

Bachelor Thesis

Automating Scan-to-BIM for Telecom Site Planning

A Comparative Analysis and Case Study

Autumn Term 2025

Supervised by:

Océane Durand-Maniclas (ETH Zürich)
Kasimir Forth (ETH Zürich)
Jean-Charles Schaegis (Axians Schweiz AG)

Author:

Jeffrey Leisi

Declaration of Originality

I hereby declare that the written work I have submitted entitled

Automating Scan-to-BIM for Telecom Site Planning

is original work which I alone have authored and which is written in my own words.¹

Author(s)

Jeffrey

Leisi

Student supervisor(s)

Océane

Durand-Maniclas

Kasimir

Forth

With the signature I declare that I have been informed regarding normal academic citation rules and that I have read and understood the information on 'Citation etiquette' (<https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/main/education/rechtliches-abschluesse/leistungskontrollen/plagiarism-citationetiquette.pdf>). The citation conventions usual to the discipline in question here have been respected.

The above written work may be tested electronically for plagiarism.

Place and date

Signature

¹Co-authored work: The signatures of all authors are required. Each signature attests to the originality of the entire piece of written work in its final form.

Preface

This thesis was developed as part of my bachelor's degree in geospatial engineering. Since I enjoy translating scientific findings into practical applications, I sought an industry-related project for my research.
TODO: Finish this paragraph

Jeffrey Leisi
Zurich, 2025

Abstract

- **Introduction to the Topic**
- **Research Objective**
- **Methodology**
- **Results**
- **Conclusion and Impact**

Keywords

BIM, Scan-to-BIM, telecommunications, automation, point cloud processing

Contents

Preface	ii
Abstract	iii
Symbols	1
1 Introduction	2
1.1 Background and Motivation	2
1.1.1 Conventional Planning with CAD	2
1.1.2 model-based planning with BIM	2
1.1.3 Telecommunications Planning	3
1.1.4 Scan-to-BIM	3
1.2 Research Objectives and Questions	3
1.3 Scope and Limitations	3
1.4 Methodology Overview	4
1.4.1 Part 1: Comparative Analysis	4
1.4.2 Part 2: Case Study	4
1.5 Thesis Structure	4
1.5.1 Part 1: Comparative Analysis	4
1.5.2 Part 2: Case Study	4
2 Literature Review	5
2.1 Introduction	5
2.2 BIM	5
2.3 Telecom Site Planning	5
2.3.1 Internationale Lage	5
2.3.2 Nationale Lage	5
2.3.3 Entwicklung der Mobilfunkgenerationen und Strahlen- schutzregelungen	6
2.3.4 Netzarchitektur	6
2.3.5 Standortklassifizierung	7
2.4 Scan-to-BIM	7
2.5 Automating Algorithms	7
3 Methodology	8
3.1 Introduction	8
4 Problem Description	9
4.1 Introduction	9
4.2 Initial Situation	9
4.3 Chosen Approach	9

5	Results	10
5.1	Introduction	10
6	Discussion	11
6.1	Introduction	11
7	Conclusion	12
7.1	Introduction	12

Symbols

Symbols

ϕ, θ, ψ	roll, pitch and yaw angle
b	gyroscope bias
Ω_m	3-axis gyroscope measurement

Indices

x	x axis
y	y axis

Acronyms and Abbreviations

ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
D-BAUG	Departement Bau, Umwelt und Geomatik (depatement of ETH)
IBI	Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement (institute of D-BAUG)
CEA	Circular Engineering for Architecture (research group at IBI)
BIM	Building Information Modeling

Chapter 1

Introduction

1.1 Background and Motivation

The construction industry is one of the largest economic sectors, yet its productivity has stagnated for decades. In the two decades from 1995 to 2015, its productivity grew by only 1%, far below the global economy’s average of 2.8%. One of the reasons cited is the low level of automation [1].

1.1.1 Conventional Planning with CAD

Until the turn of the millennium, construction planning had been largely digitized, primarily through the use of Computer-Aided Design (CAD) for creating construction drawings. This represented an evolutionary innovation, optimizing conventional planning methods. Manual drafting on the drawing board was replaced by manual drafting on the computer, while the individual work steps remained largely the same. In conventional planning, a real object is inductively represented by individual two-dimensional drawings (e.g., floor plan, section, detail). These drawings are often stored as isolated files (e.g., DWG, DXF) and are neither geometrically nor semantically linked. Any changes to the real object must be manually updated in all drawings.

