

BIM-Modellierung von Bestandsgebäuden – eine Studie zu Aufwand und Effizienz

Im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt „FHprofUnt 2018: BIM Bauen im Bestand (BIM-BiB)“ wurde der Campus der Hochschule Trier mittels terrestrischem Laserscanner vermessen und die gewonnenen Daten in BIM-Modelle der Gebäude des Campus überführt. Diese Studie untersucht die Effizienz von Bestandsvermessungen durch 3D-Scanner, der Punktwolkenerstellung und -nachbearbeitung sowie der BIM-Modellierung von Bestandsgebäuden anhand der gewonnenen Aufwandswerte. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anwendung terrestrischer Laserscanner für Bestandsvermessungen eine effiziente Methode ist, Bearbeitung und Erstellung hochwertiger Punktwolken jedoch noch sehr zeitintensiv sind und die eigentliche BIM-Modellierung die beiden erstgenannten Arbeitsbereiche im Aufwand stark übertrifft. Zur Erläuterung der vorgestellten Ergebnisse wird auf den aktuellen Stand der Technik und die projektspezifischen Probleme eingegangen. Die gewonnenen Daten und ihre Auswertung decken Schwachstellen in der Effizienz der heute zur Verfügung stehenden Methoden auf und beleuchten Forschungsmöglichkeiten, um den Prozess der Modellierung von Bestandsgebäuden wirtschaftlicher zu gestalten.

Stichworte BIM; Laserscanner; Punktwolken; Bestandsvermessung; Bestandsmodellierung; Aufwandswerte

BIM modeling of existing buildings – a study on effort and efficiency

In the project “FHprofUnt 2018: BIM Bauen im Bestand (BIM-BiB)”, funded by the Federal Ministry of Education and Research, the campus of Trier University of Applied Sciences was surveyed using terrestrial laser scanners and the data obtained was transferred to BIM models of the campus buildings. Here, the efficiency of as-is surveys using 3D scanners, point cloud generation and post-processing, as well as BIM modeling of existing buildings is examined on the basis of the effort values obtained. The results show that the use of terrestrial laser scanners for as-is surveys is an efficient method, but the processing and creation of high-quality point clouds is still very time-consuming and the actual BIM modeling greatly exceeds the two first-mentioned work areas in terms of effort. To explain the results presented, the current state of the art and the project-specific problems are discussed. The data obtained and its evaluation reveal weaknesses in the efficiency of the methods available today and shed light on research opportunities to make the process of modeling existing buildings more economical.

Keywords BIM; laser scanner; point clouds; building stock surveying; building stock modeling; effort values

1 Einleitung

Building Information Modeling (BIM) ist schon seit einigen Jahren als Methode zur Planung und Projektabwicklung im Bauwesen präsent und erfreut sich gerade im Neubau immer größerer Beliebtheit [1]. Eine dreidimensionale Darstellung des Projekts und die Hinterlegung von Bauteileigenschaften erlauben detaillierte Zeit- und Kostenanalysen sowie Angaben zur Nachhaltigkeit und weiterer Kriterien [2]. Durch die Arbeit auf einer zentralen Datenplattform kann die Koordination der einzelnen Projektteilnehmer verbessert und der Zugriff aller auf einen einheitlichen Projektstand sichergestellt werden. Im Idealfall kann der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes vom Entwurf über die Bau- und Betriebsphase bis hin zu Abbruch und Entsorgung bzw. Recycling vorgeplant werden und der Auftraggeber erhält detaillierte Informationen zur Wirtschaftlichkeit seines Projekts. Der erhöhte Aufwand in der Planungsphase kann i. d. R. durch die dort erreichte Optimierung von Bau- und Betriebsphase des Projekts aufgefangen werden und führt letztlich zu einer Reduzierung der Gesamtkosten [3,4]. Für Neubauten bietet sich diese Methode sehr gut an, da das BIM-Modell

direkt bei Projektstart mit erstellt wird und während der verschiedenen Phasen des Projekts mit gepflegt werden kann. Bei Arbeiten im Gebäudebestand ist die Erstellung des BIM-Modells jedoch ein Schritt, der der eigentlichen Entwurfsphase vorausgehen muss, um zunächst die Grundlage für die eigentlichen Planungsarbeiten zu schaffen.

Die notwendige Erfassung und Überführung des Bestands in ein BIM-Modell erzeugt zusätzlichen Aufwand und erfordert weitere Softwarewerkzeuge, weswegen die Anwendbarkeit von BIM im Bestandsbau im Projekt BIM-BiB untersucht werden sollte. Im Rahmen des Projekts, das im Anschluss kurz vorgestellt wird, wurden Aufwandswerte zur Bestandserfassung und -modellierung erhoben, die sich aus dem Stand der Technik und den daraus entwickelten Arbeitsabläufen ergeben.

In der Auswertung der Aufwandswerte werden diese in Zusammenhang mit den Arbeitsabläufen gebracht. Abschließend wird auf Grundlage der erzeugten Daten erläutert, inwiefern sich eine umfangreiche Modellierung des Bestands lohnt und welche technischen Weiterent-

wicklungen dazu führen könnten, die Modellerstellung effizienter zu machen.

1.1 Projektbeschreibung BIM-BiB

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt „BIM Bauen im Bestand (BIM-BiB)“ mit dem Förderkennzeichen 13FH105PX8, auf dessen Daten sich diese Studie stützt, hat zum Ziel, die Anwendbarkeit der BIM-Methode auf Aufgaben des Bestandsbaus zu überprüfen. Dazu sollten zunächst alle Gebäude des Campus Schneidershof der Hochschule Trier (Bild 1) mittels terrestrischem Laserscanner vermessen und anschließend in BIM-Modelle überführt werden.

