

Bestandserfassung mittels 3D Scanner

Ein Zwischenbericht zur Digitalisierung des Hochschulcampus

Trier im Rahmen des BMBF-Projekts: „BIMBiB - Bauen im Bestand“

Text: Peter Marx



Punktwolke des Campus Schneidershof - Hochschule Trier: Photogrammetrische Auswertung von Drohnenbildern

Das in Ausgabe 4/2020 kurz vorgestellte BMBF-Forschungsprojekt untersucht am Beispiel des Campus Schneidershof der Hochschule Trier, wie die BIM-Methodik auf Bestandsgebäude angewendet werden kann. Die Erstellung eines Gebäudedatenmodells vom Bestandsgebäude ist hierbei der erste Schritt und gleichzeitig eine der größten Herausforderungen für den erfolgreichen Einsatz von BIM.

Zur effizienten Erfassung des Bestandes wird ein terrestrischer Laserscanner verwendet, mit dessen Hilfe ein Gebäude in kürzester Zeit vermessen werden kann. Über den Einsatz dieses Geräts und die anschließende Weiterverarbeitung der Daten bis zur fertigen Punktwolke soll in diesem Beitrag berichtet werden.

Zum besseren Verständnis der im Folgenden geschilderten Probleme ist es notwendig, sowohl den Scanner als auch die verwendete Bearbeitungssoftware kurz vorzustellen.

Als Scanner wurde der RTC360 der Firma Leica verwendet. Dieser Scanner zeichnet sich durch seine leichte Bedienung aus und kann selbst von Laien nach einer kurzen Einweisung sicher verwendet werden.

Der Scanner misst Entfernungen mittels der Time-of-Flight-Methode, indem er die Zeit stoppt, die der Laserimpuls benötigt, um die Strecke zum gemessenen Objekt und zurück zum Laser zurückzulegen. Ein einziger Scanvorgang zeichnet je nach eingestellter Auflösung zwischen 42 und 208 Millionen Punkte auf. Von diesen enthält jeder mindestens Informationen über seine x-, y-, z- Koordinaten, einen Wert für die Stärke des reflektierten Signals (Intensität) und einen Farbwert, der aus dem überlagerten Foto generiert wird. Dazu sind im Scan noch das 360° Foto (bestehend aus 12 Einzelbildern) in 5 Belichtungsstufen (HDR) und diverse Fotos, die zu Dokumentationszwecken an bestimmte Objekte im Scan angeheftet werden können, enthalten. Das Datenvolumen eines einzelnen Scans in mittlerer Auflösung beträgt so mindestens 500 MB.

Ein ständig die Umgebung trackendes Kamerasystem sorgt dafür, dass der Scanner selbstständig seine Position im Bezug auf den zuvor getätigten Scan ermitteln kann und ermöglicht so ein zügiges Vermessen mit minimalem Aufwand beim Ausrichten der verschiedenen Scanpositionen im Feld. Dieses Ausrich-

ten der Scanpositionen oder auch Registrieren ist eigentlich ein Bearbeitungsschritt, der nicht im Feld stattfindet, sondern bei der späteren Bearbeitung. Dabei unterscheidet man Grob- und Feinregistrierung.

Für die Nachbearbeitung der Scans wurde die Leicasoftware Register360 eingesetzt. Diese zeichnet sich im Gegensatz zu dem älteren Cyclone dadurch aus, dass sie dem Anwender bessere Instrumente zur Kontrolle der Punktwolkenqualität an die Hand gibt und die Bearbeitung vereinfacht. Damit geht jedoch einher, dass die Punktwolkengröße nur ca. 2000 Scanstandpunkte enthalten darf, wohingegen Cyclone in der Anzahl der Standpunkte quasi unbegrenzt ist.

