

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Geoinformation
Bachelorstudiengang Vermessung/Geoinformation

Bachelorarbeit

3D-Erfassung des Industriedenkmals „Spinnmühle“ in Flöha/Falkenau
mittels terrestrischem Laserscanning und photogrammetrischer
UAV-Bildauswertung

Eingereicht von

Gestrich, Julian

Seminargruppe: 20/060/61

Matrikelnummer: 49314

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Danilo Schneider
2. Gutachter: Dr. Iris Engelmann (Denkmalnetz Sachsen)

Eingereicht am: 21. Oktober 2024

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	1
2 Denkmalvermessung	3
2.1 Ziele und Gründe der Denkmalvermessung	3
2.2 Produkte	4
2.3 Genauigkeitsstufen	5
2.3.1 Genauigkeitsstufe I - schematisches Aufmaß	6
2.3.2 Genauigkeitsstufe II - nahezu wirklichkeitsgetreues Aufmaß	7
2.3.3 Genauigkeitsstufe III - verformungsgetreues Aufmaß	7
2.3.4 Genauigkeitsstufe IV - verformungsgetreues Aufmaß mit detaillierter Darstellung	8
2.3.5 Genauigkeitsstufe V	8
2.3.6 Erweiterungen von L. Sörensen	10
3 Messobjekt	11
3.1 Baubeschreibung	11
3.2 Geschichte	12
4 Auswahl und Beschreibung der verwendeten Messverfahren	14
4.1 Auswahl der Messverfahren	14
4.2 Terrestrisches Laserscanning	16
4.2.1 Grundkonzept	16
4.2.2 Koordinatensysteme	18
4.2.3 Registrierung und Georeferenzierung	18
4.2.4 Genauigkeit und Fehlereinflüsse	20
4.3 Photogrammetrische UAV-Bildauswertung	23
4.3.1 Grundkonzept	23

4.3.2	Ablauf	24
5	Datenaufnahme und -verarbeitung mittels terrestrischem Laserscanning	26
5.1	Messgeräte	26
5.2	Messablauf	27
5.3	Auswertung mit Faro Scene	28
5.3.1	Software	28
5.3.2	Automatisierte Datenauswertung	28
5.3.3	Registrierung	29
5.3.4	Bereinigen	34
5.3.5	Ergebnis	35
6	Datenaufnahme und -verarbeitung mittels photogrammetrischer UAV-Bildauswertung 36	36
6.1	Bildaufnahme	36
6.2	Auswertung mit Agisoft Metashape	37
6.2.1	Bilder ausrichten	37
6.2.2	Dichte Punktwolke	39
6.2.3	Vermaschen der Punktwolke	40
6.2.4	Texturierung	41
6.2.5	Orthomosaik	42
7	Erstellen eines CAD Grundrisses mit AutoCAD	44
7.1	Scanpunktwolke importieren und ausrichten	44
7.2	Kleinigkeiten Bereinigen	44
7.3	Grundriss zeichnen	45
7.4	Schraffuren hinzufügen und berechnen	46
8	Ergebnisse und Ergebniseinschätzung	48
8.1	Wirtschaftlichkeit/Zeit	48
8.2	Genauigkeit	52
8.3	Visuelle Qualität	56
9	Fazit	58
	Literaturverzeichnis	VII

Abbildungsverzeichnis	XII
Tabellenverzeichnis	XIV
A Pläne	XV
B Registrierungsbericht aus Faro Scene	XXVI
C Verarbeitungsbericht aus Agisoft Metashape	XLVII

Abkürzungsverzeichnis

2D/3D	Zweidimensional / Dreidimensional
BGF	Bruttogeschossfläche
BIM	Building Information Modelling
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GSD	Ground Sample Distance
HBIM	Heritage Building Information Modelling
ICP	Iterative Closest Point
IMU	Inertial Measurement Unit
MLS	mobiles Laserscanning
PLS	personal Laserscanning
SfM	Structure from Motion
TLS	terrestrisches Laserscanning
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VR	Virtual Reality

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die präzise Erfassung und Dokumentation von Denkmälern und Kulturgütern spielt eine entscheidende Rolle für den Schutz und die Bewahrung unseres kulturellen Erbes. Insbesondere historische Bauwerke und archäologische Stätten müssen im Rahmen der Denkmalpflege regelmäßig vermessen und analysiert werden, um ihren Zustand zu dokumentieren und geeignete Maßnahmen zur Erhaltung zu ergreifen. Zu diesem Zweck findet eine Vielzahl unterschiedlicher moderner Messverfahren Anwendung. In Anbetracht der verstärkten Nachfrage nach dreidimensionalen Darstellungen im Rahmen aktueller Entwicklungen ist die Verwendung von klassischen zweidimensionalen Plänen, Schnitten und Ansichten alleine oft nicht mehr ausreichend. Die genannten „neuen“ Anforderungen sowie die kontinuierliche Weiterentwicklung der Messtechnologien resultieren in einer steigenden Relevanz und einer verstärkten Anwendung des Laserscannings zur detaillierten Erfassung historischer Bauwerke und archäologische Stätten. In Kombination mit bildbasierter Photogrammetrie, mittels UAVs (Unmanned Aerial Vehicles, besser bekannt als Drohnen) zeigt sich ein wachsendes Potenzial, da diese Technologien in der Lage sind, Kulturgüter in kurzer Zeit, mit hoher Genauigkeit und in einer visuell ansprechenden Qualität zu dokumentieren.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist die Vermessung der denkmalgeschützten Schreyerschen Spinnmühle in Flöha/Falkenau. Dabei wird sich beispielhaft auf ein gesamtes Geschoss der Mühle fokussiert und dieses mittels terrestrischem Laserscanning sowie einer ergänzenden UAV-Befliegung vermessen. Die gewonnenen Daten werden verwendet, um einen 2D-Grundriss sowie zwei Vertikalschnitte des vermessenen Geschosses zu erstellen. Des Weiteren wird aus den erfassten UAV-Daten ein texturiertes 3D-Modell erstellt, welches als Grundlage für die Generierung eines Orthofotos der Dachflächen sowie eines visuellen Überflugs der Spinnmühle dient. Ein wesentlicher Aspekt der Bearbeitung bildet die Berechnung der Flächen, welche aus dem Grundriss

1 Einleitung

sowie dem Orthofoto der Dachflächen abgeleitet werden können. In der abschließenden Analyse werden die Messverfahren, die Auswertung und die Ergebnisse nach verschiedenen Kriterien bewertet, wobei der Zeitaufwand, die Genauigkeit und die visuelle Qualität näher betrachtet und Probleme sowie mögliche Verbesserungen aufgezeigt werden.

2 Denkmalvermessung

In diesem Kapitel werden die Gründe für die Notwendigkeit von Vermessungen in der Denkmalpflege, die damit verfolgten Ziele sowie die besonderen Anforderungen an Genauigkeit und Inhalt der Messaufgabe behandelt. Außerdem werden die verschiedenen Produkte der Vermessung vorgestellt, die für die Dokumentation von Denkmälern entscheidend sind.

2.1 Ziele und Gründe der Denkmalvermessung

Warum eine Vermessung an einem Denkmal durchgeführt werden muss, hat immer verschiedene Gründe und Ziele, die von Objekt zu Objekt oft sehr unterschiedlich sein können und stark von dem Zustand des Denkmals abhängen. In Eckstein (1999) werden einige dieser Gründe genannt und näher erläutert. Ein weit verbreiteter Grund ist die Bauwerksanalyse und Bauwerksüberwachung, die für eine langfristige Erhaltung von Bauwerken unerlässlich sind. Ein zentrales Element der Bauwerksüberwachung ist die Verformungsanalyse, die es ermöglicht, durch Soll-Ist-Vergleiche Verformungen möglichst frühzeitig zu erkennen. Dies kann z.B. durch regelmäßig durchgeführte Setzungsmessungen, Neigungsmessungen oder Risskartierungen erfolgen. Bei besonders großen und komplexen Bauwerken wie Brücken, Tunneln oder Türmen kann dies auch über ein permanentes Monitoring durch den Einbau verschiedenster Messgeräte wie Neigungssensoren, Dehnungsmessstreifen oder statische GNSS-Systeme erfolgen. Wenn durch Verformungen jeglicher Art das Betreiben eines Bauwerks nicht mehr sicher gewährleistet werden kann, kommt es zur Sanierung oder einem Abriss des Bauwerkes. Im Falle einer Sanierung muss dafür eine ausführliche Bestandsdokumentation durchgeführt werden. Das Ziel hier ist es, das Denkmal möglichst in seinem ursprünglichen Erscheinungsbild und seiner Bausubstanz so gut es geht zu erhalten. Voraussetzung dafür ist eine gute und detailreiche Kenntnis des aktuellen Zustandes des Denkmals, da sonst keine fundierten Entscheidungen über Umbaumaßnahmen getroffen werden können. In dem Fall, dass nach ausführlicher Bestandsaufnahme und Untersuchung festgestellt wird, dass es nicht mehr möglich ist, ein Denkmal zu sanieren und ein Abriss folgen muss. Dann wird in den meisten Fällen eine ausführliche Dokumentation des Gebäudes als historische Quelle durchgeführt, damit der kulturelle Wert und die Bedeutung des Denkmals für die Nachwelt gesichert und gespeichert werden kann. Für das genaue Vorgehen

in diesem Fall gibt es Anforderungen an die Dokumentation, welche von der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland (2011) aufgestellt wurden. Hierbei wird besonders auf eine gute Archivierbarkeit der Dokumentation geachtet, um anhand von Fotos und Aufmaßen sowie erläuternden Texten eine beständige Dokumentation sicherzustellen. In diesem Zusammenhang, aber auch für den Einsatz in Museen oder im Marketingbereich gewinnt die dreidimensionale Dokumentation zunehmend an Bedeutung, da sie es dem Betrachter deutlich erleichtert, das Bauwerk in seinen Details zu erfassen.

2.2 Produkte

Die Denkmalvermessung umfasst eine Vielzahl an verschiedenen Produkten und Methoden, die zur Dokumentation, Analyse und Bewahrung historischer Bauwerke beitragen. Diese Techniken und Ergebnisse ermöglichen es, den Zustand und die Struktur von Denkmälern detailliert zu erfassen und zu visualisieren. Die grundlegendste Art der Dokumentation ist die zweidimensionale Darstellung, welche Pläne, Grundrisse, Profile, Ansichten und Schnitte umfasst. Sie bieten eine präzise und maßstabsgetreue Darstellung der räumlichen Anordnung und der geometrischen Details eines Bauwerks. In der klassischen Vermessung sind diese 2D-Pläne das Hauptergebnis und auch das Ziel der Vermessung. Ein weiteres wichtiges 2D-Produkt sind Bildmosaike und Orthophotos. Diese werden in der Dokumentation von Fassaden oder Dachflächen verwendet, da sie eine verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Abbildung der Flächen bieten, welche es ermöglichen, eine detaillierte Analyse der Oberflächenstruktur und der baulichen Elemente durchzuführen (Chiabrando u. a., 2015). Auf dieser Grundlage kann z.B. eine weiterführende Risskartierung, Flächen- oder Verformungsanalyse durchgeführt werden. Mittlerweile erfolgen viele Teile der Bau- und Denkmalplanung allerdings nicht mehr nur zweidimensional, sodass die Notwendigkeit von 3D-Modellen immer stärker zunimmt. Die Erstellung von 3D-Modellen bietet eine realistische und detaillierte Visualisierung des Bauwerkes. Diese Modelle können sowohl digital als auch analog in Form von 3D-Drucken erstellt werden. Analoge Modelle werden hier vor allem für eine greifbare Darstellung für Ausstellungen und Präsentationen benutzt. In Broser (2018) wird der Nutzen und die Methodik zum Erstellen eines digitalen 3D-Modells am Beispiel des Immerather Doms noch näher erläutert. Auf den Nutzen eines analogen 3D-Modells durch 3D-Druck wird in Géczi (2018) am Beispiel der Münsterbauhütte näher eingegangen. Um die Ergebnisse der Denkmalvermessung anschaulich zu präsentieren, werden oft Visualisierungen

und Animationen erstellt. Diese grafischen Darstellungen und bewegten Bilder veranschaulichen die Struktur, den Zustand und die historischen Veränderungen des Bauwerks. Eine besondere Form davon ist der Einsatz von Virtual Reality (VR). VR-Modelle ermöglichen es Nutzern, sich virtuell im Denkmal zu bewegen und Details aus nächster Nähe zu betrachten. Dies wird besonders für Bildungszwecke und zur Förderung des kulturellen Erbes angewendet, da es eine einzigartige Möglichkeit bietet, historische Gebäude oder ganze Stätten realitätsnah zu erleben, ohne sie physisch betreten zu müssen. Beispiele und mehr Informationen zu dem Erstellen von VR im Bereich der Denkmalpflege finden sich in (Deggim und Kersten, 2022; Kersten und Walmsley, 2020). Immer stärker und relevanter wird zurzeit auch im Bereich der Denkmalpflege die Verwendung von Building Information Modeling (BIM). Im Bereich der Denkmalpflege spricht man hier von einem Heritage-BIM (HBIM). BIM bietet eine umfassende und datenbankgestützte Methode zur Verwaltung und Analyse von Bauwerksinformationen. Ein BIM-Modell integriert geometrische Daten, Materialien, historische Informationen und Zustandsdaten in einer gemeinsamen Plattform. Dies erleichtert die Zusammenarbeit zwischen Architekten, Ingenieuren und Denkmalpflegern und unterstützt die Planung von Restaurierungsmaßnahmen und die langfristige Erhaltung des Bauwerks. Genaueres zu BIM im Bereich der Denkmalpflege ist in Borgmann (2019) nachzulesen. Hier wurde am Beispiel des Edo-Wiemken-Denkmal in Jever eine Bestandserfassung für den Denkmalschutz nach BIM-Standards durchgeführt.

2.3 Genauigkeitsstufen

Wie bereits im Kapitel 2.1 erläutert, können die Anforderungen an eine Denkmalvermessung sehr unterschiedlich sein. Verschiedene Faktoren wie Beschaffenheit, Zustand, Größe, Material des Objektes sowie Sinn und Zweck der Vermessung spielen eine Rolle. Diese Anforderungen müssen klar und präzise formuliert werden, um die Vollständigkeit und Genauigkeit der Vermessung zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurden Standards, Normen und Richtlinien für Genauigkeit (geometrische Präzision) und Auflösung (inhaltliche Dichte und Detailliertheit) entwickelt, die die Anforderungen an die Vermessung beschreiben und als Grundlage für die Wahl des Messverfahrens dienen.

Im Bereich der Denkmalvermessung sind die nach Sørensen (2011) folgenden Richtlinien:

- DIN 1356, Teil 6; Stand 2006 (Deutsches Institut für Normung e.V., 2006),
- Eckstein (1999); Empfehlungen für Baudokumentationen,
- Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege: Anforderungen an ein Bestandsdokumentation in der Baudenkmalpflege (Groß, 2002).

Am wichtigsten sind hier die Empfehlungen zur Bauaufnahme von Eckstein (1999), die als Grundlage in der Denkmalvermessung gelten und in vielen Bereichen Anwendung finden. Eckstein geht sowohl auf die Genauigkeit als auch auf die Auflösung ein und unterscheidet zwischen vier Genauigkeitsstufen. In Abbildung 2.1 sind die vier Stufen am Beispiel eines Längsschnittes grafisch dargestellt.

2.3.1 Genauigkeitsstufe I - schematisches Aufmaß

Ziel des schematischen Aufmaßes ist es, eine grundlegende Dokumentation des Gebäudetyps zu erstellen, bei der alle wesentlichen Bestandteile, wie Grundrisse, Erscheinung nach außen und Höhenentwicklung, dargestellt werden. Dies kann als Besprechungsgrundlage für die notwendigen Eingriffe und Sanierungsmaßnahmen genutzt werden. Dabei wird kein Wert auf Bauschäden oder Verformungen jeglicher Art gelegt. Das Aufmaß erfolgt im Maßstab 1:100 und soll inhaltlich folgende Elemente umfassen:

- Außenmaße, lichte Raummaße und Fertigungsmaße,
- Wandöffnungen (Lage und Größe),
- Höhen von Geschoss- und Dachstühlen,
- Stärken der Decken und Wände,
- Winkel der Gebäudeecken in Form von Diagonalmäßen,
- Dachkonstruktionen und Sichtfachwerk (Vereinfachte Darstellung),
- Raumbezeichnungen und Raumnummern in Grundrissen.

2.3.2 Genauigkeitsstufe II - nahezu wirklichkeitsgetreues Aufmaß

Das Ergebnis soll ein Aufmaß sein, das Pläne über den konstruktiven Aufbau des Gebäudes liefert, welche als Grundlage bei Sanierungs-, Restaurierungs- und Sicherungsmaßnahmen sowie bauhistorischen Untersuchungen genutzt werden können. Dafür wird das Aufmaß im Maßstab 1:50 oder 1:100 mit einer Messgenauigkeit in Bezug auf das Gesamtgebäude von ± 10 cm durchgeführt. Der Fokus liegt hier auf den konstruktiven Bauelementen, die richtig proportioniert und mit groben Verformungen erfasst werden müssen. Alle nicht konstruktiven Elemente, wie Türen, Fenster und Zierelemente, können in vereinfachter Form dargestellt werden. Ebenfalls ist auch eine Zuordnung der verschiedenen Ebenen von Bedeutung, sodass übereinanderliegende Grundrisse in der Lage zueinander zugeordnet werden können. Folgende inhaltliche Details werden in den Plänen dargestellt:

- Wände mit Struktur und Konstruktion,
- Deckenbalken mit Spannrichtung,
- sichtbare Verformungen in Decken, Fußböden, Wänden und deutliche Abweichungen vom rechten Winkel im Grundriss,
- Vermerk von früheren Bauzuständen,
- Raumbezeichnungen und Raumnummern in Grundrissen.

2.3.3 Genauigkeitsstufe III - verformungsgetreues Aufmaß

Das verformungsgetreue Aufmaß wird zur Planung von Restaurierungs- und Umbauarbeiten sowie zur Bauforschung für wissenschaftliche Zwecke genutzt. Dafür wird ein 3D-Koordinatensystem benötigt, auf das alle Maße ausgerichtet sind. Alle einzelnen Pläne (Grundrisse, Schnitte und Ansichten) müssen über Passpunkte oder Netzkreuze zueinander ausgerichtet sein. Die Darstellungsgenauigkeit beträgt $\pm 2,5$ cm und wird in einem Maßstab von 1:50 angegeben. Inhaltlich ist folgendes in den Plänen darzustellen:

- Wände mit Struktur und Konstruktion,
- Deckenuntersicht mit Konstruktion,
- Fußböden mit Aufbau und Struktur,
- Baufugen,
- Steinmetz- sowie Zimmermannszeichen,
- Vermerk von früheren Bauzuständen,
- einzelne Detailzeichnungen (mit größerem Maßstab),
- Erläuterung des Baumaterials (wenn Symbole nicht ausreichend sind),
- Dokumentation von Bauschäden,
- Raumbezeichnungen und Raumnummern in Grundrissen.

2.3.4 Genauigkeitsstufe IV - verformungsgetreues Aufmaß mit detaillierter Darstellung

Die Stufe IV ist nach Eckstein (1999) die genaueste Klasse mit einer Darstellungsgenauigkeit von ± 2 cm in einem Maßstab von 1:25 oder größer. Hier ist ein genaues, verformungsgetreues Aufmaß das Ziel, um dies für komplexe Umbaumaßnahmen und wissenschaftliche Bauforschung zu nutzen. Für einzelne Detaildarstellungen von z.B. Türen, Fenstern oder Zierelementen wird der Maßstab auf 1:20 oder 1:10 vergrößert und dann auch die Darstellungsgenauigkeit auf ± 1 cm oder $\pm 0,5$ cm angepasst. Die Planinhalte sind dabei gleich wie in Stufe III.

2.3.5 Genauigkeitsstufe V

Aufbauend auf den Stufen I bis IV von Eckstein (1999) wurde von Hädler (2004) noch eine Stufe V hinzugefügt, welche als Verdichtung der bisherigen Stufen dienen soll. Dabei wird auf größere Maßstäbe (1:10) und höhere Genauigkeiten ($\pm 0,5$ cm) gesetzt. Der Planinhalt von Stufe V entspricht dem aus den Stufen III und IV. Angewendet wird Stufe V nicht für die Denkmalvermessung in der Praxis, sondern hat seinen Nutzen in der wissenschaftlichen Bauuntersuchung, da für die praktischen Anwendungen laut Hädler (2004) die Detailtiefe von Stufe III und IV ausreichend ist.

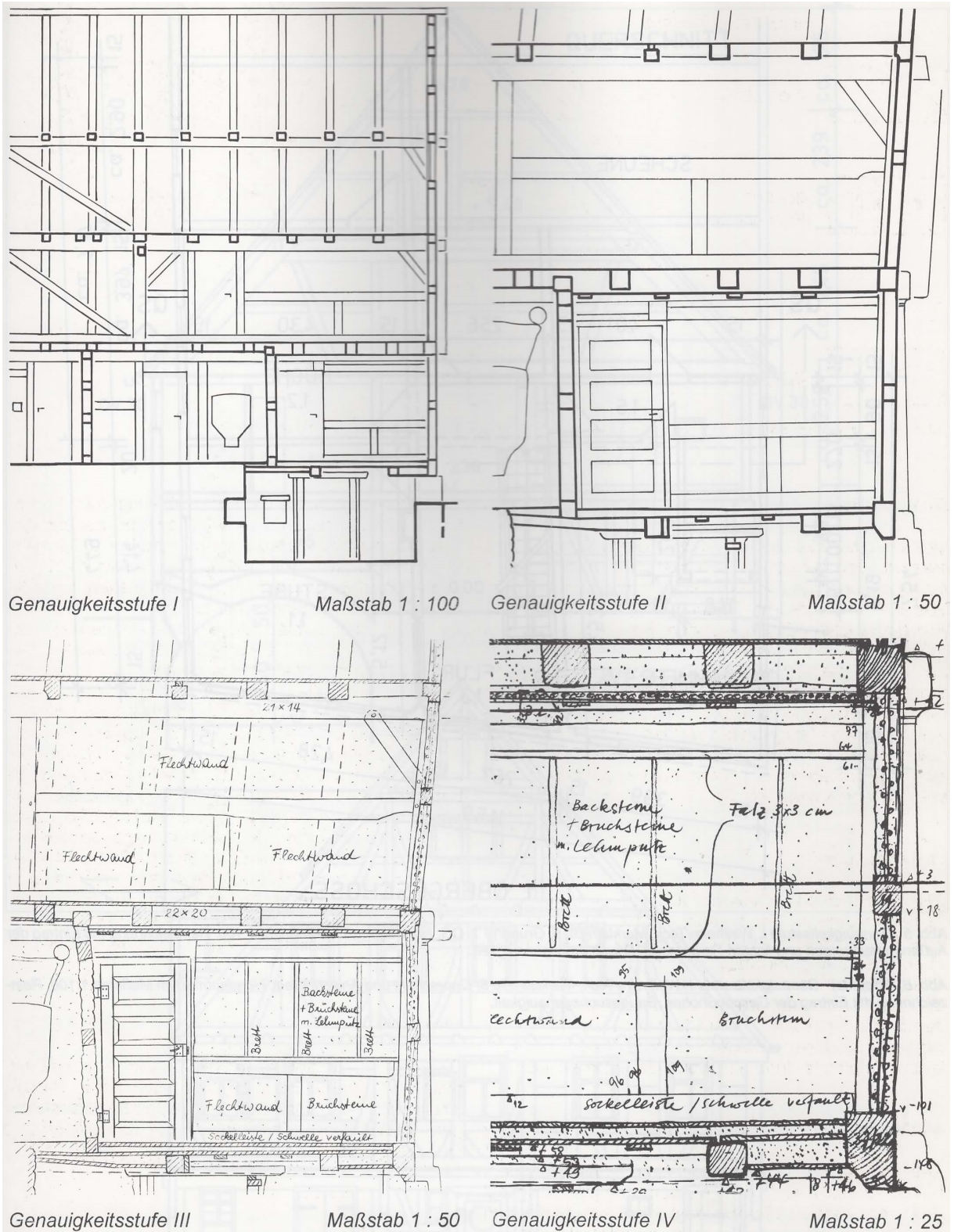


Abbildung 2.1: Genauigkeitsstufen I - IV Wernau, Haus Freitagshof 11, Längsschnitt (Eckstein, 1999)

2.3.6 Erweiterungen von L. Sørensen

Nach Sørensen (2011) sind diese Genauigkeitsstufen nicht mehr ausreichend und aktuell. Er sieht ein Problem darin, dass alle bisherigen Richtlinien, Standards und Normen den aktuellen Qualitätsstandards nicht mehr genügen. Bekannte Standards wie DIN-Norm oder die von G. Eckstein beziehen sich ausschließlich auf 2D-Produkte und unterscheiden zwischen Lage- und Höhengenaugigkeit. Dies ist nicht mehr ausreichend, da Architekten und Ingenieure vermehrt auf 3D-Planung und -Konstruktion setzen, für die es laut Sørensen (2011) bisher noch keine ausreichend guten Standards für 3D-Vermessungsprodukte gibt. Dafür erweitert er die bisherigen Stufen von Eckstein, um Richtlinien für die Erstellung von 3D-Modellen und unterscheidet damit zwischen einem 2D- und 3D- Ergebnis. Zusätzlich gibt er, wie in Abbildung 2.2 zu sehen ist, neben dem Maßstab, der Genauigkeit und der Semantik auch noch Möglichkeiten der Messmethode zur jeweiligen Genauigkeitsklasse an.

Qualitätsstufen	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Maßstäbe	M1:200 / M1:100	M1:100 / M1:50	M1:50/M1:25	M1:20/M1:10	M1:5 / M1:1
Beschreibung	Schematisches Aufmaß	Einfacher Plansatz	Detailliertes Gebäudeaufmaß	Verformungsgetreue Gebäudedokumentation	Detailaufmaß
Genauigkeit G1-G5	G1	G2	G3	G4	G5
	Genauigkeit <= +/- 5 cm	Genauigkeit <= +/- 2,5 cm	Genauigkeit <= +/- 2 cm	Genauigkeit <= +/- 1cm	Genauigkeit <= +/- 0,25cm
Semantik S1-S5	S1	S2	S3	S4	S5
	DIN 1356-6, Informationsschicht 1	DIN 1356-6, Informationsschicht 1, DIN 18710 Teil 1 L1/H1	DIN 1356-6, Informationsschicht 2, DIN 18710 Teil 1 L2/H2	DIN 18710 Teil 1 L2/H2 und L3/H3	DIN 18710 Teil 1 L4/H4 und L5/H5
	Eckstein Stufe I	Eckstein Stufe II	Eckstein Stufe III	Eckstein Stufe IV	Eckstein Stufe IV
	geringe Detaillierung	mittlere Detaillierung	hohe Detaillierung	sehr hohe Detaillierung	höchste Detaillierung
Verfahren					
	- Tachymetrie - Laserscanning - Indoormapping	- Tachymetrie - Laserscanning	Q2 + Photogrammetrie	Q3 + Detailaufmaß + Feldkontrolle	Q4 + Nahbereichsscanner
2D Pläne					
2D-Daten	- Grundrisse - Schnitte - Ansichten	- Grundrisse, Schnitte, Ansichten	- Grundrisse, Schnitte, Ansichten + zusätzliche Schnitte	- Grundrisse, Schnitte, Ansichten - zusätzliche Schnitte - Detailzeichnungen	nach Vereinbarung
Zusätzliche Anforderungen			+ konsistente Bezeichnungsstruktur	+ qualifizierte Layerstruktur	wie Q3 + Q4
Zusätzliche Anforderungen allgemein	Temporäre Zielmarken / Messnetz	wie Q1	wie Q1 + Festpunktvermarkung und Dokumentation gem. DIN 18710	wie Q3	wie Q3
3D Modelle					
3D Modelle	Schematisches 3D-Modell	- BIM (Building Information Modell) - Verformungstreue nur in jeweils einer Profilebene - 3D-Modell	- BIM (Building Information Modell) + Verformungstreue in mehreren Profilebenen - Amtlicher Lage- und Höhenbezug, in Koordinatendateien	- nahezu verformungsgetreues Bauteilmodell - Modellierung in Nurbs Segmenten	- vollflächig verformungsgetreues Oberflächenmodell - Nurbs-Modell oder Polygonmodell
Anforderungen 3D				wie Q3 + nach Vereinbarung	wie Q3 + nach Vereinbarung

Abbildung 2.2: Genauigkeitsstufen nach (Sørensen, 2019)

3 Messobjekt

Das Messobjekt ist das Industriedenkmal der ehemalige Schreyersche Spinnmühle in Flöha/Falkenau. „ Sie befindet sich jedoch in einem stark sanierungsbedürftigen Zustand und droht zu verfallen. Die Sanierung und Umnutzung des Gebäudes in ein Kultur-, Bildungs- und Begegnungszentrum ist daher dringend erforderlich“ (Denkmalnetz Sachsen, c, S.1).

Für die bevorstehende Sanierung ist es wichtig, den aktuellen Zustand des Gebäudes in Form von Plänen und Rissen zu kennen. Die Aufgabe der Vermessung, die im Rahmen der Bachelorarbeit durchgeführt wurde, bestand daher darin, ein Stockwerk der Mühle aufzumessen und daraus einen Grundriss sowie zwei Vertikalschnitte zu erstellen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Flächenberechnung. Im Vorfeld wurde festgelegt, dass kein verformungsgerechtes Aufmaß erforderlich ist, so dass die angestrebte Genauigkeit in etwa der Genauigkeitsstufe II nach Eckstein (1999) entspricht. Zusätzlich sollte ein texturiertes 3D-Modell der Mühle als Grundlage für weitere Auswertungen erstellt werden. Aus diesem Modell sollte ein Orthofoto der Dachfläche sowie ein visueller Überflug erstellt werden, der in Form eines Videos eine anschauliche Darstellung der Mühle aus verschiedenen Blickwinkeln ermöglicht.

3.1 Baubeschreibung

Das Grundstück der ehemaligen Schreyersche Spinnmühle befindet sich im Westen von Falkenau auf der Dorfstraße 15. Das Luftbild in Abbildung 3.1 zeigt eine Übersicht des Geländes von oben. Es umfasst insgesamt drei Gebäude, welche U-förmig um einen befestigten Hof (4) angeordnet sind. Das viergeschossige Produktionsgebäude (1), welches den ältesten Teil des Gebäudekomplexes darstellt, lässt sich in zwei Bauabschnitte untergliedern. Der ältere Abschnitt links, welcher nach dem Brand 1885 rekonstruiert wurde, beinhaltet die großen Produktionshallen mit zwei Lastenaufzügen und dem Treppenhaus. Rechts daneben liegt der neuere Anbau aus dem Jahre 1905, welcher Büroräume der damaligen Leitung enthält. Im Nordwesten wurde ein zweites Produktionsgebäude (2) mit drei Geschossen rechtwinkelig an das erste Gebäude angebaut. Ebenfalls zum Hof gehört das Wohnhaus (3), welches diesen im Nordosten begrenzt. Über das Haus ist geschichtlich nichts sicher bekannt. Es wurde vermutlich um 1880 errichtet. Der aktuelle bauliche Zustand gleicht dem einer Ruine. Wegen des ruinösen Zustandes wurde

das Wohnhaus auch nicht für die Vermessung berücksichtigt, sondern sich ausschließlich auf die Gebäude 1 und 2 fokussiert (Denkmalnetz Sachsen, b).



Abbildung 3.1: Übersicht über das Gelände (GoogleMaps, 2024)

3.2 Geschichte

Die erste geschichtliche Erwähnung hat das Grundstück im Jahre 1595 mit der Bebauung der Lehnghutmühle. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wuchs die sächsische Baumwollindustrie stark an, Grund dafür war unter anderem die von Napoleon I erlassene Kontinentalsperre am 21. November 1806 gegen Stoffe und Waren aus England. So entstanden bis Mitte des 19. Jahrhunderts in der Industrieregion Falkenau drei Spinnmühlen. Eine davon war die Schreyersche Spinnmühle (später auch „untere“ Spinnmühle genannt), welche ihren Baubeginn im Jahre 1845 durch Carl Friedrich Schreyer hatte und am 23. Oktober 1846 als Baumwollspinnerei in

Betrieb ging. Der Betrieb lief in den ersten Jahren sehr gut, sodass auch die Verkehrsanbindung ausgebaut werden konnte. Doch mit Beginn des Amerikanischen Bürgerkrieges im April 1861, vervierfachte sich der Preis von Baumwolle, was zum zwischenzeitigen Erliegen der Spinnerei führte. Daraufhin wechselte die Spinnerei mehrfach den Eigentümer und wurde unter anderem von der Nossener Papierfabrik Roßberg & Co. als Holzschleiferei und Holzstoffproduktion genutzt. Im Jahre 1833 kaufte der Berliner Kaufmann Georg Liebermann, welcher bereits die „obere“ Spinnmühle besaß, auch die „untere“ auf und führte diese wieder ihrer ursprünglichen Bestimmung als Baumwollspinnerei zu. Dies dauerte jedoch nicht lange an, da ein Feuer im Jahre 1885 das Gebäude nahezu komplett zerstörte. Mit dem Wiederaufbau des Gebäudes wurde der heute noch erhaltene Teil des Gebäudes 1 (linker Teil) aufgebaut und im Jahre 1905 um den rechten Teil noch ergänzt. Dazu wurde im Westen noch ein weiteres Produktionsgebäude mit drei Geschossen im rechten Winkel zum Hauptgebäude angebaut. Das Bild in Abbildung 3.2 zeigt das gesamte fertige Gelände in den 1930er Jahren. Kurz darauf mit Beginn des 2. Weltkrieges wurde die Spinnerei dann anderweitig als Zweizylinder-Abfallspinnerei und Lager der Reichsbahn genutzt. Mit Ende des 2. Weltkrieges wurde durch die Sowjetische Militäradministration die Spinnerei verstaatlicht und enteignet. Daraufhin wurde das Gebäude von verschiedensten Unternehmen und Organisationen für unterschiedlichste Zwecke genutzt. Bis schließlich im Jahr 2023 Kathrin und Dr. Andreas Liebscher den Hof erwarben, mit dem Ziel in Zusammenarbeit mit dem Verein „Sportmuseum Mittelsachsen e.V.“ ein Sportmuseum zu gründen (Denkmalnetz Sachsen, b).



Abbildung 3.2: Fabrik in den 30er Jahren (Denkmalnetz Sachsen, a)

4 Auswahl und Beschreibung der verwendeten Messverfahren

4.1 Auswahl der Messverfahren

Je nach Ziel und Produkt der Messung muss ein Messverfahren ausgewählt werden. Jede Messtechnik hat Vor- und Nachteile, und es muss abgewogen werden, welches Verfahren am besten geeignet ist. Die derzeit am häufigsten verwendeten Messtechniken sind:

- Tachymetrie,
- Bildbasierte Photogrammetrie oder
- 3D-Laserscanning.

Mit dieser Frage und ob der Laserscanner die bisherigen Verfahren ersetzen kann, hat sich bereits Bringmann (2002) beschäftigt. Er kommt jedoch zu dem Ergebnis, dass der Laserscanner keine Universallösung für die unterschiedlichsten Vermessungsaufgaben darstellt. Seine subjektive Sicht hat er in Abbildung 4.1 grafisch dargestellt. Er unterteilt nach Genauigkeit und Komplexität in leichte und schwere Probleme und sieht den Laserscanner für einfache Vermessungsaufgaben als durchaus sinnvoll an, für schwere Aufgaben ist für ihn jedoch das Tachymeter eindeutig das bessere Messgerät. Photogrammetrische Verfahren sieht er vor allem bei Anwendungen, die eine hohe inhaltliche Dichte erfordern und somit ein bildbasiertes Verfahren dafür geeignet ist, wie z.B. bei Fassaden.

Allerdings ist die Meinung von Bringmann (2002) schon mehr als 20 Jahre alt und die Entwicklung von Laserscannern hat in den letzten Jahren einen rasanten Fortschritt gemacht. Moderne Laserscanner erreichen mittlerweile Genauigkeiten im Millimeterbereich, die mit denen von Tachymetern vergleichbar sind. Gleichzeitig haben sich auch die Auswerteverfahren und die zugehörige Software erheblich verbessert, was eine schnellere und präzisere Verarbeitung der erfassten Daten ermöglicht. Diese Fortschritte machen Laserscanner zu einem effizienten Werkzeug für die detaillierte Erfassung komplexer Strukturen. Dies zeigt auch Doringner u. a. (2011), die historische Häuser in Ephesus mit Laserscannern und Tachymetern vermessen haben, um 2D-Schnitte und Wandansichten zu erstellen. Sie sehen den Laserscanner als das bessere Instrument für diese Anwendung und verwenden den Tachymeter nur für die Georeferenzierung.

Weitere Untersuchungen im Bereich der Denkmalvermessung von Grussenmeyer u. a. (2008) sowie Hassan und Fritsch (2019) kommen zu ähnlichen Ergebnissen und sehen vor allem die Kombination von Laserscanning und programmiertechnischen Verfahren als äußerst sinnvoll für die meisten Anwendungsaufgaben im Bereich der Denkmalvermessung.

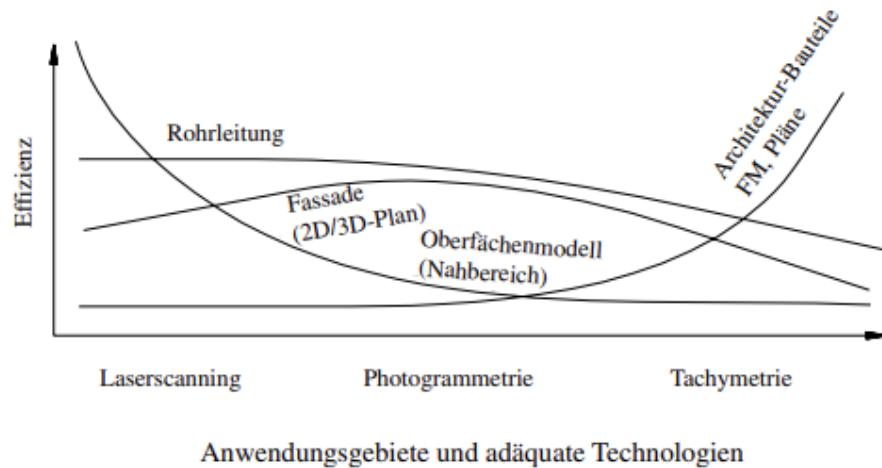


Abbildung 4.1: Effizienz der Messtechnologie anhand verschiedener Anwendungen (Bringmann, 2002)

Für die Spinnmühle entsprechen die Anforderungen, für die Erstellung der Grundrisse und Schnitte in etwa der Genauigkeitsstufe II nach Eckstein. Das bedeutet, dass kein verformungsgetreues Aufmaß notwendig ist und die Genauigkeit im niedrigen Zentimeterbereich liegt. Dazu kommt noch, dass keine Georeferenzierung erforderlich ist. Mit diesen Anforderungen wären theoretisch alle drei Messverfahren geeignet. Es wurde eine Kombination aus einem terrestrischen Laserscanner (TLS) für den Innenbereich und einem programmierten Verfahren mittels UAV-Bildauswertung für den Außenbereich gewählt. Für die Innenräume wäre auch ein Tachymeter geeignet gewesen, da aber keine Georeferenzierung notwendig ist und der Scanner für eine Person besser zu bedienen ist, wurde hier der Scanner gewählt.

Für die Erstellung des texturierten 3D-Modells und des Orthomosaiks wurde das bildbasierte Verfahren Structure from Motion (SfM) mit einer Drohne als geeignetste Methode erachtet. Diese Methode bietet mehrere Vorteile: Es ermöglicht eine schnelle Erfassung der benötigten Daten und liefert gleichzeitig die beste visuelle Qualität für das 3D-Modell. Darüber hinaus muss beim Einsatz einer Drohne nicht das gesamte Objekt vor Ort begehbar sein, was insbesondere bei schwer zugänglichen Dachflächen ein großer Vorteil ist. Diese Faktoren machen SfM in Kombination mit einer Drohne zur optimalen Wahl.