Für die Vermessungsarbeiten wurde der terrestrische Laserscanner RTC360 der Firma Leica angeschafft. Hierbei wurde sich bewusst für einen statischen Laserscanner entschieden, da dieser im Gegensatz zu handgeführten mobilen Scannern wie dem BLK2GO von Leica oder den Konkurrenzlösungen von GeoSLAM (Faro) eine höhere Genauigkeit erreichen kann und außerdem Messungen über größere Distanzen und somit auch umfangreichere Außenscans möglich sind. Die Bearbeitung der Punktwolken erfolgte zum größten Teil in der von Leica mitgelieferten Software Register 360 und die Modellierung der BIM-Modelle wurde in der BIM-Software Revit von Autodesk durchgeführt.

Auf dem Campus Schneidershof befinden sich 20 Gebäude, von denen 18 vermessen werden konnten. Mithilfe der aus den Vermessungsdaten generierten Punktwolken wurden BIM-Modelle erstellt, an denen untersucht werden sollte, ob und wie sie gängige Aufgaben des Bestandsbaus erleichtern können.

2 Vorstellung der Arbeitsabläufe

Die BIM-Modellierung eines Bestandsgebäudes besteht aus drei Schritten. Die Vermessung des Gebäudes, die Aufbereitung der Vermessungsdaten und die BIM-Modellierung anhand dieser Daten. Im Folgenden wird auf die einzelnen Schritte eingegangen, die gewählte Metho-

de vorgestellt, der Stand der Technik erläutert und der daraus resultierende Arbeitsablauf vorgestellt.

2.1 Vermessung mittels terrestrischen Laserscans

Zur Bestandserfassung wurde die Vermessung mittels terrestrischen Laserscans gewählt. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass die Umgebung einer Scanposition sehr umfassend eingemessen wird und somit der Planungsaufwand für den Ablauf der Vermessung gering ist [5]. Durch die Kompletterfassung wird der Datenschutz jedoch ein Aspekt, der während der Vermessung und Nachbearbeitung der Daten berücksichtigt werden muss. Während der Vermessung werden 3D-Daten und Fotoaufnahmen erzeugt, die Personen und persönliche Gegenstände enthalten können. So ist z.B. die Erfassung von Mietwohnungen problematisch, da die Verarbeitung personenbezogener Daten nach Artikel 6 DSGVO in diesem Fall der ausdrücklichen Zustimmung der Mieter bedarf.

2.1.1 Technischer Hintergrund

Der eingesetzte terrestrische Laserscanner RTC360 nutzt das Time-of-Flight-Messverfahren, bei dem die Zeit zwischen einem Startimpuls und einem Stoppimpuls gemessen und daraus die Entfernung zum Objekt berechnet wird [6]. Die so eingemessenen Punkte werden durch ein nach dem Scan erzeugtes HDR-Foto um Farbinformationen ergänzt. Hierzu erzeugen im Scanner integrierte Kameras mehrere Fotos, die zu einem 360°-Foto zusammengesetzt werden, welches automatisch auf die durch die Distanzmessungen des Scanners erzeugten Punkte projiziert wird und so die Farbinformationen liefert, die in den reinen Scandaten nicht vorhanden sind [5].

Die Punktwolken der einzelnen Scanpositionen besitzen jeweils ihr eigenes lokales Koordinatensystem, weshalb die Koordinaten der Punkte in ein globales Koordinatensystem transformiert werden müssen, um die Gesamtpunktwolke zu erzeugen. Auf die sog. Registrierung wird in Abschn. 3.2 genauer eingegangen.



Bild 1 Orthofoto aus Drohnenbefliegung – Projektort Campus Schneidershof der Hochschule Trier
Orthophoto from drone flight – project site Schneidershof campus of Trier University of Applied Sciences

2.1.2 Arbeitsablauf

Aus dem oben geschilderten Stand der Vermessungstechnik wurde unter Berücksichtigung der Datenschutzbestimmungen folgender Arbeitsablauf entwickelt, um die in Bild 2 grün markierten Gebäude effizient vermessen zu können.

Zunächst werden zwei Wochen vor Beginn der Vermessungsarbeiten in einem Gebäude die betroffenen Personen per Mail über die anstehenden Arbeiten informiert und über ihre Rechte in Bezug auf Datenschutz aufgeklärt. Außerdem wird Hilfe beim Aufräumen der Räume bzw. beim Abdecken von Objekten, die nicht im Scan erscheinen sollen, angeboten. So wird sichergestellt, dass die eigentliche Vermessung ohne größere Verzögerung durchgeführt werden kann.

Ziel der Vermessung ist es, ein möglichst umfassendes Abbild des Bestandsgebäudes zu erzeugen, sodass in der späteren Modellierungsphase idealerweise alle Fragen zur Gebäudestruktur und -ausstattung anhand der Punktwolke geklärt werden können. Diese Vorgabe verlangt Außenscans, um ein Abbild der Fassade zu erhalten und die Wandstärke der Außenwände ermitteln zu können, Scans in abgehängten Decken, um die Tragstruktur der Decken und die verbauten Deckeninstallationen zu erfassen, und Scans über und unter der Tischebene, um Instal-

lationen, die ansonsten von Tischplatten verdeckt worden wären, mit aufzunehmen.

Der erarbeitete Arbeitsablauf sieht deshalb vor, dass zunächst in den Gebäudefluren die abgehängten Decken geöffnet und Zielmarken aufgehängt werden sollen. Hierbei ist anzumerken, dass die Registrierung der Scans auch ohne Zielmarken möglich ist, diese wegen eines erst spät im Projektverlauf behobenen Fehlers (Bild 3) in der Registrierungssoftware jedoch als zusätzliche Sicherheit verwendet wurden.