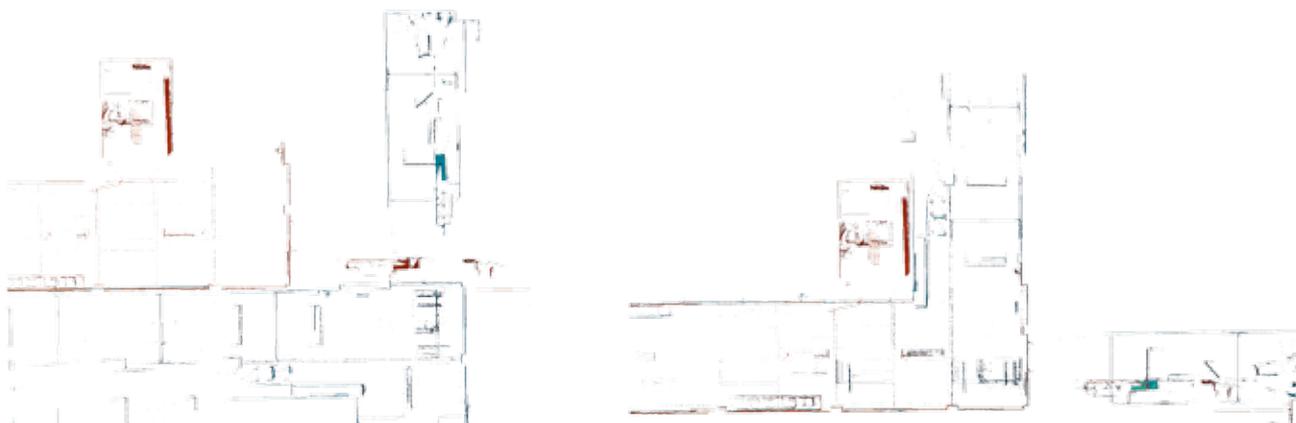
Bei der Grobregistrierung sucht ein Algorithmus nach gewissen übereinstimmenden Merkmalen innerhalb der Punktwolken von verschiedenen Scans. Dies kann zum Beispiel das Verhältnis einer gewissen Anzahl von Ebenen oder Punkten zueinander sein. Dieser Schritt der Grobregistrierung entfällt in der Regel beim RTC360 bzw. findet direkt im Feld durch das Trackingsystem statt. Alternativ bzw. zusätzlich dazu können auch Zielmarken verwendet werden, über die dann eine

Registrierung der Scans möglich ist.

Die Grobregistrierung ist auf etwa zwei bis drei Zentimeter genau und notwendig, damit die Feinregistrierung meist mit Hilfe des Iterative Closest Point – Algorithmus die Endausrichtung vornehmen kann. Der ICP-Algorithmus ist dabei eine sehr effiziente Methode, um

in zwei unterschiedlichen Punktwolken nach benachbarten Punkten zu suchen. Dabei ist er aber darauf angewiesen, dass die beiden Punktwolken vorher grob ausgerichtet worden sind, da er diese schrittweise ineinanderschiebt und -dreht, bis sich benachbarte Punkte wieder voneinander entfernen. Sollte also keine Gro-

bausrichtung vorangegangen sein, werden Punkte als benachbart definiert, die in der Realität gar nicht nebeneinander liegen und eine fehlerhafte Registrierung, die nicht aus den Fehlerwerten zur Verbindungsqualität herausgelesen werden kann, erfolgt.



Aufgrund falscher Grobausrichtung fehlerhaft ausgerichtete Punktwolken (links) und korrigierte Situation (rechts).

Ein weiterer Nachteil des ICP-Algorithmus ist, dass Punktwolken immer nur paarweise abgeglichen werden können. Da auch dies fehlerbehaftet ist, kommt es in der Gesamtpunktwolke zu Fehlern, die durch eine globale Optimierung in einem letzten Registrierungsschritt ausgeglichen werden können.

Aus den oben aufgeführten Punkten ergaben sich während des Projektverlaufs ein paar interessante Probleme, über die sich ein potentieller Anwender bewusst sein sollte, bevor er zu dieser Methode der Bestandaufnahme greift.

