aller Punktfänge wurden entlang der Punktwolke im Grundriss alle Innenwände in allen Geschossen modelliert (Abb. 5.15).

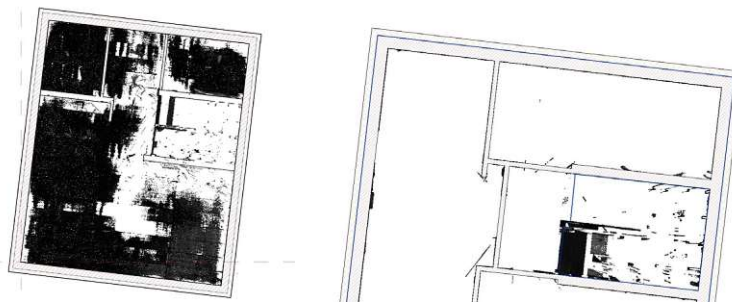


Abb. 5.15: Grundrissdarstellung der Punktwolke als Modellierbasis für die Innenwände (links) und die fertig Modellierten Innenwände (rechts)

Dach: Weiters wurde das Dach modelliert. Hierfür wurde vorab der Dachaufbau dem EP entnommen und ein Dach-Typ erstellt. Die Modellierung erfolgte in einem Schnitt (Abb. 5.16) mit der Modellieroption „Dach über Extrusion“. Hierbei wurde ein Pfad im Schnitt definiert, welcher als Extrusionsbasis für das Dach dient. Der Dachüberstand wurde hier symmetrisch ausgeführt, ist für die Evaluierung jedoch nicht relevant. Anschließend wurden die Wände mit dem Dach verschnitten (Abb. 5.17).

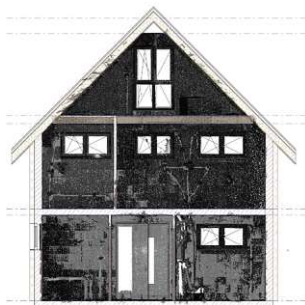


Abb. 5.16: Schnittbasis für die Modellierung des Daches.

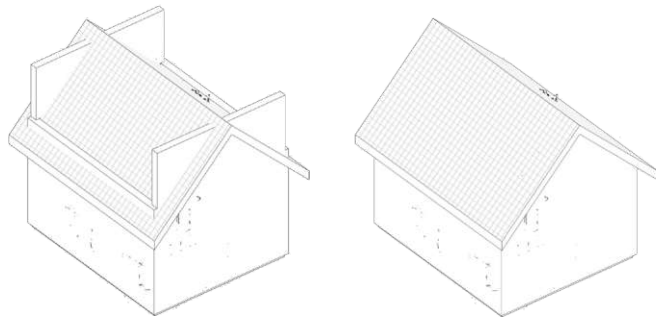


Abb. 5.17: Verschnidung der Außenwände mit dem Dach vor (li.) und nach (re.) der Verschnidung.

Öffnungen: Weiters folgten das Einsetzen und Anpassen von Fenster- und Türöffnungen. Hierfür wurden neue Schnitte mit passender Schnitttiefe erstellt, um eine frontale Ansicht der Fenster abzubilden. Mit dem Anpassen der Modell-Transparenzen in den Grafikdarstellungsoptionen wurden die Punktwolken sichtbar. Weiters wurden Standard-Fenster-Typen mit passender Teilung eingesetzt. Nach dem Messen der Fenster wurde der Fenster-Typ dupliziert und an die benötigten Maße angepasst. Bei den weiteren Fenstern wurden die bereits erstellten Fenster auf ähnliche Maße abgeglichen und gegebenenfalls neue Fenster-Typen erstellt.

Beim Einsetzen der Innentüren wurde berücksichtigt, dass auf Grund des Baufortschrittes nur die Rohbaulichkeiten der Innentüren abgebildet sind. Für diese Arbeit wurde von diesen auf Standard-Türbreiten geschlossen. Das Einsetzen der Innentüren erfolgte in jenen Grundrissen, welche bereits für die Modellierung der Innenwände verwendet wurden.

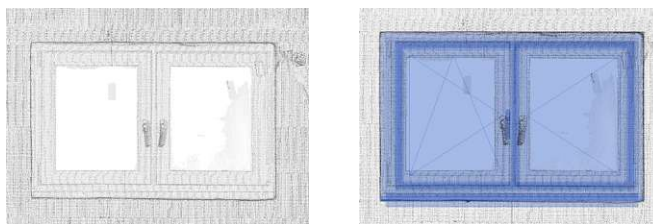


Abb. 5.18: Ansicht der Punktwolke im Bereich eines zu modellierenden Fensters vor (li.) und nach der Modellierung (re.)

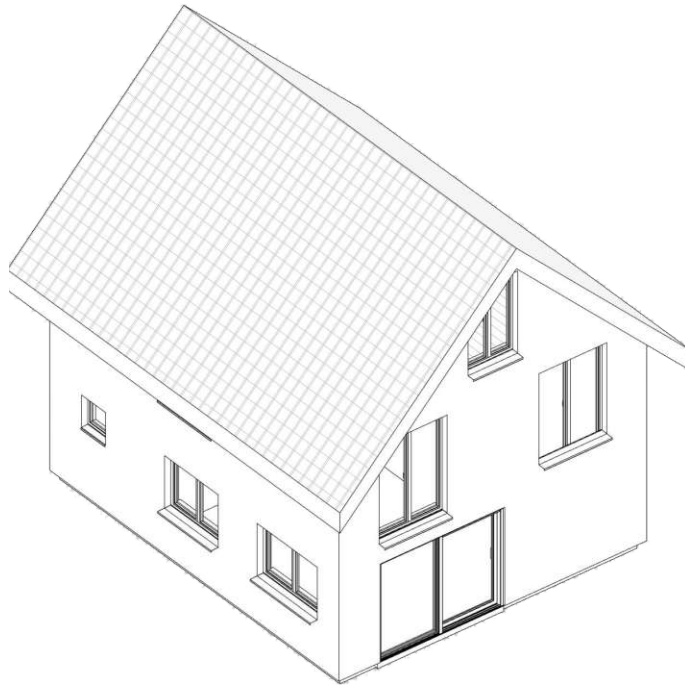


Abb. 5.19: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „02 - Revit - ReCap“



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.4 03 - Archicad - NUBIGON

In diesem Workflow wurde das Zusammenspiel zwischen NUBIGON und Archicad untersucht. NUBIGON wurde für die Visualisierung der Punktwolke und die Erstellung der Modelliergrundlagen verwendet. Zu den Modelliergrundlagen zählen horizontale und vertikale Schnitte die als Polylinien exportiert wurden. Die BIM-Modellierung wurde in Archicad auf Basis der Modelliergrundlagen durchgeführt.

5.4.1 NUBIGON

In NUBIGON wurde die Punktwolke visualisiert und zu einem Polyliniennetz vereinfacht. Die Modellierung findet in weiterer Folge in der gewünschten BIM-Software statt.

Der Basisdatensatz wurde in NUBIGON importiert und automatisch auf eine Ebene gebündelt. Abb. 5.20 zeigt die Punktwolke unbereinigt mit den umgebenen Scan-Störungen. Diese wurden nicht weiter beachtet, da sie vorerst keinen Einfluss auf die weiteren Schritte haben und gut von den relevanten Bereichen unterscheidbar sind.

Direkt nach dem Import wurde die Punktwolke analysiert und ein Konzept für die Schnittebenen erstellt. Es wurden zwei horizontale Schnitte pro Geschoss Abb. 5.21 und senkrechte Schnitte in X- und Y- Achse durch alle wichtigen Bereiche vorgesehen. Zu den wichtigen Bereichen zählen alle Fenster- und Türöffnungen, Treppen und Deckendurchbrüche. Die horizontalen Schnitte wurden auf ungefähr auf 30 cm und ungefähr 140 cm über RDOK. angesetzt. Ersterer wurden erstellt, um die Wandkonturen zu erhalten und um Türöffnungen abzubilden. Der Schnitt auf 140 cm Höhe wurde durch alle Fensteröffnungen gelegt.



Abb. 5.20: Unbereinigte Punktwolke in NUBIGON.

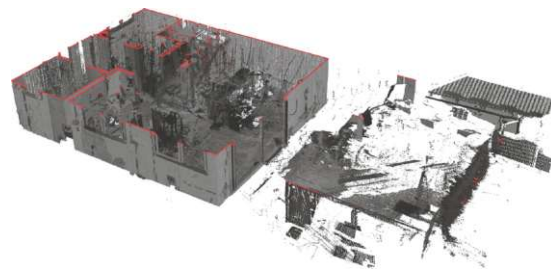


Abb. 5.21: Horizontalschnitt der Punktwolke im Erdgeschoss

Bei der Erstellung der XZ- und YZ-Schnitt musste die Drehung der Basisdatei berücksichtigt werden. Die senkrechten Schnitte in XZ- und YZ-Achse wurden somit um ungefähr sieben Grad gedreht. Die Schnitte wurden so gewählt, dass sie jede Öffnung im Haus durchschneiden. Ein Schnitt durch die Treppe bildet zudem den Deckendurchbruch im Bereich der Treppe ab.

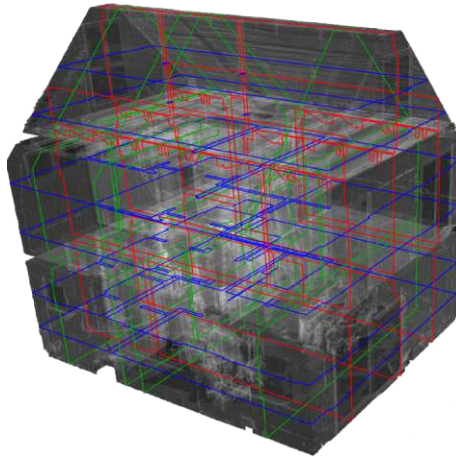


Abb. 5.22: Erstellte Schnittebenen in 3D überlagert mit der Punktwolke.

Die fertigen Schnittebenen dienen als Grundlage für die Polyliniennetze. Dafür wurde die gewünschte Schnittebene gewählt und zwischen einer orthogonalen und einer perspektivischen Ansicht gewechselt. Da es sich bei der Punktwolke um eine unbereinigte Punktwolke handelt, wurde vor dem Erstellen der Polylinien der gewünschte Pfad auf Störungen untersucht. Mit dem Polylinientool wurde die Schnittebene nachgezeichnet (Abb. 5.23). Für ein schnelleres Nachzeichnen wurde der Punktfang aktiviert. Alle Polylinien wurden direkt bei der Erstellung in eine passende Ebenenkombination eingepflegt (Abb. 5.24).



Abb. 5.23: Nachgezeichnete Schnittebene am Beispiel eines Grundrisses.



Abb. 5.24: Erstellte Ebenenkombination für einen strukturierten Export.

Ungenauigkeiten beim Nachzeichnen der Schnittebene wurden mit dem Optimierungstool von NUBIGON optimiert. Bei der Optimierung wurde die Polylinie schrittweise an die geschnittene Punktvolke durch die Schnittebene schrittweise angeglichen. Durch wiederholtes Optimieren wurde die Polylinie so weit angepasst, bis sie für die späterer Modellierung ausreichend war (Abb. 5.25). In einzelnen Fällen konnte das Optimierungstool nicht ausreichend optimieren, da die Wandkonturen von Fremdkörpern verdeckt oder von der Laser-Optik nicht abgelenkt wurden. In diesem Fall musste die Optimierung manuell durchgeführt werden.

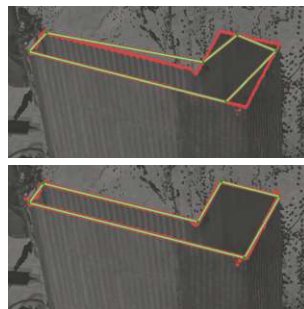


Abb. 5.25: Optimierung der Polylinien mittels NUBIGON Optimierungstool, vor (oben) und nach (unten) der Optimierung.

Beim Export des Polyliniennetzes zeigte sich die Relevanz der Ebenenkombination, denn diese wird von der BIM-Software direkt übernommen und erleichtert in weiterer Folge die Modellierung. Abb. 5.26 zeigt das zu exportierende Polyliniennetz. In Abb. 5.27 wird die Ebenenkombination in NUBIGON und deren übernommene Struktur in Archicad und Revit dargestellt.

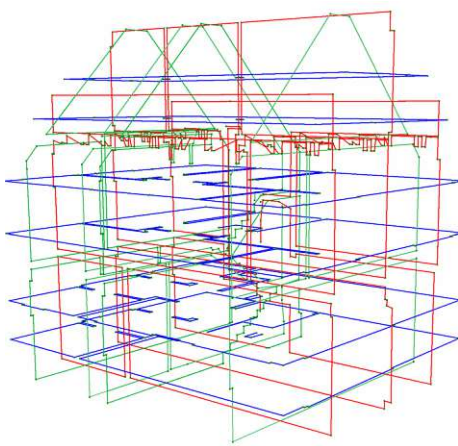


Abb. 5.26: Fertiges Polyliniennetz für die Modelliergrundlage.

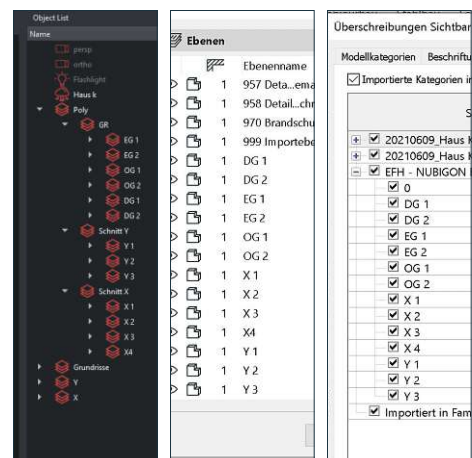


Abb. 5.27: Ebenenkombination in NUBIGON (links) und deren automatisch implementierte Ebenenstruktur in Archicad (mitte) und Revit (rechts).

5.4.2 Archicad

Die in NUBIGON erstellte 3D-dxf wurde in Archicad über die Interoperabilitätsfunktion (Ablage -> Interoperabilität -> Dazuladen) importiert und platziert. Die Ebenenstruktur aus NUBIGON wurde beim Import automatisch in die Archicad-Ebene implementiert. Im Grundriss wurden alle erstellen Polylinien dargestellt. Jedoch waren weder im 3D-Fenster noch in den Schnitten die Polylinien sichtbar. Um die fehlende Darstellung der XZ-YZ-Schnitte in Archicad zu umgehen, wurde ein Workaround mit Rhino durchgeführt. Bei diesem Workaround wurden die Schnitte in die XY- Achse gedreht und weiters in Archicad manuell platziert und ausgerichtet. Durch das in der Grundrissebene sichtbare Polylinien-netz konnten Schnitte für die manuelle Platzierung der Polylinien erstellt werden (Abb. 5.28). Nach der manuellen Ausrichtung aller Schnitte wurden die Geschosseinstellungen in Archicad angepasst und mit der Modellierung begonnen.

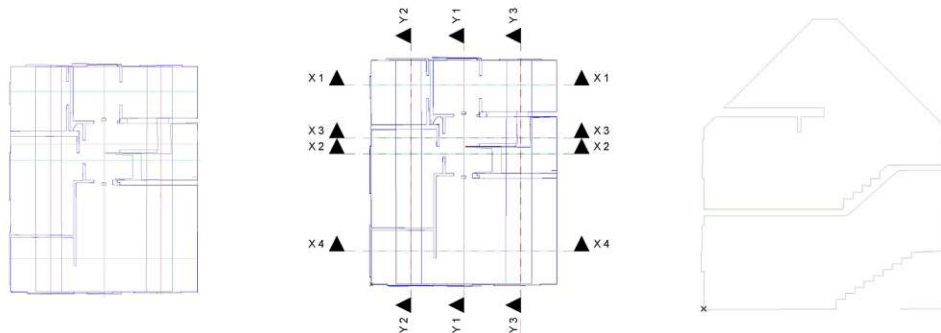


Abb. 5.28: Importiertes Polyliniennetz im Grundriss (links), das damit erstellte Schnittliniennetz in Archicad (Mitte) und eine Modelliergrundlage für einen Schnitt (rechts).

Außenwände: Im ersten Modellerschritt wurden die Außenwände des Erdgeschosses modelliert. Dabei wurde das Polyliniennetz aus NUBIGON genutzt, um mit den Fangfunktionen zu arbeiten (Abb. 5.29). Das Polyliniennetz bildet nur die Innenkonturen der Außenwände ab, somit wurde der Aufbau aus dem EP übernommen und beim Erstellen eines mehrschichtigen Bauteils an den Baufortschritt angepasst. Die Modellierung wurde entlang des Polyliniennetzes in den Grundrissen durchgeführt (Abb. 5.29). Nach der Modellierung der einzelnen Geschosse wurden die Außenwände miteinander verglichen und angepasst, um möglichst wenig Abweichungen zur Polylinie zu erhalten.

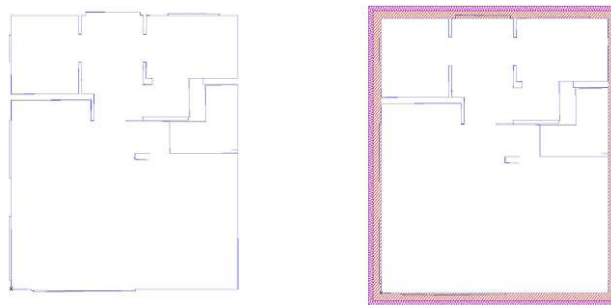


Abb. 5.29: Polylinien-Modelliergrundlage im Grundriss (links) und die fertig modellierten Außenwände im Grundriss.

Decken und Deckendurchbrüche: Im nächsten Schritt wurden die Decken und Deckendurchbrüche modelliert. Die Stärke der Rohdecken zwischen EG und OG sowie OG und DG konnte anhand der Polylinien im Schnitt gemessen werden. Nach dem Messen der Deckenstärke wurde mit Hilfe des EP mehrschichtige Bauteile erstellt und die Decken modelliert. Die Bodenplatte im EG wurde zur Gänze aus dem EP übernommen. Die Deckendurchbrüche im Bereich der Stiege wurde mit den Markierungen in den Schnitten angepasst (Abb. 5.30).

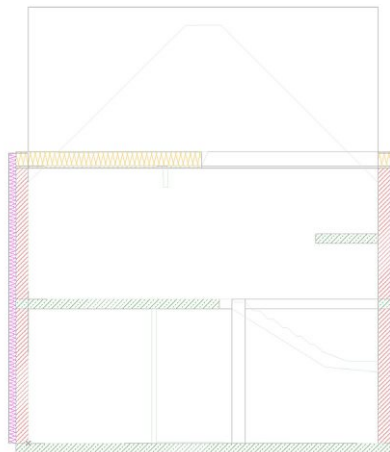


Abb. 5.30: Anpassung der Deckenstärken und Deckendurchbrüchen im Schnitt auf Basis des Polyliniennetzes.

Innenwände: Weiters wurden die Innenwände modelliert. Vor dem Modellieren wurden die Wandstärken in den Grundrissen gemessen und mit der Materialinformation aus dem EP auf Standardwandstärken geschlossen. In diesem Fall wurden 10 cm und 20 cm dicke Hohlziegelwände modelliert. Die Modellierung wurde in den Grundrissen mit Hilfe der Punktfänge entlang der Polylinien durchgeführt (Abb. 5.31).

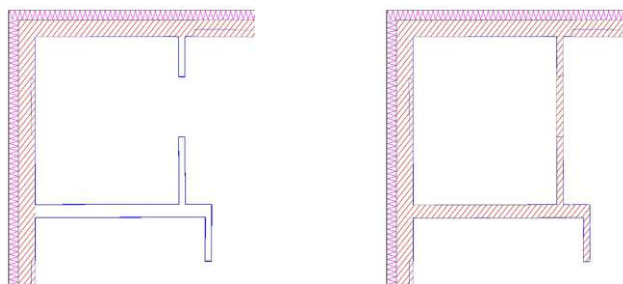


Abb. 5.31: Modellierung der Innenwände im Grundriss auf Basis der Polylinie mit Punktfängen, vor (links) vor und nach (rechts) nach der Modellierung.

Dach: Im nächsten Schritt wurde das Dach modelliert. Beim Modellieren des Daches wurde erst ein Schnitt geöffnet und die Dachneigung an der Polylinie gemessen: Die Neigung (45 Grad) wurde in das Dachflächen-Werkzeug von Archicad übertragen und im Grundriss auf die Grundfläche modelliert. Die richtige Höhe des Daches wurde in einem Schnitt angepasst (Abb. 5.32). Der Dachüberstand wurde aus dem Einreichplan übernommen, ist für die Evaluierung jedoch nicht relevant.

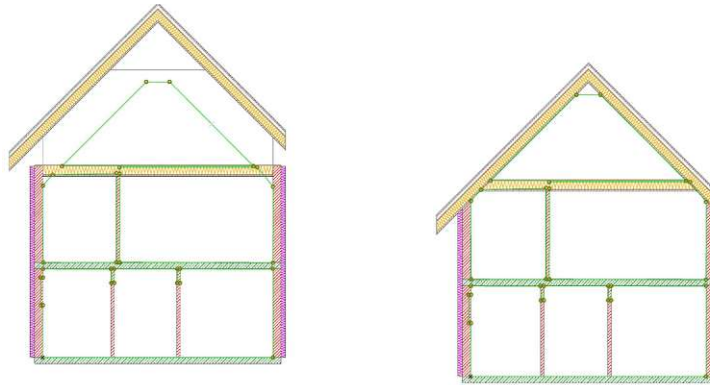


Abb. 5.32: Anpassung der richtigen Dachhöhe durch die Polylinie im Schnitt

Öffnungen: Im nächsten Schritt folgten das Einsetzen und Anpassen von Fenster- und Türöffnungen (Abb. 5.33). Hierfür wurden erst Fensterobjekte mit beliebigen Maßen platziert und im weiteren Arbeitsschritt in den Schnitten angepasst. Die Anpassung erfolgte mit einfachem Verziehen der Objekt-Knotenpunkte (Abb. 5.34). Nach der Fertigstellung aller Fenster wurden die Fenstermaße verglichen und ähnliche Fenstermaße angeglichen. Zum Zeitpunkt der Scanaufnahme waren noch keine Türstöcke verbaut, jedoch waren die Rohbauöffnung vorhanden. Für diese Arbeit wurde mit dem Messen der Rohbaulichte auf eine Standard-Türöffnung geschlossen. Nach der Platzierung der Türen wurden die Höhen im Schnitt angepasst und vereinheitlicht.

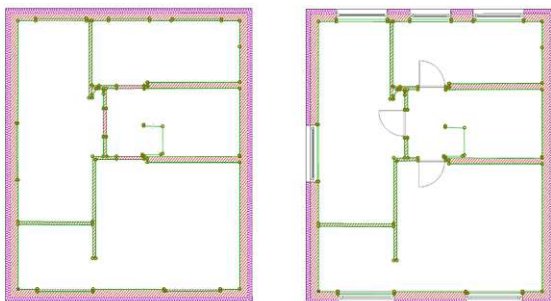


Abb. 5.33: Einsetzen und Anpassen der Öffnungen mit dem Polyliniengrundriss vor (links) und nach (rechts) den Anpassen.

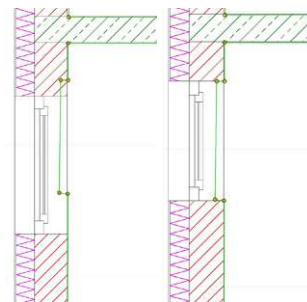


Abb. 5.34: Anpassung der Öffnungshöhen in einem Schnitt durch das Verziehen der Objektknoten, vor (links) und nach (rechts) der Anpassung.



Abb. 5.35: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „03 - Archicad - NUBIGON“



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.5 04 - Revit - NUBIGON

In diesem Workflow wurde das Zusammenspiel zwischen NUBIGON und Revit untersucht. NUBIGON wurde für die Visualisierung der Punktwolke und die Erstellung der Modelliergrundlagen verwendet. Als Modelliergrundlagen zählen horizontale und vertikale Schnitte, die als Polylinien exportiert werden. Die BIM-Modellierung wird in Revit auf Basis der Modelliergrundlagen durchgeführt.

5.5.1 NUBIGON

Die Vor- und Aufbereitung der Modelliergrundlagen wurden in NUBIGON durchgeführt und ist ident mit der Modelliergrundlage des Archicad / NUBIGON Workflow (siehe: 4.4.1).

5.5.2 REVIT

Die in NUBIGON erstellte 3D-dxf wurde in Revit über die CAD-Verknüpfung (Einfügen-> CAD-verknüpfung) importiert und platziert. Das Polyliniennetz ist in den Grundrissen, den Schnitten und in der 3D-Ansicht sichtbar (Abb. 5.36). Die in NUBIGON erstellte Ebenenstruktur wurde beim Import automatisch in die importierten Modellkategorien implementiert. Als Vorbereitung für die Modellierung wurden als erstes die Modellierbereiche angepasst.

Weiters wurde ein Schnitt erstellt, um das Polyliniennetz auszurichten und die Geschosshöhen im Projekt einzustellen. Die Einstellung der Höhen erfolgte direkt im Schnitt mit dem Verziehen der Höhenkote an die Polylinie. Nach dem Ausrichten wurde im Grundriss ein Schnittraster angelegt. Dieses wurde entlang der im Grundriss sichtbaren X- und Y- Schnittebenen erstellt. Die Benennung der Schnitte entspricht jener aus NUBIGON.

Im weiteren Schritt wurde in jedem Schnitt und in jeder Geschossebene eine Überschreibung der Sichtbarkeit durchgeführt. Hier wurde eingestellt, dass nur jene Polylinie sichtbar ist welche die Geometrie an dieser Stelle zeigt (Abb. 5.36).

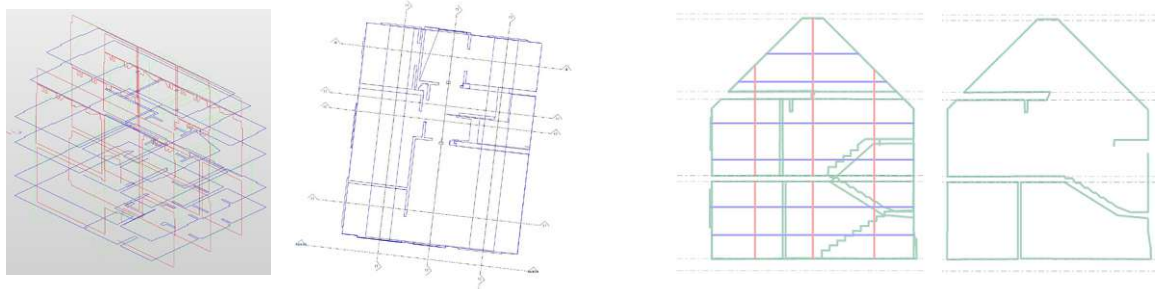


Abb. 5.36: Darstellung des Polyliniennetzes in Revit (vlnr) in einer 3D-Ansicht, dem Grundriss, einem Schnitt ohne Schnitttiefebengrenzung und einem Lokalen Schnitt.

Außenwände: Im ersten Modellerschritt wurden die Außenwände mit Hilfe der Polylinien und dem Punktfang modelliert. Die Polylinien bilden nur die Innenkontur des Hauses ab. Somit wurde der Wandaufbau aus dem Einreichplan (EP) übernommen, an den Baufortschritt angepasst und ein passender Wand-Typ erstellt. Bei der Modellierung wurde die Basislinie auf „Tragende Schicht: innen“ gestellt. Nach der Modellierung der einzelnen Geschosse wurden die AW miteinander verglichen und angepasst, um möglichst wenig Abweichungen zur Polylinie zu erhalten.

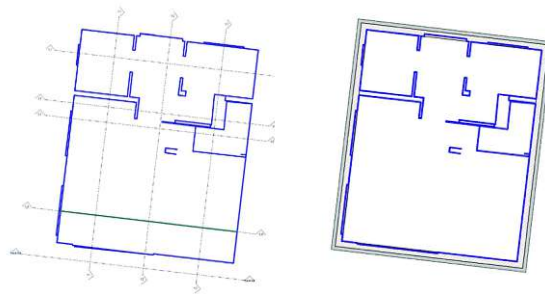


Abb. 5.37: Darstellung der Polylinie im Grundriss (rechts) und die daran Modellierten Außenwände (links).