Für die Registrierung zweier Scans ist eine ausreichend große Überlappung zwischen diesen notwendig [7]. Anhand dieser Überlappung wird bei der globalen Fehlerkorrektur nach dem Verfahren der Graphoptimierung [8] die Verknüpfung zweier Scans gewichtet und der Fehler bei der Ausrichtung der Scans entsprechend dieser Gewichtung verteilt. Bild 3 zeigt die Punktwolken zweier Scans nach der Bereinigung (türkis und orange). Aufgrund der geschlossenen Glastür in der Mitte des Flurs wurden alle Punkte entfernt, die durch die geschlossene Tür aufgenommen wurden, sodass es keine Überlappung zwischen den beiden Punktwolken mehr gibt. Der Software-Bug bewirkte, dass gelöschte Punkte für die Berechnung von Überlappungen trotzdem mitberechnet wurden (40,34 % anstatt 0 %), wodurch die Qualität der Verknüpfung zwischen zwei Scans falsch berechnet wurde, was zu einer fehlerhaften globalen Fehlerkorrektur führte. Durch den Abgleich des globalen Fehlers aufgrund der Graphoptimierung mit den Fehlerwerten konnte der Software-Bug zuverlässig erkannt und die fehlerhafte Verbindung entfernt werden.

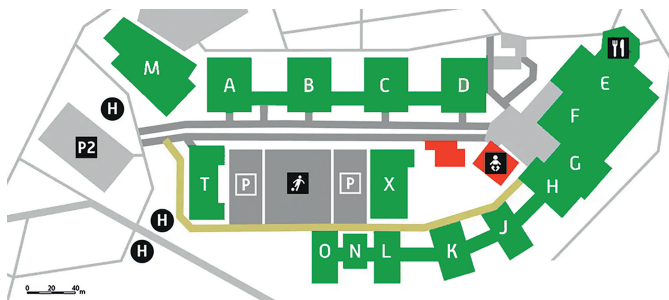


Bild 2 Übersicht über die vermessenen Gebäude (grün) am Campus Schneidershof der Hochschule Trier
Overview of the surveyed buildings (green) on the Schneidershof campus of Trier University of Applied Sciences

Absoluter Mittelwert	1.1 mm
Anteil Überlappung	40.34 %

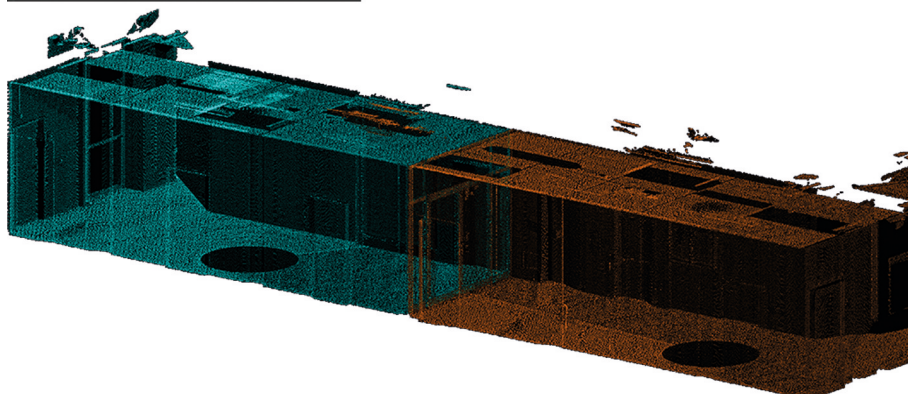


Bild 3 Softwarefehler in Register 360 – fehlerhafte Berechnung der Überlappung nach der Bereinigung
Software error in Register 360 – incorrect calculation of the overlap after cleanup

2.2 Punktwolkenerstellung und -nachbearbeitung

Nach der Vermessung des Gebäudes müssen die einzelnen Scanpositionen in ein gemeinsames Koordinatensystem überführt werden. Dies geschieht heute i.d.R. in zwei Schritten. Zunächst werden die Positionen grob vorregistriert. Dieser Schritt ist notwendig, da die Registrie-

rung mittels Iterative-Closest-Point-Algorithmus (ICP) eine grobe Ausrichtung von zwei Punktwolken voraussetzt, um die Feinregistrierung erfolgreich durchführen zu können [7]. Die Grobregistrierung erfolgt beim RTC360 bereits während der Vermessung, indem der Scanner über einen Bewegungssensor und Kameras seine Position in Relation zum letzten Vermessungspunkt recht genau bestimmen kann und selbst eine Karte der vermessenen Umgebung und der Scanpositionen erstellt. Dieses in der Robotik entwickelte Verfahren des Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) [9,10] erlaubt es dem Anwender, die Grobregistrierung bereits im Feld ausreichend genau durchzuführen.

Grundsätzlich fällt jedoch die Registrierung in den Bereich der Nachbearbeitung, und hier existieren Methoden, mit denen die Registrierung selbst dann automatisiert durchgeführt werden kann, wenn die Standpunkte der einzelnen Scanpositionen unbekannt sind [11]. Durch den Wegfall der Grobregistrierung während der Nachbearbeitung ist der Arbeitsaufwand für die Registrierung gering und fällt gegenüber der Punktwolkenbereinigung kaum ins Gewicht.

Die Bereinigung der Punktwolke wird zum einen notwendig, um dem Datenschutz gerecht zu werden, und zum anderen, um die systematischen Fehler [12], die bei der Vermessung auftreten, zu entfernen. An dieser Stelle soll nur kurz auf den Fehlertyp eingegangen werden, der sich am stärksten auf die Nachbearbeitungszeit auswirkt und dessen Prinzip in Bild 4 dargestellt ist.

Multipathing beschreibt besser als der deutsche Begriff Spiegelung das grundlegende Problem bei der Distanzmessung durch einen Laserstrahl. Idealerweise trifft dieser auf eine diffuse Oberfläche, von der er aufgrund der rauen Beschaffenheit in alle Richtungen abprallt. Ein

Teil erreicht auf direktem Weg den Sensor des Scanners und stoppt die Zeitmessung [6]. Spiegelnde Oberflächen hingegen können den Laserstrahl umlenken, und erst die nächste diffuse Oberfläche sorgt dafür, dass ein Teil des Laserstrahls den Sensor erreicht. Der Scanner misst also nicht die Distanz zur spiegelnden Oberfläche, sondern zur diffusen Oberfläche mit dem Umweg über den Spiegel. Da diese Umlenkung nicht rückverfolgt werden kann, wird die diffuse Oberfläche in der Punktwolke als reales Objekt hinter der Spiegelebene platziert und muss händisch entfernt werden [13]. Multipathing beschreibt hier sehr gut das Zurücklegen mehrerer Wege bis zum Wiederauftreffen auf den Scanner. Bei einer sehr sorgfältigen Bereinigung der Punktwolke beträgt der Anteil etwa 90 % der gesamten Nachbearbeitungszeit.