1.1.2 model-based planning with BIM

At the turn of the millennium, Building Information Modeling (BIM) began to gain traction. It represented a disruptive innovation that fundamentally changed previous workflows. In this context, BIM refers to both the technology (software) and the methodology (processes). In model-based planning, a three-dimensional model is created as a digital representation of the real object. The two-dimensional drawings are then deductively derived from the model. The model is stored as a unified file (e.g., IFC) and contains both geometry and semantics. Any changes made to the model are automatically reflected in all drawings.

Scandinavian countries and the United Kingdom have taken leading roles in the implementation of BIM. However, integrating the technology in Switzerland has proven challenging. By 2021, only 20% of Swiss construction companies had adopted BIM, compared to 70% in Germany and 80% in the UK. This places Switzerland slightly above the European average. [2]. Among the factors contributing to this slow adoption are the fragmented nature of the construction industry and high competitive pressure, which led smaller companies, in particular, to shy away from the initially high investment costs. [3].

1.1.3 Telecommunications Planning

The Swiss telecommunications industry has recognized the potential of model-based planning. BIM is increasingly being used for the management of approximately 20000 mobile network sites [4]. While the traditional construction sector typically focuses on large, individual building projects, the telecommunications industry operates with a high volume of smaller projects. This results in different requirements for building models.

Whereas the conventional construction industry demands high-quality, detailed models of entire building structures, the telecommunications sector prioritizes efficiently generated models of exterior structures. While BIM is still primarily applied to new construction projects in the traditional building industry, mobile network installations are usually integrated into existing buildings. The efficient capture of existing buildings has opened up a research field that continues to be actively explored.

1.1.4 Scan-to-BIM

The reverse engineering process of converting a physical object into a BIM model (as-is BIM) using terrestrial laser scanning or photogrammetry is commonly referred to in the literature as Scan-to-BIM. While the data acquisition process is relatively fast, the post-processing of point clouds can become time-consuming when performed manually. To enhance efficiency, automated methods are required.

1.2 Research Objectives and Questions

Both BIM and Scan-to-BIM have been extensively researched in recent years [5]. Surface modeling has also been a major research focus in the fields of computer vision and computer graphics, specifically in the general reconstruction of object surfaces from point clouds [6].

There are numerous existing algorithms that could be suitable for modeling point cloud data. Some of these algorithms are available as open-source code, while others have already been implemented as plugins for BIM software. Each algorithm has a different focus and is suited for specific applications, making it challenging to maintain an overview of the available options. So far, no dominant algorithm has been identified that consistently delivers the best results across all use cases.

As part of this study, the first phase will involve comparing various algorithms. In the second phase, the most promising approach will be implemented in a practical setting, and concrete recommendations for its application will be provided.

The following research questions are derived from this approach:

- **Research Question 1:** Which algorithm is the most promising for a practical implementation of a Scan-to-BIM workflow?
- **Research Question 2:** How can the most promising algorithm improve the efficiency of an existing Scan-to-BIM workflow?

1.3 Scope and Limitations

TODO: Define the boundaries of the study.

1.4 Methodology Overview

To address the research questions, the study is divided into two parts. The first part answers the first research question through a comparative study. The second part addresses the second research question through a practical implementation.

1.4.1 Part 1: Comparative Analysis

In the first step, various algorithms for processing point clouds will be analyzed regarding their suitability for automating BIM modeling. The evaluation will be based on the following criteria:

TODO: Add more details on algorithm TODO: Add more details on the criteria.

1.4.2 Part 2: Case Study

After the analysis phase, the most efficient algorithm will be implemented in a real-world project.

TODO: Add more details on the implementation steps.

1.5 Thesis Structure

An effort was made to reflect the two-part structure of the study in its overall organization. Since the implementation builds upon the analysis, a linear structure was chosen. This approach offers the advantage that no distinction needs to be made between the different parts within individual chapters. As a result, the reader clearly understands their current position in the document and knows what to expect next.

1.5.1 Part 1: Comparative Analysis

First, in Chapter 2, a literature review is conducted to neutrally identify and describe the relevant algorithms. Subsequently, in Chapter 3, these algorithms are compared and evaluated. Their respective areas of application are determined, identifying which use cases they are particularly suited for. This serves as the foundation for the second part of the study.

1.5.2 Part 2: Case Study

The second part focuses on a practical case study, developed in collaboration with Axians Schweiz AG, a leading provider of turnkey mobile network installations in Switzerland. This section presents the scientifically relevant aspects of this collaboration.

In Chapter 4, the initial problem of the case study is identified. Chapter 5 then discusses the results of the implementation. The detailed process leading to these results is documented on GitHub. This section provides only a brief overview of how the most promising algorithm was applied in practice and what results were achieved.