4.2 Terrestrisches Laserscanning

4.2.1 Grundkonzept

Terrestrisches Laserscanning ist ein kontaktloses Messverfahren, bei dem durch das Aussenden von Laserstrahlen die Umgebung des Laserscanners flächenhaft in einem inkrementellen vorgegebenen Raster abgescannt wird (siehe Abbildung 4.2). Je nach verwendetem Scanner werden dabei mehrere 100 000 Punkte pro Sekunde gescannt und für jeden dieser Objektpunkte werden 2 Richtungen (α, β), die Entfernung (d) und ein Intensitätswert (i) gemessen. Zusätzlich können die meisten aktuellen Scanner RGB-Farbwerte aufnehmen und Bilder der Messumgebung erstellen. Das Ergebnis eines Scans ist eine unstrukturierte Punktmenge (Kahmen, 2006). Mit den Gleichungen 4.1 werden aus den gemessenen polaren Messwerten kartesische Koordinaten berechnet (Lipkowski und Mettenleiter, 2019). Im Gegensatz zu anderen Messverfahren, wie z.B. mit dem Tachymeter, wo ein Messpunkt immer eine direkte Bedeutung, wie Hausecke, Bordstein, Tür usw. hat, haben die Objektpunkte beim Laserscanning keine direkte Bedeutung. Es liegt eine hohe Quantität an Messpunkten vor, was wiederum zu großen Datenmengen führt. Dies beschleunigt die Messung wesentlich, da das direkte Anzielen von Messpunkten nicht notwendig ist, es entsteht aber ein deutlich erhöhter Aufwand in der Auswertung (Kraus, 2012).

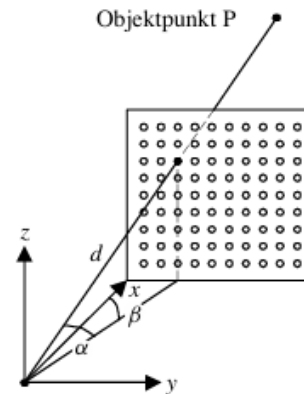


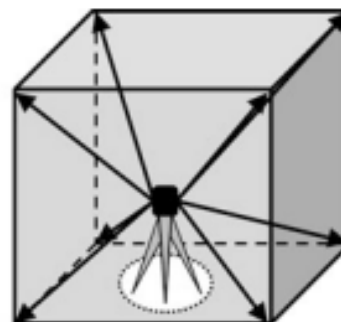
Abbildung 4.2: Inkrementelles Punktraster (Kahmen, 2006)

$$\begin{aligned}x &= d \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta); \\y &= d \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta); \\z &= d \cdot \sin(\alpha).\end{aligned}\tag{4.1}$$

Der Aufbau eines heutigen terrestrischen Scanners ist sehr komplex, da in einem Scanner viele verschiedene Systeme zusammenarbeiten, man spricht auch von einem Multi-Sensor-System (Wieser u. a., 2019). Die wichtigsten Komponenten sind eine Laserquelle, die kontinuierlich

Strahlen aussendet, eine Aufnahme- und Steuereinheit, die wie ein PC funktioniert, über den der Scanner bedient, Daten gespeichert und verarbeitet werden können. Ein Richtungsmesssystem misst die Richtungen (α , β) zu den Objektpunkten und sorgt dafür, dass die ausgesendeten Laserstrahlen im vorgegebenen Raster die Umgebung „abtasten“.

Um dies zu ermöglichen und eine möglichst hohe horizontale und vertikale Ablenkung zu erreichen, wird die Strahlenquelle rotiert (Drehung des Scanners auf dem Stativ) und zusätzlich durch einen rotierenden Spiegel vertikal abgelenkt. Das Ergebnis ist ein nahezu 360° Rundum-Scan, wie in Abbildung 4.3 dargestellt. Der einzige Bereich, den der Laser-scanner nicht scannen kann, ist der weiß dargestellte Bereich direkt unter dem Scanner (Kahmen, 2006; Wieser u. a., 2019).



Ebenfalls essentiell für die Funktion eines Scanners ist die Elektronische Distanzmesseinheit (EDM), die den Abstand misst, den jeder einzelne Laserstrahl zwischen Scanner und Objektpunkt zurücklegt. Die EDM-Komponente arbeitet je nach Scanner mit unterschiedlichen Verfahren:

Abbildung 4.3: Scanbereich
(Kuhlmann und
Holst, 2017)

- Phasenvergleichsverfahren (für Entfernungen bis 200m),
- Impulslaufzeitverfahren (für Entfernungen von 200 bis 1000m),
- Wave Form Digitising (Kombination aus Phasenvergleichs- und Impulslaufzeitverfahren).

Auf eine genauere Erläuterung der Verfahren wird an dieser Stelle verzichtet, mehr Details dazu sind im Kuhlmann und Holst (2017) zu finden.

Neben den bereits genannten Grundkomponenten gibt es nach Wieser u. a. (2019) weitere Sensoren, die nicht zwingend für die Funktion des Scanners notwendig sind, aber verschiedene Prozesse verbessern. So sind in den meisten aktuellen Scannern Kameras integriert, die zusätzliche Daten wie RGB-Farbwerte, Wärmestrahlung, Intensität und Panoramabilder erfassen. Zur Optimierung der Georeferenzierung und Registrierung werden Sensoren wie GNSS, Neigungssensoren, Altimeter, IMU und Magnetfeldsensoren im Scanner verwendet. Einige Scanner sind zusätzlich mit Temperatursensoren ausgestattet, die es ermöglichen, geräteinterne Korrekturen besser zu berechnen.

4.2.2 Koordinatensysteme

Beim Laserscanning gibt es 3 wichtige Koordinatensysteme:

- Standpunktkoordinatensystem,
- Projektkoordinatensystem und
- Weltkoordinatensystem.

Das Standpunktkoordinatensystem ist für jeden Scan unterschiedlich, jedes Mal, wenn der Laserscanner einen neuen Scan durchführt, wird ein neues Standpunktkoordinatensystem erzeugt. Dieses ist lokal und hat seinen Ursprung in den Achsen des Scanners. Jeder gemessene Objektpunkt hat nach dem Scan eine Koordinate in diesem System. Fast jedes Scanprojekt wird von mehreren Standpunkten aus gescannt, was dazu führt, dass Objektpunkte verschiedener Standpunkte in unterschiedlichen Koordinatensystemen liegen. Um dies zu ändern und alle Punkte in ein gemeinsames Koordinatensystem zu bringen, wird eine Registrierung der Standpunktkoordinatensysteme über eine Transformation durchgeführt. Dabei werden alle Punkte in ein gemeinsames lokales Koordinatensystem, das Projektkoordinatensystem, überführt. Für einige Anwendungen ist es völlig ausreichend, wenn die Punktwolke lokal in dem Projektkoordinatensystem liegt. Manchmal ist es jedoch notwendig, dass die Koordinaten in einem übergeordneten Weltkoordinatensystem liegen. Der Vorgang dafür wird als Georeferenzierung bezeichnet, dabei wird die lokale Punktwolke über eine weitere Transformation in das gewünschte Koordinatensystem (z.B. UTM, Gauß-Krüger, WGS 84 etc.) überführt (Jansa, 2007; Pfeifer und Briese, 2007).

4.2.3 Registrierung und Georeferenzierung

Um eine Registrierung von 2 oder mehr Scans durchzuführen, muss eine Transformation berechnet werden. Eine gängige Variante ist hier die 7-Parameter-Helmert-Transformation. Dazu müssen die 7 Parameter (3 Rotationsparameter, 3 Translationsparameter und 1 Maßstabparameter) bestimmt werden. Wenn alle Scans mit dem gleichen Scanner gemacht wurden, ist der Maßstab mit dem Wert eins immer gleich und bekannt. Ähnlich verhält es sich mit dem Rotationsparameter der Rotationsachse (X-Achse), der gleich Null ist, wenn der Scanner in jeder

Scanposition horizontalisiert wurde. Zur Bestimmung der notwendigen Transformationsparameter gibt die zielzeichenbasierte, softwarebasierte und hardwarebasierte Methode.

Das Konzept der zielzeichenbasierten Methode setzt darauf, in benachbarten Scans mehrere eindeutig identifizierbare identische Punkte vor dem Scanvorgang zu verteilen. Diese werden gescannt und über einen Algorithmus erkannt und mit 3D-Koordinaten bestimmt und als Referenzpunkte verwendet. Bei 7 unbekanntem Transformationsparametern werden auch mindestens 7 bekannte Parameter benötigt, um über ein Gleichungssystem die Unbekannten zu berechnen. Jede Zielmarke liefert drei bekannte Parameter (x-Wert, y-Wert und z-Wert), es werden also mindestens 3 Zielmarken benötigt, um zwei Scans miteinander zu verknüpfen. Es ist sinnvoll, wenn möglich mehr als 3 Zielmarken zu verwenden, um eine Redundanz zu erzeugen und somit über eine Ausgleichsrechnung ein genaueres und zuverlässigeres Ergebnis zu erhalten. Es gibt zwei verschiedene Arten von Zielmarken, ebene und räumliche Zielzeichen. Zu den Ebenenzielmarken gehören die Schwarz-Weiß-Zielmarken, auch bekannt als Schachbrettmarken, und Auto-Targets. Schachbrettmarken bestehen aus einem kontrastreichen Muster aus schwarzen und weißen Quadraten, das von Laserscannern leicht erkannt wird. Daraus kann der Mittelpunkt berechnet werden und als Referenzpunkt dienen. Auto-Targets sind spezielle Zielmarken, die vom Scanner automatisch erkannt und verwendet werden können, oft mit zusätzlichen Reflektoren oder elektronischen Markierungen. Räumliche Zielmarken sind Kugeln und Zylinder, die eine gleichmäßige Reflexion aus allen Richtungen ermöglichen. Wenn genügend Punkte auf der Oberfläche gescannt werden, kann ein Algorithmus den Mittelpunkt der Kugel oder des Zylinders berechnen, der dann wie bei den ebenen Marken als Referenzpunkt fungiert.

Die Vorteile dieser Methode liegen vor allem in der hohen Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Erfassung. Es ist eine Methode, bei der die Konfiguration durch die genaue Verteilung der Marken gut beeinflusst werden kann und somit unabhängig vom Objekt und der Überlappung ist. Der Nachteil der Methode ist, dass die hohe Genauigkeit und Qualität nur bei einer hohen Anzahl von Zielmarken gewährleistet werden kann, was zu einem erhöhten Zeitaufwand führt. Hinzu kommt, dass die Begehbarkeit des Objektes als Grundvoraussetzung für das Setzen der Marken gegeben sein muss (Kuhlmann und Holst, 2017).

Da die zielzeichenbasierte Methode am weitesten verbreitet ist und auch im praktischen Teil der Arbeit verwendet wurde, wird hier nur kurz auf die beiden anderen Methoden eingegangen. Bei der softwarebasierten Registrierung werden keine Zielzeichen o.ä. verwendet, sondern

es wird mit dem Überlappungsbereich zwischen zwei Scans gearbeitet. Je größer dieser ist, desto besser funktioniert die Registrierung. Zwischen den korrespondierenden Scans werden identische Punkte oder geometrische Objekte gesucht und als Referenzpunkte verwendet (Kuhlmann und Holst, 2017). Die einfachste Form ist der von Besl und McKay (1992) entwickelte ICP-Algorithmus (Iterative Closest Point). Bei der hardwarebasierten Registrierung werden die Transformationsparameter mit Hilfe externer Sensoren wie z.B. Kompass, GNSS-Antennen, Neigungssensoren, IMU oder Tachymeter bestimmt (Kuhlmann und Holst, 2017). Der Vorteil ist, dass bei der Bestimmung mit GNSS-Antennen oder einem Tachymeter neben der Registrierung auch eine Georeferenzierung erfolgt und die Koordinaten im Weltkoordinatensystem vorliegen.

Die Georeferenzierung verläuft ähnlich wie die Registrierung, mit dem Unterschied, dass die Daten nicht in ein lokales, sondern in ein globales Koordinatensystem mittels einer 7-Parameter-Transformation transformiert werden. In der Regel erfolgt die Georeferenzierung, falls erforderlich, nach der Registrierung. In Ausnahmefällen kann dies auch in einem gemeinsamen Schritt erfolgen. Hier gibt es die Möglichkeit der direkten und der indirekten Georeferenzierung. Die direkte Methode verwendet GNSS-Daten, die von einer Inertial Measurement Unit (IMU) unterstützt wird. Durch die GNSS-Daten wird die genaue Position des Scanners im Weltkoordinatensystem ermittelt und die IMU liefert Informationen über die Bewegung und Orientierung des Laserscanners. Bei der indirekten Methode werden Passpunkte und Zielmarken verwendet, die mit einem anderen Messverfahren (z.B. Tachymeter und GNSS-Antenne) bestimmt wurden und mit Koordinaten im jeweiligen Weltkoordinatensystem bekannt sind (Bureick u. a., 2019). Da im praktischen Teil der Arbeit keine Georeferenzierung notwendig ist, wird dieser Teil nur der Vollständigkeit halber kurz erwähnt. Auf eine detaillierte Erläuterung wird an dieser Stelle verzichtet.

4.2.4 Genauigkeit und Fehlereinflüsse

Die Genauigkeit des Ergebnis hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab, welche sich in die folgenden drei Kategorien einteilen lassen (Heinz u. a., 2018):

1. 3D-Punktgenauigkeit der Scans
2. Genauigkeit von Registrierung/Georeferenzierung
3. Auswahl des Modellierungsansatzes

3D-Punktgenauigkeit

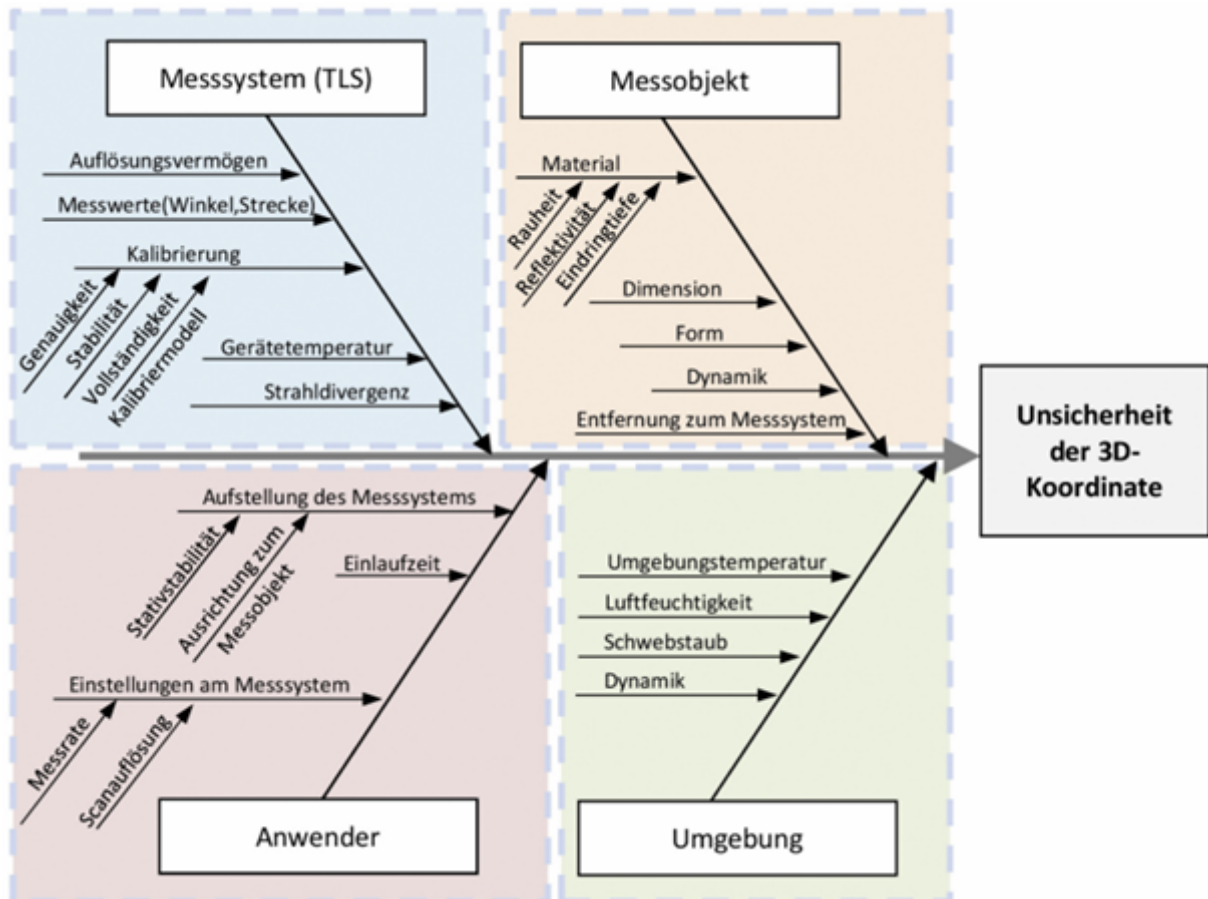


Abbildung 4.4: Unsicherheit der 3D-Koordinaten (Lipkowski und Mettenleiter, 2019)

Alle Einflüsse auf die 3D-Punktgenauigkeit der Scans sind in Abbildung 4.4 zusammengefasst. Ziel des Scanprozesses ist es, diese Einflüsse zu berücksichtigen und so gering wie möglich zu halten. In der Analyse und Bewertung kann dann auf die Einflüsse, die sich negativ auf die 3D-Punktgenauigkeit auswirken, eingegangen werden. Zu einer detaillierteren Erläuterung der einzelnen Faktoren siehe (Lipkowski und Mettenleiter, 2019) und (Heinz u. a., 2018).

Genauigkeit von Registrierung

Für die Registrierungs-genauigkeit ist die Auswahl der Methode entscheidend, mit der die Registrierung durchgeführt wurde.

Bei der Registrierung mit Zielmarken sind die Anzahl und die Verteilung der Zielmarken, sowie die Genauigkeit, mit der die Koordinaten eines Zielzeichens bestimmt werden, die entscheidenden Faktoren der Genauigkeit. Die Verteilung sollte so gewählt werden, dass vom Laserscanner aus in allen Richtungen Zielmarken vorhanden sind. Je höher die Anzahl ist, desto besser ist die Registrierung. Es sollten jedoch mindestens drei Zielmarken in jedem Scan vorhanden sein. Die Genauigkeit der Zielmarkenkoordinaten, „ist von der Messkonfiguration, dem Laserscanner selbst, der Atmosphäre, dem Zielzeichendesign und dem Algorithmus zur Koordinatenschätzung abhängig“ (Janßen u. a., 2018, S.75).

Eine gute Messkonfiguration ist gegeben, wenn der Abstand zwischen dem Scanner und dem Zielzeichen klein (≤ 10 m) ist und der Winkel nicht zu spitz ist, da dann möglichst viele Punkte auf dem Zielzeichen gescannt werden, was zu einer höheren Genauigkeit führt. Der Laserscanner hat mit seiner Messunsicherheit einen großen Einfluss auf die Koordinatenbestimmung, weil aus der Punktwolke des Laserscans die Zielmarkenkoordinate berechnet wird und aus einer genaueren Punktwolke auch genauere Koordinaten berechnet werden können. Der Einfluss der Atmosphäre auf die Distanzmessung ist bei Entfernungen unter 100 m sehr gering und kann vernachlässigt werden. Die Beschaffenheit des Zielzeichens und dessen Einfluss auf die Genauigkeit hängt von der Art des Zeichens, der Größe, der Geometrie, dem Material, der Oberfläche, der Farbe, dem Reflexionsgrad, der gemessenen Intensität, sowie dem Algorithmus, welcher zur Berechnung der Koordinaten gewählt wird, ab. Mehr dazu in Janßen u. a. (2018) zu finden.

Da die Soft- und Hardware-Registrierung im praktischen Teil nicht zur Anwendung kam, wird hier nur der Vollständigkeit halber kurz darauf eingegangen. Bei der softwarebasierten Methode ist der wesentliche Einfluss auf die Genauigkeit der Registrierung die Überlappung der Scans. Ist diese zu gering, kann die Registrierung nicht oder nur ungenau durchgeführt werden. Ein guter Wert für die Überlappung ist 50 bis 90 % (Thiele, 2024). Die hardwarebasierte Registrierung ist in ihrer Genauigkeit nur so genau, wie die dafür verwendeten Sensoren (GNSS-Antenne, Kompass, Neigungssensoren, Tachymeter).

Auswahl des Modellierungsansatzes

Der Modellierungsansatz, mit dem die Laserscandaten ausgewertet und verarbeitet werden, hat ebenfalls Einfluss auf die Qualität und Genauigkeit der Ergebnisse. Welcher Ansatz der beste ist, kann nicht direkt gesagt werden, da dies immer von verschiedenen Faktoren abhängt, wie z.B. der verfügbaren Punktwolke, den Anforderungen an das Ergebnis und der Art des Ergebnisses. Mögliche Auswertestrategien sind die direkte Punktwolkenverarbeitung, die Netzmodellierung (auch Meshing genannt), die Oberflächenmodellierung, die Volumenmodellierung und die Feature-basierte Modellierung. Für eine genauere Beschreibung der Modellierungsansätze siehe Shan und Toth (2018) und Barber u. a. (2008).

4.3 Photogrammetrische UAV-Bildauswertung

4.3.1 Grundkonzept

UAV-Photogrammetrie ist Teil der Mehrbildauswertung. Mit einem Unmanned Aerial Vehicle (UAV) werden Bilder mit einer hohen Überlappung über das gesamte Messobjekt aufgenommen und mit verschiedenen Methoden und Algorithmen automatisiert verarbeitet (Luhmann, 2023). Abbildung 4.5 zeigt ein Beispiel für eine sehr detaillierte und gute Befliegung des Torhaus Seedorf. Die roten und blauen Rechtecke stellen jeweils ein aufgenommenes Bild dar. Es ist zu erkennen, dass das gesamte Objekt vollständig und von allen Seiten aus verschiedenen Winkeln und Entfernungen aufgenommen wurde. Für eine optimale Überlappung bei der UAV-Befliegung kann der Flug vorab programmiert werden (Luhmann, 2018). Aus den aufgenommenen zweidimensionalen Bildern werden mittels Structure from Motion (SfM) dreidimensionale Punktwolken abgeleitet. Motion beschreibt dabei die Position einer bewegten Kamera, aus der ein Objekt (structure) mit korrespondierenden Punkten konstruiert wird (Luhmann, 2023).

„Das Verfahren ist eine Kombination von Bildverarbeitungsverfahren, robusten Orientierungsmethoden, Bündelausgleichung mit Simultankalibrierung, Stereobildmessung und Punktwolkenverarbeitung“ (Luhmann, 2023, S.491).

Trotz der relativ einfachen Kameratechnik ist die Genauigkeit eines UAV-Projektes, das mit SfM ausgewertet wird, genauso hoch wie bei anderen photogrammetrischen Methoden. Die

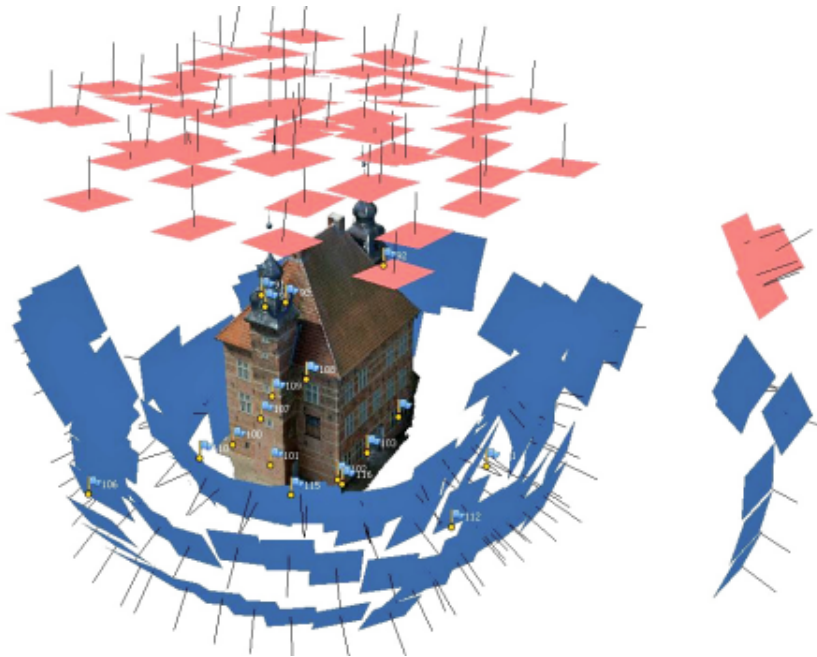


Abbildung 4.5: Bildaufnahme (Luhmann, 2023)

Genauigkeit liegt im Subpixelbereich. Wenn die Ground Sample Distance (GSD), also die Größe eines Pixels in der realen Welt, 6 cm beträgt, liegt die durchschnittliche Abweichung der Punkte bei ca. 2 bis 5 cm (Blankenbach u. a., 2017).

4.3.2 Ablauf

Der Ablauf ist in der Abbildung 4.6 dargestellt. Bevor mit der Auswertung begonnen werden kann, müssen Bilder des zu erfassenden Objektes aufgenommen werden. Diese müssen mit einer sehr hohen Überlappung von 60 bis 80 % aufgenommen werden, damit eine Verknüpfung der Bilder möglich ist. Nach der Vorverarbeitung der Bilder werden für markante Punkte (Ecken, Kanten etc.) in allen Bildern mit Hilfe eines Interest-Operators (1) Merkmalswerte berechnet. Über die Merkmalswerte korrespondierender Punkte in den Überlappungsbereichen der Bilder kann die relative Orientierung der Bildpaare berechnet werden (3). Dies geschieht in der Regel über das Random Sample Consensus Verfahren, kurz RANSAC (mehr Infos zu dem RANSAC-Verfahren in Civera u. a. (2012)), da hier mögliche Ausreißer besonders gut herausgefiltert werden können. Sind alle Bildpaare relativ zueinander orientiert, wird mit allen Bildern eine Bündelausgleichung

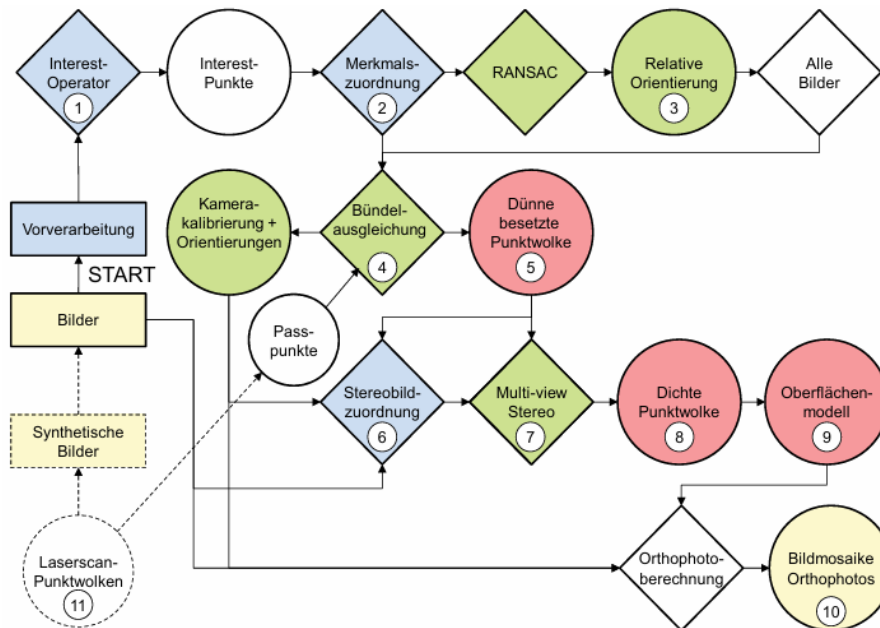


Abbildung 4.6: Ablauf structure from motion (Luhmann, 2018)

(4) durchgeführt, die als Ergebnis die äußere Orientierung (Kameraposition und Kamerablickrichtung) und eine dünne 3D-Punktwolke (5) liefert. Falls vorhanden, können Passpunkte der Ausgleichung hinzugefügt werden, dann wird zusätzlich eine Kamerakalibrierung berechnet. Um die Punktwolke zu verdichten, wird eine Stereobildzuordnung (6) mittels Dense-Image-Matching-Verfahren (Blankenbach u. a., 2017), wie z.B. semi-globales Matching, durchgeführt und eine dichte Punktwolke (7) erzeugt. Je nach Anwendung kann die Punktwolke nun zum gewünschten Endprodukt weiterverarbeitet werden. Dies können z.B. Oberflächenmodelle (9), Bildmosaik/Orthophotos (10), texturierte 3D-Modelle, 3D-Drucke oder Visualisierungen sein (Luhmann, 2023).

5 Datenaufnahme und -verarbeitung mittels terrestrischem Laserscanning

5.1 Messgeräte

Für die Messung wurde von der HTW Dresden der Faro Focus S150, ein terrestrischer Laserscanner der Firma Faro, zur Verfügung gestellt, zu sehen im Bild 5.1 beim Messen in der Spinnmühle. Der Scanner ist für den Innen- und Außenbereich in Anwendungsgebieten wie Architektur, technische Planung, öffentlicher Sicherheit, Bauwesen, Forensik und Produktdesign ausgelegt. Mit einer Reichweite von bis zu 150 Metern erfasst er Daten schnell und effizient, indem er bei maximaler Messgeschwindigkeit bis zu 1 Million Punkte pro Sekunde scannt. Der S150 bietet eine Distanzmessgenauigkeit von ± 1 mm bei einer Entfernung von 10 Metern sowie eine Winkelmessgenauigkeit von 19 Bogensekunden (vertikal und horizontal), was zu einer 3D-Punktgenauigkeit von 2 mm bei einer Entfernung von 10m oder 3,5 mm bei 25m führt. Zusätzlich ist der Scanner mit einer integrierten HDR-Kamera ausgestattet und hat eine Farbauflösung von bis zu 165 Megapixeln. Das Sichtfeld des Geräts umfasst 300 Grad vertikal und 360 Grad horizontal, sodass nur direkt unter dem Scanner nicht gescannt werden kann (Faro Technologies, 2021). Zusätzlich zum Scanner wurde ein Carbon Stativ und ca. 120 Faro Schachbrettmarken für die Registrierung der Scanstandpunkte genutzt.



Abbildung 5.1: Faro Focus S150 mit 2 Schachbrettmarken im Hintergrund

5.2 Messablauf

Für die Erstellung des Grundrisses und der Schnitte der Spinnmühle Flöha/Falkenau wurde exemplarisch eine komplette Etage mit dem Laserscanner erfasst. Aufgrund besserer Zugänglichkeit der einzelnen Räume wurde dafür die dritte Etage ausgewählt. Die Erfassung der Messdaten erfolgte an zwei Messtagen, an denen insgesamt 74 Scanstandpunkte gescannt wurden. Jeder Scanvorgang dauerte etwa fünf Minuten, so dass sich eine reine Scanzeit von etwas mehr als sechs Stunden ergibt. Eine grobe Verteilung der Scanstandpunkte lässt sich in der Übersichtskarte in Abbildung 5.2 erkennen, wo jeder einzelne blaue Punkt für einen Scanstandpunkt steht. Es wurde so vorgegangen, dass in jedem Raum mindestens ein Scanstandpunkt gescannt wurde, sowie ein zusätzlicher Standpunkt in der Tür um eine Verknüpfung der verschiedenen Scans zu ermöglichen. In den größeren Räumen und den beiden Hallen wurden mehrere Standpunkte gemessen, jeweils mit einer Entfernung von ca. 10 m zwischen den einzelnen Standpunkten.

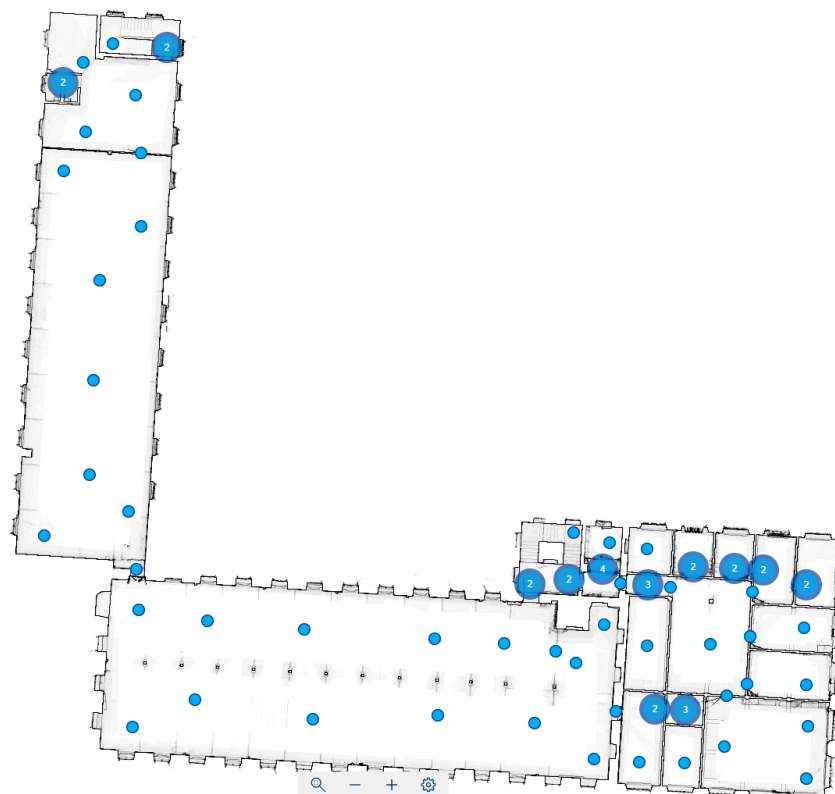


Abbildung 5.2: Übersichtskarte mit Scanstandpunkten in blau

Alle Standpunkte wurden mit einer Auflösung von 1/5 und einer Qualität von 3x gescannt. Die Einstellung Auflösung 1/5 beim Faro Focus Laserscanner bedeutet, dass der Scan nur mit 20 % der maximal möglichen Punktdichte erfasst wird, also etwa ein Fünftel der Datenpunkte eines Scans in der höchsten Auflösung (1/1). Dies führt zu einer schnelleren Datenerfassung, erfasst aber weniger Details, da die Messpunkte weiter auseinander liegen. Die Qualitätseinstellung 3x bezieht sich auf die Messgenauigkeit und Rauschunterdrückung des Scans. Hierbei werden dreimal so viele Messungen pro Punkt durchgeführt, um die Präzision zu erhöhen und das Rauschen zu minimieren. Dies verbessert die Genauigkeit der Daten, verlängert jedoch die Scanzeit. In Kombination ergibt dies einen Scan mit mittlerer Detaillierung, aber hoher Messgenauigkeit, was für die Erstellung eines Grundrisses sehr gut und mehr als ausreichend ist.

5.3 Auswertung mit Faro Scene

5.3.1 Software

Faro Scene ist eine Software der US-amerikanischen Firma Faro Technologies Inc. zur kommerziellen Nutzung, für die Verarbeitung und Analyse von 3D-Laserscanndaten mit Anwendung in Vermessung, Architektur, Bauwesen und Forensik.

5.3.2 Automatisierte Datenauswertung

Faro Scene ermöglicht eine vollständige automatisierte Datenauswertung, wodurch sich der Zeitaufwand auf wenige Minuten reduziert. Die Funktionalität der automatisierten Auswertung wurde anhand weniger Scans erfolgreich getestet, jedoch wies die automatische Auswertung für das gesamte Projekt eine hohe Fehlerrate auf, wie anhand eines Beispiels in Abbildung 5.3 ersichtlich ist. Die genannten Fehlerquellen resultieren in Ungenauigkeiten und falsch registrierten Scans, sodass ein zusätzlicher manueller Aufwand erforderlich ist, um die Ergebnisse zu korrigieren. Aus diesem Grund sowie zur besseren Einschätzung der Ergebnisse wurde beschlossen, auf eine manuelle Verarbeitung zurückzugreifen, um eine höhere Präzision und Verlässlichkeit sicherzustellen. Sollte die automatische Verarbeitung jedoch in Zukunft stabiler

und präziser funktionieren, wäre sie definitiv ein äußerst sinnvolles Tool, um den Arbeitsprozess zu beschleunigen.



Abbildung 5.3: Beispiel für Fehler der automatisierten Auswertung: Im linken Bildbereich werden zwei vermeintlich erkannte Zielmarken angezeigt, während die richtige Zielmarke in der Mitte nicht erkannt wurde.

5.3.3 Registrierung

Um die Standpunkte der Scans miteinander zu verknüpfen (Registrierung), wurde sich für eine zielzeichenbasierte Methode mit Schachbrettmarken entschieden (theoretische Grundlagen siehe Kapitel 4.2.3), da diese, bei einer guten Verteilung von Zielmarken, zuverlässig funktioniert und im Notfall auch noch über eine Cloud-to-Cloud Registrierung optimiert werden kann. Um dies zu ermöglichen, wurden im ganzen Geschoss Schachbrettmarken angebracht. Insgesamt wurden ca. 120 Marken im gesamten Gebäude platziert, sodass in jedem Scan 3 bis 8 Marken gut sicht- und messbar sind. In den kleineren Einzelräumen reichen 3 bis 4 Marken aus, während für Scans, die zwischen zwei Räumen liegen, 6 bis 8 Marken benötigt werden. In den zwei großen Hallen wurden mehr als 8 Marken angebracht. Dies hat einen deutlich erhöhten Aufwand für die Messung bedeutet, da das Anbringen einer Marke ca. 2 min pro Marke in Anspruch genommen hat. Auch wenn das bei insgesamt 120 Marken eine Zeit von vier Stunden ist, wirkte

es sich auf die gesamte Messdauer nur geringfügig aus, da der extra Zeitaufwand sich nur bei dem ersten Raum entscheidend auswirkt. Denn danach konnten immer während ein Raum gescannt wurde, im nächsten Raum die notwendigen Schachbrettmarken angebracht werden.

Im ersten Schritt der Registrierung wurden nach dem Import der Scandaten in Faro Scene in jedem der einzelnen Scans alle sichtbaren Schachbrettmarken manuell markiert. Jetzt zeigt Faro Scene schon in Form einer Ampel mit den Farben grün, gelb und rot an, wie gut die Schachbrettmarke in dem jeweiligen Scan erkannt wurde. Dies hängt hier von der Anzahl der gemessenen Punkte in einem Scan auf dem Schachbrett ab, da diese für eine genaue Berechnung des Mittelpunktes notwendig sind. In Faro Scene kann eine Marke optimal berechnet werden, wenn 400 oder mehr Punkte auf einer Marke gemessen wurden (grün), bei 100 bis 400 Punkten (gelb) kann der Mittelpunkt der Marke auch noch bestimmt werden, ist aber nicht optimal. Bei unter 100 Punkte (rot) kann die Schachbrettmarke nicht gut bestimmt werden. Gründe, warum auf einer Marke nicht genug Punkte gemessen wurden, liegen in der Messkonstellation. Eine hohe Entfernung, ein spitzer Auftreffwinkel der Laserstrahlen auf die Zielmarke oder eine zu geringe Auflösung des Laserscanners können dazu beitragen, dass nicht ausreichend viele Punkte auf der Schachbrettmarke gemessen werden konnten. Für die Registrierung wurden zunächst alle Marken verwendet, die mit mehr als 100 Punkten (grün und gelb) gescannt wurden, was bei fast allen Marken der Fall war. Dies ist auf die gute Messkonstellation zurückzuführen, da in den kleineren Räumen die Entfernungen immer unter 10 m lagen und nur selten spitzere Winkel auftraten. Dass Marken nicht optimal (mit weniger als 400 Punkten) bestimmt wurden, ist vor allem in den 2 größeren Hallen der Fall, da hier die Entfernungen größer waren. Da in den Hallen ohnehin deutlich mehr Marken als notwendig verteilt wurden, ist dies nicht weiter relevant und die nicht so optimalen Marken wurden dann auch nicht immer in den Scans verwendet.

