

Studentischer Beitrag zu den Oldenburger 3D-Tagen:

Genauigkeitsuntersuchung zur Verknüpfung von terrestrischem Laserscanning und UAV-Photogrammetrie

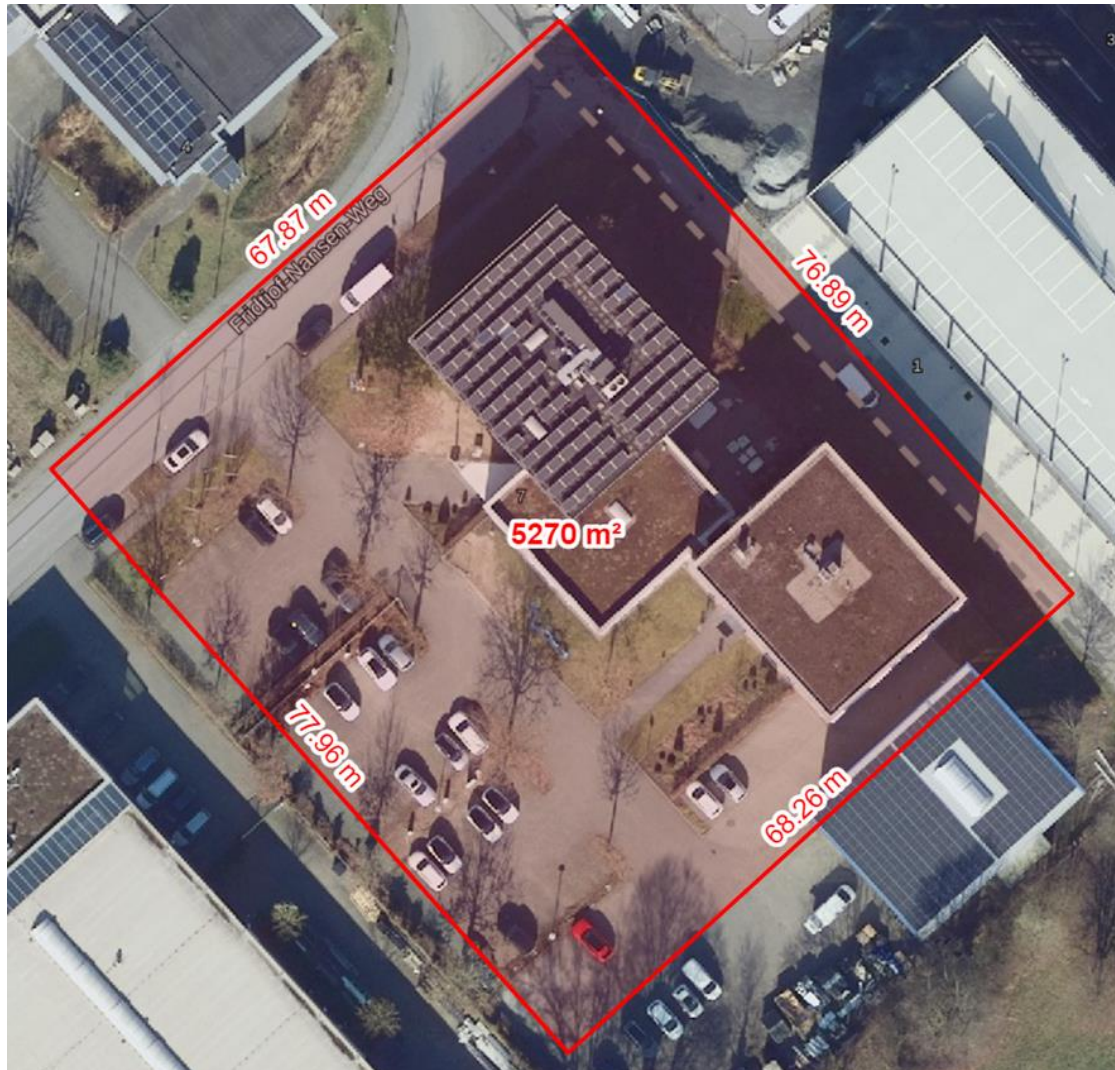
Oldenburg, 01.02.2024

- Zielsetzung
- Messgebiet
- Messinstrumente
 - UAV
 - Laserscanner
- Auswertung
 - UAV
 - TLS
- Punktwolkenprüfung
- Verknüpfungsmethoden
- Vergleich der Ergebnisse



Quelle: eigene

- Aufnahme des Messgebietes
 - terrestrisches Laserscanning
 - UAV-basierter Bildflug
- Verwendung identischer Passpunkte
- Verschiedene Verknüpfungsmethoden
- Vergleich der Restabweichungen zwischen UAV- und TLS-Punktwolke
- Welches Verfahren ist geeignet, welche Ergebnisse werden erzielt?



Quelle: TIM-ONLINE 2024: o.S.

- Bürostandort des Ingenieurbüro Bertels in Münster
- 0,5 ha groß
- Dreigeschossiges Gebäude
- Parkflächen
- Kleine Vegetationsflächen mit Bäumen und Sträuchern
- Dachflächen für die TLS-Messung nicht zugänglich



Quelle: eigene



Quelle: LEICA GEOSYSTEMS AG 2024a: o.S.



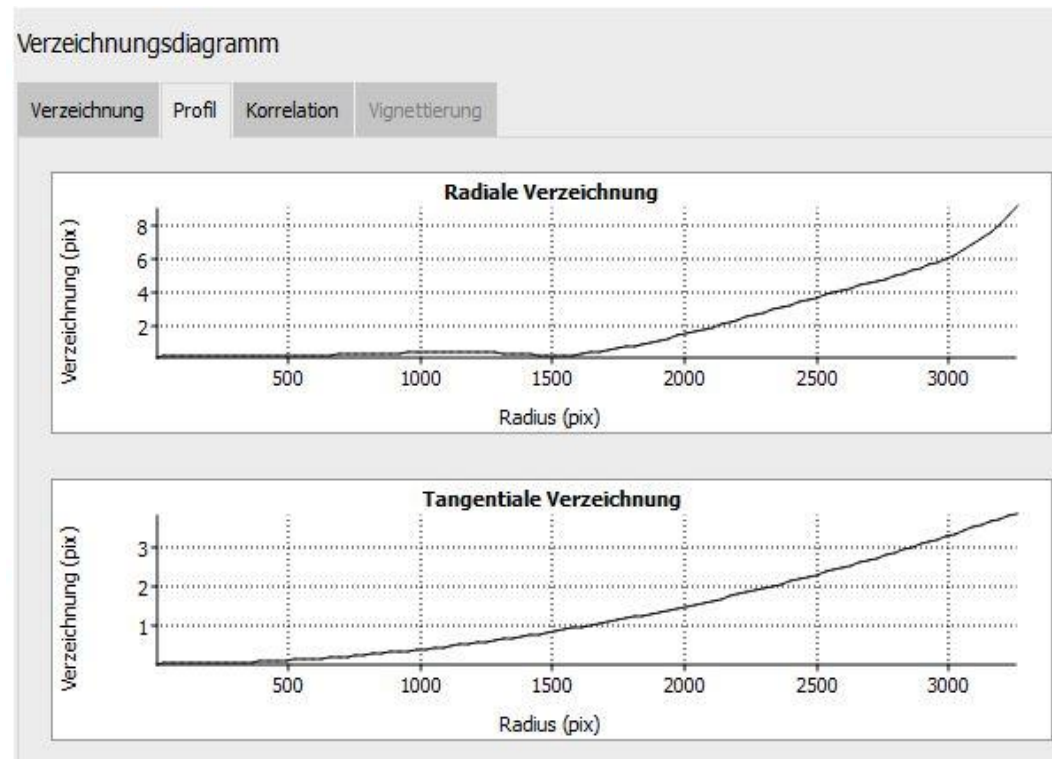
- Agisoft Metashape (Version 2.0.4)
- Verwendung der Bilder und Passpunktkoordinaten
- Automatische Bildmessung mit manueller Kontrolle
- Festlegung von Pass- und Kontrollpunkten
- Berechnung der Bündelblockausgleichung