Der hier geschilderte Arbeitsablauf sieht eine sehr ausführliche Säuberung der Punktwolke vor, um die anschließende Modellierung zu erleichtern. Nach dem Import der Vermessungsdaten werden diese zunächst zu einer Gesamtpunktwolke verbunden und registriert. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Punktwolke ausreichend genau ausgerichtet ist und ein Großteil der fehlerhaften Punkte in der Gesamtpunktwolke aus allen Scans gleichzeitig entfernt werden kann. Bild 5 zeigt beispielhaft die Punkte eines Scans, die durch die Spiegelfläche der Fenster nach außen projiziert wurden.

Punkte, die ins Innere des Gebäudes gespiegelt wurden, werden **im Schritt der scanweisen Bereinigung** entfernt. ■ Dear Autor: Bitte den Begriff **scanweise** überprüfen. ■ Dies ist notwendig, da im Gebäudeinneren fehlerhafte Punkte des einen Scans die korrekten Punkte eines anderen Scans überlagern und eine Löschung innerhalb der Gesamtpunktwolke auch korrekt platzierte Punkte entfernen würde.

Da die Projektmitarbeiter zunächst nur durch eine eintägige Schulung mit der Software vertraut gemacht wurden und ansonsten keine Erfahrung auf dem Gebiet der Vermessung mittels Laserscan hatten, nahm mit zunehmender Erfahrung bei der Nachbearbeitung die Anzahl der entdeckten Spiegelungen zu. Hierdurch erhöhte sich der

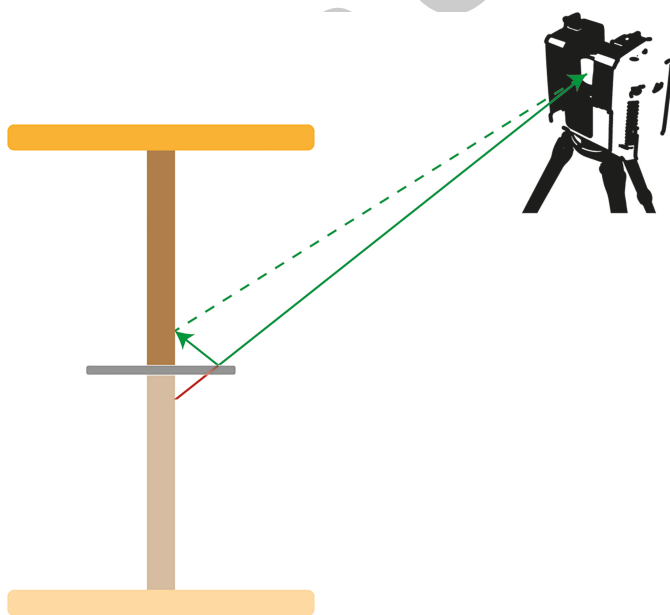


Bild 4 Prinzip des Multipathings am Beispiel eines verchromten Tischfußes (stark reflektierend)
Principle of multipathing on the example of a chrome-plated table base (highly reflective)

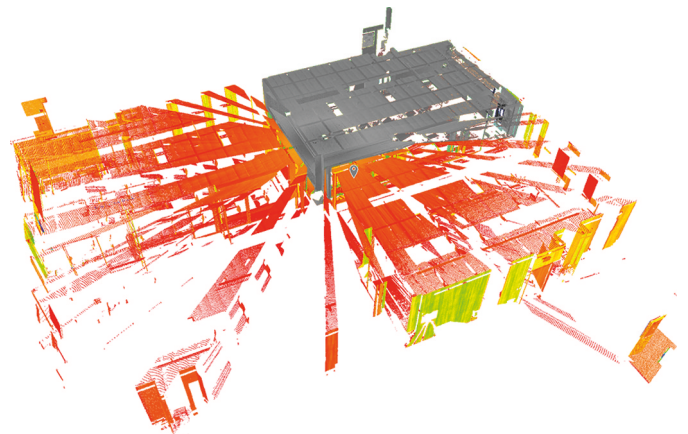


Bild 5 Visualisierung der durch Fensterflächen gespiegelten Punkte (farbig)
Visualization of the points mirrored by window surfaces (colored)

Nachbearbeitungsaufwand, weswegen als Richtlinie ausgegeben wurde, dass primär die Regionen über der Tischebene zu bearbeiten und Bereiche darunter nur grob zu bereinigen sind. So konnte die Bearbeitungszeit deutlich verkürzt werden, wobei die Qualität der Punktwolke nicht zu stark eingeschränkt wurde, da die nicht entfernten Spiegelungen im Bereich unter der Tischebene liegen und bei der späteren Modellierung nur in geringem Maße stören.

2.3 BIM-Modellierung

Die heutigen BIM-Softwares unterstützen die Referenzierung einer Punktwolke in die Modellierungsumgebung. Nach heutigem Stand der Technik wird die Punktwolke dort als Schablone genutzt und händisch nachmodelliert (Bild 6), wobei möglichst auf einen vorhandenen Bauteilkatalog zurückgegriffen wird. Sollten Bauteile nicht vorhanden sein, müssen diese aus externen Quellen nachgeladen oder, was bei älteren Gebäuden der Regelfall ist, selbst erstellt und mit Eigenschaftensätzen versehen werden.