Finally, in Chapter 6, the findings are summarized, and an outlook on future research directions is provided.

Chapter 2

Literature Review

2.1 Introduction

TODO: Introduce the purpose of the literature review.

2.2 BIM

TODO: Introduction BIM. Explain most relevant concepts and applications.

2.3 Telecom Site Planning

2.3.1 Internationale Lage

Der gesamte mobile Datenverkehr nimmt weltweit exponentiell zu. Bis ungefähr 2020 verdoppelte sich der Verkehr etwa alle zwei Jahre. Für die Zeit bis 2030 werden noch immer jährliche Wachstumsraten von durchschnittlich 19 % prognostiziert. Derzeit werden 34 % des mobilen Datenverkehrs über 5G-Netzwerke abgewickelt. Bis 2030 soll dieser Anteil auf 80 % steigen.

Zum Anstieg entscheidend beigetragen haben Video-Streaming mit immer höheren Bildschirmauflösungen (4K, 8K), das mittlerweile 74 % des mobilen Datenverkehrs ausmacht. Haupttreiber des zukünftigen Wachstums wird besonders in den Bereichen des autonomen Fahren, Extended Reality, Industrie 4.0 sowie generativer KI gesehen. Fixed Wireless Access (FWA) wird stark an Bedeutung gewinnen und bis 2030 mit 36 % einen erheblichen Anteil des Datenverkehrs ausmachen. Dabei werden stationäre Geräte (z. B. Computer) über ein CPE-Gerät mit einer festen Breitbandverbindung versorgt, die über mobile Netzwerke (4G/5G) bereitgestellt wird. Besonders in wirtschaftlich schwächer entwickelten Regionen wird FWA traditionelle Festnetzanschlüsse zunehmend als kostengünstigere Alternative verdrängen. [7]

2.3.2 Nationale Lage

In der Schweiz vertritt der Bund die Ansicht, dass eine leistungsfähige Telekommunikationsinfrastruktur für die Wirtschaft und Gesellschaft einen hohen Stellenwert hat. Ein rascher Ausbau leistungsfähiger 5G Netze sei deshalb wichtig. Nach Angaben der drei Betreiber sind dafür 7'500 neue Antennenstandorte und Investitionen in der Höhe von 3.2 Milliarden Franken notwendig. [8]

Ihr Marktanteil nach Kundenanzahl lag Ende 2023 bei Swisscom 54.3 %, bei Sunrise 23.6 % und bei Salt 17.1 % [9]. Die Marktdurchdringung betrug 128.9 %. Damit gibt es mehr aktive Simkarten als Einwohner. [10].

2.3.3 Entwicklung der Mobilfunkgenerationen und Strahlenschutzregelungen

Ungefähr alle zehn Jahre wird eine neue Mobilfunkgeneration eingeführt. Diese haben jeweils eine höhere Datenübertragungsrate, eine geringere Latenz und eine höhere Anzahl an gleichzeitig verbundenen Geräten. Bis zur Einführung der sechsten Generation (6G Vision, ca. 2030) wird derzeit die fünfte Generation (5G) ausgebaut. Ebenfalls praxisrelevant ist die vierte Generation (LTE), die ab 2012 ausgebaut wurde. Die dritte Generation (UMTS) wird als erstes von Swisscom auf Ende 2025 eingestellt [11]. Die zweite Generation (GSM) wurde von den drei Anbietern zwischen 2020 und 2023 eingestellt. Zum Schutz der Bevölkerung vor wissenschaftlich nachgewiesenen Schäden aufgrund nichtionisierender Strahlung (NIS), hat die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) empfohlene Grenzwerte definiert. Diese wurden vom Bund in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) als Immissionsgrenzwerte übernommen und entsprechen der Empfehlung der EU. Diese müssen an allen Orten eingehalten werden, an denen sich Menschen aufhalten können. Aufgrund gesundheitlicher Bedenken, wurden sogenannte Anlagegrenzwerte definiert [12]. Dieser verschärfte Grenzwert beträgt noch 10 % des Immissionsgrenzwert und muss an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) eingehalten werden. Dies sind Bereiche, von denen auszugehen ist, dass sich Menschen regelmässig über längere Zeit aufhalten. Die elektrische Feldstärke beträgt dort ein Zehntel des in Deutschland und Frankreich zulässigen Wertes. Die Leistung einer elektromagnetischen Welle ist dabei proportional zum Quadrat der elektrischen Feldstärke. Eine um Faktor 10 reduzierte Feldstärke, führt damit zu einer um Faktor 100 sinkenden Sendeleistung [13]. Sobald eine Anlage die maximal zulässige Sendeleistung erreicht hat, kann diese nicht mehr weiter ausgebaut werden. Zur Erhöhung der Netzkapazität muss das bestehende Mobilfunknetz dann ausgebaut werden [8].