	Wert	Fehler	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3645.45	0.073	1.00	-0.01	0.04	-0.03	-0.00	-0.12	0.12	-0.10	0.08	-0.00	-0.02
Cx	-0.153463	0.02		1.00	0.03	0.01	-0.04	0.02	-0.01	0.01	-0.01	0.80	0.02
Cy	-7.18215	0.016			1.00	0.05	-0.01	-0.00	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.72
B1	-0.506793	0.0045				1.00	-0.00	0.04	-0.04	0.03	-0.02	-0.01	0.02
B2	-0.499185	0.0044					1.00	-0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.03	-0.04
K1	0.00680761	4.9e-05						1.00	-0.97	0.92	-0.87	0.01	-0.00
K2	-0.0545551	0.00024							1.00	-0.99	0.96	-0.01	0.00
K3	0.0993029	0.00047								1.00	-0.99	0.00	-0.00
K4	-0.059032	0.00031									1.00	-0.00	0.00
P1	0.000259843	1.7e-06										1.00	0.01
P2	-0.00129737	1.4e-06											1.00

Quelle: eigene

Ergebnis der Bündelblockausgleichung:

- 208 Tsd. Verknüpfungspunkte (dünne Punktwolke)
 - reprojection error von 0,435 Pixel
- GSD (Bodenauflösung) von 0,856 cm/Pixel



Quelle: eigene

Ergebnis der Bündelblockausgleichung:

- distortion plot zeigt Verzeichnungseffekte
- Systematik erkennbar
- Radiale Verzeichnungskurve mit zweiten Nulldurchgang
- Vorkorrektur der Bilddaten durch Hersteller



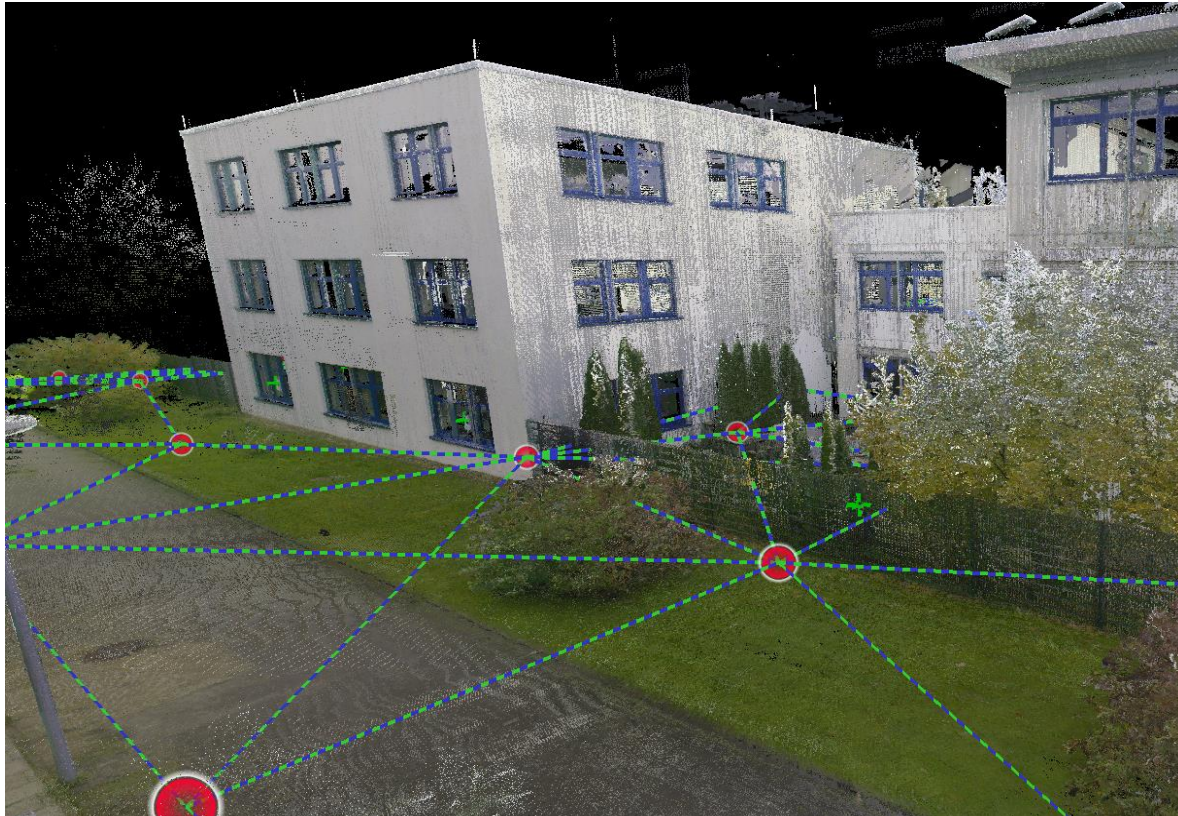
Ergebnis der Bündelblockausgleichung:

- Passpunktgenauigkeit 1,1 cm
- Kontrollpunktgenauigkeit 1,2 cm
- Dichte Punktwolke mit 118 Mio. Punkten



Quelle: eigene

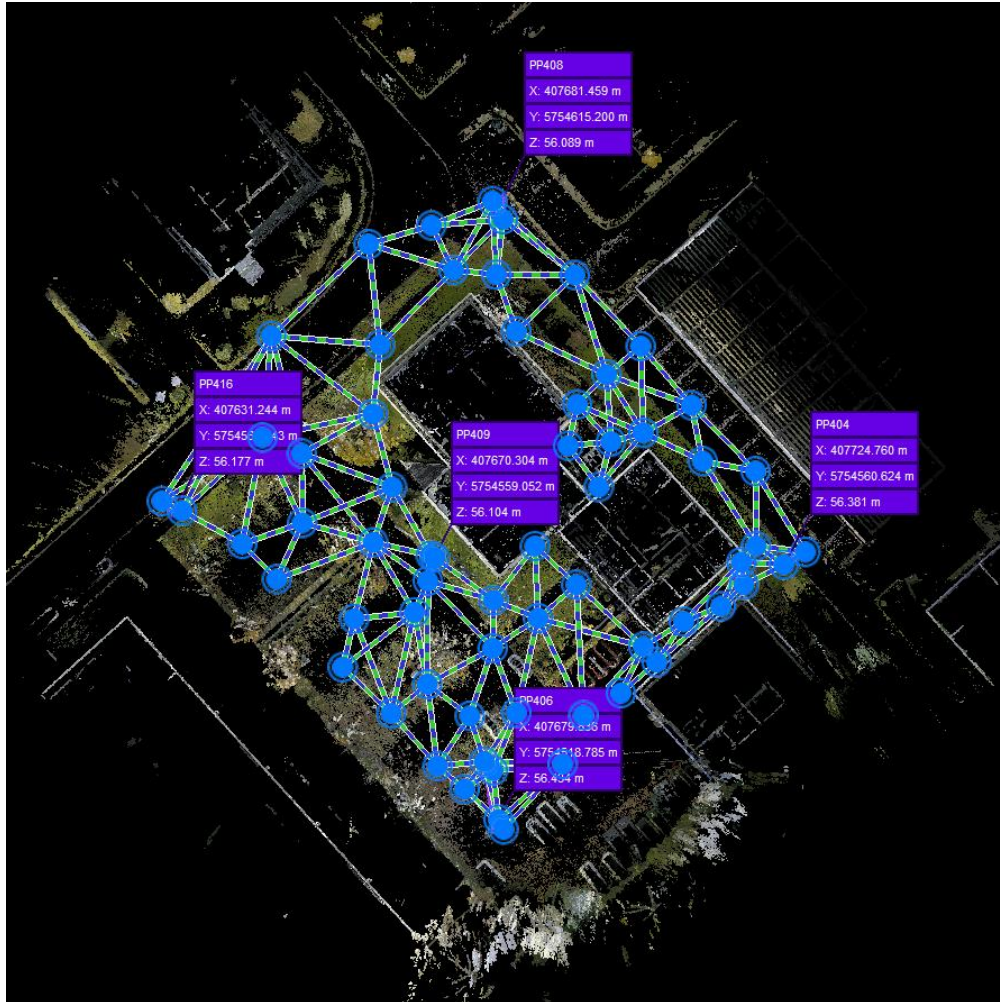
- Leica Cyclone Register 360
- Registrierung und Georeferenzierung der Punktwolke
- Automatische Zielzeichenerkennung



