

Qualitätssicherung in kombinierten statischen und kinematischen Laserscannerdaten für die Baudokumentation

Frank Gielsdorf¹, Benjamin Rabisch², Daniel Wujanz¹, Eric Bergholz², Christian Clemen³

¹ technet GmbH; ² Laserscanning Europe GmbH; ³ HTW Dresden

Vergleich der Verfahren

Statisch

Ortsfest



zofre.de

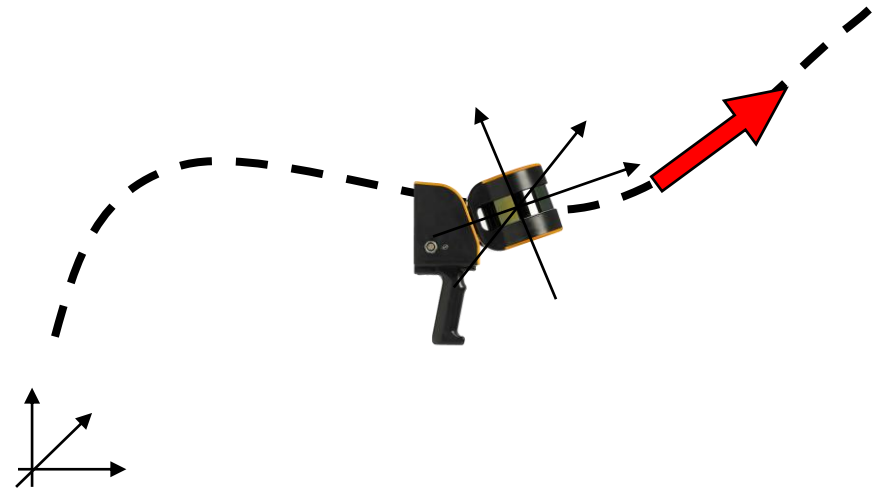
Beobachtungen

Kugelkoordinaten im Scannersystem

φ, ζ, d (x, y, z)

Kinematisch

Bewegt → Trajektorie



geoslam.com

Beobachtungen

Zylinderkoordinaten entlang einer Trajektorie

Trajektorie: $t, x, y, z, q_0, q_x, q_y, q_z$

Objektpunkt: t, ϕ, d (x, y, z)

Vergleich der Verfahren

	Statisch	Kinematisch
Vorteile	hochgenau keine Drift	schnell
Nachteile	weniger schnell	weniger genau Drift intransparent



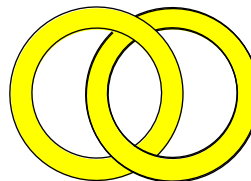
W. Busch

So genau wie nötig ...

... so wirtschaftlich wie möglich.



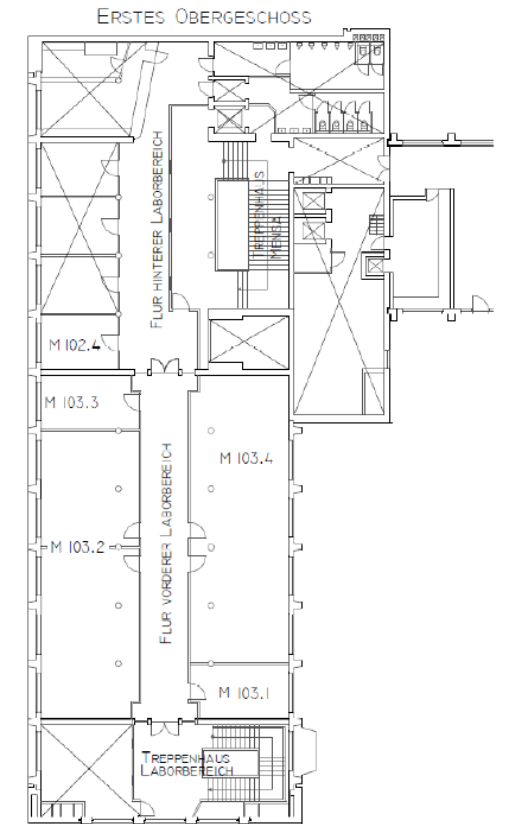
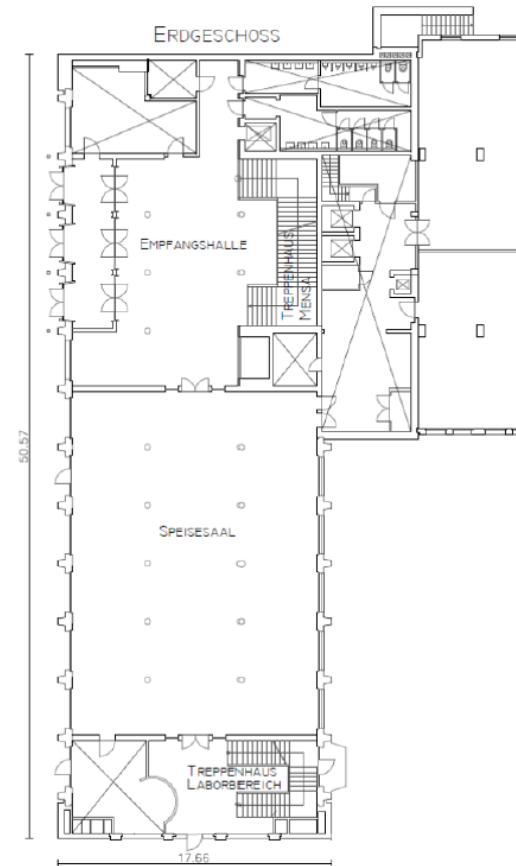
Statisch



Kinematisch

Das Messobjekt

Mensa Reichenbachstraße in Dresden



Die Sensoren



GeoSLAM ZEB Horizon

shop.laserscanning-europe.com



Faro Focus S150

industry-plaza.de

Problem Drift

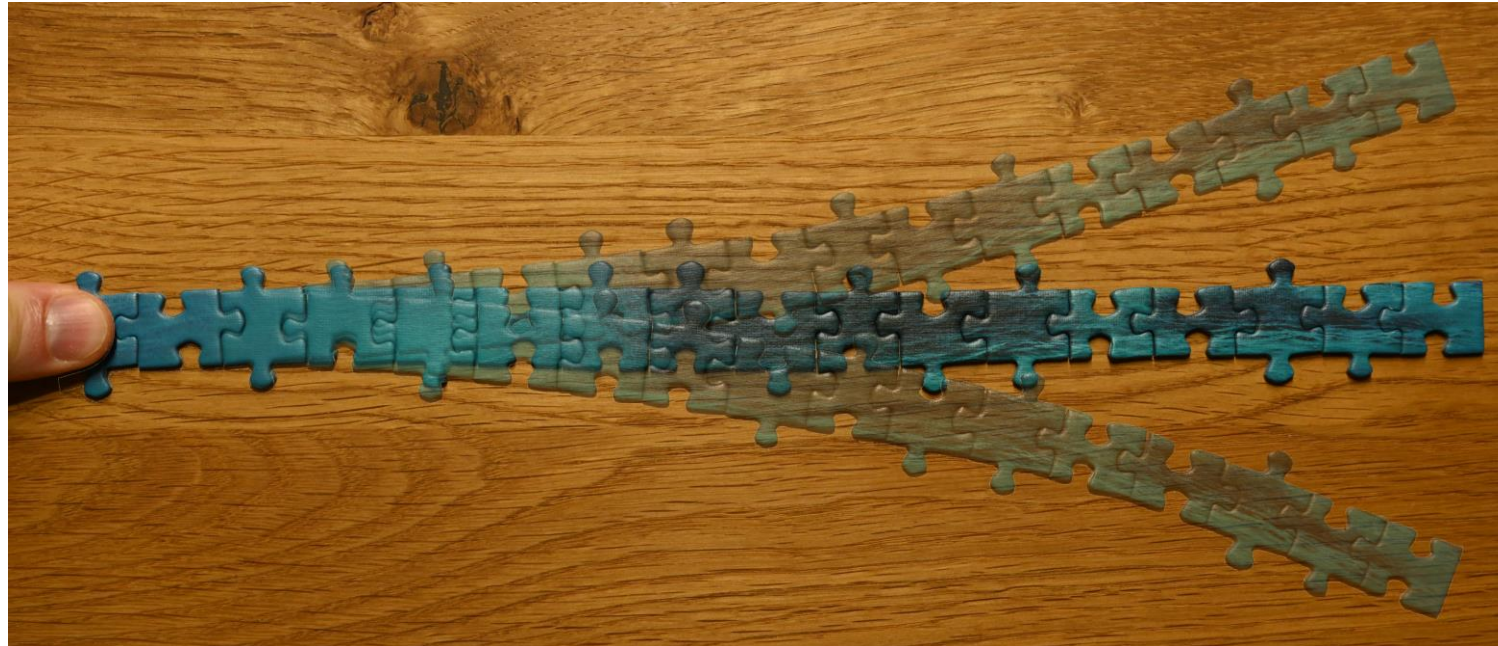
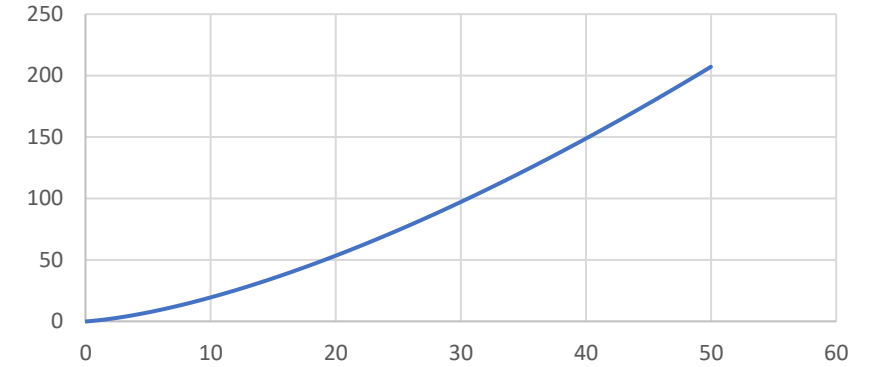
„Verfahren der kleinen Schritte“