2.3.4 Netzarchitektur

Die Netzarchitektur besteht grundsätzlich aus dem Zugangsnetz und dem Kernnetz: Das **Zugangsnetz** umfasst die Endgeräte, die Sendeanlagen und die Funkverbindung zwischen ihnen.

Das **Kernnetz** verarbeitet, steuert und vermittelt die Verbindungen und ermöglicht die Anbindung an externe Netze, wie das Internet oder das Festnetz. [14]

Die beiden Netze sind über die **Backhaul-Anbindung** verbunden, die aufgrund ihrer hohen Kapazität vorzugsweise leitungsbasiert über Glasfaser realisiert wird. In abgelegenen Gebieten kann sie jedoch auch als Richtfunkverbindung umgesetzt werden.

Herzstück jeder Anlage ist die **Basisstation**, die zentrale Recheneinheit zur Steuerung der Datenübertragung. Jede Basisstation besitzt zudem mindestens eine **Antenne**, über die mittels elektromagnetischen Wellen eine bidirektionale Kommunikation mit dem Endgerät erfolgt. Üblicherweise werden pro Anlage drei Sektor-Antennen verwendet, die jeweils gerichtet in einen Sektor von 120 Grad abstrahlen. Bei unterschiedlichen Technologien werden diese in unterschiedlichen Ebenen angeordnet. Jeder Antennensektor definiert dabei eine **Mobilfunkzelle**. Dadurch ergibt sich ein idealisiertes, sechseckiges Grundmuster. [14]

2.3.5 Standortklassifizierung

Die Klassifizierung der Anlage kann je nach Perspektive unterschiedlich erfolgen. Aus technischer Sicht ist für die Funknetzplanung eine Unterscheidung nach Zellgrösse sinnvoll. Hier wird unterschieden zwischen Makrozellen (ländliche Gebiete), Mikrozellen (städtische Gebiete), Pikozen (Indoor-Abdeckung) und Femtozellen (Privatbereich). [8]

Aus bauplanerischer Sicht hat sich eine Klassifizierung nach Standorttyp etabliert:

Greenfieldanlagen überwiegen in ländlichen Gebieten. Charakteristisch dafür ist ein üblicherweise zwischen 20 und 50 Meter hoher, freistehender Mast.

Rooftopanlagen überwiegen in besiedelten Gebieten. Charakteristisch dafür ist die Unterbringung auf einem bestehenden Gebäude.

Auf Flachdächern werden häufig freistehende Ständermasten errichtet. Dabei handelt es sich um einen Mast, der mit einer verankerungslosen Stahlunterkonstruktion verbunden wird. Das Kippen des Masts wird durch das Eigengewicht und zusätzliche Gewichtsplatten sichergestellt. Bei Dächern mit einer Aufbaukonstruktion, wird der Mast häufig direkt an dieser befestigt. Bei Schrägdächern durchdringt der Mast häufig die Dachkonstruktion und wird im Gebäudeinnern verankert. Die weitere Arbeit wird sich auf Rooftopanlagen mit Ständermasten beschränken.

Unabhängig vom Anlagentyp, erfolgt für die Planung jeweils eine Standortbesichtigung. Dort werden zusammen mit dem Anlagebetreiber und dem Eigentümer die technischen Spezifikationen definiert. Es erfolgt eine Drohnenaufnahme mittels Photogrammetrie. Bei dachdurchdringten Anlagen werden die relevanten Innenbereiche mittels terrestrischem Laserscanning erfasst. Auf Basis dieser Daten wird die Anlage geplant und die nötigen Unterlagen für eine Baubewilligung erarbeitet. Diese wird bei der zuständigen Gemeindebehörden eingereicht und nach Bewilligung gebaut. Falls mit Strahlungswerten von über 80 % der zulässigen Immissionsgrenzwert zu rechnen ist, muss vor Inbetriebnahme der Anlage noch eine Sicherheitsmessung erfolgen. Anschliessend wird die Anlage dem Netzbetreiber übergeben. [14]

2.4 Scan-to-BIM

TODO: Introduction Scan-to-BIM. State-of-the-art technologies and applications.

2.5 Automating Algorithms

TODO: Overview of existing algorithms for Scan-to-BIM.

Chapter 3

Methodology

3.1 Introduction

TODO: Provide an overview of the methodology.

