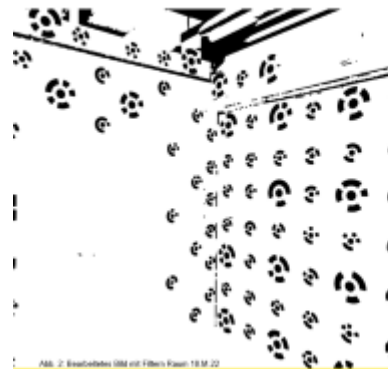


Weiterentwicklung IGEO-Kamerakalibriertoolbox



Ausgangslage / Motivation

- Unterschiedliche Messsysteme sind auf eine Kalibrierung angewiesen
- Steigende Anforderungen an Messgenauigkeit
- Exakte Bestimmung der Kalibrierungsparameter
- Forschung und Lehre
- Kosten- und Lizenzunabhängigkeit



Zielsetzung

- Exakte Bestimmung der Marker im Passpunktfeld von Raum 10.M.22
- Implementierung äquidistante Kameramodelle in der Kalibriertoolbox für die Modellierung von Fischaugenkameras
- Implementierte Kameramodelle überprüfen und kontrollieren
- Kameramodelle untereinander vergleichen



Abb. 1: Syntetische Welt
12. Juni 2023 BTh 4 / 2023 - Weiterentwicklung IGEO-Kamerakalibriertoolbox | Kilian Elmiger © IGEO FHNW

Abb. 2: Einzelbilder 084 mit Filtern Raum 10.M.22
12. Juni 2023 BTh 4 / 2023 - Weiterentwicklung IGEO-Kamerakalibriertoolbox | Kilian Elmiger © IGEO FHNW

12. Juni 2023 BTh 4 / 2023 - Weiterentwicklung IGEO-Kamerakalibriertoolbox | Kilian Elmiger © IGEO FHNW

Bestimmung Passpunktfeld

- Ausarbeiten Konzept
 - Definieren des Raumkoordinatensystem
 - Präanalyse
 - Planung
- Durchführung Messkampagne
 - Geodätische Referenzmessungen
 - Photogrammetrische Bildkalerifizierung
- Prozessierung der Messdaten
 - Georeferierte Prozessierung der geodätischen Referenzmessungen und photogrammetrischen Bildkalerifizierung
 - Kontrollen sind verglichen der Messdaten



Abb. 3 - 8: Implementierung des Messaufbaus
12. Juni 2023 BTh 4 / 2023 - Weiterentwicklung IGEO-Kamerakalibriertoolbox | Kilian Elmiger © IGEO FHNW

Implementierung und Überprüfung der Kameramodelle

- Implementierungen:
 - Äquidistantes Abbildungsmodell nach Brown (1971)
 - Äquidistantes Abbildungsmodell nach Agisoft Metashape (2022)
 - Äquidistantes Abbildungsmodell von OpenCV (Bradski, 2000)
- Überprüfung
 - Die Überprüfung der Implementierungen erfolgte mit drei unterschiedlichen Actionkameras
 - Vergleich zwischen Toolbox und Agisoft Metashape
 - Vergleich der unterschiedlichen Modelle innerhalb der Toolbox