Quelle: eigene

Ergebnis der TLS-Auswertung:

- Registrierung primär über Zielzeichen
 - Verfeinerung durch Cloud-to-Cloud-Registrierung
- Falls zielzeichenbasierte Registrierung nicht möglich, nur Cloud-to-Cloud-Registrierung
 - Grobausrichtung manuell
- Georeferenzierung über die Passpunkte



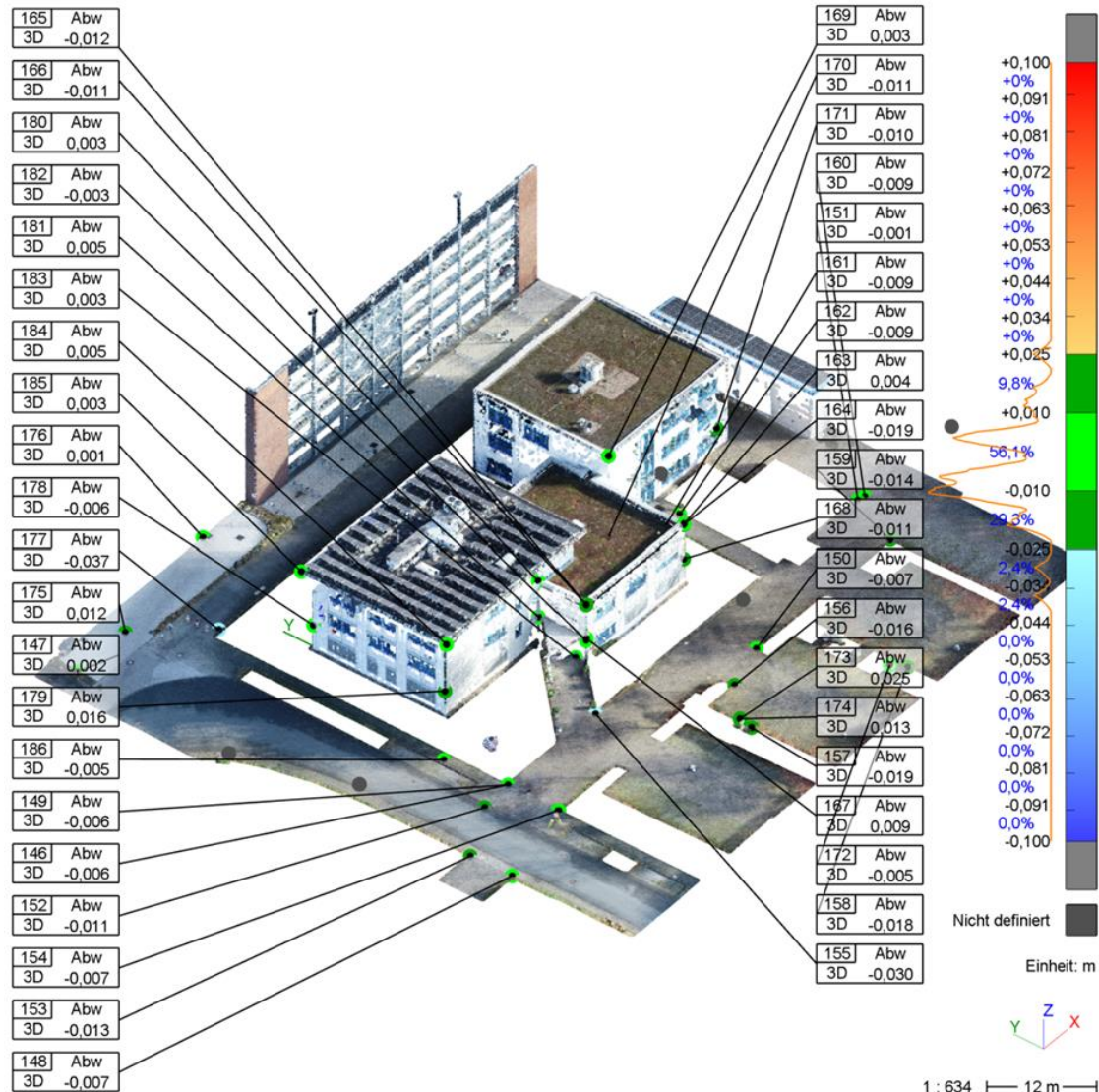
Quelle: eigene

Ergebnis der TLS-Auswertung:

- 63 Standpunkte über 152 Registrierungen zu einer Gruppe verknüpft
- Fehler der Gruppe 3 mm
 - Cloud-to-Cloud-Fehler 3 mm
 - Fehler in den Zielmarken 3 mm
 - Überlappung von 68 Prozent
- Georeferenzierung über Passpunkte:
 - Mittlerer Fehler bei 7mm