Decken und Deckendurchbrüche: Im nächsten Schritt wurden die Decken und Deckendurchbrüche modelliert. Vor der Modellierung wurden die Deckenstärken im Schnitt gemessen, die Materialität über den EP bestimmt und der passende Decken-Typ erstellt. Die Modellierung selbst erfolgte in den Grundrissen.

Die Deckendurchbrüche im Bereich der Stiege wurden mit dem Wechsel zwischen Schnitt und Grundriss angenähert (Abb. 5.38).

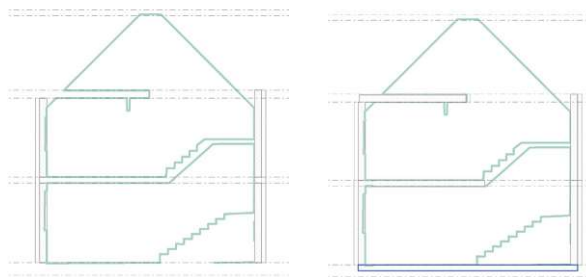


Abb. 5.38: Anpassung der Deckendurchbrüche im Schnitt auf Basis des Polylinien-netzes.

Innenwände: Weiters wurden die Innenwände modelliert. Beim Modellieren der Innenwände wurde erst der Abstand zwischen der Polylinien gemessen und mit der Materialinformation aus dem EP auf Standardwandstärken geschlossen. In diesem Fall wurden 10 cm und 20 cm dicke HLZ-Wände erstellt und modelliert. Mit dem Punktfang entlang der Polylinien wurden die Innenwände in allen Geschossen modelliert.

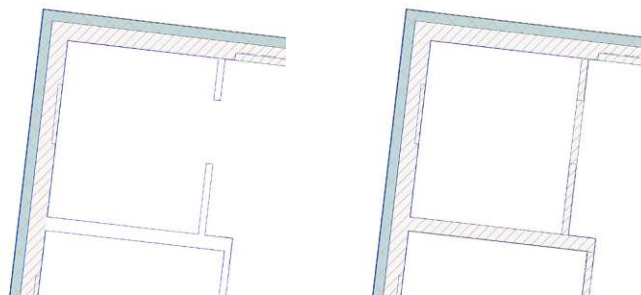


Abb. 5.39: Modellierung der Innenwände im Grundriss auf Basis der Polylinie mit Punktfängen, vor (links) und nach (rechts) nach der Modellierung.

Dach: Im nächsten Schritt wurde das Dach modelliert. Hierfür wurde vorab der Dachaufbau dem EP entnommen und ein Dach-Typ erstellt. Die Modellierung erfolgte in einem Schnitt mit der Modellieroption „Dach über Extrusion“ (Abb. 5.40). Hierbei wurde ein Pfad im Schnitt entlang der Polylinie definiert, welcher als Extrusionsbasis für das Dach dient. Der Dachüberstand wurde hier symmetrisch ausgeführt, ist für die Evaluierung aber nicht relevant. Anschließend wurden die Wände mit dem Dach verschnitten (Abb. 5.41).

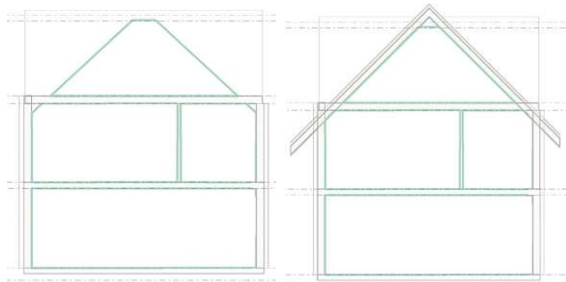


Abb. 5.40: Modellierung der Dachflächen an einer Polylinie im Schnitt

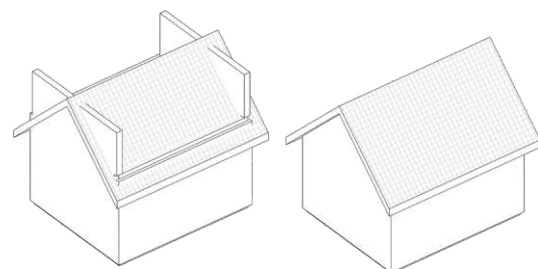


Abb. 5.41: Verschnidung der Außenwände mit dem Dach vor (li.) und nach (re.) der Verschnidung.

Öffnungen: In nächsten Schritt wurden die Fenster und Türöffnungen modelliert.

Um vorab die Fenster-Typen erstellen zu können wurden in den Schnitten die Fensteröffnungen gemessen und miteinander verglichen (Abb. 5.42). Die Messungen erfolgten sowohl im Grundriss als auch in den Schnitten. Fenster mit ähnlichen Maßen wurden zu einem Fenster-Typ vereinheitlicht. Die Fenster wurden im Grundriss platziert und im passenden Schnitt in der Höhe ausgerichtet (Abb. 5.43).

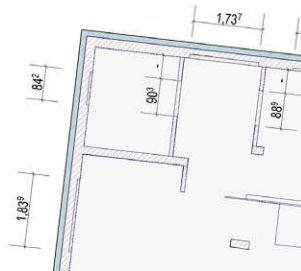


Abb. 5.42: Messen der Öffnungsbreiten für die Erstellung von passenden Fensterobjekten.

Mit dem Ausblenden der Wände konnten die Fenster an die Polylinie ausgerichtet werden. Zum Zeitpunkt der Scanaufnahme waren keine Türstöcke verbaut, jedoch waren die Rohbauöffnungen vorhanden. Für diese Arbeit wurde mit dem Messen der Rohbaulichte auf eine Standard-Türöffnung geschlossen. Nach der Erstellung der Tür-Typen wurden die Türen im Grundriss platziert und im Schnitt ausgerichtet.

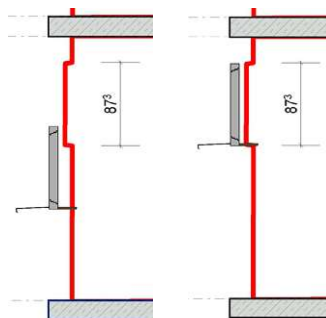


Abb. 5.43: Anpassung der Fensterhöhen im Schnitt bei ausgeblendeten Wänden.

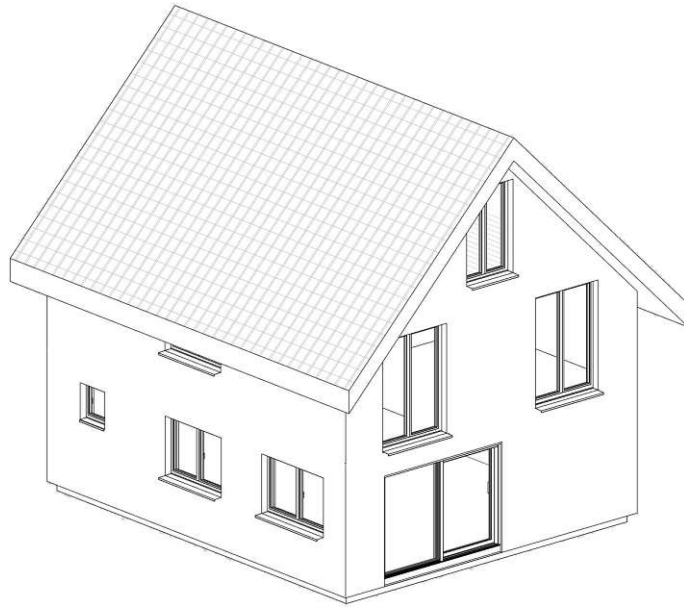


Abb. 5.44: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „04 - Revit - NUBIGON“



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.6 05 - Archicad - PointCab

In diesem Workflow wurde das Zusammenspiel zwischen PointCab und Archicad untersucht. PointCab wurde für die Visualisierung der Punktwolke und die Erstellung der Modelliergrundlagen verwendet. Als Modelliergrundlagen zählen horizontale und vertikale Schnitte. Die BIM-Modellierung wird in Archicad auf Basis der Modelliergrundlagen durchgeführt.

5.6.1 PointCab

Mit dem Erstellen eines neuen Projektes wurden die Basisdaten geladen und mit Standard-Ansichten (Top, Front, Left) von PointCab visualisiert. Nach dem Import wurde die Punktwolke analysiert und ein Konzept für die Schnittebenen sowie deren Benennung erstellt. Zunächst wurde der Scan neu ausgerichtet, um die Erstellung der Schnitte zu erleichtern. Ähnlich wie beim Schnittkonzept in NUBIGON wurden zwei horizontale Schnitte pro Geschoss erstellt, welche auf ca. 30 cm und ungefähr 140 cm über RDOK durchgeführt wurden Abb. 5.45. Ersterer wurde erstellt, um die Wandkonturen zu erhalten und um Türöffnungen abzubilden. Der Schnitt auf 140 cm Höhe wurde durch alle Fensteröffnungen gelegt. Zusätzlich wurden Grundriss-Schnitte mit passender Schnitttiefe durch die Decken gelegt, um die genaue Abgrenzung der Decken zu erhalten.

Die senkrechten Schnitte in X- und Y- Achse wurden durch alle wichtigen Bereiche gelegt. Zu den wichtigen Bereichen zählen alle Fenster- und Türöffnungen, Treppen und Deckendurchbrüche. Zu den Schnitten durch das Haus wurden auch Ansichten mit passender Schnitttiefe erstellt, diese ermöglichen später die genaue Nachbildung der Fenster mit ihren Teilungen.

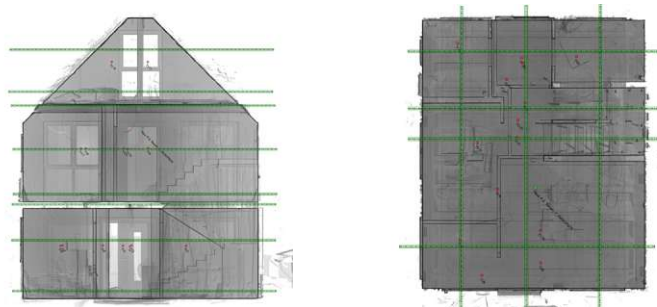


Abb. 5.45: Schnitlinien in PointCab, welche als Modellierbasis dienen, in Ansicht (links) und einer Draufsicht (rechts).

Schnitttiefen: Mit dem Variieren der Schnitttiefe kann der Informationsgehalt des Schnittes beeinflusst werden. Unter der Schnitttiefe wird der im Schnitt angezeigte Bereich bezeichnet. Mit großer Schnitttiefe können somit viele Informationen abgebildet werden, jedoch können diese auch zu einer unübersichtlichen Ansicht führen. In Abb. 5.46 wird der Unterschied zwischen 50 cm und 220 cm Schnitttiefe dargestellt. Für die horizontalen Schnitte durch die Fensterebene wurden ca. 50 cm und im Bereich der Decken ungefähr 30 cm Tiefe gewählt. Senkrechte Schnitte wurden mit etwa 60 cm Tiefe erstellt. Dies ermöglicht das Abbilden weiterer Informationen, welche für die Modellierung relevant sein können. Vor der Berechnung der Schnitte wurde der Speicherort für die Schnitte eingestellt. Beim Berechnen werden neben der Ansicht der Schnitte auch automatisch die .dwg Dateien geschrieben und an den gewünschten Ort gespeichert. Die .dwg Dateien enthalten ein .png Orthofoto des Schnittbereiches und ermöglichen die manuelle Modellierung in jeder gängigen CAD-Software.

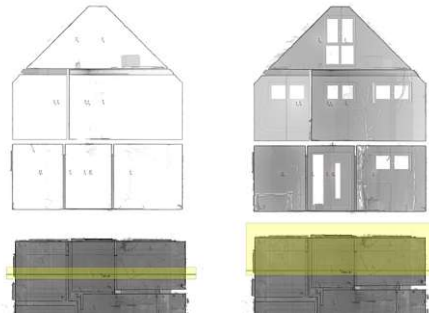


Abb. 5.46: Vergleich für die unterschiedliche Schnitttiefen: Links 50 cm, rechts 220 cm.

5.6.2 Archicad

Vor dem Import der .dwg Dateien wurde ein neues Arbeitsblatt erstellt, welches in weiterer Folge als Transparentpause diente. Die .dwg Dateien wurden via „drag & drop“ in das Arbeitsblatt importiert und manuell an einem Hilfsraster aus Linien ausgerichtet (Abb. 5.47). Der Hilfsraster erleichtert das exakte Verschieben der Transparentpause bei der Modellierung. Weiters wurde die Geschosshöhe im Arbeitsblatt mit Hilfe des Hilfslinienrasters ermittelt und in den Archicad Geschosseinstellungen festgelegt. Die Geschosshöhe wurde nach BIM-Standard von RDOK bis RDOK gewählt. Um mit der Modellierung beginnen zu können wurde die Transparentpause in den Grundrissen eingeblendet und auf den Ursprung ausgerichtet. Zusätzlich wurde eine „Grafische-Überschreibung“ erstellt, welche die Objektschraffuren transparent darstellt, um die darunter liegende Transparentpause beim Erstellen der Objekte sehen zu können. Diese erleichtert die Modellierung und die Anpassung der Objekte (Abb. 5.48).

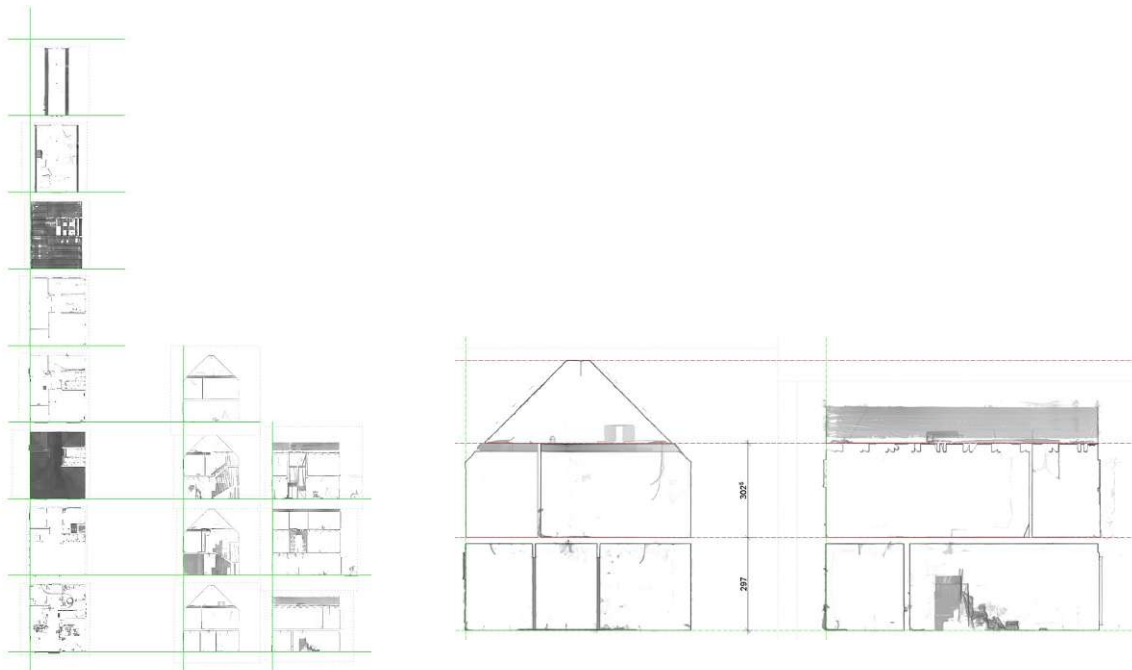


Abb. 5.47: Ausrichtung der importierten Schnitte in einem Arbeitsplatz (links) und die Bestimmung der Geschosshöhen (rechts)

Außen und Innenwände: Die Modellierung des Hauses wurde mit den Außen und Innenwänden begonnen. Der Scan bildet nur die Innenkonturen der Außenwände ab, somit wurde der Aufbau aus dem EP übernommen und beim Erstellen eines mehrschichtigen Bauteils an den Baufortschritt angepasst. Die Modellierung wurde entlang der Transparentpause durchgeführt (Abb. 5.48). Anders als bei einer Polylinie bietet die .png keinen Punktfang entlang der Konturen. In diesem Workflow wurde versucht die Transparentpause so wenig wie möglich zu verschieben, um Ungenauigkeiten und Fehler bei der Modellierung zu vermeiden. Die Außen- und Innenwände wurden im selben Arbeitsschritt modelliert. Beim Modellieren der Innenwände wurde erst die Wandstärke in den Grundrissen gemessen und mit der Materialinformation aus dem EP auf Standardwandstärken geschlossen. In diesem Fall wurden 10 cm und 20 cm dicke HLZ-Wände modelliert. Nach dem Modellieren der EG-Wände wurde die Transparentpause verschoben und die Wände im OG und DG mit demselben Prinzip modelliert.

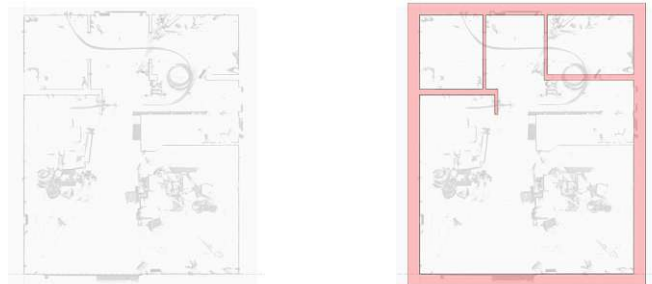


Abb. 5.48: Modellierbasis im Grundriss (links) und die fertig modellierten Innen- und Außenwände (mit einer grafischen Überschreibung) (rechts).

Decke und Deckendurchbrüche: Im nächsten Schritt wurden die Decken und Deckendurchbrüche modelliert. Hierfür wurde ein ähnliches Schnittraster wie in PointCab erstellt. In den einzelnen Schnitten wurden dann die Transparentpausen passend eingeblendet und richtig positioniert. Nach dem Messen der Deckenstärke wurde mit der Materialinformation aus dem ein mehrschichtiger Bauteil erstellt und die Decke modelliert. Die Bodenplatte im EG wurde zur Gänze aus dem EP übernommen. Um die Deckendurchbrüche zu definieren, wurde der extra erstellte Schnitt aus PointCab als Transparentpause platziert und die Öffnung in der Decke erstellt (Abb. 5.49).

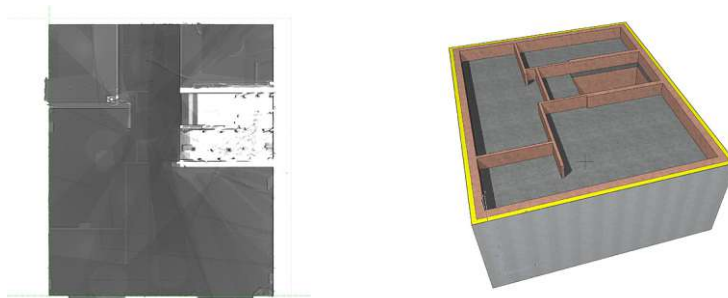


Abb. 5.49: Spezifischer Deckenschnitt zur Visualisierung der Deckenkontur (links) und die fertig modellierte Decke mit Deckendurchbruch (rechts)

Dach: Im nächsten Schritt wurde das Dach modelliert. Hierfür wurde vorab der Dachaufbau dem EP entnommen und ein Dachaufbau erstellt. Die Modellierung des Daches wurde im Grundriss und in einem ausgewählten Schnitt durchgeführt. Erst wurde im Schnitt die Dachneigung gemessen und in das Dachflächen-Werkzeug übertragen. Die Ausrichtung der finalen Höhe wurde im Schnitt durchgeführt (Abb. 5.50). Nach der Modellierung des Daches wurden die Wände mit dem Dach verschnitten (Abb. 5.50).

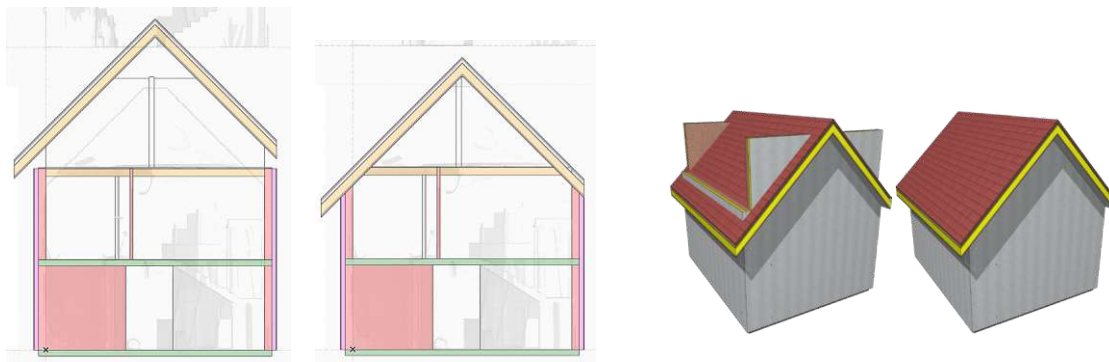


Abb. 5.50: Anpassung der Dachhöhe im Schnitt (links); Verschneidung der Wände mit der Dachfläche (rechts).

Öffnungen: Als nächsten Schritt folgten das Einsetzen und Anpassen von Fenster- und Türöffnungen. Hierfür wurde die passende Transparentpause eingeblendet und ausgerichtet. Für die Fenster wurden erst Platzhalter eingesetzt. Die Anpassung der Höhen und Breiten erfolgte in Ansichten (Abb. 5.51). Zudem wurden im selben Schnitt die Fensterteilungen angepasst. Nach der Anpassung aller Fenster wurden sie miteinander verglichen und bei ähnlichen Abmessungen vereinheitlicht und ausgerichtet.

Zum Zeitpunkt der Scanaufnahme waren noch keine Türstöcke verbaut, jedoch waren die Rohbauöffnung vorhanden. Für diese Arbeit wurde mit dem Messen der Rohbaulichte auf eine Standard-Türöffnung geschlossen. Nach der Platzierung der Türen wurde die Höhen im Schnitt angepasst und vereinheitlicht.

Final wurden die modellierten Elemente auf deren richtige Ebene und IFC-Klassifizierung kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert.

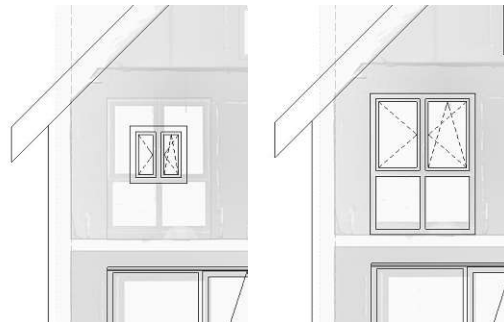


Abb. 5.51: Anpassung der Fensterformate und -teilungen in einem Schnitt mit spezieller Schnitttiefe.



Abb. 5.52: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „05 - Archicad - PointCab“



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.7 06 - Archicad - BIMm

In diesem Workflow wurde der Import einer Punktwolke in Archicad mit Hilfe des BIMm Plugins untersucht. BIMm bietet Importmöglichkeit sowie Modelliertools welche die BIM-Modellierung in Archicad unterstützen.

BIMm Plugin:

Das BIMm-Tool wird als Plugin in Archicad eingebettet. Es besteht aus der BIMm-Tool-Palette, dem Punktwolken-Import und dem BIMm-Navigator. Der BIMm-Navigator ermöglicht die Orientierung in der Punktwolke aus Sicht des Scanners. Diese lässt sich mit dem 3D-Ansichtsfenster von Archicad synchronisieren (Abb. 5.53). Die BIMm-Tool-Palette bietet eine Schnittstelle zwischen dem Navigator und dem Archicad-Modell, für alle gängigen Objekte wie Wände, Decken, Fenster, Stützen, usw. .

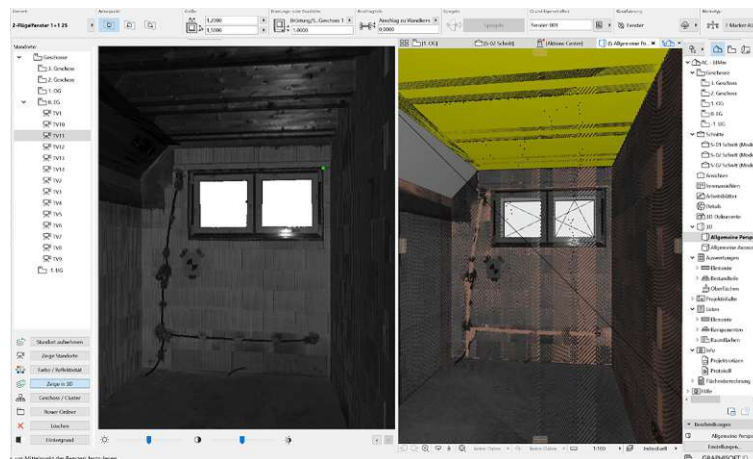


Abb. 5.53: Benutzeroberfläche von Archicad mit BIMm-Tool und der Navigatoransicht zur Visualisierung von Punktwolken und BIM-Modellen.

Der Import der Punktwolken erfolgt über den BIMm Punktwolken-Import. Vor dem Import wurde eine neue Ebene erstellt, auf welcher die Punktwolke gelegt wurde. Beim Import wurde die Punktdichte auf 5 % gestellt und die gewünschte Archicad Ebene ausgewählt. Der Punktwolken-Import wandelt die Punktwolke automatisch in ein Objekte um und bettet es in Objektbibliothek ein.

Als Vorbereitung für die Modellierung wurde die Positionierung der Punktwolke korrigiert. Die Korrektur bezog sich auf die Höhenlage, da diese im Punktwolkenursprung bei etwa +23 m lag. Das Ausrichten erfolgte in einem Schnitt (Abb. 5.54). Weiters wurden direkt in diesem Schritt auch die Geschosshöhen definiert. Die Geschosshöhe wurde laut BIM-Standard von RDOK bis RDOK gewählt.



Abb. 5.54: Anpassung der Höhenausrichtung der Punktwolke sowie die Anpassung der Geschosshöhe in einem Schnitt.

Außenwände: Im ersten Modellerschritt wurden die Außenwände erstellt. Für die Modellierung wurde der Aufbau laut Einreichplan (EP) erstellt und an den Baufortschritt angepasst. Mit dem Wand-Tool von Archicad wurde in der Navigator-Ansicht, die zu modellierende Wand, mit einem Start- und einem Endpunkt definiert. Das BIMm-Tool modellierte die gewünschte Wand (Abb. 5.55). Während dem Erstellen der Außenwände wurden die Ansichten zwischen den Sca-Aufnahmen so gewechselt, dass Start- und Endpunkte der Wand so weit wie möglich auseinander sind. Mit der Funktion „Polygon schließen“ wurden die Außenwände automatisch verbunden.

Dieser Vorgang wurde im OG und DG wiederholt. Nach der Modellierung der einzelnen Geschosse wurden die Außenwände miteinander verglichen und angepasst, um möglichst wenig Abweichungen zur Punktwolke zu erhalten.