Bei Detailgrad und Informationsgehalt sollten sich die Modelle an den zur Verfügung stehenden Daten orientieren, was für die Bauteilgeometrien (Level of Detail – LOD) i. d. R. eine sehr genaue Nachmodellierung als As-is-Modells bedeutete und für den Informationsgehalt das mit den vorliegenden Daten Erreichbare vorsah. Da hier aufgrund fehlender Unterlagen oft nur auf die in der Punktwolke enthaltenen Daten zurückgegriffen werden konnte, wurde auf das Vorschreiben eines Level of Information (LOI) verzichtet und nur die generelle Vorgabe gemacht, dass bekannte Daten eingepflegt und fehlende Daten als solche kenntlich gemacht werden sollen. So sollte sichergestellt werden, dass die erzeugten Bestandsmodelle auch für noch nicht abzusehende Projekte ausreichend Informationen bieten und eine Verwendung für ein breites Spektrum an Aufgaben infrage kommt.

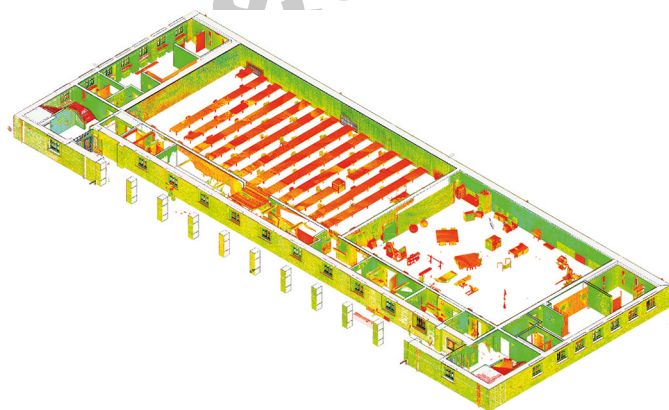


Bild 6 Anhand der in der BIM-Software Revit referenzierten Punktwolke modelliertes EG – die Punktwolke stellt die Intensitätswerte (Stärke des zurückgeworfenen Lasersignals) dar, was die Unterscheidung der einzelnen Bauteile erleichtert
First floor modeled using the point cloud referenced in the BIM software Revit – the point cloud shows the intensity values (the strength of the reflected laser signal), which makes it easier to distinguish the individual components

Der gewählte Ablauf ist auf kleine Teams optimiert und sieht vor, dass es für jedes Gebäude nur einen Bearbeiter gibt, der dieses vollständig modelliert. Für größere Teams muss neben der eigentlichen Modellierarbeit auch eine ausführliche Dokumentation über den Stand der Modellierung geführt werden, damit Arbeiten nicht doppelt durchgeführt werden.

Im kleinen Team der Projektmitarbeiter hat sich die Einteilung in Bauteilmodellierer und Gebäudemodellierer bewährt. Die Gebäudemodellierer erstellen das Gebäudemodell und beauftragen bei fehlenden Bauteilen den Bauteilmodellierer mit deren Erstellung. Dieser kann durch seine genaue Kenntnis der bereits erstellten Bauteile entweder direkt auf das bereits existierende Bauteil verweisen, ein vorhandenes Objekt modifizieren oder ein neues Bauteil erstellen. So wird verhindert, dass bereits erstellte Bauteile, die auch in anderen Gebäuden vorkommen, mehrfach erstellt werden, und sichergestellt, dass die Parametrisierung der Bauteile einheitlich ist. Für größere Teams ist hier ebenfalls ein größerer Dokumentationsaufwand notwendig.

3 Aufwandswerte

Die nachfolgenden Aufwandswerte wurden ermittelt, indem die Arbeitszeiten mittels Stundenzetteln festgehalten und jeweils einem Gebäude und einem der drei Tätigkeitsfelder Vermessung, Punktwolkenerstellung und Modellierung zugeordnet wurden. Arbeiten, die nicht unmittelbar mit einem der drei Tätigkeitsfelder zusammenhängen, wurden nicht ausgewertet. Dies betrifft z. B. administrative Tätigkeiten, Arbeitsvorbereitung oder das Programmieren von Modellierhilfen.

3.1 Vermessung

Aus Tab. 1 können die Aufwandswerte für die Vermessung pro Gebäude entnommen werden.

Die Gebäude E, F, G und H werden zusammengefasst, da sie über eine gemeinsame Gebäudehülle verfügen und der Aufwand nicht immer klar einem Gebäude zugeordnet werden konnte. Außerdem wird in der letzten Zeile von Tab. 1 ein bereinigter Gesamtaufwand angegeben, für den die Gebäude nicht berücksichtigt wurden, bei denen der vorher beschriebene Ablauf nicht eingehalten wurde. A und C waren die ersten vermessenen Gebäude; hier wurden zunächst Zweierteams eingesetzt. Außerdem mussten wegen zu kleiner Deckenöffnungen Nachscans durchgeführt werden, damit während der Nachbearbeitung die Decken- und Bodenscans miteinander verknüpft werden konnten. Die Gebäude K, L und O wurden ebenfalls durch Zweierteams vermessen, wobei dies jedoch nicht mehr in der Anfangsphase des Projekts geschah. Ein Grund hierfür war u. a. die Schulung neuer Mitarbeiter.