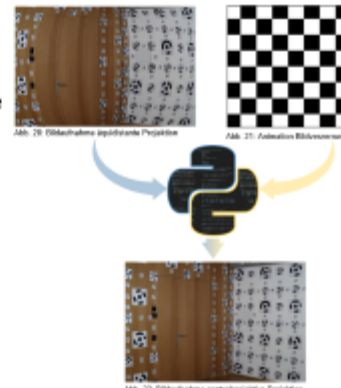


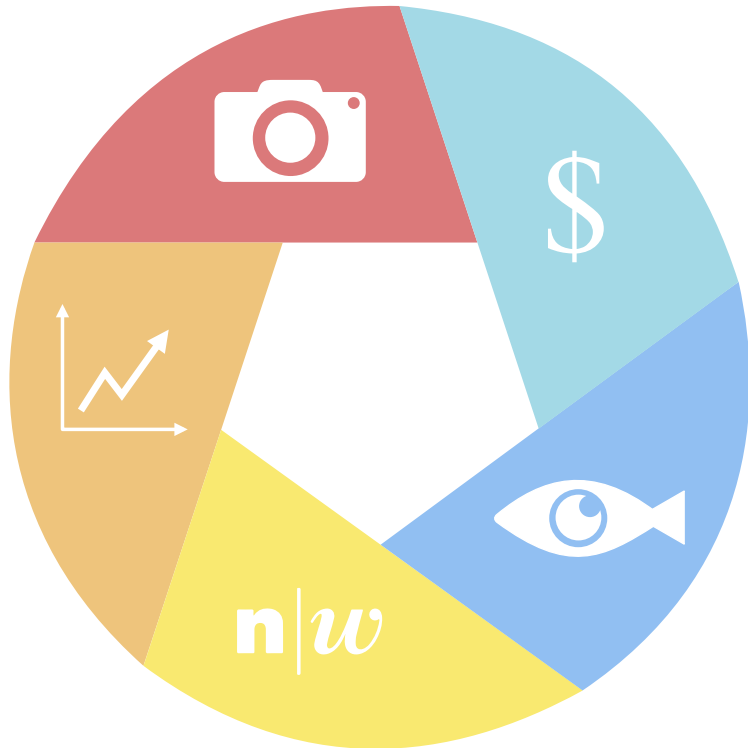
Abb. 19: Gleichzeitige äquidistante Projektion
Abb. 20: Geodätische Referenzmessungen
Abb. 21: Geodätische Referenzmessungen
Abb. 22: Gleichzeitige äquidistante Projektion
12. Juni 2023 BTh 4 / 2023 - Weiterentwicklung IGEO-Kamerakalibriertoolbox | Kilian Elmiger © IGEO FHNW

Resultate und Diskussion

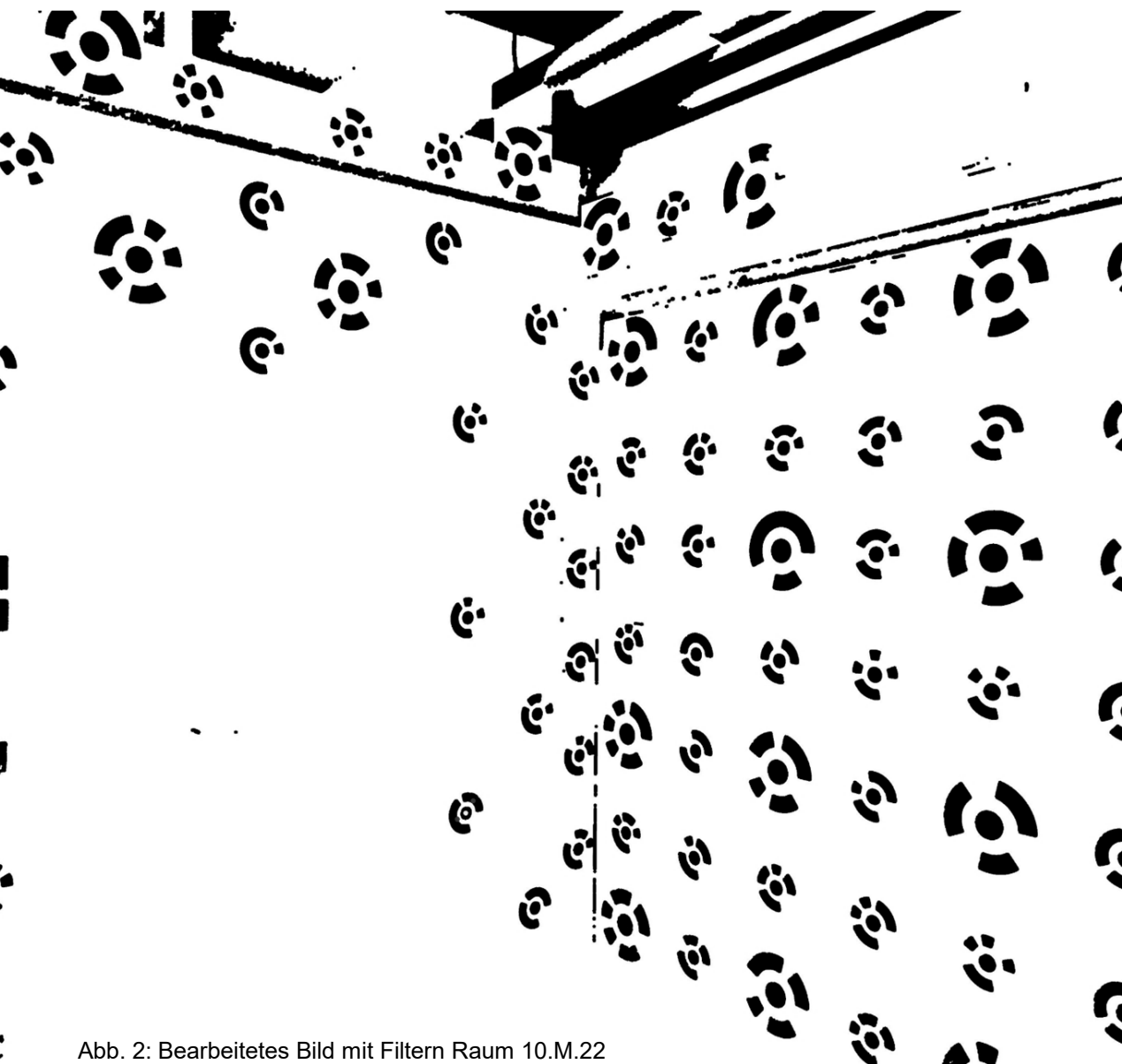
- 0.08 mm: Bestimmung geodätischer Referenzmessungen
- 1/10 Pixel: Marker Bestimmung
- 0.04 mm: Kalibrierfeld Bestimmung
- 0.13 mm: Empirischer Genauigkeitsnachweis erbracht
- Erfolgreiche Bestimmung Passpunktfeld mit 486 Markern
- Erfolgreiche Implementierungen von drei äquidistanten Kameramodellen
- Erfolgreiche Überprüfungen der Kameramodelle
- Erfolgreiche Kamerakalibrierungen mit dem Passpunktfeld im Raum 10.M.22
- Maximale Kontrolle über Berechnungsvorgänge
- Grundlage für weitere Forschung
- Toolbox ist modular aufgebaut und vereinfacht das Hinzufügen von Erweiterungen
- Grosses Entwicklungspotenzial