Das erste und anfangs schon angedeu-

tete Problem war die Größe des Datenvolumens. Der Campus Schneidershof besteht aus 20 Gebäuden, wobei für die vier großen Gebäude jeweils etwa 1400 und für die kleineren etwa 200-400 Scans benötigt wurden. Die Gesamtanzahl der Scans summiert sich auf etwa 10000 Einzelscans. Der Großteil dieser Scans wurde in mittlerer Auflösung vorgenommen, da die Scans im Innenbereich keine großen Entfernungen überbrücken mussten. Die benötigten Außenscans wurden in der höchsten Auflösung durchgeführt. So erzeugten bereits die Rohdaten der Campusscans

ein Volumen von etwa 9 Terrabyte. Diese Rohdaten wurden zur Bearbeitung kopiert und das daraus entstehende Datenvolumen blieb auch nach Fertigstellung der Punktwolke als Sicherungskopie erhalten. Damit mit der Punktwolke in der entsprechenden BIM- Software (z.B. Autodesk Revit) gearbeitet werden kann, musste diese in einem speziellen Dateiformat gespeichert werden. Diese Datei hat etwa ein Drittel der ursprünglichen Punktwolkengröße und somit summiert sich das aktuelle Gesamtvolumen der Scandaten auf etwa 21 Terrabyte.



Übersicht über bereits gescannte Gebäude des Campus Schneidershof und Anzahl der benötigten Scans

Da eine Bearbeitung über das Netzwerk aufgrund des Datenvolumens nicht möglich ist, mussten die Daten für jeden Rechner lokal zur Verfügung stehen, was den Einsatz von externen Festplatten notwendig machte. Projektgrößen jenseits der 1TB-Marke erforderten den Einsatz von schnellen SSD-Festplatten, da Lese- und Schreibprozesse von günstigen HDD- Festplatten zu langsam wären. Ein sorgfältiges Datenmanagement und eine gute Infrastruktur sind nötig, um eine effiziente Bearbeitung der Daten zu gewährleisten.

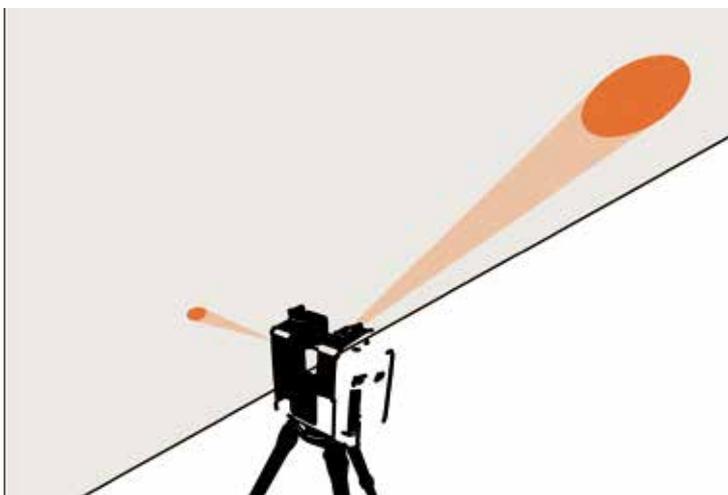


7 SSD Festplatten mit insgesamt 13TB Speicher für die flexible Bearbeitung von Projekten

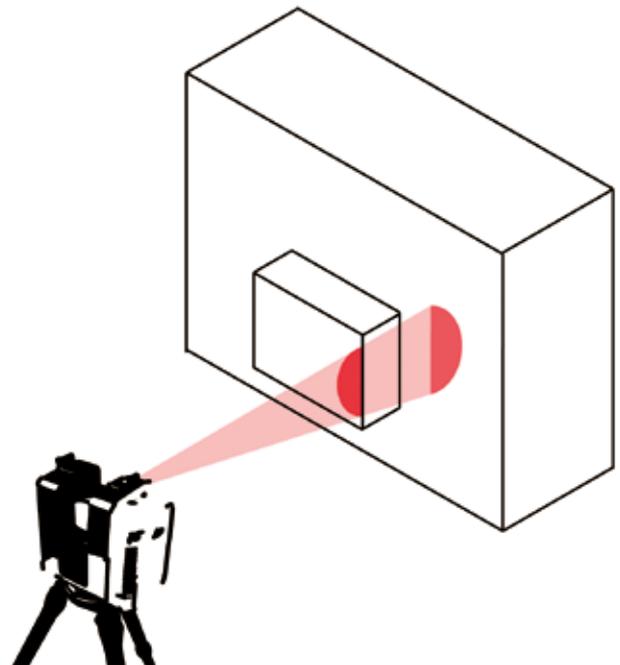
Das nächste Problem ergab sich aus der Funktionsweise des Lasers. Wie beschrieben, wird die Zeit gemessen, die der Laserimpuls benötigt, um nach dem Aussenden wieder auf dem Rezeptor aufzutreffen, um daraus über die bekannte Größe der Lichtgeschwindigkeit die Distanz zu berechnen. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Impuls immer direkt zum Rezeptor zurückkehrt. Dies ist jedoch nicht immer der Fall und es gibt verschiedenste Situationen, die das Ergebnis verfälschen können. Für einige dieser Situationen gibt es bereits Sicherungssysteme, um fehlerhaft gemessene Punkte auszuschließen, viele werden jedoch immer noch falsch abgebildet, was eine sorgfältige Nachbearbeitung der einzelnen Scans notwendig macht.