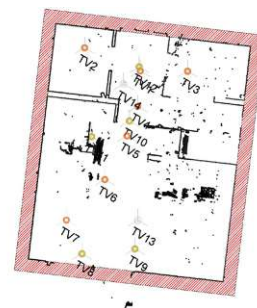
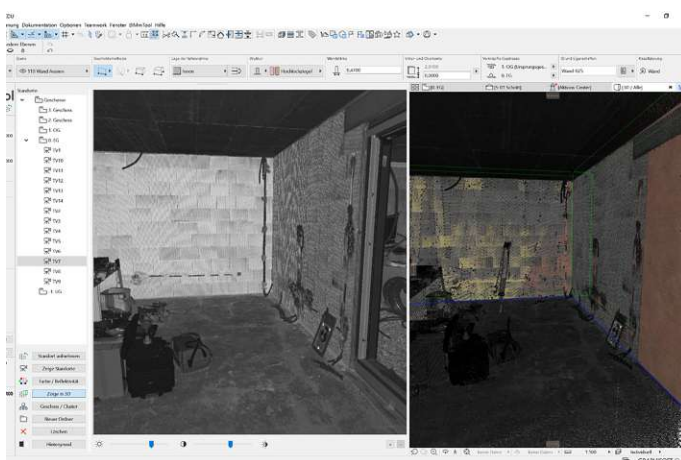


Abb. 5.55: Modellierung der Außenwände mit Hilfe der Navigatoransicht (links) sowie die fertig modellierten Außenwände im Grundriss (rechts)

Decken: Im nächsten Schritt wurden die Decken modelliert. Die Deckenstärke wurde hier mit Hilfe der Höhenlagen-Funktion, der der BIMm-Tool-Palette definiert. Die Materialität wurde dem EP entnommen und beim Erstellen des mehrschichtigen Bauteils an den Baufortschritt angepasst. Die eigentliche Modellierung der Decken wurde im Grundriss auf Basis der Außenwände durchgeführt. Im Schnitt wurde die modellierte Decke kontrolliert. Die Deckendurchbrüche wurden erst grob im Grundriss eingefügt und weiters in 3D-Schnitten an die Punktwolke angepasst (Abb. 5.56).

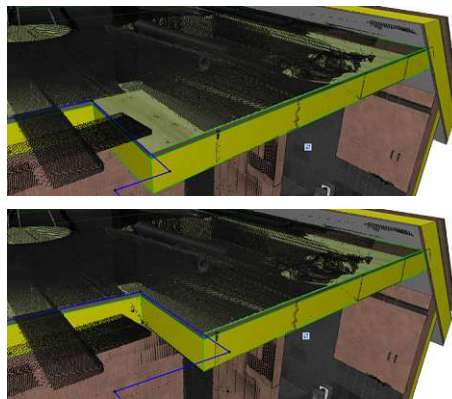


Abb. 5.56: Anpassen der Deckendurchbrüche in einem 3D-Schnitt und der eingeblendeten Punktwolke.

Innenwände: Weiters wurden die Innenwände modelliert. Beim Modellieren der Innenwände wurde sowohl die Navigator-Ansicht als auch die Grundriss-Ansicht verwendet. Die Grundriss-Ansicht wurde in Bereichen verwendet, in denen sie Wände zu nah am Scanner lagen, was eine Orientierung erschwerte. Die Wandstärke wurde erst mit Hilfe der BIMm-Tool-Palette gemessen und mit der Materialinformation aus dem EP auf Standardwandstärken geschlossen. So wurden 10 cm und 20 cm dicke HLZ-Wände modelliert. Ungenauigkeiten, die mit der Navigator-Modellierung entstanden sind, wurden im Grundriss ausgebessert (Abb. 5.57). Für die Verschneidung der Innenwände wurde die Punktwolke im Grundriss ausgeblendet.

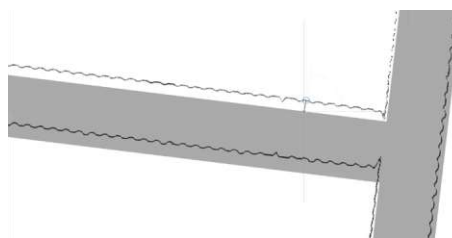


Abb. 5.57: Versatz nach der Innenwandmodellierung mit dem BIMm-Navigator

Dach: Weiters wurde das Dach modelliert. Hierfür wurde die BIMm-Tool-Palette und die Navigator-Ansicht verwendet, um die Dachneigung zu messen. Die Dachneigung (45 Grad) wurde in das Dachflächenwerkzeug von Archicad eingetragen. Die Modellierung des Daches wurden im Grundriss durchgeführt. In einem Schnitt wurde die Höhe angepasst (Abb. 5.58). In der 3D-Ansicht wurden die überstehenden Wände mit der Dachfläche verschnitten (Abb. 5.59).

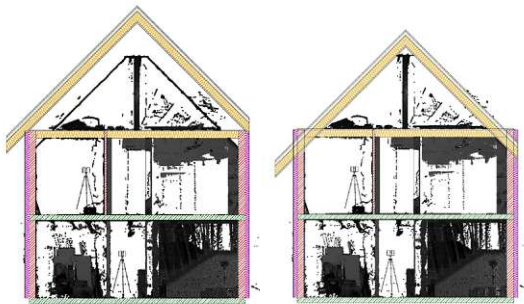


Abb. 5.58: Anpassung der richtigen Dachhöhe in einem Schnitt anhand der Punktwolke

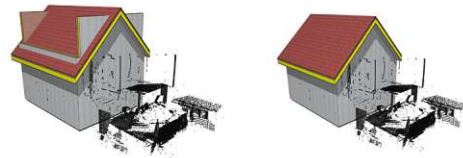


Abb. 5.59: Verschnidung der Außenwände mit dem Dach vor (li) und nach (re.) der Verschnidung.

Öffnungen: Das Modellieren der Fenster wurde ebenfalls mit der BIMm-Tool-Palette und der Navigator-Ansicht durchgeführt. In der passenden Ansicht wurde durch das Markieren der Diagonalepunkte sowohl die Dimension des Fensters als auch die Höhe angegeben und BIMm modellierte die Öffnung (Abb. 5.60). Durch das Wechseln der Scanpositionen wurden alle Fenster und Türen in der Außenhülle erstellt. Um die Fensterdimensionen zu kontrollieren, wurde mit einem Markierungsrahmen ein 3D-Schnitt erstellt (Abb. 5.60).

Zum Zeitpunkt der Scanaufnahme waren noch keine Türstöcke verbaut, jedoch waren die Rohbauöffnungen vorhanden. Für diese Arbeit wurde mit dem Messen der Rohbaulichte auf eine Standard-Türöffnung geschlossen. Nach der Platzierung der Türen wurden die Höhe in den Schnitten angepasst und vereinheitlicht.

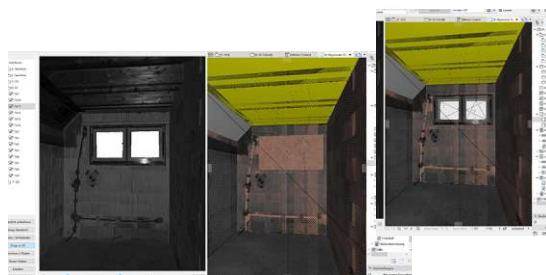


Abb. 5.60: Modellierung der Öffnungen mit Hilfe des BIMm-Navigators (links); das Anpassen der Öffnungen in einem 3D-Schnitt mit eingebledeter Punktwolke (rechts)





Abb. 5.61: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „06 - Archicad - BIMm“



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.8 07 - Archicad -PointCab – BIMm

In diesem Workflow wurde das Zusammenspiel von PointCab, BIMm und Archicad untersucht. Dabei wird PointCab für die Visualisierung und die Erstellung der Modelliergrundlagen verwendet. Als Modelliergrundlagen zählen horizontale und vertikale Schnitte, die als Bild-datein exportiert werden. BIMm dient als Schnittstelle für den Import zwischen PointCab und Archicad. Die BIM-Modellierung wurde in Archicad durchgeführt.

Für diesen Workflow wurden PointCab und Archicad parallel geöffnet. In Archicad wurde zusätzlich die BIMm-Tool-Palette geöffnet. Beim Erstellen und Speichern wurde für diesen Workflow besonders auf die Speicherpfade geachtet.

Als Kommunikationstool zwischen Archicad und PointCab bietet das BIMm-Tool ein Verbindungstool. Dieses Tool bietet die Möglichkeit, die in PointCab erstellten Schnitte, in Archicad zu importieren (Abb. 5.62). Weiters können diese Schnitte den Geschossen und den Ebenen zugeordnet werden. Beim Import vertikaler Schnitte können diese auch als neue Schnitt-ebene eingefügt werden. Hierbei erstellt Archicad eine referenzierte Schnittansicht.

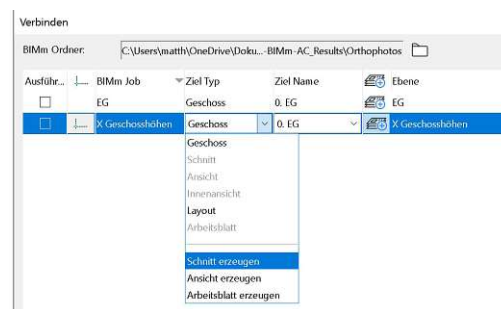


Abb. 5.62: Importfunktionen von Schnitten/Grundrissen/Ansichten mit dem Importer von BIMm als Verbindung zu PointCab.

Import: Die Punktwolke wurde in PointCab importiert. Dabei wurden automatisch die drei Standardansichten erstellt. Um die Modellierung in Archicad zu vereinfachen, wurde direkt nach dem Import der Projektursprung neu definiert und ausgerichtet. Die Veränderungen bezieht hierbei sich sowohl auf die X-, Y- und Z-Achse als auch auf die Drehung der Basis-datei.

Für die Orientierung wurde ein Schnitt durch das Erdgeschoss (EG) und ein Schnitt in XZ-Ebene erstellt und in Archicad importiert. Weiters wurde der Importierte Schnitt für die Anpassung der Geschosshöhen verwendet. Die Geschosshöhe wurde laut BIM-Standard von RDOK bis RDOK gewählt. Zusätzlich wurde eine „Grafische-Überschreibung“ erstellt, welche die Objektschraffuren transparent darstellt, um die darunter liegende Transparent-pause weiterhin sehen zu können. Diese erleichtert die Modellierung und die Anpassung der Objekte (Abb. 5.63).

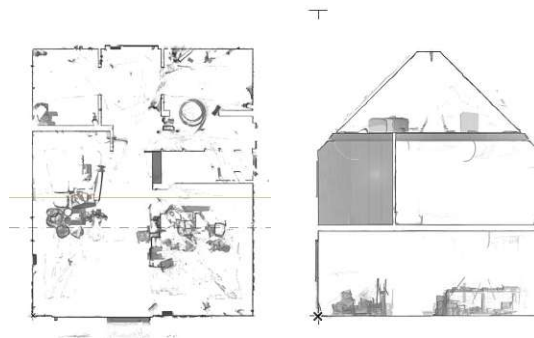


Abb. 5.63: Basis Grundriss (li.) und Schnitt (re.) für die Orientierung in Archicad.

Außen- und Innenwände: Die Modellierung des Hauses wurde mit den Außen- und Innenwänden begonnen. Hierfür wurde in PointCab ein passender Horizontalschnitt durch das Erdgeschoss erstellt. Der Schnitt wurde so gelegt, dass er möglichst nur die Wände schneidet und Fenster nicht. Nach der Berechnung wurde der Schnitt via BIMm-Verbindungs-Tool in Archicad übertragen. Der Scan bildet nur die Innenkonturen der Außenwände ab, somit wurde der Aufbau aus dem EP übernommen und beim Erstellen eines mehrschichtigen Bauteils an den Baufortschritt angepasst. Die Modellierung der Außenwände wurden entlang der .png Bilddatei durchgeführt. Anders als bei einer Polylinie bietet die .png keinen Punktfang entlang der Konturen (Abb. 5.64).

Beim Modellieren der Innenwände wurde erst die Wandstärke in den Grundrissen gemessen und mit der Materialinformation aus dem EP auf Standardwandstärken geschlossen. In diesem Fall wurden 10 cm und 20 cm dicke HLZ-Wände modelliert. Dieser Vorgang wurde im Obergeschoss und im Dachgeschoss wiederholt. Nach der Modellierung der einzelnen Geschosse wurden die AW miteinander verglichen und angepasst, um möglichst wenig Abweichungen zur Modelliergrundlage zu erhalten.

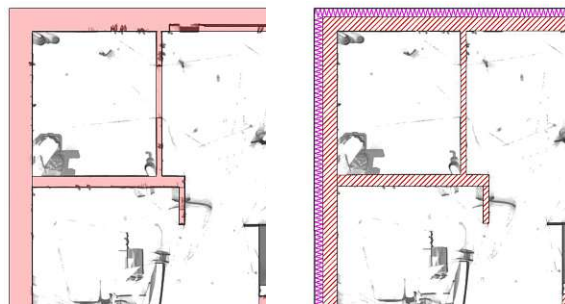


Abb. 5.64: Modellierung der Innen- und Außenwände, mit Hilfe der .png-Bilddatei, im Grundriss mit (li.) und ohne (re.) grafischer Überschreibung

Decke und Deckendurchbrüche: Im nächsten Schritt wurden die Decken und Deckendurchbrüche modelliert. In einem passenden Schnitt wurden die Deckenstärken gemessen und mit Hilfe des EP ein mehrschichtiger Bauteil erstellt. Das Modellieren der Decke erfolgte in den Grundrissen. Die Bodenplatte im EG wurde zur Gänze aus dem EP übernommen. Um die Deckendurchbrüche zu definieren, wurden spezielle Schnitte in PointCab erstellt, in Archicad importiert und modelliert (Abb. 5.65).

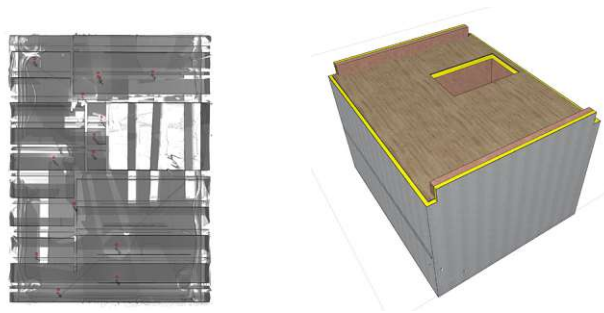


Abb. 5.65: Spezifischer Deckenschnitt zur Visualisierung der Deckenkontur (links) und die fertig modellierte Decke mit Deckendurchbruch (rechts)

Dach: Die Modellierung des Daches wurde im Grundriss und in einem Schnitt durchgeführt. Der Dachaufbau wurde dem EP entnommen und an den Baufortschritt angepasst. Im Schnitt die Dachneigung gemessen und in das Dachflächen-Werkzeug übertragen. Im Grundriss des Dachgeschosses wurde das Dach modelliert. Die Ausrichtung der Höhe wurde im Schnitt durchgeführt (Abb. 5.66). Final wurden die Wände mit der Dachfläche verschnitten (Abb. 5.66).

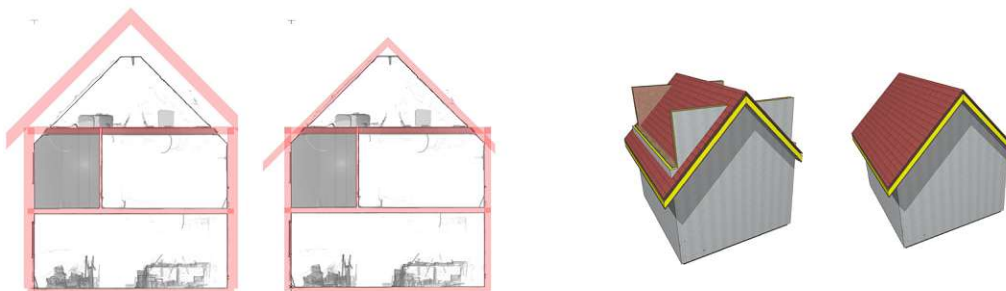


Abb. 5.66: Anpassung der Dachhöhe im Schnitt (links); Verschneidung der Wände mit der Dachfläche (rechts)

Öffnungen: Als nächsten Schritt folgten das Einsetzen und Anpassen von Fenster und Türöffnungen. Hierfür wurden in PointCab Horizontalschnitte durch die Fenster erstellt und in Archicad importiert. Es wurden Fenster eingesetzt, ohne vorab die Maße einzustellen. Die Anpassung der Fensterhöhen und -breiten erfolgte in Schnitten. Diese Schnitte wurden mit passender Schnitttiefe erstellt, um eine frontale Ansicht der Fenster abzubilden. Zudem wurden im selben Schnitt die Fensterteilungen angepasst. Nach der Anpassung aller Fenster wurden sie miteinander verglichen und bei ähnlichen Abmessungen vereinheitlicht und ausgerichtet.

Zum Zeitpunkt der Scanaufnahme waren noch keine Türstöcke verbaut, jedoch waren die Rohbauöffnung vorhanden. Für diese Arbeit wurde mit dem Messen der Rohbaulichte auf eine Standard-Türöffnung geschlossen. Nach der Platzierung der Türen wurde die Höhen im Schnitt angepasst und vereinheitlicht.



Abb. 5.67: Anpassung der Fensterformate und -teilungen in einem Schnitt mit spezieller Schnitttiefe.



Abb. 5.68: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „07 - Archicad - PointCab - BIMm“



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.9 08 - Revit - PointCab - PC4R

In diesem Workflow wird das Zusammenspiel zwischen PointCab und Revit durch das „PointCab 4Revit“ Plugin untersucht. PointCab wird für die Visualisierung der Punktwolke und die Erstellung der Modelliergrundlagen verwendet. Als Modelliergrundlagen zählen horizontale und vertikale Schnitte. Das PointCab 4Revit Plugin stellt eine Verbindung zwischen Revit und PointCab her, welche sowohl eine verknüpfte Modellierung als auch den Transfer von Abbildungen und Punktwolken erlaubt. Die BIM-Modellierung wird in Revit, teils auf Basis der Modelliergrundlagen und teils durch die direkte Verknüpfung der Programme durchgeführt.

PointCab 4Revit Plugin (PC4R)

Das PointCab 4Revit Plugin (PC4R) wird als Erweiterung in Revit eingebettet. Es besteht aus Modellier-Tools und einem Transfer-Tool. Das Transfer-Tool stellt eine Verbindung zwischen den in PointCab erstellten Schnitten und Revit her und listet diese auf. Es lassen sich sowohl Schnitte als auch Punktwolkensegmente transferieren. Transferierte Schnitte werden referenziert übertragen. Mit den Modellier-Tools lassen sich Wände, Fenster, Türen, Decken und Stützen, usw., in einer verknüpften Modellierung zwischen PointCab und Revit erstellen (siehe Abb. 5.69).



Abb. 5.69: Menüleiste des PointCab4Revit Plugins in Revit mit seinen Funktionen der Modellierung und Transferoptionen.

Vorbereitung: In PointCab und Revit wurden neue Projekte erstellt und die Verbindung mittels PC4R hergestellt. Die Punktwolke wurde in PointCab importiert. Beim Import wurden automatisch drei Standardansichten erstellt. Um die Modellierung in Revit zu erleichtern, wurde direkt nach dem Import der Projektursprung neu definiert und ausgerichtet. Diese Veränderungen beziehen sich sowohl auf die X-, Y- und Z-Achse, als auch auf die Drehung der Basisdatei. Für die Orientierung wurde in PointCab ein Grundriss-Schnitt durch das Erdgeschoss (EG) und ein Schnitt in X-Achse erstellt und mit dem Transfer-Tool von PointCab 4Revit in Revit importiert. Die Schnitte wurden referenziert importiert. Anhand der transferierten Schnitte wurden die Modellieransichten angepasst und die Geschosshöhen im Schnitt definiert. Die Einstellung der Geschosshöhen erfolgte direkt im Schnitt mit dem Verziehen der Höhenkoten. Das von PC4R angebotene Tool wurde nicht verwendet. Die Geschosshöhe wurde laut BIM-Standard von RDOK bis RDOK gewählt.

Außenwänden: Die Modellierung des Hauses wurde mit den Außenwänden begonnen. Der Scan bildet nur die Innenkonturen der Außenwände ab, somit wurde der Aufbau aus dem EP übernommen und an den Baufortschritt angepasst und ein passender Wand-Typ erstellt. Hierfür wurde in PointCab ein passender Horizontalschnitt durch das Erdgeschoss erstellt. Der Schnitt wurde so gelegt, dass er möglichst nur die Wände schneidet aber Fenster nicht (Abb. 5.70 links). In diesem Grundriss-Schnitt wurden mit dem Wand-Modelliert-Tool die Start- und Endpunkte der Wände definiert und anschließend die Wandsegmente miteinander verbunden (Abb. 5.70 Mitte). Dieser Vorgang wurde im Obergeschoss (OG) und im Dachgeschoss (DG) wiederholt. Nach der fertigen Modellierung der Außenwände in allen Geschossen wurden diese auf Abweichungen untersucht und angeglichen, um keinen Versatz aufzuweisen (Abb. 5.70 rechts). Dabei wurde darauf geachtet möglichst wenig von der Modellierung abzuweichen.

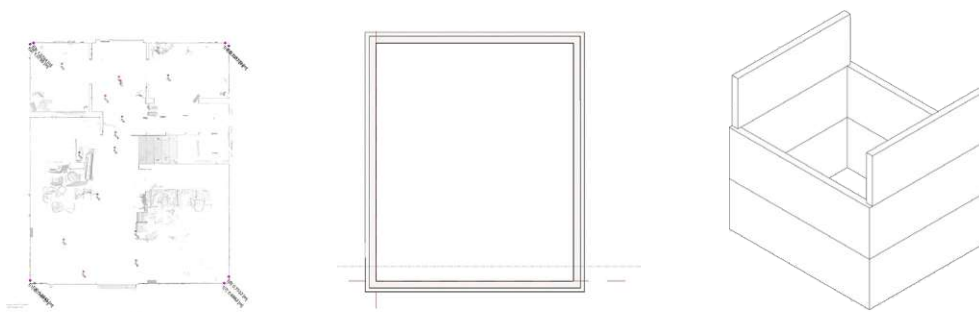


Abb. 5.70: Importierte Modelliergrundlage in Revit (links); fertig Modellierte Außenwände (Mitte); Anpassung der Außenwände auf Überlappung (rechts).

Decken und Deckendurchbrüche: Im nächsten Schritt wurden die Decken und Deckendurchbrüche modelliert. Vor der Modellierung wurden die Deckenstärken im Schnitt gemessen, die Materialität über den EP bestimmt und der passende Decken-Typ erstellt. Die Modellierung selbst erfolgte in den Grundrissen.

Um die Deckendurchbrüche im Bereich der Stiege zu definieren, wurden in PointCab eigene Schnitte erstellt und in Revit transferiert. Die Schnitttiefe wurde so gewählt, dass sie möglichst nur die Bereiche knapp oberhalb bis knapp unterhalb der Decken abbildet (Abb. 5.71). Die Anpassung der Geschossdecken erfolgte in den Grundrissen.

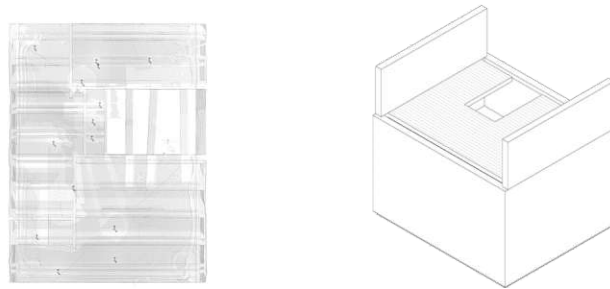


Abb. 5.71: Spezifischer Deckenschnitt zur Visualisierung der Deckenkontur (links) und die fertig modellierte Decke mit Deckendurchbruch (rechts)

Innenwände: Weiters wurden die Innenwände modelliert. Für die Modellierung wurden passende Schnitte aus PointCab mit dem Transfertool in Revit transferiert. Vor dem Modellieren wurden die Wandstärken in den Grundrissen gemessen, mit der Materialinformation aus dem EP auf Standardwandstärken geschlossen und ein passender Wand-Typ erstellt. In diesem Fall wurden 10 cm und 20 cm dicke HLZ-Wände modelliert.

Nach dem Deaktivieren aller Punktfänge (da diese zu aggressiv von den Bildkacheln gefangen wurden) wurden die Innenwände in den Grundrissen nachmodelliert (Abb. 5.72). Dieser Vorgang wurde im OG und DG wiederholt.

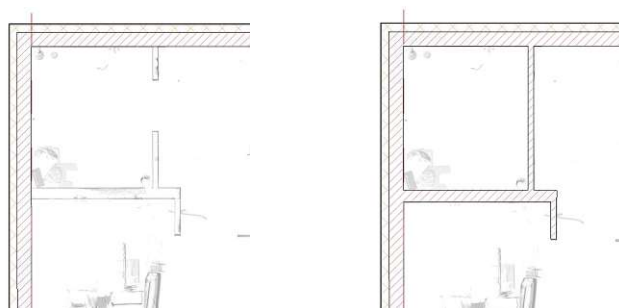


Abb. 5.72: Modellierung der Innenwände im Grundriss auf Basis der importierten Modelliergrundlage, links vor und recht nach der Modellierung.

Dach: Im nächsten Schritt wurde das Dach modelliert. Hierfür wurde vorab der Dachaufbau dem EP entnommen und ein Dach-Typ erstellt. Die Modellierung erfolgte im Schnitt, welcher bereits für die Geschosshöheneinstellung verwendet wurde, mit der Modellieroption „Dach über Extrusion“. Hierbei wurde ein Pfad im Schnitt definiert, welcher als Extrusionsbasis für das Dach dient (Abb. 5.73). Der Dachüberstand wurde hier symmetrisch ausgeführt, ist für die Evaluierung aber nicht relevant. Weiters wurden die Wände mit der Dachfläche verschnitten (Abb. 5.74).

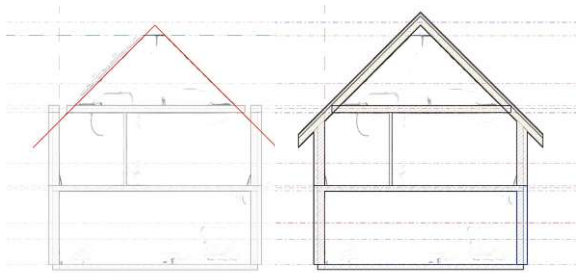


Abb. 5.73: Modellierung des Daches in einem Schnitt entlang der .png-Bilddatei.

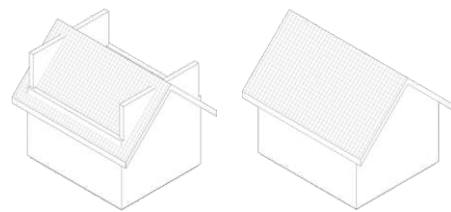


Abb. 5.74: Verschnidung der Außenwände mit dem Dach vor (li.) und nach (re.) der Verschnidung.

Öffnungen: Als nächsten Schritt folgten das Einsetzen und Anpassen von Fenster- und Türöffnungen. Hierfür wurden in PointCab Schnitte erstellt, die durch eine passende Schnitttiefe eine frontale Ansicht der Fenster ermöglichen. Die Schnitte wurden mit dem Transfer-Tool in Revit übertragen. Mit dem Anpassen der Modell-Transparenzen in den Grafikdarstellungsoptionen wurden die Punktwolken sichtbar (Abb. 5.75). Weiters wurden Standard-Fenster-Typ mit passender Teilung eingesetzt. Nach dem Messen der Fenster wurde der Fenster-Typ dupliziert und an die benötigten Maße angepasst. Bei den weiteren Fenstern wurden die bereits erstellten Fenster auf ähnliche Maße abgeglichen und gegebenenfalls neue Fenster-Typen erstellt.

Beim Einsetzen der Innentüren wurde berücksichtigt, dass auf Grund des Baufortschrittes nur die Rohbaulichten der Innentüren abgebildet sind. Für diese Arbeit wurde von diesen auf Standard-Türbreiten geschlossen. Das Einsetzen der Innentüren erfolgte in den Grundrissen, die auch für sie Modellierung der Innenwände verwendet wurden.

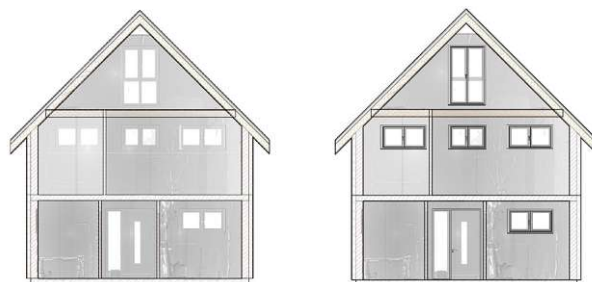


Abb. 5.75: Anpassung der Fensterformate und Teilungen in einem Schnitt mit spezieller Schnitttiefe, vor (li.) und nach (re.) der Modellierung.