12. Juni 2023 BTh 4 / 2023 - Weiterentwicklung IGEO-Kamerakalibriertoolbox | Kilian Elmiger © IGEO FHNW

Ausgangslage / Motivation



- Unterschiedlichste Messsysteme sind auf eine Kalibrierung angewiesen
- Steigende Anforderungen an Messgenauigkeit
- Exakte Bestimmung der Kalibrierungsparameter
- Forschung und Lehre
- Kosten- und Lizenzunabhängigkeit



Zielsetzung

- Exakte Bestimmung der Marker im Passpunktfeld von Raum 10.M.22
- Implementierung äquidistante Kameramodelle in der Kalibriertoolbox für die Modellierung von Fischaugenkameras
- Implementierte Kameramodelle überprüfen und kontrollieren
- Kameramodelle untereinander vergleichen

Abb. 2: Bearbeitetes Bild mit Filtern Raum 10.M.22

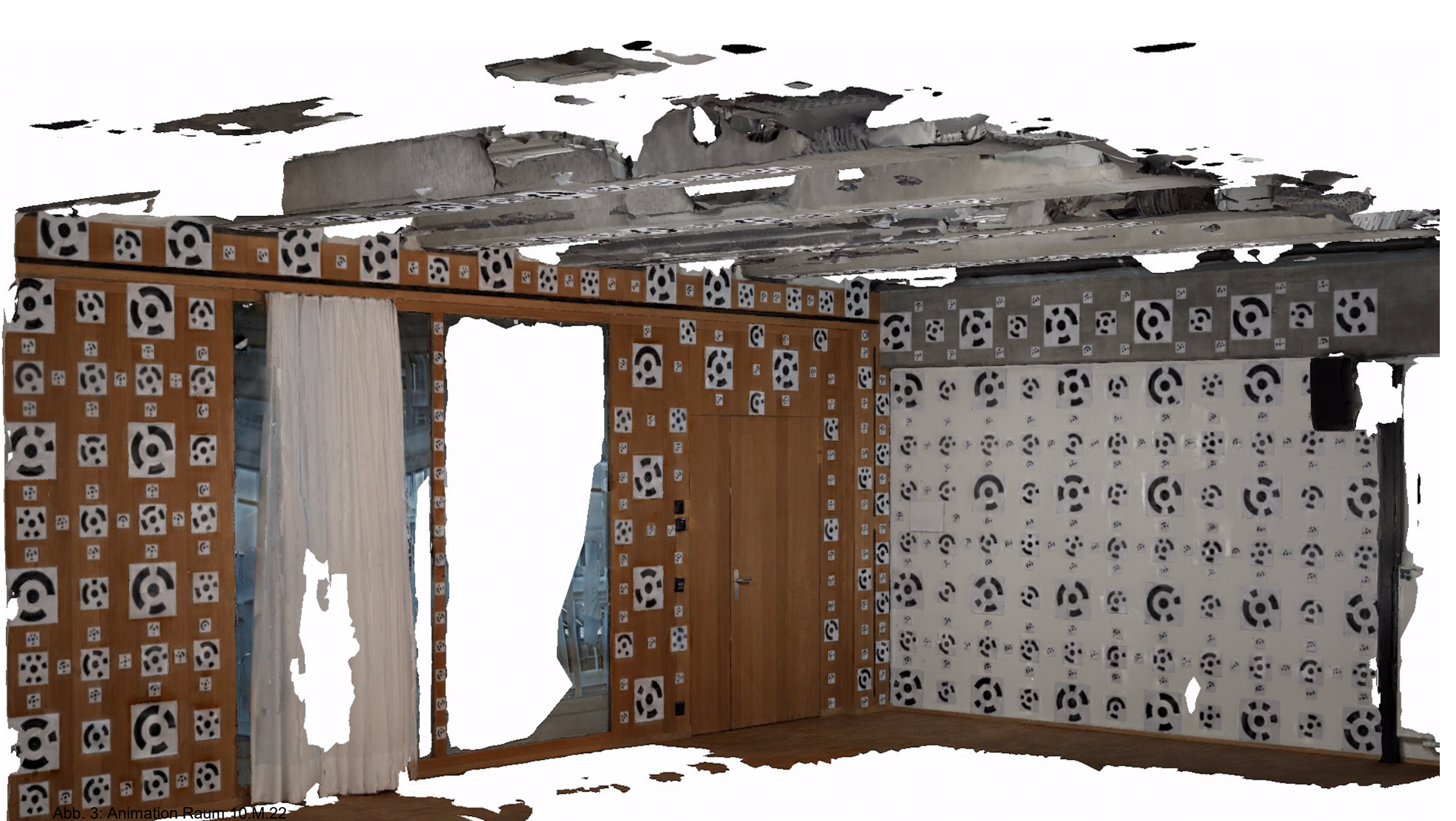


Abb. 3: Animation Raum 10.M.22

Bestimmung Passpunktfeld

- Ausarbeiten Konzept
 - Definieren des Raumkoordinatensystem
 - Präanalyse
 - Planung
- Durchführung Messkampagne
 - Geodätische Referenzmessungen
 - Photogrammetrische Bilddatenerfassung
- Prozessierung der Messdaten
 - Getrennte Prozessierung der geodätischen Referenzmessungen und photogrammetrischen Bilddaten
 - Kombinieren und ausgleichen der Messdaten



Abb. 5 – 8: Impressionen der Messkampagne

Geodätische Referenzmessungen

- Vorgehen:
 - Messungen erfolgten mit zwei Tachymeter, angesteuert durch die Software Leica XYZ (Leica Geosystems AG, 2000).
 - Lasertracker Tachymeter TDA5000 von Leica Geosystems mit einer Winkelgenauigkeit von $0.5''$ (0.15 mgon) (Leica Geosystems AG, 2001).
 - Tachymeter TCA1800 von Leica Geosystems mit einer Winkelgenauigkeit von $1''$ (0.30 mgon) (Leica Geosystems AG, 2004).
 - Ein Glasfasermeter ermöglichte eine exakte Bestimmung des Massstabs im Submillimeterbereich.
 - Messverfahren beruht auf dem Konzept mittels Vorwärtseinschnitt (Gruber und Joeckel, 2020).
 - Transformation der Messdaten ins Raumkoordinatensystem erfolgte in zwei Schritten mit der Software JAG3D (Lösler, 2023).