$$\Delta y_i = \sin \varphi_i \cdot \Delta s_i$$

$$y_i = \sum_{i=1}^n \Delta y_i$$



$$\sigma_{y_i} \sim \sqrt{\frac{1}{6} n(2n+1)(n+1)}$$

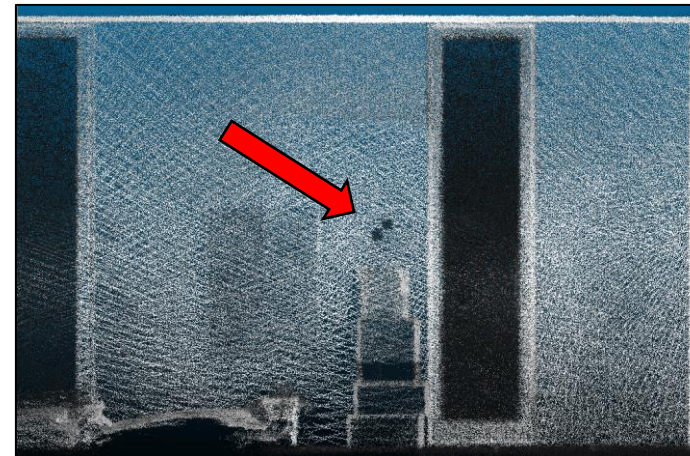


Lösung des Drift-Problems

Nutzung der inneren Redundanz

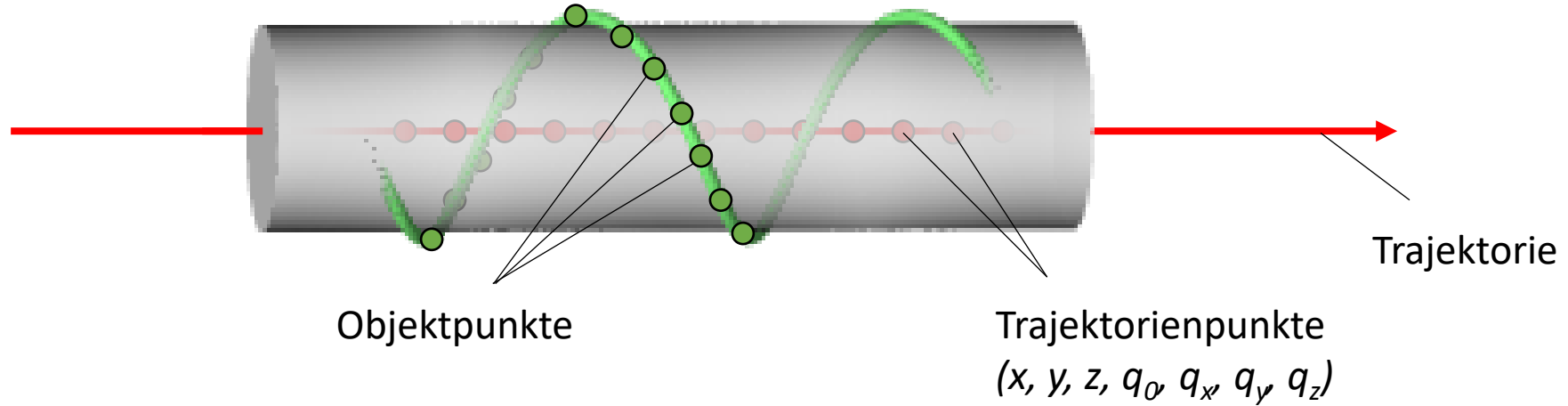


Nutzung von Targets



Kinematisch → Semi-Statisch

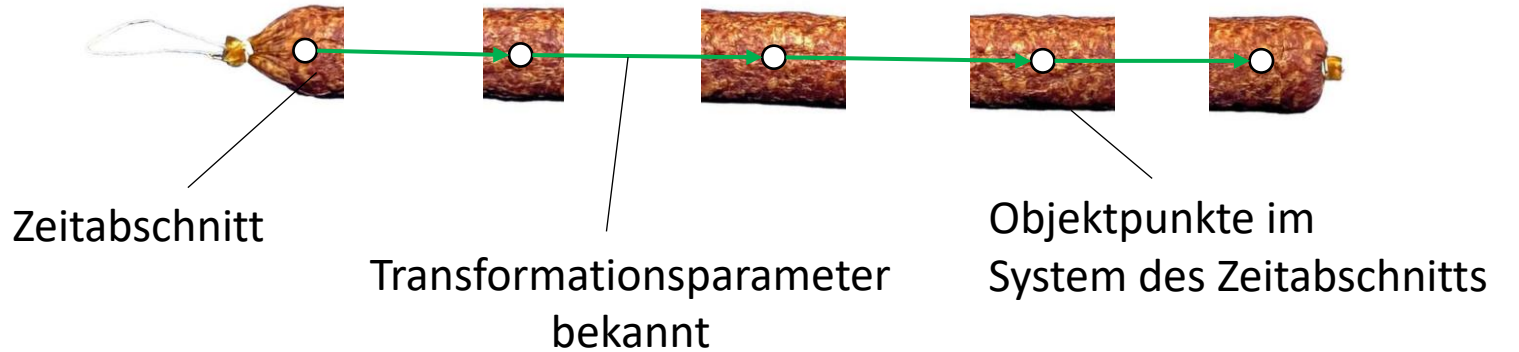
„Koordinatenwurst“



Kinematisch



Semi-Statisch



Kinematisch → Semi-Statisch

Trajektorie und Punktwolke konvertieren

Trajektorie
C:\Projekte\Scantra\HTW-Mensa\2021-06-09_08-45-39\results_traj.txt

Datei Lesen Clear Unterteilen

Punkte: 159247 maximale Richtungsänderung: 45 °
maximale Zeit: 20 Sekunden
Abschnitte: 231

Punktwolke
C:\Projekte\Scantra\HTW-Mensa\2021-06-09_08-45-39\results.las

Datei Lesen Clear

Punkte: 234682193

E57-Datei
C:\Projekte\Scantra\HTW-Mensa\2021-06-09_08-45-39\Result1.E57

Datei Schreiben Clear

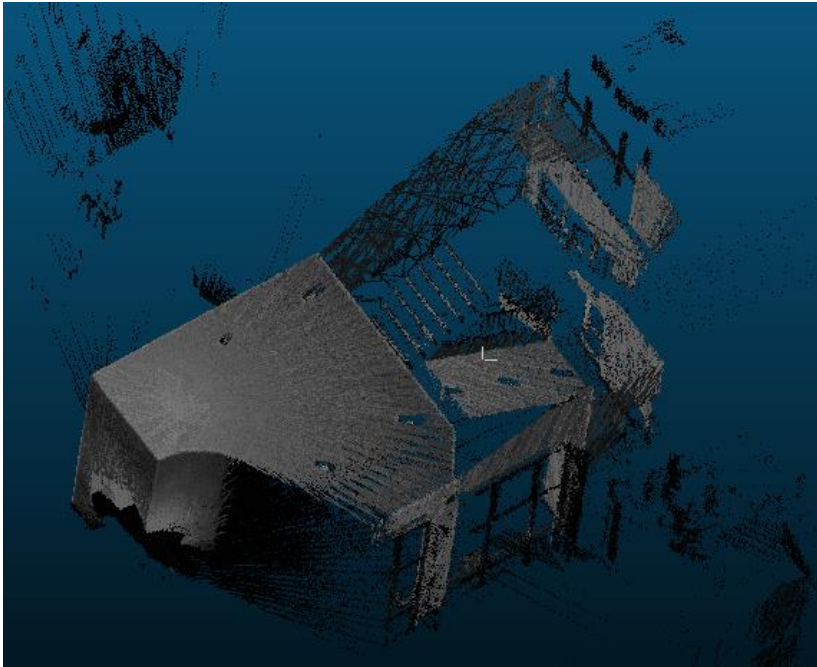
Clear all Schließen



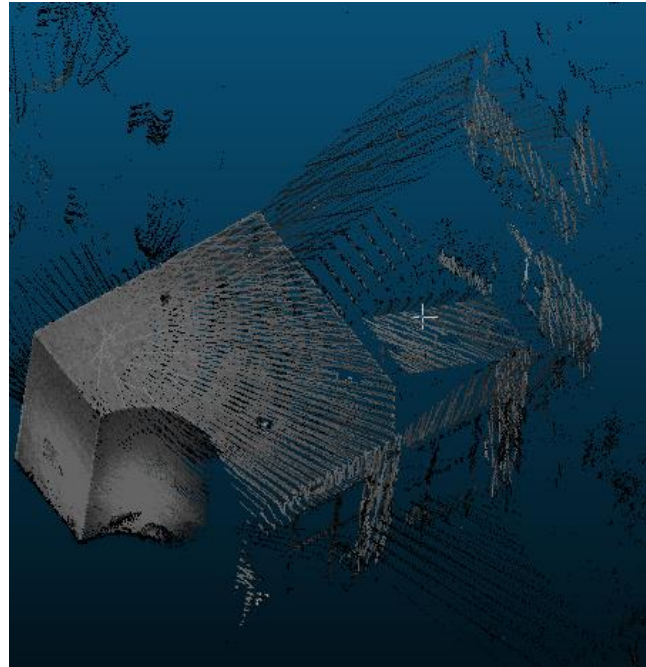
Result.E57 (C:/Projekte/Scantra/HTW-Mens...