- Überprüfung beider Punktwolken
 - Über Kontrollstrecken
 - Über Kontrollpunkte

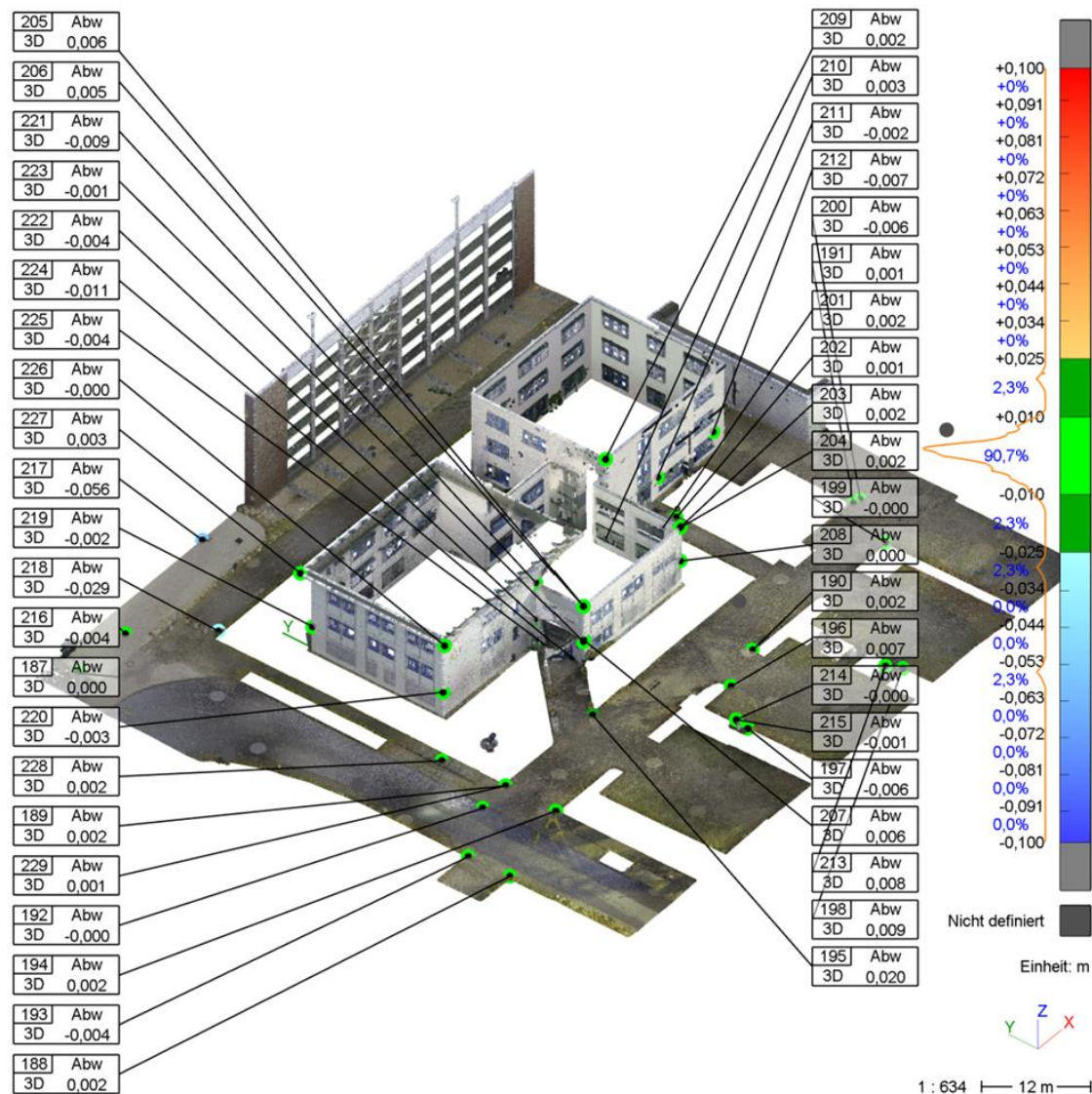
- In Leica Cyclone 3DR:
 - Streckenmessfunktion
 - Point-vs-Cloud-Vergleich
 - Abstand Punkt – lokale Ebene



Quelle: eigene

Ergebnis UAV-Punktwolkenprüfung:

- Großteil der Abweichungen um -1 cm
- 56 % aller Abweichungen zwischen -1 cm und +1cm
- Ausreißer mit 3,7 cm Abweichung
- Mittelwert von -5 mm



Ergebnis TLS-Punktwolkenprüfung:

- 90,7 % der Abweichungen zwischen -1 cm und +1 cm
- Ausreißer von -2,9 cm
- Mittelwert von 0,1 mm

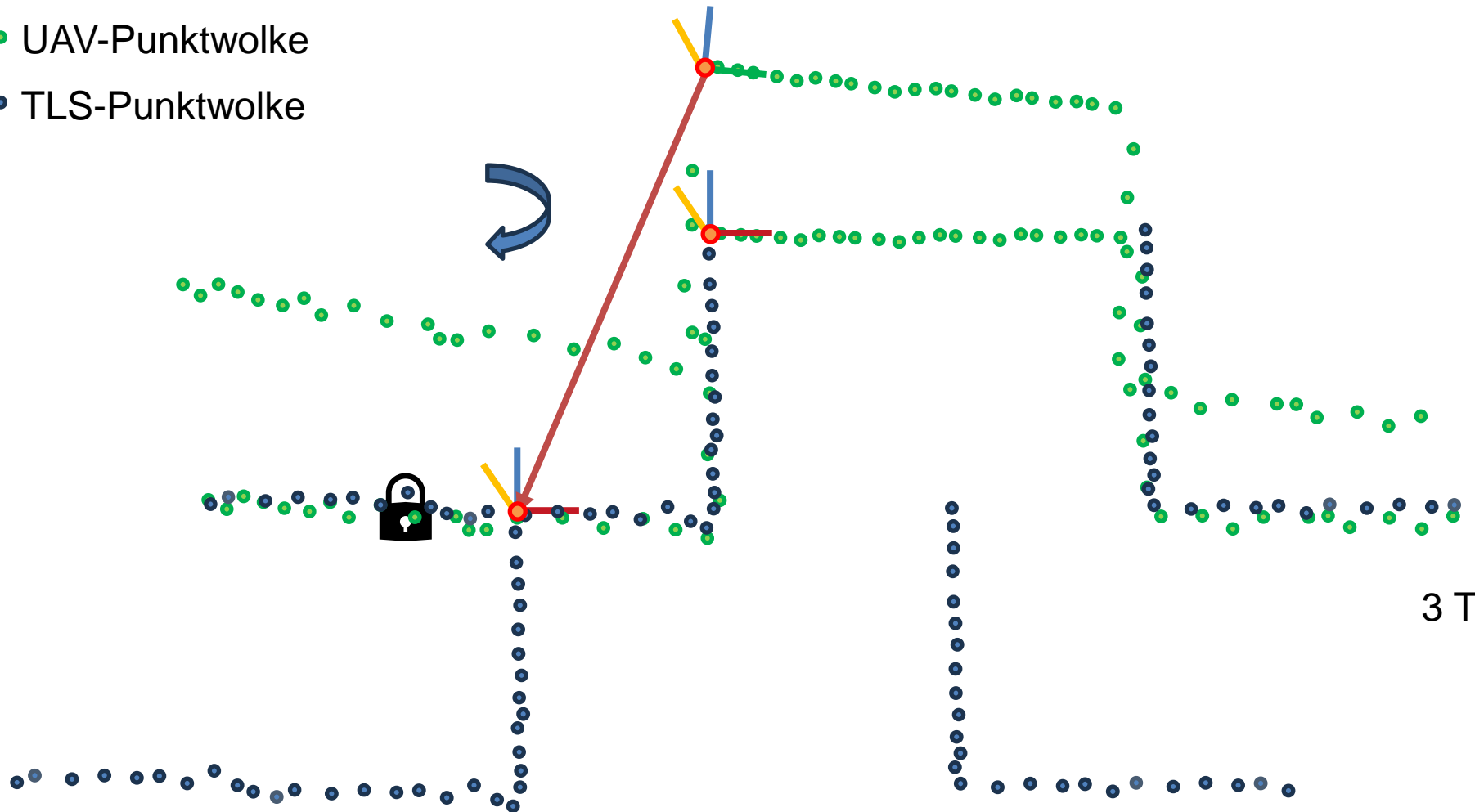
Ergebnis der Prüfung der Kontrollstrecken:

- Mittlere Abweichung über alle Streckenmessungen:
 - UAV: 8,8 mm
 - TLS: 5,8 mm
- TLS-Strecken weisen geringere Abweichungen als UAV-Strecken auf