Die Registrierung in Faro Scene erfolgt paarweise, so dass jedem Scan mindestens ein oder mehrere benachbarte Scans zugeordnet sind. Mit den berechneten Koordinaten der Zielmarken kann eine Transformation (Translation und Rotation) durchgeführt werden und die Punktwolken der Scans werden entsprechend "übereinandergeschoben". Für jedes Scanpaar können individuelle Statistiken berechnet werden, die die Genauigkeit der Registrierung zwischen den Scanpaaren angeben. Die Statistiken aller Paare ergeben dann die Gesamtstatistik für die Registrierung. Der wichtigste Parameter ist die Scanpunkt-Statistik. Diese gibt an, wie gut die Punkte im Überlappungsbereich zweier Scans zueinander passen. Dies wird in Form des maximalen

Punktfehlers, des mittleren Punktfehlers und der Überlappung zwischen den Scans angegeben. Der mittlere Punktfehler wird aus der Summe aller entsprechenden Punktpaare geteilt durch deren Anzahl berechnet. Er ist ein guter Indikator für die Gesamtgenauigkeit der Registrierung, sollte aber nicht isoliert betrachtet werden, da bei vielen Scans ein grober Fehler durch die Verrechnung mit anderen genaueren Scans nicht erkannt werden kann.

Um mögliche grobe Fehler und größere Abweichungen zu erkennen, kann der maximale Punktfehler betrachtet werden. Er bezeichnet die größte gemessene Differenz zwischen korrespondierenden Punkten im Überlappungsbereich eines Scanpaars. Er kann als Wert für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Registrierung verwendet werden, je kleiner er ist, desto genauer ist die Registrierung. Ein zweiter Indikator für die Genauigkeit der Registrierung ist die Zielstatistik. Sie gibt die Differenz der berechneten Zielmarkenkoordinaten an, d.h. wie groß die Differenz der Zielmarkenkoordinaten zwischen zwei entsprechenden Scans ist. Angegeben werden der Distanzfehler, der Horizontalfehler und der Vertikalfehler, jeweils mit Maximal- und Mittelwerten.

Mit dem ersten Registrierungslauf konnten alle Scans erfolgreich miteinander verknüpft werden, die Genauigkeit ist jedoch noch nicht zufriedenstellend. Dies war zu erwarten, da noch einige nicht optimal bestimmte Zielmarken das Ergebnis negativ beeinflussen. Das Ergebnis ist in Tabelle 5.1 dargestellt.

Scanpunktstatistiken		Zielstatistiken	
Maximaler Punktfehler	39,2 mm	Max. Abstandsfehler	59,4 mm
Mittlerer Punktfehler	2,3 mm	Durchschnittlicher Abstandsfehler	5,7 mm
Minimale Überlappung	35 %	Max. Horizontaler Fehler	38,0 mm
		Durchschnittlicher horizontaler Fehler	4,2 mm
		Max. Vertikaler Fehler	46,2 mm
		Durchschnittlicher vertikaler Fehler	3,1 mm

Tabelle 5.1: Ergebnis nach erster Registrierung

Betrachtet man die Scanpunktstatistik, so kann man bereits aus dem geringen mittleren Fehler von 2,3 mm schließen, dass die meisten Scans bereits sehr genau registriert wurden. An wenigen Stellen gibt es jedoch noch größere Abweichungen im Zentimeterbereich, wie der maximale Fehler von fast 4 cm zeigt. Dies wird auch bei der Betrachtung der Zielmarkenspannungen deutlich, da hier der mittlere Fehler ebenfalls sehr gering ist, der maximale Fehler aber auch auf einige größere Abweichungen hinweist. Da in jedem Scan genügend Zielmarken verteilt sind, war es nun kein Problem, in den Scans mit größeren Abweichungen die Zielmarken mit den größten

Fehlern aus den Einzelscans zu entfernen und die Registrierung neu zu starten. Nachdem bei jeder neuen Registrierung zwei bis drei der Zielmarken mit den größten Abweichungen entfernt wurden, konnte nach 14 Registrierungsdurchläufen ein sehr gutes und genaues Ergebnis erzielt werden, das auch dem Registrierungsbericht aus Anlage B entnommen werden kann und in Tabelle 5.2 dargestellt ist.

Scanpunktstatistiken		Zielstatistiken	
Maximaler Punktfehler	3,9 mm	Max.Abstandsfehler	34,6 mm
Mittlerer Punktfehler	1,2 mm	Durchschnittlicher Abstandsfehler	2,8 mm
Minimale Überlappung	34,8 %	Max. Horizontaler Fehler	24,0 mm
		Durchschnittlicher horizontaler Fehler	2,2 mm
		Max. Vertikaler Fehler	24,8 mm
		Durchschnittlicher vertikaler Fehler	1,4 mm

Tabelle 5.2: Endergebnis Registrierung

Der mittlere Fehler von 1,2 mm ist ein optimaler Wert und gibt einen allgemeinen Überblick über die Genauigkeit der Registrierung. Dieser Wert sollte jedoch nicht allein betrachtet werden, da mögliche grobe Fehler im mittleren Fehler nicht erkannt werden können. Hierfür ist der maximale Punktfehler von Bedeutung. Er ist mit einem Wert von 3,9 mm ebenfalls optimal und es kann damit festgestellt werden, dass die Registrierung erfolgreich und ohne Fehler durchgeführt werden konnte. Der maximale Fehler ist auch bei der Registrierung der entscheidende Wert, es kann davon ausgegangen werden, dass die gesamten Punktwolken auf mindestens 4 mm genau zueinander passen.

Die Mittelwerte der Zielstatistiken liegen im unteren Millimeterbereich und sind damit sehr gut und zeigen, dass die Zielmarken überwiegend sehr gut und mit optimaler Genauigkeit bestimmt werden konnten. Die Werte der maximalen Zielpunktstatistiken zeigen jedoch, dass mindestens eine Zielmarke mit bis zu 34,6 mm etwas ungenauer bestimmt wurde. Bei genauerer Betrachtung der Zielstatistik wird deutlich, dass eine Zielmarke, die in 3 verschiedenen Scans zu sehen ist, nicht optimal passt. In Abbildung 5.4 sind die Scanpositionen mit roten Pfeilen markiert und im grünen Kreis ist die Position der Zielmarke mit den Abweichungen zu sehen. Da für eine gute Registrierung immer möglichst Zielmarken in allen 4 Himmelsrichtungen verwendet werden, führt das Entfernen der Zielmarke in allen 3 Scans zu einer schlechteren Messkonfiguration und auch zu größeren Scanpunktfehlern. Aus diesem Grund wurde entschieden, die Zielmarke in der Registrierung zu belassen.

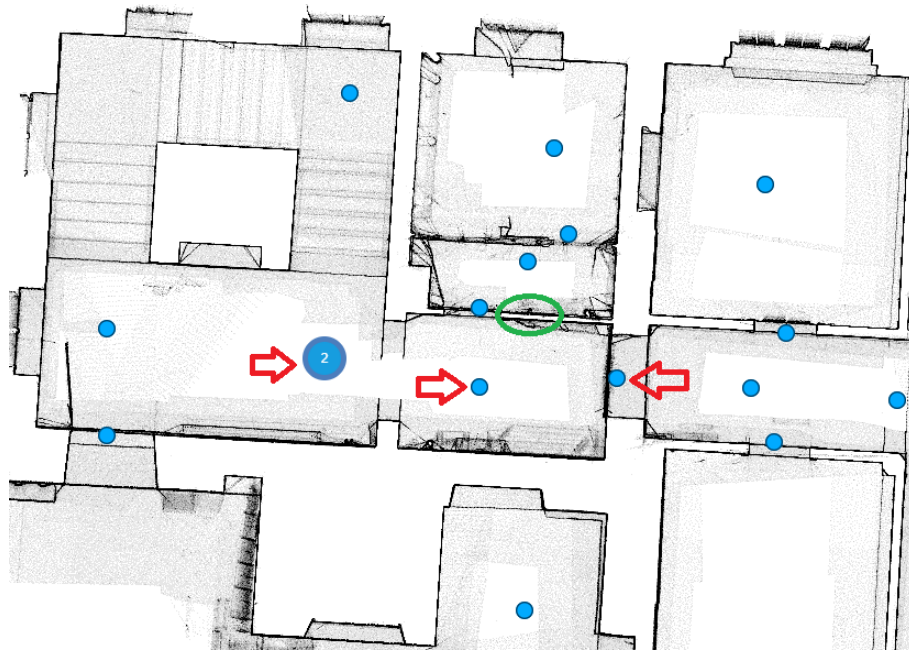


Abbildung 5.4: Grafische Darstellung der ungenauen Zielmarke

Im Gegensatz zur Cloud-to-Cloud-Registrierung, bei der eine hohe Überlappung von 50 % bis 90 % für die Registrierung erforderlich ist (Thiele, 2024), muss bei der zielmarkenbasierten Registrierung nicht auf eine hohe Überlappung geachtet werden. Es ist nur wichtig, dass sich genügend Zielmarken im Überlappungsbereich der Scans befinden. Dies führt in den meisten Fällen ohnehin zu einer Überlappung von mehr als 50 %. Auch ein minimaler Überlappungswert von 34,8 % ist für eine gute Registrierung völlig ausreichend. Dies ist auch die Ausnahme, da insgesamt nur 8 der 74 Scans eine Überlappung von weniger als 50 % aufweisen und alle anderen Scans mit mehr als 50 % eine hohe Überlappung aufweisen. Eine zu hohe Überlappung von mehr als 90 % ist auch nicht wirklich gut, da dies darauf hinweist, dass die Scans nahezu identisch sind und wahrscheinlich überflüssig sind und somit Zeit bei der Messung und Auswertung hätten gespart werden können. Zwischen den folgenden Scans gab es eine sehr große Überlappung:

- 85 und 78 (98,5 %),
- 23 und 22 (98,6 %),
- 24 und 22 (95,4 %) und
- 51 und 52 (95,4 %).

Es wäre also möglich gewesen, z.B. die Scans 78, 22 und 51 wegzulassen. Dies hätte ca. 15 min Messzeit gespart, sowie den Speicherplatz und damit die Rechenzeit etwas verringert. Da es sich bei der Messung aber um eine Bachelorarbeit und nicht um ein wirtschaftliches Projekt handelt und die Anfahrt zum Messobjekt etwas länger dauerte, wurde bei der Messung entschieden, lieber zu viel zu messen, dafür aber auch alle Ecken und kleine Details zu erfassen.

5.3.4 Bereinigen

Nach erfolgreicher Registrierung kann die Punktwolke bereinigt werden. Dies ist wichtig, um die weitere Bearbeitung zu erleichtern und unwichtige Punkte zu löschen. Zuerst werden grob alle Punkte außerhalb des Geschosses gelöscht, zu sehen in Abbildung 5.5. Danach kann noch jeder Scan einzeln etwas genauer bereinigt und alle weiteren unwichtigen Punkte, wie z.B. Punkte am Fenster, entfernt werden.

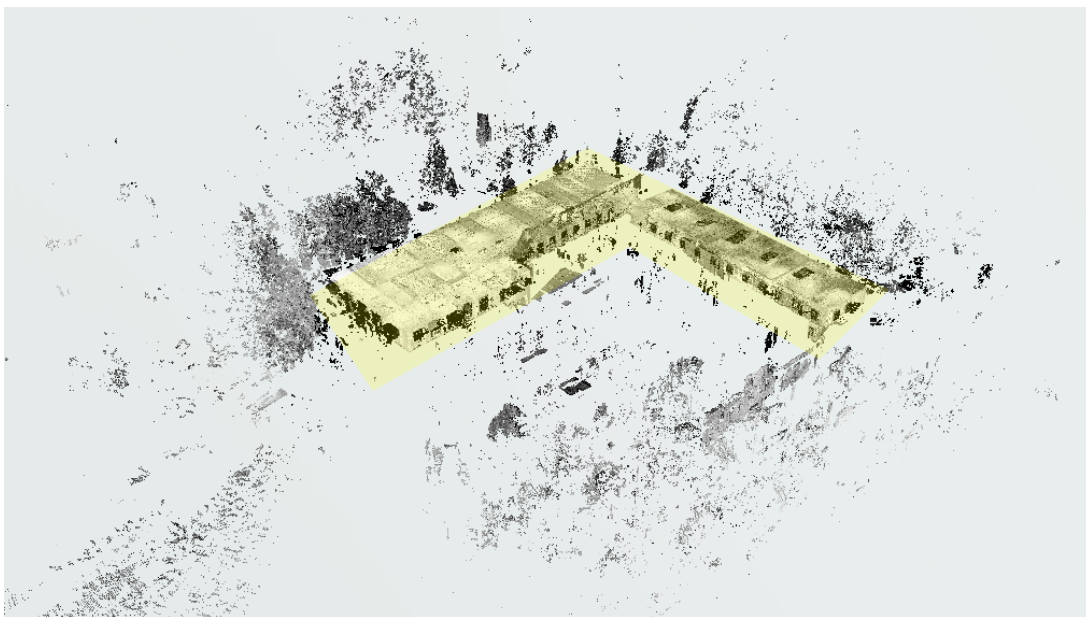


Abbildung 5.5: Bereinigen der registrierten Punktwolke

Das fertige registrierte und bereinigte 3D-Modell ist in Abbildung 5.6 abgebildet. Bei Bedarf könnte es jetzt noch farbig dargestellt werden. Dies ist jedoch für die Erstellung eines 2D-Grundrisses oder eines Vertikalschnittes nicht erforderlich und erhöht nur den Rechenaufwand und die Speicherkapazität.

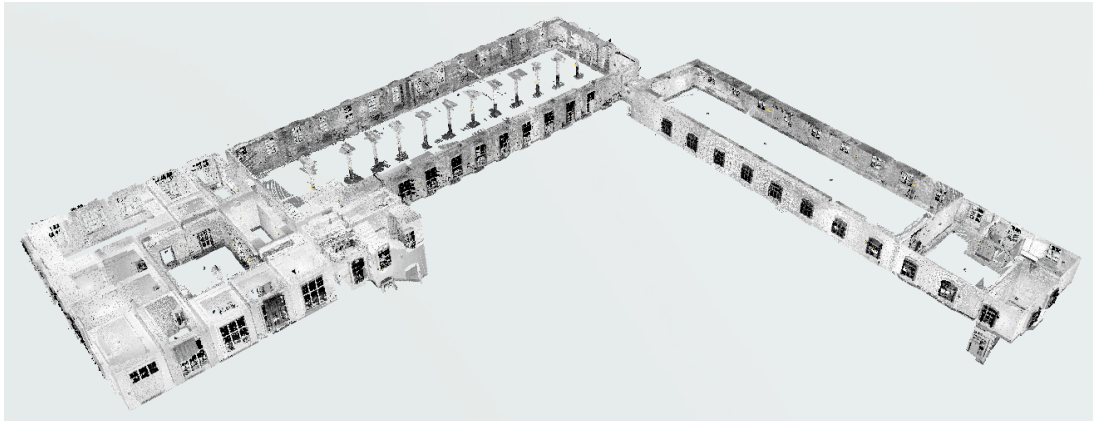


Abbildung 5.6: Ergebnis nach Bereinigen

5.3.5 Ergebnis

Nach der Registrierung und Bereinigung der Scans muss für die weitere Verarbeitung eine Scanpunktwolke erzeugt werden. Dies hat den Vorteil, dass eine bessere räumliche Datenstruktur in den Scans erzeugt wird, was für eine schnellere Visualisierung der 3D-Punkt wolke wichtig ist. Mit der Scanpunkt wolke kann dann eine Clipping Box erzeugt werden, diese schneidet das gesamte Modell in einer Ebene und erzeugt so eine grundrissähnliche Ansicht, zu sehen in Abbildung 5.7 Dies ist auch das Endprodukt der Scandaten und wird als .dxf Datei exportiert und als Grundlage für die Erstellung des Grundrisses in AutoCAD verwendet.

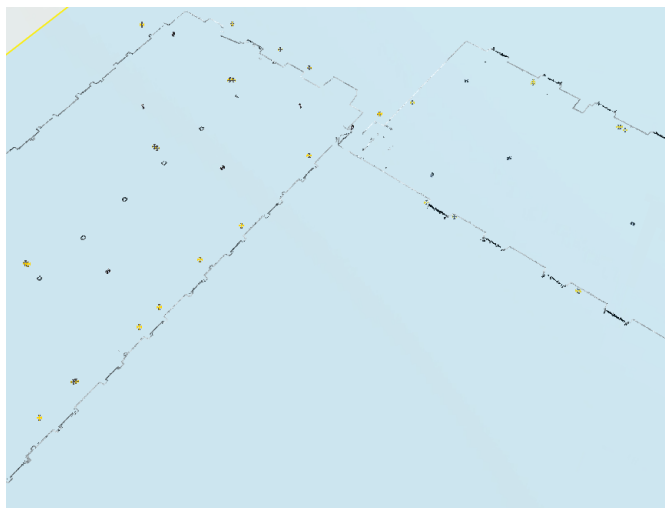


Abbildung 5.7: Clipping Box mit Punkt wolke für den Export

6 Datenaufnahme und -verarbeitung mittels photogrammetrischer UAV-Bildauswertung

6.1 Bildaufnahme

Die Befliegung der Gebäude erfolgte mit einer DJI Mini 3 pro Drohne der HTW Dresden. Die Drohne ist mit einer Kamera mit 1/1,3"CMOS Sensor und 48 Megapixel ausgestattet. Mit einem Gewicht von 248 g und einer Flugzeit von 34 min pro Akku ist sie für mittelgroße Projekte wie dieses gut geeignet (Wolf, 2022). Für eine gleichmäßige und effiziente Bildaufnahme wurde eine Flugplanung mit der Software Drohne Harmony durchgeführt, die leider am Tag der Aufnahmen aufgrund von Verbindungsproblemen zwischen Drohne und App nicht funktionierte. Daher wurden alle 688 Bilder manuell in einer Flugzeit von 2 Stunden aufgenommen. Die Anzahl ist durch die manuelle Aufnahmemethode etwas höher, um eine ausreichende Überlappung zu gewährleisten, damit die Bilder miteinander verknüpft werden können. Die vertikale und horizontale Überlappung der Einzelbilder liegt bei ca. 80 %, ist aber durch die manuelle Aufnahme nicht immer identisch, so dass die Überlappung manchmal etwas höher oder niedriger ausfällt. Um das gesamte Objekt gut und vollständig erfassen zu können, wurde, wie in Abbildung 6.1 zu sehen ist, einmal die Fassade (links), die Dachfläche (Mitte) und eine Schrägaufnahme von Dachkante und Fassade (rechts) aufgenommen.

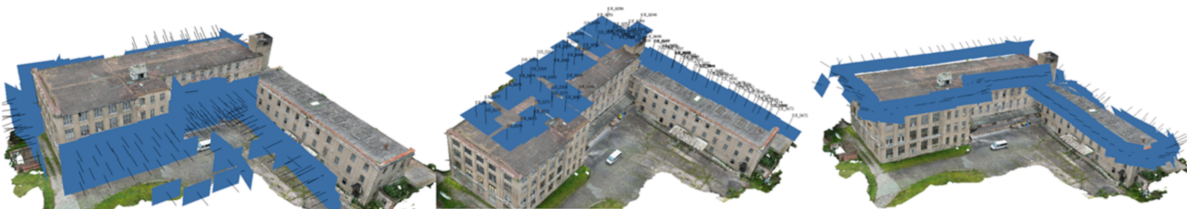


Abbildung 6.1: Position der Bilder

6.2 Auswertung mit Agisoft Metashape

Agisoft Metashape ist eine kommerzielle Software, welche in der Photogrammetrie eingesetzt wird. Agisoft ermöglicht die Umwandlung von Bildern in dreidimensionale räumliche Informationen in Form von Punktwolken, texturierten 3D-Modellen, Orthomosaiken, Digitalen Geländemodellen und Digitalen Oberflächenmodellen. Die Software findet Anwendung in den Bereichen Vermessung, Architektur, Denkmalpflege, Kartographie und Umweltmonitoring.

6.2.1 Bilder ausrichten

Im ersten Schritt werden alle Bilder aneinander ausgerichtet. Dazu ist eine hohe Überlappung von ca. 60 bis 80% notwendig. Agisoft Metashape zeigt dabei an, aus wie vielen Bildern ein Punkt berechnet wird. In Abbildung 6.2 ist zu sehen, dass für das gesamte Modell immer mehr als 9 Bilder zur Berechnung herangezogen werden konnten. Dies führt zu einer hohen Redundanz und einem guten Ergebnis. Für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Modells ist dies optimal, es zeigt aber auch, dass mehr Bilder als notwendig aufgenommen wurden, was zu einer längeren Berechnungs- und Messzeit führt und somit wirtschaftlich nicht optimal ist.

Insgesamt konnten 666 der 688 Bilder ausgerichtet werden. Einige wenige Bilder konnten nachträglich manuell über Verknüpfungspunkte ausgerichtet werden. Wenige Bilder konnten nicht ausgerichtet werden. Die nicht ausgerichteten Bilder führen zu den in Abbildung 6.3 rot dargestellten Lücken. Die Lücken befinden sich vor allem auf der Nordwestseite des zweiten Gebäudes, was darauf zurückzuführen ist, dass hier Bäume und Sträucher sehr nah an das Gebäude heranwachsen, so dass es nicht möglich war, Bilder aus ausreichender Entfernung mit der notwendigen Überlappung aufzunehmen. Der Grund für die Lücke im oberen Teil des kleineren Turms ist unklar, da es ein Bild der gesamten Fläche gibt, das auch ausgerichtet werden konnte, aber keine Verknüpfungspunkte liefert. Als Ergebnis der ausgerichteten Bilder erhält man zusätzlich eine dünne Punktwolke mit ca. 700 000 Punkten, die als Verknüpfungspunkte für die weiteren Berechnungen verwendet werden.

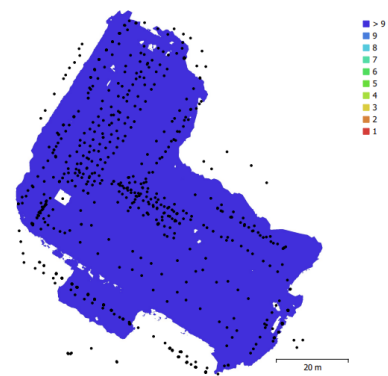


Abbildung 6.2: Kameraüberlappung

Um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der ausgerichteten Kameras zu analysieren, können die berechneten Fehler betrachtet werden, genauer die Fehler in Pixeln und Metern. Der Fehler in Pixeln (Reprojektionsfehler) gibt die relative Abweichung innerhalb der Bilddaten an und bewertet damit die Kameraausrichtung. Optimale Werte liegen hier bei unter einem Pixel. Dies trifft auf ca. 94 % der ausgerichteten Kameras zu. Lediglich einige wenige Kameras haben einen leicht erhöhten Pixelfehler bis 1,51 px. Dazu kommen noch 2 Kameras, die mit einem Fehler von 4,4 px und 5,4 px nicht so gut ausgerichtet werden konnten. Dies kommt daher, dass es sich hier um 2 der manuell über Passpunkte ausgerichteten Kameras handelt, welche nur über einige wenige nicht optimal verteilten Passpunkte orientiert werden konnten. Insgesamt liegt der Reprojektionsfehler bei 0,79 px, was bei einer Ground Sample Distance (GSD) von 3,2 mm ein optimales Ergebnis darstellt und somit die dünne Punktwolke als sehr gute Grundlage für die weiteren Bearbeitungsschritte anzusehen ist. Der Fehler in Metern ist nicht so entscheidend, da er die räumliche Genauigkeit in Bezug auf ein Koordinatensystem angibt. Er beträgt insgesamt 1,43 m, ist aber für die weitere Bearbeitung der Daten nicht entscheidend, da die relative Genauigkeit für die Flächenberechnung entscheidend ist.

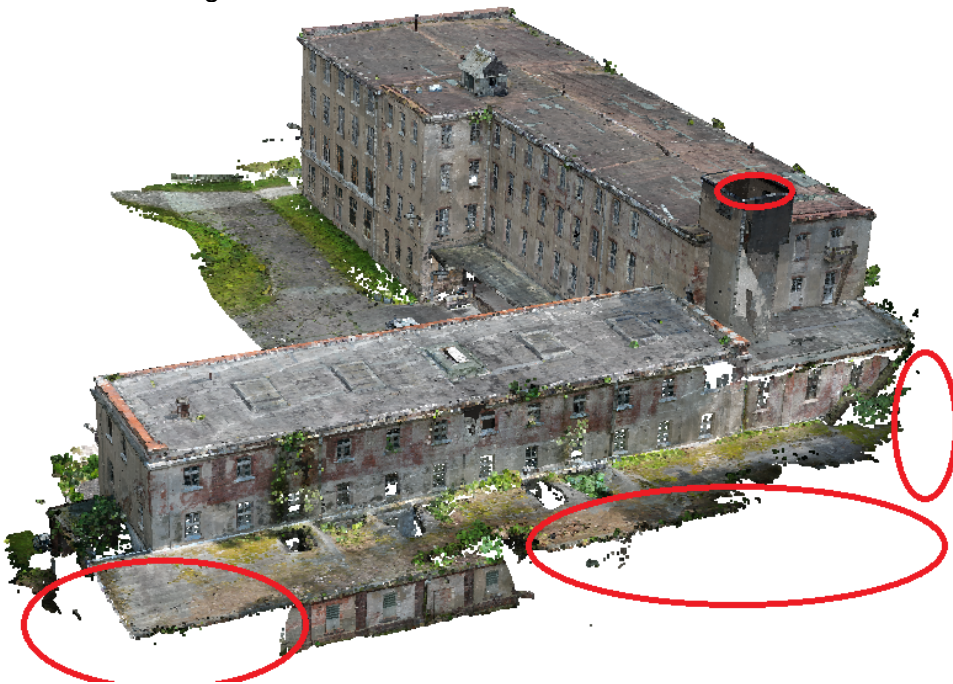


Abbildung 6.3: Lücken in der Punktwolke

6.2.2 Dichte Punktwolke

Im nächsten Schritt wird eine dichte Punktwolke erzeugt werden. Diese ist mit etwa 1 Mrd. Punkten sehr groß und nimmt viel Speicherplatz ein. Deshalb wird die Punktwolke noch bereinigt. Dafür werden zuerst alle Punkte, die außerhalb des interessanten Bereiches liegen, gelöscht. Im zweiten Schritt werden die Punkte nach den Konfidenzen gefiltert, diese geben an, wie zuverlässig und sicher ein Punkt bestimmt wurde. Alle Punkte mit einer schlechten Konfidenz

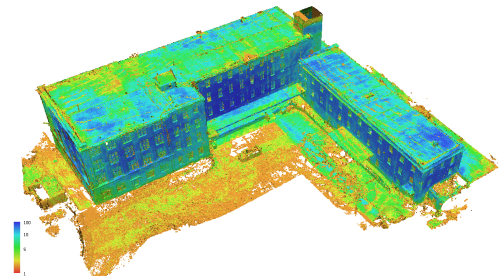


Abbildung 6.4: Konfidenzen der Punktwolke

von 1 wurden ebenfalls gelöscht. Das Ergebnis der Konfidenzen ist in Abbildung 6.4 zu erkennen. Hier ist auch sehr gut zu sehen, dass an den Stellen, wo sehr viele Bilder aufgenommen wurden, wie den Hausfassaden und dem Dach des rechten Hauses, die Zuverlässigkeit der Punkte etwas besser ist (Konfidenzen im blauen Bereich). Insgesamt ist die Qualität der Punktwolke sehr gut, für die Punkte der Gebäudehülle liegen die Konfidenzen zum großen Teil über 5.

Nach der Bereinigung ist die Größe der Punktwolke bei ca. 700 Millionen Punkten, was noch etwa das 100-fache an Punkten im Vergleich zur dünnen Punktwolke ist. Dies lässt sich auch optisch in Abbildung 6.5 erkennen. So sind jetzt alle kleineren weißen Lücken der dünnen Punktwolke geschlossen.



Abbildung 6.5: dünne (links) und dichte Punktwolke (rechts)

Vor dem nächsten Schritt wurde die Punktwolke einmal als .e57 Datei exportiert und mit der Open Source Software CloudCompare weiterverarbeitet, um eine Punktwolke mit der äußeren Hülle für die Bearbeitung in AutoCAD zu erhalten.

6.2.3 Vermaschen der Punktwolke

Im nächsten Verarbeitungsschritt wird auf Basis der Punkte aus der dichten Punktwolke eine Vermaschung durchgeführt. Aus den Punkten wird eine Dreiecksvermaschung berechnet, die aus Punkten, Kanten und Flächen besteht. Dadurch entsteht ein vermaschtes Modell. Ebenso wurden aus der Punktwolke wieder weitere kleinere Lücken geschlossen, was wiederum ein visuell besseres Ergebnis liefert. Dies ist in Abbildung 6.6 zu sehen. Dieser Schritt ist sehr rechenintensiv, was bei einem Projekt mit 700 Millionen Punkten zu einer Überlastung der CPU führen kann. Aus diesem Grund wurde nicht die höchste Vermaschungsqualität gewählt, da die Rechner der HTW dies nicht leisten können.

Die Qualität der Vermaschung kann wieder anhand der Konfidenzen beurteilt werden. In Abbildung 6.7 zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der dichten Punktwolke: beim Gebäude, wo viele Bilder vorhanden sind, ist das Ergebnis gut und beim Hof, wo nur wenige Bilder vorhanden sind, sind die Konfidenzen schlechter. Da die Generierung nicht mit der höchsten Qualität durchgeführt werden konnte, liegen die Konfidenzen hier eher im mittleren grünen Bereich. Dies ist für die Flächenberechnung und die Erstellung einer visuellen Animation aber mehr als ausreichend.

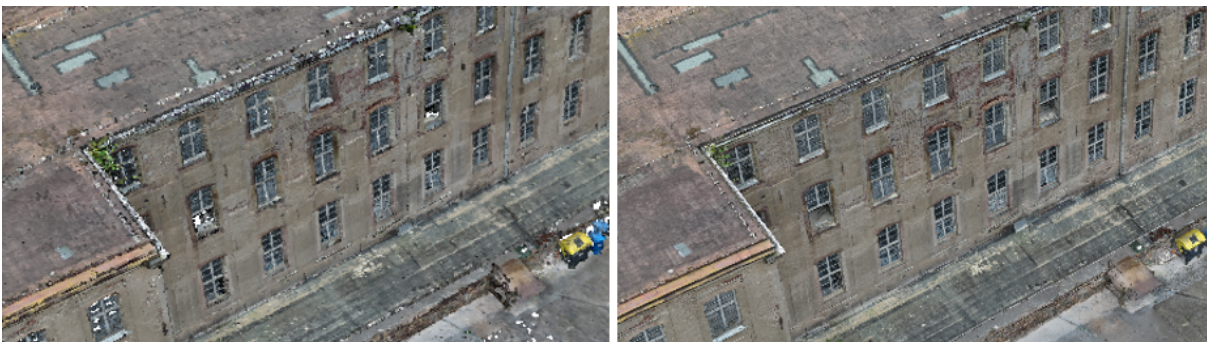


Abbildung 6.6: Vergleich der dichten Punktwolke (links) und dem vermaschten Modell (rechts)

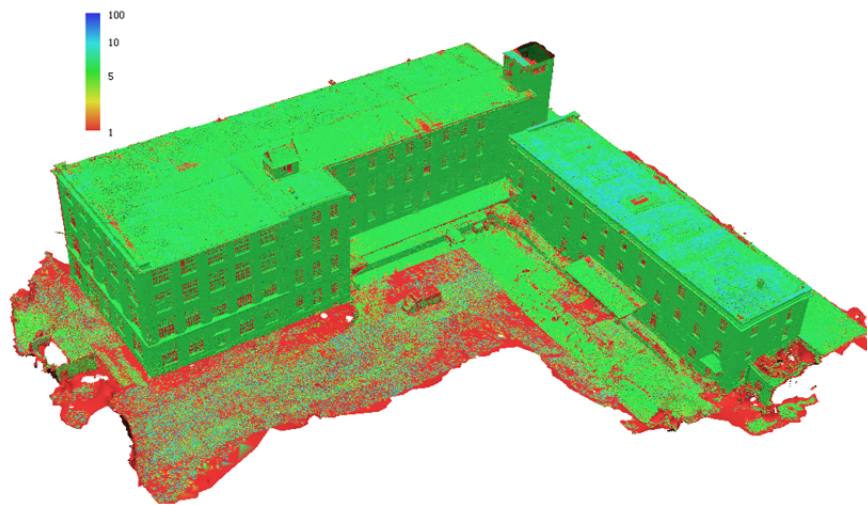


Abbildung 6.7: Konfidenzen des vermaschten Modells

6.2.4 Texturierung

Der letzte Schritt ist die Texturierung des Netzmodells. Dazu werden die 2D-Texturen der aufgenommenen Bilder auf die Oberflächen des vermaschten Modells projiziert. Das Ergebnis ist ein texturiertes Modell mit einer ansprechenden visuellen Qualität. Die Unterschiede liegen hauptsächlich in den kleinen Details, wie z.B. den Fenstern und der Vegetation. Dies ist zu sehen in Abbildung 6.8. Wenn das Objekt als Ganzes betrachtet wird, sind die Unterschiede zwischen dem texturierten Modell und dem normalen Modell kaum zu erkennen.



Abbildung 6.8: Vergleich des vermaschten Modells mit Textur (rechts) und ohne Textur (links)

6.2.5 Orthomosaik

Das Orthomosaik, zu sehen in Abbildung 6.9, konnte erfolgreich aus dem vermachten 3D-Modell erstellt werden und zeigt die Dachflächen maßstabsgetreu und entzerrt. Daraus wurden Polygone der Dachflächen erstellt und deren Flächen berechnet, mit den Werten in Tabelle 6.1.

Dachpolygone	1	2	3	4	gesamt
Fläche in m^2	1091,70	512,08	101,29	543,97	2249,0
Kantenlänge in m	169,54	113,33	53,21	144,95	292,27
Flächenunsicherheit in m^2	0,54	0,36	0,17	0,46	0,94

Tabelle 6.1: Werte der Dachflächen

Die Qualität des Orthomosaiks hängt davon ab, wie genau das Modell ist, aus dem das Orthomosaik berechnet wurde, also wie genau die Bildausrichtung durchgeführt werden konnte und wie gut die dichte Punktwolke und das vermaschte Modell berechnet werden konnten. Die Bildausrichtung konnte mit sehr zufriedenstellender Genauigkeit durchgeführt werden (Kapitel 6.2.1). Die Genauigkeit der dichten Punktwolke und des vermaschten Modells ist auch im optimalen Bereich, zu sehen jeweils an den Konfidenzen (Kapitel 6.2.2 und 6.2.3). Daraus konnte das Orthomosaik ebenfalls mit guter Genauigkeit berechnet werden. Ein Parameter, der die Genauigkeit des Orthomosaik beschreibt, ist die Ground Sampling Distance (GSD), diese gibt die reale Größe eines Pixels in der Realität an. Mit einem GSD-Wert von 3,12 mm ist die Genauigkeit des Mosaiks für die Berechnung der Fläche gut geeignet. Mit der Gleichung 6.1 kann aus der GSD und der Kantenlänge die Flächenunsicherheit des Polygons berechnet werden.

$$\text{Flächenunsicherheit} = \text{Kantenlänge des Polygons} * \text{GSD} \quad (6.1)$$

Mit ca. $1 m^2$ Flächenunsicherheit ist dies ein sehr gutes Ergebnis. Es ist jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da die Polygone manuell gezeichnet wurden, was dazu führen kann, dass eine Ecke oder Kante nicht pixelgenau angeklickt wurde. Dadurch ist die tatsächliche Flächenunsicherheit etwas höher als der berechnete Wert von $1 m^2$. Hinzu kommt, dass in Polygon 4 die linke Dachecke aufgrund nicht orientierter Bilder nicht im Mosaik enthalten ist und nur über die Verlängerung der bekannten Geraden konstruiert wurde, was zu weiteren Unsicherheiten führen kann.



Abbildung 6.9: Dachpolygone im Orthomosaik

7 Erstellen eines CAD Grundrisses mit AutoCAD

7.1 Scanpunktwolke importieren und ausrichten

Abbildung 7.1 zeigt die beiden importierten und bereits ausgerichteten Punktwolken im westlichen Bereich der Spinnmühle. Die Punktwolken wurden zunächst optisch aneinander ausgerichtet, wobei sich an den Ecken sowie den Fensteröffnungen orientiert wurde. Nachdem so eine erste grobe Ausrichtung erfolgte, wurde diese mit Messwerten kontrolliert und optimiert. Dazu wurden die Wandstärken verwendet, die mit dem Zollstock an den Fensteröffnungen ermittelt wurden. Daraus ergibt sich, dass die Genauigkeit hier nur im Zentimeterbereich liegt, da die gemessenen Wandstärken mit dem Zollstock nur auf 1 bis 2 cm genau bestimmt werden konnten.

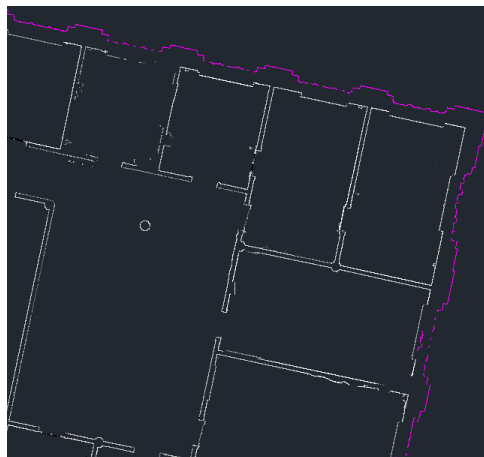


Abbildung 7.1: Punktwolken: Innenräume aus Faro Scene (weiß) und die Außenwand aus Agisoft Metashape (rosa)

7.2 Kleinigkeiten Bereinigen

Da AutoCAD mit zu großen Punktwolken nicht sehr performant arbeitet, wurde die Punktwolke nochmals bereinigt und einige nicht benötigte Punkte entfernt. Ein Beispiel ist in Abbildung 7.2 zu sehen. Da es keine perfekte Schnittlinie über das gesamte Stockwerk gibt, kommt es vor, dass an einigen Stellen im Schnitt die Wand verdeckt ist und fehlerhafte Linien davor liegen.

So lag hier im Scan ein Hindernis vor der Wand, das genau in der Schnittlinie liegt. Diese sind nicht weiter schlimm, können aber neben einer schlechteren Performance auch zu Verwirrung in der Weiterverarbeitung führen, weshalb solche Punkte vor der Weiterverarbeitung entfernt wurden.



Abbildung 7.2: Links ist die CAD Darstellung vor und in der Mitte nach der Bereinigung zu sehen

7.3 Grundriss zeichnen

Dies ist der wesentliche Schritt in AutoCAD zur Erstellung des Grundrisses und der Flächenberechnung. Da keine verformungsgetreue Darstellung des Gebäudes erforderlich ist, wurde hier an einigen Stellen abstrahiert und nicht jede Linie millimetergenau nach den Scandaten gezeichnet. So wurden z.B. alle Säulen in der großen Halle mit den gleichen Maßen von 20 cm Breite gezeichnet, obwohl einige Säulen 19,5 oder 20,5 cm breit sind. Mögliche Gründe für diese Abweichungen sind Verformungen des Objekts, abblättrender Putz oder die Genauigkeit der Scandaten. Erst wenn die Abweichungen 2 cm oder mehr betragen, wurde dies in der Zeichnung berücksichtigt. In den folgenden Beispielen wurde weiter abstrahiert:

- Wand hat immer die gleiche Stärke,
- Wand verläuft als gerade Linie,
- Rechtwinkligkeit der Räume wurde angenommen, wenn nicht deutliche Abweichungen aus den Scandaten erkennbar sind,
- gleiche Fenster haben gleiche Maße,
- gleiche Türen haben gleiche Maße,
- Außerdem wurden alle Maße auf ganze Zentimeter gerundet.