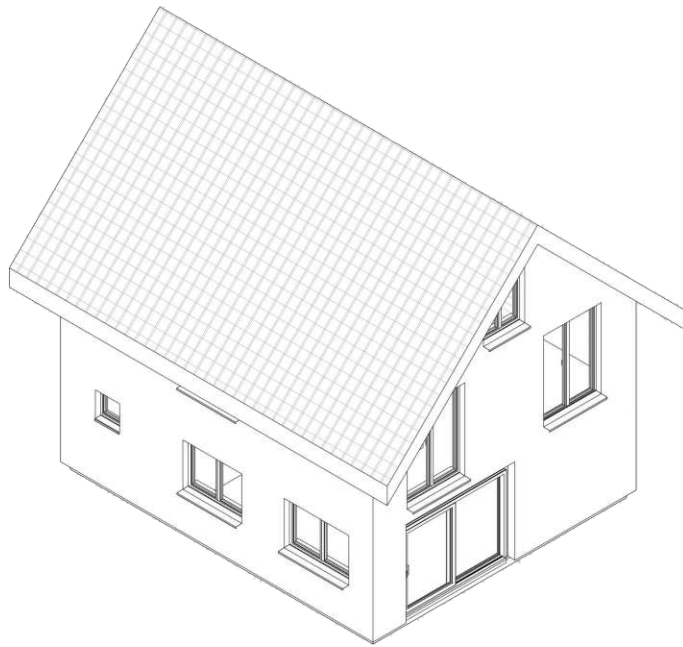


Abb. 5.76: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „08 - Revit - PointCab - PC4R“.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

6 Auswertung der Bewertungskriterien

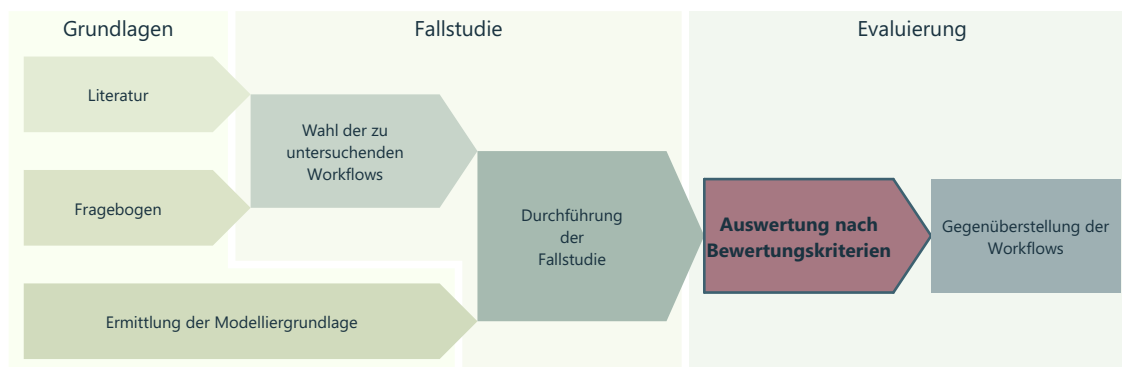


Abb. 6.1: Research-Design-Grafik - Evaluierung: Auswertung der Bewertungskriterien

Im folgenden Kapitel werden die modellierten Workflows nach folgenden Kriterien verglichen:

- Anzahl der benötigten Programme
- Kosten für die benötigten Programme
- Benötigte Zeit für den Workflow
- Abweichungen von der Referenz
- Informationsverlust innerhalb des Workflows
- Benutzerfreundlichkeit des Workflows

Die Bewertungskriterien setzen sich wie folgt zusammen:

Quantitativ / objektiv	Kosten und Anzahl
Quantitativ / subjektiv	Abweichung und Zeit
Qualitativ / subjektiv	Benutzerfreundlichkeit und Informationsverlust

Quantitative Informationen beziehen sich auf messbare Zahlen und Größen.

Qualitative Informationen beziehen sich auf Eigenschaften, die nicht messbar sind.

Objektive Informationen basieren auf Fakten und sind unvoreingenommen und frei von persönlicher Meinung.

Subjektive Informationen spiegeln die persönliche Meinung und Erfahrungen wider.

Für die bessere Lesbarkeit wurden die Workflows in gekürzter Form geschrieben. Die Kürzung lautet wie folgt:

- 01 Archicad direkt = 01-AC-d
- 02 Revit – ReCap = 02-RV-RC
- 03 Archicad – NUBIGON = 03-AC-NG
- 04 Revit – NUBIGON = 04-RV-NG
- 05 Archicad – PointCab = 05-AC-PC
- 06 Archicad – BIMm = 06-AC-Bm
- 07 Archicad – PointCab – BIMm = 07-AC-PC-Bm
- 08 Revit - PointCab - PC4R = 08-RV-PC-P4

6.1 Anzahl der benötigten Programme

Hierbei werden die Programme gezählt, die für diesen Workflow benötigt wurden. Dabei werden Plugins als vollwertige Programme gerechnet. Programme für Workarounds wurden in diese Wertung nicht miteinbezogen. In Abb. 6.2 sind die benötigten Programme nach Workflow und Softwaretype grafisch dargestellt.

Die Programme teilen sich in drei Kategorien. Der BIM-Software, der Punktwolkenverarbeitungs-Software und den Plugins.

Ein Großteil der Workflows (02-RV-RC, 03-AC-NG, 04-RV-NG, 05-AC-PC, 06-AC-Bm) benötigt zwei Programme, um die Arbeitsschritte von der Punktwolke bis zum BIM-Modell abzudecken. Je ein Programm für die BIM-Modellierung und eines für die Punktwolkenverarbeitung.

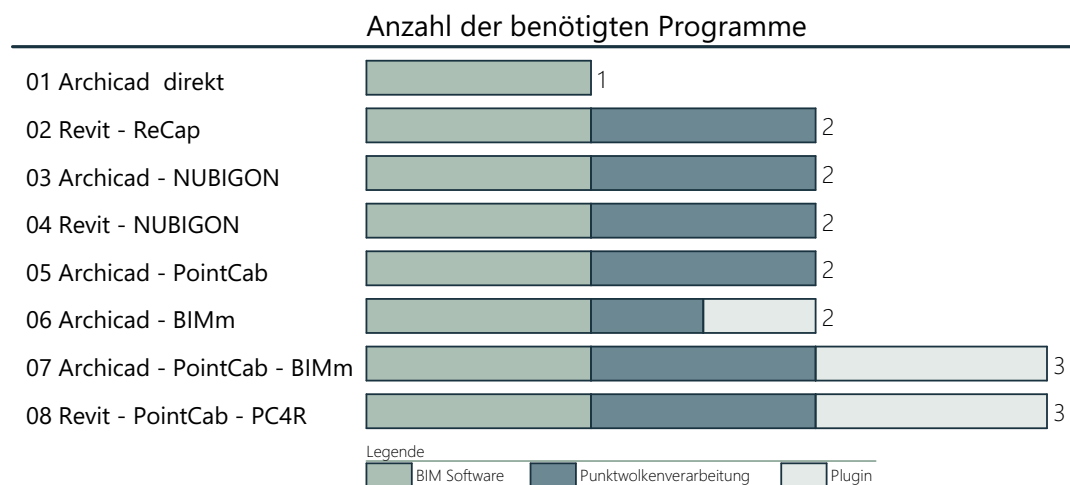


Abb. 6.2: Diagramm: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Programmanzahl.

Im Workflow 06-AC-Bm wird das BIMm-Plugin als Punktwolkenverarbeitungs-Tool verwendet.

Die Workflows 07-AC-PC-Bm und 08-RV-PC-P4 benötigen jeweils drei Programme. Eine BIM-Software, eine Punktwolkenverarbeitungssoftware und ein Plugin als Verbindungs-Tool.

Der Workflow 01-AC-d, benötigt keine weiteren Programme.

In ABB ist ersichtlich, dass alle Workflows, bis auf 01-AC-d, weitere Programme benötigen, um die Punktwolke zu verarbeiten.

Archicad verfügt selbst über eine Funktion, um mit Punktwolken zu arbeiten. Jedoch ist diese in ihrer Funktion eingeschränkt. Der Import von Einzeldateien über 4 GB ist nicht möglich.

In den Workflows 02-RV-RC, 03-AC-NG, 04-RV-NG und 05-AC-PC geschieht die Vorverarbeitung in eigenständigen Programmen. Das Vorverarbeiten der Punktwolke in einem eigenständigen Programm kann Vorteile bieten, da diese Arbeiten von der BIM-Modellierung klar zu trennen sind und bei Bedarf ausgelagert werden können.

Im Workflow 06-AC-Bm, wird das Plugin für den Import, die Darstellung und die Punktwolkenverarbeitung eingesetzt. Dies ermöglicht das Arbeiten mit Daten über 4 GB ohne weiteres externes Punktwolkenverarbeitungsprogramm.

In den Workflows 07-AC-PC-Bm und 08-RV-PC-P4 wurden die Plugins zu großen Teilen als Verbindungstool zur Punktwolken-Software verwendet. Das Arbeiten mit einem Plugin als Verbindungs-Tool zwischen BIM-Software und Punktwolkenverarbeitung kann zwar die Modellierung und den Datenaustausch erleichtern, jedoch setzt dies den Umgang mit einer Vielzahl an Programmen voraus.

Allein über die Anzahl der Programme kann nicht auf die Qualität der Workflows geschlossen werden, da diese von weiteren Faktoren abhängig ist.

Es ist jedoch festzuhalten, dass der Einsatz von mehreren Programmen den Workflow zwar positiv beeinflussen kann jedoch auch mehr Software-Skills voraussetzen.

6.2 Kosten für die benötigten Programme

Hier werden die durchschnittlichen Jahreskosten der benötigten Programme gegenübergestellt. Bei der Ermittlung der Kosten wurde auf Vergleichbarkeit geachtet.

Bei Programmen, die nur als permanente Lizenz erhältlich sind, wurde mit einer Laufzeit von fünf Jahren auf die Jahreskosten geschlossen. Mögliche Software-Bundle-Preise wurden für die Gegenüberstellung in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. In Abb. 6.3 sind die Kosten der benötigten Programme nach Workflow und Softwaretype grafisch dargestellt.

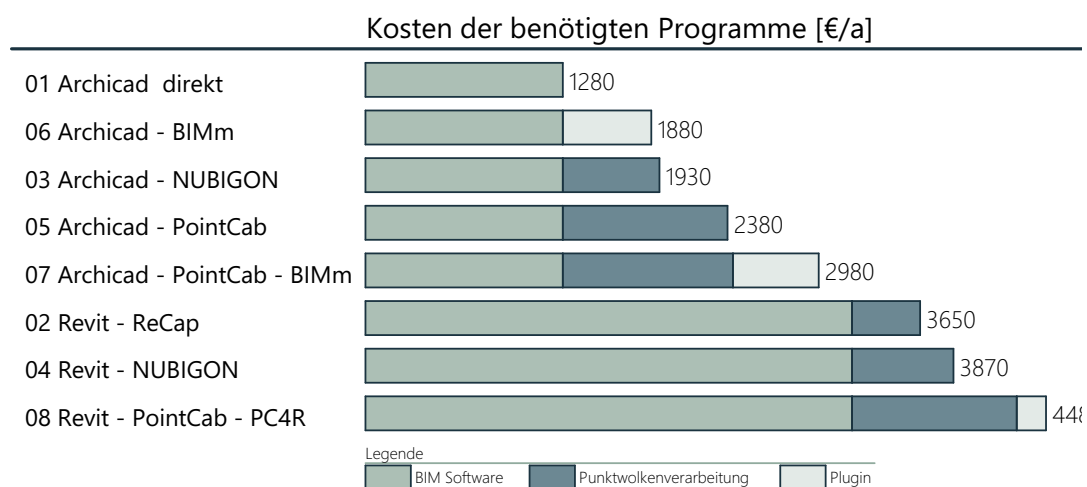


Abb. 6.3: Diagramm: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Programmkosten.

In Abb. 6.3 ist abzulesen, dass alle Workflows in Verbindung mit Archicad günstiger sind als jene in Verbindung mit Revit. Revit ist im Vergleich zu Archicad deutlich teurer.

Der teuerste Workflow in Verbindung mit Archicad (07-AC-PC-Bm) ist günstiger als Workflow 02-RV-RC, welcher als der günstigste Workflow in Verbindung mit Revit aufgelistet ist.

Das Punktwolken-Programm PointCab liegt preislich etwa auf demselben Niveau wie Archicad. Werden die Punktwolkenverarbeitungsprogramme verglichen, zeigt sich ReCap günstiger als NUBIGON und PointCab. PointCab hebt sich deutlich ab.

Im Vergleich der Plugins ist BIMm (Archicad) teurer als PC4R (Revit).

Bei der Gegenüberstellung der Workflowkosten ist zu beachten, dass die Preise zwar verglichen werden können, jedoch das Funktionsausmaß der Workflows und Programme nicht miteinfließen.

Wird ein Workflow gesucht der ausschließlich für die Scan-to-BIM Modellierung eingesetzt wird, kann ein Workflow in Verbindung mit Archicad einen finanziellen Vorteil bieten.

6.3 Benötigte Zeit

Hier wird verglichen wie viel Zeit ein Workflow benötigt. Die Zeitmessung erfolgte vom Import in die erste Software bis zum fertig modellierten Modell.

Um ähnliche Voraussetzungen für die Modellierung zu schaffen, wurde vorab Zeit in die Vorbereitung der Workflows investiert. Jeder Workflow wurde im Vorfeld mehrfach getestet und optimiert. Erst wenn der Workflow reibungslos funktionierte, wurde die Zeit gemessen.

Zusätzlich wurden alle Arbeitsschritte der Workflows in „Arbeitspakete“ unterteilt, wie zum Beispiel „Außenwände“, „Öffnungen“ oder „Dach“.

Es wurde darauf geachtet, keine Arbeitsschritte zu tätigen, die die Modellierung negativ beeinflussen könnten.

Nach allen Zeitmessungen wurden die Zeiten verglichen. Bei gleichen Arbeiten unter gleichen Bedingungen wurden die Zeiten angeglichen.

Bei der Auswertung der Zeitmessungen ist zu beachten, dass hier nur auf grobe Unterschiede in der Gesamtzeit geachtet wird und nicht auf ein minutengenaues Ranking.

In Abb. 6.4 ist die Dauer des Workflows nach Workflow und Arbeitsschritten dargestellt.

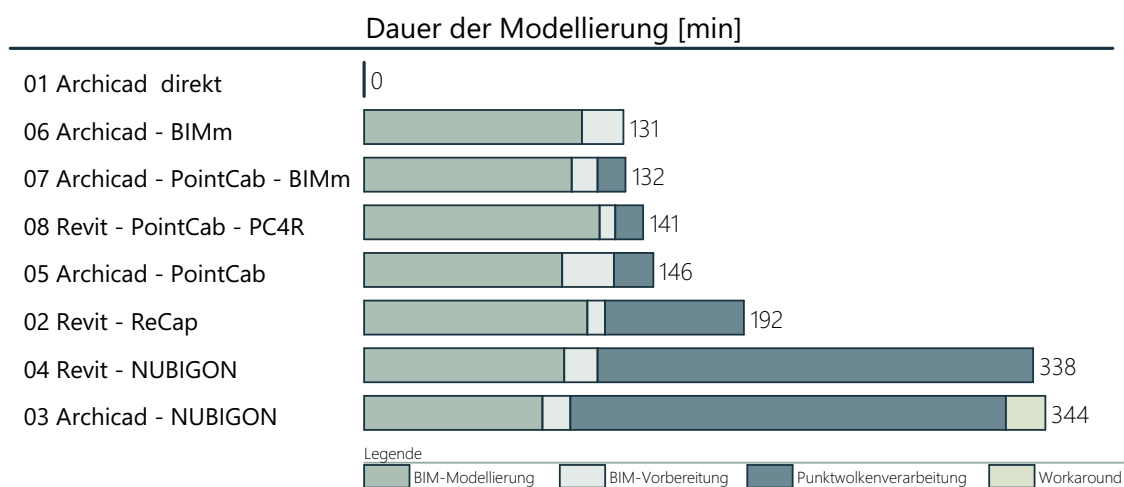


Abb. 6.4: Diagramm: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Modellierdauer.

Abb. 6.4 zeigt, dass sich die Workflows in drei Gruppen einteilen lassen.

Gruppe 1 bilden die Workflows 05-AC-PC, 06-AC-Bm, 07-AC-PC-Bmund 08-RV-PC-P4 mit einer Bearbeitungszeit von etwa 140 Minuten.

Gruppe 2 beinhaltet den Workflow 02-RV-RC und benötigt etwa 190 Minuten. Die beiden Workflows 03-AC-NG und 04-RV-NG benötigen etwa 340 Minuten und sammeln sich in der Gruppe 3. Diese hebt sich mit einem Zeitunterschied von etwa 200 Minuten zu Gruppe 1 deutlich ab. Der Zeitunterschied lässt sich mit der langen Vorverarbeitung der Punktwolke begründen.

Der Workflow 01-AC-d wurde aufgrund von Referenzierungsproblemen abgebrochen und wurde in dieser Auswertung nicht beachtet. Der Workflow 03-AC-NG weist einen zusätzlichen Workaround auf, der die Modellierung weiter verlängert.

Wird rein die Modellierzeit der Workflows betrachtet zeigt sich, dass diese bei allen Workflows etwa gleich lang dauert. Es zeigt sich in Abb. 6.4 auch, dass der Hauptunterschied in der Vorverarbeitung der Punktwolke liegt. Sowohl die Vorarbeit in ReCap als auch in Nubigon verlängern die Arbeitsdauer. Die deutlich längere Vorverarbeitungszeit der Workflows 03-AC-NG und 04-RV-NG ist auf den Import der Punktwolke und die Erstellung des Polygonnetzes in NUBIGON zurückzuführen. NUBIGON selbst bietet neben der Erstellung von Polygonnetzten jedoch auch eine Möglichkeit Punktwolken in 3D visuell aufzubereiten.

ReCap bietet ebenfalls die Möglichkeit Punktwolken in 3D darzustellen.

Die Schwerpunkte der Gruppe eins liegen in der Modellierung der BIM-Modelle und nicht auf der 3D-Darstellung von Punktwolken, was die deutlich kürzere Vorverarbeitung erklärt.

Da die Modellierzeit kaum Unterschiede aufweist ist bei der Wahl der Vorverarbeitung und der daraus resultierenden Software darauf zu achten, welche Funktionen diese aufweisen muss. Wird neben einer Modellierung der BIM-Modelle auch eine Visualisierung der Punktwolken erwünscht, so muss eventuell auch ein langsamerer Workflow herangezogen werden.

6.4 Abweichungen

Um die Abweichungen der Workflows vergleichbar zu machen, wurden in jedem modellierten Modell acht Maße genommen. Die Maße wurden in jedem Modell an der gleichen Stelle genommen. Es wurden zwei Mal die Außenwände, vier Mal die Innenwände, die Geschosshöhen des Erdgeschosses und Obergeschosses gemessen.

Diese Maße wurden anschließend mit den Referenzmodellen auf Basis des Einreichplanes verglichen. Dabei ist festzuhalten, dass eine Abweichung zum Referenzmodell nur der Orientierung dient. Das Mittel aller Abweichungen wurde anschließend gegenübergestellt. Zur Berechnung der Abweichungen wurde mit dem Betrag der Abweichungen gerechnet. Mit dieser Methode wurde versucht Ausreißer zu identifizieren.

In Abb. 6.5 sind die Abweichungen in Millimeter aufsteigend dargestellt.

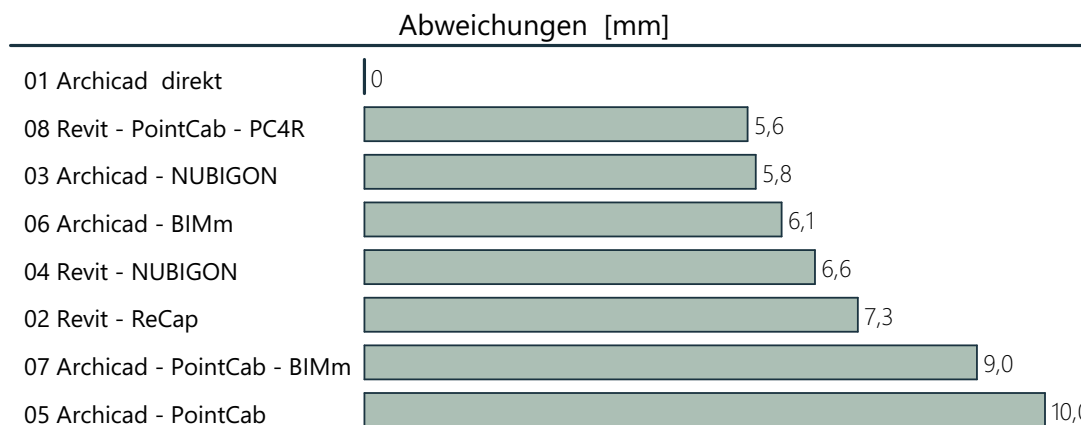


Abb. 6.5: Diagramm: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Abweichung.

Die Gegenüberstellung der mittleren Abweichungen zeigt, dass alle Workflows zwischen 5,6 und 10 mm liegen Abb. 6.5. Die Workflows 05-AC-PC und 07-AC-PC-Bm heben sich mit einer mittleren Abweichung von 9,0 bis 10,0 mm von den anderen ab.

Die Workflows 02-RV-RC, 03-AC-NG, 04-RV-NG, 06-AC-Bm und 08-RV-PC-P4 sind mit einer Abweichung von 5,6 – 7,3 mm sehr ähnlich. Der Workflow 01-AC-d wurde auf Grund von Referenzierungsproblemen abgebrochen und wurde in dieser Auswertung nicht beachtet.

Alle gemessenen Workflows liegen mit ihren mittleren Abweichungen innerhalb der üblichen Bautoleranzen.

Die Abweichungen der Workflows 05-AC-PC und 07-AC-PC-Bm können in Verbindung mit PointCab stehen, da in PointCab Bilddateien als Modelliergrundlage erstellt werden, die eine gewisse Unschärfe abbilden. Bei der Bewertung von Abweichungen ist jedoch auch darauf zu achten, dass die Laserscanner selbst eine Ungenauigkeit, das sogenannte Rauschen, produzieren.

Beim Modellieren auf Basis einer Punktwolke besitzt der/die Modellierer*in ein gewisses Maß an Idealisierungsspielraum. Wie weit die Modellierung idealisiert wird, kann auch von dem Bauprojekt abhängig gemacht werden.

Alle untersuchten Workflows bieten eine angemessene Genauigkeit im Bezug auf die Bautoleranzen. Im Vergleich stechen 05-AC-PC und 07-AC-PC-Bm jedoch als Ausreißer hervor.

Das Modellieren auf Basis einer Punktwolke bedarf einer gewissen Kenntnis und der Fähigkeit das Modell in einem angemessenen Rahmen zu idealisieren.

6.5 Informationsverlust im Workflow

Unter dem Punkt wird der Informationsverlust anhand von dem Detailverlust, dem Datenaustausch und dem Verlust von Referenzen bewertet. Dieses kann Einfluss auf den möglichen Detailgrad des Endmodelles haben. Informationsverlust kann sowohl innerhalb eines Programmes als auch im Zusammenhang mit dem Datenaustausch auftreten.

Die Bewertung ist subjektiv und beruht auf meinen eigenen Erfahrungen bei der Untersuchung der Workflows. Es gibt gesamt drei Punkte zu erreichen. Je mehr Punkte erzielt werden, desto weniger Informationen gehen verloren. 0,5 Punkte wurden in Bereichen vergeben, die mit mäßigem Aufwand oder mit speziellen Einstellungen erreicht werden könnten.

In Abb. 6.6 werden die erlangten Punkte nach Kategorie und Workflow dargestellt.

Die oben genannten Kriterien werden zur Bewertung herangezogen und nochmals kurz erläutert:

- **Kein Verlust von Details:**
Es gehen keine Informationen verloren, die den Detailgrad erheblich beeinflussen (z.B.: Fensterteilungen, Türhöhen, Deckensprünge, ...)
- **Weiterer Datenaustausch möglich:**
Im Workflow ist es mit mäßigem Aufwand möglich weitere Ansichten/Daten zu erstellen bzw. in die Modellierung einzubeziehen. Unter einem mäßigen Aufwand wird ein Arbeitsaufwand von wenigen Minuten verstanden.
- **Kein Verlust von Referenzen:**
Beim Datenaustausch gehen keine Referenzen (z.B.: zum Ursprung) verloren.

	kein Verlust von Details (Fensterteilungen)	weiterer Datenaustausch möglich	kein Verlust von Referenzen (Ursprung)	
02 Revit - ReCap	█	█	█	3
06 Archicad - BIMm	█	█	█	3
07 Archicad - PointCab - BIMm	█	█	█	3
08 Revit - PointCab - PC4R	█	█	█	3
01 Archicad direkt	█	█		2
05 Archicad - PointCab	█	█	█	2
03 Archicad - NUBIGON			█	1
04 Revit - NUBIGON			█	1

Abb. 6.6: Tabelle: untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium des Informationsverlustes.

Die Workflows 03-AC-NG und 04-RV-NG weisen in der Modellierung Verluste von Details auf. Bei Workflows 03-AC-NG und 04-RV-NG ist zudem der weitere Austausch von Daten mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

In Workflows 05-AC-PC ist der Datenaustausch mit einem mäßigen Aufwand möglich. Der Verlust von Referenzen zum Ursprung trat in den Workflows 01-AC-d und 05-AC-PC auf, wobei bei 05-AC-PC nur mit mäßigem Aufwand.

Die Verluste von Details im Workflow 03-AC-NG und 04-RV-NG können anhand von Fensterteilungen erläutert werden. Durch die Reduzierung der Punktwolke auf eine Polylinie sind Details, wie Fensterteilungen, nur mit einem sehr hohen Aufwand herzustellen. In den anderen Workflows konnten diese ohne weitere Arbeitsschritte im Endmodell modelliert werden.

Der weitere Austausch von Daten, wie eines neuen Schnittes, konnten in den Workflows 03-AC-NG und 04-RV-NG ebenfalls nur mit einem sehr hohen Aufwand durchgeführt werden. Im Workflow 05-AC-PC konnte dies mit einem mäßigen Aufwand durchgeführt werden.

Der Verlust von Referenzen zum Ursprung führte bei der Modellierung des Workflows 01-AC-d zum Abbruch, da beim Import die Punktwolken einen Versatz aufgewiesen haben und nicht weiter modelliert werden konnte.

Die starke Reduktion einer Punktwolke, zum Beispiel zu einem Polyliniennetz, kann sowohl zu einem hohen Aufwand für weitere Schnitte als auch zu einem hohen Detailverlust führen. Wenn eine möglichst detaillierte Nachbildung der Punktwolke hergestellt werden soll, sollte auf den Detailverlust geachtet werden.

6.6 Benutzerfreundlichkeit

Hier wird die Benutzerfreundlichkeit der Workflows bewertet und dafür fünf Kriterien definiert. Sie sollen den Arbeitsfluss der Workflows widerspiegeln.

Diese Bewertung ist subjektiv und beruht auf meinen eigenen Erfahrungen bei der Untersuchung der Workflows.