Tab. 1 Vermessungsaufwand pro Gebäude
Surveying effort per building

Gebäudebezeichnung (Anzahl der Räume nach Raumbuch)	Vermessungs- aufwand (h)	Anzahl der in der Punktwolke verwendeten Scans	Zeitaufwand pro Scan (min)	Zeitaufwand pro Raum (min)	Scans pro Raum
A (167)	252	1270	11,9	90,5	7,6
B (160)	172	1639	6,3	64,5	10,2
C (178)	250	1403	10,7	84,3	7,8
D (160)	140	1294	6,5	52,5	8,1
E, F, G, H (288)	186	2017	5,5	38,8	7,0
J (66)	32	408	4,7	29,1	6,2
K (63)	48	241	12,0	45,7	3,8
L (63)	34	225	9,1	32,4	3,6
M (66)	50	452	6,6	45,5	6,8
N (10)	14	47	17,9	84,0	4,7
O (61)	42	296	8,5	41,3	4,4
T (46)	27	328	4,9	31,3	7,1
X (29)	24	269	5,4	49,7	9,3
Gesamt	1271	9889	7,7	53,0	6,7
Bereinigt	645	6454	6,0	49,4	7,4

In den angegebenen Werten sind die Rüstzeiten, die vor- und nachbereitenden Arbeiten (Öffnen und Schließen der Decken, Anbringen und Entfernen von Zielmarken) und die Fassadenscans, die jedoch keinem Raum zugeordnet wurden, enthalten. Die Angabe der Scananzahl bezieht sich auf die in der Punktwolke verwendeten Scans. Die Zahl der tatsächlich erzeugten Scans liegt bei ca. 12.000. Der Unterschied von etwa 2000 Scans erklärt sich durch redundante Aufnahmen, die bei der Nachbearbeitung verworfen wurden, um Nachbearbeitungszeit zu sparen. Diese Scans erhöhen den Aufwandswert pro Scan, wurden aber in der Spalte „Scans pro Raum“ nicht berücksichtigt, da sie nicht mehr einzelnen Gebäuden zugeordnet werden können.

Die Anzahl der Scans pro Raum ist im Wesentlichen von zwei Faktoren abhängig. So spielt zum einen die Raumgröße eine Rolle und zum anderen das Vorhandensein einer abgehängten Decke. Sollten keine Deckenscans notwendig oder möglich sein, ist ein Wert von 4–5 Scans pro Raum realistisch (Gebäude K, L, N, O). Durch die Vermessungsarbeiten in der Decke erhöht sich dieser Wert auf 6–9 Scans pro Raum (Gebäude A, C, D, J). Der Einfluss der Raumgröße ist schwerer zu quantifizieren, da hier die Raumeinrichtung einen großen Einfluss hat. So kann ein großer leerer Raum ohne eine große Erhöhung der Scanpositionen vermessen werden (Turnhallen in Gebäude T), wohingegen ein großer Raum mit vielen Einrichtungsgegenständen (Bibliothek im Gebäude B) die benötigte Anzahl stark erhöht. Es ist daher nicht sinnvoll, einen Aufwandswert pro Quadratmeter festzulegen, sondern vielmehr einen Aufwandswert pro Raum zu definieren, wobei die Raumnutzung eher als Kriterium herangezogen werden sollte als die Raumgröße.

Der Aufwand pro Scan ist weitestgehend unabhängig von der Raumgröße und wird am stärksten durch das Verhältnis Außen- zu Innenscans und die Notwendigkeit von Deckenscans beeinflusst, was sich durch den erhöhten Aufwand bei der Vorbereitung erklären lässt.

3.2 Punktwolkenerstellung und Nachbearbeitung

Die Punktwolkenerstellung wurde bei einigen Gebäuden stark von einem Software-Bug beeinflusst, der den Aufwand stark erhöhte. Deswegen wird in Tab. 2, wie schon beim Vermessungsaufwand, eine Zeile mit bereinigten Werten aufgeführt, in der die betroffenen Gebäude nicht berücksichtigt sind. Um die Spalte „Verhältnis Nachbearbeitungsaufwand zu Vermessungsaufwand“ aussagekräftiger zu gestalten, werden in der letzten Zeile nur die Gebäude ausgewertet, bei denen sowohl die Vermessung als auch die Nachbearbeitung nach den zuvor aufgestellten Arbeitsabläufen durchgeführt wurden. Diese sind blau markiert.

Wie bereits geschildert, wurde bei der Nachbearbeitung Wert auf eine qualitativ hochwertige Punktwolke gelegt, bei der möglichst wenig Fehler vorhanden sein sollten, um die anschließende Modellierung nicht negativ zu beeinflussen. Die Auswertung der Aufwandsdaten zeigt nun, dass durch den hohen Qualitätsanspruch der Nachbearbeitungsaufwand etwa doppelt so hoch ist wie der Vermessungsaufwand. Der Umstand, dass die Gebäude K und O durch zwei Personen vermessen wurden, lässt einen direkten Vergleich der unterschiedlichen Gebäudetypen nicht ohne Weiteres zu. Allerdings kann man mit Blick auf Gebäude L (Bild 7a) sagen, dass bei Gebäuden mit einfacher Struktur und wenig Glas- und Stahlanteil

Tab. 2 Aufwandswerte Punktwolkenerstellung
Effort values point cloud creation

Gebäudebezeichnung (Anzahl der Räume nach Raumbuch)	Anzahl der in der Punktwolke ver- wendeten Scans	Aufwand Nach- bearbeitung (h)	Nachbearbeitungs- aufwand pro Scan (min)	Nachbearbeitungs- aufwand pro Raum (min)	Verhältnis Nachbe- arbeitungsaufwand zu Vermessungsaufwand
A (167)	1270	466	22,0	167,4	1,9
B (160)	1639	304	11,1	114,0	1,8
C (178)	1403	591	25,3	199,2	2,4
D (160)	1294	265	12,3	99,4	1,9
E, F, G, H (288)	2017	421	12,5	87,7	2,3
J (66)	408	45	6,6	40,9	1,4
K (63)	241	36	9,0	34,3	0,8
L (63)	225	27	7,2	25,7	0,8
M (66)	452	143	19,0	130,0	2,9
N (10)	47	23	29,4	138,0	1,6
O (61)	296	102	20,7	100,3	2,4
T (46)	328	83	15,2	108,3	2,6
X (29)	269	102	22,8	211,0	4,3
Gesamt	9889	2608	16,4	112,0	2,1
Bereinigt	6651	1347	13,6	86,5	1,8
Schnittmenge aus Tab. 1 „Bereinigt“ und Tab. 2 „Bereinigt“	6185	1284	15,2	102,6	2,1