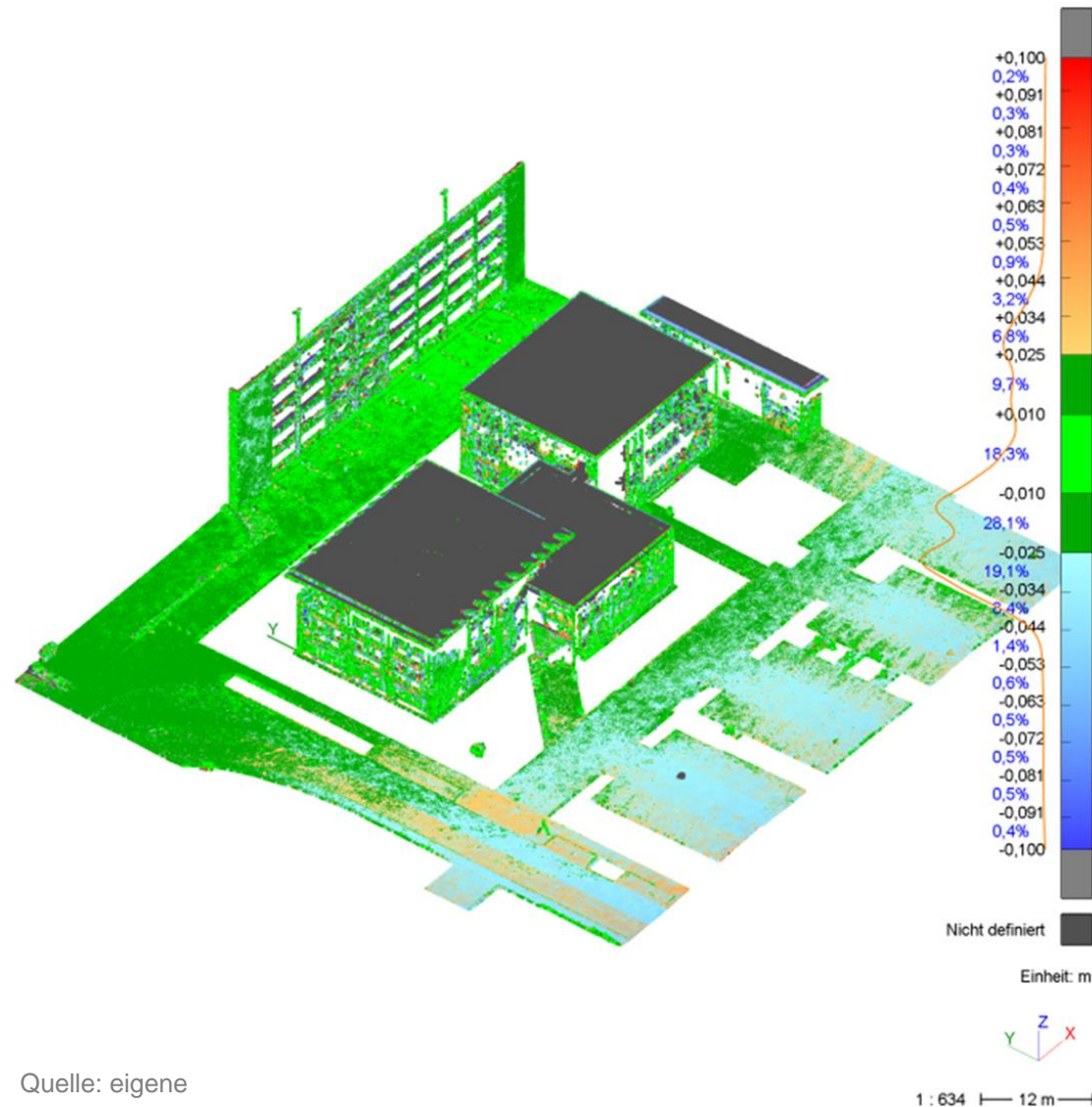
Verknüpfung der UAV- und TLS-Punktwolke über:

- Identische Passpunkte
- Geometrische Registrierung
- N-Punkte-Registrierung
- Best-Fit-Registrierung
- Achsen-Registrierung

- UAV-Punktwolke
- TLS-Punktwolke



Registrierung über
3 Translationen + 3 Rotation

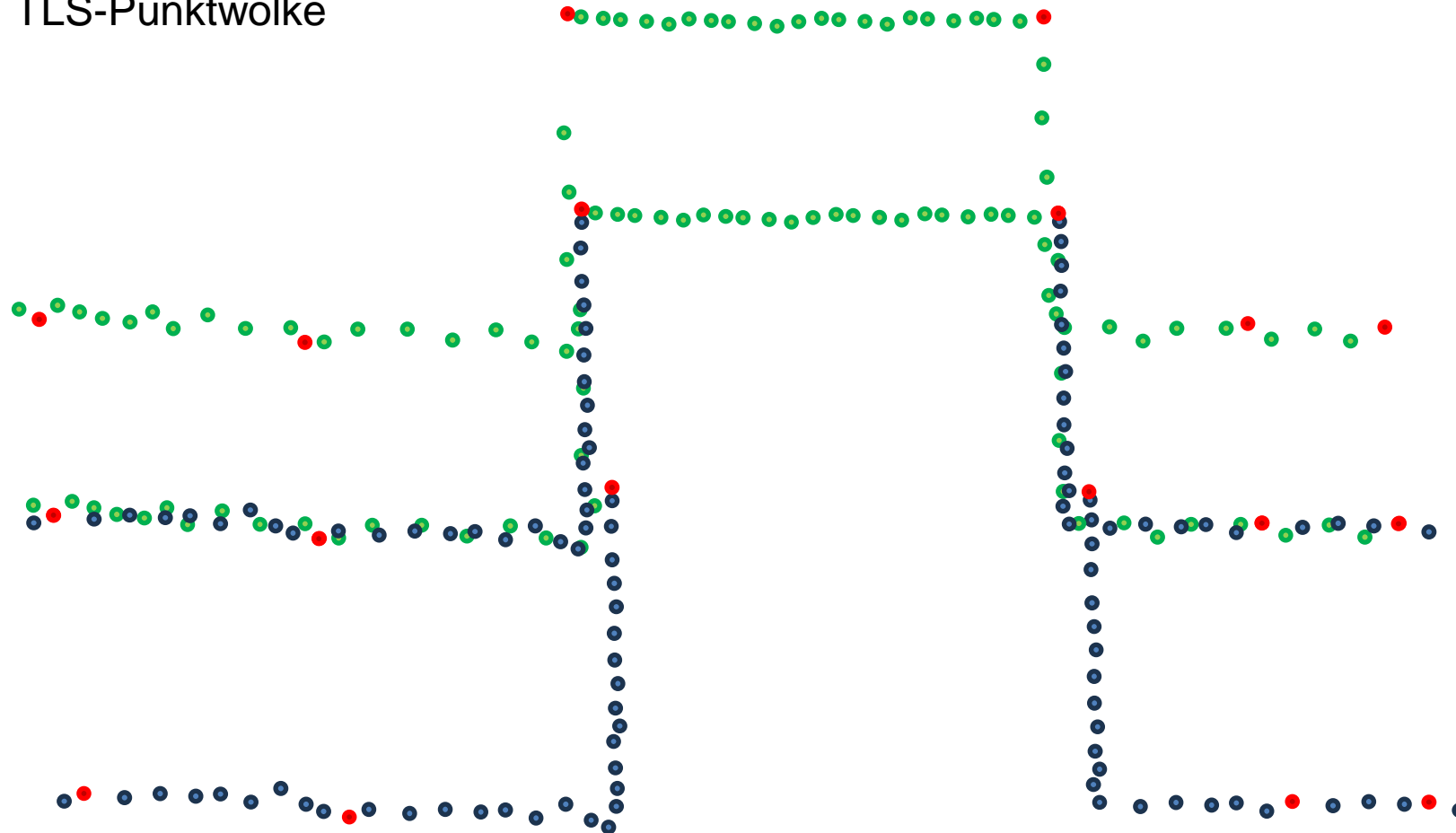


Quelle: eigene

Ergebnisse geometrische Registrierung:

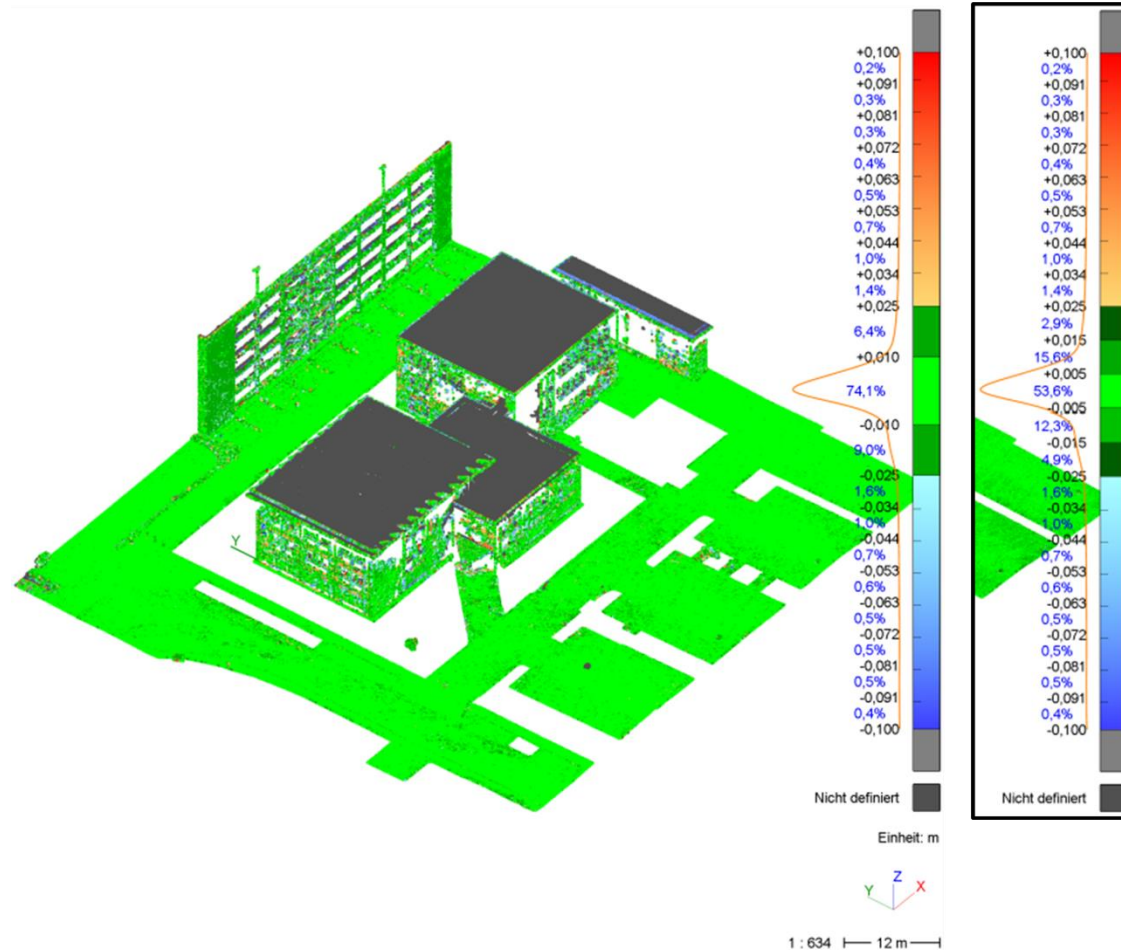
- Großflächige Abweichungen erkennbar (-2,5- -4 cm Parkplatz)
- Keine Glockenform
- Zwei Scheitelpunkte

- UAV-Punktwolke
- TLS-Punktwolke



Registrierung über N-
Punkte

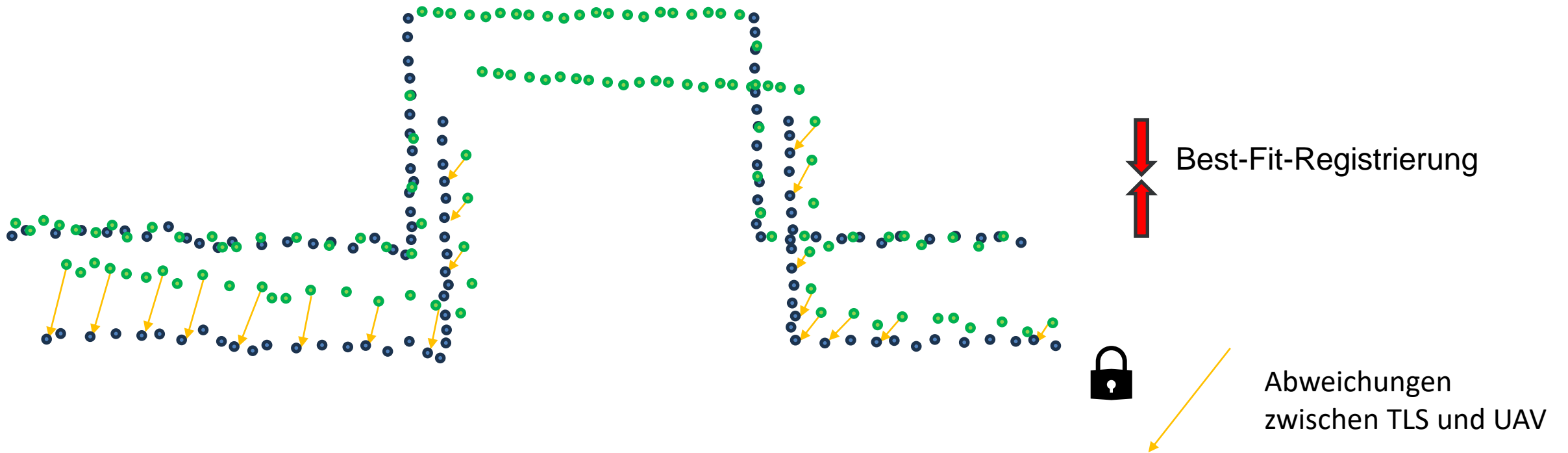


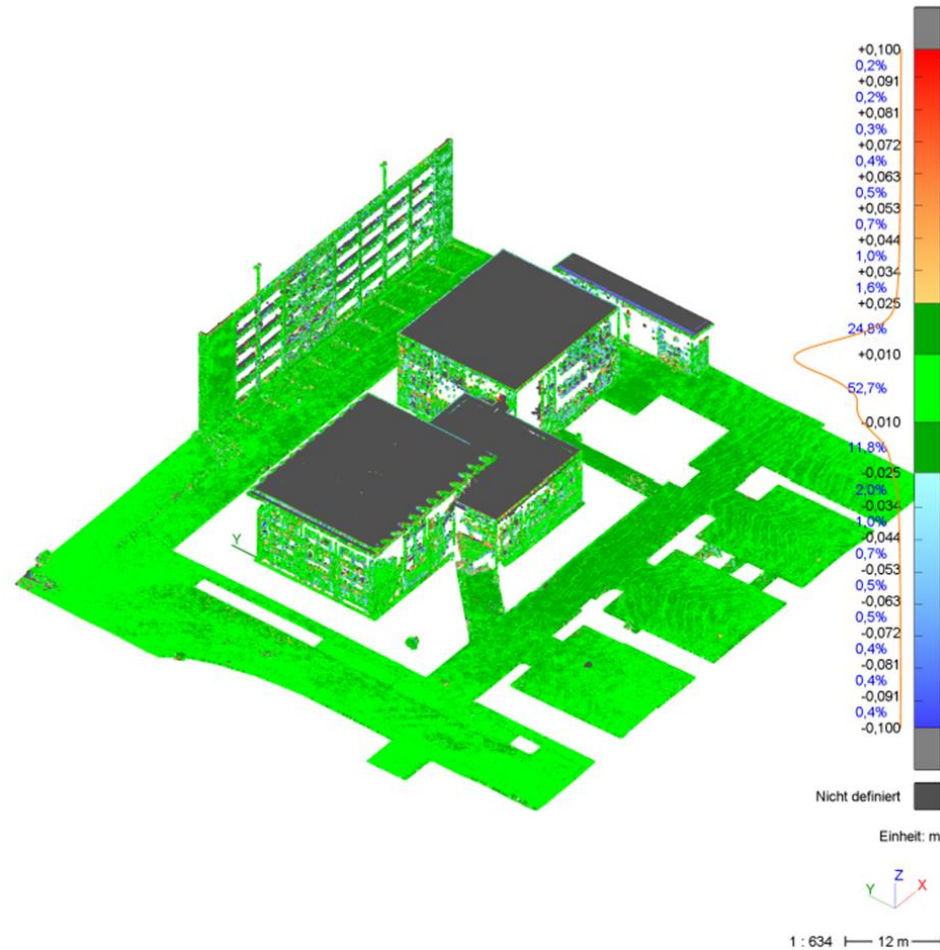


Ergebnisse N-Punkte-Registrierung:

- Großflächig geringe Restabweichungen
- 74,1 Prozent zwischen -1 cm und +1 cm
- 53,6 Prozent zwischen -5 mm und +5 mm
- Scheitelpunkt bei +/- 0 mm

- UAV-Punktwolke
- TLS-Punktwolke

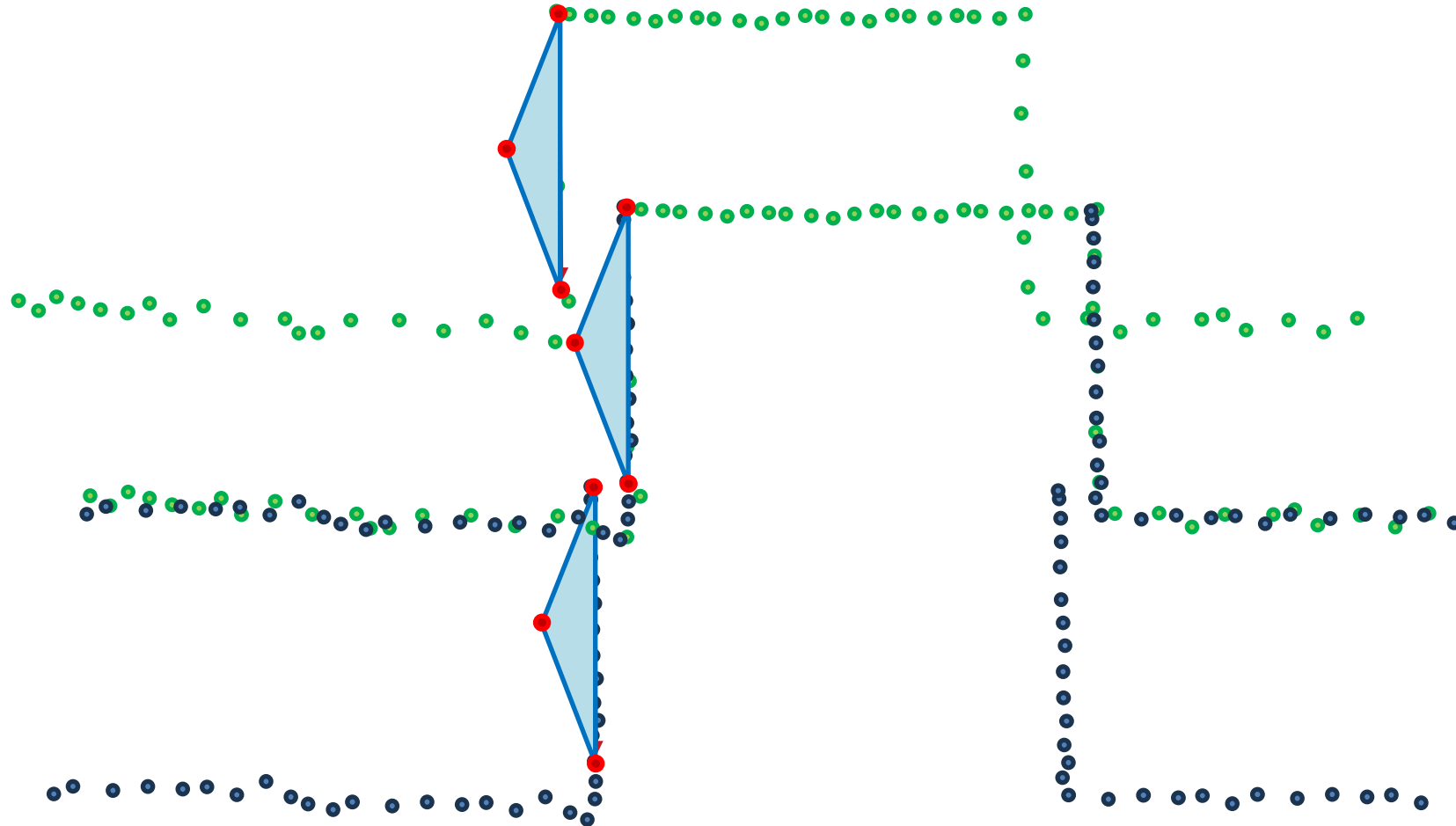




Ergebnisse Best-Fit-Registrierung:

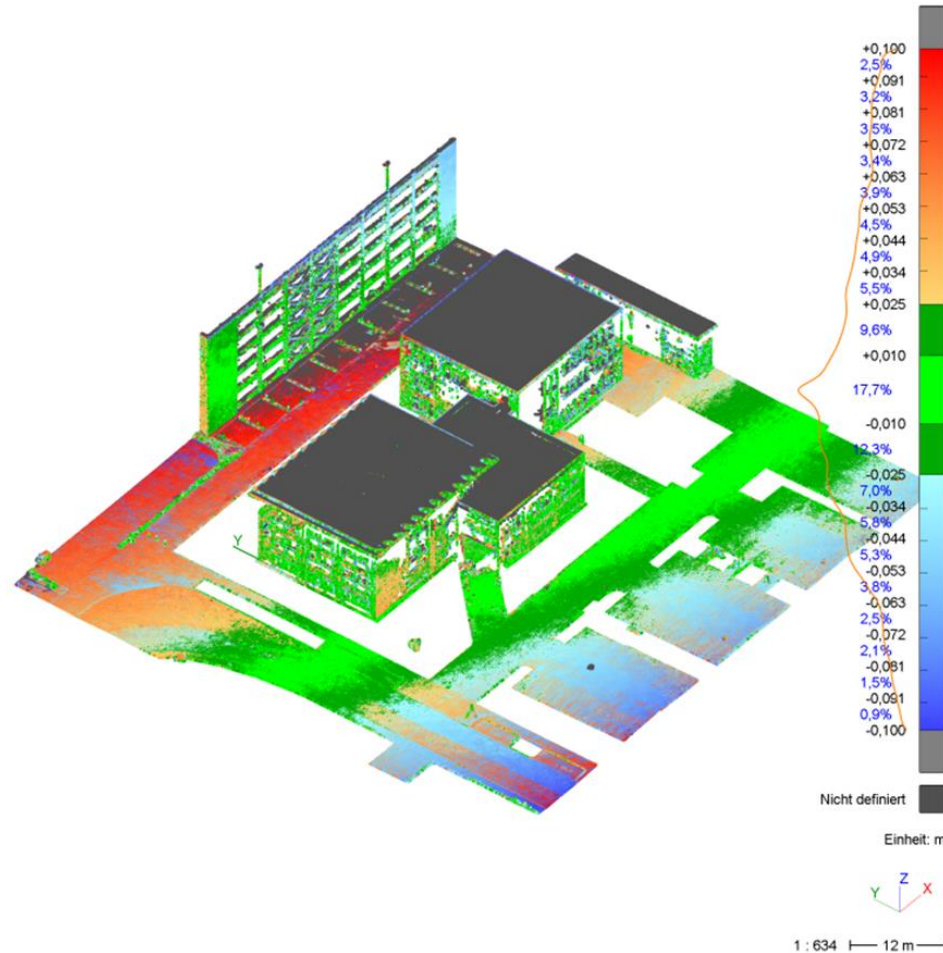
- großflächig Abweichungen zwischen -1,5 cm und +2 cm
- 52,7 Prozent der Abweichungen zwischen -1 cm und +1 cm
- Scheitelpunkt liegt bei +1 cm
- Große Streuung um den Scheitelpunkt