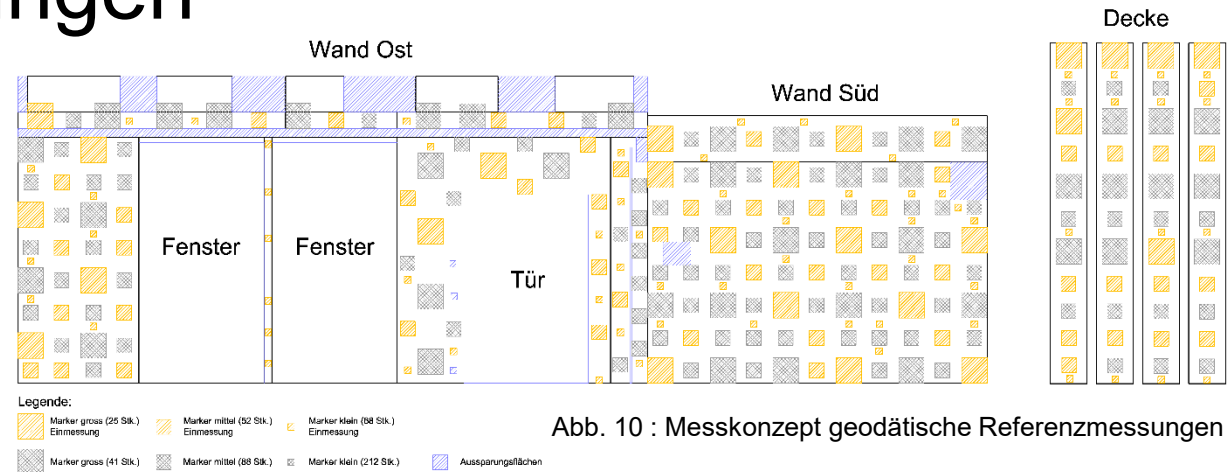


Abb. 10 : Messkonzept geodätische Referenzmessungen



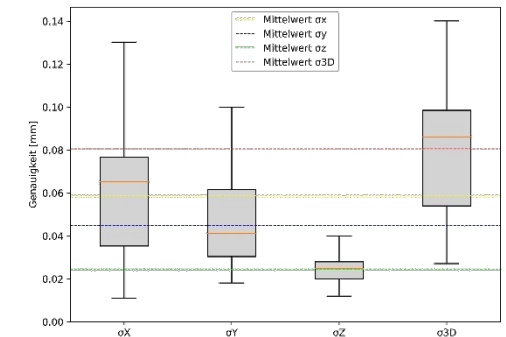
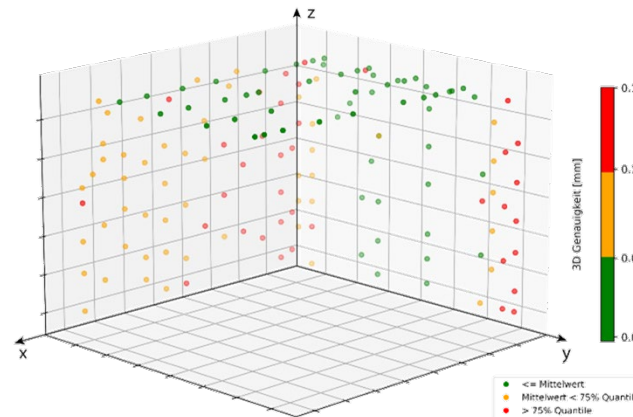
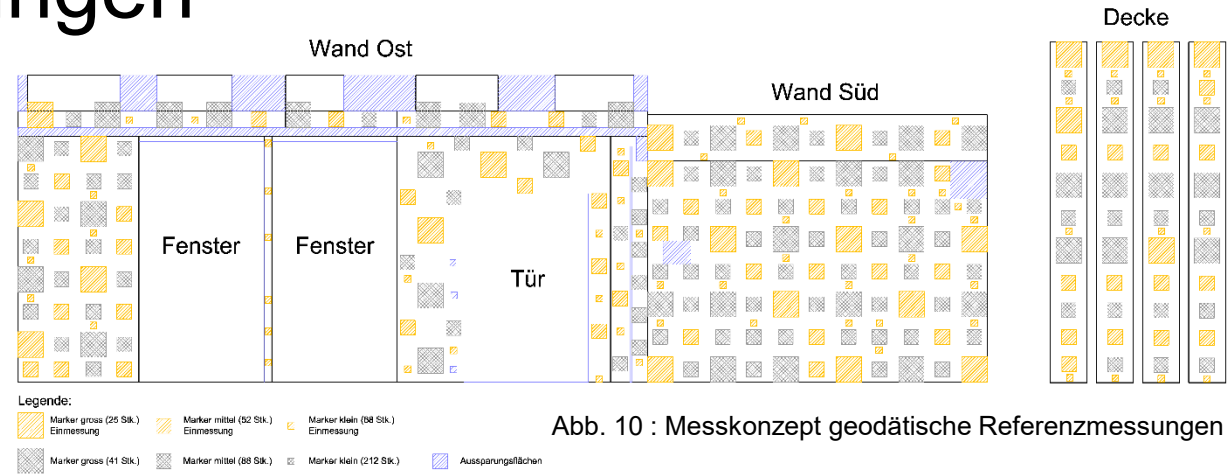
Abb. 11: Messung mit Steilsichtokular