Nachdem zuerst die Außenwand und dann die einzelnen Räume konstruiert wurden, wurden Elemente wie Fenster, Türen und Treppen in den Grundriss eingefügt, um den Grundriss vollständig und verständlich zu machen. Auch wenn diese für die Flächenberechnung nicht relevant sind. Um Lücken im Grundriss zu vermeiden, wurde bei den beiden Aufzügen ein Raum mit einer gestrichelten Linie eingefügt und ebenfalls mit einer Fläche berechnet. Diese Werte sind nur Näherungswerte, da die Innenmaße der Aufzüge nicht gemessen werden konnten, da kein Schlüssel für die Tür zur Verfügung stand.

7.4 Schraffuren hinzufügen und berechnen

Nach Abschluss der Grundrissmodellierung wurde die Fläche von jedem Raum und berechnet, sowie die Bruttogeschossfläche (BGF) für das gesamte Geschoss. In Tabelle 7.1 sind die Raumflächen und in Tabelle 7.2 die BGF-Flächen, berechnet aus den Grundriss und dem Orthomosaik dargestellt. Die geringen Unterschiede sind auf die Fensterausbuchtungen in Abbildung 7.3 in Rot dargestellt zurückzuführen, da diese im Grundriss nicht in die Fläche einberechnet werden, im Dachpolygon aber schon.



Abbildung 7.3: Grund für geringe Flächenunterschiede

Raumbezeichnung	Fläche in m^2
Halle 1	339,43
Halle 2	553,57
Raum 1	90,55
Raum 2	7,33
Raum 3	2,61
Raum 4	12,59
Raum 5	11,23
Raum 6	11,12
Raum 7	17,6
Raum 8	17,68
Raum 9	24,56
Raum 10	63,73
Raum 11	23,17
Raum 12	24,4
Raum 13	24,93
Raum 14	7,15
Raum 15	14,44
Raum 16	73,81
Treppenhaus 1	18,27
Treppenhaus 2	29,64
Fahrstuhl 1	6,86
Fahrstuhl 2	2,87
Gesamtraumfläche	1377,54

Tabelle 7.1: Raumflächen

Abschnitt	Fläche aus Grundriss (in m^2)	Fläche aus Orthomosaik (in m^2)
BGF Gesamt	1600,85	1603,78
BGF Haus 1	1090,98	1091,70
BGF Haus 2	509,87	512,08

Tabelle 7.2: BGF aus Grundriss und Orthomosaik

8 Ergebnisse und Ergebniseinschätzung

Aus den aufgenommenen Daten konnte der visuelle Überflug, das Orthomosaik sowie die Grundrisse und Schnitte erstellt werden. Die Pläne befinden sich in Anhang A. Insgesamt wurden ein Gesamtplan im Maßstab 1:250 (A3) und ein Plan für die Häuser 1 und 2 im Maßstab 1:125 (A3) erstellt. Zur besseren Übersicht wurde jeder dieser Pläne einmal ohne Flächen, einmal mit Bruttogeschossfläche (BGF) und den einzelnen Raumflächen dargestellt. Die beiden Vertikalschnitte gehen jeweils durch die großen Hallen der beiden Häuser und sind im Maßstab 1:100 (A4) dargestellt.

8.1 Wirtschaftlichkeit/Zeit

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit wird in diesem Kapitel vor allem auf die Dauer der Messverfahren eingegangen. Dies ist der wichtigste Faktor bei der Beurteilung, ob das verwendete Messverfahren sinnvoll gewählt wurde und für ähnliche Aufgaben empfohlen werden kann. In der Tabelle 8.1 sind die Zeiten für die einzelnen Arbeitsschritte eingetragen. Es handelt sich um ungefähre Zeiten, die nicht auf die Minute genau sind.

	Laserscanning	UAV	AutoCAD	Summe
Außendienst	10	3		13
Fahrtzeit	6	3		9
Innendienst	10	7	35	52
Probleme	8	4	10	22
Rechenzeit	4	50		54

Tabelle 8.1: Arbeitszeit in Stunden

Die Zeiten sind als ungefähre Richtwerte für ein Projekt dieser Größenordnung zu sehen, ich bin aufgrund meines Studiums vor allem in den theoretischen Grundlagen mit einigen praktischen Kenntnissen geschult und kein Experte mit viel Berufserfahrung im Bereich Laserscanning oder AutoCAD-Modellierung. So würde jemand mit mehr Erfahrung vor allem die Modellierung mit AutoCAD wahrscheinlich in kürzerer Zeit durchführen können. Hinzu kommt der zusätzliche Zeitaufwand für Probleme, die als zusätzliche Kategorie gewählt wurden, da sie nicht unbedingt

auftreten müssen. Zum Teil ist diese Zeit durch z.B. falsche Einstellungen meinerseits entstanden. Aber auch durch Programmabstürze, aufgrund der großen Datenmengen. Da sowohl Faro Scene, als auch Agisoft Metashape leider immer wieder Berechnungen starten und erst nach der Hälfte oder kurz vor Ende der Rechenzeit, aufgrund von zu wenig Speicherplatz, diese wieder abbrechen. Dies liegt daran, dass für die Erstellung mancher Schritte ein extrem hoher Zwischenspeicher benötigt wird (bis zum 7-fachen der Projektgröße) oder die Auslastung der CPU bzw. des Arbeitsspeichers nicht ausreicht.

Insgesamt ist eine Arbeitszeit (Innen + Außendienst) von 96 Stunden für ein Projekt wie dieses durchaus im erwartbaren Bereich und auch das Verhältnis von etwa 1/4 Messen und 3/4 Auswertung ist normal für Laserscanprojekte.

Trotzdem könnten bei einer Wiederholung des Projektes einige Kleinigkeiten angepasst und verbessert werden, um Zeit und im Falle eines bezahlten Projektes auch Geld zu sparen. Für alle 74 Scanstandpunkte wurden neben der Punktwolke auch Panoramabilder aufgenommen, aus denen Farbinformationen abgeleitet werden können. Die Farbinformation wurde im gesamten Projektverlauf nicht benötigt und die Bilddaten sind zwar gut, um bei eventuellen Unsicherheiten in der Auswertung eine optische Kontrolle zu haben, aber nicht zwingend notwendig. Die Vermessung der Bilder mit Farbinformation nimmt pro Scan ca. 2 Minuten in Anspruch, was bei 74 Scans eine Zeitersparnis von ca. 150 Minuten ergibt. Hinzu kommen die bereits in Kapitel 5.3 erwähnten Scanstandpunkte, die aufgrund der extrem hohen Überlappung nicht notwendig gewesen wären und somit nochmals ca. 15 min an Messzeit eingespart hätten. Ebenso könnte es sein, dass statt eines terrestrischen Laserscanners (TLS) der Einsatz eines mobilen Laserscanners (MLS) noch effizienter gewesen wäre. Bei einem mobilen Scanner steht der Scanner nicht auf einem Stativ, sondern ist in ständiger Bewegung. Für Innenräume wäre ein personal Laserscanner (PLS), der von einer Person getragen wird, am besten geeignet. Damit würde man einmal mit langsamer Schrittgeschwindigkeit durch das gesamte Geschoss gehen, während der Scanner permanent die Umgebung scannt. Dies würde die Messdauer nochmals erheblich verkürzen bei geringen Einbußen in der gemessenen Punktdichte und Genauigkeit. Dies müsste also im Vorfeld gut überlegt werden, aber für das Geschoss der Spinnmühle wäre die Genauigkeit eines PLS durchaus ausreichend.

Um in der Auswertung effizienter zu arbeiten, ist lediglich die automatisierte Auswertung der Scandaten zu erwähnen, diese ist theoretisch in Faro Scene möglich, funktioniert aber wie in Kapitel 5.3 erläutert, nicht zuverlässig genug für eine effiziente Nutzung.

Etwas anders verhält es sich mit dem Zeitaufwand für die UAV-Befliegung und die photogrammetrische Auswertung, hier entfällt etwas weniger als 3/4 der Gesamtzeit auf die Rechenzeit, diese ist aber nicht so relevant, da hier für jeden Arbeitsschritt die Berechnung über Nacht durchgeführt wurde und somit fast keinen Aufwand darstellt.

Die Messzeit ist mit 3 Stunden sehr kurz und auch die Zeit für die Datenaufbereitung ist im Vergleich zu anderen Verfahren wie z.B. dem Laserscanner sehr gering. Somit ist SfM vom zeitlichen Aufwand her ein sehr gutes Verfahren und gerade für die Aufnahme von Gebäudefasaden und Dachflächen sehr gut geeignet. Verbesserungen wären hier nur eine funktionierende Flugplanung gewesen, die die Flugzeit um einige Minuten verkürzt hätte, sowie eine effizientere Bildverteilung mit weniger Bildern zur Folge hat. Dies hätte wiederum die Rechenzeit reduziert. Dafür muss bei einer Flug mit der Drohne deutlich mehr auf die Äußeren Umweltbedingungen geachtet werden. So musste vor dem Start der Befliegung ca. 2 Stunden wegen leichtem Regen gewartet werden. Zu starke Winde machen es ebenso unmöglich mit einer Drohne zu fliegen. Dazu kommt, dass bei zu starker Sonneneinstrahlung die Bilder durch Hitzeflimmern verzerrt werden können. Optimale Bedingungen sind hier leichte Wolken, eine Temperatur von ca. 18°C und kein Wind.

Am Tag der Befliegung der Spinnmühle waren die Bedingungen gut (leicht bewölkt, ca. 22°C und leichter Wind), ein Problem durch die Befliegung im Sommer ist jedoch die Vegetation. Im Winter wäre es einfacher gewesen, bessere Bilder, von dem stark bewachsenen Teil des Gebäudes zu erhalten, was das Problem der nicht orientierten Bilder vereinfachen würde. Des weiteren wäre an den Stellen mit Vegetation im Winter mit einem visuell leicht besseren Ergebnis zu rechnen. Im Winter müssen aber die oft schlechteren Lichtverhältnisse und die Nachteile der Lichtreflexion und Verdeckung von wichtigen Elementen durch Schnee und Eis berücksichtigt werden.

Im folgenden Abschnitt wird ein kurzer Vergleich des Zeitaufwandes von Laserscannern mit dem klassischen Vermessungsinstrument Tachymeter angestellt. Da keine Messungen mit einem Tachymeter durchgeführt wurden, basiert der Vergleich lediglich auf meinen eigenen Vorerfahrungen, da ich im Rahmen meiner Tätigkeit im Vermessungsbüro bereits ein ähnliches Projekt wie dieses mit einem Tachymeter durchgeführt habe. Die beiden wesentlichen Unterschiede der beiden Messverfahren liegen zum einen in der Art und Weise, wie die Messpunkte aufgenommen werden, ein Laserscanner nimmt pro Standpunkt mehrere Millionen Punkte auf, von denen am Ende nur ein sehr kleiner Bruchteil wirklich wichtig ist. Während ein Tachymeter nur wenige

Messpunkte (10 bis 100) aufnimmt, die alle relevant sind. Der zweite Unterschied liegt in der Orientierung der einzelnen Standpunkte. Während beim Laserscanner die Registrierung nach der Messung erfolgt, wird bei einer Messung mit dem Tachymeter jeder einzelne Standpunkt relativ aufwändig über Passpunkte im Gelände orientiert. Aufgrund dieser Unterschiede im Messverfahren kann davon ausgegangen werden, dass sich die reine Messzeit mit einem Tachymeter etwa verdreifacht. Im konkreten Fall wären dies statt 10 Stunden 30 Stunden und durch die zusätzlichen Fahrzeiten kämen noch einmal 3 Stunden pro Messtag hinzu. Das bedeutet eine Gesamtmessdauer von 6 Arbeitstagen zu je 8 Stunden (48 Stunden, davon 30 Stunden Messzeit und 18 Stunden Fahrtzeit). Die Zeit für die Datenaufbereitung entfällt und es kann direkt mit der AutoCAD-Modellierung begonnen werden, so dass die 20 Stunden Bearbeitungszeit in Faro Scene entfallen. Der Zeitaufwand für die Modellierung ist prinzipiell sehr ähnlich, nur würde ich sagen, dass aufgrund der Anzahl der Messpunkte die Modellierung mit weniger Messpunkten etwas übersichtlicher und somit auch schneller ist. Dies würde sich aber mit ca. 2 Stunden nicht allzu sehr auswirken, da dies auch von Bearbeiter zu Bearbeiter unterschiedlich sein kann. Insgesamt ist der Laserscanner nach diesen Zahlen dann in der Datenaufnahme um 32 Stunden schneller und in der Auswertung um 20 Stunden langsamer, was eine Differenz von 12 Stunden ergibt. Somit war der Laserscanner im konkreten Beispiel rein zeitlich gesehen die bessere Wahl. Dies liegt aber auch zu einem großen Teil an der Fahrtzeit von 3 Stunden pro Messtag. Rechnet man die Fahrtzeit heraus, so ist der Zeitaufwand für beide Messgeräte gleich. Zusammenfassend kann man sagen, dass der Laserscanner doch zeiteffizienter ist als eine Messung mit dem Tachymeter, vor allem wenn durch die kürzere Messdauer auch lange Fahrten eingespart werden. Anders sieht es aus, wenn eine Georeferenzierung gefordert wird, diese ist mit einem Scanner alleine nicht möglich und erfordert zumindest für den Lagebezug in einem übergeordneten Koordinatensystem eine Tachymetermessung. Hier könnte dann eine Kombination der Messverfahren am geeignetsten sein, wie auch von Grussenmeyer u. a. (2008) und Hassan und Fritsch (2019) festgestellt.

8.2 Genauigkeit

Die Gesamtgenauigkeit des fertigen Endproduktes hängt, wie in Kapitel 4.2.4 nach (Heinz u. a., 2018) schon beschrieben wurde, von den folgenden 3 Größen ab:

1. 3D-Punktgenauigkeit der Scans,
2. Genauigkeit von Registrierung/Georeferenzierung und
3. Auswahl des Modellierungsansatzes.

Für die Messung selbst lagen sehr gute Bedingungen vor, es konnte mit niedrigen Entfernungen gescannt werden und da ausschließlich in Innenräumen gemessen wurde, sind atmosphärische Einflüsse zu vernachlässigen. Auch das Messobjekt selbst weist mit Ausnahme der Fenster, welche aufgrund der Reflexionseigenschaften von Glas nicht so einfach zu scannen sind, hinsichtlich Material und der Beschaffenheit keine größeren zu erwartenden Unsicherheiten auf. Daher kann für die 3D-Punktgenauigkeit die Angabe des Herstellerangaben entnommen werden, laut Faro hat der Fokus S150 bei einer Entfernung von 10 m eine 3D-Punktgenauigkeit von ± 2 mm. Dies gilt aber nur für ein Sigma (68,27 % der Messpunkte). Somit ist die 3D-Punktgenauigkeit für 2 Sigma (95,45 % der Messpunkte) bei ± 4 mm und für 3 Sigma (99,73 % der Messpunkte) bei ± 6 mm.



Abbildung 8.1: Punktfehler in AutoCAD

In der Punktwolke in AutoCAD ist der Punktfehler in Abbildung 8.1 optisch sehr gut zu erkennen. Alle zu einer Wand gehörenden Punkte liegen auf einer erkennbaren Linie von ca. 5 mm Breite. Dies liegt zum einen daran, dass die Wand in der Realität nie 100 % gerade sein wird, sondern immer kleine Abweichungen aufweisen wird. Ein zweiter Faktor ist die Punktgenauigkeit, denn selbst wenn die Wand zu 100 % perfekt gerade wäre, wird sie aufgrund der Punktgenauigkeit der Messung nicht als perfekte Wand gemessen, sondern weist kleine Abweichungen im Bereich der Punktgenauigkeit auf.

Für die Registriergenauigkeit können die Werte der Tabelle 5.2 im Kapitel 5.3.3 (Registrierung) verwendet werden. Dabei ist der Maximale Punktfehler mit 3,9 mm der entscheidende Wert, der die Gesamtgenauigkeit der Registrierung darstellt. Die meisten Scans konnten zwar mit ca. 1,2 mm etwas besser registriert werden, wie der mittlere Punktfehler zeigt, aber um auf Nummer sicher zu gehen und alle Abweichungen mit anzugeben, wird immer der Maximalwert der Abweichungen, also 3,9 mm, als Ergebniswert angegeben.

Die Genauigkeit des Modellierungsansatzes ist nicht so einfach festzulegen. Eine Unsicherheit besteht darin, dass es aufgrund der Ungenauigkeit der einzelnen Messpunkte keine klar definierten Linien gibt, vielmehr ist es immer so wie in Abbildung 8.1 wo die Linie eine Breite von ca. 5 mm hat. Daher wurde versucht, alle Linien etwa in der Mitte dieser 5 mm zu platzieren, was zu geringfügigen Abweichungen im Millimeterbereich führen kann. Hinzu kommt, dass aufgrund der Anforderungen an das Messergebnis an einigen Stellen Abstraktionen vorgenommen wurden, wie in Kapitel 7.3 erläutert. Die Genauigkeit der Modellierung ist daher mit bis zu 2 cm etwas ungenauer, erfüllt aber die Anforderungen an das Ergebnis. Eine genauere Beurteilung ist an dieser Stelle schwierig, da es keine Referenzdaten gibt, die für eine detailliertere Einschätzung herangezogen werden könnten. Ein Vergleich ist nur zwischen der berechneten Bruttogeschossfläche aus den Punktdaten und dem Orthomosaik möglich. Diese ist mit einer Fläche von 1600,8 m² und 1602,5 m² nahezu identisch, der geringe Unterschied ist auf die Fensteröffnungen, sowie die Flächenunsicherheit der Flächenberechnung und den Punktfehler der Punktwolke zurückzuführen.

Ein bisher nicht berücksichtigter Fehler ist der sogenannte Schleifenschlussfehler, der auftritt, wenn eine größere Anzahl von Scans in einer Reihe hintereinander gemessen wird, ohne dass diese Reihe am Ende wieder geschlossen wird. Dadurch kann sich ein Fehler (insbesondere ein

Winkelfehler) immer weiter fortpflanzen und zu größeren Abweichungen führen (Haring, 2007). Abbildung 8.2 zeigt dies schematisch.

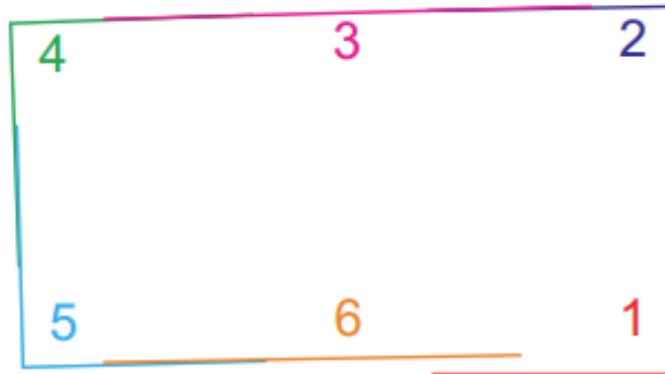


Abbildung 8.2: Schleifenschlussfehler schematische Darstellung (Haring, 2007)

„Ausgehend von Scan 1, werden die nachfolgenden Scans jeweils relativ zum vorhergehenden orientiert. Dabei akkumulieren sich die Fehler der Relativorientierungen, was am Ende der Schleife zu beträchtlichen Klaffungen (hier zwischen Scan 6 und Scan 1) führen kann“ (Haring, 2007, S.40). Hier sollte noch eine Verknüpfung zwischen Scan 1 und 6 durchgeführt werden. Dann verteilt sich der Gesamtfehler auf die einzelnen Scans und es entsteht kein großer Restfehler wie zwischen Scan 6 und 1.

Abbildung 8.3 zeigt, wie dies für das Geschoss der Spinnmühle aussieht. Bei der Messung war es nicht möglich, eine Schleife zwischen Anfang und Ende der Messung zu bilden. In grün ist dargestellt, wie eine Schleife für einen kleinen Teil des Projektes aussieht, alle Räume im rechten Teil wurden nacheinander gescannt, so dass Anfangs- und Endscan miteinander verbunden werden konnten und die Schleife geschlossen ist. Da dies für das gesamte Projekt nicht der Fall ist, ergibt sich vor allem bei der Verbindung zwischen den Gebäuden ein Problem. Tritt im Verbindungsscan (orangene Markierung) zwischen den Hallen ein kleiner Winkelfehler auf, so kann dieser nicht korrigiert werden und wird im schlimmsten Fall durch Fortpflanzung von Scan zu Scan immer etwas größer, so dass im schlimmsten Fall das gesamte Gebäude um einen kleinen Winkel „gedreht“ ist. Bei einer Länge des Gebäudes von fast 45 m kann sich da schon ein kleiner Fehler von wenigen Milligon auf die Gesamtstrecke mit Abweichungen von mehreren Zentimetern bis Dezimetern auswirken. Das Gebäude würde dann z.B. wie in rot dargestellt aussehen. Um diesen so gering wie möglich zu halten, wurde der Scan, der die beiden Gebäude

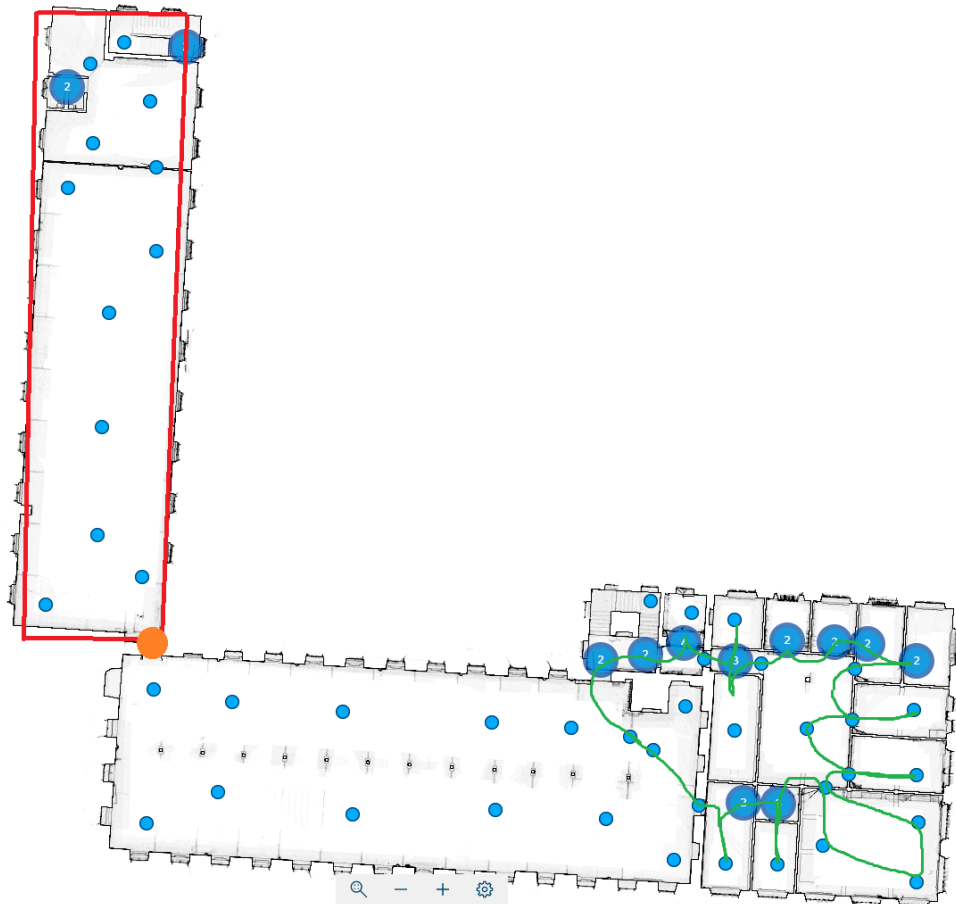


Abbildung 8.3: Problem des Schleifenschlussfehlers in den Scandaten

verbindet, mit einer höheren Auflösung und Qualität gescannt. Für die Flächenberechnung wirkt sich der Schleifenschlussfehler aber nur minimal aus, um trotzdem sicherzustellen, dass der Schleifenschlussfehler nicht zu groß ist, wurde die Punktwolke der Laserscandaten mit der Punktwolke der Bilddaten verglichen. Dazu wurden die beiden Punktwolken am unteren Haus passend ausgerichtet und dann die Abstände an der Oberkante von Haus 2 gemessen. Wenn alles passt, sollte der Abstand auf beiden Seiten der gemessenen Wandstärke von 53 cm entsprechen. Dies war auch der Fall, es gab nur Abweichungen bis zu 1 cm, die aber auch auf andere Gründe wie Punktgenauigkeit oder die Registrierung zurückzuführen sind. Der Schleifenschlussfehler wirkt sich daher nur geringfügig auf das Ergebnis aus.

8.3 Visuelle Qualität

Da die Laserscanpunktwolke nur als Grundlage für die geometrischen Raummaße benötigt wurden, ist die visuelle Qualität nicht entscheidend, aufgrund dessen wird hier nur die visuelle Qualität des texturierten 3D-Modells aus den Drohnenbildern beurteilt.

Das texturierte 3D-Modell zeichnet sich durch eine hohe visuelle Qualität aus, insbesondere an den Fassaden und Dachflächen, die eine klare und detaillierte Darstellung aufweisen. Bei einer Betrachtung aus der Distanz sind keine offensichtlichen Fehler erkennbar und das Modell wirkt insgesamt sehr realistisch. Erst bei einer näheren Betrachtung jedoch treten kleine Probleme auf, insbesondere in den Details. Hier und da sind Unschärfen oder geringfügige Texturverzerrungen sichtbar. Die Unschärfen im texturierten 3D-Modell treten hauptsächlich an spezifischen Stellen auf. Zunächst sind Bereiche mit Vegetation betroffen (Abbildung 8.4), bei denen die komplexe Geometrie der Pflanzen nicht optimal erfasst wurde, was zu unscharfen Texturen führt. Des Weiteren ist zu vermerken, dass die dichte Punkt wolke an einigen Stellen Lücken aufweist. Diese konnten zwar über die Vermaschung geschlossen werden, jedoch weist das Modell an den geschlossenen Stellen eine geringere visuelle Qualität auf (Abbildung 8.5). Darüber hinaus sind die Übergänge unter den angeschrägten Dächern schwer darzustellen, da die Texturierung aufgrund der komplexen Form und der Schattenbildung ungenauer erscheint. In diesen Bereichen sind die Details weniger präzise und tragen zur niedrigen Qualität da diesen Stellen des Modells bei (Abbildung 8.6). Für den visuellen Überflug sind diese Details jedoch irrelevant und nicht erkennbar. Die Qualität des Endergebnisses wird lediglich durch die großen Lücken beeinträchtigt, die durch die nicht orientierten Bilder entstanden sind.



Abbildung 8.4: Qualität bei Vegetation



Abbildung 8.5: Qualität bei Lücken (links im Modell und rechts die Lücke in der Punktwolke)



Abbildung 8.6: Qualität an Dachkanten

9 Fazit

In der Arbeit konnte die Spinnmühle in Flöha/Falkenau mit der ausgewählten Messtechnik erfolgreich vermessen werden. Die geforderten Ergebnisse konnten alle erstellt werden und halten die Anforderungen in Sachen Genauigkeit, Vollständigkeit und visuelle Qualität ein. Lediglich das 3D-Modell aus den UAV-Daten weist an vereinzelt Stellen Lücken auf.

Die durchgeführte Messung mit einem Laserscanner hat sich als äußerst effiziente und präzise Methode erwiesen. Die Datenerfassung erfolgt in einem kurzen Zeitfenster von circa zehn Stunden und liefert eine hohe Genauigkeit. Dabei werden eine Punktgenauigkeit von ± 4 mm bei 2 Sigma sowie eine Registriergenauigkeit von ± 4 mm erreicht. Dies macht den terrestrischen Laserscanner ideal für den Einsatz in umfangreichen Projekten, bei denen eine Genauigkeit im niedrigen cm-Bereich erforderlich ist. Bei sehr guten Bedingungen kann der Scanner auch für Messungen im mm-Bereich eingesetzt werden. Ein Nachteil des Laserscannings sind jedoch die großen Datenmengen und der hohe Zeitaufwand für die Auswertung und Aufbereitung der Scandaten, da diese zu Großteil manuell oder halbautomatisch erfolgt. Das größte Optimierungspotenzial der verwendeten Methodik liegt daher in der automatisierten Auswertung der Daten. Durch verbesserte und zuverlässige Algorithmen könnten sowohl Zeit als auch Aufwand reduziert und die Effizienz der gesamten Datenerfassung und -verarbeitung deutlich gesteigert werden. Dies wäre ein wichtiger Schritt, um zukünftige Projekte noch schneller und präziser umzusetzen. Ein weiterer Ansatz zur Optimierung der Messung stellt die Nutzung eines mobilen Scanners dar, wodurch sich die Messzeit zusätzlich verkürzen lässt. Allerdings ist hierbei mit Genauigkeitseinbußen zu rechnen.

Die Erfassung von Daten mittels UAV-Bildern erwies sich als sehr zeiteffizient und effektiv, wobei lediglich ein geringes Optimierungspotenzial auszumachen ist. Unter der Voraussetzung einer funktionierenden Flugplanung wäre eine nahezu vollständige Automatisierung des gesamten Messprozesses möglich, wobei lediglich ein minimaler manueller Eingriff erforderlich wäre, beispielsweise beim Ausrichten nicht korrekt orientierter Bilder. Die ausgerichteten Kameras und damit auch das Modell weisen eine hohe relative Genauigkeit auf. Der durchschnittliche Reprojektionsfehler beträgt 0,79 px, der absolute Fehler 1,43 m. Die ermittelten Genauigkeiten eignen sich daher für visuelle Zwecke sowie für Flächenberechnungen optimal, da beide Anwendungen

ausschließlich von der relativen Genauigkeit beeinflusst werden. Sofern die Anforderungen an die absolute Genauigkeit höher sind, wäre eine Verbesserung durch externe Messtechnik erforderlich. Eine Optimierung der visuellen Qualität könnte durch die Aufnahme zusätzlicher Bilder an den als problematisch identifizierten Stellen, wie beispielsweise schrägen Kanten oder Bereichen mit dichter Vegetation, erzielt werden.

Literaturverzeichnis

- [Barber u. a. 2008] BARBER, David ; MILLS, Jon ; SMITH-VOYSEY, Sarah: Geometric validation of a ground-based mobile laser scanning system. In: *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* Vol. 63 (2008)
- [Besl und McKay 1992] BESL, Paul J. ; MCKAY, Neil D.: A method for registration of 3-D shapes. In: *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence* Vol. 14 (1992)
- [Blankenbach u. a. 2017] BLANKENBACH, Jörg ; STERNBERG, Harald ; TILCH, Sebastian: Indoor-Positionierung. In: SCHWARZ, Willfrid (Hrsg.): *Ingenieurgeodäsie Handbuch der Geodäsie*. Berlin : Springer Spektrum, 2017
- [Borgmann 2019] BORGMANN, Jelde: BIM-konforme Bestandserfassung im Denkmalschutz am Beispiel des Edo-Wiemken-Denkmal in Jever. In: *Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2019*. Berlin : Wichmann, 2019
- [Bringmann 2002] BRINGMANN, Oliver: Die Punktwolke aus Sicht der Mustererkennung. In: *Luhmann (Hrsg.) Photogrammetrie und Laserscanning*. Wichmann, 2002
- [Broser 2018] BROSER, Jost-Michael: „Historische Scans“, aktuelle Scans und SfM – eine Synthese bei der Dokumentation des Immerather Doms. In: *Photogrammetrie - Laserscanning - optische 3D-Messtechnik Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2018*. Berlin : Wichmann, 2018
- [Bureick u. a. 2019] BUREICK, Johannes ; VOGEL, Sören ; NEUMANN, Ingo ; DIENER, Dmitri ; ALKHATIB, Hamza: Geo-Referenzierung von Unmanned Aerial Systems über Laserscanner-messungen und 3D-Gebäudemodelle. In: *Terrestrisches Laserscanning 2019 - Beiträge zum 184. DVW-Seminar am 2. und 3. Dezember 2019 in Fulda*. Augsburg : Wißner-Verlag, 2019
- [Chiabrando u. a. 2015] CHIABRANDO, Filberto ; DONADIO, Elisabetta ; RINAUDO, Fluvio: SfM for Orthophoto to Generation: A Winning Approach for Cultural Heritage Knowledge. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XL-5/W7 (2015)

- [Civera u. a. 2012] CIVERA, Javier ; DAVISON, Andrew J. ; MARTÍNEZ MONTIEL, José M.: *Structure from Motion using the Extended Kalman Filter*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012
- [Deggim und Kersten 2022] DEGGIM, Simon ; KERSTEN, Thomas: Zur Erstellung von historischen Welten in Virtual Reality. In: *Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2022*. Neuerscheinung. Berlin : Wichmann, 2022
- [Denkmalnetz Sachsen a] DENKMALNETZ SACHSEN: *Fabrik in den 30er Jahren*. Bild (erhalten am 21.06.2024)
- [Denkmalnetz Sachsen b] DENKMALNETZ SACHSEN: *Geschichte der Fabrikanlage „Untere Baumwollspinnerei Falkenau“*. (erhalten am 21.06.2024)
- [Denkmalnetz Sachsen c] DENKMALNETZ SACHSEN: *Kurzkonzept zur Sanierung und Umnutzung der Unteren Baumwollspinnerei Falkenau*. (erhalten am 21.06.2024)
- [Deutsches Institut für Normung e.V. 2006] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *DIN 1356-6 Technische Produktdokumentation - Bauzeichnungen - Teil 6: Bauaufnahmezeichnungen*. Berlin: Beuth Verlag, . Mai 2006
- [Dorninger u. a. 2011] DORNINGER, Peter ; KALASEK, Robert ; ADENSTEDT, Ingrid: Quantity versus Quality in Cultural Heritage Documentation. In: *16th International Conference on “Cultural Heritage and New Technologies” Vienna (2011)*
- [Eckstein 1999] ECKSTEIN, Günter: *Empfehlungen für Baudokumentationen Bauaufnahme - Bauuntersuchung*. Stuttgart : Theiss, 1999 (Arbeitsheft / Landesdenkmalamt Baden-Württemberg 7)
- [Faro Technologies 2021] FARO TECHNOLOGIES, Inc.: *Datenblatt: FARO® Focus Laser Scanner* . [pdf]. 2021. – URL <https://www.faro.com/de-DE/Resource-Library/Tech-Sheet/techsheet-faro-focus-laser-scanners>. – [Zugriff am 10.06.2024]
- [GoogleMaps 2024] GOOGLEMAPS: *Spinnmühle Falkenau - Dorfstraße 15*. [Online]. 2024. – URL <https://www.google.de/maps/@50.8519339,13.0980461,156m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>. – [Zugriff am 29.07.2024]

- [Groß 2002] GROß, Wera: *Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege; Anforderungen an eine Bestandsdokumentation in der Baudenkmalpflege*. Petersberg : Michael Imhof Verlag, 2002
- [Grussenmeyer u. a. 2008] GRUSSENMEYER, P. ; LANDES, T. ; VOEGTLE, T. ; RINGLE, K.: Comparison Methods of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing* (2008)
- [Géczi 2018] GÉCZI, Richard: Zwischen Tradition und Fortschritt 3D-Technik an der Münsterbauhütte in Ulm. In: *Photogrammetrie - Laserscanning - optische 3D-Messtechnik Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2018*. Berlin : Wichmann, 2018
- [Haring 2007] HARING, Alexander: *Die Orientierung von Laserscanner- und Bilddaten bei der fahrzeuggestützten Objekterfassung*, Technische Universität Wien, Dissertation, 2007
- [Hassan und Fritsch 2019] HASSAN, Amin T. ; FRITSCH, Dieter: Integration of Laser Scanning and Photogrammetry in 3D/4D Cultural Heritage Preservation – A Review. In: *International Journal of Applied Science and Technology Vol. 9, No. 4, December 2019* (2019)
- [Heinz u. a. 2018] HEINZ, Erik ; MEDIĆ, Tomislav ; HOLST, Christoph ; KUHLMANN, Heiner: Genauigkeitsbeurteilung von Laserscannern anhand realer Messobjekte. In: *Terrestrisches Laserscanning 2018 - Beiträge zum 177. DVW-Seminar am 13. und 14. Dezember 2018 in Fulda*. Augsburg : Wißner-Verlag, 2018
- [Hädler 2004] HÄDLER, Emil: Sanierungsvoruntersuchung und Bauforschung als Teil des Planungsprozesses. In: *Denkmalpflege für Architekten und Ingenieure. 2.*, überarb. Aufl. Köln : Müller, 2004
- [Jansa 2007] JANSA, Josef: *Die Orientierung von Laserscanner- und Bilddaten bei der fahrzeuggestützten Objekterfassung*, Technische Universität Wien, Dissertation, 2007
- [Janßen u. a. 2018] JANßEN, Jannik ; HOLST, Christoph ; KUHLMANN, Heiner: Registrierung mit Targets: Wie genau ist das? In: *Terrestrisches Laserscanning 2018 - Beiträge zum 177. DVW-Seminar am 13. und 14. Dezember 2018 in Fulda*. Augsburg : Wißner-Verlag, 2018
- [Kahmen 2006] KAHMEN, Heribert: *Angewandte Geodäsie: Vermessungskunde. 20.*, völlig neu bearbeitete Auflage. Walter de Gruyter, 2006

- [Kersten und Walmsley 2020] KERSTEN, Thomas P. ; WALMSLEY, Alexander P.: Der Kaiserdom in Königslutter als immersives 3D-Erlebnis durch Virtual Reality in Kombination mit 360°-Panoramafotografie. In: *Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2020*. Berlin : Wichmann, 2020
- [Kraus 2012] KRAUS, Karl: *Photogrammetrie Band 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen*. 7., vollständig bearbeitete und erweiterte Auflage. Walter de Gruyter, 2012
- [Kuhlmann und Holst 2017] KUHLMANN, Heiner ; HOLST, Christoph: Flächenhafte Abtastung mit Laserscanning. In: SCHWARZ, Willfrid (Hrsg.): *Ingenieurgeodäsie Handbuch der Geodäsie*. Berlin : Springer Spektrum, 2017
- [Lipkowski und Mettenleiter 2019] LIPKOWSKI, Susanne ; METTENLEITER, Markus: Terrestrische Laserscanner – Im Fokus der Genauigkeit. In: *Terrestrisches Laserscanning 2019 - Beiträge zum 184. DVW-Seminar am 2. und 3. Dezember 2019 in Fulda*. Augsburg : Wißner-Verlag, 2019
- [Luhmann 2018] LUHMANN, Thomas: Bildbasierte 3D-Oberflächenrekonstruktion – Möglichkeiten und Grenzen. In: *UAV 2018 – Vermessung mit unbemannten Flugsystemen Beiträge zum 169. DVW-Seminar am 19. und 20. Februar 2018 in Hamburg*. Augsburg : Wißner-Verlag, 2018
- [Luhmann 2023] LUHMANN, Thomas: *Nahbereichsphotogrammetrie Grundlagen - Methoden - Beispiele*. 5., neu bearbeitete Auflage. Berlin : Wichmann, 2023
- [Pfeifer und Briese 2007] PFEIFER, Norbert ; BRIESE, Christian: Laser scanning – principles and applications. In: *GeoSiberia 2007 - International Exhibition and Scientific Congress, (2007)*
- [Shan und Toth 2018] SHAN, Jie ; TOTH, Charles K.: *Topographic laser ranging and scanning principles and processing*. 2., Aufl. Boca Raton : CRC Press, 2018
- [Sörensen 2011] SÖRENSEN, Lars: Qualitätsstandards in der Architekturvermessung. In: *Publikationen der DGPF e.V. Band 20*. DGPF, 2011
- [Sörensen 2019] SÖRENSEN, Lars: Maßstabsabhängige Anforderungen an Genauigkeit und Detaillierung von Vermessungsergebnissen beim Einsatz in der 3D-Vermessung. In: *Photo-*

grammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2019. Wichmann, 2019

[Thiele 2024] THIELE, Eike: *Finden Sie die richtigen Scanner Standorte*. [Online]. 2024. – URL <https://support.scanner2go.de/hc/de/articles/4405415230225-02-Finden-Sie-die-richtigen-Scanner-Standorte>. – [Zugriff am 08.10.2024]

[Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland 2011] VEREINIGUNG DER LANDESDENKMALPFLEGER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: *Anforderungen an die Dokumentation von Denkmälern vor Abbruch*. [pdf]. 2011. – URL <https://www.vdl-denkmalpflege.de/fileadmin/dateien/Arbeitsblätter/Nr40.pdf>. – [Zugriff am 26.07.2024]

[Wieser u. a. 2019] WIESER, Andreas ; PAFFENHOLZ, Jens-André ; NEUMANN, Ingo: Sensoren, Features und Physik – Zum aktuellen Stand der Entwicklung bei Laserscannern. In: *Terrestrisches Laserscanning 2019 - Beiträge zum 184. DVW-Seminar am 2. und 3. Dezember 2019 in Fulda*. Augsburg : Wißner-Verlag, 2019

[Wolf 2022] WOLF, Dimitry: *DJI Mini 3 Pro vorgestellt*. [online]. 2022. – URL <https://www.dein-drohnenpilot.de/dji/dji-mini-3-pro/dji-mini-3-pro-vorgestellt/>. – [Zugriff am 18.10.2024]

Abbildungsverzeichnis

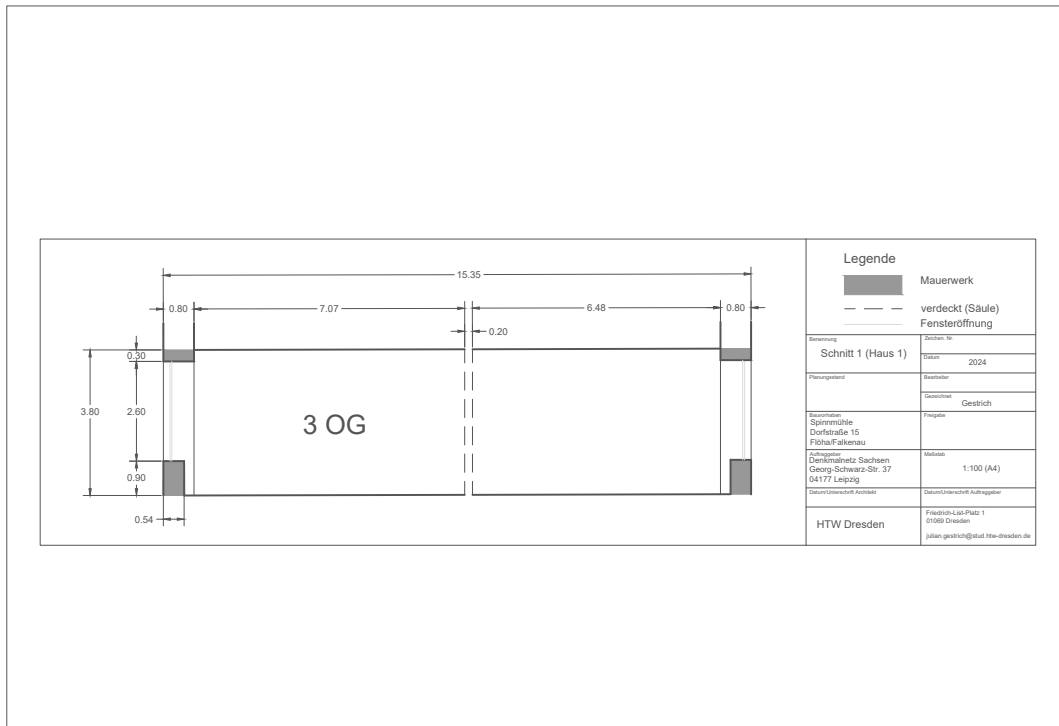
2.1 Genauigkeitsstufen I - IV Wernau, Haus Freitagshof 11, Längsschnitt (Eckstein, 1999)	9
2.2 Genauigkeitsstufen nach (Sörensen, 2019)	10
3.1 Übersicht über das Gelände (GoogleMaps, 2024)	12
3.2 Fabrik in den 30er Jahren (Denkmalnetz Sachsen, a)	13
4.1 Effizienz der Messtechnologie anhand verschiedener Anwendungen (Bringmann, 2002)	15
4.2 Inkrementelles Punktraster (Kahmen, 2006)	16
4.3 Scanbereich (Kuhlmann und Holst, 2017)	17
4.4 Unsicherheit der 3D-Koordinaten (Lipkowski und Mettenleiter, 2019)	21
4.5 Bildaufnahme (Luhmann, 2023)	24
4.6 Ablauf structure from motion (Luhmann, 2018)	25
5.1 Faro Focus S150 mit 2 Schachbrettmarken im Hintergrund	26
5.2 Übersichtskarte mit Scanstandpunkten in blau	27
5.3 Beispiel für Fehler der automatisierten Auswertung: Im linken Bildbereich werden zwei vermeintlich erkannte Zielmarken angezeigt, während die richtige Zielmarke in der Mitte nicht erkannt wurde.	29
5.4 Grapische Darstellung der ungenauen Zielmarke	33
5.5 Bereinigen der registrierten Punktwolke	34
5.6 Ergebnis nach Bereinigen	35
5.7 Clipping Box mit Punktwolke für den Export	35
6.1 Position der Bilder	36
6.2 Kameraüberlappung	37
6.3 Lücken in der Punktwolke	38
6.4 Konfidenzen der Punktwolke	39
6.5 dünne (links) und dichte Punktwolke (rechts)	39
6.6 Vergleich der dichten Punktwolke (links) und dem vermaschten Modell (rechts) .	40

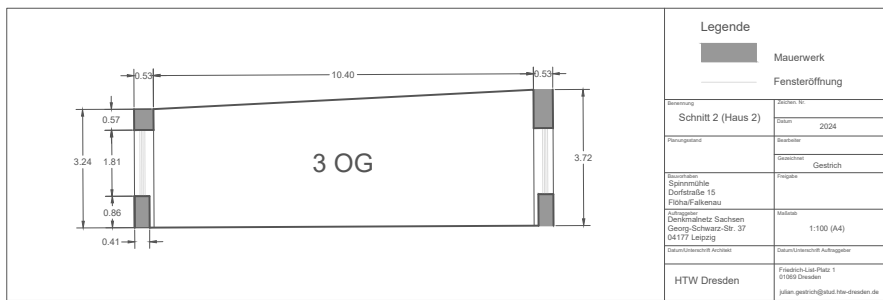
6.7	Konfidenzen des vermaschten Modells	41
6.8	Vergleich des vermaschten Modells mit Textur (rechts) und ohne Textur (links) .	41
6.9	Dachpolygone im Orthomosaik	43
7.1	Punktwolken: Innenräume aus Faro Scene (weiß) und die Außenwand aus Agisoft Metashape (rosa)	44
7.2	Links ist die CAD Darstellung vor und in der Mitte nach der Bereinigung zu sehen	45
7.3	Grund für geringe Flächenunterschiede	46
8.1	Punktfehler in AutoCAD	52
8.2	Schleifenschlussfehler schematische Darstellung (Haring, 2007)	54
8.3	Problem des Schleifenschlussfehlers in den Scandaten	55
8.4	Qualität bei Vegetation	56
8.5	Qualität bei Lücken (links im Modell und rechts die Lücke in der Punktwolke) . .	57
8.6	Qualität an Dachkanten	57

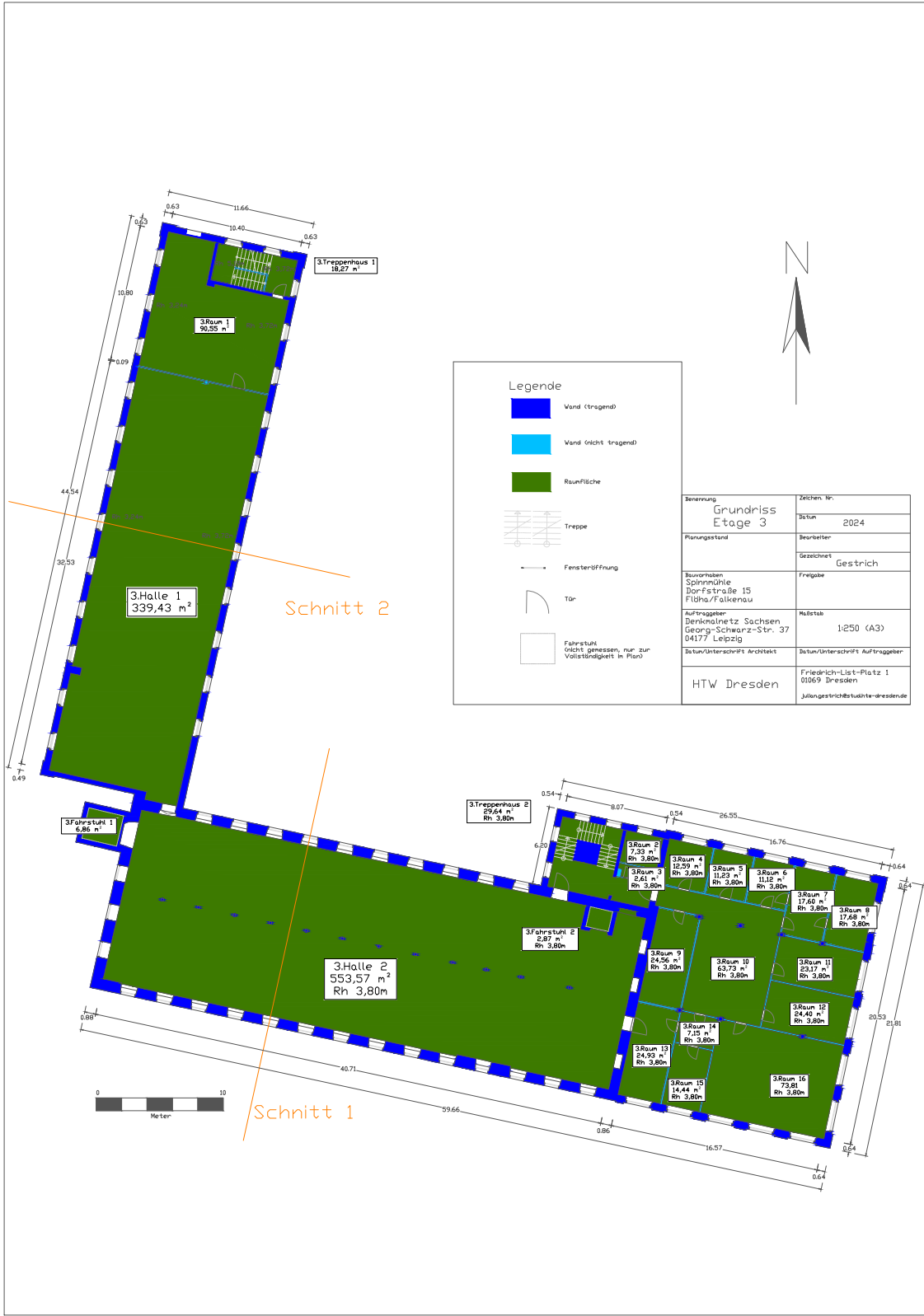
Tabellenverzeichnis

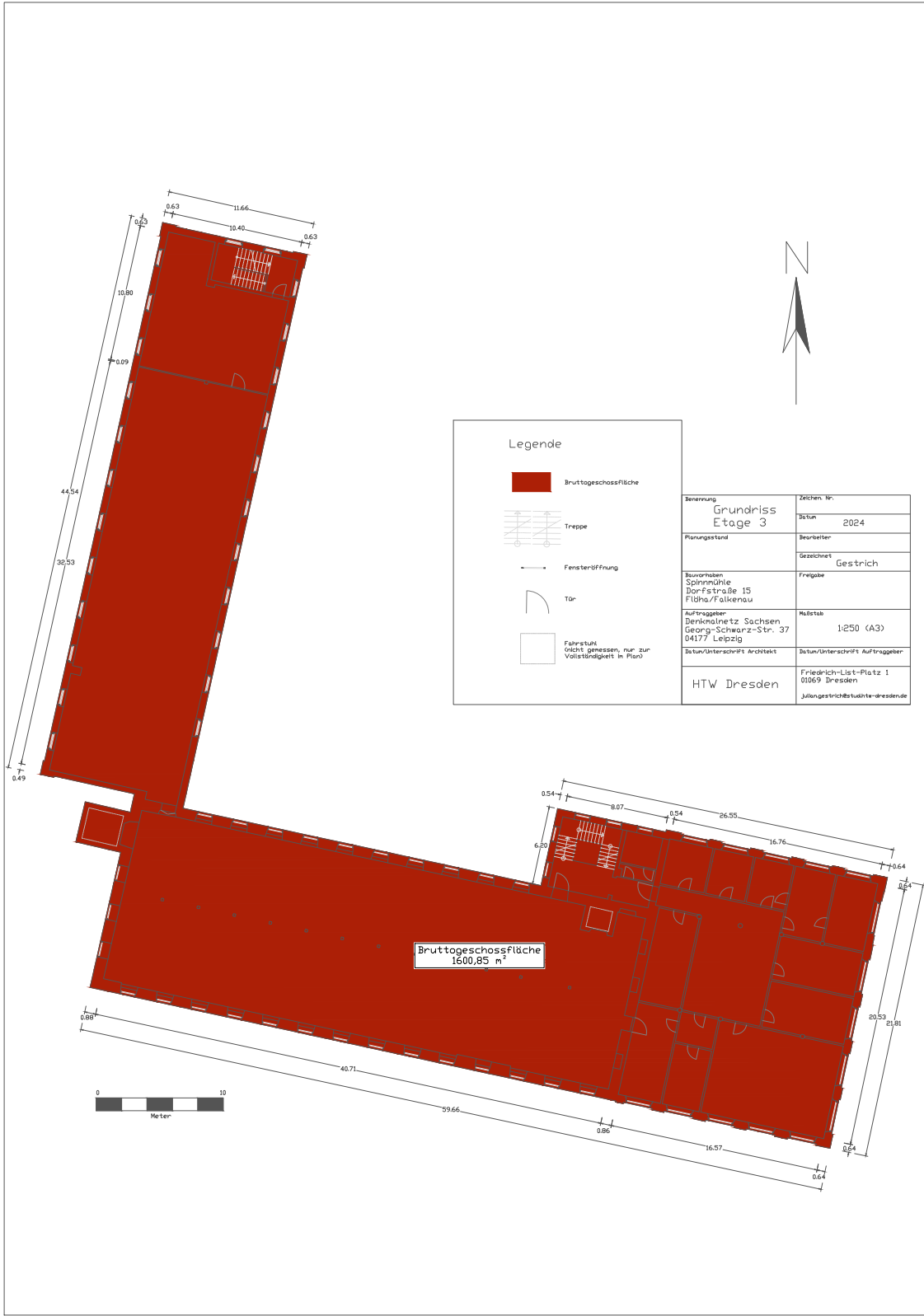
5.1	Ergebnis nach erster Registrierung	31
5.2	Endergebnis Registrierung	32
6.1	Werte der Dachflächen	42
7.1	Raumflächen	47
7.2	BGF aus Grundriss und Orthomosaik	47
8.1	Arbeitszeit in Stunden	48

A Pläne







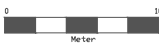


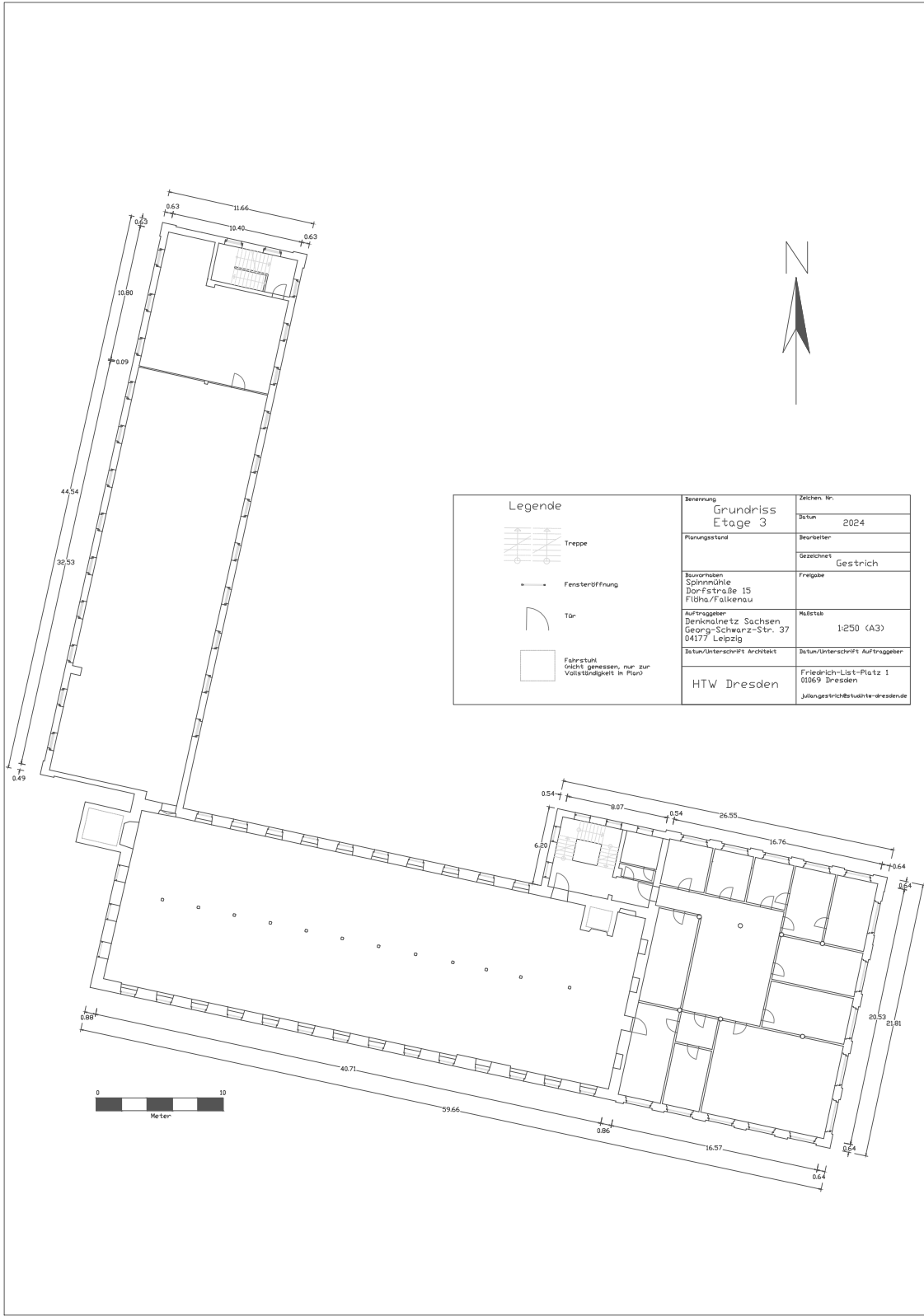
Legende

- Bruttogeschossfläche
- Treppe
- Fensteröffnung
- Tür
- Fahrstuhl
Nicht gemessen, nur zur Vollständigkeit im Plan!

Benennung	Zeichen-Nr.
Grundriss Etag 3	Datum 2024
Planungsstand	Bearbeiter
	Gezeichnet Gestrich
Bauherrn Spinnmühle Dorfstraße 15 Fibtha/Falkenau	Freigabe
Auftraggeber Denkmalnetz Sachsen Georg-Schwarz-Str. 37 04177 Leipzig	MäBstab 1:250 (A3)
Datum/Unterschrift Architekt	Datum/Unterschrift Auftraggeber
HTW Dresden	Friedrich-List-Platz 1 01069 Dresden Jahrgestrichstudite-dresdener

Bruttogeschossfläche
1600,85 m²





Legende



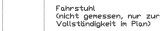
Treppe



Fensteröffnung



Tür



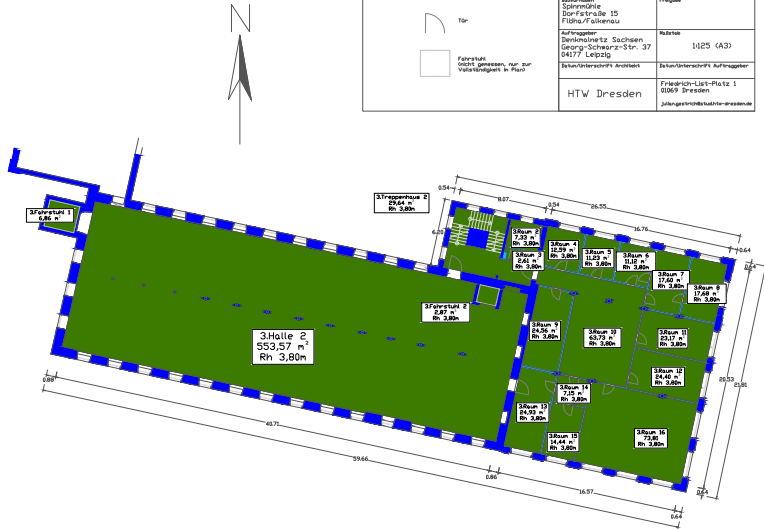
Fahrradstuhlfühler
(nicht gemessen, nur zur Vollständigkeit im Plan)

Benennung Grundriss Etage 3	Zeichen Nr.
	Datum 2024
Planungsstand	Bearbeiter
	Gezeichnet Gestrich
Bauherr Spinnmühle Dorfstraße 15 Fibha/Falkenau	Freigabe
Auftraggeber Denkmalnetz Sachsen Georg-Schwarz-Str. 37 04177 Leipzig	Maßstab 1:250 (A3)
Datum/Unterschrift Architekt	Datum/Unterschrift Auftraggeber
HTW Dresden	Friedrich-List-Platz 1 01069 Dresden Jahrgestrüchstudie-dresdene

Legende

- Wand tragend
- Wand nicht tragend
- Rauffläche
- Treppe
- Fensteröffnung
- Tür
- Fensterlaibung (nicht gemessen, nur zur Vollständigkeit in Plan)

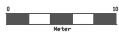
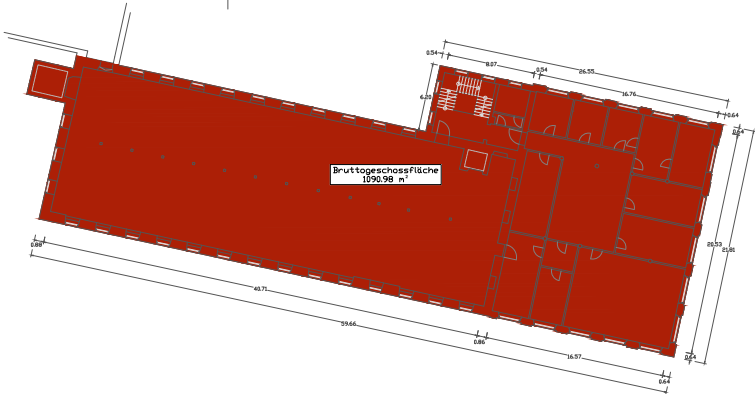
Benennung		Blatt-Nr.
Grundriss Haus 1 Etage 3		NSA 2004
Planungsstand		Projektentwurf
Architekt		Gestrich
Baureihe		Fingler
Baustelle		1029 (43)
Auftraggeber		Bauunternehmensgruppe
Baueigentümer		Friedrich-Liess-Platz 1 10009 Dresden
HTW Dresden		juhng@vsnb.tu-berlin.de







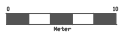
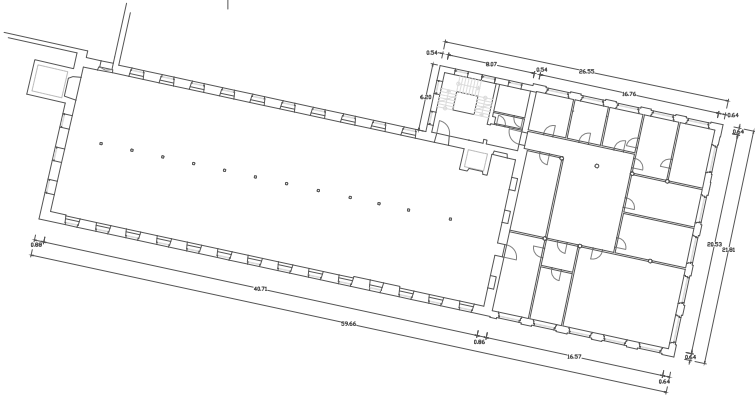
Legende

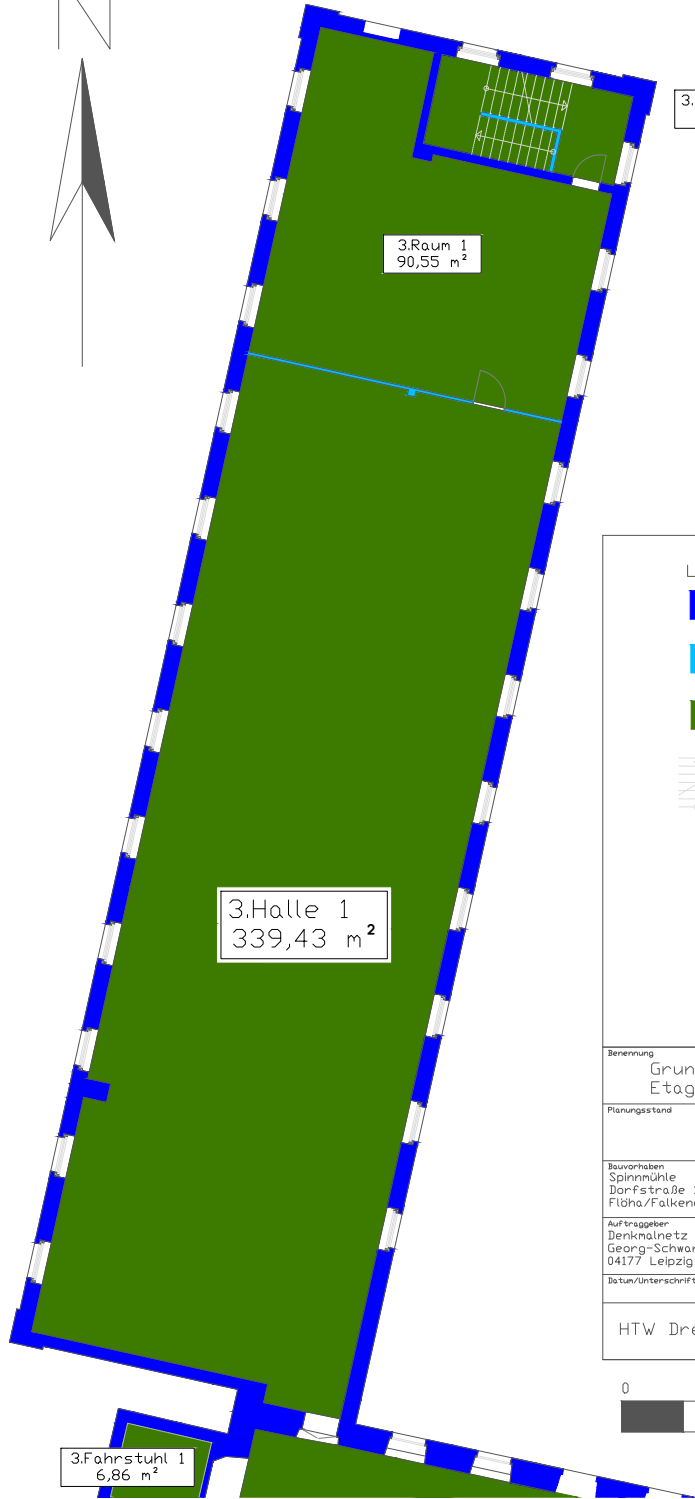
- Bruttogeschossfläche
- Treppe
- Fensteröffnung
- Tür
- Feuertüte
(nicht gemessen, nur zur Vollständigkeit in Plan)

Bemerkung	Zeichen Nr.
Grundriss Haus 1 Etage 3	NSCa 2004
Planungsdatum	Bauherr
	Gestrich
Benutzer Sprengel Donatstraße 15 Flöha/Falkenberg	Projektor Flöha
Auftraggeber Danksmietz Sachsen Georg-Schwarz-Str. 37 04177 Leipzig	Messplan 1029 (43)
Bauherr/Baubesitzer HTW Dresden	Bauherr/Bauherr/Bauherr Friedrich-Liess-Platz 1 10009 Dresden
	JohnLangeArchitektur-dresden.de



Legende		Titelblock	
	Treppe	Name: Grundriss Haus 1 Etage 3	
	Fensteröffnung	Matrikelnummer: 2004	
	Tür	Vorname: Gestrich	
	Feststat (0,25 mm dick, nur für Vollständigkeit in Plan)	Name: Sprentholz Dorfstraße 15 Rißler/Falkenau	
		Matrikelnummer: 1029 (43)	
		Name: Denkmalnetz Sachsen Georg-Schwarz-Str. 37 04177 Leipzig	
		Name: Institut für Bauphysik HTW Dresden	
		Name: Energie-Licht-Plan 1 2009 Dresden	
		Name: jahnke@tu-dresden.de	





3.Treppenhaus 1
18,27 m²

3.Raum 1
90,55 m²

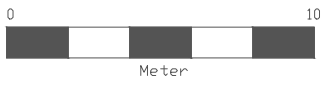
3.Halle 1
339,43 m²

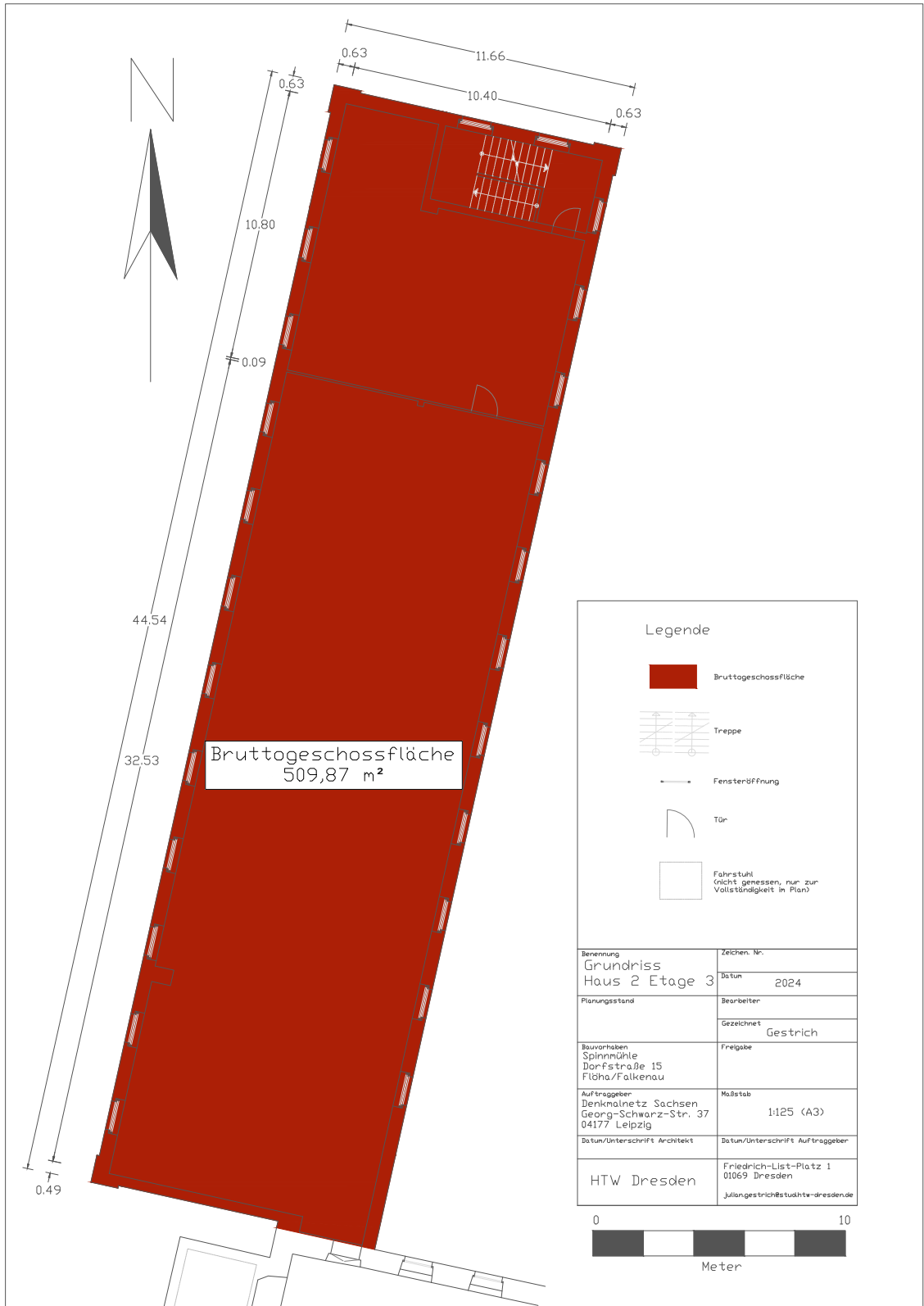
3.Fahrstuhl 1
6,86 m²

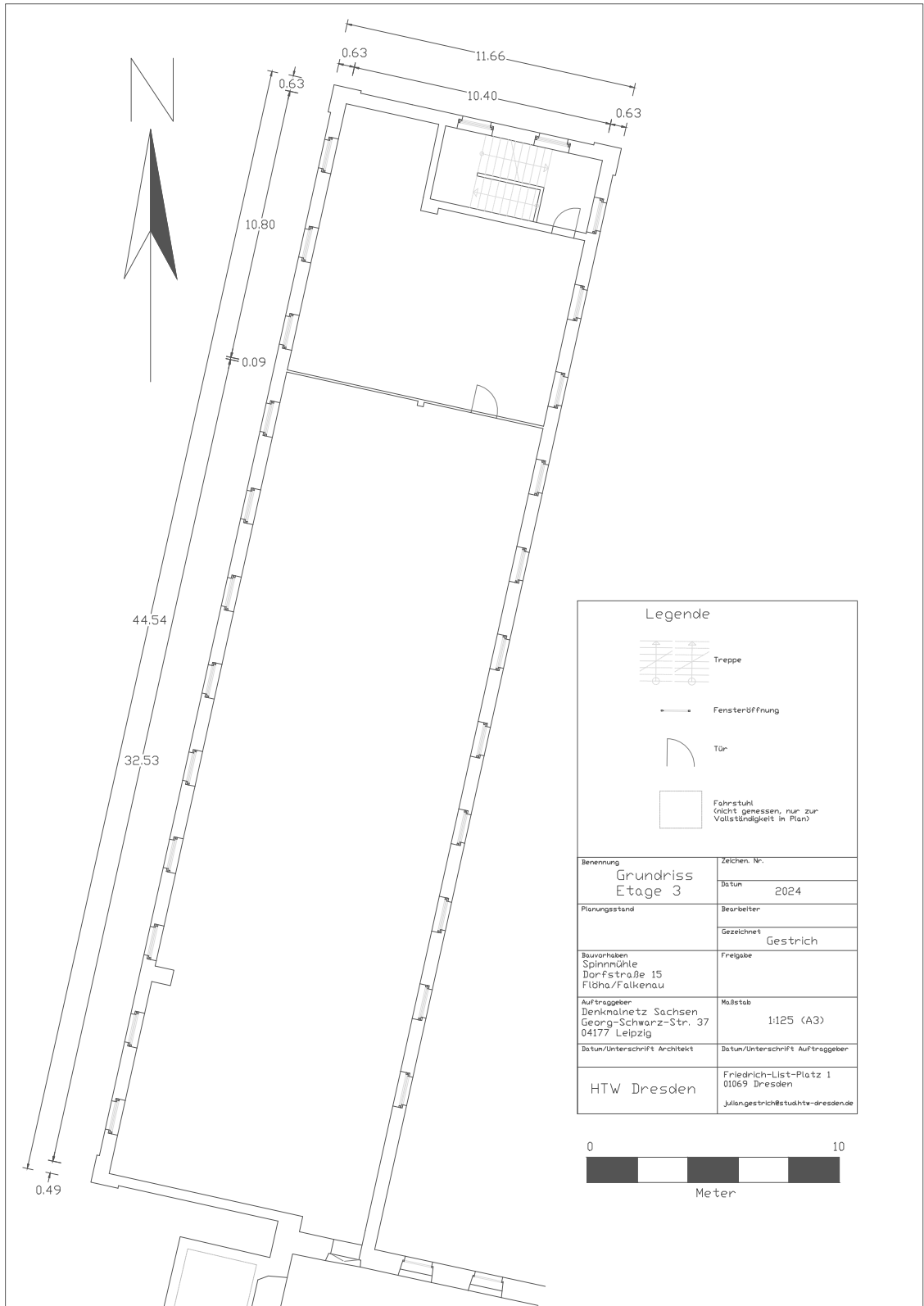
Legende

- Wand (tragend)
- Wand (nicht tragend)
- Raumfläche
- Treppe
- Fensteröffnung
- Tür
- Fahrstuhl (nicht gemessen, nur zur Vollständigkeit in Plan)

Benennung	Zeichen-Nr.
Grundriss Etage 3	1024
Planungsstand	Bearbeiter
	Gezeichnet Gestrich
Bauherrn Spinnmühle Dorfstraße 15 Flöha/Falkenau	Freigabe
Auftraggeber Denkmalnetz Sachsen Georg-Schwarz-Str. 37 04177 Leipzig	Maßstab 1:125 (A3)
Datum/Unterschrift Architekt	Datum/Unterschrift Auftraggeber
HTW Dresden	Friedrich-List-Platz 1 01069 Dresden Juliangestrichstudie@dresden.de







Legende



Treppe

Fensteröffnung

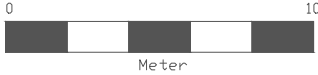


Tür



Fahrstuhl
(nicht gemessen, nur zur Vollständigkeit in Plan)

Benennung	Zeichen-Nr.
Grundriss Etage 3	
Datum	2024
Planungsstand	Bearbeiter
	Gezeichnet Gestrich
Bauvorhaben Spinnmühle Dorfstraße 15 Flöha/Falkenau	Freigabe
Auftraggeber Denkmalnetz Sachsen Georg-Schwarz-Str. 37 04177 Leipzig	Maßstab 1:125 (A3)
Datum/Unterschrift Architekt	Datum/Unterschrift Auftraggeber
HTW Dresden	Friedrich-List-Platz 1 01069 Dresden Julian.gestrich@stud.htw-dresden.de



B Registrierungsbericht aus Faro Scene

Registrierungsbericht

Projekt	ScanTag1
Cluster	Scans
Aufzeichnungszeitraum	2.7.2024, 11:23:35 - 4.7.2024, 16:40:30
Speicherort	
Berichtsdatum	18.7.2024, 12:19:35

Farbcodierung

Punktfehler	< 8 mm	> 20 mm
Überlappung	> 25.0 %	< 10.0 %
Abstandsfehler	< 20 mm	> 40 mm
Horizontaler Fehler	< 20 mm	> 40 mm
Vertikaler Fehler	< 20 mm	> 40 mm
Winkelfehler	< 0.5 deg	> 1.0 deg

Übersicht

Scanpunktstatistiken

Maximaler Punktfehler	3.9 mm
Mittlerer Punktfehler	1.2 mm
Minimale Überlappung	34.8 %

Zielstatistiken

Max. Abstandsfehler	34.6 mm
Durchschnittlicher Abstandsfehler	2.8 mm
Max. Horizontaler Fehler	24.0 mm
Durchschnittlicher horizontaler Fehler	2.2 mm
Max. Vertikaler Fehler	24.8 mm
Durchschnittlicher vertikaler Fehler	1.4 mm
Max. Winkelfehler	-
Durchschnittlicher Winkelfehler	-