- UAV-Punktwolke
- TLS-Punktwolke



Achsen-Registrierung





Ergebnisse Achsen-Registrierung:

- Großflächig sehr hohe Abweichungen
- Extrem starke Streuung der Werte
- 60,4 Prozent der Abweichungen außerhalb des Bereiches von -2 cm bis +2 cm
- Verschwenkung ist zu erkennen
- Im Definitionsbereich geringste Abweichungen

Quelle: eigene

VERGLEICH DER REGISTRIERUNGS-ERGEBNISSE

	-1 cm bis +1 cm	-1 cm bis -2,5 cm	+1 cm bis +2,5 cm	+/-2,5 cm bis +/-10 cm
Identische Passpunkte	65,1	10,6	13,2	11,1
Geometrische Registrierung	18,3	28,1	9,7	43,9
N-Punkte-Registrierung	74,1	9,0	6,4	10,5
Best-Fit-Registrierung	52,7	11,8	24,8	10,7
Achsen-Registrierung	17,7	12,3	9,6	60,4

- Geometrische und Achsen-Registrierung für diesen Anwendungsfall ungeeignet
- Best-Fit-Registrierung benötigt mehr Überlappung in allen Dimensionen
- Verknüpfung über identische Passpunkte gut geeignet, allerdings aufwendig, zeitintensiv und fehleranfällig
- N-Punkte-Registrierung sehr gut geeignet, allerdings Ergebnisse stark abhängig vom Anwender

Nicht jede Methode für alle Anwendungen geeignet, Verknüpfungsmethode schon im Messkonzept berücksichtigen!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

[JADE-HS.DE](https://jade-hs.de)

AGISOFT LLC (2024): Agisoft Metashape User Manual. <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/> (Abgerufen am 27.01.2024).

DJI (2024): Technische Daten - Phantom 4 RTK - DJI Enterprise. <https://enterprise.dji.com/de/phantom-4-rtk/specs> (Abgerufen am 27.01.2024).

LEICA GEOSYSTEMS AG (2024a): Leica RTC360 3D-Laserscanner. <https://leica-geosystems.com/de-DE/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360> (Abgerufen am 27.01.2024).

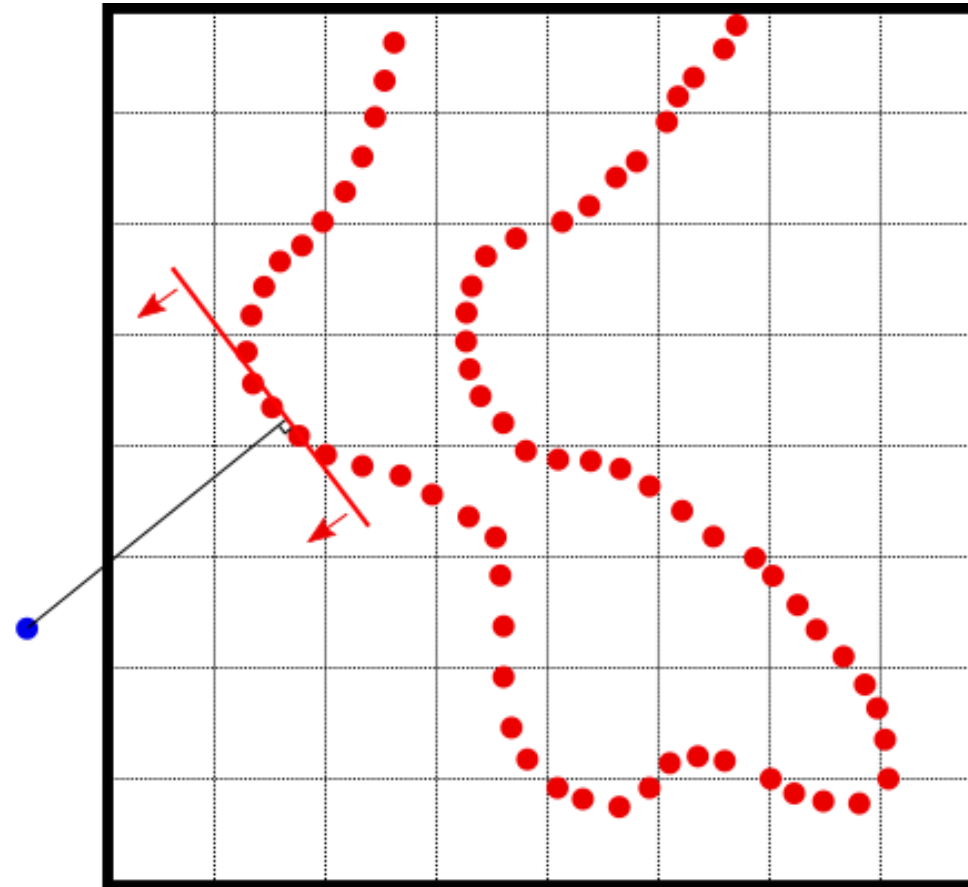
LEICA GEOSYSTEMS AG (2024b): Cyclone REGISTER 360 - documentation. <https://rcdocs.leica-geosystems.com/cyclone-register-360/latest/?l=en> (Abgerufen am 27.01.2024).

LEICA GEOSYSTEMS AG (2024c): Cyclone 3DR – Help Center. <https://cyclone3dr.leica-geosystems.com/help/2022.1/HelpCenter.html> (Abgerufen am 27.01.2024).

TIM-ONLINE (2024): Tim-online. <https://www.tim-online.nrw.de/tim-online2/> (Abgerufen am 27.01.2024).

CLOUD-VS-CLOUD-VERGLEICH /CLOUD-VS-POINT-VERGLEICH

- Reference point cloud
- Point to project
- Projection
- Best plane



Quelle: LEICA GEOSYSTEMS AG 2024c: o.S.

- lokale Ebene auf Punktwolke
- zu vergleichender Punkt wird auf Ebene projiziert
- Abstand ergibt sich aus Abstand des Einzelpunktes zum Lotfußpunkt des Einzelpunktes auf der Ebene



Quelle: eigene

DJI Phantom 4 RTK

- 1,4 kg Gewicht
- Entspricht der offenen Kategorie
 - Unterkategorie A3
 - EU-Kompetenznachweis („kleiner Drohnenführerschein A1/A3“) nötig
- Maximal 30 min Flugzeit
- 20 Megapixel Kamera
- Gimbal zur Stabilisierung der Kamera
 - Kamera kippbar von -90° bis $+30^{\circ}$



Quelle: eigene

DJI Phantom 4 RTK

- Bilder werden im JPEG-Format gespeichert
- Fernbedienung mit integrierter Flugplanungssoftware
- GNSS-Empfänger (RTK)
 - Höhengenaugigkeit 1,5 cm
 - Lagegenauigkeit 1 cm



Quelle: LEICA GEOSYSTEMS AG 2024a: o.S.

Leica RTC 360

- 5,3 kg Gewicht
- Messdauer von 4h (zwei Akkus)
- Messbereich: 360° horizontal, 300° vertikal
- Reichweite bis 130m
- Auflösung von 3, 6 oder 9 mm auf 10 m
- 3D-Punktgenauigkeit bei 2,9 mm auf 20 m
- 3 Kameras mit 36 Megapixel
- Bedienung über die Cyclone FIELD 360 auf einem Tablet