So wird der Laserimpuls vereinfacht als Punkt angenommen und wäre somit dimensionslos. Dies ist in der Realität nicht der Fall und mit zunehmender Entfernung zum Scanner wird die Fläche, die von einem einzelnen Laserimpuls getroffen wird, immer größer. Daraus ergibt sich eine Messun-

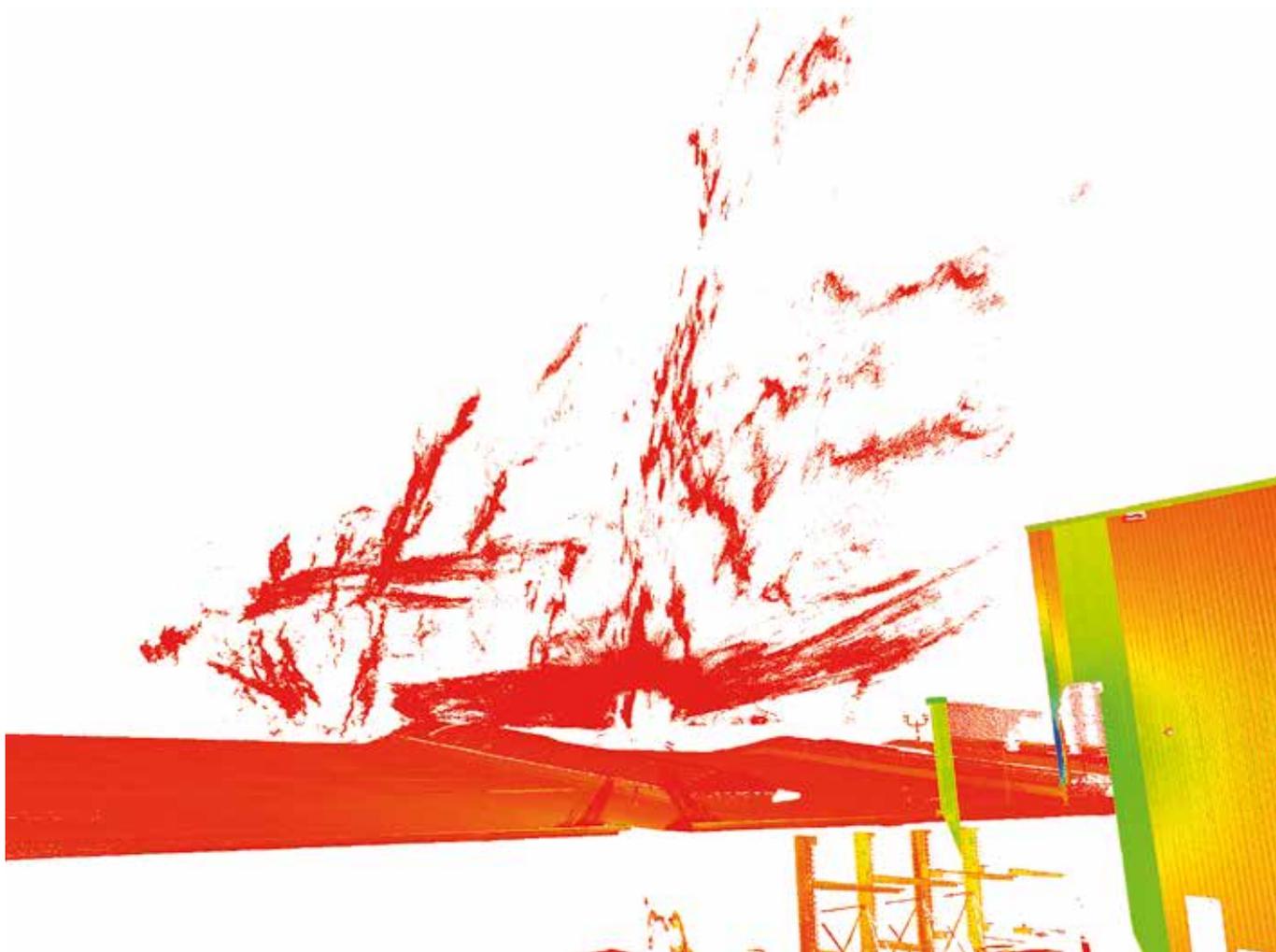
genauigkeit, die in größerer Entfernung immer weiter zunimmt. Dies ist besonders bei fast parallel zum Laserimpuls verlaufenden Flächen zu beobachten, da durch den kleinen Winkel zwischen Laserstrahl und Fläche sich die Auftrefffläche noch einmal vergrößert. Dazu kommen Laserimpulse, die sowohl Objektkanten im Vordergrund als auch Objekte in größerer Entfernung treffen. So erhält man für denselben Impuls mehrere Entfernungsinformationen. Hierfür gibt es Filter, die diese Punkte recht zuverlässig entfernen. Da nicht nur die gewünschten Objekte den Laserimpuls reflektieren, sondern jedes Staubkorn, unterschiedlich warme Luftschichten, Luftfeuchtigkeit und vieles mehr, muss aus dem Rauschen, das dadurch entsteht, das korrekte Signal herausgefiltert werden. Es ist also nicht möglich, die erste Reflexion zu nehmen, die wieder beim Scanner ankommt und daraus die Entfernung zu berechnen. Vielmehr muss über die Stärke des ankommenden Signals darauf geschlossen werden, ob ein Punkt auf dem angezielten Objekt gemessen wurde. Durch die große