- File structure
 - No name [STRUCTURE]
 - formatName [STRING: ASTM E57 3D Im...
 - guid [STRING: {b81dfbc-aceb-4f0f-a07...
 - versionMajor [INTEGER: 1]
 - versionMinor [INTEGER: 0]
 - data3D [VECTOR]
 - 0 [STRUCTURE]
 - 1 [STRUCTURE]
 - guid [STRING: {31dd9d51-7d06-...
 - name [STRING: Result@1]
 - pose [STRUCTURE]
 - rotation [STRUCTURE]
 - w [FLOAT: 0.168117]
 - x [FLOAT: 0.414678]
 - y [FLOAT: -0.0204001]
 - z [FLOAT: 0.894071]
 - translation [STRUCTURE]
 - x [FLOAT: -1.60277]
 - y [FLOAT: 0.411487]
 - z [FLOAT: 1.29458]
 - colorLimits [STRUCTURE]
 - points [COMPRESSED VECTOR (...]
 - 2 [STRUCTURE]
 - 3 [STRUCTURE]
 - 4 [STRUCTURE]

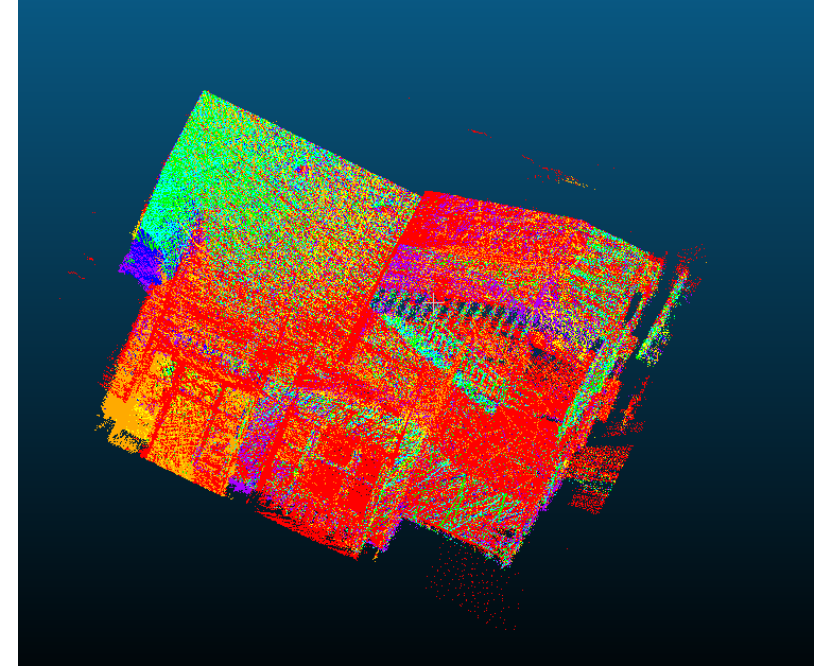
Semi-Statistische Scans



Result@0



Result@1



Result@0 ... Result@5

Scan-Sequenz in Scantra

Scantra 3 Pro - C:\Projekte\Scantra\HTW-Mensa\2021-06-09_08-45-39\Test_Vernetzung.scdb

Start Netzwerk-Design Blockausgleichung Export

Projekt Import Pre-Processing

Projektbaum

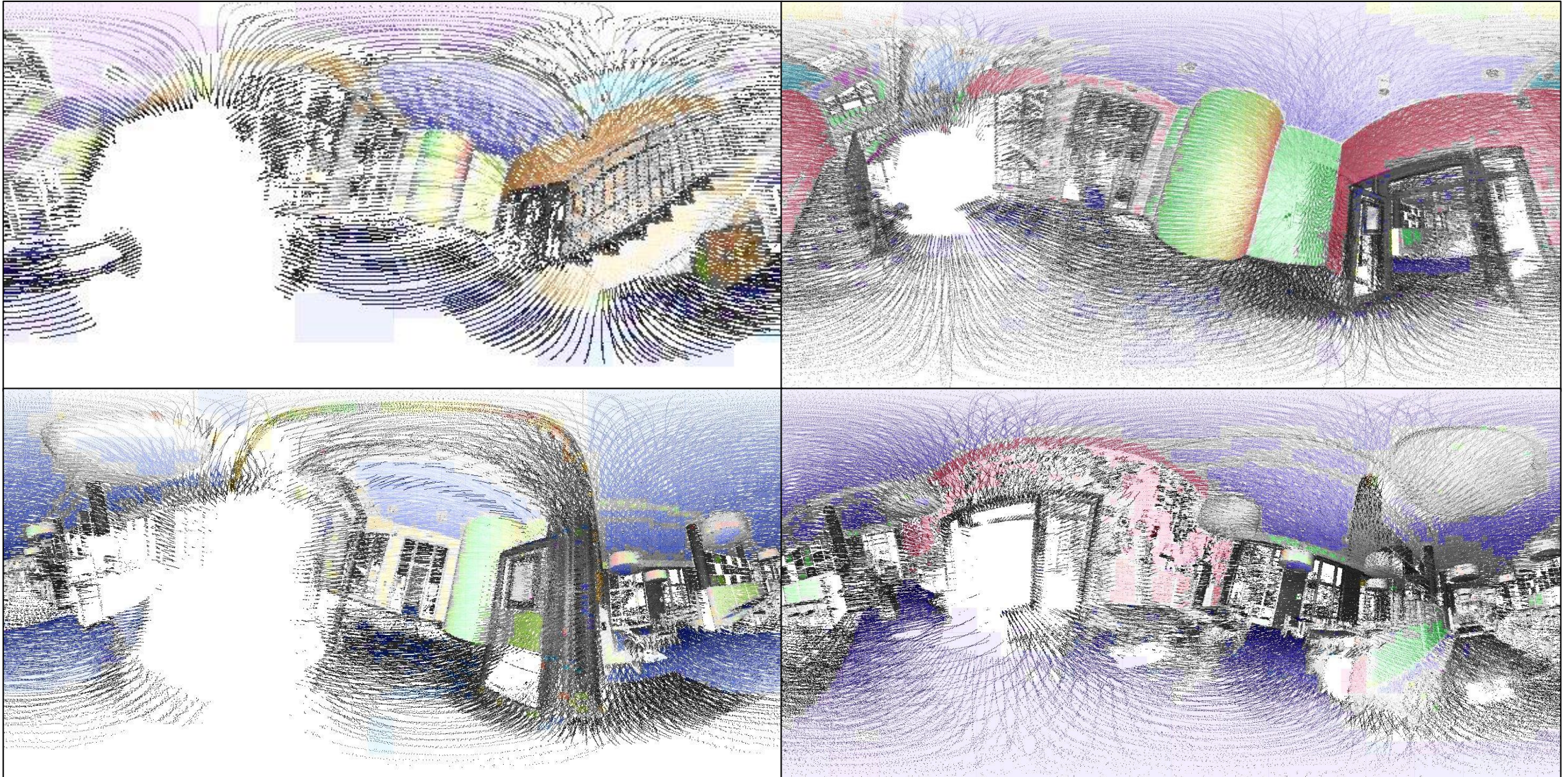
- Gruppe1
 - Result@0
 - Result@1
 - Result@2
 - Result@3
 - Result@4
 - Result@5
 - Result@6
 - Result@7
 - Result@8
 - Result@9
 - Result@10
 - Result@11
 - Result@12
 - Result@13
 - Result@14
 - Result@15
 - Result@16
 - Result@17
 - Result@18
 - Result@19
 - Result@20
 - Result@21
 - Result@22
 - Result@23
 - Result@24
 - Result@25
 - Result@26
 - Result@27
 - Result@28
 - Result@29

Grafik

Lokale Registrierung

Status	Trajektorie	
von Station	Result@102	Gruppe 1
nach Station	Result@103	Gruppe 1
tx	-2.786 m	Ebenentitäten 0
ty	1.704 m	Punktentitäten 0
tz	1.068 m	
fi	335.9764 gon	
sigma t	0.0400 m	
sigma fi	1.8385 m / 100m	

Ebenen-Detektion



Vernetzung → paarweise Transformationen

Aufgabe:

Suche alle identischen Ebenen innerhalb der Scan-Sequenz

gegeben:

231 Stationen

155.594 Ebenen

→ 12.104.668.621 Vergleichsoperationen

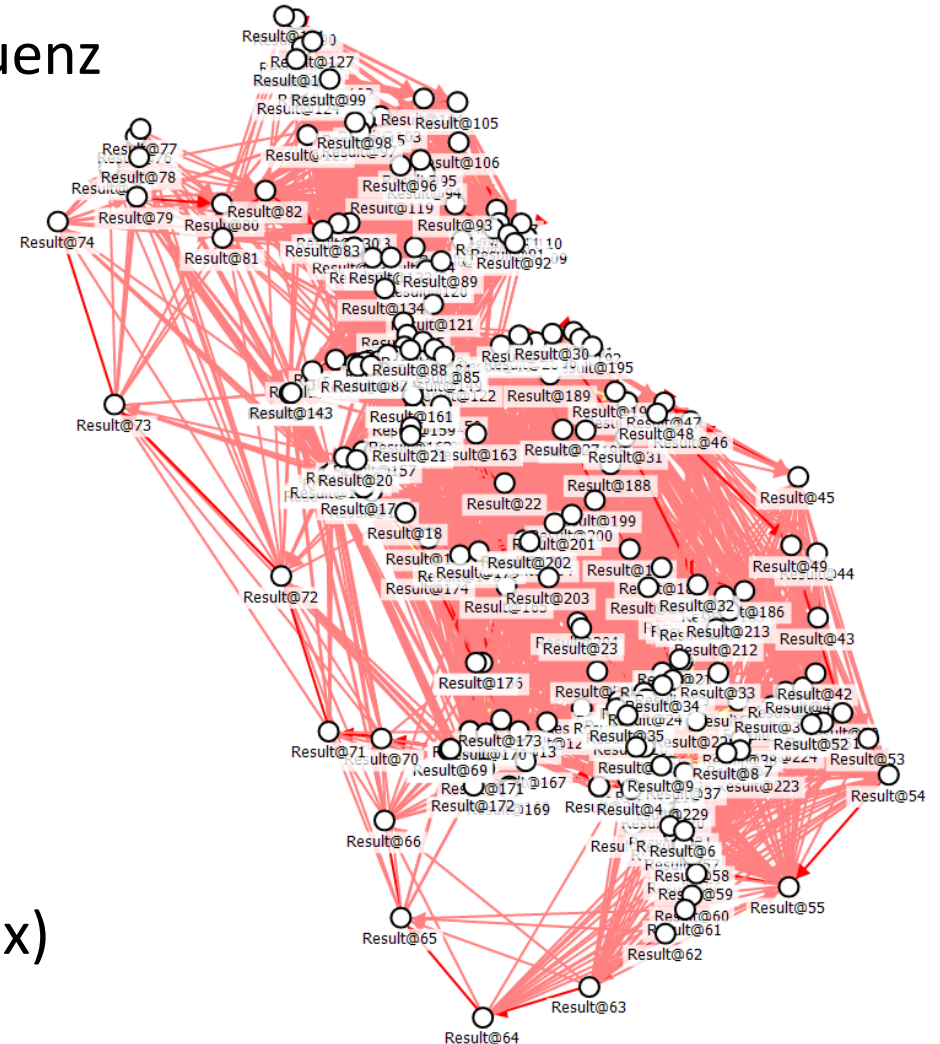
Lösung:

6D Suchbaum mit $2^D = 64$ Quadranten

Ergebnis:

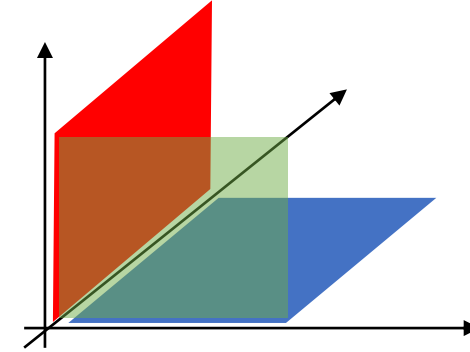
4.840 paarweise Transformationen (mit Kovarianzmatrix)

in 5 Minuten



Vernetzung → paarweise Transformationen

Für die Berechnung paarweiser Transformationsparameter benötige ich mindestens drei paarweise nicht komplanare identische Ebenen (räumliche Ecke).

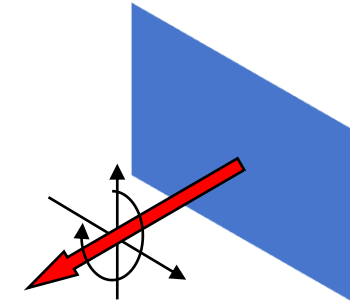


Frage:

Was mache ich, wenn ich nur Ebenen in einer oder zwei Richtungen habe?

Antwort:

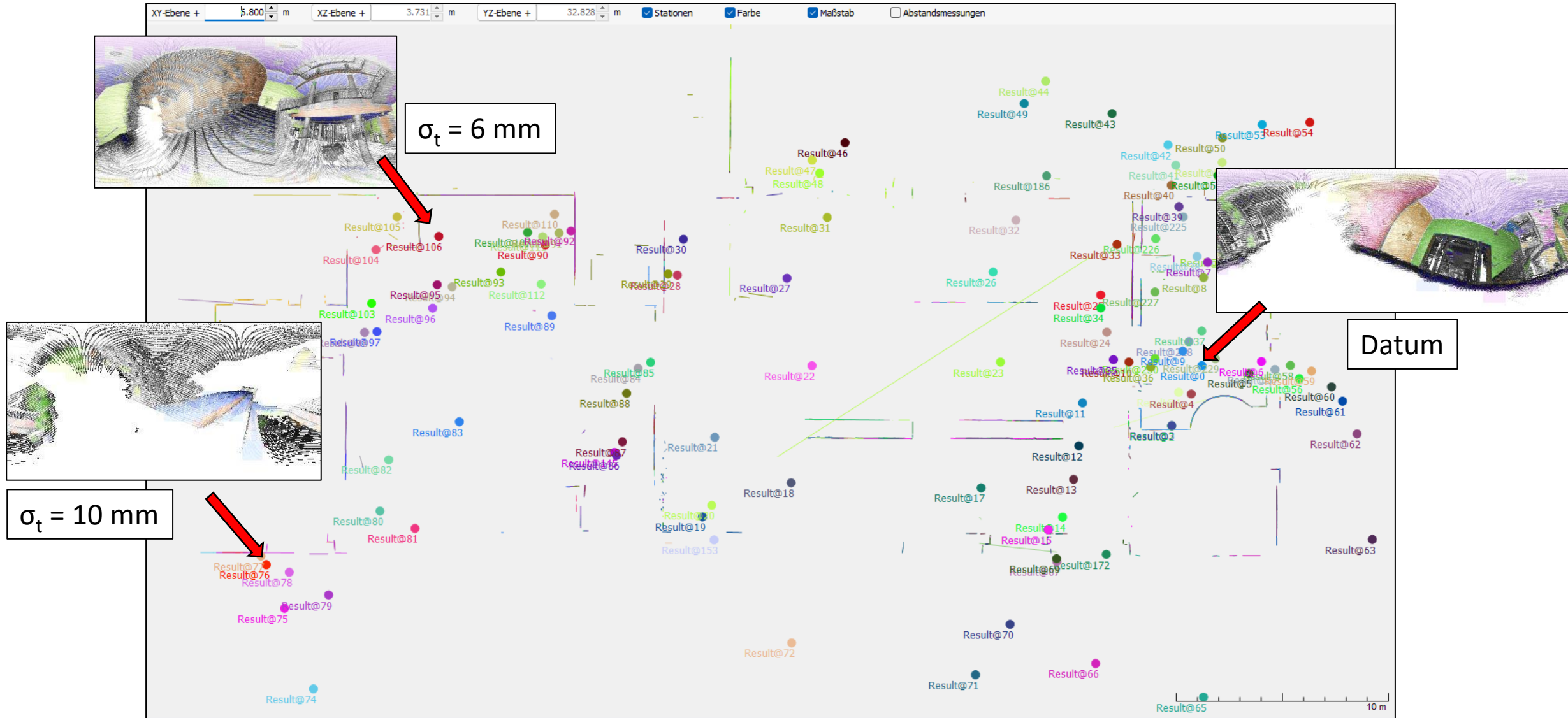
Führe in die paarweise Ausgleichung neben den Identitätsbedingungen (genau) noch beobachtete Transformationsparameter (sehr ungenau) ein.