Scanfehler

Scanpunktstatistiken

Cluster/Scan	Verbindungen	Max. Punktfehler [mm]	Mittlerer Punktfehler [mm]	Min. Überlappung
Scan_016	1	0.8	0.8	76.6 %
Scan_017	2	1.6	1.4	56.8 %
Scan_018	1	2.1	2.1	94.5 %
Scan_019	2	3.2	2.2	56.8 %
Scan_020	3	3.2	2.1	86.4 %
Scan_021	2	1.4	1.2	92.6 %
Scan_022	4	3.8	2.2	57.1 %
Scan_023	1	2.5	2.5	98.6 %
Scan_024	1	1.0	1.0	95.4 %
Scan_025	2	3.8	2.3	39.2 %
Scan_026	3	1.3	1.1	39.2 %
Scan_027	1	1.7	1.7	86.5 %
Scan_028	2	1.7	1.4	84.9 %
Scan_029	2	2.4	1.8	84.0 %
Scan_030	2	2.5	2.4	84.0 %
Scan_031	2	3.9	3.2	81.1 %
Scan_000	1	1.2	1.2	89.4 %
Scan_007	2	1.2	1.2	55.1 %
Scan_009	2	1.2	1.2	55.1 %
Scan_011	5	1.6	1.1	65.1 %
Scan_012	2	1.2	1.0	66.1 %
Scan_013	1	1.1	1.1	80.7 %
Scan_015	1	1.2	1.2	76.5 %
Scan_080	1	0.6	0.6	57.6 %
Scan_081	2	1.8	1.8	51.4 %
Scan_082	2	1.8	1.7	74.9 %
Scan_083	2	1.5	1.2	74.9 %
Scan_084	1	0.9	0.9	83.9 %
Scan_085	1	1.0	1.0	98.5 %
Scan_032	2	3.9	2.9	81.1 %
Scan_033	2	1.9	1.9	89.3 %
Scan_034	4	1.6	1.4	73.1 %
Scan_035	1	1.4	1.4	92.9 %
Scan_036	1	0.9	0.9	70.1 %
Scan_037	4	2.0	1.4	65.5 %
Scan_038	1	1.3	1.3	68.1 %
Scan_039	2	2.0	1.9	65.5 %
Scan_040	2	1.0	1.0	34.8 %
Scan_041	2	1.0	0.8	34.8 %
Scan_042	2	0.8	0.8	66.9 %
Scan_043	1	0.8	0.8	66.9 %
Scan_044	2	0.7	0.6	46.3 %
Scan_045	2	0.7	0.6	61.6 %
Scan_046	1	0.5	0.5	88.1 %
Scan_047	2	0.8	0.7	46.3 %
Scan_048	3	0.8	0.7	56.5 %
Scan_049	3	0.8	0.7	45.8 %
Scan_050	2	1.1	0.9	64.5 %
Scan_051	1	1.1	1.1	95.4 %
Scan_052	2	1.1	1.1	90.1 %
Scan_053	2	1.0	0.9	45.8 %
Scan_054	1	1.0	1.0	81.9 %
Scan_055	2	0.8	0.8	54.3 %
Scan_056	1	0.7	0.7	85.9 %
Scan_057	3	1.0	0.8	54.3 %
Scan_058	3	0.6	0.5	68.8 %
Scan_059	2	0.6	0.6	68.8 %
Scan_060	1	0.6	0.6	75.5 %
Scan_061	1	0.5	0.5	69.2 %
Scan_062	1	0.8	0.8	76.9 %
Scan_063	2	0.8	0.8	66.1 %
Scan_064	3	1.3	0.9	66.1 %

Scan_065	1		1.3		1.3		86.3 %
Scan_066	3		0.8		0.7		64.9 %
Scan_068	5		1.0		0.7		58.4 %
Scan_070	2		0.9		0.9		87.4 %
Scan_071	1		0.9		0.9		91.6 %
Scan_072	2		0.7		0.6		65.4 %
Scan_074	1		0.7		0.7		81.7 %
Scan_075	2		1.0		0.8		58.4 %
Scan_076	3		1.9		1.5		65.3 %
Scan_077	2		1.4		1.2		53.4 %
Scan_078	4		1.9		1.3		51.4 %
Scan_079	2		1.7		1.3		53.4 %

Zielstatistiken

Cluster/Scan	Verbindungen	Max. Abst. [mm]	Durchschnittlicher Abstand [mm]	Max. Hor. [mm]	Durchschnittlicher hor. [mm]	Max. Vert. [mm]	Durchschnittlicher vert. [mm]	Max. Winkel [deg]	Durchschnittlicher Winkel [deg]
Scan_016	6	1.9	0.9	1.8	0.6	1.2	0.5	-	-
Scan_017	9	4.3	1.9	4.2	1.8	1.5	0.5	-	-
Scan_018	7	6.2	4.1	6.2	3.4	5.8	1.7	-	-
Scan_019	8	7.3	3.7	6.2	2.5	7.0	2.4	-	-
Scan_020	8	8.7	3.6	8.7	2.6	6.8	2.1	-	-
Scan_021	7	9.1	3.9	8.7	3.0	7.0	1.9	-	-
Scan_022	7	11.1	4.1	5.1	2.3	10.7	3.2	-	-
Scan_023	7	11.1	4.8	8.6	2.7	10.7	3.7	-	-
Scan_024	6	5.5	2.7	4.7	2.0	3.5	1.4	-	-
Scan_025	15	7.2	3.8	7.0	3.1	6.3	1.6	-	-
Scan_026	8	12.6	4.0	12.6	3.5	4.9	1.3	-	-
Scan_027	9	9.8	3.8	7.0	3.3	7.0	1.4	-	-
Scan_028	12	10.8	4.2	9.7	2.9	9.0	2.4	-	-
Scan_029	13	15.7	4.1	14.2	3.2	7.1	2.0	-	-
Scan_030	10	14.8	4.6	14.8	3.6	8.3	2.3	-	-
Scan_031	13	13.6	4.5	12.0	3.4	8.1	2.2	-	-
Scan_000	2	1.8	1.1	1.7	1.0	0.4	0.3	-	-
Scan_007	2	2.3	1.5	2.3	1.4	0.7	0.4	-	-
Scan_009	8	2.3	1.6	2.3	1.5	0.7	0.4	-	-
Scan_011	6	4.6	1.3	4.6	1.1	1.8	0.4	-	-
Scan_012	6	3.4	1.3	3.4	1.0	1.2	0.5	-	-
Scan_013	6	4.6	1.9	4.6	1.8	0.9	0.4	-	-
Scan_015	6	1.9	1.1	1.5	0.5	1.8	0.8	-	-
Scan_080	3	2.6	1.7	2.2	1.2	2.2	1.1	-	-
Scan_081	9	2.7	1.8	2.5	1.5	1.8	0.7	-	-
Scan_082	5	2.1	1.3	2.0	1.1	1.2	0.4	-	-
Scan_083	4	2.1	1.1	2.1	1.1	0.2	0.2	-	-
Scan_084	4	2.1	1.3	2.1	1.3	0.3	0.2	-	-
Scan_085	7	3.8	2.3	3.8	1.8	2.5	1.1	-	-
Scan_032	16	15.7	4.9	14.8	4.3	8.2	1.8	-	-
Scan_033	13	13.6	5.2	12.0	4.3	7.0	2.8	-	-
Scan_034	18	14.6	4.5	11.5	3.2	14.4	2.8	-	-
Scan_035	11	14.6	4.7	5.6	3.0	14.4	3.2	-	-
Scan_036	9	8.5	3.2	8.0	2.8	2.9	1.2	-	-
Scan_037	9	5.1	2.5	4.8	1.8	4.1	1.3	-	-
Scan_038	11	14.6	4.7	14.1	3.9	6.2	1.9	-	-
Scan_039	16	14.6	4.6	14.1	2.7	8.3	3.2	-	-
Scan_040	13	3.4	1.9	2.7	1.6	2.1	0.9	-	-
Scan_041	7	4.1	1.7	4.1	1.2	2.2	0.9	-	-
Scan_042	4	4.1	1.8	4.1	1.4	1.7	0.9	-	-
Scan_043	8	3.7	1.6	3.7	1.3	1.5	0.7	-	-
Scan_044	13	4.6	1.8	4.3	1.2	2.4	1.0	-	-
Scan_045	7	2.5	1.2	2.5	1.0	1.5	0.6	-	-
Scan_046	3	2.5	1.8	2.5	1.7	0.7	0.4	-	-
Scan_047	21	6.3	2.7	6.0	2.2	3.6	1.1	-	-
Scan_048	17	4.3	2.1	4.3	1.7	2.9	0.9	-	-
Scan_049	17	4.8	1.9	4.8	1.7	1.8	0.7	-	-
Scan_050	9	3.9	2.1	3.8	1.8	2.1	0.9	-	-
Scan_051	4	2.7	1.6	2.6	1.3	1.4	0.7	-	-
Scan_052	4	3.2	1.9	2.8	1.5	2.2	1.0	-	-

Scan_053	14	5.9	2.3	5.6	2.1	2.1	0.8	-	-
Scan_054	2	3.2	2.3	3.2	2.2	1.3	0.6	-	-
Scan_055	18	7.3	2.4	7.2	2.0	4.0	1.1	-	-
Scan_056	8	3.6	1.5	3.1	0.9	2.1	0.9	-	-
Scan_057	17	6.3	1.9	6.0	1.7	2.0	0.6	-	-
Scan_058	4	1.0	0.7	1.0	0.5	0.8	0.4	-	-
Scan_059	4	1.7	0.7	1.7	0.6	0.9	0.4	-	-
Scan_060	2	1.7	0.9	1.7	0.9	0.5	0.2	-	-
Scan_061	6	1.9	0.9	1.8	0.6	0.9	0.5	-	-
Scan_062	10	2.4	1.1	2.4	0.9	0.8	0.4	-	-
Scan_063	17	4.5	1.8	3.9	1.4	2.3	0.9	-	-
Scan_064	16	5.7	1.8	5.7	1.6	3.1	0.7	-	-
Scan_065	8	4.8	1.7	2.7	1.3	4.0	1.1	-	-
Scan_066	17	7.3	2.3	7.2	2.1	1.9	0.7	-	-
Scan_068	12	5.4	1.7	5.2	1.2	3.5	1.0	-	-
Scan_070	11	5.5	2.3	5.5	1.5	3.2	1.4	-	-
Scan_071	3	5.5	2.1	5.5	1.9	1.8	0.7	-	-
Scan_072	12	4.5	1.7	3.9	1.2	3.6	0.9	-	-
Scan_074	6	1.1	0.9	1.1	0.8	0.8	0.4	-	-
Scan_075	16	32.7	3.2	21.4	2.5	24.7	1.7	-	-
Scan_076	7	34.6	4.0	24.0	3.0	24.8	2.2	-	-
Scan_077	18	9.4	3.2	6.0	2.2	9.0	1.9	-	-
Scan_078	10	34.6	4.7	24.0	3.3	24.8	3.1	-	-
Scan_079	7	3.6	2.2	3.6	1.8	2.4	1.2	-	-

Detaillierte Fehler

Scanpunktstatistiken

Cluster/Scan 1	Cluster/Scan 2	Punktfehler [mm]	Überlappung
Scan_017	Scan_011	1.6	65.1 %
Scan_017	Scan_019	1.1	56.8 %
Scan_019	Scan_020	3.2	86.4 %
Scan_020	Scan_018	2.1	94.5 %
Scan_021	Scan_020	1.1	92.6 %
Scan_021	Scan_022	1.4	93.5 %
Scan_022	Scan_023	2.5	98.6 %
Scan_022	Scan_025	3.8	57.1 %
Scan_024	Scan_022	1.0	95.4 %
Scan_025	Scan_026	0.8	39.2 %
Scan_028	Scan_026	1.2	84.9 %
Scan_028	Scan_027	1.7	86.5 %
Scan_029	Scan_026	1.3	87.1 %
Scan_030	Scan_029	2.4	84.0 %
Scan_030	Scan_031	2.5	92.1 %
Scan_007	Scan_000	1.2	89.4 %
Scan_007	Scan_009	1.2	55.1 %
Scan_011	Scan_016	0.8	76.6 %
Scan_011	Scan_013	1.1	80.7 %
Scan_012	Scan_009	1.2	66.1 %
Scan_012	Scan_011	0.9	89.1 %
Scan_015	Scan_011	1.2	76.5 %
Scan_081	Scan_078	1.7	51.4 %
Scan_082	Scan_081	1.8	86.0 %
Scan_082	Scan_083	1.5	74.9 %
Scan_084	Scan_083	0.9	83.9 %
Scan_032	Scan_031	3.9	81.1 %
Scan_033	Scan_032	1.8	92.2 %
Scan_033	Scan_039	1.9	89.3 %
Scan_035	Scan_034	1.4	92.9 %
Scan_036	Scan_037	0.9	70.1 %
Scan_037	Scan_034	1.6	79.0 %
Scan_038	Scan_037	1.3	68.1 %
Scan_039	Scan_037	2.0	65.5 %
Scan_040	Scan_034	1.0	85.5 %
Scan_041	Scan_040	1.0	34.8 %
Scan_041	Scan_042	0.7	96.1 %
Scan_043	Scan_042	0.8	66.9 %
Scan_044	Scan_047	0.6	46.3 %
Scan_045	Scan_044	0.7	61.6 %
Scan_045	Scan_046	0.5	88.1 %
Scan_048	Scan_047	0.8	67.8 %
Scan_048	Scan_049	0.5	56.5 %
Scan_050	Scan_049	0.7	64.5 %
Scan_050	Scan_052	1.1	90.1 %
Scan_051	Scan_052	1.1	95.4 %
Scan_053	Scan_049	0.8	45.8 %
Scan_053	Scan_054	1.0	81.9 %
Scan_055	Scan_057	0.8	54.3 %
Scan_056	Scan_055	0.7	85.9 %
Scan_058	Scan_057	0.5	73.7 %
Scan_059	Scan_058	0.6	68.8 %
Scan_060	Scan_059	0.6	75.5 %
Scan_061	Scan_058	0.5	69.2 %
Scan_063	Scan_062	0.8	76.9 %
Scan_063	Scan_064	0.7	66.1 %
Scan_065	Scan_064	1.3	86.3 %
Scan_066	Scan_048	0.8	64.9 %
Scan_066	Scan_064	0.7	75.7 %
Scan_066	Scan_068	0.6	68.1 %
Scan_068	Scan_057	1.0	63.2 %
Scan_070	Scan_068	0.9	87.4 %

Scan_071	Scan_070	0.9	91.6 %
Scan_072	Scan_068	0.5	65.4 %
Scan_074	Scan_072	0.7	81.7 %
Scan_075	Scan_068	0.7	58.4 %
Scan_075	Scan_076	1.0	66.5 %
Scan_077	Scan_034	1.4	73.1 %
Scan_078	Scan_080	0.6	57.6 %
Scan_078	Scan_085	1.0	98.5 %
Scan_078	Scan_076	1.9	77.1 %
Scan_079	Scan_076	1.7	65.3 %
Scan_079	Scan_077	1.0	53.4 %

Zielstatistiken

Cluster/Scan 1	Ziel 1	Cluster/Scan 2	Ziel 2	Abst. [mm]	Hor. [mm]	Ver. [mm]	Winkel [deg]
Scan_016	Checkerboard1	Scan_017	Checkerboard1	1.9	1.8	0.6	-
Scan_016	CheckerboardTarget2	Scan_015	CheckerboardTarget2	0.7	0.1	0.7	-
Scan_016	Checkerboard1	Scan_011	Checkerboard1	0.5	0.1	0.4	-
Scan_016	Checkerboard	Scan_012	Checkerboard	0.8	0.6	0.6	-
Scan_016	Checkerboard1	Scan_012	Checkerboard1	0.5	0.4	0.4	-
Scan_016	Checkerboard	Scan_013	Checkerboard	1.3	1.3	0.1	-
Scan_017	CheckerboardTarget1	Scan_012	CheckerboardTarget1	2.5	2.2	1.2	-
Scan_017	CheckerboardTarget4	Scan_012	CheckerboardTarget4	1.0	1.0	0.1	-
Scan_017	Checkerboard	Scan_012	Checkerboard	0.8	0.7	0.4	-
Scan_017	Checkerboard	Scan_016	Checkerboard	1.1	1.1	0.2	-
Scan_017	Checkerboard3	Scan_011	Checkerboard3	1.7	1.6	0.3	-
Scan_017	Checkerboard	Scan_011	Checkerboard	0.8	0.7	0.3	-
Scan_017	Checkerboard3	Scan_013	Checkerboard3	0.6	0.6	0.1	-
Scan_017	Checkerboard	Scan_013	Checkerboard	1.9	1.9	0.3	-
Scan_017	Checkerboard4	Scan_018	Checkerboard4	3.1	2.7	1.5	-
Scan_017	Checkerboard13	Scan_018	Checkerboard13	1.6	1.6	0.0	-
Scan_017	Checkerboard4	Scan_019	Checkerboard4	2.1	2.1	0.5	-
Scan_017	Checkerboard4	Scan_020	Checkerboard4	2.6	2.5	0.9	-
Scan_017	Checkerboard	Scan_015	Checkerboard	1.1	0.8	0.7	-
Scan_018	Checkerboard5	Scan_017	Checkerboard5	2.6	2.3	1.3	-
Scan_018	Checkerboard9	Scan_020	Checkerboard9	4.7	4.7	0.2	-
Scan_018	Checkerboard9	Scan_022	Checkerboard9	6.0	3.4	4.9	-
Scan_018	Checkerboard9	Scan_023	Checkerboard9	6.1	1.7	5.8	-
Scan_019	Checkerboard5	Scan_017	Checkerboard5	4.0	4.0	0.6	-
Scan_019	Checkerboard5	Scan_018	Checkerboard5	6.2	6.2	0.7	-
Scan_019	Checkerboard4	Scan_018	Checkerboard4	3.7	3.0	2.0	-
Scan_019	Checkerboard9	Scan_018	Checkerboard9	3.6	3.4	1.2	-
Scan_019	Checkerboard9	Scan_020	Checkerboard9	2.0	1.7	0.9	-
Scan_019	Checkerboard9	Scan_022	Checkerboard9	4.4	2.3	3.7	-
Scan_019	Checkerboard9	Scan_023	Checkerboard9	7.3	1.8	7.0	-
Scan_020	Checkerboard4	Scan_018	Checkerboard4	5.0	5.0	0.6	-
Scan_020	Checkerboard4	Scan_019	Checkerboard4	4.4	4.2	1.5	-
Scan_020	Checkerboard6	Scan_019	Checkerboard6	1.0	0.6	0.8	-
Scan_020	Checkerboard10	Scan_021	Checkerboard10	0.2	0.1	0.2	-
Scan_020	Checkerboard10	Scan_022	Checkerboard10	8.5	5.1	6.8	-
Scan_020	Checkerboard14	Scan_022	Checkerboard14	2.3	1.0	2.1	-
Scan_020	Checkerboard9	Scan_023	Checkerboard9	6.9	3.3	6.1	-
Scan_020	Checkerboard6	Scan_024	Checkerboard6	3.4	2.1	2.8	-
Scan_021	Checkerboard9	Scan_018	Checkerboard9	4.3	4.1	1.3	-
Scan_021	Checkerboard6	Scan_019	Checkerboard6	3.5	1.6	3.1	-
Scan_021	Checkerboard9	Scan_019	Checkerboard9	2.7	1.2	2.4	-
Scan_021	Checkerboard9	Scan_020	Checkerboard9	1.6	0.6	1.5	-
Scan_021	Checkerboard11	Scan_020	Checkerboard11	8.7	8.7	0.4	-
Scan_021	Checkerboard6	Scan_020	Checkerboard6	2.5	1.0	2.3	-
Scan_021	Checkerboard14	Scan_020	Checkerboard14	1.9	1.6	0.9	-
Scan_021	Checkerboard14	Scan_022	Checkerboard14	1.3	0.7	1.1	-
Scan_021	Checkerboard9	Scan_022	Checkerboard9	6.4	1.7	6.2	-
Scan_021	Checkerboard6	Scan_022	Checkerboard6	2.6	2.4	0.9	-
Scan_021	Checkerboard14	Scan_023	Checkerboard14	4.0	3.1	2.6	-
Scan_021	Checkerboard9	Scan_023	Checkerboard9	5.3	2.8	4.6	-
Scan_021	Checkerboard6	Scan_023	Checkerboard6	2.7	2.1	1.8	-
Scan_021	Checkerboard6	Scan_024	Checkerboard6	2.1	2.1	0.5	-

Scan_022	Checkerboard6	Scan_019	Checkerboard6	2.7	1.6	2.2	-
Scan_022	Checkerboard9	Scan_020	Checkerboard9	5.1	1.9	4.7	-
Scan_022	Checkerboard6	Scan_020	Checkerboard6	2.3	1.9	1.4	-
Scan_022	Checkerboard22	Scan_021	Checkerboard22	3.2	2.6	1.9	-
Scan_022	Checkerboard10	Scan_021	Checkerboard10	8.6	5.0	7.0	-
Scan_022	Checkerboard16	Scan_021	Checkerboard16	4.1	4.1	0.5	-
Scan_022	Checkerboard9	Scan_023	Checkerboard9	11.1	2.7	10.7	-
Scan_022	Checkerboard22	Scan_023	Checkerboard22	2.8	0.7	2.7	-
Scan_022	Checkerboard6	Scan_024	Checkerboard6	1.7	1.1	1.4	-
Scan_023	Checkerboard6	Scan_019	Checkerboard6	5.4	2.3	4.8	-
Scan_023	Checkerboard6	Scan_020	Checkerboard6	4.6	2.3	4.1	-
Scan_023	Checkerboard14	Scan_020	Checkerboard14	2.4	1.7	1.6	-
Scan_023	Checkerboard22	Scan_021	Checkerboard22	3.2	3.1	0.9	-
Scan_023	Checkerboard16	Scan_021	Checkerboard16	9.1	8.6	3.1	-
Scan_023	Checkerboard16	Scan_022	Checkerboard16	5.8	4.6	3.6	-
Scan_023	Checkerboard14	Scan_022	Checkerboard14	4.5	2.7	3.7	-
Scan_023	Checkerboard6	Scan_022	Checkerboard6	3.1	1.5	2.7	-
Scan_023	Checkerboard6	Scan_024	Checkerboard6	1.4	0.4	1.3	-
Scan_023	Checkerboard16	Scan_024	Checkerboard16	5.5	4.7	2.9	-
Scan_023	Checkerboard16	Scan_025	Checkerboard16	4.0	3.8	1.3	-
Scan_024	Checkerboard6	Scan_019	Checkerboard6	4.1	2.1	3.5	-
Scan_024	Checkerboard22	Scan_021	Checkerboard22	3.3	3.1	0.9	-
Scan_024	Checkerboard16	Scan_021	Checkerboard16	4.0	4.0	0.2	-
Scan_024	Checkerboard16	Scan_022	Checkerboard16	0.9	0.5	0.7	-
Scan_024	Checkerboard27	Scan_022	Checkerboard27	2.3	2.3	0.1	-
Scan_024	Checkerboard22	Scan_022	Checkerboard22	1.5	1.2	0.9	-
Scan_024	Checkerboard22	Scan_023	Checkerboard22	1.9	0.6	1.8	-
Scan_025	Checkerboard9	Scan_018	Checkerboard9	2.7	2.4	1.4	-
Scan_025	Checkerboard9	Scan_019	Checkerboard9	2.9	1.3	2.6	-
Scan_025	Checkerboard9	Scan_020	Checkerboard9	2.8	2.3	1.6	-
Scan_025	Checkerboard9	Scan_021	Checkerboard9	1.8	1.8	0.1	-
Scan_025	Checkerboard16	Scan_021	Checkerboard16	5.4	5.0	1.8	-
Scan_025	Checkerboard16	Scan_022	Checkerboard16	2.6	1.1	2.3	-
Scan_025	Checkerboard27	Scan_022	Checkerboard27	3.2	2.7	1.6	-
Scan_025	Checkerboard9	Scan_022	Checkerboard9	6.5	1.6	6.3	-
Scan_025	Checkerboard9	Scan_023	Checkerboard9	4.6	1.2	4.4	-
Scan_025	Checkerboard24	Scan_027	Checkerboard24	7.2	7.0	1.4	-
Scan_025	Checkerboard27	Scan_024	Checkerboard27	2.9	2.4	1.6	-
Scan_025	Checkerboard16	Scan_024	Checkerboard16	2.2	1.5	1.6	-
Scan_025	Checkerboard24	Scan_026	Checkerboard24	1.8	1.8	0.2	-
Scan_025	Checkerboard24	Scan_028	Checkerboard24	6.2	6.2	0.4	-
Scan_025	CheckerboardTarget11	Scan_029	CheckerboardTarget11	3.5	3.5	0.4	-
Scan_025	Checkerboard24	Scan_029	Checkerboard24	4.3	3.9	2.0	-
Scan_025	Checkerboard48	Scan_039	Checkerboard48	6.1	3.4	5.1	-
Scan_026	Checkerboard24	Scan_027	Checkerboard24	5.6	5.3	1.6	-
Scan_026	Checkerboard48	Scan_027	Checkerboard48	3.8	3.7	0.6	-
Scan_026	Checkerboard48	Scan_025	Checkerboard48	2.2	2.1	0.2	-
Scan_026	CheckerboardTarget11	Scan_025	CheckerboardTarget11	2.1	1.9	0.8	-
Scan_026	Checkerboard39	Scan_025	Checkerboard39	2.3	2.2	0.6	-
Scan_026	Checkerboard39	Scan_029	Checkerboard39	5.6	5.2	1.9	-
Scan_026	Checkerboard41	Scan_029	Checkerboard41	2.5	2.0	1.5	-
Scan_026	Checkerboard33	Scan_029	Checkerboard33	6.0	5.9	0.7	-
Scan_026	CheckerboardTarget11	Scan_029	CheckerboardTarget11	1.6	1.6	0.4	-
Scan_026	Checkerboard24	Scan_028	Checkerboard24	4.8	4.7	0.6	-
Scan_026	Checkerboard48	Scan_028	Checkerboard48	2.7	2.6	0.8	-
Scan_026	Checkerboard29	Scan_031	Checkerboard29	5.2	4.8	1.9	-
Scan_026	Checkerboard48	Scan_031	Checkerboard48	2.0	1.4	1.5	-
Scan_026	Checkerboard48	Scan_039	Checkerboard48	5.1	1.4	4.9	-
Scan_027	Checkerboard48	Scan_025	Checkerboard48	5.9	5.9	0.4	-
Scan_027	Checkerboard33	Scan_026	Checkerboard33	4.3	4.2	1.1	-
Scan_027	Checkerboard34	Scan_026	Checkerboard34	5.0	4.9	0.4	-
Scan_027	Checkerboard24	Scan_028	Checkerboard24	1.8	1.5	1.0	-
Scan_027	Checkerboard33	Scan_028	Checkerboard33	1.6	0.7	1.4	-
Scan_027	Checkerboard48	Scan_028	Checkerboard48	1.2	1.2	0.2	-
Scan_027	Checkerboard28	Scan_028	Checkerboard28	2.9	2.8	1.0	-
Scan_027	Checkerboard33	Scan_029	Checkerboard33	1.8	1.8	0.4	-
Scan_027	Checkerboard30	Scan_029	Checkerboard30	3.0	3.0	0.2	-
Scan_027	Checkerboard20	Scan_030	Checkerboard20	4.8	4.5	1.6	-

Scan_027	Checkerboard33	Scan_031	Checkerboard33	2.0	1.8	0.8	-
Scan_027	Checkerboard48	Scan_031	Checkerboard48	4.7	4.6	0.8	-
Scan_027	Checkerboard28	Scan_031	Checkerboard28	6.1	6.0	1.0	-
Scan_027	Checkerboard48	Scan_039	Checkerboard48	6.1	2.6	5.5	-
Scan_028	Checkerboard34	Scan_027	Checkerboard34	2.7	1.6	2.1	-
Scan_028	Checkerboard48	Scan_025	Checkerboard48	4.8	4.7	0.6	-
Scan_028	Checkerboard29	Scan_026	Checkerboard29	5.0	3.0	4.0	-
Scan_028	Checkerboard33	Scan_026	Checkerboard33	3.5	3.5	0.3	-
Scan_028	Checkerboard34	Scan_026	Checkerboard34	4.3	3.9	1.8	-
Scan_028	Checkerboard28	Scan_031	Checkerboard28	8.3	8.3	0.0	-
Scan_028	Checkerboard29	Scan_031	Checkerboard29	3.3	2.6	2.1	-
Scan_028	Checkerboard52	Scan_031	Checkerboard52	1.6	1.4	0.8	-
Scan_028	Checkerboard34	Scan_029	Checkerboard34	1.8	1.6	0.9	-
Scan_028	Checkerboard33	Scan_029	Checkerboard33	2.7	2.5	1.0	-
Scan_028	Checkerboard32	Scan_029	Checkerboard32	5.3	4.8	2.3	-
Scan_028	Checkerboard29	Scan_030	Checkerboard29	3.7	0.9	3.6	-
Scan_028	Checkerboard48	Scan_039	Checkerboard48	5.9	1.7	5.7	-
Scan_028	Checkerboard52	Scan_039	Checkerboard52	8.6	2.1	8.3	-
Scan_028	Checkerboard52	Scan_038	Checkerboard52	6.6	2.2	6.2	-
Scan_028	Checkerboard52	Scan_034	Checkerboard52	7.9	2.9	7.3	-
Scan_028	Checkerboard52	Scan_035	Checkerboard52	4.2	3.1	2.9	-
Scan_029	Checkerboard24	Scan_027	Checkerboard24	3.4	3.4	0.5	-
Scan_029	Checkerboard48	Scan_027	Checkerboard48	3.8	3.7	0.8	-
Scan_029	Checkerboard34	Scan_027	Checkerboard34	2.8	2.6	1.2	-
Scan_029	Checkerboard48	Scan_025	Checkerboard48	2.4	2.2	1.1	-
Scan_029	Checkerboard39	Scan_025	Checkerboard39	6.1	5.5	2.5	-
Scan_029	Checkerboard24	Scan_026	Checkerboard24	3.0	2.1	2.2	-
Scan_029	Checkerboard48	Scan_026	Checkerboard48	1.4	0.1	1.4	-
Scan_029	Checkerboard34	Scan_026	Checkerboard34	5.1	5.0	0.9	-
Scan_029	Checkerboard48	Scan_028	Checkerboard48	2.6	2.6	0.5	-
Scan_029	Checkerboard52	Scan_028	Checkerboard52	5.0	2.1	4.5	-
Scan_029	Checkerboard24	Scan_028	Checkerboard24	3.4	3.1	1.5	-
Scan_029	Checkerboard48	Scan_031	Checkerboard48	1.4	1.4	0.1	-
Scan_029	Checkerboard52	Scan_031	Checkerboard52	3.9	1.4	3.7	-
Scan_029	Checkerboard48	Scan_039	Checkerboard48	6.4	1.4	6.3	-
Scan_029	Checkerboard52	Scan_039	Checkerboard52	5.6	4.1	3.8	-
Scan_029	Checkerboard52	Scan_038	Checkerboard52	3.2	2.7	1.7	-
Scan_029	Checkerboard52	Scan_034	Checkerboard52	5.7	4.9	2.8	-
Scan_029	Checkerboard52	Scan_035	Checkerboard52	4.4	4.1	1.6	-
Scan_030	Checkerboard33	Scan_027	Checkerboard33	0.4	0.3	0.2	-
Scan_030	Checkerboard30	Scan_027	Checkerboard30	2.5	1.3	2.1	-
Scan_030	Checkerboard48	Scan_027	Checkerboard48	2.8	2.7	0.6	-
Scan_030	Checkerboard48	Scan_025	Checkerboard48	3.2	3.2	0.2	-
Scan_030	Checkerboard41	Scan_026	Checkerboard41	3.1	1.7	2.6	-
Scan_030	Checkerboard29	Scan_026	Checkerboard29	3.3	3.3	0.4	-
Scan_030	Checkerboard33	Scan_026	Checkerboard33	4.7	4.5	1.3	-
Scan_030	Checkerboard48	Scan_026	Checkerboard48	1.0	1.0	0.0	-
Scan_030	Checkerboard48	Scan_028	Checkerboard48	1.8	1.5	0.8	-
Scan_030	Checkerboard33	Scan_028	Checkerboard33	1.8	1.0	1.5	-
Scan_030	Checkerboard32	Scan_028	Checkerboard32	5.3	1.9	4.9	-
Scan_030	Checkerboard30	Scan_029	Checkerboard30	2.7	1.8	1.9	-
Scan_030	Checkerboard33	Scan_029	Checkerboard33	1.7	1.6	0.5	-
Scan_030	Checkerboard41	Scan_029	Checkerboard41	1.7	1.2	1.1	-
Scan_030	Checkerboard32	Scan_029	Checkerboard32	4.0	2.9	2.6	-
Scan_030	Checkerboard48	Scan_029	Checkerboard48	1.7	1.0	1.4	-
Scan_030	Checkerboard38	Scan_029	Checkerboard38	7.6	2.8	7.1	-
Scan_030	Checkerboard48	Scan_031	Checkerboard48	2.7	2.2	1.5	-
Scan_030	Checkerboard33	Scan_031	Checkerboard33	1.9	1.7	1.0	-
Scan_030	Checkerboard29	Scan_031	Checkerboard29	3.7	3.3	1.5	-
Scan_030	Checkerboard48	Scan_032	Checkerboard48	2.9	2.3	1.8	-
Scan_030	Checkerboard50	Scan_032	Checkerboard50	3.8	3.8	0.4	-
Scan_030	Checkerboard48	Scan_039	Checkerboard48	5.0	0.9	4.9	-
Scan_031	Checkerboard30	Scan_027	Checkerboard30	5.3	5.3	0.5	-
Scan_031	Checkerboard34	Scan_027	Checkerboard34	3.2	1.6	2.7	-
Scan_031	Checkerboard48	Scan_025	Checkerboard48	2.1	1.7	1.2	-
Scan_031	Checkerboard33	Scan_026	Checkerboard33	6.0	6.0	0.3	-
Scan_031	Checkerboard34	Scan_026	Checkerboard34	4.1	3.4	2.4	-
Scan_031	Checkerboard34	Scan_028	Checkerboard34	1.1	0.9	0.6	-

Scan_031	Checkerboard48	Scan_028	Checkerboard48	3.6	3.6	0.6	-
Scan_031	Checkerboard33	Scan_028	Checkerboard33	2.6	2.6	0.6	-
Scan_031	Checkerboard30	Scan_029	Checkerboard30	2.3	2.3	0.3	-
Scan_031	Checkerboard33	Scan_029	Checkerboard33	0.5	0.3	0.4	-
Scan_031	Checkerboard34	Scan_029	Checkerboard34	2.9	2.5	1.5	-
Scan_031	Checkerboard30	Scan_030	Checkerboard30	4.4	4.1	1.6	-
Scan_031	Checkerboard52	Scan_038	Checkerboard52	5.5	1.3	5.4	-
Scan_031	Checkerboard52	Scan_035	Checkerboard52	3.4	2.7	2.0	-
Scan_031	Checkerboard48	Scan_039	Checkerboard48	6.6	2.0	6.3	-
Scan_000	Checkerboard61	Scan_009	Checkerboard61	1.8	1.7	0.4	-
Scan_000	Checkerboard62	Scan_009	Checkerboard62	1.5	1.5	0.3	-
Scan_007	Checkerboard61	Scan_000	Checkerboard61	0.6	0.6	0.3	-
Scan_007	Checkerboard62	Scan_000	Checkerboard62	0.4	0.4	0.2	-
Scan_007	Checkerboard62	Scan_009	Checkerboard62	1.9	1.8	0.5	-
Scan_007	Checkerboard61	Scan_009	Checkerboard61	2.3	2.3	0.7	-
Scan_009	Checkerboard	Scan_017	Checkerboard	1.6	1.6	0.0	-
Scan_009	Checkerboard	Scan_016	Checkerboard	0.8	0.7	0.2	-
Scan_009	Checkerboard60	Scan_007	Checkerboard60	2.2	2.2	0.2	-
Scan_009	Checkerboard58	Scan_011	Checkerboard58	1.7	1.7	0.4	-
Scan_009	Checkerboard	Scan_011	Checkerboard	1.1	1.0	0.4	-
Scan_009	Checkerboard59	Scan_011	Checkerboard59	1.9	1.7	0.7	-
Scan_009	Checkerboard58	Scan_013	Checkerboard58	1.6	1.6	0.4	-
Scan_009	Checkerboard	Scan_013	Checkerboard	2.0	1.9	0.3	-
Scan_009	Checkerboard59	Scan_013	Checkerboard59	1.5	1.4	0.7	-
Scan_009	Checkerboard	Scan_012	Checkerboard	0.9	0.9	0.4	-
Scan_009	Checkerboard	Scan_015	Checkerboard	1.1	0.8	0.7	-
Scan_011	Checkerboard1	Scan_017	Checkerboard1	1.7	1.7	0.2	-
Scan_011	CheckerboardTarget4	Scan_017	CheckerboardTarget4	1.2	1.1	0.3	-
Scan_011	Checkerboard	Scan_016	Checkerboard	0.4	0.4	0.2	-
Scan_011	Checkerboard2	Scan_016	Checkerboard2	0.8	0.5	0.6	-
Scan_011	Checkerboard59	Scan_013	Checkerboard59	0.4	0.4	0.0	-
Scan_011	CheckerboardTarget4	Scan_013	CheckerboardTarget4	4.6	4.6	0.2	-
Scan_011	Checkerboard	Scan_013	Checkerboard	1.4	1.4	0.1	-
Scan_011	Checkerboard1	Scan_012	Checkerboard1	0.3	0.3	0.0	-
Scan_011	CheckerboardTarget4	Scan_012	CheckerboardTarget4	1.4	1.4	0.2	-
Scan_011	Checkerboard	Scan_012	Checkerboard	0.8	0.4	0.7	-
Scan_011	Checkerboard	Scan_015	Checkerboard	0.4	0.2	0.3	-
Scan_012	Checkerboard1	Scan_017	Checkerboard1	1.6	1.6	0.3	-
Scan_012	Checkerboard59	Scan_009	Checkerboard59	1.6	1.6	0.2	-
Scan_012	Checkerboard59	Scan_011	Checkerboard59	0.9	0.1	0.9	-
Scan_012	Checkerboard	Scan_013	Checkerboard	1.9	1.8	0.7	-
Scan_012	Checkerboard59	Scan_013	Checkerboard59	0.9	0.3	0.9	-
Scan_013	CheckerboardTarget4	Scan_017	CheckerboardTarget4	4.3	4.2	0.5	-
Scan_013	Checkerboard58	Scan_011	Checkerboard58	1.0	0.5	0.9	-
Scan_013	Checkerboard3	Scan_011	Checkerboard3	2.2	2.1	0.4	-
Scan_013	CheckerboardTarget4	Scan_012	CheckerboardTarget4	3.4	3.4	0.4	-
Scan_015	Checkerboard	Scan_016	Checkerboard	0.6	0.3	0.5	-
Scan_015	Checkerboard2	Scan_016	Checkerboard2	1.3	0.4	1.2	-
Scan_015	Checkerboard2	Scan_011	Checkerboard2	1.9	0.5	1.8	-
Scan_015	Checkerboard	Scan_012	Checkerboard	1.1	0.3	1.1	-
Scan_015	Checkerboard	Scan_013	Checkerboard	1.5	1.5	0.4	-
Scan_080	Checkerboard67	Scan_085	Checkerboard67	0.9	0.9	0.3	-
Scan_080	Checkerboard67	Scan_078	Checkerboard67	2.6	1.4	2.2	-
Scan_081	Checkerboard71	Scan_075	Checkerboard71	1.9	1.7	0.7	-
Scan_081	Checkerboard66	Scan_075	Checkerboard66	2.2	1.6	1.5	-
Scan_081	Checkerboard71	Scan_076	Checkerboard71	2.7	2.1	1.7	-
Scan_081	Checkerboard75	Scan_082	Checkerboard75	1.7	1.7	0.2	-
Scan_081	Checkerboard75	Scan_083	Checkerboard75	1.1	1.1	0.1	-
Scan_081	Checkerboard75	Scan_078	Checkerboard75	2.0	2.0	0.2	-
Scan_082	Checkerboard70	Scan_081	Checkerboard70	2.1	2.0	0.7	-
Scan_082	Checkerboard72	Scan_081	Checkerboard72	1.4	1.3	0.6	-
Scan_082	Checkerboard74	Scan_083	Checkerboard74	0.8	0.7	0.2	-
Scan_082	Checkerboard75	Scan_083	Checkerboard75	0.8	0.8	0.1	-
Scan_083	Checkerboard77	Scan_084	Checkerboard77	2.1	2.1	0.2	-
Scan_083	Checkerboard73	Scan_084	Checkerboard73	0.5	0.4	0.2	-
Scan_084	Checkerboard75	Scan_081	Checkerboard75	1.2	1.2	0.1	-
Scan_084	Checkerboard74	Scan_082	Checkerboard74	1.6	1.6	0.3	-
Scan_084	Checkerboard75	Scan_082	Checkerboard75	1.3	1.3	0.1	-