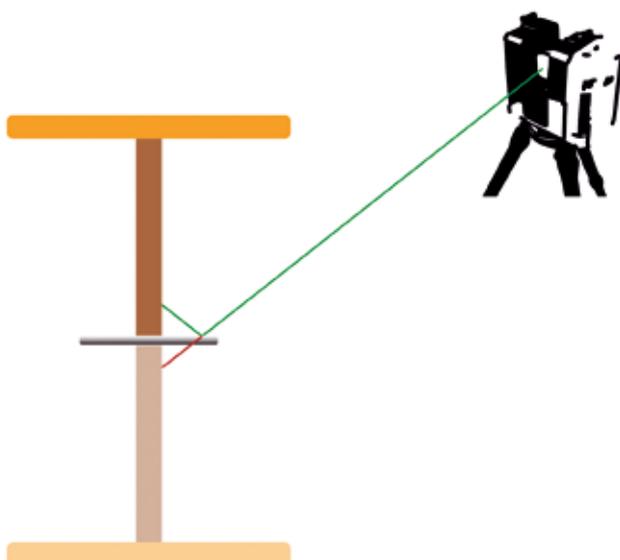
Laserkegel bei zunehmender Entfernung und Veränderung des Winkels



Laserimpuls mit zwei Entfernungangaben



Nebelschwaden – Da das stärkste Signal oberhalb des Scanners der Nebel war, wurde dieser als Objekt gemessen.