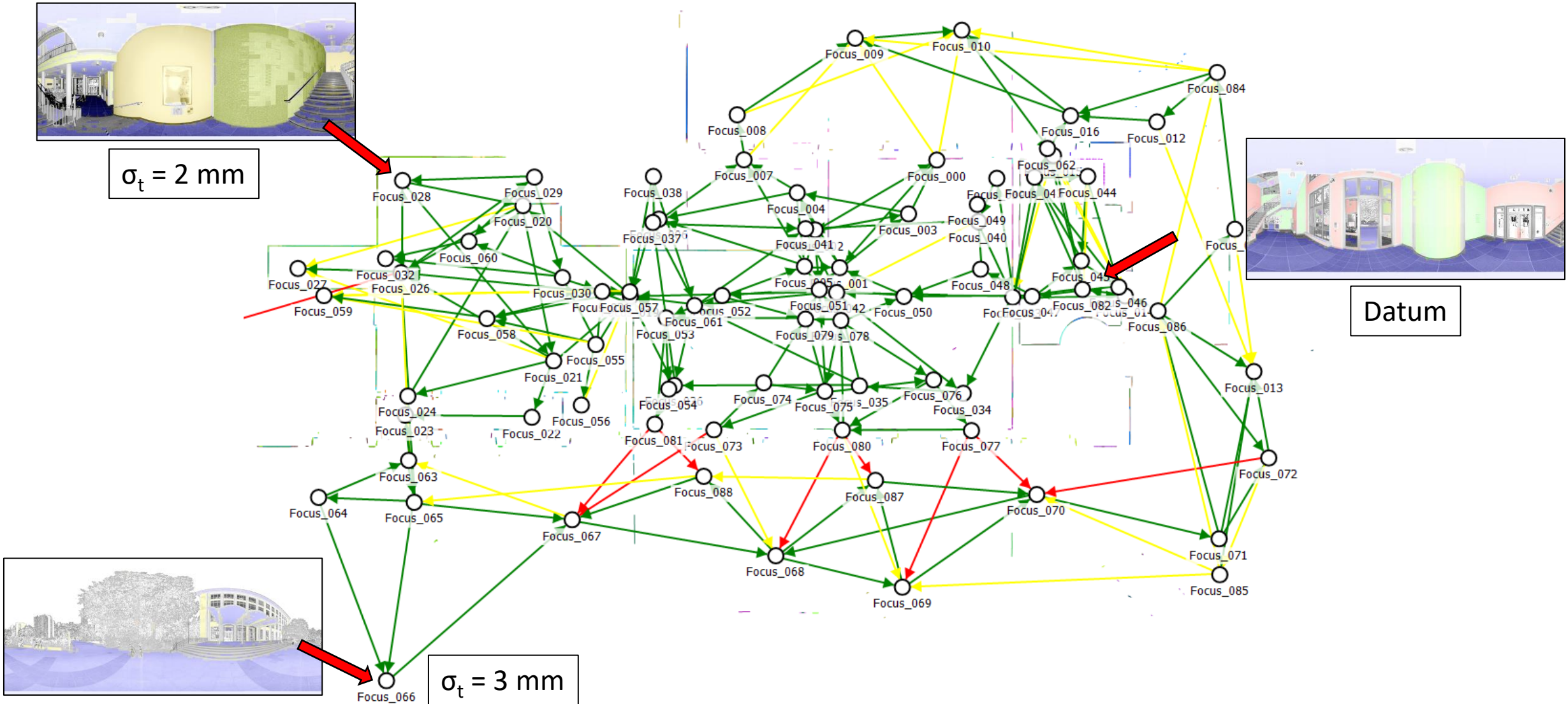
$$n_{x1}, n_{y1}, n_{z1}, d_1, n_{x2}, n_{y2}, n_{z2}, d_2$$

$$q_0, q_x, q_y, q_z, t_x, t_y, t_z$$

Ausgleichsergebnis Kinematisch (lokal)

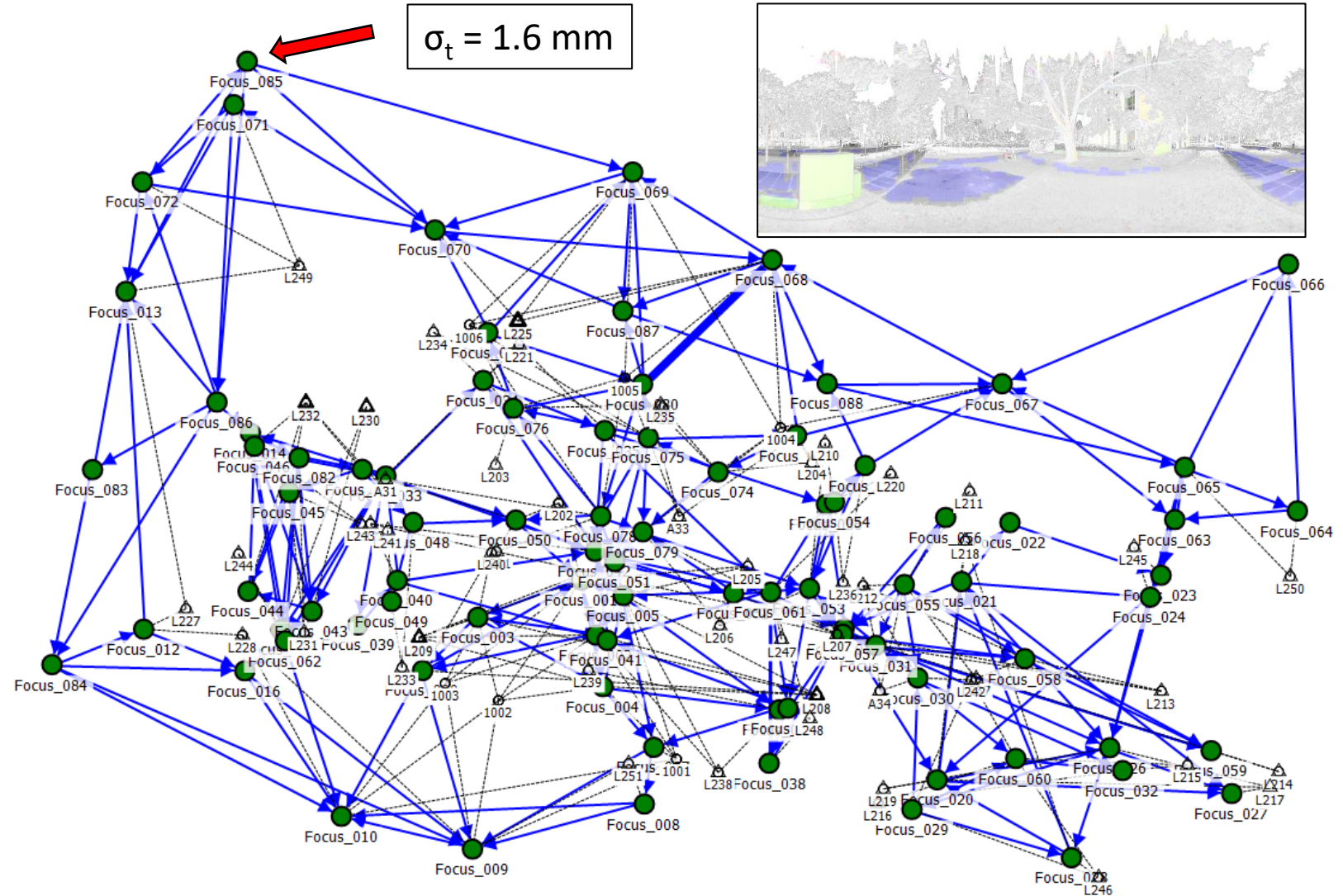


Ausgleichungsergebnis Statistisch (lokal)



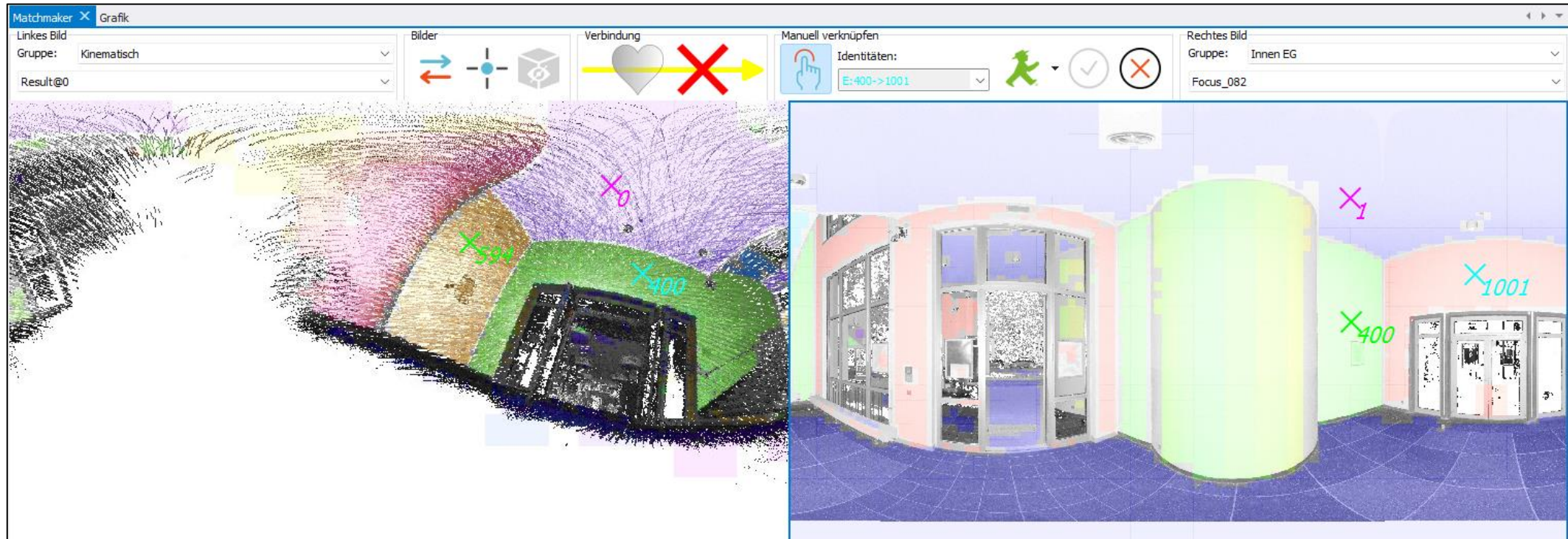
Ausgleichungsergebnis Statistisch (global)