Abb. 12: Tachymeter Leica TDA5000 und Leica TCA1800

Geodätische Referenzmessungen

- **Resultat:**
 - 145 Marker gemessen
 - Geodätische Referenzkoordinaten auf 0.08 mm bestimmt
 - Optimale Grundlage für weitere Arbeitsschritte



Photogrammetrische Bilddatenerfassung

■ Vorgehen:

- Bilddatenerfassung mit Canon EOS R mit 35mm Brennweite
- Verarbeitung erfolgt mit der Software Agisoft Metashape
- Aufteilung der Auswertung in drei Arbeitsschritte
- Arbeitsschritt 1:
 - Automatische Marker Detektion durch Agisoft Metashape
 - Fehlerhafte Detektionen bestimmen und eliminieren
 - Iterativer Prozess bis gewünschte Genauigkeit von $<1/10$ Pixel erreicht
- Arbeitsschritt 2:
 - Bestimmung der Passpunktkoordinaten mittels Bündelblockausgleichung, weich gelagert auf den tachymetrisch bestimmten Passpunkten
 - Schätzung der inneren Kamerageometrie
- Arbeitsschritt 3:
 - Überprüfung der Daten und Durchführung des empirischen Genauigkeitsnachweises gemäss Abb. 13

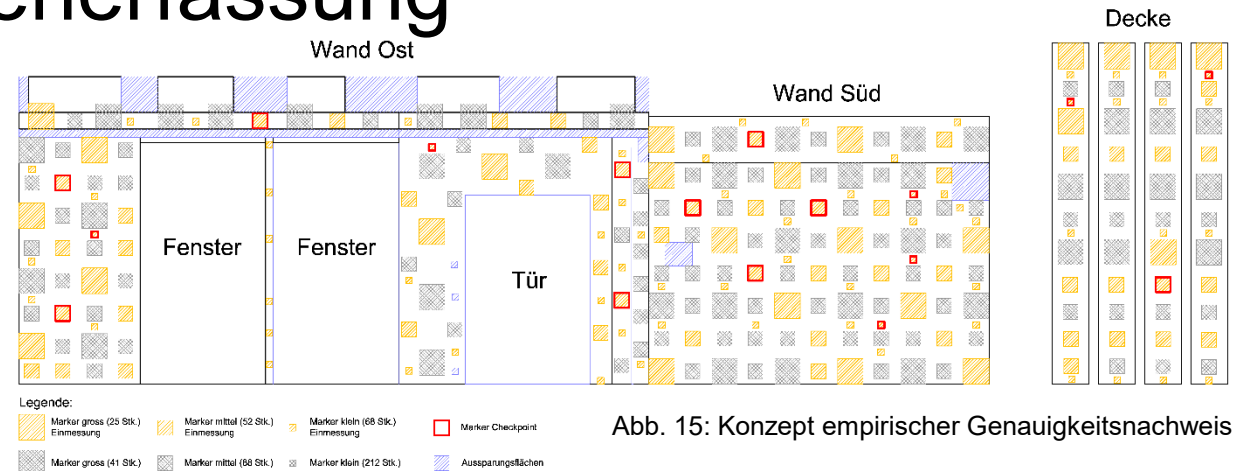


Abb. 15: Konzept empirischer Genauigkeitsnachweis

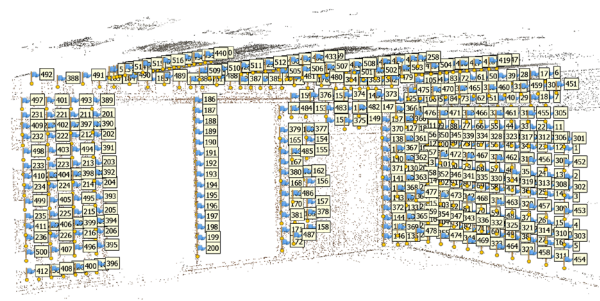


Abb. 16: Screenshot Agisoft Metashape

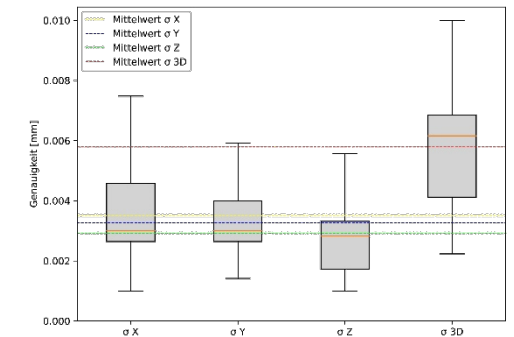
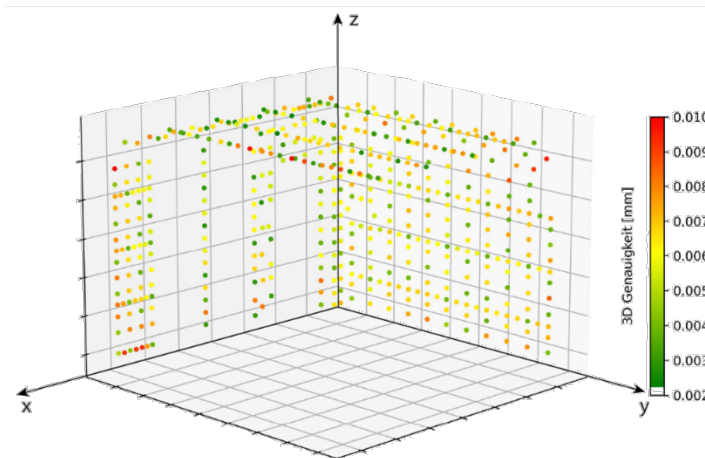
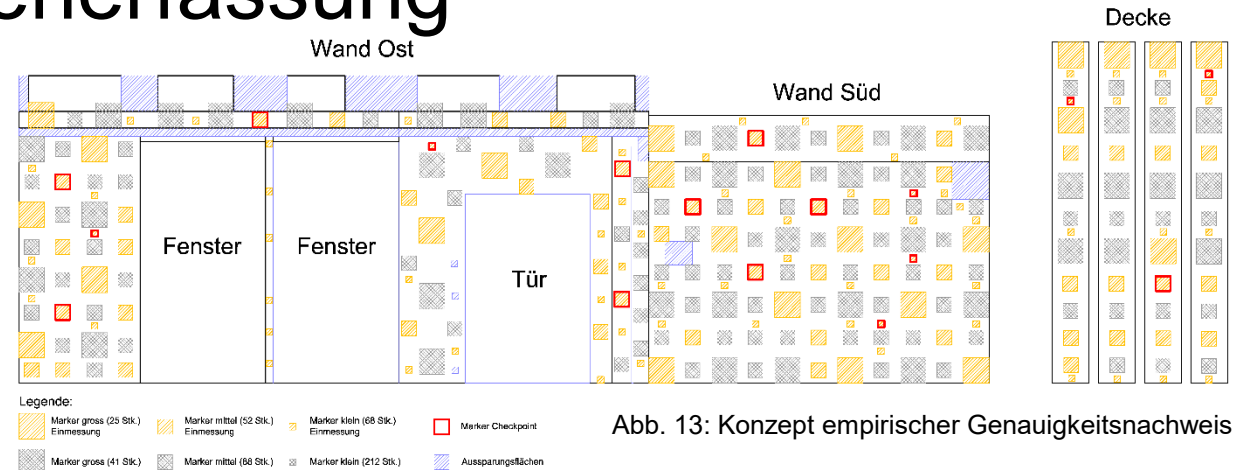


Abb. 17: Bilddatenerfassung

Photogrammetrische Bilddatenerfassung

Resultat:

- 486 Marker Bestimmt:
 - 280 kleine Marker mit Kreisradius von 26 mm
 - 140 mittlere Marker mit Kreisradius von 70 mm
 - 66 Grosse Marker mit Kreisradius von 122 mm
- Marker Detektion in Agisoft Metashape unter 1/10 Pixel
- Passpunktkoordinaten auf 0.04 mm bestimmt
- Genauigkeit von Passpunktfeld kontrolliert und empirische Genauigkeit von 0.13 mm nachgewiesen.
- Exakt bestimmtes Passpunktfeld für Kamerakalibrierungen.