Scan_084	Checkerboard74	Scan_083	Checkerboard74	0.9	0.9	0.1	-
Scan_084	Checkerboard75	Scan_083	Checkerboard75	1.3	1.3	0.1	-
Scan_084	Checkerboard75	Scan_078	Checkerboard75	1.5	1.4	0.3	-
Scan_085	Checkerboard69	Scan_080	Checkerboard69	1.9	1.5	1.2	-
Scan_085	Checkerboard68	Scan_080	Checkerboard68	1.4	0.9	1.1	-
Scan_085	Checkerboard65	Scan_081	Checkerboard65	1.5	0.4	1.5	-
Scan_085	Checkerboard66	Scan_081	Checkerboard66	1.5	1.5	0.0	-
Scan_085	Checkerboard67	Scan_078	Checkerboard67	3.3	2.2	2.5	-
Scan_085	Checkerboard65	Scan_078	Checkerboard65	1.5	1.5	0.3	-
Scan_085	Checkerboard69	Scan_078	Checkerboard69	1.4	1.0	1.0	-
Scan_085	Checkerboard81	Scan_078	Checkerboard81	2.7	1.4	2.3	-
Scan_085	Checkerboard79	Scan_078	Checkerboard79	2.2	1.2	1.9	-
Scan_085	Checkerboard65	Scan_076	Checkerboard65	2.9	2.8	0.7	-
Scan_085	Checkerboard66	Scan_076	Checkerboard66	1.4	0.9	1.0	-
Scan_085	Checkerboard65	Scan_077	Checkerboard65	1.2	0.9	0.8	-
Scan_085	Checkerboard79	Scan_077	Checkerboard79	2.5	2.5	0.3	-
Scan_085	Checkerboard65	Scan_079	Checkerboard65	1.1	0.5	1.0	-
Scan_085	Checkerboard69	Scan_079	Checkerboard69	3.6	3.6	0.3	-
Scan_085	Checkerboard79	Scan_079	Checkerboard79	1.5	1.4	0.3	-
Scan_085	Checkerboard66	Scan_075	Checkerboard66	2.4	1.8	1.5	-
Scan_032	Checkerboard48	Scan_025	Checkerboard48	5.4	5.1	1.6	-
Scan_032	Checkerboard29	Scan_026	Checkerboard29	12.6	12.6	0.8	-
Scan_032	Checkerboard48	Scan_026	Checkerboard48	3.6	3.1	1.8	-
Scan_032	Checkerboard48	Scan_027	Checkerboard48	1.8	1.4	1.2	-
Scan_032	Checkerboard48	Scan_028	Checkerboard48	1.7	1.4	1.0	-
Scan_032	Checkerboard29	Scan_028	Checkerboard29	10.8	9.7	4.7	-
Scan_032	Checkerboard48	Scan_029	Checkerboard48	3.1	3.1	0.4	-
Scan_032	Checkerboard38	Scan_029	Checkerboard38	15.7	14.2	6.7	-
Scan_032	Checkerboard38	Scan_030	Checkerboard38	14.8	14.8	0.4	-
Scan_032	Checkerboard29	Scan_030	Checkerboard29	9.8	9.7	1.1	-
Scan_032	Checkerboard29	Scan_031	Checkerboard29	8.6	8.2	2.7	-
Scan_032	Checkerboard48	Scan_031	Checkerboard48	3.7	3.6	0.3	-
Scan_032	Checkerboard168	Scan_038	Checkerboard168	1.5	1.4	0.5	-
Scan_032	Checkerboard82	Scan_033	Checkerboard82	5.6	5.3	1.7	-
Scan_032	Checkerboard93	Scan_033	Checkerboard93	1.9	1.3	1.4	-
Scan_032	Checkerboard86	Scan_033	Checkerboard86	5.5	4.9	2.5	-
Scan_032	Checkerboard168	Scan_077	Checkerboard168	6.7	4.8	4.6	-
Scan_032	Checkerboard166	Scan_077	Checkerboard166	1.7	1.4	1.0	-
Scan_032	Checkerboard93	Scan_077	Checkerboard93	1.9	0.4	1.8	-
Scan_032	Checkerboard84	Scan_077	Checkerboard84	1.8	1.7	0.6	-
Scan_032	Checkerboard166	Scan_039	Checkerboard166	2.2	2.1	0.7	-
Scan_032	Checkerboard48	Scan_039	Checkerboard48	6.9	1.7	6.7	-
Scan_032	Checkerboard84	Scan_036	Checkerboard84	2.1	2.1	0.2	-
Scan_032	Checkerboard87	Scan_037	Checkerboard87	4.8	4.8	0.6	-
Scan_032	Checkerboard93	Scan_037	Checkerboard93	1.1	1.0	0.3	-
Scan_032	Checkerboard84	Scan_037	Checkerboard84	1.9	1.6	1.0	-
Scan_032	Checkerboard96	Scan_034	Checkerboard96	8.3	7.2	4.2	-
Scan_032	Checkerboard84	Scan_034	Checkerboard84	1.7	1.3	1.0	-
Scan_032	Checkerboard84	Scan_035	Checkerboard84	4.2	2.9	3.1	-
Scan_032	Checkerboard86	Scan_035	Checkerboard86	3.0	1.6	2.5	-
Scan_033	Checkerboard30	Scan_027	Checkerboard30	9.8	6.9	7.0	-
Scan_033	Checkerboard30	Scan_029	Checkerboard30	11.9	9.8	6.8	-
Scan_033	Checkerboard30	Scan_030	Checkerboard30	9.3	8.0	4.8	-
Scan_033	Checkerboard30	Scan_031	Checkerboard30	13.6	12.0	6.4	-
Scan_033	Checkerboard168	Scan_032	Checkerboard168	4.8	3.5	3.2	-
Scan_033	Checkerboard166	Scan_032	Checkerboard166	4.2	3.8	2.0	-
Scan_033	Checkerboard168	Scan_038	Checkerboard168	5.6	4.9	2.8	-
Scan_033	Checkerboard166	Scan_039	Checkerboard166	3.9	2.8	2.7	-
Scan_033	Checkerboard166	Scan_077	Checkerboard166	5.9	5.2	2.9	-
Scan_033	Checkerboard168	Scan_077	Checkerboard168	2.4	1.9	1.4	-
Scan_034	Checkerboard50	Scan_030	Checkerboard50	13.9	11.5	7.8	-
Scan_034	Checkerboard49	Scan_030	Checkerboard49	13.7	10.9	8.3	-
Scan_034	Checkerboard52	Scan_031	Checkerboard52	7.6	3.9	6.5	-
Scan_034	Checkerboard93	Scan_032	Checkerboard93	1.5	1.5	0.3	-
Scan_034	Checkerboard50	Scan_032	Checkerboard50	11.5	8.1	8.2	-
Scan_034	Checkerboard86	Scan_032	Checkerboard86	3.9	3.6	1.6	-
Scan_034	Checkerboard52	Scan_038	Checkerboard52	3.7	3.6	1.1	-
Scan_034	Checkerboard86	Scan_033	Checkerboard86	1.6	1.4	0.9	-

Scan_034	Checkerboard92	Scan_033	Checkerboard92	6.3	5.3	3.3	-
Scan_034	Checkerboard93	Scan_033	Checkerboard93	2.3	1.6	1.7	-
Scan_034	Checkerboard95	Scan_035	Checkerboard95	4.2	4.1	0.4	-
Scan_034	Checkerboard86	Scan_035	Checkerboard86	2.2	2.0	0.9	-
Scan_034	Checkerboard92	Scan_035	Checkerboard92	3.2	3.1	1.0	-
Scan_034	Checkerboard52	Scan_035	Checkerboard52	5.5	3.2	4.5	-
Scan_034	Checkerboard95	Scan_036	Checkerboard95	6.7	6.2	2.4	-
Scan_034	Checkerboard86	Scan_036	Checkerboard86	7.0	6.7	2.0	-
Scan_034	Checkerboard93	Scan_037	Checkerboard93	1.2	1.2	0.0	-
Scan_034	Checkerboard93	Scan_077	Checkerboard93	2.0	1.2	1.6	-
Scan_034	Checkerboard98	Scan_040	Checkerboard98	2.0	1.8	0.8	-
Scan_034	Checkerboard98	Scan_041	Checkerboard98	2.2	0.5	2.2	-
Scan_034	Checkerboard98	Scan_043	Checkerboard98	1.2	0.2	1.2	-
Scan_034	Checkerboard98	Scan_044	Checkerboard98	2.8	1.4	2.4	-
Scan_034	Checkerboard98	Scan_045	Checkerboard98	1.8	1.0	1.5	-
Scan_034	Checkerboard98	Scan_047	Checkerboard98	1.6	0.7	1.4	-
Scan_035	Checkerboard86	Scan_033	Checkerboard86	3.3	3.3	0.0	-
Scan_035	Checkerboard92	Scan_033	Checkerboard92	4.9	4.3	2.3	-
Scan_035	Checkerboard84	Scan_034	Checkerboard84	3.0	2.2	2.1	-
Scan_035	Checkerboard91	Scan_034	Checkerboard91	6.8	5.6	3.8	-
Scan_035	Checkerboard94	Scan_034	Checkerboard94	14.6	2.1	14.4	-
Scan_036	Checkerboard87	Scan_032	Checkerboard87	4.6	4.6	0.5	-
Scan_036	Checkerboard93	Scan_032	Checkerboard93	1.2	1.0	0.7	-
Scan_036	Checkerboard86	Scan_032	Checkerboard86	3.9	3.9	0.4	-
Scan_036	Checkerboard102	Scan_038	Checkerboard102	5.2	5.2	0.0	-
Scan_036	Checkerboard86	Scan_033	Checkerboard86	8.5	8.0	2.9	-
Scan_036	Checkerboard93	Scan_033	Checkerboard93	0.8	0.3	0.7	-
Scan_036	Checkerboard84	Scan_034	Checkerboard84	1.5	1.3	0.8	-
Scan_036	Checkerboard93	Scan_034	Checkerboard93	1.7	1.3	1.0	-
Scan_036	Checkerboard95	Scan_035	Checkerboard95	2.9	2.2	1.9	-
Scan_036	Checkerboard86	Scan_035	Checkerboard86	5.8	5.0	2.9	-
Scan_036	Checkerboard84	Scan_035	Checkerboard84	4.4	3.4	2.9	-
Scan_036	Checkerboard93	Scan_037	Checkerboard93	1.0	0.1	1.0	-
Scan_036	Checkerboard87	Scan_037	Checkerboard87	0.9	0.8	0.2	-
Scan_036	Checkerboard102	Scan_037	Checkerboard102	1.8	1.7	0.7	-
Scan_036	Checkerboard93	Scan_077	Checkerboard93	2.6	0.7	2.5	-
Scan_036	Checkerboard87	Scan_077	Checkerboard87	2.0	0.7	1.9	-
Scan_036	Checkerboard102	Scan_077	Checkerboard102	3.6	3.5	0.7	-
Scan_036	Checkerboard102	Scan_039	Checkerboard102	3.3	3.1	1.2	-
Scan_037	Checkerboard102	Scan_038	Checkerboard102	3.6	3.5	0.7	-
Scan_037	Checkerboard93	Scan_033	Checkerboard93	1.8	0.4	1.7	-
Scan_037	Checkerboard95	Scan_034	Checkerboard95	5.1	3.5	3.7	-
Scan_037	Checkerboard84	Scan_034	Checkerboard84	2.2	0.9	2.0	-
Scan_037	Checkerboard95	Scan_035	Checkerboard95	3.4	0.9	3.3	-
Scan_037	Checkerboard84	Scan_035	Checkerboard84	5.1	3.1	4.1	-
Scan_037	Checkerboard95	Scan_036	Checkerboard95	3.0	2.7	1.4	-
Scan_037	Checkerboard84	Scan_036	Checkerboard84	1.2	0.5	1.1	-
Scan_037	Checkerboard93	Scan_077	Checkerboard93	1.7	0.7	1.5	-
Scan_037	Checkerboard102	Scan_077	Checkerboard102	1.9	1.9	0.0	-
Scan_038	Checkerboard87	Scan_032	Checkerboard87	3.6	3.6	0.1	-
Scan_038	Checkerboard88	Scan_032	Checkerboard88	12.1	12.1	0.2	-
Scan_038	Checkerboard52	Scan_035	Checkerboard52	3.6	1.4	3.3	-
Scan_038	Checkerboard87	Scan_077	Checkerboard87	1.9	1.2	1.5	-
Scan_038	Checkerboard87	Scan_036	Checkerboard87	1.7	1.7	0.4	-
Scan_038	Checkerboard87	Scan_037	Checkerboard87	2.5	2.4	0.6	-
Scan_039	Checkerboard52	Scan_031	Checkerboard52	8.1	3.0	7.5	-
Scan_039	Checkerboard87	Scan_032	Checkerboard87	2.7	2.6	0.7	-
Scan_039	Checkerboard88	Scan_032	Checkerboard88	4.8	3.1	3.6	-
Scan_039	Checkerboard52	Scan_038	Checkerboard52	3.5	2.8	2.1	-
Scan_039	Checkerboard102	Scan_038	Checkerboard102	3.2	2.9	1.3	-
Scan_039	Checkerboard88	Scan_038	Checkerboard88	14.6	14.1	3.8	-
Scan_039	Checkerboard87	Scan_038	Checkerboard87	2.9	2.9	0.7	-
Scan_039	Checkerboard52	Scan_034	Checkerboard52	1.3	0.8	1.0	-
Scan_039	Checkerboard52	Scan_035	Checkerboard52	6.0	2.6	5.5	-
Scan_039	Checkerboard87	Scan_036	Checkerboard87	2.7	2.7	0.3	-
Scan_039	Checkerboard87	Scan_037	Checkerboard87	2.5	2.5	0.1	-
Scan_039	Checkerboard102	Scan_037	Checkerboard102	2.5	1.7	1.9	-
Scan_039	Checkerboard17	Scan_040	Checkerboard17	1.8	1.4	1.0	-

Scan_039	Checkerboard89	Scan_040	Checkerboard89	3.4	2.7	2.1	-
Scan_039	Checkerboard87	Scan_077	Checkerboard87	3.1	2.2	2.2	-
Scan_039	Checkerboard102	Scan_077	Checkerboard102	2.0	0.6	1.9	-
Scan_039	Checkerboard166	Scan_077	Checkerboard166	3.1	3.1	0.2	-
Scan_040	Checkerboard93	Scan_032	Checkerboard93	1.2	1.2	0.4	-
Scan_040	Checkerboard93	Scan_033	Checkerboard93	3.0	2.4	1.8	-
Scan_040	Checkerboard93	Scan_034	Checkerboard93	2.4	2.4	0.1	-
Scan_040	Checkerboard93	Scan_036	Checkerboard93	2.4	2.2	1.1	-
Scan_040	Checkerboard93	Scan_037	Checkerboard93	2.2	2.2	0.1	-
Scan_040	Checkerboard106	Scan_041	Checkerboard106	2.6	2.5	0.5	-
Scan_040	Checkerboard109	Scan_041	Checkerboard109	0.8	0.8	0.1	-
Scan_040	Checkerboard98	Scan_041	Checkerboard98	1.9	1.3	1.4	-
Scan_040	Checkerboard106	Scan_042	Checkerboard106	2.3	2.1	1.0	-
Scan_040	Checkerboard109	Scan_042	Checkerboard109	0.9	0.4	0.8	-
Scan_040	Checkerboard93	Scan_077	Checkerboard93	2.1	1.5	1.4	-
Scan_040	Checkerboard109	Scan_043	Checkerboard109	1.5	1.5	0.3	-
Scan_040	Checkerboard98	Scan_044	Checkerboard98	1.7	0.4	1.6	-
Scan_040	Checkerboard98	Scan_047	Checkerboard98	1.3	1.1	0.7	-
Scan_041	Checkerboard111	Scan_042	Checkerboard111	1.8	1.6	0.7	-
Scan_041	Checkerboard109	Scan_042	Checkerboard109	1.4	1.2	0.8	-
Scan_041	Checkerboard109	Scan_043	Checkerboard109	1.1	1.1	0.2	-
Scan_041	Checkerboard98	Scan_047	Checkerboard98	0.8	0.4	0.8	-
Scan_041	Checkerboard98	Scan_044	Checkerboard98	1.0	1.0	0.2	-
Scan_042	Checkerboard110	Scan_041	Checkerboard110	2.0	1.0	1.7	-
Scan_042	Checkerboard106	Scan_041	Checkerboard106	4.1	4.1	0.4	-
Scan_042	Checkerboard109	Scan_043	Checkerboard109	2.2	1.9	1.0	-
Scan_043	Checkerboard98	Scan_040	Checkerboard98	1.7	1.6	0.4	-
Scan_043	Checkerboard110	Scan_041	Checkerboard110	1.2	0.7	1.0	-
Scan_043	Checkerboard111	Scan_041	Checkerboard111	2.0	1.3	1.5	-
Scan_043	Checkerboard98	Scan_041	Checkerboard98	1.1	0.3	1.0	-
Scan_043	Checkerboard111	Scan_042	Checkerboard111	1.0	0.6	0.7	-
Scan_043	Checkerboard110	Scan_042	Checkerboard110	0.9	0.5	0.8	-
Scan_043	Checkerboard98	Scan_047	Checkerboard98	0.6	0.6	0.2	-
Scan_043	Checkerboard98	Scan_044	Checkerboard98	1.8	1.3	1.2	-
Scan_043	Checkerboard112	Scan_045	Checkerboard112	2.2	2.2	0.0	-
Scan_043	Checkerboard98	Scan_045	Checkerboard98	1.0	0.9	0.3	-
Scan_043	Checkerboard112	Scan_046	Checkerboard112	1.4	1.3	0.5	-
Scan_044	Checkerboard108	Scan_043	Checkerboard108	2.3	2.1	1.0	-
Scan_044	Checkerboard112	Scan_043	Checkerboard112	2.4	2.3	0.4	-
Scan_044	Checkerboard121	Scan_047	Checkerboard121	1.6	0.4	1.5	-
Scan_044	Checkerboard108	Scan_047	Checkerboard108	1.7	1.6	0.6	-
Scan_044	Checkerboard113	Scan_047	Checkerboard113	0.3	0.3	0.2	-
Scan_044	Checkerboard121	Scan_048	Checkerboard121	2.2	0.1	2.2	-
Scan_044	Checkerboard121	Scan_049	Checkerboard121	1.9	0.5	1.8	-
Scan_044	Checkerboard121	Scan_053	Checkerboard121	1.7	1.7	0.1	-
Scan_044	Checkerboard121	Scan_055	Checkerboard121	2.9	2.9	0.5	-
Scan_044	Checkerboard121	Scan_066	Checkerboard121	4.6	4.3	1.8	-
Scan_044	Checkerboard112	Scan_045	Checkerboard112	0.7	0.6	0.5	-
Scan_044	Checkerboard113	Scan_045	Checkerboard113	0.6	0.4	0.4	-
Scan_044	Checkerboard112	Scan_046	Checkerboard112	1.6	1.6	0.0	-
Scan_045	Checkerboard98	Scan_040	Checkerboard98	1.1	0.8	0.7	-
Scan_045	Checkerboard98	Scan_041	Checkerboard98	0.9	0.6	0.7	-
Scan_045	Checkerboard98	Scan_044	Checkerboard98	1.0	0.4	0.9	-
Scan_045	Checkerboard115	Scan_046	Checkerboard115	2.5	2.5	0.3	-
Scan_045	Checkerboard112	Scan_046	Checkerboard112	1.9	1.8	0.5	-
Scan_045	Checkerboard116	Scan_046	Checkerboard116	1.4	1.3	0.7	-
Scan_045	Checkerboard98	Scan_047	Checkerboard98	0.3	0.3	0.1	-
Scan_045	Checkerboard113	Scan_047	Checkerboard113	0.8	0.4	0.6	-
Scan_047	Checkerboard111	Scan_041	Checkerboard111	2.1	0.8	1.9	-
Scan_047	Checkerboard111	Scan_042	Checkerboard111	1.4	0.8	1.2	-
Scan_047	Checkerboard111	Scan_043	Checkerboard111	0.7	0.6	0.4	-
Scan_047	Checkerboard108	Scan_043	Checkerboard108	3.7	3.7	0.4	-
Scan_047	Checkerboard98	Scan_044	Checkerboard98	1.2	0.7	1.0	-
Scan_047	Checkerboard35	Scan_055	Checkerboard35	0.4	0.4	0.0	-
Scan_047	Checkerboard121	Scan_055	Checkerboard121	3.2	3.0	1.1	-
Scan_047	Checkerboard35	Scan_056	Checkerboard35	1.6	0.6	1.4	-
Scan_047	Checkerboard125	Scan_048	Checkerboard125	4.0	3.7	1.6	-
Scan_047	Checkerboard118	Scan_048	Checkerboard118	2.3	0.9	2.2	-

Scan_047	Checkerboard125	Scan_049	Checkerboard125	4.3	4.2	0.7	-
Scan_047	Checkerboard131	Scan_049	Checkerboard131	0.5	0.4	0.2	-
Scan_047	Checkerboard125	Scan_053	Checkerboard125	5.1	5.0	0.9	-
Scan_047	Checkerboard121	Scan_066	Checkerboard121	4.3	4.3	0.3	-
Scan_047	Checkerboard118	Scan_066	Checkerboard118	3.3	2.7	1.9	-
Scan_047	Checkerboard125	Scan_057	Checkerboard125	5.4	5.4	0.4	-
Scan_047	Checkerboard125	Scan_063	Checkerboard125	3.7	3.6	0.6	-
Scan_047	Checkerboard125	Scan_064	Checkerboard125	4.3	4.2	0.9	-
Scan_047	Checkerboard131	Scan_064	Checkerboard131	2.6	2.4	1.0	-
Scan_047	Checkerboard118	Scan_064	Checkerboard118	4.1	3.1	2.7	-
Scan_047	Checkerboard131	Scan_072	Checkerboard131	2.5	2.5	0.3	-
Scan_047	Checkerboard118	Scan_068	Checkerboard118	4.0	1.9	3.5	-
Scan_047	Checkerboard118	Scan_070	Checkerboard118	2.5	2.5	0.4	-
Scan_048	Checkerboard121	Scan_047	Checkerboard121	0.7	0.3	0.6	-
Scan_048	Checkerboard126	Scan_047	Checkerboard126	4.0	3.6	1.9	-
Scan_048	Checkerboard131	Scan_047	Checkerboard131	1.1	0.5	1.0	-
Scan_048	Checkerboard121	Scan_053	Checkerboard121	2.7	1.7	2.1	-
Scan_048	Checkerboard121	Scan_055	Checkerboard121	3.4	2.9	1.7	-
Scan_048	Checkerboard125	Scan_057	Checkerboard125	2.1	1.8	1.2	-
Scan_048	Checkerboard131	Scan_064	Checkerboard131	2.6	2.6	0.0	-
Scan_048	Checkerboard121	Scan_066	Checkerboard121	4.3	4.3	0.4	-
Scan_048	Checkerboard131	Scan_049	Checkerboard131	0.8	0.2	0.8	-
Scan_048	Checkerboard131	Scan_072	Checkerboard131	2.6	2.5	0.7	-
Scan_048	Checkerboard124	Scan_056	Checkerboard124	0.8	0.1	0.8	-
Scan_049	Checkerboard121	Scan_047	Checkerboard121	0.7	0.7	0.3	-
Scan_049	Checkerboard126	Scan_047	Checkerboard126	3.2	3.0	1.2	-
Scan_049	Checkerboard125	Scan_048	Checkerboard125	1.1	0.6	0.9	-
Scan_049	Checkerboard121	Scan_048	Checkerboard121	0.6	0.5	0.3	-
Scan_049	Checkerboard126	Scan_048	Checkerboard126	0.9	0.6	0.7	-
Scan_049	Checkerboard128	Scan_050	Checkerboard128	2.3	2.2	0.6	-
Scan_049	Checkerboard121	Scan_053	Checkerboard121	2.2	1.4	1.7	-
Scan_049	Checkerboard121	Scan_055	Checkerboard121	2.8	2.4	1.4	-
Scan_049	Checkerboard123	Scan_055	Checkerboard123	2.3	2.2	0.6	-
Scan_049	Checkerboard121	Scan_066	Checkerboard121	4.8	4.8	0.0	-
Scan_049	Checkerboard133	Scan_051	Checkerboard133	1.5	1.5	0.2	-
Scan_049	Checkerboard128	Scan_051	Checkerboard128	1.5	1.2	0.8	-
Scan_049	Checkerboard133	Scan_052	Checkerboard133	2.3	2.2	0.4	-
Scan_049	Checkerboard131	Scan_064	Checkerboard131	2.5	2.4	0.9	-
Scan_049	Checkerboard131	Scan_072	Checkerboard131	2.3	2.3	0.1	-
Scan_049	Checkerboard126	Scan_057	Checkerboard126	3.1	3.0	0.7	-
Scan_049	Checkerboard125	Scan_057	Checkerboard125	1.2	1.2	0.3	-
Scan_049	Checkerboard126	Scan_063	Checkerboard126	1.6	1.2	1.1	-
Scan_049	Checkerboard134	Scan_063	Checkerboard134	2.6	2.6	0.1	-
Scan_049	Checkerboard125	Scan_063	Checkerboard125	1.4	0.6	1.3	-
Scan_049	Checkerboard129	Scan_054	Checkerboard129	2.7	2.7	0.3	-
Scan_050	Checkerboard121	Scan_044	Checkerboard121	2.2	0.8	2.1	-
Scan_050	Checkerboard121	Scan_047	Checkerboard121	1.2	1.1	0.6	-
Scan_050	Checkerboard121	Scan_048	Checkerboard121	0.8	0.8	0.1	-
Scan_050	Checkerboard121	Scan_049	Checkerboard121	1.2	1.2	0.3	-
Scan_050	Checkerboard133	Scan_049	Checkerboard133	1.2	0.9	0.8	-
Scan_050	Checkerboard123	Scan_049	Checkerboard123	3.9	3.8	0.6	-
Scan_050	Checkerboard128	Scan_051	Checkerboard128	2.0	1.4	1.4	-
Scan_050	Checkerboard133	Scan_051	Checkerboard133	1.0	0.8	0.6	-
Scan_050	Checkerboard133	Scan_052	Checkerboard133	1.8	1.4	1.2	-
Scan_050	Checkerboard123	Scan_055	Checkerboard123	2.2	1.9	1.2	-
Scan_050	Checkerboard121	Scan_055	Checkerboard121	3.8	3.4	1.6	-
Scan_050	Checkerboard121	Scan_053	Checkerboard121	2.8	1.9	2.0	-
Scan_050	Checkerboard121	Scan_066	Checkerboard121	3.8	3.8	0.3	-
Scan_051	Checkerboard123	Scan_049	Checkerboard123	2.3	2.2	0.7	-
Scan_051	Checkerboard123	Scan_050	Checkerboard123	1.6	1.6	0.1	-
Scan_051	Checkerboard135	Scan_052	Checkerboard135	2.7	2.6	0.6	-
Scan_051	Checkerboard133	Scan_052	Checkerboard133	1.0	0.8	0.6	-
Scan_051	Checkerboard123	Scan_055	Checkerboard123	1.5	0.7	1.3	-
Scan_052	Checkerboard123	Scan_049	Checkerboard123	3.2	2.8	1.6	-
Scan_052	Checkerboard128	Scan_049	Checkerboard128	1.1	0.3	1.0	-
Scan_052	Checkerboard128	Scan_050	Checkerboard128	2.8	2.3	1.6	-
Scan_052	Checkerboard123	Scan_050	Checkerboard123	1.4	1.0	1.0	-
Scan_052	Checkerboard123	Scan_051	Checkerboard123	1.1	0.6	0.9	-

Scan_052	Checkerboard128	Scan_051	Checkerboard128	1.4	1.4	0.2	-
Scan_052	Checkerboard123	Scan_055	Checkerboard123	2.4	0.9	2.2	-
Scan_053	Checkerboard121	Scan_047	Checkerboard121	2.5	2.0	1.4	-
Scan_053	Checkerboard126	Scan_047	Checkerboard126	2.7	2.6	0.7	-
Scan_053	Checkerboard127	Scan_048	Checkerboard127	2.9	2.9	0.3	-
Scan_053	Checkerboard125	Scan_048	Checkerboard125	1.6	1.4	0.7	-
Scan_053	Checkerboard126	Scan_048	Checkerboard126	1.6	1.2	1.1	-
Scan_053	Checkerboard126	Scan_049	Checkerboard126	0.7	0.6	0.5	-
Scan_053	Checkerboard129	Scan_049	Checkerboard129	2.8	2.4	1.3	-
Scan_053	Checkerboard130	Scan_049	Checkerboard130	3.0	2.7	1.4	-
Scan_053	Checkerboard125	Scan_049	Checkerboard125	0.9	0.9	0.2	-
Scan_053	Checkerboard130	Scan_054	Checkerboard130	3.2	3.2	0.1	-
Scan_053	Checkerboard129	Scan_054	Checkerboard129	1.6	1.3	1.0	-
Scan_053	Checkerboard121	Scan_055	Checkerboard121	1.8	1.8	0.4	-
Scan_053	Checkerboard126	Scan_055	Checkerboard126	1.0	1.0	0.0	-
Scan_053	Checkerboard127	Scan_055	Checkerboard127	1.8	1.7	0.6	-
Scan_053	Checkerboard121	Scan_066	Checkerboard121	5.9	5.6	1.7	-
Scan_053	Checkerboard126	Scan_056	Checkerboard126	1.4	0.7	1.2	-
Scan_053	Checkerboard126	Scan_057	Checkerboard126	3.7	3.5	1.2	-
Scan_053	Checkerboard125	Scan_057	Checkerboard125	0.9	0.7	0.5	-
Scan_053	Checkerboard127	Scan_057	Checkerboard127	3.3	3.3	0.2	-
Scan_053	Checkerboard126	Scan_063	Checkerboard126	2.3	1.8	1.5	-
Scan_053	Checkerboard125	Scan_063	Checkerboard125	2.1	1.5	1.5	-
Scan_053	Checkerboard126	Scan_064	Checkerboard126	1.4	1.0	1.1	-
Scan_053	Checkerboard127	Scan_064	Checkerboard127	2.7	2.7	0.5	-
Scan_053	Checkerboard127	Scan_062	Checkerboard127	2.4	2.4	0.1	-
Scan_053	Checkerboard127	Scan_065	Checkerboard127	2.8	2.7	0.8	-
Scan_054	Checkerboard130	Scan_049	Checkerboard130	2.5	2.2	1.3	-
Scan_054	Checkerboard136	Scan_053	Checkerboard136	1.5	1.5	0.4	-
Scan_055	Checkerboard125	Scan_047	Checkerboard125	4.6	4.6	0.6	-
Scan_055	Checkerboard126	Scan_047	Checkerboard126	3.6	3.6	0.7	-
Scan_055	Checkerboard127	Scan_048	Checkerboard127	1.5	1.2	0.9	-
Scan_055	Checkerboard125	Scan_048	Checkerboard125	1.4	1.0	1.0	-
Scan_055	Checkerboard124	Scan_048	Checkerboard124	2.9	0.4	2.9	-
Scan_055	Checkerboard126	Scan_048	Checkerboard126	1.2	0.3	1.2	-
Scan_055	Checkerboard126	Scan_049	Checkerboard126	0.8	0.6	0.5	-
Scan_055	Checkerboard125	Scan_049	Checkerboard125	0.4	0.4	0.1	-
Scan_055	Checkerboard125	Scan_053	Checkerboard125	0.8	0.8	0.3	-
Scan_055	Checkerboard139	Scan_064	Checkerboard139	4.5	3.3	3.1	-
Scan_055	Checkerboard125	Scan_064	Checkerboard125	0.4	0.4	0.2	-
Scan_055	Checkerboard127	Scan_064	Checkerboard127	1.6	1.1	1.1	-
Scan_055	Checkerboard139	Scan_065	Checkerboard139	4.8	2.7	4.0	-
Scan_055	Checkerboard127	Scan_065	Checkerboard127	1.9	1.2	1.4	-
Scan_055	Checkerboard124	Scan_056	Checkerboard124	2.1	0.3	2.1	-
Scan_055	Checkerboard35	Scan_056	Checkerboard35	1.5	0.4	1.4	-
Scan_055	Checkerboard125	Scan_057	Checkerboard125	0.9	0.8	0.2	-
Scan_055	Checkerboard126	Scan_057	Checkerboard126	2.8	2.5	1.2	-
Scan_055	Checkerboard127	Scan_057	Checkerboard127	1.9	1.8	0.5	-
Scan_055	Checkerboard125	Scan_063	Checkerboard125	1.5	0.9	1.2	-
Scan_055	Checkerboard126	Scan_063	Checkerboard126	1.9	1.0	1.6	-
Scan_055	Checkerboard138	Scan_068	Checkerboard138	5.4	5.2	1.2	-
Scan_056	Checkerboard126	Scan_047	Checkerboard126	3.6	3.1	1.9	-
Scan_056	Checkerboard126	Scan_048	Checkerboard126	0.5	0.5	0.0	-
Scan_056	Checkerboard126	Scan_049	Checkerboard126	0.7	0.2	0.7	-
Scan_056	Checkerboard137	Scan_055	Checkerboard137	0.8	0.6	0.5	-
Scan_056	Checkerboard126	Scan_055	Checkerboard126	1.3	0.6	1.2	-
Scan_056	Checkerboard126	Scan_057	Checkerboard126	2.9	2.9	0.1	-
Scan_056	Checkerboard126	Scan_063	Checkerboard126	1.1	1.0	0.4	-
Scan_057	Checkerboard126	Scan_047	Checkerboard126	6.3	6.0	2.0	-
Scan_057	Checkerboard127	Scan_048	Checkerboard127	1.8	1.8	0.4	-
Scan_057	Checkerboard126	Scan_048	Checkerboard126	2.4	2.4	0.1	-
Scan_057	Checkerboard127	Scan_064	Checkerboard127	1.0	0.7	0.7	-
Scan_057	Checkerboard140	Scan_070	Checkerboard140	1.4	0.7	1.2	-
Scan_057	Checkerboard140	Scan_072	Checkerboard140	1.1	1.1	0.2	-
Scan_057	Checkerboard142	Scan_058	Checkerboard142	0.8	0.6	0.5	-
Scan_057	Checkerboard143	Scan_058	Checkerboard143	1.0	1.0	0.1	-
Scan_057	Checkerboard144	Scan_058	Checkerboard144	0.9	0.4	0.8	-
Scan_057	Checkerboard142	Scan_059	Checkerboard142	0.2	0.2	0.1	-

Scan_057	Checkerboard144	Scan_059	Checkerboard144	0.3	0.3	0.0	-
Scan_057	Checkerboard143	Scan_061	Checkerboard143	1.3	1.1	0.6	-
Scan_058	Checkerboard142	Scan_059	Checkerboard142	0.7	0.4	0.6	-
Scan_058	Checkerboard144	Scan_059	Checkerboard144	0.9	0.5	0.8	-
Scan_058	Checkerboard143	Scan_061	Checkerboard143	0.6	0.3	0.6	-
Scan_059	Checkerboard145	Scan_058	Checkerboard145	0.3	0.3	0.1	-
Scan_059	Checkerboard146	Scan_060	Checkerboard146	0.8	0.6	0.5	-
Scan_059	Checkerboard147	Scan_060	Checkerboard147	0.7	0.6	0.2	-
Scan_059	Checkerboard148	Scan_060	Checkerboard148	1.7	1.7	0.3	-
Scan_060	Checkerboard145	Scan_058	Checkerboard145	0.7	0.7	0.0	-
Scan_060	Checkerboard145	Scan_059	Checkerboard145	0.7	0.7	0.1	-
Scan_061	Checkerboard134	Scan_049	Checkerboard134	1.9	1.8	0.4	-
Scan_061	Checkerboard150	Scan_063	Checkerboard150	1.0	1.0	0.1	-
Scan_061	Checkerboard134	Scan_063	Checkerboard134	1.0	0.8	0.5	-
Scan_061	Checkerboard142	Scan_057	Checkerboard142	0.9	0.6	0.7	-
Scan_061	Checkerboard144	Scan_057	Checkerboard144	1.0	0.5	0.9	-
Scan_061	Checkerboard142	Scan_058	Checkerboard142	0.4	0.3	0.3	-
Scan_061	Checkerboard144	Scan_058	Checkerboard144	0.3	0.2	0.1	-
Scan_061	Checkerboard144	Scan_059	Checkerboard144	1.0	0.5	0.9	-
Scan_061	Checkerboard142	Scan_059	Checkerboard142	0.9	0.3	0.8	-
Scan_061	Checkerboard134	Scan_062	Checkerboard134	0.8	0.5	0.6	-
Scan_061	Checkerboard150	Scan_062	Checkerboard150	0.5	0.4	0.2	-
Scan_062	Checkerboard127	Scan_048	Checkerboard127	1.4	1.4	0.2	-
Scan_062	Checkerboard134	Scan_049	Checkerboard134	1.4	1.3	0.2	-
Scan_062	Checkerboard134	Scan_063	Checkerboard134	1.3	1.3	0.1	-
Scan_062	Checkerboard127	Scan_055	Checkerboard127	1.2	0.9	0.7	-
Scan_062	Checkerboard127	Scan_057	Checkerboard127	0.9	0.9	0.3	-
Scan_062	Checkerboard127	Scan_064	Checkerboard127	0.5	0.3	0.4	-
Scan_062	Checkerboard127	Scan_065	Checkerboard127	0.8	0.3	0.7	-
Scan_063	Checkerboard126	Scan_047	Checkerboard126	4.5	3.9	2.3	-
Scan_063	Checkerboard118	Scan_047	Checkerboard118	3.9	3.2	2.1	-
Scan_063	Checkerboard127	Scan_048	Checkerboard127	2.2	2.1	0.6	-
Scan_063	Checkerboard125	Scan_048	Checkerboard125	2.2	0.3	2.2	-
Scan_063	Checkerboard118	Scan_048	Checkerboard118	3.8	3.8	0.0	-
Scan_063	Checkerboard126	Scan_048	Checkerboard126	0.8	0.7	0.4	-
Scan_063	Checkerboard150	Scan_062	Checkerboard150	1.0	1.0	0.0	-
Scan_063	Checkerboard127	Scan_062	Checkerboard127	1.3	1.1	0.8	-
Scan_063	Checkerboard127	Scan_053	Checkerboard127	3.5	3.4	0.9	-
Scan_063	Checkerboard127	Scan_055	Checkerboard127	2.5	2.0	1.5	-
Scan_063	Checkerboard127	Scan_057	Checkerboard127	1.1	0.4	1.1	-
Scan_063	Checkerboard126	Scan_057	Checkerboard126	2.1	2.1	0.3	-
Scan_063	Checkerboard125	Scan_057	Checkerboard125	2.0	1.7	1.0	-
Scan_063	Checkerboard127	Scan_064	Checkerboard127	1.1	1.0	0.4	-
Scan_063	Checkerboard118	Scan_064	Checkerboard118	0.6	0.2	0.6	-
Scan_063	Checkerboard127	Scan_065	Checkerboard127	0.8	0.8	0.1	-
Scan_063	Checkerboard118	Scan_066	Checkerboard118	1.3	1.3	0.2	-
Scan_063	Checkerboard118	Scan_068	Checkerboard118	2.0	1.4	1.4	-
Scan_063	Checkerboard153	Scan_072	Checkerboard153	1.6	1.2	1.1	-
Scan_063	Checkerboard118	Scan_072	Checkerboard118	1.6	0.5	1.5	-
Scan_063	Checkerboard153	Scan_074	Checkerboard153	1.1	0.7	0.8	-
Scan_063	Checkerboard153	Scan_075	Checkerboard153	0.9	0.9	0.2	-
Scan_063	Checkerboard118	Scan_075	Checkerboard118	0.9	0.7	0.6	-
Scan_063	Checkerboard118	Scan_070	Checkerboard118	1.9	0.8	1.7	-
Scan_064	Checkerboard126	Scan_047	Checkerboard126	2.6	1.9	1.8	-
Scan_064	Checkerboard127	Scan_048	Checkerboard127	1.2	1.2	0.3	-
Scan_064	Checkerboard125	Scan_048	Checkerboard125	1.1	0.8	0.8	-
Scan_064	Checkerboard118	Scan_048	Checkerboard118	3.7	3.7	0.6	-
Scan_064	Checkerboard126	Scan_048	Checkerboard126	1.7	1.7	0.1	-
Scan_064	Checkerboard126	Scan_049	Checkerboard126	1.3	1.2	0.6	-
Scan_064	Checkerboard125	Scan_049	Checkerboard125	0.4	0.3	0.2	-
Scan_064	Checkerboard125	Scan_053	Checkerboard125	1.1	1.1	0.0	-
Scan_064	Checkerboard126	Scan_055	Checkerboard126	2.1	1.8	1.1	-
Scan_064	Checkerboard126	Scan_056	Checkerboard126	1.2	1.2	0.1	-
Scan_064	Checkerboard126	Scan_057	Checkerboard126	4.1	4.1	0.1	-
Scan_064	Checkerboard125	Scan_057	Checkerboard125	1.3	1.2	0.4	-
Scan_064	Checkerboard140	Scan_057	Checkerboard140	2.3	2.3	0.2	-
Scan_064	Checkerboard153	Scan_063	Checkerboard153	1.9	1.5	1.1	-
Scan_064	Checkerboard126	Scan_063	Checkerboard126	2.1	2.1	0.5	-