85 Stationen
51 Anschlusspunkte



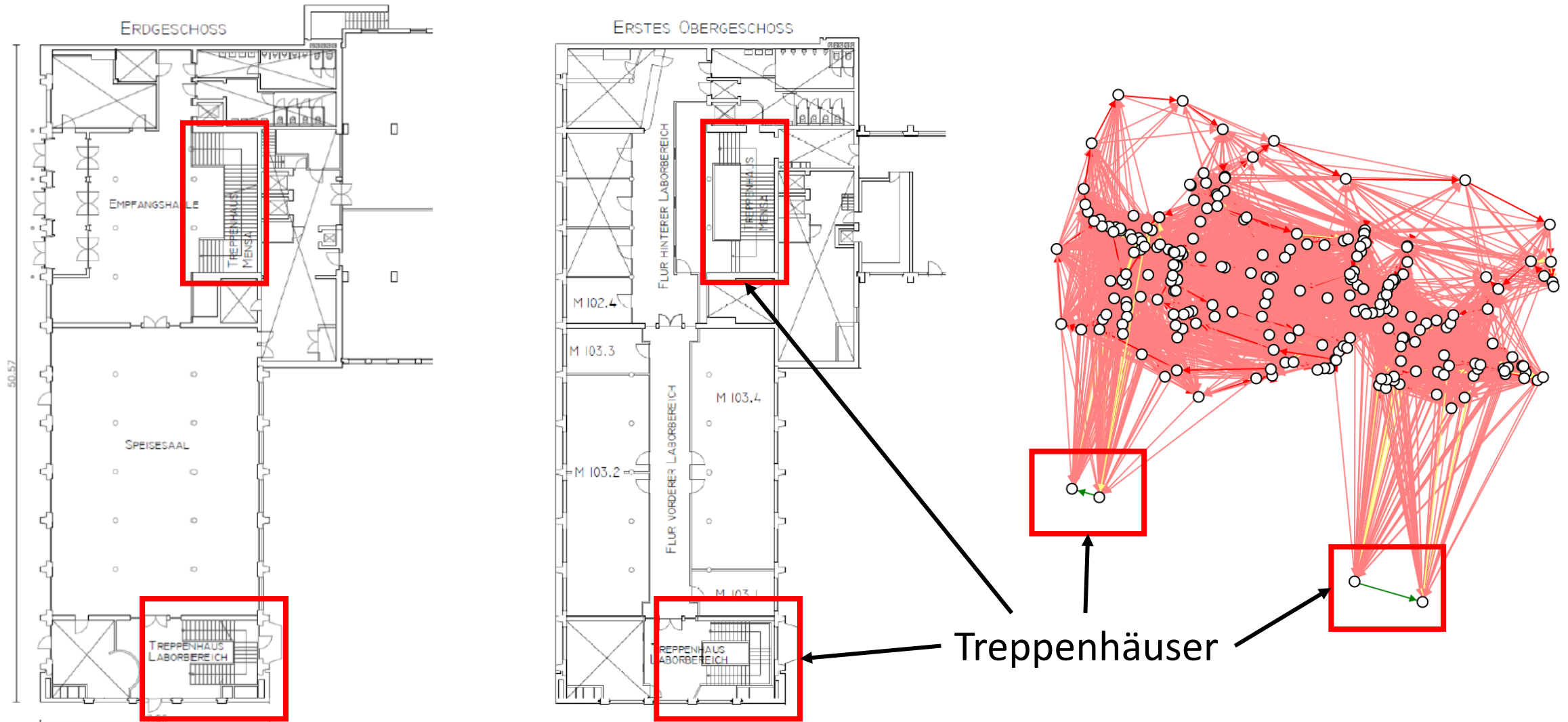
Station	sigma_t
Focus_000	0.0008
Focus_001	0.0006
Focus_002	0.0006
Focus_003	0.0007
Focus_004	0.0007
Focus_005	0.0006
Focus_006	0.0008
Focus_007	0.0008
Focus_008	0.0010
Focus_009	0.0010
Focus_010	0.0010
...	...

Verbindung Semi-Statisch → Statisch



Transformation Result@0 --> Focus_082...
Berechnung der Vor-Transformation...
sigma_t: 0.0203 m
Ebenen-Matching datumsabhängig gestartet...
sigma_t: 0.0015 m
472 Ebenenidentitäten gefunden

Treppenhäuser als feste Referenz



Verbindung Semi-Statisch → Statisch

The screenshot displays the Scantra 3 Pro software interface. The top menu bar includes 'Start', 'Netzwerk-Design', 'Blockausgleichung', and 'Export'. The 'Blockausgleichung' (Block Adjustment) section is active, showing options for 'Transformationen', 'Vertikale Achsen', and 'Lokale Punkte'. The 'Referenzsystem' (Reference System) is set to 'Treppen' (Staircase). The 'Stationen' (Stations) section indicates 235 connected and 4 disconnected stations. The 'Projektbaum' (Project Tree) on the left shows a hierarchy of points, with 'Kinematisch' (Kinematic) selected. The main window displays a network graph with blue nodes and edges, representing the 'Nachbarschaftsgraph (maßstäblich)' (Neighborhood Graph, scaled). A scale bar at the bottom indicates 10 meters. A text box on the right provides position improvement statistics: 'Positionsverbesserung mittel = 9 mm' and 'max = 32 mm'. The bottom status bar shows the completion of a global block adjustment and registration process.

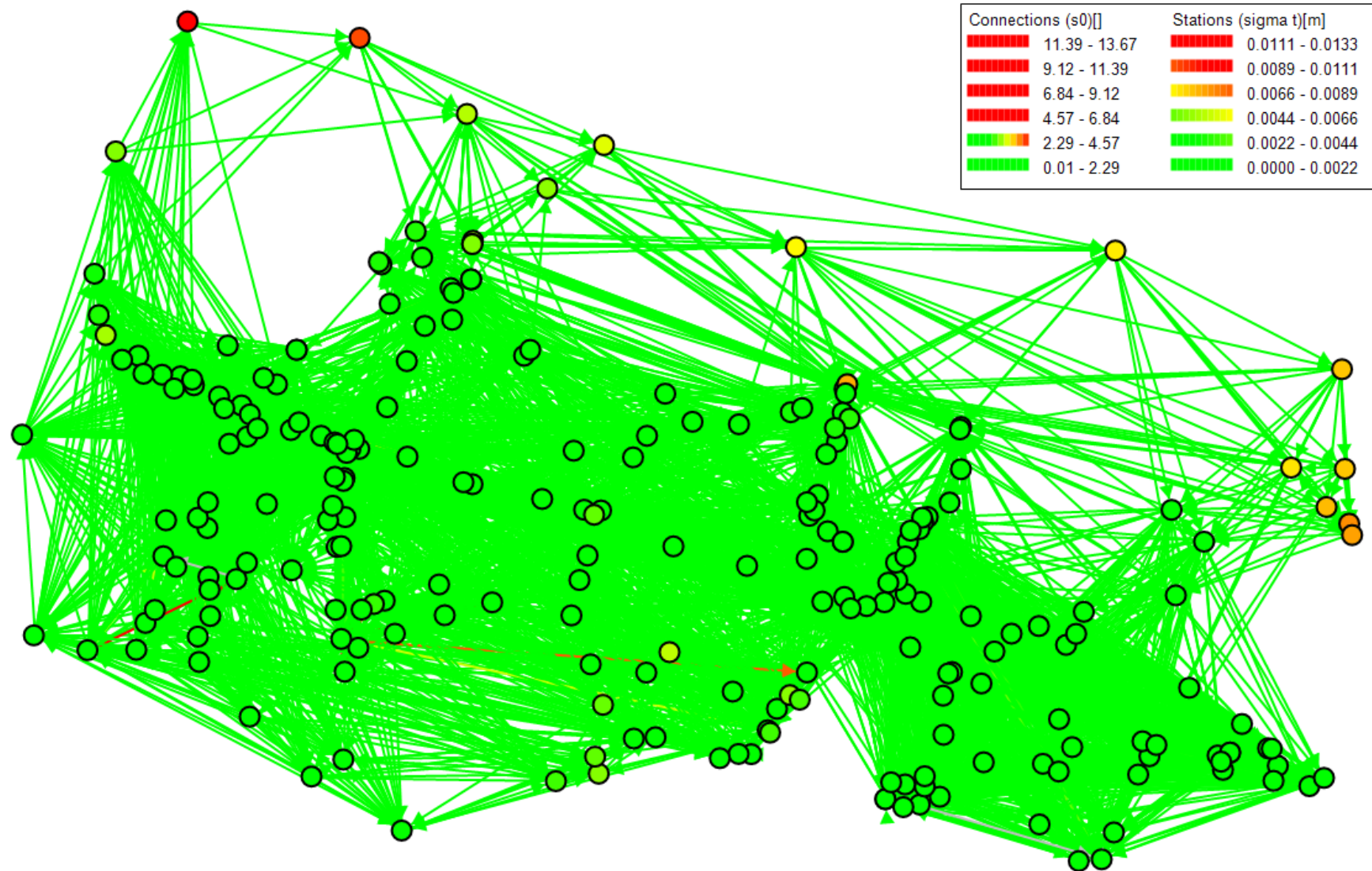
Positionsverbesserung
mittel = 9 mm
max = 32 mm