Implementierung und Überprüfung der Kameramodelle

- Implementierungen:
 - Äquidistantes Abbildungsmodell nach Brown (1971)
 - Äquidistantes Abbildungsmodell nach Agisoft Metashape (2022)
 - Äquidistantes Abbildungsmodell von OpenCV (Bradski, 2000)
- Überprüfung
 - Die Überprüfung der Implementierungen erfolgte mit drei unterschiedlichen Actioncameras
 - Vergleich zwischen Toolbox und Agisoft Metashape
 - Vergleich der Unterschiedlichen Modelle innerhalb der Toolbox



Abb. 20: Bildaufnahme äquidistante Projektion

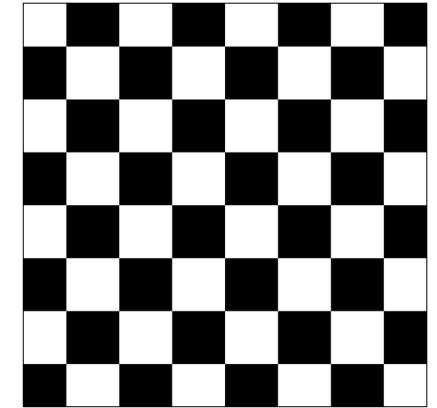


Abb. 21: Animation Bildverzerrungen

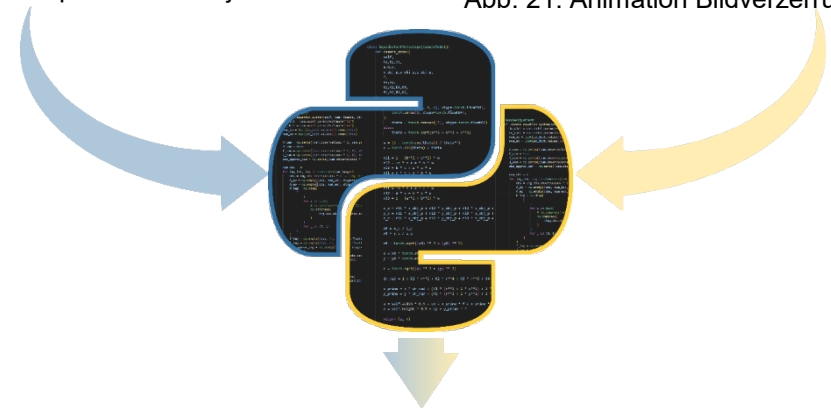


Abb. 22: Bildaufnahme zentralprojektive Projektion

Resultate und Diskussion

- 0.08 mm: Bestimmung geodätischer Referenzmessungen
- 1/10 Pixel: Marker Bestimmung
- 0.04 mm: Kalibrierfeld Bestimmung
- 0.13 mm: Empirischer Genauigkeitsnachweis erbracht
- **Erfolgreiche Bestimmung Passpunktfeld mit 486 Markern**
- **Erfolgreiche Implementierungen von drei äquidistanten Kameramodellen**
- **Erfolgreiche Überprüfungen der Kameramodelle**
- **Erfolgreiche Kamerakalibrierungen mit dem Passpunktfeld im Raum 10.M.22**
- Maximale Kontrolle über Berechnungsvorgänge
- Grundlage für weitere Forschung
- Toolbox ist modular aufgebaut und vereinfacht das Hinzufügen von Erweiterungen
- Grosses Entwicklungspotenzial

Literatur

- Agisoft LLC (2022). Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, Version 1.8.
 - Bradski, G. (2000). The OpenCV Library
 - Brown, Duane C. (1971). Close-range camera calibration
 - Leica Geosystems AG (Okt. 2000). Axyz Training Manual Tracker
 - Leica Geosystems AG (2001). Leica TPS5000 Technical Data
 - Leica Geosystems AG (2004). Leica TCA1800 Technische Spezifikationen
 - Gruber, Franz Josef und Joeckel, Rainer (2020). Formelsammlung für das Vermessungswesen.
 - Lösler, Michael (2023). Java Applied Geodesy 3D (JAG3D)—Netzausgleichungssoftware zur angewandten Forschung in der Geodäsie und Metrologie
-
- Abbildung 6, 7, 11, 12, 17: Stephan Nebiker
 - Abbildung 23: www.gopro.com/de/de/news/launch-2018-hero7-black
 - Abbildung 24: www.gopro.com/en/us/news/gopro-introduces-hero4-the-most-powerful-gopro-lineup-ever
 - Abbildung 25: www.insta360.com/de/product/insta360-oner_twin-edition