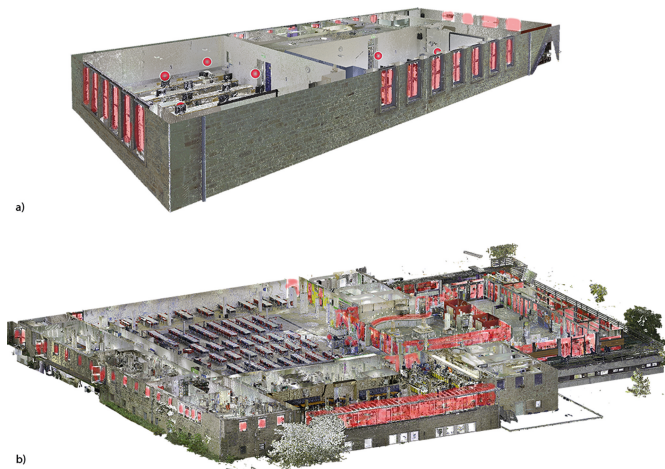


Bild 7 Glasanteil Erdgeschoss Gebäude L (a) mit kaum reflektierenden Oberflächen und von Gebäude E (b) mit einem hohen Anteil von Glas und Stahl
Glass proportion first floor building L (a) with hardly any reflective surfaces and building E (b) with a high proportion of glass and steel

die Bereinigung etwa halb so viel Zeit in Anspruch nimmt wie bei Gebäuden mit vielen reflektierenden Oberflächen und komplexen Rauminhalten (Bild 7b). Über alle Gebäude des Campus gemittelt, ist der Nachbearbeitungsaufwand etwa doppelt so hoch wie der Vermessungsaufwand, wobei die Aufwandswerte hier je nach Umgebung stärker schwanken als bei der Vermessung. So dauert die Nachbearbeitung eines Flurs 30s und die Nachbearbeitung eines Laborraums 45min. Diese Schwankungen je nach Umgebung müssen bei der Kalkulation des Aufwands berücksichtigt werden.

3.3 BIM-Modellierung

Da während der Projektlaufzeit eine Komplettmodellierung nicht möglich war, sind die ermittelten Aufwandswerte nur bedingt aussagekräftig. In Tab. 3 wird deswegen ein ungefährender Modellierungsstand im Vergleich zu Gebäude A für den Gebäudetyp „neue Gebäude“ und zu Gebäude T für den Gebäudetyp „alte Gebäude“ angegeben.

An dieser Stelle sollen einige Aussagen zur Bestandsmodellierung getroffen werden, die sich aus den unvollständigen Daten ableiten lassen. So ist die Bestandsmodellierung heute zeitintensiv. Gerade anhand des Modellierungsaufwands der Gebäude A und T lässt sich zeigen, dass sich eine Modellierung ohne vorhandenen Bauteilkatalog nur selten lohnen dürfte. Im Fall von Gebäude A profitierte Gebäude B aufgrund der beinahe identischen Bauweise und Einrichtung sehr stark von dem nun vorhandenen Bauteilkatalog, was sich dadurch zeigt, dass ein Modellierungsstand erreicht wurde, der etwa 80 % des Stands von Gebäude A entspricht, obwohl nur 13 % der Zeit aufgewendet werden mussten. Eine Weitermodellierung würde jedoch auch wieder zeitintensiver, da die noch verbleibenden Bauteile sich nun von den Bauteilen des Gebäude A unterscheiden und auch erst erstellt werden müssten. Dies sieht man an den Gebäuden J, L und O, die in ihrer Grundstruktur Gebäude T sehr ähnlich sind. Der Bauteilkatalog ist jedoch abgesehen vom Rohbau ein völlig anderer, und so sind hier die Aufwandswerte um einiges höher, da schon früher neue Bauteile erzeugt werden müssen. Im Vergleich zur Punktwol-

Tab. 3 Modellierungsaufwand
Modeling Effort

Gebäudebezeichnung (Anzahl der Räume nach Raumbuch)	Modellierungs- aufwand (h)	Modellierungsstand in % (im Vergleich zu Gebäude A)	Modellierungsstand in % (im Vergleich zu Gebäude T)	Modellierungsstand – Kommentar
A (167)	1020	100	–	Gebäudehülle und Innenausbau modelliert, technische Installationen größtenteils vorhanden
B (160)	133	80	–	Gebäudehülle und Innenausbau modelliert, technische Installationen teilweise vorhanden
C (178)	0	0	–	nicht modelliert
D (160)	8	0	–	Tragstruktur grob modelliert
E, F, G, H (288)	325	–	–	Gebäudehülle und teilweise Innenausbau modelliert
J (66)	396	–	80	Gebäudehülle und Innenausbau modelliert, technische Installationen teilweise vorhanden
K (63)	0	–	0	nicht modelliert
L (63)	110	–	70	Gebäudehülle und Innenausbau modelliert
M (66)	0	–	–	nicht modelliert
N (10)	0	–	–	nicht modelliert
O (61)	340	–	80	Gebäudehülle und Innenausbau modelliert, technische Installationen teilweise vorhanden
T (46)	677	–	100	Gebäudehülle und Innenausbau modelliert, technische Installationen größtenteils vorhanden, texturierte Natursteinfassade
X (29)	0	–	–	nicht modelliert
Gesamt	3009			

kenerstellung ist der Aufwand der Modellerstellung auch ohne die Möglichkeit eines direkten Vergleichs um ein Mehrfaches höher einzuschätzen.