Nachbarschaftsgraph (maßstäblich)

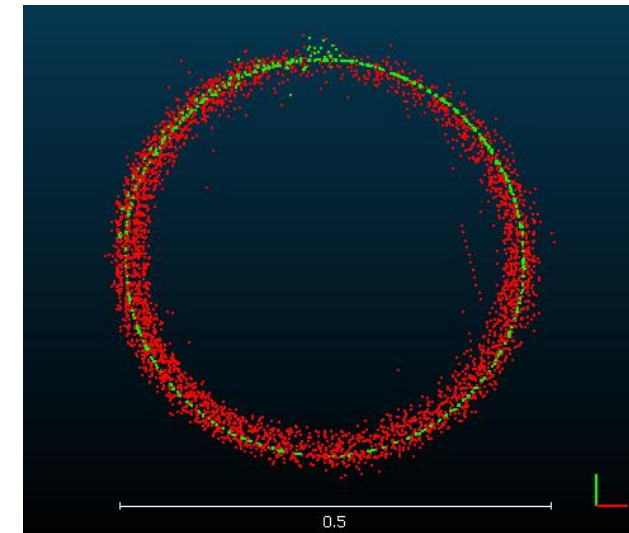
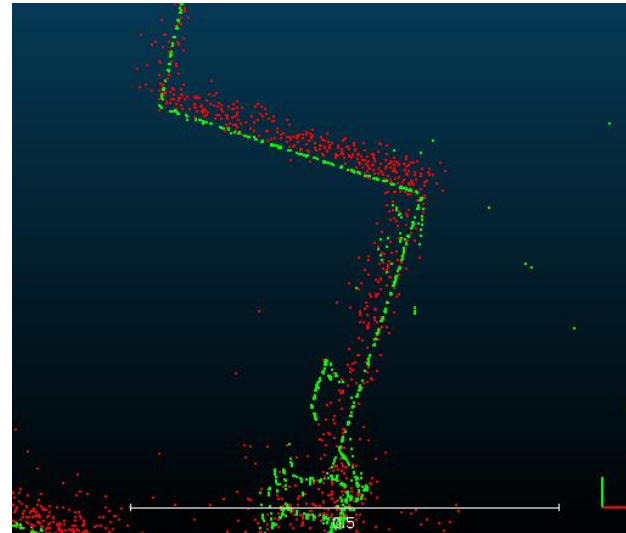
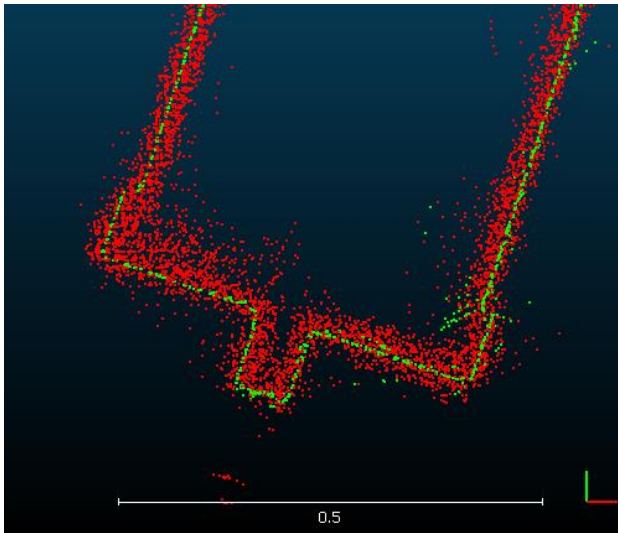
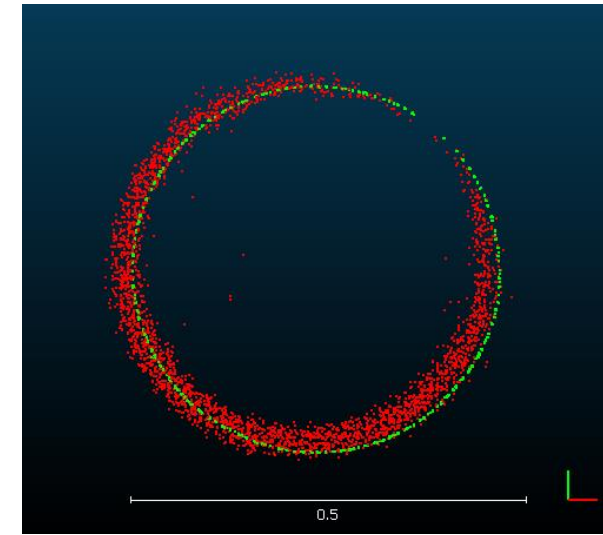
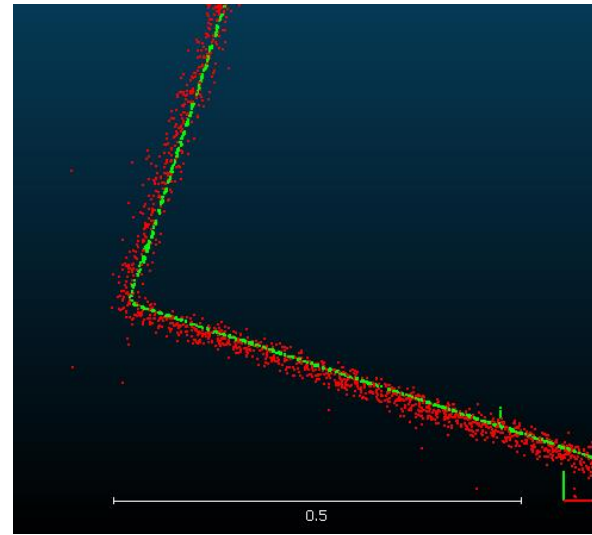
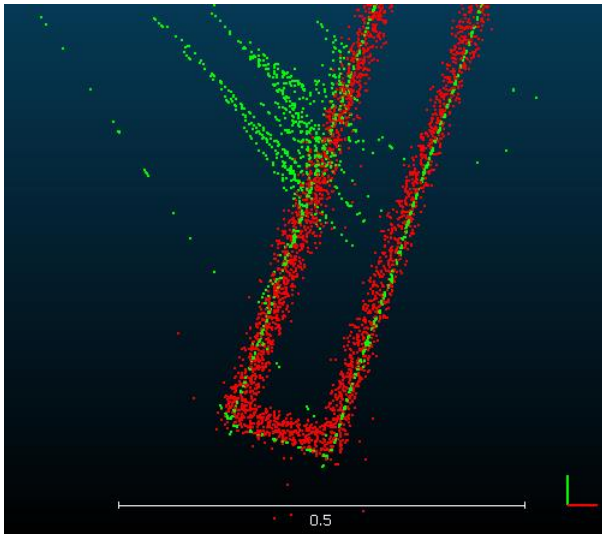
Observation Group	sigma_0	Redundancy	vtPv
total	0.77	29162.0	100
trajectories	0.10	1368.7	5
cross links	0.79	27785.3	95
vertical axes	1.07	8.0	0

Globale Blockausgleichung (Transformationen+Punkte) erfolgreich beendet.
Registrierung abgeschlossen. Dauer: 00:15
08:17:11 Einzelaufgabe beendet.