Die ausgewählten Kriterien sind:

- Keine Leistungsverluste
- wenig Umstellen der Zeichengrundlagen
- Intuitive Bedienung/Oberfläche
- Keine störenden Fangpunkte
- Keine doppelten Arbeitsschritte

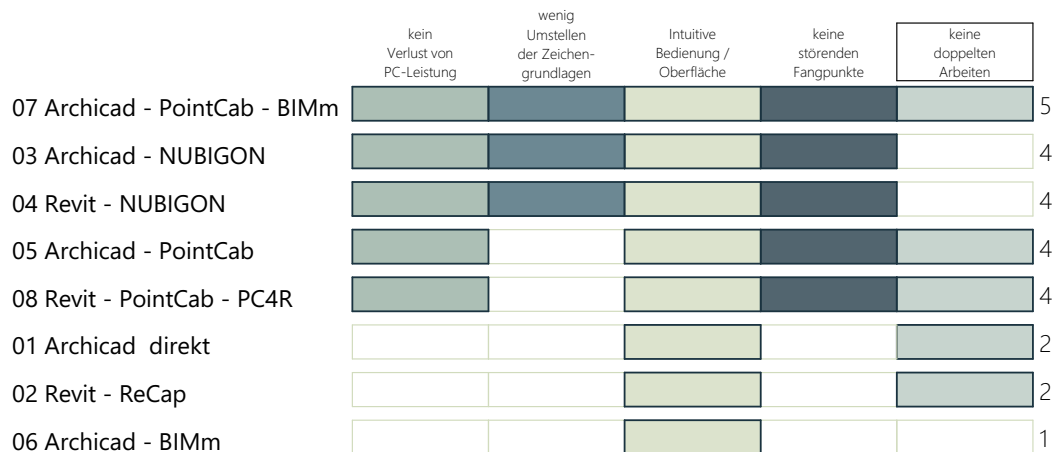


Abb. 6.7: Tabelle: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Benutzerfreundlichkeit.

Der Abb. 6.7 sind folgende Ergebnisse zu entnehmen. Die Workflows 01-AC-d, 02-RV-RC und 06-AC-Bm zeigen Verluste der PC-Leistung bei der Modellierung. Die Workflows 03-AC-NG, 04-RV-NG und 07-AC-PC-Bm ermöglichen das Modellieren, ohne die Zeichengrundlage mehrfach umstellen zu müssen. In der Kategorie „intuitive Bedienung/Benutzeroberfläche“ konnte jeder Workflow überzeugen. Bei der Modellierung der Workflows 01-AC-d, 02-RV-RC und 06-AC-Bm traten störende Fangpunkte auf, die Modellierung beeinträchtigen können. Beim Modellieren der Workflows 03-AC-NG, 04-RV-NG und 06-AC-Bm mussten einige Arbeitsschritte mehrfach durchgeführt werden.

Der Verlust von Leistung in den Workflows 01-AC-d, 02-RV-RC und 06-AC-Bm kann auf die importierte Punktwolke zurückzuführen sein, welche neben das BIM-Objekt im Modellierbereich platziert wird und ein hohes Maß an Rechenleistung in Anspruch nimmt.

In den Workflows 03-AC-NG, 04-RV-NG und 07-AC-PC-Bm musste bei der Modellierung mehrfach die Zeichengrundlage verändert oder umgestellt werden. Solch eine Umstellung unterbricht mehrfach den Modellierprozess.

Alle Programme weisen unter einer gewissen Zeit der Einarbeitung eine übersichtliche und benutzerfreundliche Oberfläche auf.

In den Workflows 01-AC-d, 02-RV-RC und 06-AC-Bm musste mit einer Vielzahl an Fangpunkte umgegangen werden. Jeder Punkt einer Punktwolke besitzt einen Punktfang. Dies bedeutet, dass bei einer importierten Punktwolke sehr viele Fangpunkte im Arbeitsbereich auftreten und das Auswählen der richtigen Punkte erschweren kann.

In den Workflows 03-AC-NG, 04-RV-NG und 06-AC-Bm mussten Arbeitsschritte mehrfach durchgeführt werden. In den Workflows 03-AC-NG und 04-RV-NG ist dies auf die Erstellung der Modelliergrundlage zurückzuführen (siehe Kapitel 3.6). Im Workflow 06-AC-Bm ist die doppelte Arbeit auf eine Ungenauigkeit zurückzuführen, die mit der Benutzung eines Plugin-basierten Modelliertools zurückzuführen ist.

Vergleicht man den besten (07-AC-PC-Bm) und den schlechtesten Workflow (06-AC-Bm), zeigt sich, dass sie mit denselben Programmen arbeiten und sich nur durch PointCab unterscheiden. Dieses Zusatzprogramm in Workflow 07-AC-PC-Bm scheint die Benutzerfreundlichkeit deutlich zu erhöhen.

Die Benutzerfreundlichkeit der Workflows hängt nicht von den Programmen selbst, sondern vielmehr von deren Interaktion miteinander ab. Das zeigt der Vergleich der Workflows 06-AC-Bm und 07-AC-PC-Bm, indem 07-AC-PC-Bm sich als benutzerfreundlichster und 06-AC-Bm als benutzerunfreundlich bewiesen haben.

Workflows, die mit einer Punktwolke direkt im Modellierbereich arbeiten, können an Benutzerfreundlichkeit verlieren (01-AC-d, 02-RV-RC, 06-AC-Bm).



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7 Gegenüberstellung der Workflows

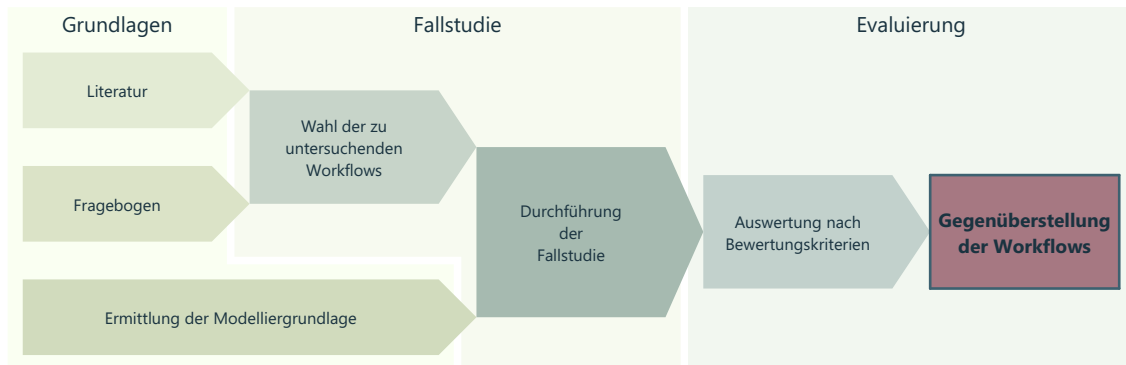


Abb. 7.1: Research-Design-Grafik - Evaluierung: Gegenüberstellung der Workflows

In diesem Kapitel werden die Workflows anhand der Bewertungskriterien aus dem Kapitel 5 gesamt gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung erfolgt in einer tabellarischen Gesamtübersicht sowie einem Liniendiagramm der Workflows. Weiters werden die Workflows einzeln anhand von Radardiagrammen analysiert. Zuletzt werden die Workflows nach Programmen gebündelt und gegenübergestellt.

Die in diesem Kapitel dargestellten Radar- und Lineindiagramme sind im Anhang vergrößert dargestellt.

Die Auswertung findet in folgenden Untergruppen statt:

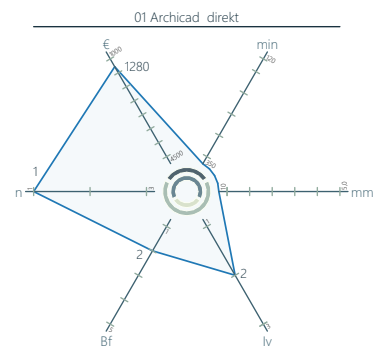
- „7.1 Gegenüberstellung - einzeln“ (Seite 112)
- „7.2 Gegenüberstellung - tabellarisch“ (Seite 114)
- „7.3 Gegenüberstellung gesamt“ (Seite 114)
- „7.4 Gegenüberstellung - Revit“ (Seite 115)
- „7.5 Gegenüberstellung - Archicad“ (Seite 116)
- „7.6 Gegenüberstellung - NUBIGON“ (Seite 117)
- „7.7 Gegenüberstellung - Plugins“ (Seite 117)
- „7.8 Gegenüberstellung - PointCab & BIMm“ (Seite 118)

7.1 Gegenüberstellung - einzeln

Die sechs ausgewählten Bewertungskriterien (Kosten, Anzahl der Programme, Modellierdauer, Informationsverlust, Abweichungen, Benutzfreundlichkeit) werden innerhalb der einzelnen Workflows mit Hilfe eines Radardiagrammes grafisch gegenübergestellt. Je mehr Fläche eingenommen wird, umso besser schneidet der Workflow ab.

01 Archicad direkt:

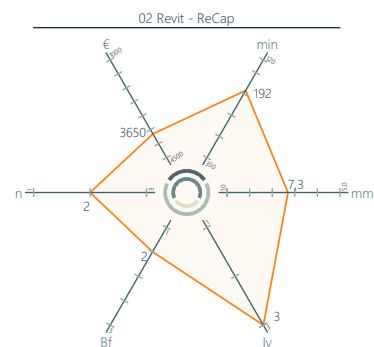
Bei diesem Workflow wurde nur mit einer Software gearbeitet, was die Kosten sehr gering hält. Jedoch konnten aufgrund von Referenzproblemen weder die Modellierdauer noch die Abweichung ermittelt werden. Informationsverlust (vom Ursprung) und Benutzerfreundlichkeit befinden sich beide im unteren Segment.



02 Revit – ReCap

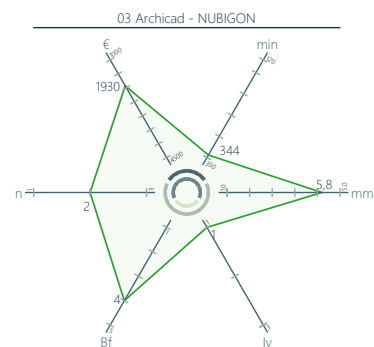
Ist ein schneller und präziser Workflow, der keinen Informationsverlust aufweist.

Abstriche weist der Workflow bei der Benutzerfreundlichkeit auf. Durch die Verwendung von Revit ist dieser Workflow im höheren Preissegment.



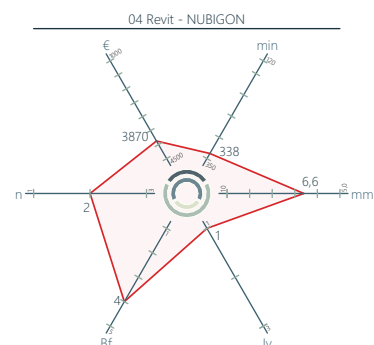
03 Archicad – NUBIGON

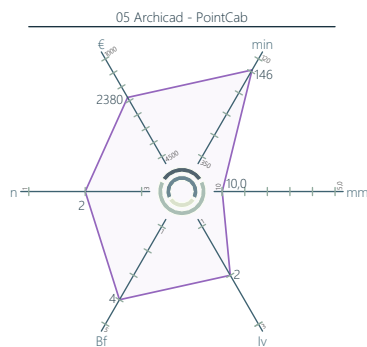
Dieser Workflow ist ein relativ preiswerter, präziser und benutzerfreundlicher Workflow. Jedoch benötigt er für die Vorverarbeitung viel Zeit und hat dadurch einen hohen Informationsverlust.



04 Revit – NUBIGON

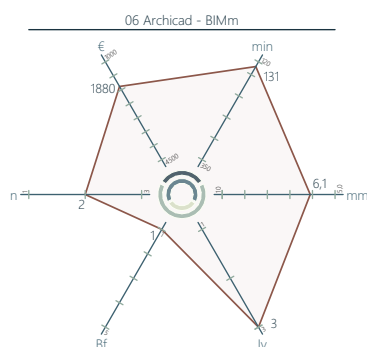
Revit-NUBIGON verhält sich ähnlich wie 03, jedoch ist er aufgrund von Revit etwas hochpreisiger. Wegen der Modellierung mit Revit ist er jedoch deutlich teurer als Workflow 03.





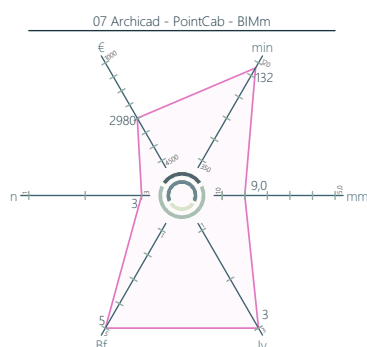
05 Archicad – PointCab

Archicad in Verbindung mit PointCab ist ein schneller und preiswerter Workflow, der benutzerfreundlich ist. Zusätzlich weist er einen geringen Informationsverlust auf. Durch das Arbeiten mit einer Bilddatei als Modellierbasis kann dieser jedoch etwas ungenauer sein.



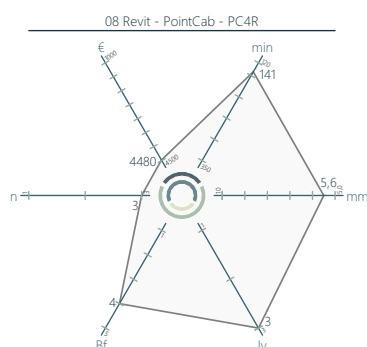
06 Archicad – BIMM

Dies ist ein preiswerter, schneller und genauer Workflow, der in der Untersuchung keinen Informationsverlust aufweist. Jedoch müssen bei diesem große Abstiche im Bereich der Benutzerfreundlichkeit gemacht werden.



07 Archicad – PointCab – BIMM

Archicad in Verbindung mit PointCab und BIMM als Verbindungstool, ist schnell und benutzerfreundlich. Zudem weist es keinen Informationsverlust auf. Durch die Verwendung von drei Programmen steigen jedoch die Programmkosten an. Durch das Arbeiten mit einer Bilddatei als Modelliergrundlage kann dieser Workflow etwas ungenauer sein.



08 Revit – PointCab – PC4R

Revit in Verbindung mit PointCab und PC4R als Verbindungs-Tool ist sehr schnell, genau und zählt in den Kategorien Benutzerfreundlichkeit und Informationsverlust zu den besten Workflows. Durch die Verwendung von drei Programmen zählt dieser Workflow als der teuerste unter den Untersuchung.

7.2 Gegenüberstellung - tabellarisch

Abb. 7.2 zeigt die gesamten Daten der einzelnen Workflows aus der Workflowanalyse. Farblich wurde die Bewertung innerhalb der Kriterien hervorgehoben. Je dunkler der Wert markiert ist, desto besser seine Position innerhalb der Kriterien.

Aus dieser Darstellung der Werte lässt sich bereits eine weite Streuung der Workflows ablesen. Durch den Abbruch des Workflows „01-Archicad direkt“ konnten bei diesem keine Werte in den Kategorien „Abweichung“ und „Zeit“ evaluiert werden.

	Anzahl	Kosten	Abweichung	Zeit	Informationsverlust	Benutzerfreundlichkeit
01 Archicad direkt	1	1280	X	X	2	3
02 Revit - ReCap	2	3650	192	7,3	3	2
03 Archicad - NUBIGON	2	1930	344	5,8	1	4
04 Revit - NUBIGON	2	3870	338	6,6	1	4
05 Archicad - PointCab	2	2380	146	10,0	2	4
06 Archicad - BIMm	2	1880	131	6,1	3	1
07 Archicad - PointCab - BIMm	3	2980	132	9,0	3	5
08 Revit - PointCab - PC4R	3	4480	141	5,6	3	4

Abb. 7.2: Tabelle: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten in allen untersuchten Bewertungskriterien.

7.3 Gegenüberstellung gesamt

Hier werden alle untersuchten Workflows in einem Liniendiagramm gegenübergestellt und ausgewertet.

Das Liniendiagramm (Abb. 7.3) zeigt ebenfalls, dass die Streuung der Workflows innerhalb einer Kategorie groß ist. Es zeigt auch, dass die einzelnen Workflows von Kategorie zu Kategorie unterschiedlich abschneiden. Eine aussagekräftige Bewertung kann in dieser Abbildung jedoch nicht getroffen werden. Daher werden in den nächsten Kapiteln Untergruppen hervorgehoben und ausgewertet.

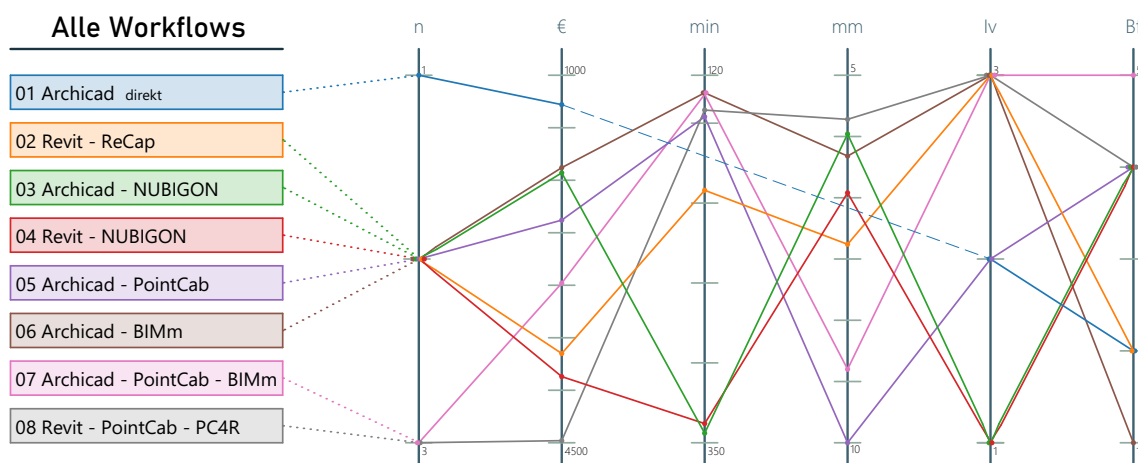


Abb. 7.3: Liniendiagramm: Gegenüberstellung aller untersuchter Workflows.

7.4 Gegenüberstellung - Revit

Hier werden die Workflows untersucht, welche in der closed BIM-Umgebung mit Revit durchgeführt wurden.

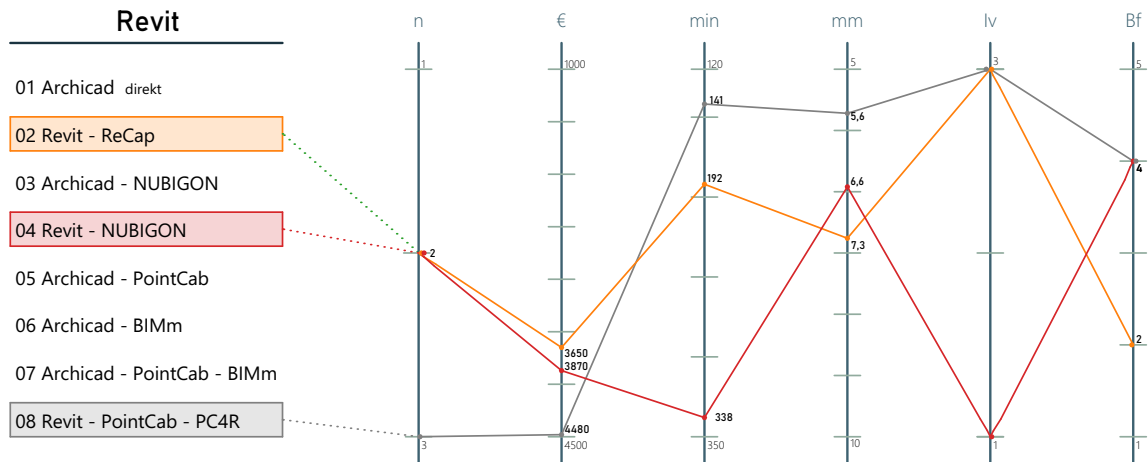


Abb. 7.4: Liniendiagramm: Gegenüberstellung der untersuchten Revit-Workflows

In Abb. 7.4 zeigt sich, dass das Arbeiten mit drei Programmen in einem Workflow (08-RV-PC-P4) zwar ein kostenintensiver Prozess ist, jedoch die Gesamtperformance dadurch deutlich steigern kann. So ist dieser der schnellsten Workflows mit Revit mit einer geringen Abweichung, ohne Informationsverlust und zählt zu den benutzerfreundlichsten.

Workflow 02-RV-RC hat im Vergleich zu 08-RV-PC-P4 weniger Programmkosten, jedoch ist dieser weniger benutzerfreundlich und hat eine längere Modellierzeit.

Vergleicht man die beiden Revit-Workflows mit je zwei Programmen, 02-RV-RC und 04-RV-NG, unterscheiden sich diese vor allem in der Modellierzeit, dem Informationsverlust sowie der Benutzerfreundlichkeit. Workflow 02-RV-RC benötigt deutlich weniger Modellierzeit und hat weniger Informationsverlust. Workflow 04-RV-NG hebt sich jedoch durch seine Benutzerfreundlichkeit ab.

Die lange Modellierzeit von Workflow 04-RV-NG im Vergleich zu 02-RV-RC und 08-RV-PC-P4 lässt sich auf die lange Vorverarbeitung der Punktwolke zurückführen.

7.5 Gegenüberstellung - Archicad

Hier werden die Workflows verglichen, welche mit Archicad in der open-BIM-Umgebung modelliert wurden.

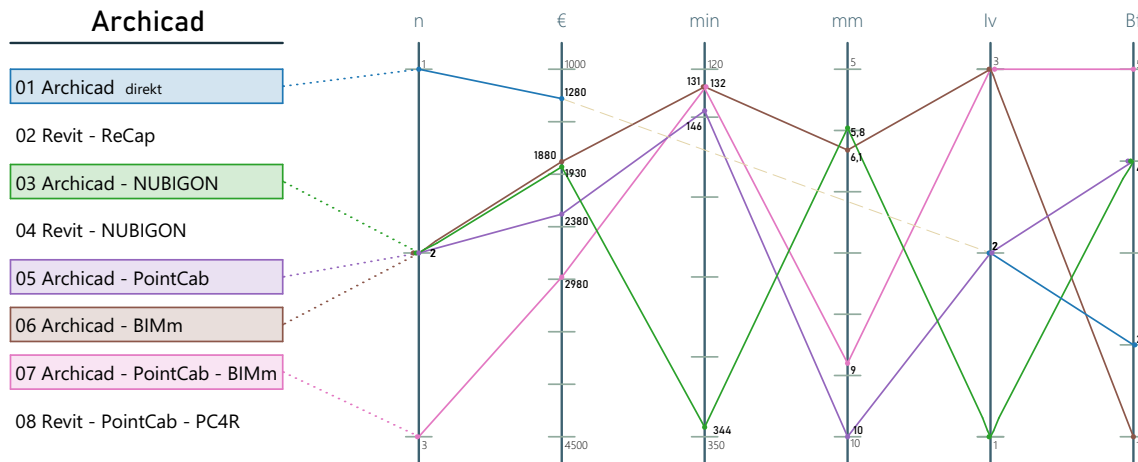


Abb. 7.5: Liniendiagramm: Gegenüberstellung der untersuchten Archicad-Workflows

Das Liniendiagramm (Abb. 7.5) zeigt, dass die Workflows eine hohe Streuung aufweisen. Keiner der Workflows kann in allen Kategorien überzeugen. Sie weisen unterschiedliche Stärken und Schwächen auf.

Der Workflow 01-AC-d zählt als der günstigste, weil nur ein Programm benutzt wird, jedoch konnte die Modellierzeit und die Abweichung nicht ermittelt werden. In den Kategorie Informationsverlust und Benutzerfreundlichkeit zählt er im Vergleich zu den anderen Workflows zum unteren Mittelfeld.

Werden die Workflows 03-AC-NG, 05-AC-PC und 06-AC-Bm verglichen, jene die je zwei Programme benötigen, gibt es kaum einen preislichen Unterschied. In der Kategorien Modellierzeit ist der Workflow 03-AC-NG deutlich länger als die die Workflows 05-AC-PC und 06-AC-Bm, welche ungefähr gleich lang benötigten. 03-AC-NG und 06-AC-Bm bieten eine höhere Genauigkeit als er 05-AC-PC.

06-AC-Bm weist keinen Informationsverlust auf, gefolgt von 05-AC-PC mit mittlerem und 03-AC-NG mit hohem Informationsverlust.

Bei der Benutzerfreundlichkeit schneiden 03-AC-NG und 05-AC-PC gleich gut ab, 06-AC-Bm ist deutlich schlechter. Werden Workflow 06-AC-Bm, der günstigste durchgeführte, und 07-AC-PC-Bm, der teuerste durchgeführte Workflow verglichen zeigt sich, dass sie sich in der Abweichung und der Benutzerfreundlichkeit unterscheiden. Der günstigere 06-AC-Bm kann etwas genauer sein, ist jedoch benutzerunfreundlich im Archicad-Vergleich, wobei 07-AC-PC-Bm der benutzerfreundlichste ist.

7.6 Gegenüberstellung - NUBIGON

Hier werden die beiden Workflows verglichen, welche mit NUBIGON durchgeführt wurden. Die beiden Workflows sind sowohl in der Modellierzeit, der Abweichung, dem Grad des Informationsverlustes als auch bei der Benutzerfreundlichkeit gleich. Die Unterscheidung tritt nur in bei den Kosten auf, was auf die hohen Kosten von Revit zurückzuführen ist.

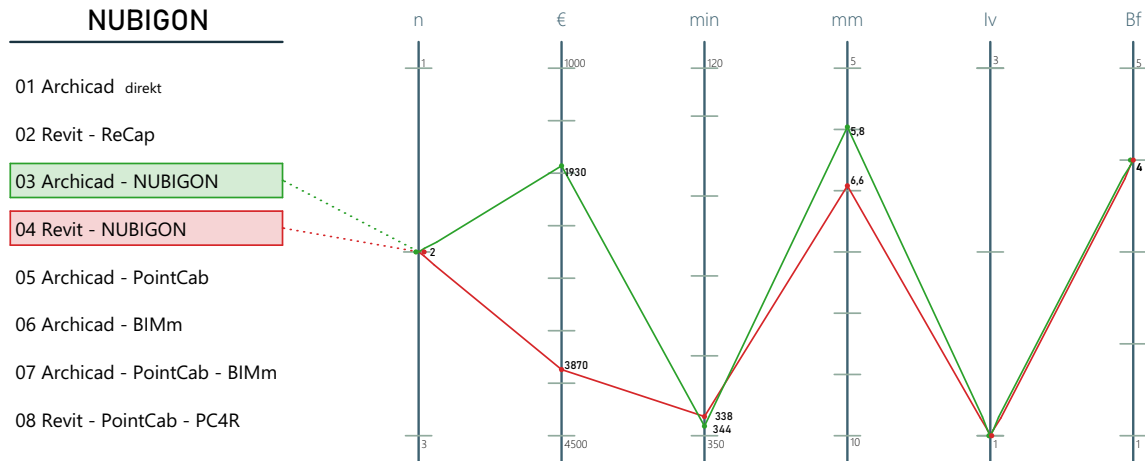


Abb. 7.6: Liniendiagramm: Gegenüberstellung der Workflows in Verbindung mit NUBIGON

7.7 Gegenüberstellung - Plugins

Hier werden die Workflows verglichen, welche PointCab und ein geeignetes Plugin für die jeweilige Modelliersoftware verwenden.

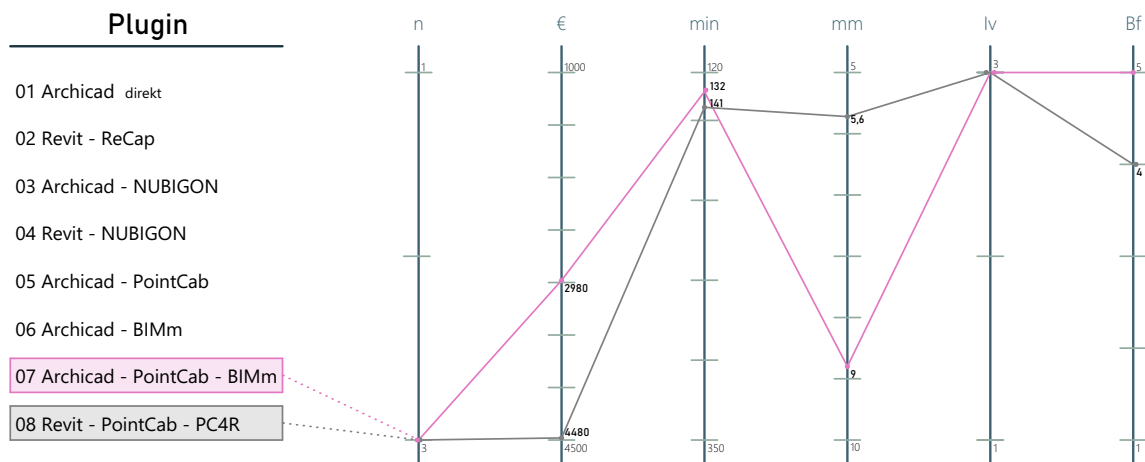


Abb. 7.7: Liniendiagramm: Gegenüberstellung der Workflows in Verbindung mit einem Plugin als Verbindungstool.