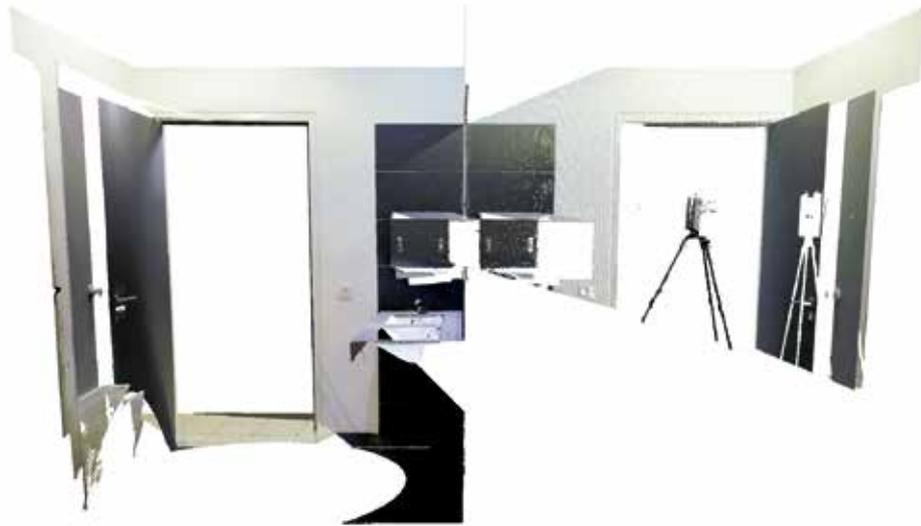


Messfehler durch Spiegelungen (Messpunkt wird auf die Spiegelung gesetzt)

Anzahl an verschiedenen Oberflächen und damit einhergehend einer unendlich großen Anzahl an Kombinationen aus Entfernung, Auftreffwinkel und Reflektionseigenschaften der Oberflächen, ist dies ein Problem, das heute noch nicht gelöst ist und bei der Nachbearbeitung den größten Aufwand verursacht.

So lassen Glasflächen den Laserstrahl je nach Auftreffwinkel beinahe ungehindert durch und erzeugen nur ein sehr schwaches Signal im Rezeptor des Lasers. Sie können allerdings ebenfalls abhängig vom Winkel und auch von der Krümmung des Glases, den Strahl stark umlenken, was zu falschen Messergebnissen führt. Aus diesem Grunde sollten in der Punktwolke alle durch Glas aufgenommenen Punkte entfernt werden.

Neben Glas sind es vor allem metalli-



Bad mit Spiegelung rechts (Erkennbar an der Scannerspiegelung)

sche Oberflächen, die zu großen Problemen führen und die es zum Teil sogar unmöglich machen, Gegenstände auch nur annähernd in ihren korrekten Dimensionen zu erfassen. Spiegel sind für den Scanner unsichtbar und der gespiegelte Raum wird vom Scanner als realer Raum abgebildet. Verchromte Oberflächen, wie sie in Bädern oder als Beschläge an Möbeln vorkommen, können nicht vermessen werden und erzeugen überall im Raum Fragmente, die, wenn nicht manuell gelöscht, bei der späteren Modellierung verwirren und die Optik der Punktwolke stark verschlechtern. Die Erfassung von Versorgungsleitungen

und Lüftungsschächten kann ebenfalls nur annähernd erfolgen, da es hier große Unsicherheiten gibt, was Form und Abmessungen angeht. Die Spiegelproblematik entsteht dadurch, dass für die Vermessung von einer direkten Reflektion ausgegangen wird, die auch das stärkste Signal erzeugt. Dies ist bei stark reflektierenden Flächen allerdings nicht der Fall. Hier wird der Laserstrahl abgelenkt und erst das Signal von einer sich in der Metallfläche spiegelnden, schwach reflektierenden Fläche wird als Stoppsignal erkannt. Da die Umlenkung des Laserimpulses nicht registriert werden kann, wird der gespiegelte Punkt nicht

an seinen tatsächlichen Ort projiziert, sondern hinter die Spiegelebene (siehe Abbildung Seite 21 unten, roter Strahl). Bei Versorgungsleitungen kommt erschwerend hinzu, dass diese häufig isoliert sind und die äußere Schicht eine sehr stark verknitterte Alufolie ist. Hierdurch entstehen pro Laserimpuls sehr viele Reflektionen, bevor das Signal zum Rezeptor zurückfindet. Dies führt zu stark verrauschten Rohrquerschnitten.