Ausgleichung Semi-Statistisch \rightarrow Statisch

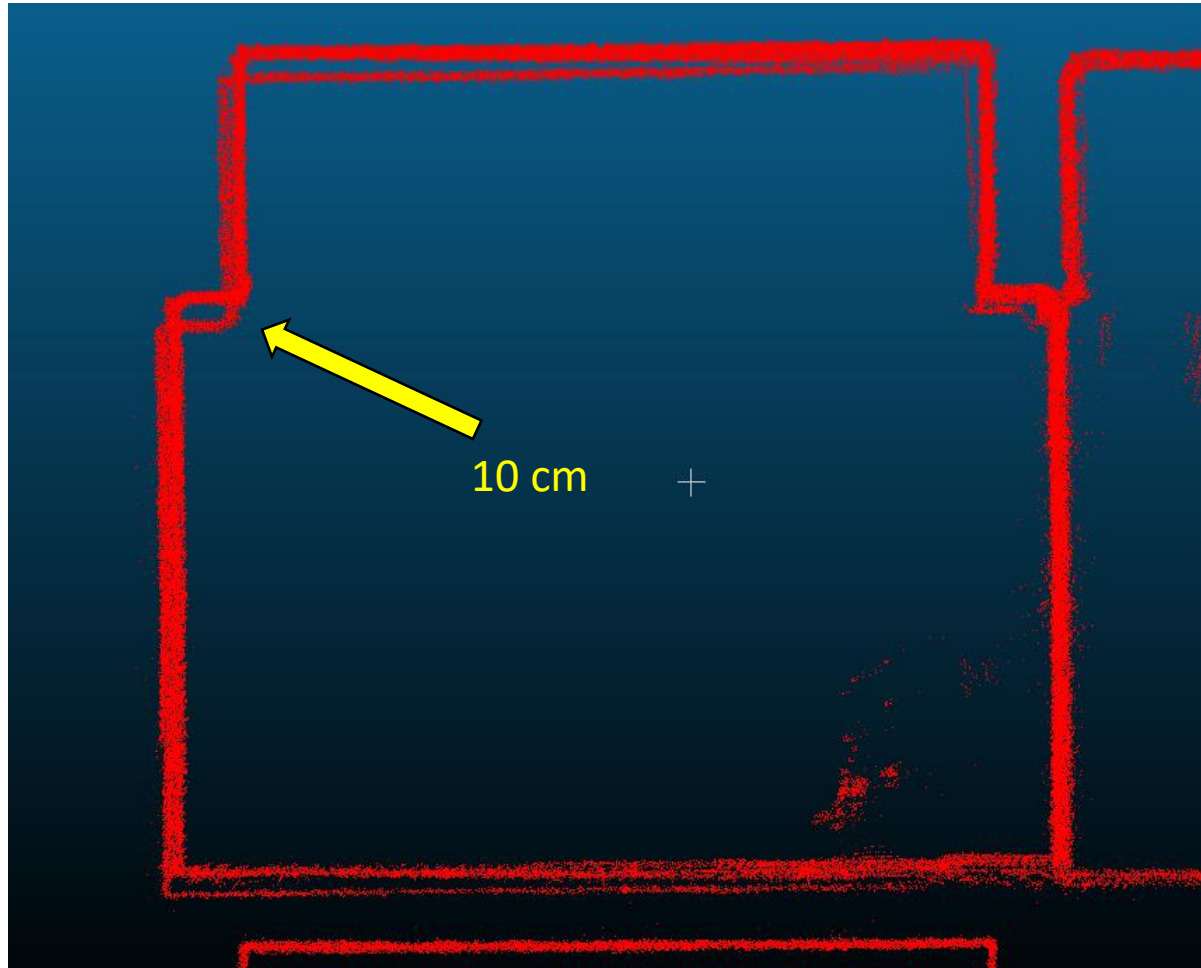


Verbindung Semi-Statistisch \rightarrow Statisch

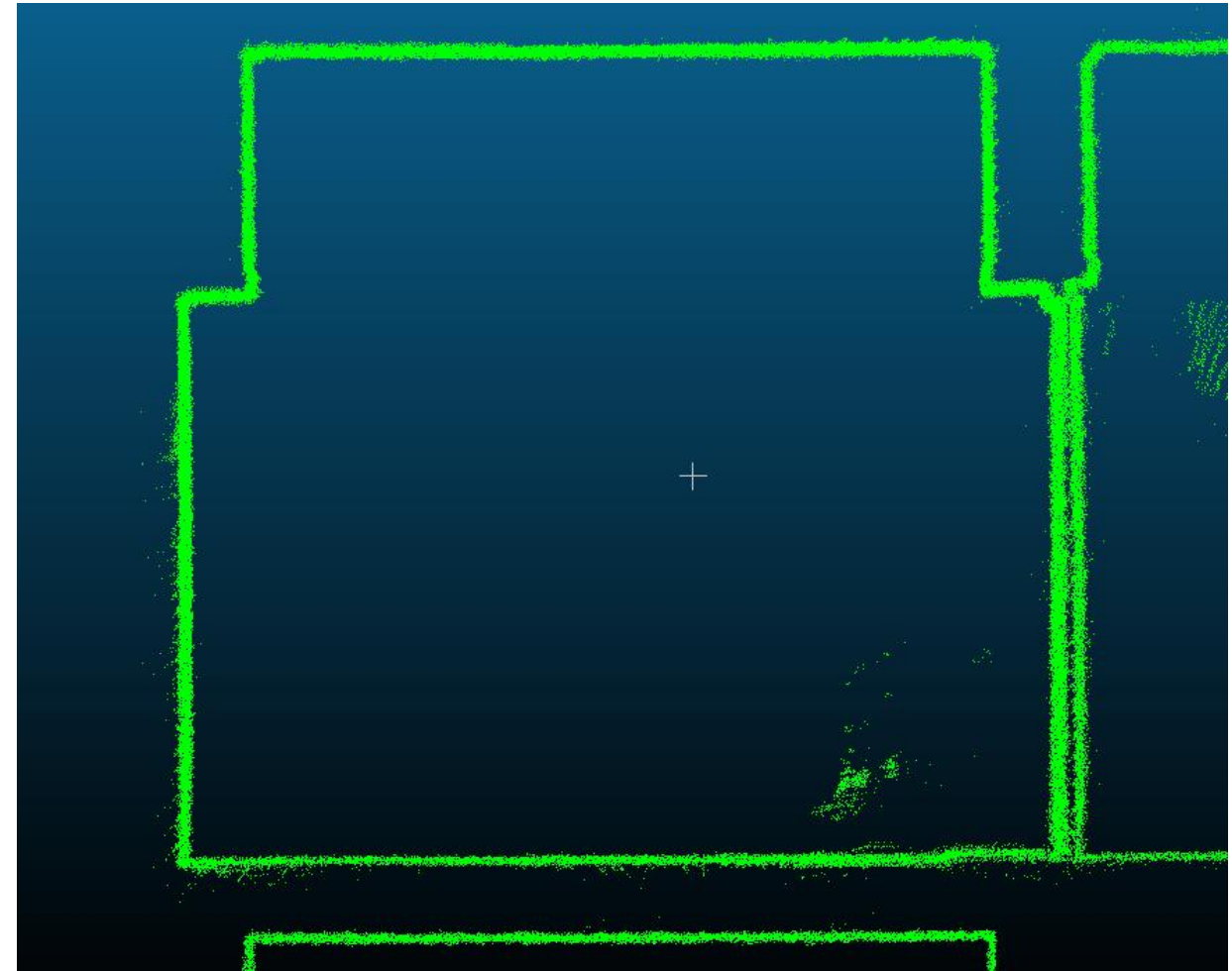


Vernetzung → Korrektur des SLAM-Ergebnisses

Vor Vernetzung



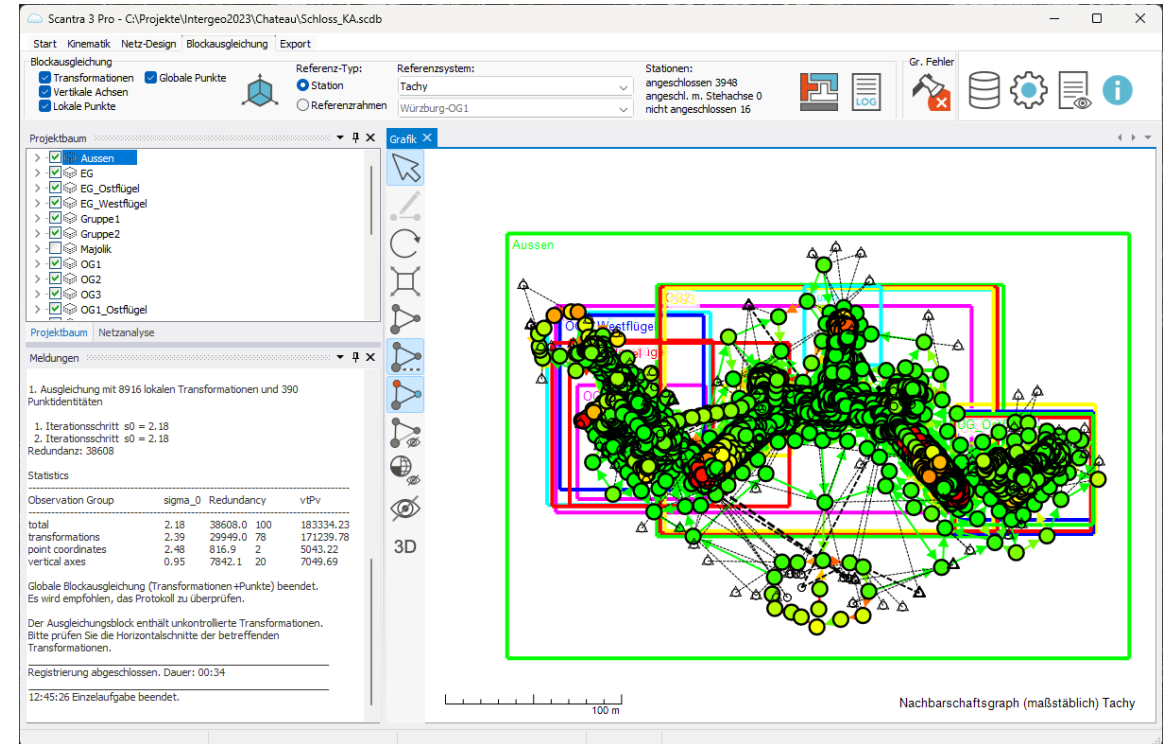
Nach Vernetzung



Qualität - Eine Frage der Quantität?

3948 Stationen
8916 Transformationen
34 Sekunden

Tage	Scans
1	1440
2	2880
3	4320
4	5760
5	7200



- Kinematisch gemessene Punktwolken lassen sich in Sequenzen semi-statischer Scans zerlegen.
- Durch Vernetzung und Ausgleichung von Scan-Sequenzen lassen sich Fehler der kinematischen Vorauswertung korrigieren.
- Die Ausgleichung von Scan-Sequenzen liefert Aussagen zur inneren Genauigkeit.
- Scan-Sequenzen lassen sich problemlos mit statischen Scans verbinden und gemeinsam ausgleichen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

frank.gielsdorf@technet-gmbh.com