Die Hauptunterschiede der beiden Workflows sind bei den Kosten und der Abweichung. Sowohl in der Modellierzeit, dem Informationsverlust und der Benutzerfreundlichkeit zählen sie zu den besten. Bei der Benutzerfreundlichkeit schneidet 08-RV-PC-P4 knapp schlechter ab.

7.8 Gegenüberstellung - PointCab & BIMm

Hier werden PointCab und BIMm in Verbindung mit Archicad verglichen. Die Programme können sowohl als Einzelprogramm als auch in Kombination verwendet werden.

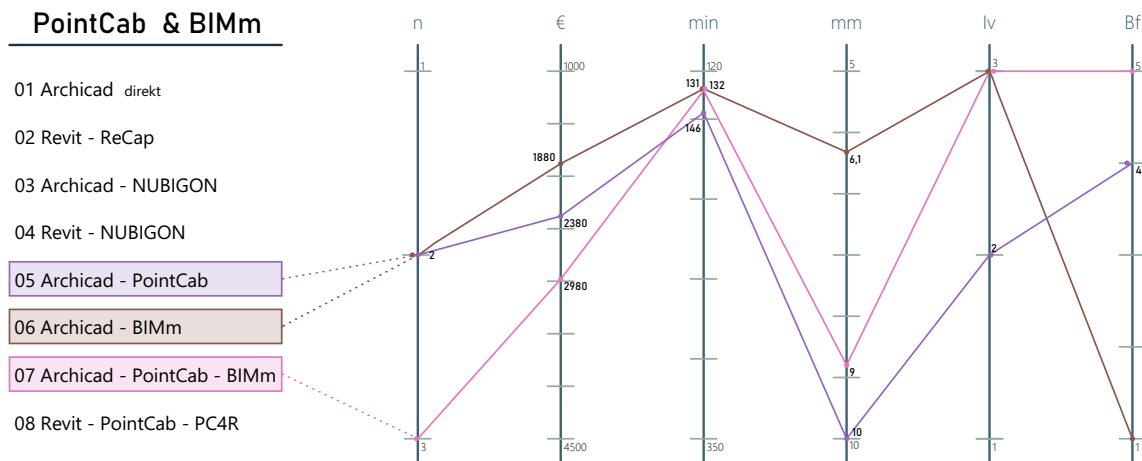


Abb. 7.8: Liniendiagramm: Gegenüberstellung von PointCab & BIMm in der Archicad-Umgebung

Abb. 7.8 zeigt, dass alle Programmkombinationen ähnlich schnelle Modellierzeiten lieferten. Bei den Kosten ist 06-AC-Bm, mit BIMm als Archicad Plugin, der günstigste, gefolgt von 05-AC-PC und weiters gefolgt von der Kombination der beiden Programme in 07-AC-PC-Bm (Bundle-Preise wurden hier nicht berücksichtigt). Im Vergleich schneidet 06-AC-Bm in allen Kategorien am besten ab, außer bei der Benutzerfreundlichkeit, in dieser ist der Workflow schlechter.

05-AC-PC ist im Vergleich zu 07-AC-PC-Bm in der Programmanzahl und den Kosten besser, jedoch ist 07-AC-PC-Bm in allen anderen Kategorien schneller, genauer, detailreicher und benutzerfreundlicher.

7.9 Weitere Entscheidungsfaktoren

In diesem Kapitel werden weitere Faktoren erläutert, die für die Entscheidung für einen Workflow von Bedeutung sein können.

Für die Entscheidung sind neben den in dieser Arbeit analysierten Faktoren auch noch weitere individuelle Faktoren von Bedeutung.

Arbeitsschritte im Scan-to-BIM Workflow

Vor der Entscheidung für eine Software sollte klargestellt werden, welche Bereiche des Scan-to-BIM Workflows übernommen werden sollen. Wird der gesamte Workflow übernommen kann eine andere Software effizienter sein, als wenn nur die Modellierung übernommen wird.

Wird nur ein Teil des Workflows übernommen, muss darauf geachtet werden, dass der Workflow ein getrenntes Arbeiten ermöglicht.

Basisdateien

Je nach übernommenem Bereich im Scan-to-BIM Workflow können die Punktwolken in unterschiedlicher Form auftreten und unterschiedliche Softwarelösungen benötigen.

Diese könnten unter anderem folgende sein:

- registrierte / nicht registrierte Punktwolken
- terrestrische / SLAM Punktwolken
- colorierte / nicht colorierte Punktwolken

Einsatzbereiche

Auch die Einsatzbereiche können für die Entscheidung von Bedeutung sein. Je nach Einsatzbereich können unterschiedliche Eigenschaften benötigt oder gewichtet werden. Für eine Altbausanierung können unter anderem größere Toleranzen möglich sein als bei einer genauen Baudokumentation (Grad der Idealisierung).

Einsatzbereiche in der Baubranche können unter anderem folgende sein:

- Neubau
- Baudokumentation
- Baufortschritt
- Umbau
- Dokumentation
- Grundlagenermittlung

Häufigkeit

Die Häufigkeit, mit der die Programme oder Workflow genutzt werden, können Einfluss auf die Bewertungskriterien haben.

Eine häufige Benutzung der Workflows kann zum Beispiel hohe Programmkosten relativieren. Mit der häufigen Benutzung und dem Einarbeiten in einen benutzerunfreundlichen Workflow, kann dieser auch zu einer passenden Entscheidung werden.

Software

Bei der Wahl der richtigen Software ist vorab die gewünschte BIM-Umgebung (open oder closed BIM) zu definieren.

Auch bestehende Programmen, welche in den Workflow einbezogen werden sollen, können die Wahl des Workflows beeinflussen.

Die Programme bieten heutzutage eine Vielzahl an Funktionen, wie Rendern einer Punktwolke, Versionsverläufe, Registrierung, Haustechnik-Modellierung, usw.

Je nach gewünschter weiterer Funktion kann der Workflow um Programme aufgebaut werden.

Auch das Interesse an unterschiedlichen Programmen kann die Wahl der Workflows beeinflussen. Zudem kann das Arbeiten mit einer Vielzahl an Programmen von den Fähigkeiten und Interessen der Mitarbeiter abhängig sein.

7.10 Zusammenfassung der Gegenüberstellung

Keiner der untersuchten Workflows kann als optimal oder der Beste bezeichnet werden, da jeder in den herangezogenen Bewertungskriterien unterschiedliche Stärken und Schwächen aufweist.

Die Programmanzahl kann für einen Workflow eine Verbesserung der Gesamtperformance bedeuten, bedarf allerdings die Fähigkeiten, um mit einer Vielzahl Anzahl an Programmen umgehen zu können.

Die Abweichungen der untersuchten Workflows waren innerhalb der üblichen Bautoleranzen, daher ist bei der Entscheidung für einen Workflow auf den individuellen Grad der Idealisierung zu berücksichtigen.

Die Benutzerfreundlichkeit der Workflows hängt nicht von den Programmen selbst, sondern vielmehr von deren Interaktion miteinander ab. So muss bei der Wahl des passenden Workflows auf eine sinnvolle Kombination von Programmen geachtet werden.

Im Gesamtvergleich hat sich gezeigt, dass die Workflows, welche mit Archicad durchgeführt wurden, günstiger sind.

Der günstigste modellierte Workflow 06-AC-Bm bietet, abgesehen von der Benutzerfreundlichkeit, eine sehr gute Performance. Innerhalb der Archicad Workflows ist 07-AC-PC-Bm der teuerste, jedoch konnte er in der Gesamtperformance überzeugen.

Workflows, die mit Revit modelliert wurden, sind im Gesamtvergleich teurer.

Die zusätzliche Investition in ein Plugin für Revit Workflows, kann die Kosten zwar weiter anheben, jedoch kann dadurch die Performance in den anderen Kategorien deutlich gesteigert werden (08-RV-PC-P4).

Die Reduktion einer Punktwolke in ein Polyliniennetz, wie in den untersuchten Workflows mit NUBIGON (03-AC-NG und 04-RV-NG), bieten aktuell keinen Mehrwert für die BIM-Modellierung, da sie die Modellierzeit mit doppelten Arbeitsschritten deutlich verlängern. Zusätzlich findet in der Reduktion der Punktwolke ein erheblicher Informationsverlust statt. Bei der Visualisierung von Punktwolken konnte NUBIGON jedoch deutlich überzeugen.

Die individuelle Wichtung der Bewertungskriterien kann die Gesamtperformance der Workflows beeinflussen. Zusätzlich können weitere individuelle Faktoren die Wahl des Workflows beeinflussen wie zum Beispiel die BIM-Umgebung, die Einsatzbereiche, die durchgeführten Arbeitsschritte im Scan-to-BIM Workflow, die Basis der Modellierung, das Maß der Idealisierung von Maßen sowie das Nutzungsverhalten der Modellierer*innen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

8 Conclusio

Die Modellierung von BIM-Modellen auf Basis einer Punktwolke ist nach wie vor ein manueller repetitiver Prozess, der sowohl fehleranfällig als auch zeitaufwendig ist. Zudem ist die Wahl der richtigen Software und der richtigen Methode ein entscheidender Faktor bei der Effizienz.

Im Zuge einer Literaturrecherche und einem Fragebogen, welcher sich an Personen im Scan-to-BIM Bereich richtete, konnten Workflows und Methoden zu Erstellung von BIM-Modellen auf Punktwolkenbasis festgestellt werden. Aus den festgestellten Workflows wurden acht Workflows ausgewählt und in einer Fallstudie untersucht. In den ausgewählten Workflows sollten sowohl der direkte Import in die BIM-Software, der Import mittels Plugins in der BIM-Software, die Verknüpfung von Programmen mittels Plugins, die Reduktion der Punktwolke zu Polylinien und die Reduktion der Punktwolke in eine Bilddatei (.jpg/.dxf) in der Fallstudie enthalten sein. Zudem sollten sowohl die open- als auch closed- BIM-Umgebung in der Fallstudie vertreten sein.

In der Fallstudie wurden folgende Workflows untersucht:

- Archicad – (Direkter Import) (siehe Kapitel. 4.2)
- Revit - ReCap (siehe Kapitel. 4.3)
- Archicad - NUBIGON (siehe Kapitel. 4.4)
- Revit - NUBIGON (siehe Kapitel. 4.5)
- Archicad - PointCab – (siehe Kapitel. 4.6)
- Archicad – BIMm (siehe Kapitel. 4.1.7)
- Archicad - PointCab – BIMm – (siehe Kapitel. 4.8)
- Revit - PointCab –PC4R (siehe Kapitel. 4.9)

In der Fallstudie wurde die TLS-Punktwolke eines Einfamilienhaus als Vergleichsobjekt modelliert und dabei auf die Vergleichbarkeit der Workflows geachtet. Bewertet wurden die Workflows nach der Programmanzahl, der Softwarekosten, der Modellierzeit, der Abweichung, dem Informationsverlust und der Benutzerfreundlichkeit.

Die Gegenüberstellung fand sowohl in gesamten als auch in thematischen Gruppen statt. Die Auswertung der Gegenüberstellung zeigt, dass kein optimaler Workflow festgestellt werden konnte, da jeder Workflow, unterschiedliche Stärken und Schwächen aufweist. So kann eine höhere Anzahl an Programmen den Workflow positiv beeinflussen, jedoch werden dafür mehre Softwarekompetenzen benötigt

Die Abweichungen aller untersuchen Workflows blieb innerhalb der üblichen Bautole-

ranzen. Bei Workflows, bei denen die Punktwolke auf eine .png Bilddabei reduziert wurde, wie bei en Workflows Archicad-PointCab und Archicad-PointCab-BIMm, konnte jedoch eine größere Abweichung festgestellt werden.

Die Benutzerfreundlichkeit der Workflows hängt nicht von den Programmen selbst, sondern vielmehr von deren Interaktion miteinander ab.

Im Gesamtvergleich hat sich gezeigt, dass die Workflows, welche mit Archicad durchgeführt wurden, günstiger sind als jene mit Revit. Innerhalb der Archicad Umgebung zeigt sich der teuerste Workflow, Archicad-PointCab-BIMm, als jener der in der Gesamtperformance am meisten überzeugen konnte.

Wie sich am Beispiel Revit-PointCab, ergänzt mit dem PointCab4Revit Plugin, zeigt, kann durch die zusätzliche Investition in ein Plugin die Gesamtperformance des Workflows deutlich gesteigert werden.

Die Reduktion einer Punktwolke in ein Polyliniennetz, wie in den untersuchten Workflows mit NUBIGON (03-AC-NG und 04-RV-NG), bieten aktuell keinen Mehrwert für die BIM-Modellierung, da sie die Modellierzeit mit doppelten Arbeitsschritten deutlich verlängern. Zusätzlich findet in der Reduktion der Punktwolke ein erheblicher Informationsverlust statt.

Die individuelle Wichtung der Bewertungskriterien kann die Gesamtperformance der Workflows beeinflussen. Zusätzlich zu den in dieser Arbeit behandelten Kriterien, können weitere individuelle Faktoren die Wahl des Workflows beeinflussen.

8.1 Persönliches Fazit

Im Zuge dieser Arbeit war es mir möglich verschiedenste Programme mit ihren unterschiedlichen Funktionen und Benutzeroberflächen kennenzulernen.

Selbst als langjähriger Archicad-Nutzer zählt für mich der Workflow „08 Revit-PointCab-PC4R“ mit Revit zu einem der Besten.

Der für mich beste Workflow ist jedoch „07 Archicad – PointCab – BIMm“ mit BIMm als Verbindungstool. Die Leistung der BIM-Software konnte durch die externen Punktwolkenverarbeitung aufrecht gehalten werden. Durch das referenzierte Übertragen von Ansichten und Schnitten wurde der Arbeitsfluss beschleunigt und flexibel gestaltet.

Der Workflow „06 Archicad – BIMm“ mit BIMm als Modelliertool konnte mich nicht überzeugen, da er zwar gute Ansätze für die BIM-Modellierung bietet, diese aktuell jedoch zu einem Mehraufwand führten.

Obwohl Nubigon in dieser Arbeit nicht gut abschneidet, muss festgehalten werden, dass die Visualisierung der Punktwolke und die Orientierung in der Punktwolke für mich mit Abstand am einfachsten war.

8.2 Ausblick

Die in dieser Arbeit untersuchten Workflows bieten einen eingegrenzten Überblick über aktuelle Workflows in der Scan-to-BIM-Modellierung. Um einen breit gefächerten Überblick bieten zu können wären weitere Untersuchungen nötig.

Die Ankündigungen der Weiterentwicklungen der Programme sind vielversprechend. Durch die ständige Weiterentwicklung von Programme und deren Implementierung in Workflows ist zu erwarten, dass die Scan-to-BIM Workflows schneller und einfacher werden. Dadurch ist zu erwarten, dass sich die Workflows für die manuelle Modellierung weiter entwickeln und in den Bewertungskriterien besser abscheiden können.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9 Verzeichnisse

9.1 Quellenverzeichnis

- Alsadik, B., Khalid Jasim, L., 2019. Active use of panoramic mobile mapping systems for as built surveying and heritage documentation. *Int. J. Archit. Herit.* 13, 244–256. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1431733>
- Angulo-Fornos, R., Castellano-Román, M., 2020. HBIM as Support of Preventive Conservation Actions in Heritage Architecture. Experience of the Renaissance Quadrant Façade of the Cathedral of Seville. *Appl. Sci.* 10, 2428. <https://doi.org/10.3390/app10072428>
- Autodesk Inc.
<https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit?sort=score>
Zugriff: 02/2022
<https://knowledge.autodesk.com/de/support/recap?sort=score>
Zugriff: 03/2022
- Azhar, S., Khalfan, M., Maqsood, T., 2012. Building Information Modeling (BIM): Now and beyond. *Australas. J. Constr. Econ. Build.* 12, 15–28. <https://doi.org/10.3316/informit.013120167780649>
- B_I baumagazin - B_I Medien GmbH
<https://bi-medien.de/fachzeitschriften/baumagazin/hochbau/marktueberblick-3-d-laserscanner-reales-bim-konform-erfassen-b12232>
Zugriff:01/2023
- Bassier, M., Vergauwen, M., 2020. Topology Reconstruction of BIM Wall Objects from Point Cloud Data. *Remote Sens.* 12, 1800. <https://doi.org/10.3390/rs12111800>
- BIMm Solutions GmbH
<https://bimm-gmbh.de/handbuch>
Zugriff: 05/2022
- BIMPedia - Plandata GmbH
<https://www.bimpedia.eu/thema/architektur/modellierleitfaden>
Zugriff: 04/2022
- Blais, F., 2004. Review of 20 years of range sensor development. *J. Electron. Imaging* 13, 231. <https://doi.org/10.1117/1.1631921>
- Bruno, N., Roncella, R., 2019. HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling. *Remote Sens.* 11, 1751. <https://doi.org/10.3390/rs11151751>
- Cabo, C., Del Pozo, S., Rodríguez-González, P., Ordóñez, C., González-Aguilera, D., 2018. Comparing Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Wearable Laser Scanning (WLS) for Individual Tree Modeling at Plot Level. *Remote Sens.* 10, 540. <https://doi.org/10.3390/rs10040540>
- CloudCompare
<https://www.cloudcompare.org/forum/>
Zugriff: 07/2022
- Demian, P., Walters, D., 2014. The advantages of information management through building information modelling. *Constr. Manag. Econ.* 32, 1153–1165. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.777754>

Deutsche Bauzeitung

<https://www.db-bauzeitung.de/allgemein/punktwolke/>
Zugriff:01/2022

di Filippo, A., Sánchez-Aparicio, L., Barba, S., Martín-Jiménez, J., Mora, R., González Aguilera, D., 2018. Use of a Wearable Mobile Laser System in Seamless Indoor 3D Mapping of a Complex Historical Site. *Remote Sens.* 10, 1897. <https://doi.org/10.3390/rs10121897>

Ding, L., Zhou, Y., Akinci, B., 2014. Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Autom. Constr.* 46, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.009>

Dissanayake, M.W.M.G., Newman, P., Clark, S., Durrant-Whyte, H.F., Csorba, M., 2001. A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem. *IEEE Trans. Robot. Autom.* 17, 229–241. <https://doi.org/10.1109/70.938381>

Diversified Communications, 2023.

<https://divcomplatform.s3.amazonaws.com/www.geoweeknews.com/mages/12d9481b0c945eb6b-2df3a611c1f4513.png>
Zugriff: 01/2023

Dumic, E., Battisti, F., Carli, M., da Silva Cruz, L.A., 2021. Point Cloud Visualization Methods: a Study on Subjective Preferences, in: 2020 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). Presented at the 2020 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp. 595–599. <https://doi.org/10.23919/Eusipco47968.2020.9287504>

Graphisoft - Archicad

<https://graphisoft.com/de/service-support/support>
Zugriff 03/2022

Huang, X., Mei, G., Zhang, J., Abbas, R., 2021. A comprehensive survey on point cloud registration. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.02690>

Jakovljević, G., Govedarica, M., Taboada, F.A., de León, U., 2022. IPHONE 13 PRO VS PROFESSIONAL TLS FOR 3D INDOOR MAPPING.

Janisio-Pawłowska, D., 2021. Analysis of the Possibilities of Using HBIM Technology in the Protection of Cultural Heritage, Based on a Review of the Latest Research Carried out in Poland. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 10, 633. <https://doi.org/10.3390/ijgi10100633>

Jansen AG, 2023

<https://www.jansen.com/en/building-systems-profile-systems-steel/services-steel-systems/planing-bim-steel-systems.html>
Zugriff: 01/23

Kamel, E., Memari, A.M., 2019. Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Autom. Constr.* 97, 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>

Kim, H., Anderson, K., Lee, S., Hildreth, J., 2013. Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. *Autom. Constr.* 35, 285–295. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.020>

Kim, Seungho, Kim, Sangyong, Lee, D.-E., 2020. Sustainable Application of Hybrid Point Cloud and BIM Method for Tracking Construction Progress. *Sustainability* 12, 4106. <https://doi.org/10.3390/su12104106>

Konior, J., Szóstak, M., 2020. Methodology of Planning the Course of the Cumulative Cost Curve in Construction Projects. *Sustainability* 12, 2347. <https://doi.org/10.3390/su12062347>

- Korumaz, M., Betti, M., Conti, A., Tucci, G., Bartoli, G., Bonora, V., Korumaz, A.G., Fiorini, L., 2017. An integrated Terrestrial Laser Scanner (TLS), Deviation Analysis (DA) and Finite Element (FE) approach for health assessment of historical structures. A minaret case study. *Eng. Struct.* 153, 224–238. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.10.026>
- Krek, A., Rumor, M., Zlatanova, S., Fendel, E.M. (Eds.), 2009. A SWOT analysis on the implementation of Building Information Models within the geospatial environment. CRC Press, pp. 27–42. <https://doi.org/10.1201/9780203869352-5>
- Lagüela, S., Dorado, I., Gesto, M., Arias, P., González-Aguilera, D., Lorenzo, H., 2018. Behavior Analysis of Novel Wearable Indoor Mapping System Based on 3D-SLAM. *Sensors* 18, 766. <https://doi.org/10.3390/s18030766>
- laserscanning-europe
<https://www.laserscanning-europe.com/de/unsere-leistungenhardware/terrestrische-laserscanner>
Zugriff: 08/2022
- laserscanning-experts
<https://laserscanning-experts.de/was-ist-building-information-modeling-bim/>
Zugriff: 01/2023
- Laser Scanning Architecture, 2022.
<https://www.laser-scanning-architecture.com/3d-vermessung/punktwolken/>
Zugriff: 09/2022
- letsbuild
<https://www.letsbuild.com/de/blog/ist-bim-welche-vorteile-bietet-es-der-baubranche>
Zugriff: 01/2023
- Maalek, R., Sadeghpour, F., 2013. Accuracy assessment of Ultra-Wide Band technology in tracking static resources in indoor construction scenarios. *Autom. Constr.* 30, 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.005>
- Masciotta, M.G., Sanchez-Aparicio, L.J., Oliveira, D.V., Gonzalez-Aguilera, D., 2022. Integration of Laser Scanning Technologies and 360o Photography for the Digital Documentation and Management of Cultural Heritage Buildings. *Int. J. Archit. Herit.* 0, 1–20. <https://doi.org/10.1080/15583058.2022.2069062>
- MIXED.DE by DEEP CONTENT GBR, 2023.
https://mixed.de/wp-content/uploads/2021/10/iPhone_12_Pro_LiDAR_Sensor.jpg.webp
Zugriff: 04/2023
- Moyano, J., Nieto-Julián, J.E., Lenin, L.M., Bruno, S., 2022. Operability of Point Cloud Data in an Architectural Heritage Information Model. *Int. J. Archit. Herit.* 16, 1588–1607. <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1900951>
- National BIM-Standard
<https://www.nationalbimstandard.org/faqs#faq1>
Zugriff: 02/2023
- NavVIS GmbH
<https://www.navvis.com/de/blog/a-complete-guide-to-evaluating-mobile-point-cloud-quality>
Zugriff: 04/2022
- Niedermaier, A., Bäck, R., 2018. ALLPLAN BIM-Kompodium Theorie und Praxis. Nowak, R., Orłowicz, R., Rutkowski, R., 2020. Use of TLS (LiDAR) for bilding Diagnostics with the Example of a Historic Building in Karlino. *Buildings* 10, 24. <https://doi.org/10.3390/buildings10020024>

PointCab GmbH

<https://pointcab-software.com/de/>

Zugriff: 04/2023

Puente, I., González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J., Arias, P., 2013. Review of mobile mapping and surveying technologies. *Measurement* 46, 2127–2145. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.03.006>

Rodríguez, E.V., Bosché, F., Esposito, M.B., 2022. Laser Scanning for BIM. *J. Inf. Technol. Constr.* 27, 486–495. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.023>

Rodríguez-Moreno, C., Reinoso-Gordo, J.F., Rivas-López, E., Gómez-Blanco, A., Ariza-López, F.J., Ariza-López, I., 2018. From point cloud to BIM: an integrated workflow for documentation, research and modelling of architectural heritage. *Surv. Rev.* 50, 212–231. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1259719>

Roger Lustenberger, 2022.

<https://www.rlpk.ch/sites/default/files/services/Atzenloo.jpg>

Zugriff: 01/2023

Shanoer, M.M., Abed, F.M., 2018. Evaluate 3D laser point clouds registration for cultural heritage documentation. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* 21, 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.007>

Sing, M.C.P., Luk, S., Y.Y., Chan, K.H.C., Liu, H.J., Humphrey, R., 2022. Scan-to-BIM technique in building maintenance projects: practicing quantity take-off. *Int. J. Build. Pathol. Adapt.* ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-06-2022-0097>

Skrzypczak, I., Oleniacz, G., Leśniak, A., Zima, K., Mrówczyńska, M., Kazak, J.K., 2022. Scan-to-BIM method in construction: assessment of the 3D buildings model accuracy in terms inventory measurements. *Build. Res. Inf.* 0, 1–22. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.2011703>

Soilán, M., Justo, A., Sánchez-Rodríguez, A., Riveiro, B., 2020. Remote Sensing: 3D Point Cloud to BIM: Semi-Automated Framework to Define IFC Alignment Entities from MLS-Acquired LiDAR Data of Highway Roads.

Son, H., Kim, C., Turkan, Y., 2015. Scan-to-BIM - An Overview of the Current State of the Art and a Look Ahead. Presented at the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Oulu, Finland. <https://doi.org/10.22260/ISARC2015/0050>

STATECH BH doo, 2020.

<https://www.statech-bh.ba/wp-content/uploads/2020/05/bim-scan.jpg>

Zugriff: 01/2023

SUMO SERVICES LTD, 2022.

https://537901351b.clvaw-cdnwnd.com/21e483f57a71d2809db3e54996efb7a9/200000021-06cee07c9d/ZEB-CAM-2_no-background-darker.png?ph=537901351b

Zugriff: 01/2023

Technische Universität München

<https://www.bgu.tum.de/gug/geo/met/laserscanning/>

Zugriff: 06/2021

Tommasi, C., Achille, C., Fassi, F., 2016. FROM POINT CLOUD TO BIM: A MODELLING CHALLENGE IN THE CULTURAL HERITAGE FIELD. *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XLI-B5, 429–436. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-429-2016>

Trach, R., Pawluk, K., Lendo-Siwicka, M., 2022. The assessment of the effect of BIM and IPD on construction projects in Ukraine. *Int. J. Constr. Manag.* 22, 1844–1851. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1742636>

- TU-München, 2021.
<http://www.gug.bv.tum.de/geomet/laserscanning-2.html>
Zugriff: 06/2021
- Usmani, A.R.A., Elshafey, A., Gheisari, M., Chai, C., Aminudin, E.B., Tan, C.S., 2019. A scan to as-built building information modeling workflow: a case study in Malaysia. *J. Eng. Des. Technol.* 18, 923–940. <https://doi.org/10.1108/JEDT-07-2019-0182>
- Utica, G., Pinti, L., Guzzoni, L., Bonelli, S., Brizzolari, A., 2017. INTEGRATING LASER SCANNER AND BIM FOR CONSERVATION AND REUSE: "THE LYRIC THEATRE OF MILAN." *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* IV-5/W1, 77–82. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-77-2017>
- Vogt, M., Rips, A., Emmelmann, C., 2021. Comparison of iPad Pro®'s LiDAR and TrueDepth Capabilities with an Industrial 3D Scanning Solution. *Technologies* 9, 25. <https://doi.org/10.3390/technologies9020025>
- Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F., 2014. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Autom. Constr.* 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Wang, C., Wen, C., Dai, Y., Yu, S., Liu, M., 2020. Urban 3D modeling with mobile laser scanning: a review. *Virtual Real. Intell. Hardw., 3D Visual Processing and Reconstruction Special Issue 2*, 175–212. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2020.05.003>
- Wojtkowska, M., Kedzierski, M., Delis, P., 2021. Validation of terrestrial laser scanning and artificial intelligence for measuring deformations of cultural heritage structures. *Measurement* 167, 108291. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108291>

9.2 Abbildungsverzeichnis

Wenn nicht anders angegeben wurde die Abbildung vom Autor dieser Arbeit, Matthias Kriegler, erstellt.