Durch die notwendige Nachbearbeitung der Scans kommt es zu einem Mehraufwand, der nicht zu unterschätzen ist. Dieser ist dabei unmittelbar von den im Scan vorhandenen



Stark verrauschte Rohrquerschnitte aufgrund vieler Reflektionen

Glas-, Metall-, und Spiegelflächen abhängig.

So lässt sich zwar zusammenfassend sagen, dass der eigentliche Vermessungsaufwand tatsächlich gering ausfällt. Der Zeitaufwand, der durch die Nachbearbeitung entsteht, kann jedoch je nach Gebäudetyp stark schwanken. So beträgt der durchschnittliche Zeitaufwand pro Scan für dieses Projekt 6 Minuten. Dieser Wert setzt sich zusammen aus dem gesamten Zeitaufwand für die reinen Scanarbeiten und der Gesamtzahl der angefertigten Scans. Darin enthalten sind also auch die Zeiten für das Aufhängen und Abhängen der Zielmarken, das Öffnen und Schließen der abgehängten Decken für die Scans innerhalb der Decke, der Auf- und Abbau des Scanners, der eigentliche Scan und diverse Auf- und Umräumarbeiten.

Die Nachbearbeitungszeiten sind mit etwa 9 Minuten pro Scan 1,5mal so hoch. Beide Werte sind Durchschnittswerte. Während jedoch der Wert bei den Scans kaum schwankt, ändert sich der Wert der Bearbeitungszeit je nach Situation extrem.

Beispielhaft sei hier das Gebäude J und der Gebäudekomplex E, F, G, H genannt. Gebäude J ist ein mit wenig Fensterfläche ausgestatteter Altbau, bei dem Versorgungsleitungen unsichtbar verlegt sind und im Gebäude selbst wenig Glas- und Metallflächen vorzufinden sind. Die durchschnittliche Nachbearbeitungszeit lag hier bei knapp 5,5 Minuten pro Scan.

Der Gebäudekomplex E, F, G, H beinhaltet die Mensa, die viele Glasflächen enthält. Außerdem ist ein Großteil der Kücheneinrichtungen, Versorgungsleitungen und technischen Einrichtungen aus Metall und somit stark spiegelnd. Daneben gibt es noch Büro- und Vorlesungsräume. Hier liegt der Zeitwert für die Nachbearbeitung bei knapp 12 Minuten pro Scan, wobei auch hier schon im Gebäude starke Schwankungen vorliegen. Die Büro- und Vorlesungsräume sollten vergleichbar mit dem Zeitwert von Gebäude J sein, wohingegen Mensa und



Gebäude J - Altbau mit wenig Fenster- und Metallflächen

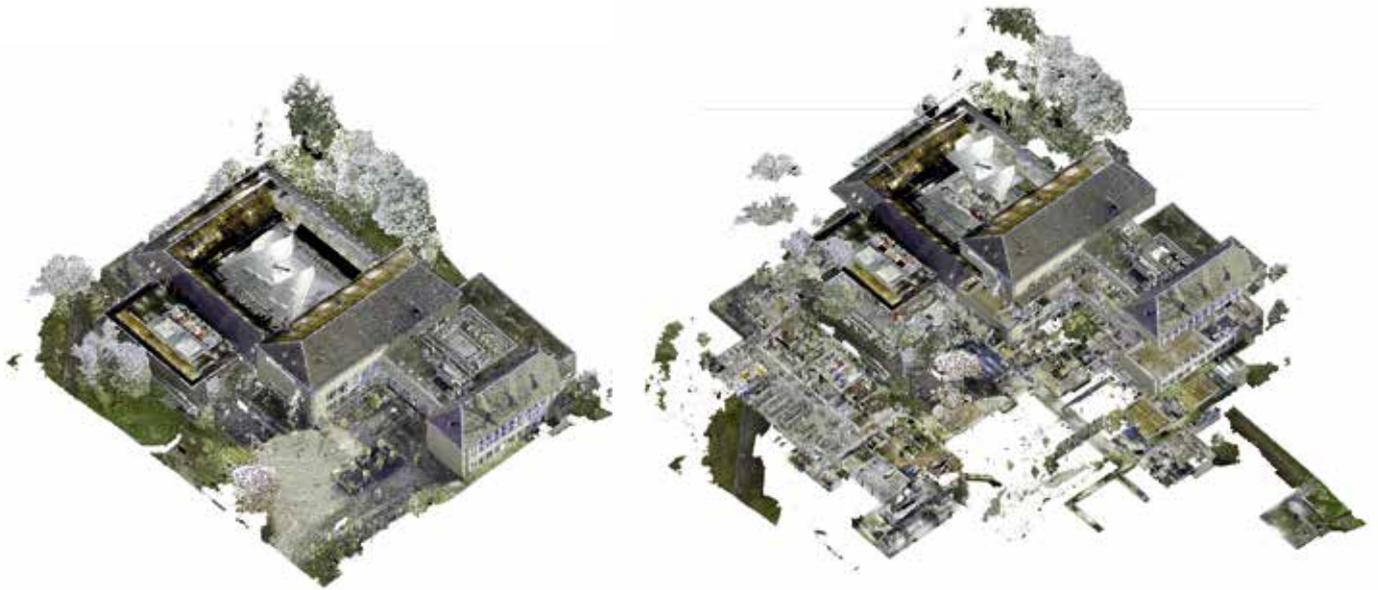
angeschlossene Küchen- und Technikräume wohl eher eine Bearbeitungszeit von etwa 30 Minuten beanspruchten.