4 Fazit

Die Datenauswertung zu den Aufwandswerten hat gezeigt, dass aufgrund der nach dem heutigen Stand der Technik noch sehr händischen Natur der anfallenden Arbeiten sich die BIM-Modellierung von Bestandsgebäuden nur in sehr wenigen Fällen lohnen dürfte. So wurden für die Modellierung von Gebäude A 1738h und für die Modellierung von Gebäude T 787h benötigt. Das bedeutet, dass vor der eigentlichen Durchführung der Maßnahme, für die das BIM-Modell erstellt werden sollte, schon 10,4h pro Raum (Gebäude A) bzw. 17,1h pro Raum (Gebäude T) investiert werden müssen. Im Vergleich dazu wurden in die Erstellung der Punktwolken nur 4,3h pro Raum (Gebäude A) bzw. 2,3h pro Raum (Gebäude T) investiert. Ob der Mehrwert eines vollständigen BIM-Modells im Vergleich zur Punktwolke diesen Aufwand rechtfertigt, ist fraglich. Insbesondere, wenn man evtl. Schnittstellenprobleme, die bei der Übergabe der Daten des BIM-Modells an Drittanbietersoftware auftreten können, berücksichtigt, sinkt dieser Mehrwert nochmals.

Damit die BIM-Modellierung von Bestandsgebäuden wirtschaftlich wird, müssen nach heutigem Stand der Technik viele fast baugleiche Gebäude vorhanden sein, damit sich der Anfangsaufwand der Bauteilerstellung lohnt.

Die Erzeugung detaillierter Modelle, die bereits über Informationen verfügen, die nicht für die konkrete Maßnahme notwendig sind, um so für evtl. spätere Projekte bereits eine Datengrundlage zu schaffen, mag sinnvoll erscheinen. So entsteht jedoch aufgrund der heute zur Verfügung stehenden beschränkten Möglichkeiten ein Mehraufwand, der nicht zu rechtfertigen ist. Vielmehr sollte das BIM-Modell sich nur auf die Darstellung der Bereiche konzentrieren, die zur Durchführung einer geplanten Maßnahme unbedingt notwendig sind. Mit der Punktwolke steht ein ausreichend detailliertes Abbild des Istzustands zur Verfügung, das für den Ausbau des BIM-Modells bei zukünftigen Maßnahmen nochmals herangezogen werden kann. Auch hybride Modelle, bei denen nur Bereiche eines Gebäudes modelliert und unwichtige Teile durch die Punktwolke dargestellt werden, sind denkbar.

Für die Zukunft sollte in Bezug auf Punktwolken an einer automatischen Erkennung von Spiegelungen und ande-

ren fehlerhaften Punkten geforscht und in Bezug auf die Modellierung an der Automatisierung von Bauteilerken-

nung in der Punktwolke und -platzierung im Modell gearbeitet werden.

Literatur

- [1] Borkowski, A. S. (2023) *Evolution of BIM: epistemology, genesis and division into periods*. Journal of Information Technology in Construction 28, pp. 646–661. <https://doi.org/10.36680/j.it-con.2023.034>
- [2] Ding, L.; Zhou, Y.; Akinci, B. (2014) *Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD*. Automation in Construction 46, pp. 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.009>
- [3] Leite, F. L. (2019) *BIM for Design Coordination – A Virtual Design and Construction Guide for Designers, General Contractors, and Subcontractors*. Newark: John Wiley & Sons Incorporated.
- [4] Borrmann, A. et al. [Hrsg.] (2015) *Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [5] Lemmens, M. (2011) *Terrestrial Laser Scanning* in: Lemmens, M. [ed.] *Geoinformation*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 101–121.
- [6] Shan, J.; Toth, C. K. (2018) *Topographic Laser Ranging and Scanning*. 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press.
- [7] Besl, P. J.; McKay, N. D. (1992) *A method for registration of 3-D shapes*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 14, No. 2, pp. 239–256. <https://doi.org/10.1109/34.121791>
- [8] Grisetti, G. et al. (2010) *A tutorial on graph-based SLAM*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Magazine 2, pp. 31–43. <https://doi.org/10.1109/MITS.2010.939925>
- [9] Durrant-Whyte, H.; Bailey, T. (2006) *Simultaneous localization and mapping: part I*. IEEE Robotics & Automation Magazine 13, No. 2, pp. 99–110. <https://doi.org/10.1109/MRA.2006.1638022>
- [10] Bailey, T.; Durrant-Whyte, H. (2006) *Simultaneous localization and mapping (SLAM): part II*. IEEE Robotics & Automation Magazine 13, No. 3, pp. 108–117. <https://doi.org/10.1109/MRA.2006.1678144>
- [11] Dong, Z. et al. (2020) *Registration of large-scale terrestrial laser scanner point clouds: A review and benchmark*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 163, pp. 327–342. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.03.013>
- [12] Vosselman, G.; Maas, H.-G. (2010) *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Dunbeath: Whittles Publishing.
- [13] Runne, H.; Niemeier, W.; Kern, F. (2001) *Application of Laser Scanners to Determine the Geometry of Buildings*. Optical 3-D Measurement Techniques, pp. 41–48.

Autor:innen

Peter Marx, M.Eng. (Korrespondenzautor:in)
Pe.Marx@blv.hochschule-trier.de
Hochschule Trier
Bauen und Leben
Schneidershof
54293 Trier

Prof. Dr. Félicia Norma Rebecca Teferle
rebecca.teferle@uni.lu
Universität Luxemburg
Faculty of Science, Technology and Medicine (FSTM)
Campus Kirchberg
1359 Luxembourg

Prof. Dr.-Ing. Andreas Thewes
a.thewes@blv.hochschule-trier.de
Hochschule Trier
Bauen und Leben
Schneidershof
54293 Trier

Prof. Dr.-Ing. Markus Schäfer
markus.schaefer@uni.lu
Universität Luxemburg
Faculty of Science, Technology and Medicine (FSTM)
Campus Kirchberg
1359 Luxembourg

Zitieren Sie diesen Beitrag

Marx, P.; Teferle, F.N.R.; Thewes, A.; Schäfer, M. (2024) *BIM-Modellierung von Bestandsgebäuden – eine Studie zu Aufwand und Effizienz*. Bautechnik. <https://doi.org/10.1002/bate.202300113>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 28. November 2022; angenommen: 06. Juni 2024.