Abb. 1.1: ResearchDesignGrafik - Übersicht über die Grundlagenermittlung, die Fallstudie und die Evaluierung.....	16
Abb. 1.2: Research-Design-Grafik - Grundlagen: Literaturrecherche	19
Abb. 2.1: Funktionsweise eines Terrestrischen Laserscanners (TU-München, 2021).....	20
Abb. 2.2: TLS-Laserscanner (Laser Scanning Architecture, 2022).....	21
Abb. 2.3: Erzeugte Punktwolke eines TLS-Scanner	21
Abb. 2.4: MMS-Laserscanner GeoSlam-ZEB Revo RT	22
Abb. 2.5: Colorierte Punktwolke aufgenommen mit einem MMS-Laserscanner (Diversified Communications, 2023)	22
Abb. 2.6: LiDAR Scanner in einem iPhonePro	23
Abb. 2.7: Punktwolke einer Dachstuhlkonstruktion mittels iPad LiDAR-Scan.....	23
Abb. 2.8: Einsatzbereiche von BIM	24
Abb. 2.9: Punktwolke zu BIM (STATECH BH doo, 2020).....	28
Abb. 2.10: Grafische Darstellung der identifizierten Workflows aus der Litertur.....	31
Abb. 2.11: Weitere identifizierte Workflows aus der Kompatibilitätsanalyse.....	31
Abb. 3.1: Research-Design-Grafik - Grundlagen: Fragebogen.....	33
Abb. 3.3: Grafische Darstellung der verwendeten Workflows aus dem Fragebogen	35
Abb. 3.2: Verteilung der verwendeten Programme (aus dem Fragebogen).....	35
Abb. 4.1: Research-Design-Grafik - Grundlagen: Ermittlung der Punktwolken-Modelliergrundlage.....	39
Abb. 4.2: Punktwolken unterschiedlicher Scanmethoden	39
Abb. 4.3: Visualisierung einer SLAM-Punktwolke (GeoSlam-ZEBRevoRT)	40
Abb. 4.4: Visualisierung einer LiDAR-Punktwolke (iPadPro)	40
Abb. 4.5: Grundriss eines Raumes (SLAM-Punktwolke).....	41
Abb. 4.7: Vergleich von LiDAR (rot) und SLAM-Punktwolke (blau)	41
Abb. 4.6: Grundriss eines Raumes (LiDAR-Punktwolke).....	41
Abb. 4.8: Punktwolke eines Einfamilienhauses (TLS-Scanner).....	42
Abb. 4.9: Punktwolke eines Einfamilienhauses (SLAM-Scanner).....	42
Abb. 4.10: TLS-Punktwolke im Grundriss	43
Abb. 4.12: Vergleich des Rauschverhaltens von TLS-(oben) und SLAM-Punktwolken (unten).....	43
Abb. 4.13: Vergleich des Rauschverhaltens von TLS- (links) und SLAM-Punktwolken (rechts).....	43
Abb. 4.11: SLAM-Punktwolke im Grundriss.....	43
Abb. 5.1: Research-Design-Grafik - Fallstudie: Wahl der Wokflows und Durchführung der Fallstudie	45
Abb. 5.2: Gesamtübersicht über die der identifizierten Workflows. und die für die Fallstudie ausgewählten Workflows (grün).....	46
Abb. 5.3: 3D-Modell des Vergleichobjektes (Einfalilienhaus)	47
Abb. 5.4: Terrestrische Punktwolke als Basis für die Fallstudie.	48
Abb. 5.6: 3D-Modell des Referenzmodelles (Archicad).....	49

Abb. 5.5: Einreichplan des Einfamilienhauses für die Referenzmodelle.....	49
Abb. 5.7: 3D-Modell des Referenzmodelles (Revit).....	49
Abb. 5.9: Ansicht der Punktwolke im Grundriss (Schrittweiser Zoom).....	50
Abb. 5.8: Ansicht der Punktwolke in Archicad (3D).....	50
Abb. 5.10: Versatz der Punktwolken-Einzeldateien Grundriss (links) und Schnitte (rechts).....	51
Abb. 5.11: Darstellung der Modellierbasis in ReCap vor (links) und nach (Rechts) der Bereinigung von störenden Punkten.....	53
Abb. 5.13: Grundrissansicht der importierten Punktwolke (links) und die fertig angepassten.....	54
Abb. 5.12: 3D Ansicht der Punktwolke in Revit.....	54
Abb. 5.15: Grundrissdarstellung der Punktwolke als Modellierbasis für die Innenwände (links).....	55
Abb. 5.14: Grundrissansicht nach dem.....	55
Abb. 5.16: Schnittbasis für die Modellierung des Daches.....	56
Abb. 5.18: Ansicht der Punktwolke im Bereich eines zu modellierenden Fensters vor (li.) und nach der Modellierung (re.).....	56
Abb. 5.17: Verschneidung der Außenwände mit dem Dach vor (li.) und nach (re.) der Verschneidung.....	56
Abb. 5.19: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „02 - Revit -ReCap“.....	57
Abb. 5.20: Unbereinigte Punktwolke in NUBIGON.....	59
Abb. 5.21: Horizontalschnitt der Punktwolke im Erdgeschoss.....	59
Abb. 5.23: Nachgezeichnete Schnittebene am Beispiel eines Grundrisses.....	60
Abb. 5.22: Erstellte Schnittebenen in 3D überlagert mit der Punktwolke.....	60
Abb. 5.24: Erstellte Ebenenkombination für einen strukturierten Export.....	60
Abb. 5.26: Fertiges Polyliniennetz für die Modelliergrundlage.....	61
Abb. 5.25: Optimierung der Polylinien mittels NUBIGON Optimierungstool, vor (oben) und nach (unten) der Optimierung.....	61
Abb. 5.27: Ebenenkombination in NUBIGON (links) und deren automatisch implementierte Ebenenstruktur in Archicad (mitte) und Revit (rechts).....	61
Abb. 5.28: Importiertes Polyliniennetz im Grundriss (links), das damit erstellte Schnittliniennetz in Archicad (Mitte) und eine Modelliergrundlage für einen Schnitt (rechts).....	62
Abb. 5.29: Polylinien-Modelliergrundlage im Grundriss (links) und die fertig modellierten Außenwände im Grundriss.....	62
Abb. 5.31: Modellierung der Innenwände im Grundriss auf Basis der Polylinie mit Punktfängen, vor (links) vor und nach (rechts) nach der Modellierung.....	63
Abb. 5.30: Anpassung der Deckenstärken und Deckendurchbrüche im Schnitt auf Basis des Polyliniennetzes.....	63
Abb. 5.33: Einsetzen und Anpassen der Öffnungen mit dem Polyliniengrundriss vor (links) und nach (rechts) den Anpassen.....	64
Abb. 5.32: Anpassung der richtigen Dachhöhe durch die Polylinie im Schnitt.....	64
Abb. 5.34: Anpassung der Öffnungshöhen in einem Schnitt durch das Verziehen der Objektknoten, vor (links) und nach (rechts) der Anpassung.....	64
Abb. 5.35: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „03 - Archicad - NUBIGON“.....	65
Abb. 5.36: Darstellung des Polyliniennetzes in Revit (vlnr) in einer 3D-Ansicht, dem Grundriss, einem	

Schnitt ohne Schnitttiefenbegrenzung und einem Lokalen Schnitt.....	67
Abb. 5.37: Darstellung der Polylinie im Grundriss (rechts) und die daran Modellierten Außenwände (links).....	68
Abb. 5.38: Anpassung der Deckendurchbrüche im Schnitt auf Basis des Polyliniennetzes.....	68
Abb. 5.40: Modellierung der Dachflächen an einer Polylinie im Schnitt	69
Abb. 5.39: Modellierung der Innenwände im Grundriss auf Basis der Polylinie mit Punktfängen, vor (links) und nach (recht) nach der Modellierung.	69
Abb. 5.41: Verschneidung der Außenwände mit dem Dach vor (li.) und nach (re.) der Verschneidung.	69
Abb. 5.42: Messen der Öffnungsbreiten für die Erstellung von passenden Fensterobjekten.....	70
Abb. 5.43: Anpassung der Fensterhöhen im Schnitt bei ausgeblendeten Wänden.	70
Abb. 5.44: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „04 - Revit - NUBIGON“	71
Abb. 5.45: Schnittlinien in PointCab, welche als Modellierbasis dienen, in Ansicht (links) und einer Draufsicht (recht).	73
Abb. 5.46: Vergleich für die unterschiedliche Schnitttiefen: Links 50 cm, rechts 220 cm.....	74
Abb. 5.47: Ausrichtung der importierten Schnitte in einem Arbeitsplatz (links) und die Bestimmung der Geschosshöhen (rechts)	75
Abb. 5.48: Modellierbasis im Grundriss (links) und die fertig modellierten Innen- und Außenwände (mit einer grafischen Überschreibung) (rechts).	75
Abb. 5.50: Anpassung der Dachhöhe im Schnitt (links); Verschneidung der Wände mit der Dachfläche (rechts).....	76
Abb. 5.49: Spezifischer Deckenschnitt zur Visualisierung der Deckenkontur (links) und die fertig modellierte Decke mit Deckendurchbruch (rechts).....	76
Abb. 5.52: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „05 - Archicad - PointCab“	77
Abb. 5.51: Anpassung der Fensterformate und -teilungen in einem Schnitt mit spezieller Schnitttiefe.	77
Abb. 5.53: Benutzeroberfläche von Archicad mit BIMm-Tool un der Navigatoransicht zur Visualisierung von Punktwolken und BIM-Modellen.	79
Abb. 5.55: Modellierung der Außenwände mit Hilfe der Navigatoransicht (links) sowie die fertig modellierten Außenwände im Grundriss (rechts).....	80
Abb. 5.54: Anpassung der Höhenausrichtung der Punktwolke sowie die Anpassung der Geschosshöhe in einem Schnitt.....	80
Abb. 5.56: Anpassen der Deckendurchbrüche in einem 3D-Schnitt und der eingblendeten Punktwolke.	81
Abb. 5.57: Versatz nach der Innenwandmodellierung mit dem BIMm-Navigator.....	81
Abb. 5.58: Anpassung der richtigen Dachhöhe in einem Schnitt anhand der Punktwolke.....	82
Abb. 5.60: Modellierung der Öffnungen mit Hilfe des BIMm-Navigators (links); das Anpassen der Öffnungen in einem 3D-Schnitt mit eingblendeter Punktwolke (rechts).....	82
Abb. 5.59: Verschneidung der Außenwände mit dem Dach vor (li) und nach (re.) der Verschneidung.....	82
Abb. 5.61: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „06 - Archicad - BIMm“	83
Abb. 5.62: Importfunktionen von Schnitten/Grundrissen/Ansichten mit dem Importer von BIMm als Verbindung zu PointCab.....	85
Abb. 5.63: Basis Grundriss (li.) und Schnitt (re.) für die Orientierung in Archicad.	86
Abb. 5.64: Modellierung der Innen- und Außenwände, mit Hilfe der .png-Bilddatei, im Grundriss mit (li.) und ohne (re.) grafischer Überschreibung).....	86

Abb. 5.66: Anpassung der Dachhöhe im Schnitt (links); Verschneidung der Wände mit der Dachfläche (rechts)	87
Abb. 5.65: Spezifischer Deckenschnitt zur Visualisierung der Deckenkontur (links) und die fertig modellierte Decke mit Deckendurchbruch (rechts)	87
Abb. 5.67: Anpassung der Fensterformate und -teilungen in einem Schnitt mit spezieller Schnitttiefe.....	88
Abb. 5.68: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „07 - Archicad - PointCab - BIMm“	89
Abb. 5.69: Menüleiste des PointCab4Revit Plugins in Revit mit seinen Funktionen der Modellierung und Transferoptionen.	91
Abb. 5.70: Importierte Modelliergrundlage in Revit (links); fertig Modellierete Außenwände (Mitte); Anpassung der Außenwände auf Überlappung (rechts).....	92
Abb. 5.71: Spezifischer Deckenschnitt zur Visualisierung der Deckenkontur (links) und die fertig modellierte Decke mit Deckendurchbruch (rechts)	93
Abb. 5.72: Modellierung der Innenwände im Grundriss auf Basis der importierten Modelliergrundlage, links vor und recht nach der Modellierung.	93
Abb. 5.73: Modellierung des Daches in einem Schnitt entlang der .png-Bilddatei	94
Abb. 5.75: Anpassung der Fensterformate und Teilungen in einem Schnitt mit spezieller Schnitttiefe, vor (li.) und nach (re.) der Modellierung.....	94
Abb. 5.74: Verschneidung der Außenwände mit dem Dach vor (li.) und nach (re.) der Verschneidung	94
Abb. 5.76: Fertiges BIM Modell mit dem Workflow „08 - Revit - PointCab - PC4R“	95
Abb. 6.1: Research-Design-Grafik - Evaluierung: Auswertung der Bewertungskriterien	97
Abb. 6.2: Diagramm: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Programmanzahl.	98
Abb. 6.3: Diagramm: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Programmkosten.....	100
Abb. 6.4: Diagramm: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Modellierdauer.	102
Abb. 6.5: Diagramm: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Abweichung..	104
Abb. 6.6: Tabelle: untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium des Informationsverlustes.	106
Abb. 6.7: Tabelle: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten im Kriterium der Benutzerfreundlichkeit.	108
Abb. 7.1: Research-Design-Grafik - Evaluierung: Gegenüberstellung der Workflows.....	111
Abb. 7.3: Liniendiagramm: Gegenüberstellung aller untersuchter Workflows.	114
Abb. 7.2: Tabelle: Untersuchte Workflows mit den erlangten Werten in allen untersuchten Bewertungskriterien.	114
Abb. 7.4: Liniendiagramm: Gegenüberstellung der untersuchten Revit-Workflows	115
Abb. 7.5: Liniendiagramm: Gegenüberstellung der untersuchten Archicad-Workflows.....	116
Abb. 7.6: Liniendiagramm: Gegenüberstellung der Workflows in Verbindung mit NUBIGON.....	117
Abb. 7.7: Liniendiagramm: Gegenüberstellung der Workflows in Verbindung mit einem Plugin als Verbindungstool.....	117
Abb. 7.8: Liniendiagramm: Gegenüberstellung von PointCab & BIMm in der Archicad-Umgebung.....	118



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

10 Anhang

Inhalt:

„10.1 Fragebogen“ (Seite 138)

- Ausgefüllte Fragebögen aus „3 Fragebogen“ (Seite 33)

„10.2 Radardiagramme“ (Seite 152)

- Radardiagramme aus „7.1 Gegenüberstellung - einzeln“ (Seite 112)

„10.3 Liniendiagramme“ (Seite 154)

- „7.2 Gegenüberstellung - tabellarisch“
- „7.3 Gegenüberstellung gesamt“
- „7.4 Gegenüberstellung - Revit“
- „7.5 Gegenüberstellung - Archicad“
- „7.6 Gegenüberstellung - NUBIGON“
- „7.7 Gegenüberstellung - Plugins“
- „7.8 Gegenüberstellung - PointCab & BIMm“

10.1 Fragebogen

Die hier abgebildeten Fragebögen wurden in Kapitel 3 ausgewertet.

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 1
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	fünf bis sieben - da sich Bereiche überlappen ist das schwer zu unterteilen.	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	Erstellen von Schnitten durch die Punktwolke;Registrierung;Export (Bereitstellen der Punktwolkendatei - .e57, .txt, ...);Scan;BIM – Modellierung;Ausfertigung "simpler" 2D Pläne und 3D Modelle;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja;Mehr visuelle Modellierungen - Fotorealistic Orthofotos auf die Punktwolke mappen wird immer wichtiger für uns.;	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	open BIM (.ifc);kein BIM - nur 2D;	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	ArchiCAD;PointCab;Revit;Recap;AutoCAD;RiScanPro;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Scan (Riegl VZ-400i) mit "Onboard-Registrierung" im Feld Aufbereiten der Daten - ev. Korrektur der automatischen Registrierung, Filtern, Färben, Bündelblockausgleich, erstellen der Octrees/Punktwolken Export als LAS Import in PointCab um Orthos anzulegen Anlegen des Projekts in ArchiCAD oder AutoCAD und durchzeichnen, oder modellieren.	
Wie funktioniert die Absprache?	Meist sehr gut, per Mail/Telefon. Manchmal kommt man erst im Nachhinein drauf, dass noch dies oder das notwendig wäre. Dann muss man oft im RiscanPro nochmals die Punktwolke in die "Hand nehmen" und dann erneut LAS Files erstellen.	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.xyz;.las;.e57;.rcp;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;Neubau / Baufortschritt;Digitalisierung/ Archivierung;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Sauberes, schnelles und unkompliziertes Arbeiten	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Situativ unterschiedlich. Manches wird ja schon vorher beherrscht. Aber die Person die hauptsächlich mit ArchiCAD modelliert, wird immer wieder zu Schulungen geschickt.	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Nur Teilbereiche;Aquse, Kundenbetreuung, Scannen, Daten aufbereiten - Ab dem Export der LAS Files übernehmen die Zeichner/Modeller*innen in Wien.;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	Ich scanne und bereite die Daten auf, damit im Büro in Wien damit modelliert werden kann.	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	Seit 2002	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Einschulung teils durch Riegl, teils im Büro und sehr viel "Learning by doing".	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	Ja	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:		

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 2
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	6 von 8 Angestellten	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	BIM – Modellierung;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Nein;	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	kein BIM - nur 2D;	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	ArchiCAD;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	1.wir bekommen Grundrisse und 2 Ansichten von der gesamten Punktwolke (vorne, seite) als 2D Bilder und 3D Schaubild der Punktwolke; 2. im Grundriss zeichnen wir die gewünschte Schnittführung ein ; 3. senden diese zurück an 3D Scanner ; 4. erhalten Schnitte ; 5. einfügen in Archicad ; -Grundrisse in Abreitsblätter -Schnitte und Ansichten gemeinsam in unabhängigen Schnitt (mit richtiger Höhenlage)	
Wie funktioniert die Absprache?	1.wir bekommen Grundrisse und 2 Ansichten von der gesamten Punktwolke (vorne, seite) als 2D Bilder ; 2. im Grundriss zeichnen wir die gewünschte Schnittführung ein ; 3. senden diese zurück an 3D Scanner ; generell ist datenaustausch auf 2d basierend	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?		
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	-wesentlich schnelleres und vor allem genaueres Aufmaß der Bestandsgebäude	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	nein	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Erstellen eines BIM Modells anhand 2D Punktwolken Bilder (Grundrisse, Schnitte, Ansichten);	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	unterscheidet sich nicht vom klassischen Workflow	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	2018	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	learning by doing	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	work in progress: wir versuchen ständig unseren Workflow zu verbessern. ; zB: -das umständliche Handling von 2D Bildern in Archicad ; -das erzeugen des BIM Modells sind unter anderen Punkte die man noch wesentlich verbessern kann	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:	-	

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 3
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	10	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	BIM – Modellierung;2D Pläne;Scan;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	open BIM (.ifc);	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Autodesk - Revit;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Abzeichnen von den 2D Plänen	
Wie funktioniert die Absprache?		
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.e57;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Zeitersparnis	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Nein	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Nur Teilbereiche;;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?		
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	3 Jahre	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Keine	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	Schulung	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:		

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 4
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	2	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	Registrierung;BIM – Modellierung;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);Scan;	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	closed BIM;open BIM (.ifc);	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	McNeel - Rhino;Autodesk - AutoCAD;Nemetschek - Allplan;Autodesk - Revit;Autodesk - Recap;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Wir erhalten Punktwolken als *.e57 Dateien und verarbeiten diese in Autodesk Recap. Danach wird die optimierte Punktwolke als *.rcp Datei in die notwendige Modellersoftware verlinkt.	
Wie funktioniert die Absprache?	über BCF	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.e57;.rcp;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Man kann jederzeit im Planungsprozess z.B. im Revit die Punktwolke aufdrehen um etwaige Fragen zum Bestand beantwortet zu bekommen.	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Vorbereitung der Punktwolken und das Einspielen in die Modellierungssoftware erfolgt durch die BIM-Koordination im Haus, danach wird die Handhabung an die jeweiligen MitarbeiterInnen geschult.	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Alle im Betrieb behandeln;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	siehe Frage 6	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	3 Jahre	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Selbststudium + Trial&Error	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	zur Zeit nicht, da Punktwolken nicht in jedem Projekt vorhanden bzw. notwendig sind und es bei uns zur Zeit nicht so viele Projekte mit Punktwolken gibt	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:		

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 5
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	1	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	2D Pläne;BIM – Modellierung;Erstellen von Schnitten durch die Punktwolke;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Nein;	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	closed BIM;	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Nemetschek - Allplan;PointCab - Origins;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Eigene Modellierung anhand zu Verfügung gestellter Scandaten: Import gesamte Punktwolke PointCab - festlegen Schnitte - Berechnung und Export Schnitte - Import in Allplan - manuelle Modellierung	
Wie funktioniert die Absprache?	Datenweitergabe mittels IFC	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.las;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Digitalisierung;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?		
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?		
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Nur Teilbereiche;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	Import Scandaten PointCAB - festlegen Schnitte X/Y/Z-Achse - Berechnung und Export Schnitte - Projekterstellung und Vorbereitung Allplan - Import Schnitte (2D) - manuelle Modellierung	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	erstmalige BIM-Modellierung anhand Punktwolken	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Erstmalige Verwendung des Workflows, keine Einschulung	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?		
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:		

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 6
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	6	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	Scan;Erstellen von Schnitten durch die Punktwolke;Registrierung;BIM – Modellierung;2D Pläne;Export (Bereitstellen der Punktwolkendatei - .e57, .txt, ...);	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Nein;	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	closed BIM;open BIM (.ifc);	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	PointCab - Origins;Autodesk - AutoCAD;Autodesk - Revit;Graphisoft - Archicad;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Scannen, Registrieren, Schnitte durch Punktwolke, 2D-Pläne daraus erstellen, BIM sofern nachgefragt (eher selten)	
Wie funktioniert die Absprache?	Vorgabe durch AG	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.xyz;.las;.e57;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;Digitalisierung;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Es ist ein Geschäftsfeld, das Umsatz bringt.	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Nur intern, da extern so gut wie keine vernünftigen Angebote, die unserem Workflow entsprechen.	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Alle im Betrieb behandeln;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	Siehe vorherige Antwort zu Workflow.	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	Mit Punktwolken seit 1999, in der BIM-Modellierung seit einigen Jahren (ca. 6 bis 7).	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Siehe vorherige Antwort zur Einschulung.	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	Ja. Allerdings gibt es noch wenig geeignete Software dazu, die das Generieren von Schnitten im PointCab erspart. Ein direktes Zeichnen in der Punktwolke entspricht nicht unserem Qualitätsstandard.	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to BIM:	Aufnahme der Punktwolke ist einfach, die Auswertung dazu dauert sehr lange, da sehr viele Zwischenschritte zur Erstellung von 2D- oder 3D-Plänen notwendig sind, um eine gewisse Qualität bzw. Genauigkeit (1 bis 2 cm) zu bekommen.	

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 7
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	1 Person	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	BIM – Modellierung;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	open BIM (.ifc);	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	BIMm;Graphisoft - Archicad;Solibri;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Vermesser stellt die 3D Vermessung zur Verfügung >> anhand dieser wird der Bestand modelliert und Pläne gefertigt	
Wie funktioniert die Absprache?	Datenaustausch mittels ifc. files	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.e57;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;Bestand, historische und komplexe Bauten;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Genauigkeit, Nachvollziehbarkeit, Baudokumentation, Bildmaterial	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	nein	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Nur Teilbereiche (welche?);Modellierung und Planung;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	1. Bestandsmodellierung 2. Planung 3. Datenaustausch mit Konsulenten/Fachplanern	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	ca. 1 Jahr	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	A-Null Schulung (Open BIM)	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	ja, Datenaustausch ist schwierig wenn in einem Projekt Konsulenten/Fachplaner mit 2D oder 3D arbeiten	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:	bringt viele Vorteile im Vergleich zu einer herkömmlichen Vermessung; die Datenmenge ist allerdings enorm	

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 8
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	2	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	2D Pläne;Erstellen von Schnitten durch die Punktwolke;Registrierung;Export (Bereitstellen der Punktwolken-datei - .e57, .txt, ...);Scan;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	kein BIM - nur 2D;	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Autodesk - Recap;Autodesk - AutoCAD;PointCab - Origins;RiScan Pro;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Anfrage- Sichtung Unterlagen- ev. Besichtigung vor Ort- Angenotslegung- Auftrag-Scannen (Riegel Vz-400i)-registrien-auswerten (Planerstellung)	
Wie funktioniert die Absprache?		
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.las;rcp;.rsp;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;Digitalisierung;Archivierung;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Technologiefortschritt	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Nein	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Alle im Betrieb behandeln;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	Ich mache alle Arbeitsschritte selbst- vom Angebot bis zur Auswertung	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	1,5 Jahre	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Ich habe mir alles selber beigebracht, 2 x bin ich mit jemanden von der Fa. Riegl unterwegs gewesen, Hr. Studnicka hat mir die Grundlagen am Scanner beigebracht.	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	Ja, es müssten Schulungen und Kurse bezahlt werden, teilweise wird notwendige Software nicht beschafft.	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to BIM:	Hat sicher noch enormes Potential nach oben	

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 9
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	10	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	Erstellen von Schnitten durch die Punktwolke;Scan;BIM – Modellierung;Export (Bereitstellen der Punktwolkendatei - .e57, .txt, ...);	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);Struk.- u. Kategorisieren, Soll Ist Vergleiche, Weiterverarbeitung zu AR;	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	closed BIM;open BIM (.ifc);	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Autodesk - Recap;Autodesk - Revit;Autodesk - AutoCAD;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Übernahm Punktwolke AG -> Aufbereitung bzw. Weiterverarbeitung in Punktwolkensoftware -> Übernahme Punktwolke in Autorensoftware Modellierung -> Ableitung von Anwendungsfällen AWF	
Wie funktioniert die Absprache?	iterativ	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.txt;.xyz;.las;.e57;.rcp;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;Neubau / Baufortschritt;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	+ Modellgenauigkeit - noch zu hohe Kosten	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Absolut, dies ist eines der Wichtigsten Schritte	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Alle im Betrieb behandeln;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	Angelehnt an den Unternehmensworkflow	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	10 Jahre	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	iterativ	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	Es macht kaum Unterschiede bezüglich intern u. externen Prozessoptimierung. Wichtig ist, dass basierend der AWF alle Stakeholder eingebunden werden und Rahmenbedingungen geschaffen werden können, um ein iteratives Arbeiten zu ermöglichen.	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:		

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 10
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	8	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	BIM – Modellierung;Export (Bereitstellen der Punktwolkendatei - .e57, .txt, ...);	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	open BIM (.ifc);closed BIM;	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Autodesk - Revit;Autodesk - AutoCAD;McNeel - Rhino;Autodesk - Recap;PointCab - Origins;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Wir bekommen die pointclouds von Vermessern und verarbeiten diese für die jeweiligen Anwendungsfälle weiter	
Wie funktioniert die Absprache?	Anwendungsfälle werden definiert und klar strukturiert in einem BAP oder AIA dokumentiert. Data-Drops werden ebenfalls definiert	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.e57;.rcp;.las;.txt;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Neubau / Baufortschritt;Digitalisierung;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Bestandsaufnahme, Leistungsfortschreibung und As-Built-Doku	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Noch nicht	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Alle im Betrieb behandelten;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	siehe Unternehmensworkflow (Seite 1)	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	3 Jahre	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Interner Wissensaustausch	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	Automatisierungen und Standards für die Verarbeitung, Bereinigung und Weitergabe von Punktwolken	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:		