Chapter 4

Problem Description

4.1 Introduction

TODO: Provide a brief introduction to the chapter.

4.2 Initial Situation

4.3 Chosen Approach

Chapter 5

Results

5.1 Introduction

TODO: Provide a brief introduction to the chapter.

Chapter 6

Discussion

6.1 Introduction

TODO: Provide a brief introduction to the chapter.

Chapter 7

Conclusion

7.1 Introduction

TODO: Provide a brief introduction to the chapter.

Bibliography

- [1] F. Barbosa et al., “Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity. McKinsey & Company,” McKinsey Global Institute, Tech. Rep., 2017, p. 15. Accessed: Mar. 7, 2025.
- [2] J. Heinrich, *Die Schweiz im BIM-Europavergleich - PlanRadar CH*, <https://www.planradar.com/ch/bim-europavergleich/>, Aug. 2022. Accessed: Mar. 8, 2025.
- [3] A. Ivanic, “Erfolgreiche Einführung von Building Information Modeling in der Schweizer Baubranche,” Jun. 2020.
- [4] Federal Office of Communications (OFCOM), *Locations of mobile phone base stations*, <https://data.geo.admin.ch/browser/index.html#/collections/ch.bakom.standorte-mobilfunkanlagen?.language=en>. Accessed: Mar. 9, 2025.
- [5] G. Rocha and L. Mateus, “A Survey of Scan-to-BIM Practices in the AEC Industry—A Quantitative Analysis,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 10, no. 8, Aug. 2021, ISSN: 2220-9964. DOI: 10.3390/ijgi10080564. Accessed: Mar. 8, 2025.
- [6] L. Nan and P. Wonka, “PolyFit: Polygonal Surface Reconstruction from Point Clouds,” 2017.
- [7] “Ericsson Mobility Report November 2024,”
- [8] Bundesrat, “Nachhaltiges Mobilfunknetz, Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 19.4043, Häberli-Koller,” Apr. 2022.
- [9] B. f. K. BAKOM, *Marktanteile Mobilfunknetz*, <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/telekommunikation/zahlen-und-fakten/sammlung-statistischer-daten/marktstruktur-und-stellen/marktanteile-mobilfunknetz.html>. Accessed: Mar. 12, 2025.
- [10] B. f. K. BAKOM, *Anzahl Mobilfunkkundinnen und -kunden*, <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/telekommunikation/zahlen-und-fakten/sammlung-statistischer-daten/mobilfunk/anzahl-mobilfunkkundinnen-und-kunden.html>. Accessed: Mar. 12, 2025.
- [11] Swisscom, *Abschaltung 3G - Erneuerung Mobilfunknetz Swisscom*, <https://www.swisscom.ch/de/about/netz/5g/ablosung-3g.html>. Accessed: Mar. 12, 2025.
- [12] J. Baumann, “Mit der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) soll die Bevölkerung vor Elektrosmog geschützt werden. Was regelt die NISV, was nicht? Wie werden die Grenzwerte festgelegt und wer ist zuständig für den Vollzug? Zudem: Wie wird die Strahlung berechnet und gemessen?,” 2005.

- [13] CHANCE5G, *Anlagegrenzwerte im Mobilfunk: Strenges Vorsorgeprinzip in der Schweiz*, <https://chance5g.ch/de/storys/anlagegrenzwerte-im-mobilfunk-strenges-vorsorgeprinzip-der-schweiz/>. Accessed: Mar. 12, 2025.
- [14] K. Behnke, J. Karla, and W. Mülder, *Grundkurs Mobilfunk und Mobile Business: Anwendungen, Technologien, Geschäftsfelder*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022, ISBN: 978-3-658-00140-7 978-3-658-00141-4. DOI: 10.1007/978-3-658-00141-4. Accessed: Mar. 13, 2025.
- [15] H. Astour and H. Strotmann, “Lehrbuch Grundlagen der BIM-Arbeitsmethode,” 2022. DOI: 10.1007/978-3-658-37239-2.
- [16] G. Borruso et al., “Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review,” *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2023, Vol. 12, Page 260, vol. 12, no. 7, p. 260, Jun. 2023, ISSN: 2220-9964. DOI: 10.3390/IJGI12070260.
- [17] M. May, M. Krämer, and S. Maik, “BIM im Immobilienbetrieb,” *BIM im Immobilienbetrieb*, 2022. DOI: 10.1007/978-3-658-36266-9.
- [18] Q. Wang, J. Guo, and M.-K. Kim, “An Application Oriented Scan-to-BIM Framework,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 3, p. 365, Feb. 2019, ISSN: 2072-4292. DOI: 10.3390/rs11030365.