Scan_064	Checkerboard125	Scan_063	Checkerboard125	1.6	0.6	1.4	-
Scan_064	Checkerboard153	Scan_066	Checkerboard153	1.8	1.8	0.0	-
Scan_064	Checkerboard118	Scan_066	Checkerboard118	1.4	1.1	0.8	-
Scan_064	Checkerboard153	Scan_068	Checkerboard153	0.4	0.2	0.3	-
Scan_064	Checkerboard118	Scan_068	Checkerboard118	1.5	1.3	0.8	-
Scan_064	Checkerboard140	Scan_068	Checkerboard140	1.4	1.1	0.8	-
Scan_064	Checkerboard153	Scan_072	Checkerboard153	0.3	0.3	0.0	-
Scan_064	Checkerboard152	Scan_072	Checkerboard152	4.0	3.9	0.8	-
Scan_064	Checkerboard140	Scan_072	Checkerboard140	1.2	1.1	0.4	-
Scan_064	Checkerboard153	Scan_074	Checkerboard153	0.8	0.8	0.3	-
Scan_064	Checkerboard153	Scan_075	Checkerboard153	1.5	1.2	0.9	-
Scan_064	Checkerboard152	Scan_075	Checkerboard152	5.7	5.7	0.6	-
Scan_064	Checkerboard139	Scan_065	Checkerboard139	1.1	0.7	0.9	-
Scan_064	Checkerboard154	Scan_065	Checkerboard154	2.8	2.6	0.8	-
Scan_064	Checkerboard118	Scan_070	Checkerboard118	2.5	0.7	2.4	-
Scan_064	Checkerboard140	Scan_070	Checkerboard140	2.2	1.9	1.0	-
Scan_065	Checkerboard127	Scan_048	Checkerboard127	1.6	1.5	0.5	-
Scan_065	Checkerboard127	Scan_057	Checkerboard127	1.1	0.6	1.0	-
Scan_065	Checkerboard127	Scan_064	Checkerboard127	0.4	0.3	0.3	-
Scan_066	Checkerboard131	Scan_047	Checkerboard131	2.8	2.6	1.0	-
Scan_066	Checkerboard127	Scan_048	Checkerboard127	1.7	1.6	0.5	-
Scan_066	Checkerboard118	Scan_048	Checkerboard118	3.5	3.5	0.3	-
Scan_066	Checkerboard131	Scan_048	Checkerboard131	2.8	2.8	0.0	-
Scan_066	Checkerboard131	Scan_049	Checkerboard131	2.7	2.6	0.8	-
Scan_066	Checkerboard127	Scan_053	Checkerboard127	2.2	2.2	0.2	-
Scan_066	Checkerboard121	Scan_055	Checkerboard121	7.3	7.2	1.3	-
Scan_066	Checkerboard138	Scan_055	Checkerboard138	6.1	6.0	1.1	-
Scan_066	Checkerboard127	Scan_055	Checkerboard127	1.0	0.9	0.4	-
Scan_066	Checkerboard127	Scan_057	Checkerboard127	1.1	1.1	0.0	-
Scan_066	Checkerboard140	Scan_057	Checkerboard140	1.9	1.9	0.2	-
Scan_066	Checkerboard127	Scan_062	Checkerboard127	0.4	0.3	0.3	-
Scan_066	Checkerboard127	Scan_063	Checkerboard127	1.6	1.2	1.1	-
Scan_066	Checkerboard153	Scan_063	Checkerboard153	1.4	0.9	1.1	-
Scan_066	Checkerboard152	Scan_064	Checkerboard152	3.1	3.1	0.5	-
Scan_066	Checkerboard131	Scan_064	Checkerboard131	0.3	0.3	0.1	-
Scan_066	Checkerboard127	Scan_064	Checkerboard127	0.9	0.6	0.7	-
Scan_066	Checkerboard140	Scan_064	Checkerboard140	1.3	1.2	0.4	-
Scan_066	Checkerboard127	Scan_065	Checkerboard127	1.1	0.5	1.0	-
Scan_066	Checkerboard138	Scan_068	Checkerboard138	1.0	1.0	0.1	-
Scan_066	Checkerboard140	Scan_068	Checkerboard140	1.4	1.3	0.4	-
Scan_066	Checkerboard118	Scan_068	Checkerboard118	2.2	1.5	1.6	-
Scan_066	Checkerboard138	Scan_070	Checkerboard138	1.8	1.4	1.2	-
Scan_066	Checkerboard140	Scan_070	Checkerboard140	1.9	1.2	1.4	-
Scan_066	Checkerboard118	Scan_070	Checkerboard118	1.9	1.1	1.5	-
Scan_066	Checkerboard152	Scan_075	Checkerboard152	2.8	2.6	1.1	-
Scan_066	Checkerboard153	Scan_075	Checkerboard153	1.9	1.7	0.9	-
Scan_066	Checkerboard152	Scan_072	Checkerboard152	1.0	0.9	0.3	-
Scan_066	Checkerboard140	Scan_072	Checkerboard140	1.1	1.1	0.0	-
Scan_066	Checkerboard131	Scan_072	Checkerboard131	1.1	0.8	0.7	-
Scan_066	Checkerboard153	Scan_072	Checkerboard153	1.5	1.5	0.0	-
Scan_066	Checkerboard153	Scan_074	Checkerboard153	1.1	1.1	0.3	-
Scan_068	Checkerboard118	Scan_048	Checkerboard118	2.7	2.3	1.4	-
Scan_068	Checkerboard140	Scan_057	Checkerboard140	1.3	1.2	0.6	-
Scan_068	Checkerboard153	Scan_063	Checkerboard153	2.0	1.5	1.4	-
Scan_068	Checkerboard153	Scan_066	Checkerboard153	1.9	1.8	0.3	-
Scan_068	Checkerboard157	Scan_070	Checkerboard157	1.7	1.4	0.9	-
Scan_068	Checkerboard140	Scan_070	Checkerboard140	2.1	1.1	1.8	-
Scan_068	Checkerboard118	Scan_070	Checkerboard118	3.2	0.7	3.1	-
Scan_068	Checkerboard157	Scan_071	Checkerboard157	1.9	1.8	0.4	-
Scan_068	Checkerboard157	Scan_072	Checkerboard157	1.5	0.4	1.4	-
Scan_068	Checkerboard140	Scan_072	Checkerboard140	0.5	0.2	0.4	-
Scan_068	Checkerboard153	Scan_072	Checkerboard153	0.5	0.3	0.4	-
Scan_068	Checkerboard153	Scan_075	Checkerboard153	1.6	1.0	1.2	-
Scan_068	Checkerboard153	Scan_074	Checkerboard153	1.0	0.8	0.6	-
Scan_070	Checkerboard118	Scan_048	Checkerboard118	3.5	3.0	1.8	-
Scan_070	Checkerboard138	Scan_055	Checkerboard138	5.1	5.1	0.1	-
Scan_070	Checkerboard155	Scan_068	Checkerboard155	0.8	0.4	0.7	-
Scan_070	Checkerboard138	Scan_068	Checkerboard138	1.4	0.4	1.3	-

Scan_070	Checkerboard157	Scan_072	Checkerboard157	2.6	1.2	2.4	-
Scan_070	Checkerboard158	Scan_071	Checkerboard158	5.5	5.5	0.8	-
Scan_071	Checkerboard155	Scan_068	Checkerboard155	0.4	0.4	0.0	-
Scan_071	Checkerboard157	Scan_070	Checkerboard157	1.5	1.4	0.6	-
Scan_071	Checkerboard155	Scan_070	Checkerboard155	1.0	0.6	0.7	-
Scan_071	Checkerboard157	Scan_072	Checkerboard157	2.6	1.9	1.8	-
Scan_072	Checkerboard118	Scan_047	Checkerboard118	4.5	2.7	3.6	-
Scan_072	Checkerboard118	Scan_048	Checkerboard118	3.5	3.2	1.4	-
Scan_072	Checkerboard118	Scan_064	Checkerboard118	1.0	0.5	0.9	-
Scan_072	Checkerboard131	Scan_064	Checkerboard131	1.1	0.9	0.7	-
Scan_072	Checkerboard118	Scan_066	Checkerboard118	2.1	1.2	1.7	-
Scan_072	Checkerboard118	Scan_068	Checkerboard118	0.9	0.9	0.1	-
Scan_072	Checkerboard140	Scan_070	Checkerboard140	1.7	0.9	1.4	-
Scan_072	Checkerboard118	Scan_070	Checkerboard118	3.2	0.2	3.2	-
Scan_072	Checkerboard160	Scan_074	Checkerboard160	1.0	1.0	0.1	-
Scan_072	Checkerboard153	Scan_074	Checkerboard153	0.5	0.5	0.2	-
Scan_074	Checkerboard159	Scan_072	Checkerboard159	0.6	0.6	0.0	-
Scan_075	Checkerboard81	Scan_085	Checkerboard81	3.0	2.9	1.0	-
Scan_075	Checkerboard118	Scan_047	Checkerboard118	3.8	2.7	2.7	-
Scan_075	Checkerboard118	Scan_048	Checkerboard118	3.2	3.1	0.5	-
Scan_075	Checkerboard138	Scan_055	Checkerboard138	4.1	4.1	0.0	-
Scan_075	Checkerboard81	Scan_078	Checkerboard81	5.4	4.2	3.3	-
Scan_075	Checkerboard161	Scan_078	Checkerboard161	32.7	21.4	24.7	-
Scan_075	Checkerboard118	Scan_064	Checkerboard118	0.7	0.7	0.0	-
Scan_075	Checkerboard138	Scan_066	Checkerboard138	2.2	2.0	1.1	-
Scan_075	Checkerboard118	Scan_066	Checkerboard118	1.7	1.5	0.8	-
Scan_075	Checkerboard138	Scan_068	Checkerboard138	1.7	1.2	1.1	-
Scan_075	Checkerboard118	Scan_068	Checkerboard118	1.2	0.9	0.8	-
Scan_075	Checkerboard138	Scan_070	Checkerboard138	1.2	1.2	0.2	-
Scan_075	Checkerboard118	Scan_070	Checkerboard118	2.4	0.5	2.3	-
Scan_075	Checkerboard118	Scan_072	Checkerboard118	1.0	0.4	0.9	-
Scan_075	Checkerboard153	Scan_072	Checkerboard153	1.3	0.9	0.9	-
Scan_075	Checkerboard152	Scan_072	Checkerboard152	2.3	1.8	1.4	-
Scan_075	Checkerboard153	Scan_074	Checkerboard153	1.0	0.7	0.6	-
Scan_075	Checkerboard161	Scan_076	Checkerboard161	2.8	2.8	0.1	-
Scan_075	Checkerboard81	Scan_077	Checkerboard81	4.6	4.6	0.5	-
Scan_076	Checkerboard70	Scan_081	Checkerboard70	1.7	1.6	0.6	-
Scan_076	Checkerboard65	Scan_081	Checkerboard65	2.6	2.5	0.8	-
Scan_076	Checkerboard66	Scan_081	Checkerboard66	1.2	0.7	1.0	-
Scan_076	Checkerboard70	Scan_082	Checkerboard70	1.4	0.6	1.2	-
Scan_076	Checkerboard81	Scan_085	Checkerboard81	3.1	2.5	1.7	-
Scan_076	Checkerboard78	Scan_085	Checkerboard78	2.0	1.3	1.5	-
Scan_076	Checkerboard81	Scan_078	Checkerboard81	5.5	3.8	4.0	-
Scan_076	Checkerboard161	Scan_078	Checkerboard161	34.6	24.0	24.8	-
Scan_076	Checkerboard71	Scan_075	Checkerboard71	1.1	0.5	1.0	-
Scan_076	Checkerboard66	Scan_075	Checkerboard66	2.0	1.9	0.6	-
Scan_076	Checkerboard81	Scan_075	Checkerboard81	1.1	0.9	0.7	-
Scan_076	Checkerboard78	Scan_077	Checkerboard78	2.7	2.6	0.5	-
Scan_076	Checkerboard81	Scan_077	Checkerboard81	3.9	3.9	0.2	-
Scan_076	Checkerboard81	Scan_079	Checkerboard81	3.3	2.3	2.4	-
Scan_077	Checkerboard52	Scan_028	Checkerboard52	9.4	2.8	9.0	-
Scan_077	Checkerboard52	Scan_029	Checkerboard52	6.6	4.8	4.4	-
Scan_077	Checkerboard52	Scan_031	Checkerboard52	9.0	3.9	8.1	-
Scan_077	Checkerboard87	Scan_032	Checkerboard87	4.2	3.9	1.4	-
Scan_077	Checkerboard65	Scan_081	Checkerboard65	1.0	0.7	0.7	-
Scan_077	Checkerboard81	Scan_085	Checkerboard81	2.8	2.3	1.5	-
Scan_077	Checkerboard78	Scan_085	Checkerboard78	3.4	3.3	1.0	-
Scan_077	Checkerboard52	Scan_038	Checkerboard52	4.8	3.9	2.8	-
Scan_077	Checkerboard168	Scan_038	Checkerboard168	7.3	6.0	4.1	-
Scan_077	Checkerboard102	Scan_038	Checkerboard102	2.4	2.3	0.7	-
Scan_077	Checkerboard93	Scan_033	Checkerboard93	3.4	1.0	3.3	-
Scan_077	Checkerboard84	Scan_034	Checkerboard84	2.1	2.1	0.5	-
Scan_077	Checkerboard52	Scan_034	Checkerboard52	1.8	0.7	1.6	-
Scan_077	Checkerboard52	Scan_035	Checkerboard52	7.1	3.7	6.1	-
Scan_077	Checkerboard84	Scan_035	Checkerboard84	3.2	1.9	2.5	-
Scan_077	Checkerboard84	Scan_036	Checkerboard84	3.3	3.3	0.4	-
Scan_077	Checkerboard87	Scan_037	Checkerboard87	2.4	1.2	2.1	-
Scan_077	Checkerboard84	Scan_037	Checkerboard84	3.2	2.9	1.5	-

Scan_077	Checkerboard52	Scan_039	Checkerboard52	1.3	1.1	0.6	-
Scan_077	Checkerboard81	Scan_078	Checkerboard81	4.2	1.7	3.8	-
Scan_077	Checkerboard65	Scan_078	Checkerboard65	2.7	2.4	1.1	-
Scan_077	Checkerboard65	Scan_076	Checkerboard65	2.4	2.4	0.2	-
Scan_077	Checkerboard79	Scan_079	Checkerboard79	1.2	1.2	0.0	-
Scan_077	Checkerboard169	Scan_079	Checkerboard169	1.5	0.6	1.4	-
Scan_077	Checkerboard65	Scan_079	Checkerboard65	0.4	0.4	0.1	-
Scan_078	Checkerboard69	Scan_080	Checkerboard69	0.5	0.5	0.2	-
Scan_078	Checkerboard65	Scan_081	Checkerboard65	2.5	1.8	1.8	-
Scan_078	Checkerboard66	Scan_081	Checkerboard66	2.5	2.4	0.4	-
Scan_078	Checkerboard75	Scan_082	Checkerboard75	0.5	0.4	0.4	-
Scan_078	Checkerboard75	Scan_083	Checkerboard75	1.1	1.1	0.2	-
Scan_078	Checkerboard66	Scan_085	Checkerboard66	3.8	3.8	0.4	-
Scan_078	Checkerboard78	Scan_085	Checkerboard78	2.9	1.5	2.5	-
Scan_078	Checkerboard79	Scan_077	Checkerboard79	2.4	1.9	1.6	-
Scan_078	Checkerboard78	Scan_077	Checkerboard78	4.1	2.1	3.5	-
Scan_078	Checkerboard79	Scan_079	Checkerboard79	2.1	1.4	1.6	-
Scan_078	Checkerboard78	Scan_079	Checkerboard78	2.8	2.1	1.8	-
Scan_078	Checkerboard69	Scan_079	Checkerboard69	2.9	2.6	1.3	-
Scan_078	Checkerboard66	Scan_075	Checkerboard66	3.4	2.8	1.9	-
Scan_078	Checkerboard66	Scan_076	Checkerboard66	3.4	3.1	1.4	-
Scan_078	Checkerboard78	Scan_076	Checkerboard78	4.1	0.6	4.0	-
Scan_078	Checkerboard65	Scan_076	Checkerboard65	4.1	4.0	1.0	-
Scan_079	Checkerboard69	Scan_080	Checkerboard69	2.6	2.2	1.5	-
Scan_079	Checkerboard65	Scan_081	Checkerboard65	0.7	0.4	0.5	-
Scan_079	Checkerboard81	Scan_085	Checkerboard81	1.1	0.9	0.7	-
Scan_079	Checkerboard78	Scan_085	Checkerboard78	3.6	3.5	0.7	-
Scan_079	Checkerboard81	Scan_078	Checkerboard81	2.3	1.6	1.7	-
Scan_079	Checkerboard65	Scan_078	Checkerboard65	2.4	2.0	1.3	-
Scan_079	Checkerboard81	Scan_075	Checkerboard81	3.3	2.9	1.6	-
Scan_079	Checkerboard78	Scan_076	Checkerboard78	3.4	2.6	2.2	-
Scan_079	Checkerboard65	Scan_076	Checkerboard65	2.6	2.6	0.3	-
Scan_079	Checkerboard78	Scan_077	Checkerboard78	1.8	0.7	1.7	-
Scan_079	Checkerboard81	Scan_077	Checkerboard81	2.8	1.8	2.2	-

Neigungsmesserabweichungen

Cluster/Scan	Scan	Abweichungen [deg]
Scan_061	Scan_061	0.0000
Scan_033	Scan_033	0.0005
Scan_015	Scan_015	0.0000
Scan_017	Scan_017	0.0000
Scan_021	Scan_021	0.0001
Scan_043	Scan_043	0.0000
Scan_041	Scan_041	0.0000
Scan_012	Scan_012	0.0000
Scan_038	Scan_038	0.0002
Scan_053	Scan_053	0.0001
Scan_045	Scan_045	0.0000
Scan_039	Scan_039	0.0017
Scan_046	Scan_046	0.0000
Scan_075	Scan_075	0.0001
Scan_074	Scan_074	0.0000
Scan_028	Scan_028	0.0013
Scan_071	Scan_071	0.0000
Scan_082	Scan_082	0.0000
Scan_070	Scan_070	0.0002
Scan_024	Scan_024	0.0000
Scan_060	Scan_060	0.0000
Scan_059	Scan_059	0.0000
Scan_079	Scan_079	0.0000
Scan_081	Scan_081	0.0000
Scan_078	Scan_078	0.0002
Scan_050	Scan_050	0.0001
Scan_066	Scan_066	0.0001
Scan_022	Scan_022	0.0006
Scan_063	Scan_063	0.0001
Scan_007	Scan_007	0.0000
Scan_084	Scan_084	0.0000
Scan_027	Scan_027	0.0001
Scan_054	Scan_054	0.0000
Scan_042	Scan_042	0.0000
Scan_032	Scan_032	0.0003
Scan_065	Scan_065	0.0001
Scan_058	Scan_058	0.0000
Scan_036	Scan_036	0.0001
Scan_035	Scan_035	0.0005
Scan_064	Scan_064	0.0000
Scan_048	Scan_048	0.0001
Scan_056	Scan_056	0.0000
Scan_011	Scan_011	0.0000
Scan_025	Scan_025	0.0002
Scan_083	Scan_083	0.0000
Scan_049	Scan_049	0.0001
Scan_072	Scan_072	0.0001
Scan_019	Scan_019	0.0005
Scan_051	Scan_051	0.0000
Scan_030	Scan_030	0.0001
Scan_020	Scan_020	0.0003
Scan_029	Scan_029	0.0003
Scan_023	Scan_023	0.0011
Scan_077	Scan_077	0.0003
Scan_076	Scan_076	0.0001
Scan_044	Scan_044	0.0001
Scan_013	Scan_013	0.0000
Scan_068	Scan_068	0.0001
Scan_055	Scan_055	0.0002
Scan_052	Scan_052	0.0000
Scan_016	Scan_016	0
Scan_031	Scan_031	0.0012
Scan_000	Scan_000	0.0000
Scan_037	Scan_037	0.0001
Scan_026	Scan_026	0.0001

Scan_040	Scan_040	0.0001
Scan_009	Scan_009	0.0000
Scan_057	Scan_057	0.0000
Scan_047	Scan_047	0.0002
Scan_062	Scan_062	0.0000
Scan_018	Scan_018	0.0000
Scan_085	Scan_085	0.0000
Scan_034	Scan_034	0.0009
Scan_080	Scan_080	0.0000

C Verarbeitungsbericht aus Agisoft Metashape

Spinnmühle Flöha/Falkenau

Verarbeitungsbericht
von Julian Gestrich
19 October 2024



Bezugsfläche

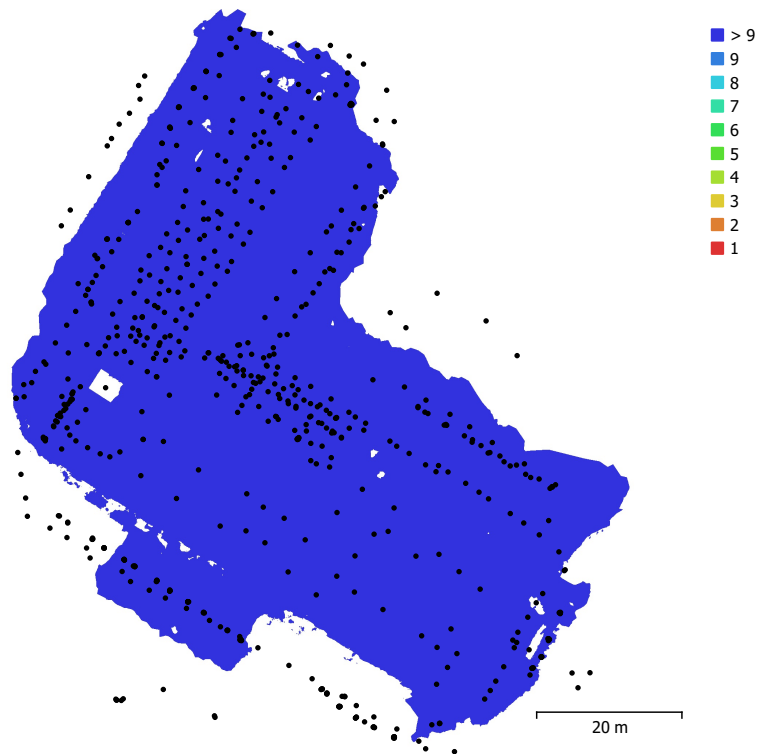


Fig. 1. Kamerapositionen und Bildüberlappung.

Anzahl der Bilder:	688	Kamerastationen:	666
Flughöhe:	8.24 m	Verknüpfungspunkte:	687,805
Bodenauflösung:	3.12 mm/pix	Projektionen:	3,699,364
Deckungsbereich:	4.35e+03 m ²	Reprojektionsfehler:	0.79 pix

Kameramodell	Auflösung	Brennweite	Pixelgröße	Vorkalibriert
FC3582 (6.72mm)	4032 x 3024	6.72 mm	2.4 x 2.4 um	Nein

Tabelle 1. Kameras.

Kamera-Kalibrierung

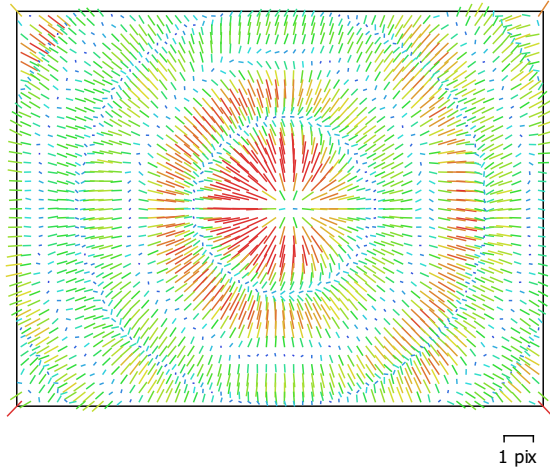


Fig. 2. Bildrestwerte für FC3582 (6.72mm).

FC3582 (6.72mm)

688 Bilder

Typ	Auflösung	Brennweite	Pixelgröße
Standard	4032 x 3024	6.72 mm	2.4 x 2.4 um

	Wert	Fehler	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2808.73	0.02	1.00	0.07	-0.17	-0.16	0.15	-0.11	0.08	-0.11
Cx	7.54067	0.019		1.00	-0.01	0.03	-0.03	0.03	0.80	-0.02
Cy	-25.8498	0.02			1.00	-0.02	0.01	-0.01	0.01	0.73
K1	0.10943	2.1e-05				1.00	-0.97	0.92	0.02	-0.02
K2	-0.204342	6.7e-05					1.00	-0.98	-0.02	0.00
K3	0.149174	6.4e-05						1.00	0.03	-0.01
P1	0.000143989	2e-06							1.00	0.00
P2	-0.000548739	1.7e-06								1.00

Tabelle 2. Kalibrierkoeffizienten und Korrelationsmatrix.

Kamerapositionen

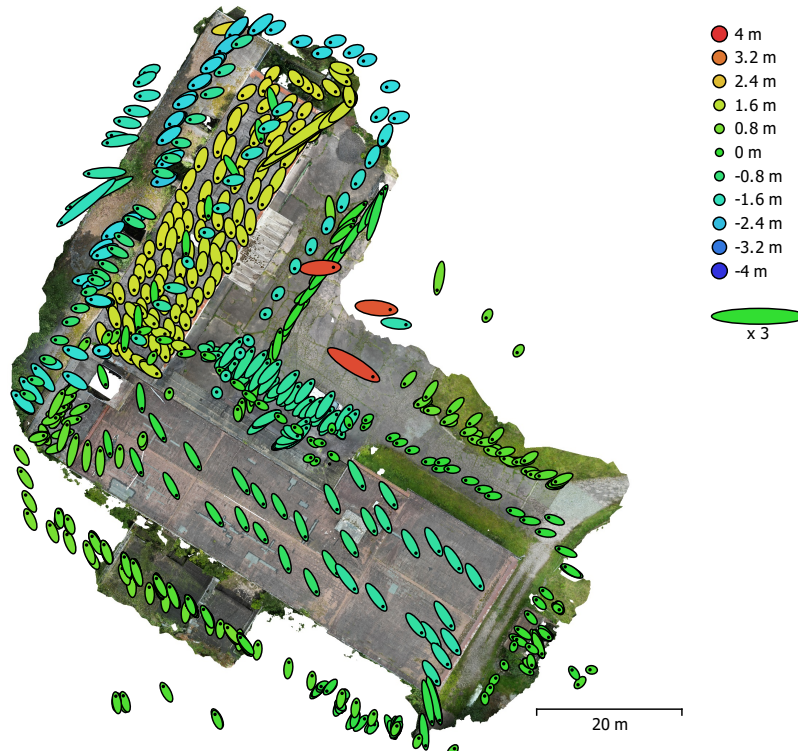


Fig. 3. Kamerapositionen und Fehlerabschätzung.

Z Fehler ist durch Ellipsenfarbe dargestellt. X, Y Fehler sind durch Ellipsenform dargestellt.
Geschätzte Kamerapositionen sind mit schwarzen Punkten markiert.

Fehler X (m)	Fehler Y (m)	Fehler Z (m)	XY Fehler (m)	Gesamtfehler (m)
0.529948	0.587744	1.18743	0.791383	1.42698

Tabelle 3. Durchschnittlicher Kamerapositions-Fehler.

X - Länge, Y - Breite, Z - Höhe.

Bodenpasspunkte

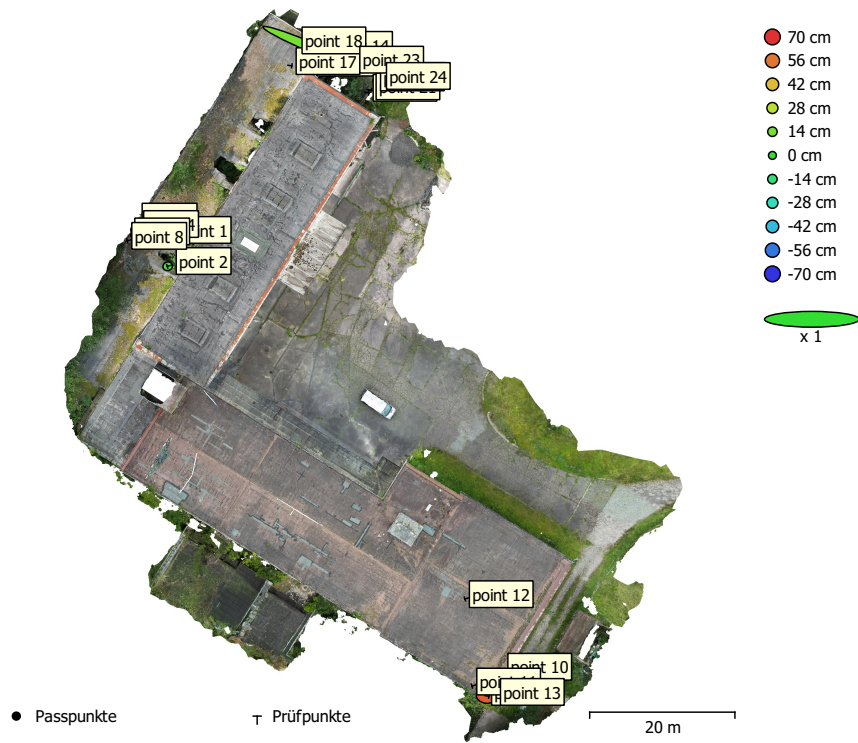


Fig. 4. Passpunktepositionen und Fehlerabschätzung.

Z Fehler ist durch Ellipsenfarbe dargestellt. X, Y Fehler sind durch Ellipsenform dargestellt. Geschätzte Passpunktepositionen sind mit schwarzen Punkten, Kontrollpunkte mit Kreuzen markiert.

Anzahl	Fehler X (m)	Fehler Y (m)	Fehler Z (m)	XY Fehler (m)	Gesamt (m)
5	5.11451	2.15582	0.281256	5.55029	5.55741

Tabelle 4. Prüfpunkte RMSE.
X - Länge, Y - Breite, Z - Höhe.

Name	Fehler X (m)	Fehler Y (m)	Fehler Z (m)	Gesamt (m)	Bild (pix)
point 1					27.547 (6)
point 2	-0.126457	-0.0384998	0.0620205	0.146014	4.289 (101)
point 3					14.236 (5)
point 4	-0.191338	-0.0614333	-0.00481912	0.201016	3.545 (103)
point 5					29.466 (4)
point 8					0.073 (2)
point 9					6.560 (3)
point 10					5.084 (3)
point 11					4.290 (3)
point 12					2.178 (3)
point 13	0.732297	-0.111713	0.607942	0.958296	3.627 (91)
point 14					1.009 (3)
point 16					1.809 (4)
point 17					0.764 (4)
point 18					0.401 (4)
point 19					0.429 (4)
point 20					0.405 (4)
point 21					0.749 (4)
point 22					1.423 (3)
point 23	11.4106	-4.81866	0.142673	12.3871	0.086 (2)
point 24	-0.0229113	0.0224635	-0.0413038	0.0523024	0.335 (107)
Gesamt	5.11451	2.15582	0.281256	5.55741	3.286

Tabelle 5. Prüfpunkte.
X - Länge, Y - Breite, Z - Höhe.

Digitales Höhenmodell

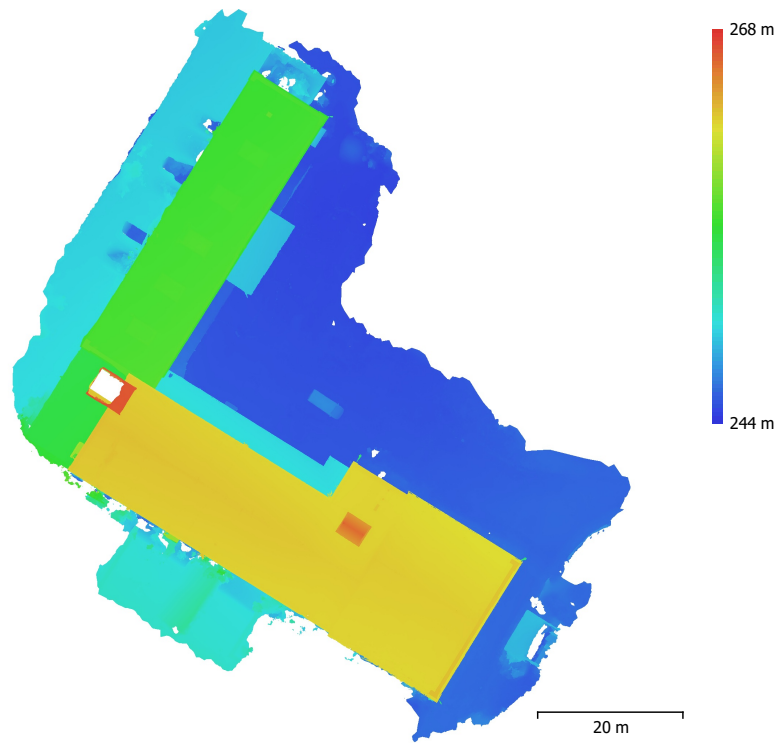


Fig. 5. Rekonstruiertes digitales Höhenmodell.

Auflösung: 3.12 mm/pix
Punktedichte: 10.3 Punkte/cm²

Verarbeitungsparameter

Allgemein

Bilder	688
Ausgerichtete Bilder	666
Markierungen	23

Vektordaten

Polygon	6
Koordinatensystem	Planar
Koordinatensystem	WGS 84 (EPSG::4326)
Drehwinkel	Gier, Nick, Roll

Verknüpfungspunkte

Punkte	687,805 von 1,355,735
Effektiver Reprojektionsfehler	0.546225 (0.79007 pix)
Max. Reprojektionsfehler	29.1162 (67.0806 pix)
Mittlere Schlüsselpunktgröße	1.50713 pix
Punktfarben	3 Kanäle, uint8
Schlüsselpunkte	Nein
Durchschnittliche Verknüpfungspunkt-Multiplizität	4.99192

Ausrichtungparameter

Genauigkeit	Höchste
Allgemeine Vorauswahl	Ja
Referenz Vorauswahl	Nein
Schlüsselpunktlimit	40,000
Schlüsselpunktlimit pro Mpx	60,000
Verknüpfungspunktlimit	8,000
Stationäre Verknüpfungspunkte ausschließen	Ja
Geführter Bildabgleich	Ja
Adaptive Kamera-Modellanpassung	Ja
Zeit für Abgleich	58 Minuten 37 Sekunden
Speichernutzung Abgleich	7.04 GB
Zeit für Ausrichtung	15 Minuten 49 Sekunden
Speichernutzung Ausrichtung	365.53 MB

Optimierungsparameter

Parameter	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptive Kamera-Modellanpassung	Nein
Zeit für Optimierung	27 Sekunden
Erstelldatum	2024:08:09 17:45:49
Software-Version	2.0.1.15925
Dateigröße	122.98 MB

Tiefenbilder

Anzahl	662
--------	-----

Parameter für Tiefenbilderzeugung

Qualität	Sehr hoch
Filtermodus	Moderat
Max Nachbarn	16
Verarbeitungszeit	3 Stunden 18 Minuten
Speichernutzung	9.41 GB
Erstelldatum	2024:08:10 16:09:57
Software-Version	2.0.1.15925
Dateigröße	9.57 GB

Punktwolke

Punkte	702,769,530
--------	-------------

Punktattribute	
Farbe	3 Kanäle, uint8
Normal	
Konfidenz	2 - 38
Punktclassen	
Erstellt (nie klassifiziert)	702,769,530
Parameter für Tiefenbilderzeugung	
Qualität	Sehr hoch
Filtermodus	Moderat
Max Nachbarn	16
Verarbeitungszeit	3 Stunden 18 Minuten
Speichernutzung	9.41 GB
Parameter für Erzeugung der Punktwolke	
Verarbeitungszeit	6 Stunden 54 Minuten
Speichernutzung	22.56 GB
Erstelldatum	2024:08:10 23:04:38
Software-Version	2.0.1.15925
Dateigröße	14.59 GB
Modell	
Flächen	189,629,042
Punkte	95,232,379
Punktfarben	3 Kanäle, uint8
Textur	8,192 x 8,192, 4 Kanäle, uint8
Parameter für Tiefenbilderzeugung	
Qualität	Sehr hoch
Filtermodus	Moderat
Max Nachbarn	16
Verarbeitungszeit	3 Stunden 18 Minuten
Speichernutzung	9.41 GB
Parameter für Erzeugung der Punktwolke	
Verarbeitungszeit	6 Stunden 54 Minuten
Speichernutzung	22.56 GB
Rekonstruktionsparameter	
Oberflächenart	Frei
Quelldaten	Punktwolke
Interpolation	An
Strenge volumetrische Masken	Nein
Verarbeitungszeit	8 Stunden 59 Minuten
Speichernutzung	25.33 GB
Texturierungsparameter	
Abbildungsmodus	Allgemein
Überlagerungsmodus	Mosaik
Texturgröße	8,192
Lochfüllung aktivieren	Ja
Ghosting-Filter aktivieren	Ja
Zeit für UV Mapping	12 Minuten 7 Sekunden
Speichernutzung UV-Mapping	13.67 GB
Zeit für Überlagerung	5 Stunden 28 Minuten
Speichernutzung Überlagerung	19.08 GB
Erstelldatum	2024:08:13 21:42:55
Software-Version	2.0.1.15925
Dateigröße	8.51 GB
Orthomosaik	
Größe	27,281 x 32,331
Auflösung	3.12 mm/pix
Koordinatensystem	Planar
Farben	3 Kanäle, uint8

Erklärung über die eigenständige Erstellung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Arbeit mit dem Titel

3D-Erfassung des Industriedenkmal „Spinnmühle“ in Flöha/Falkenau mittels terrestrischem Laserscanning und photogrammetrischer UAV-Bildauswertung

selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit als solche und durch Angabe der Quelle gekennzeichnet habe. Dies gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.

Mir ist bewusst, dass die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden Prüfungsarbeiten stichprobenartig mittels der Verwendung von Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft.

Ort, Datum

Unterschrift Student