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung

ID - 11

Frage	Antwort
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	10
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	Scan;BIM – Modellierung;Export (Bereitstellen der Punktwolkendatei - .e57, .txt, ...);Erstellen von Schnitten durch die Punktwolke;BIM-Management;2D Pläne;
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	open BIM (.ifc);
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Autodesk - AutoCAD;Autodesk - Revit;Autodesk - Recap;tlw. Scan-Apps;
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	für Modellierung: 2D-Pläne sichten, 3D Modellieren, Checks mit Punktwolken - PSets hinzufügen
Wie funktioniert die Absprache?	gut, open BIM
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.las;e57;rcp;
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Neubau / Baufortschritt;Umbau;Digitalisierung;
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Modellabgleich
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	learning by doing
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Alle im Betrieb behandeln;
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	siehe vorige Seite
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	Punktwolken: 5 Jahre, BIM Modellierung 1 Jahr
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	learning by doing; Punktwolken Masterarbeit 2019
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	optimieren laufend
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:	

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 12
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	5	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	BIM – Modellierung;2D Pläne;Scan;Export (Bereitstellen der Punktwolkendatei - .e57, .txt, ...);Registrierung;Erstellen von Schnitten durch die Punktwolke;Orthophotos, Workflows, etc. ;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	open BIM (.ifc);closed BIM;	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Autodesk - AutoCAD;Autodesk - Revit;Nubigon;Autodesk - Recap;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Scan - processing - modelling to customers need.	
Wie funktioniert die Absprache?	Microsoft Tools zum PM. Bim360 innerhalb der Modellierer.	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.xyz;.las;.e57;.rcp;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;Neubau / Baufortschritt;Digitalisierung;Archivierung;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Wir sind Service Anbieter. Der Vorteil liegt im täglich Brot verdienen ;)	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	ja, von den eigenen Mitarbeitern	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Alle im Betrieb behandeln;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?		
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	5 Jahre	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	selbst anlernen, tutorials	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	in der automatisierung von Arbeitsschritten	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to BIM:		

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung

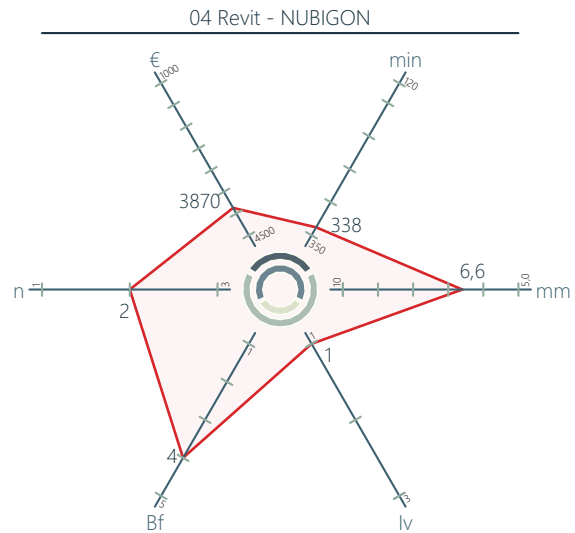
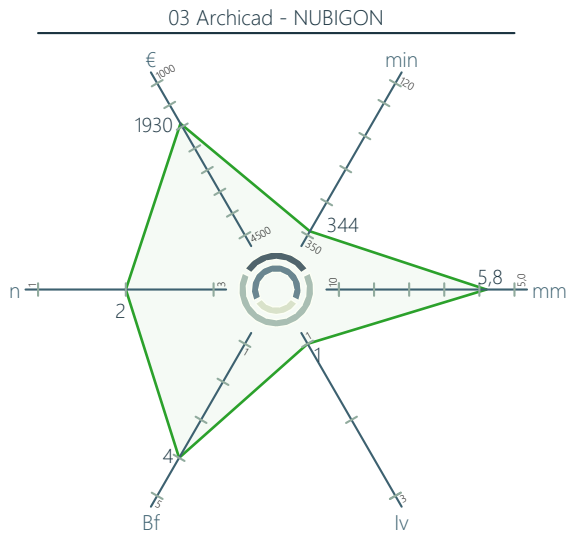
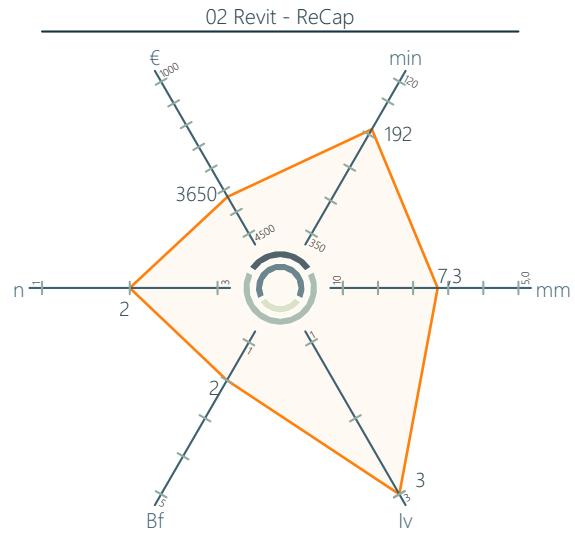
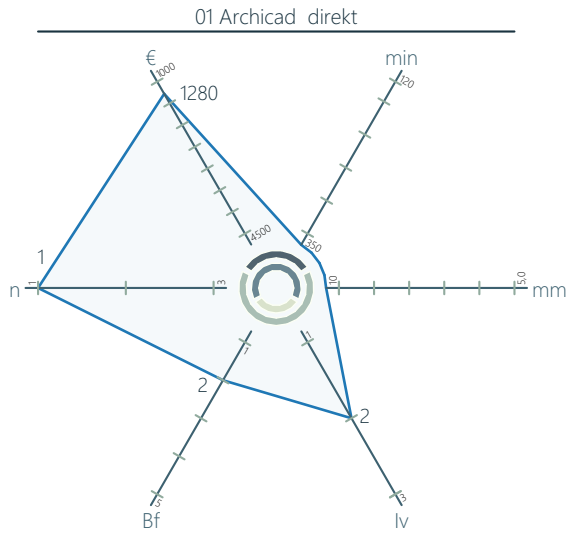
ID - 13

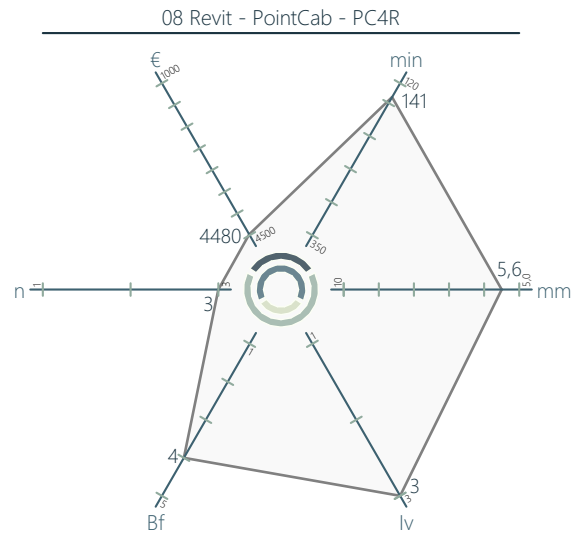
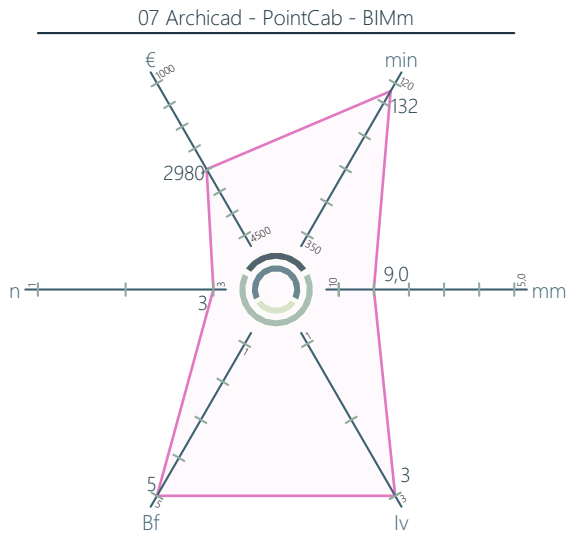
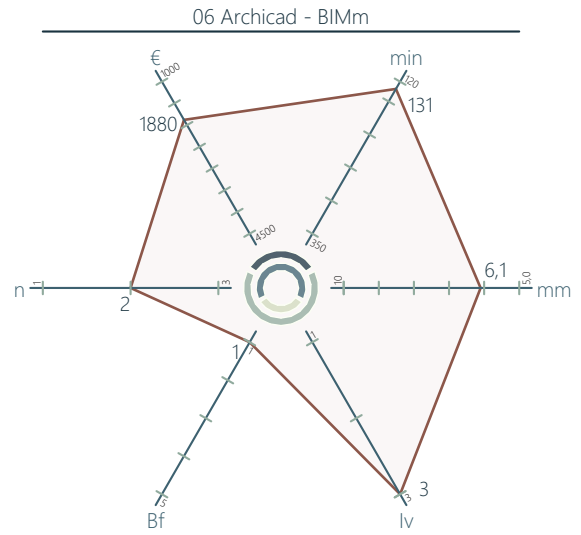
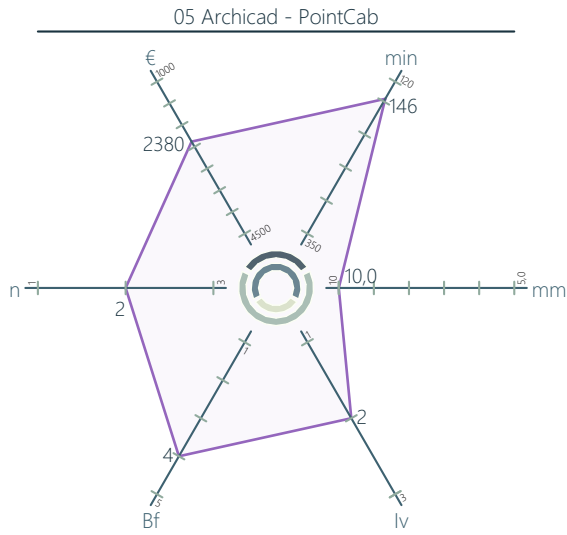
Frage	Antwort
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	1
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	Scan;Export (Bereitstellen der Punktwolkendatei - .e57, .txt, ...);BIM – Modellierung;Bestandmodellierung und Geländemodell erstellen + Details wie Bäume usw.;
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	open BIM (.ifc);
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Autodesk - Recap;Autodesk - Revit;Für das einsehen der Koordinaten und Verschiebung teilweise fme Workspace und teilweise DTMaster von Trimble;
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Daten werden aufgenommen (ALS/TLS/Orthofoto). Herholen der Daten aus verschiedenen Quellen, Koordinatenreduzierung, aufbereiten in Recap. Export als txt File, bearbeiten des Textfiles (, statt .); Einlesen in Revit: erstellen eines Geländemodells auf txt File. Weitere vorhandene Daten einlesen und teilweise generalisiert weitermodellieren (generalisierte Bäume, Fassaden der Umgebung, Baumscheiben, Treppen). Export als ifc. Abschluss (Weitergabe an MA19).
Wie funktioniert die Absprache?	Kunde (Meist MA19) meldet sich per Mail. Daten sind in unseren Datenbanken meistens schon vorhanden, sonst werden die Hauseigenen Vermesser beauftragt.
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.txt;.xyz;.rcp;.las;
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Neubau / Baufortschritt;Umbau;
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Einlesen der durch die digitale Einreichung erhaltenen BIM Modelle in Stadtplan3D möglich.
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Ja, Revit Workshop. Einschulung in anderen Programmen (DTMaster usw.) durch Kollegen.
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Nur Teilbereiche (welche?);Daten Aufbereitung, Modellierung und Export;
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	Daten Aufbereiten, Modellieren und exportieren.
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	4 Jahre
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Selbsterstellter Workflow, Erlernung der Fähigkeiten durch ein Testobjekt (andere Anforderungen als die derzeitigen Anfragen), mit Unterstützung durch Kollegin, die Revit schon kannte.
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	Ja. Es wird jedoch bereits daran gearbeitet mit dem digitalen Geozwilling sollen die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Abteilungen vereint werden (Linien nur einmal richtig Modelliert werden).
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to-BIM:	

Fragebogen zur punktwolkenbasierten BIM- Modellierung		ID - 14
Frage	Antwort	
Wie viele Mitarbeiter*Innen arbeiten ca. mit Punktwolken / im Bereich der BIM Modellierung	5	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihrem Betrieb behandelt?	Scan;Erstellen von Schnitten durch die Punktwolke;2D Pläne;Export (Bereitstellen der Punktwolkendatei - .e57, .txt, ...);BIM – Modellierung;Registrierung;	
Könnten Sie sich vorstellen weitere Arbeitsschritte abzudecken?	Ja (welche?);Drohnen z.B.;	
In welcher Programmumgebung wird gearbeitet?	open BIM (.ifc);	
Mit welcher Software wird gearbeitet?	Autodesk - AutoCAD;Nubigon;Graphisoft - Archicad;Autodesk - Revit;Autodesk - Recap;	
Wie sieht ein klassischer Workflow bei Ihnen im Betrieb aus?	Anfrage, Scan, Aufbereitung, Bereitstellung, 2D-3D Planung, IoT-Daten Einpflegung, BIM	
Wie funktioniert die Absprache?	Ich bin leider noch "jung" in diesem Unternehmen. Kann ich zurzeit nicht beantworten. Sorry	
Mit welchen Punktwolken-Dateiformaten wird gearbeitet?	.las;.e57;.rcp;.ply .pod;	
Für welche Anwendungsfälle verwenden Sie Scan-to-BIM?	Umbau;Neubau / Baufortschritt;Digitalisierung;Archivierung;	
Welche Vorteile bietet Scan-to-BIM für ihr Unternehmen?	Diese werde ich in meinem Werdegang noch genauestens untersuchen.	
Gibt es für Mitarbeiter*Innen, die mit Punktwolken und BIM arbeiten, spezielle Einschulungen?	Das ist leider unumgänglich.	
Welche Arbeitsschritte werden von Ihnen abgedeckt?	Alle im Betrieb behandeln;	
Wie sieht Ihr persönlicher Workflow aus?	Anfrage über das Produkt, Workshop für den spezifischen Usecase, Umsetzung, Anpassung	
Wie lange arbeiten Sie bereits mit Punktwolken / in der BIM- Modellierung	2 Jahre	
Wie erfolgte die Einschulung in den Workflow?	Gute Frage!	
Sehen sie Optimierungsbedarf bei den betriebsinternen Workflows? Wenn ja, wo?	Kommunikation und Pflege. Wenn dies nicht vorhanden ist, wir das Projekt zu 100% ein Reifall!	
Persönliche Anmerkungen zum Thema Scan-to BIM:	Ich habe aus einem Grund in diese Branche gewechselt - Das ist die Zukunft. Alles wird über die Jahre zu BIM und dies ist die einzige Möglichkeit, es umzusetzen.	

10.2 Radardiagramme

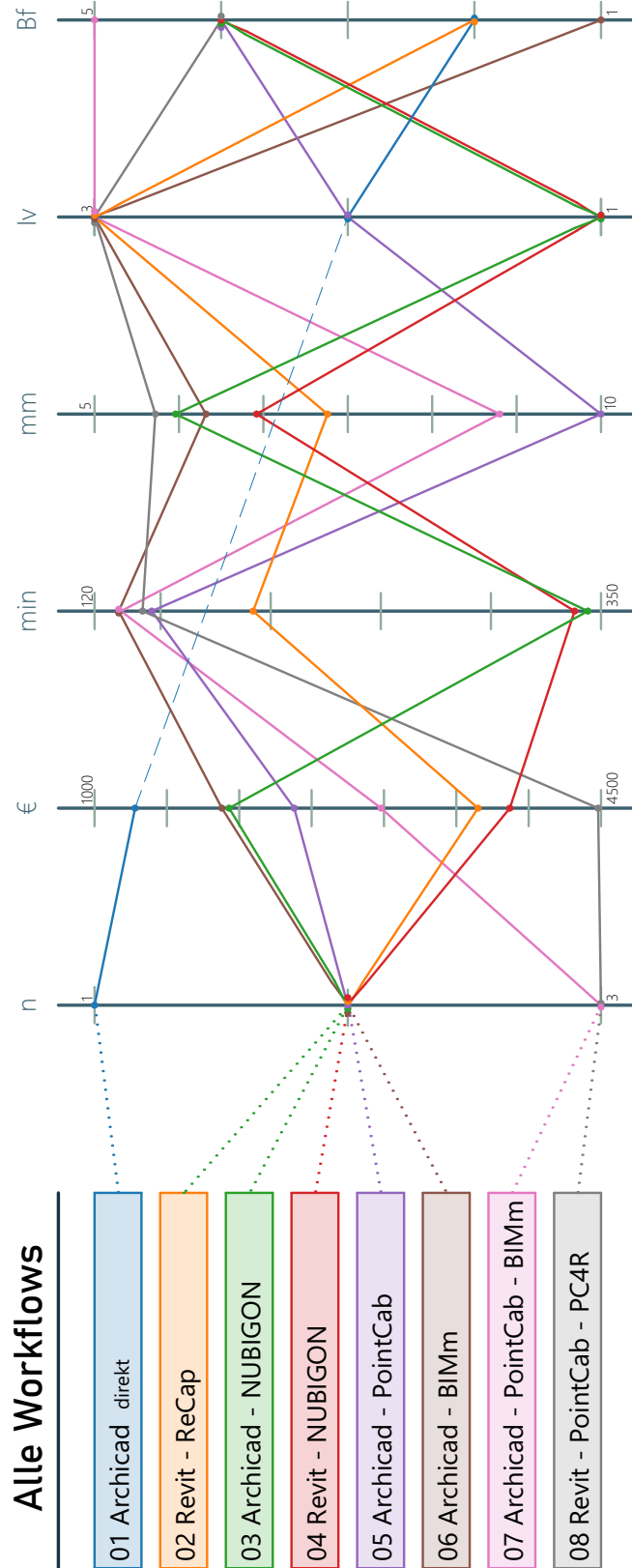
Die folgenden Diagramme wurden in Kapitel 7.1 beschrieben.

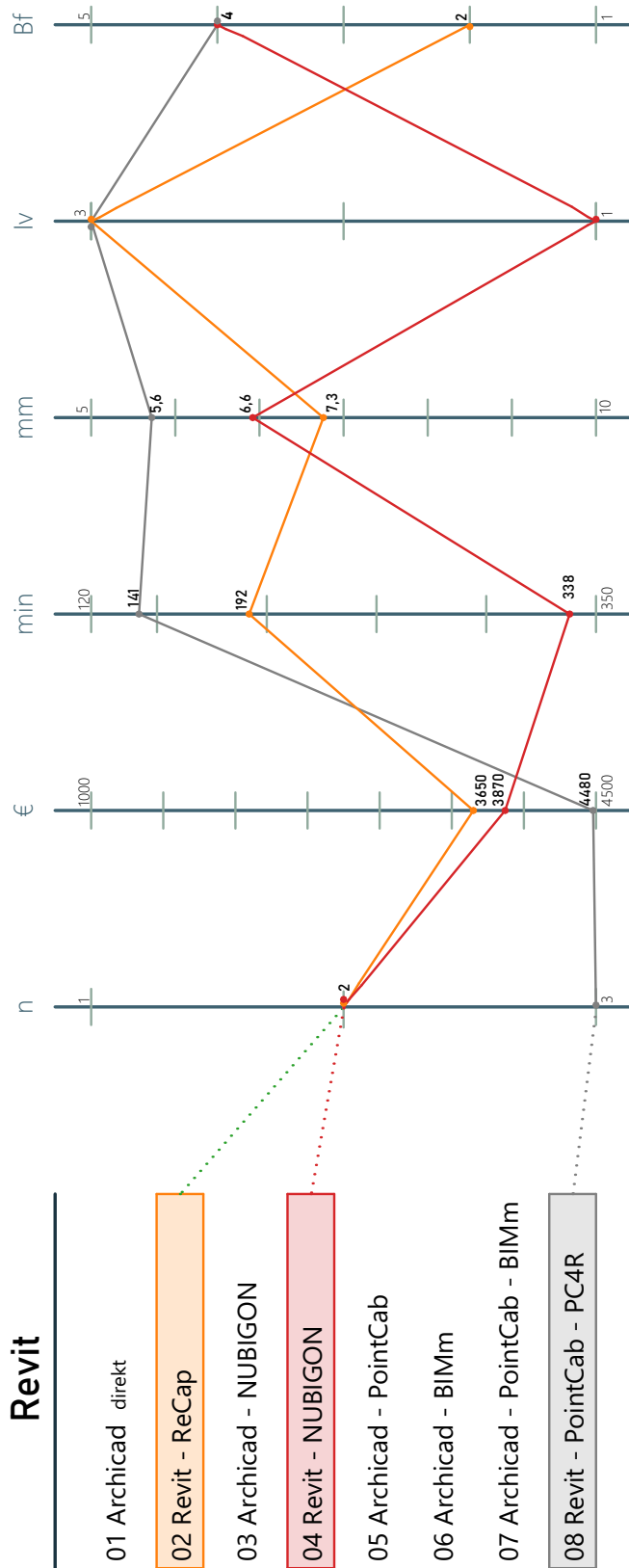


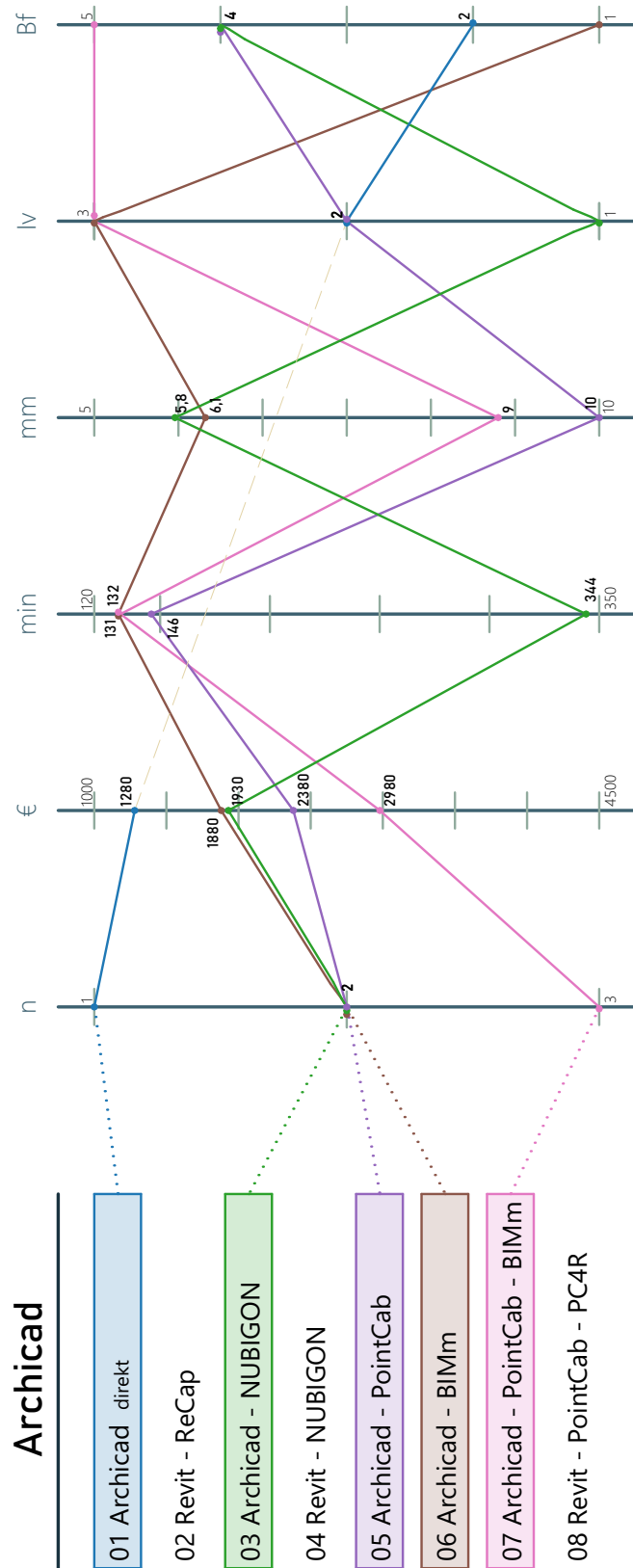


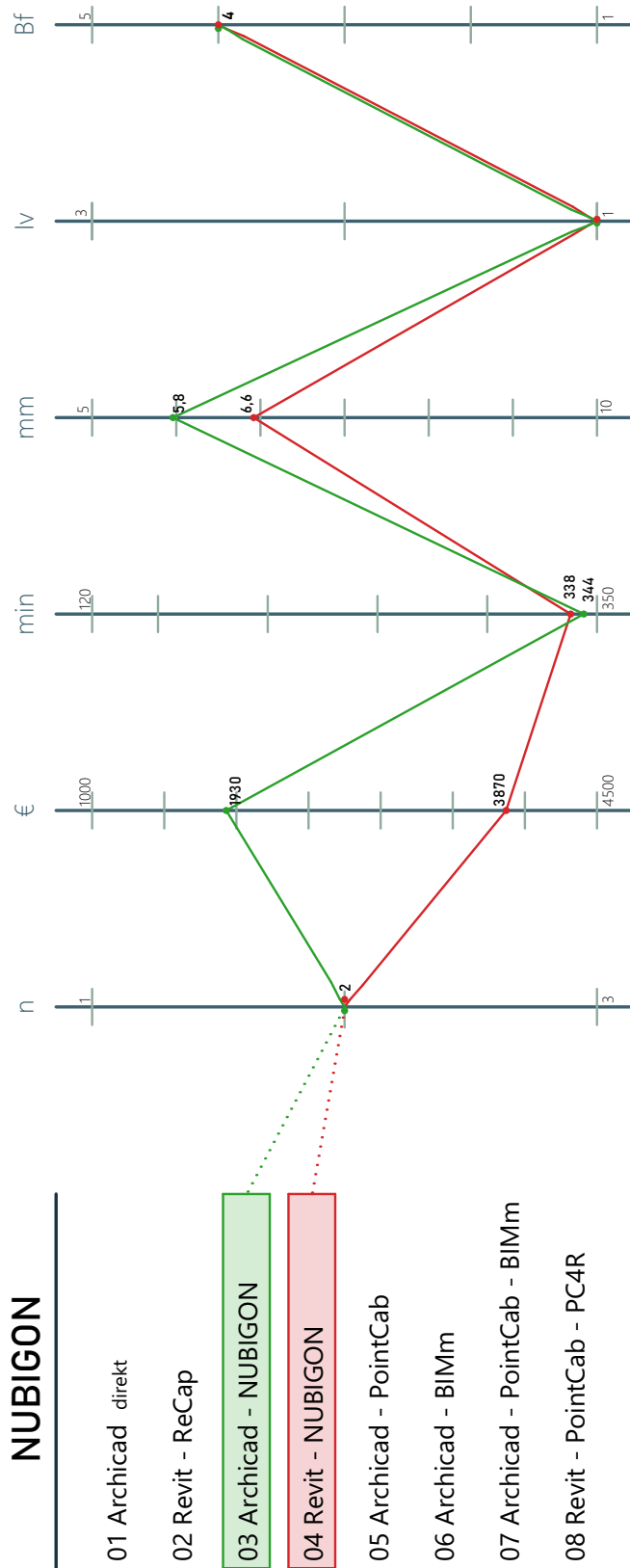
10.3 Liniendiagramme

Die folgenden Diagramme wurden in Kapitel 7.2-7.8 beschrieben.









01 Archicad direkt

02 Revit - ReCap

03 Archicad - NUBIGON

04 Revit - NUBIGON

05 Archicad - PointCab

06 Archicad - BIMIm

07 Archicad - PointCab - BIMIm

08 Revit - PointCab - PC4R