Während man bei einer Kalkulation die Scanzeit sehr genau einschätzen kann, ist die Nachbearbeitungszeit stark situationsabhängig und kann schnell zur Kostenfalle werden.

Es ist also je nach Gebäudetyp abzuwägen, ob eine terrestrische Laserermessung das geeignete Mittel zur Bestandserfassung ist. Moderne repräsentative Gebäude mit hohem Glas- und Stahlanteil stellen den Scanner vor Herausforderungen, die wahrscheinlich in naher Zukunft über intelligente Filter und Algorithmen ge-

löst werden können. Hier steckt die Entwicklung allerdings noch in der Anfangsphase, was bedeutet, dass sehr hohe Bearbeitungszeiten anfallen, die auch nicht immer ein zufriedenstellendes Ergebnis garantieren können, da selbst erfahrenes Personal nicht immer sagen kann, wo bei Glas- und Metallobjekten die wahren Abmessungen enden und die Spiegelungen beginnen.

Für Massivbauten mit weniger Glas- und Metallflächen ist der terrestrische Laserscan jedoch ein hervorragendes Werkzeug, das schnell und zuverlässig sehr genaue Ergebnisse liefert. Allerdings gilt auch hier, dass sowohl beim Vermessen im Feld als auch bei



Teilausschnitt aus dem Gebäudekomplex E, F, G, H (Gebäude E/Mensa) – Hier ist der größte Teil der Innenausstattung aus Glas und Metall

der Nachbearbeitung gut geschultes Personal eingesetzt werden sollte. So kann der Mitarbeiter im Feld durch eine geschickte Wahl des Scannerstandpunktes die Nachbearbeitungszeit stark beeinflussen. Sei es durch die Minimierung der benötigten Scans oder durch eine Positionierung in günstigen Abständen bzw. Winkeln zu problematischen Objekten.

Für die Nachbearbeitung ist ein gutes Verständnis der grundlegenden Funktionsweisen von Grob-, Feinregistrierung und globaler Optimierung notwendig, um nachvollziehen zu können, ob die Software korrekt arbeitet. Die ausgegebenen Fehlerwerte sind in ihrer Aussagekraft begrenzt und ein blindes Vertrauen in diese führt zu falsch zusammengesetzten Punktwol-

ken und somit zu einem mangelhaften Ergebnis.

Das schnelle Erzeugen von Punktwolken ist zwar möglich, geht aber auch hier zulasten der Qualität. Eine gründliche Bearbeitung erfordert Zeit und kostet dementsprechend Geld, wodurch auch andere Methoden der Bestanderfassung attraktiv werden können.



EG Gebäude E (Mensa) – Visualisierung der Glasflächen

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Trier University
of Applied Sciences

H O C H
S C H U L E
T R I E R