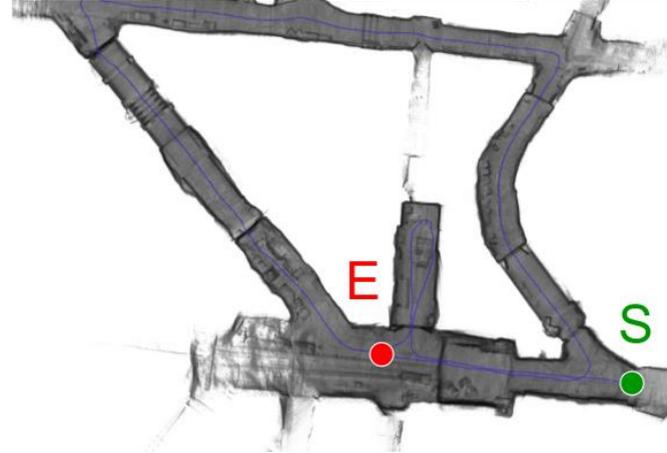
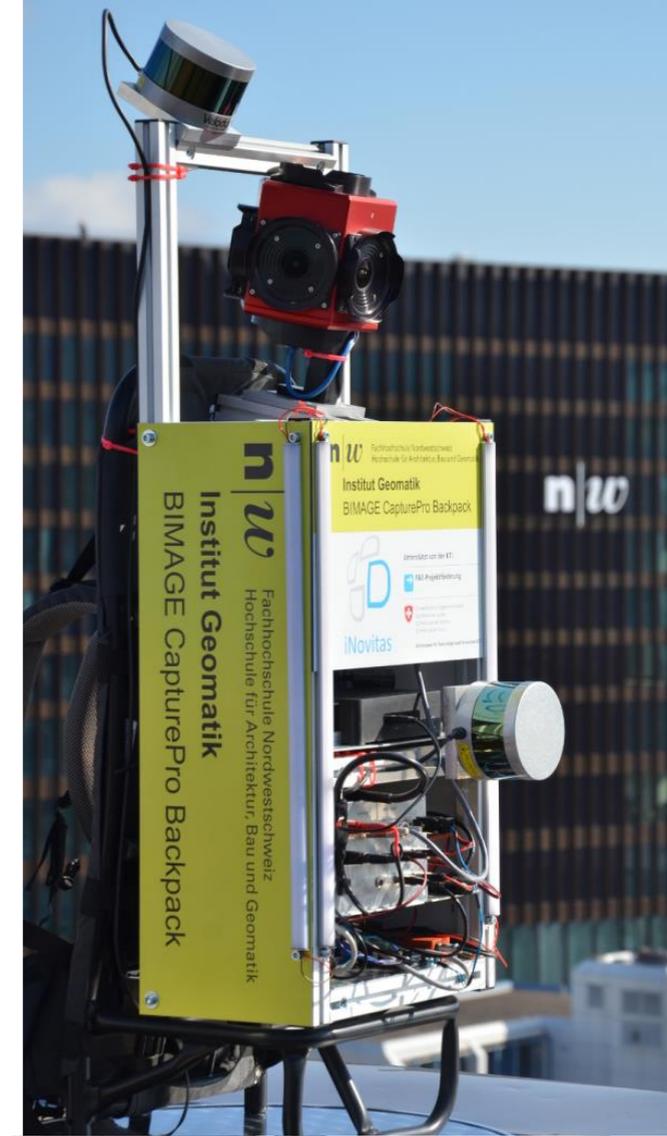


Portables bildbasiertes Mobile Mapping im Untergrund – Untersuchungen zur Tunnelvermessung mit dem BIMAGE Backpack

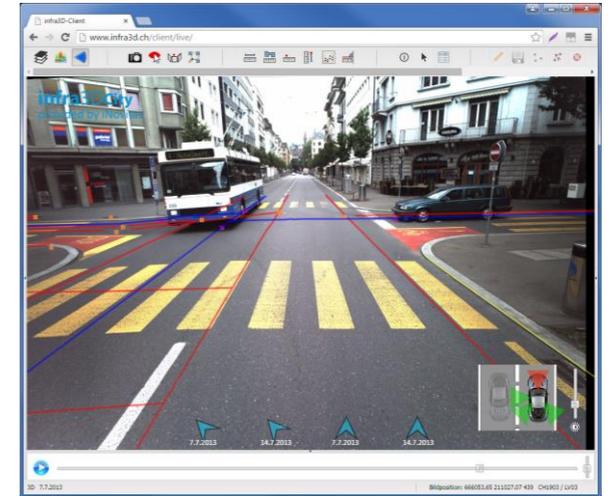
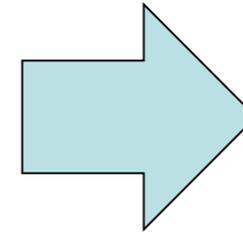
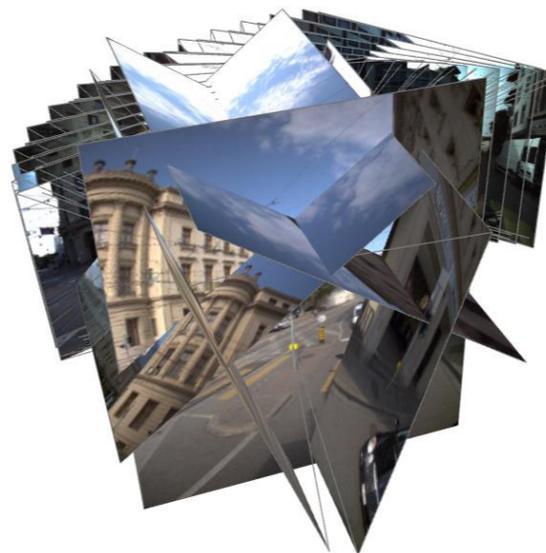
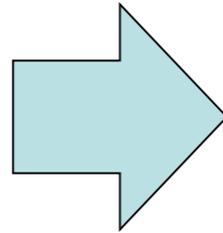
Stefan Blaser, Stephan Nebiker, Dominik Wisler

Institut Geomatik IGEO, FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz,
Muttenz

Internationale Fachtagung zu 3D-Geoinformation, 3DGI 2019
29 August 2019, Muttenz, Schweiz



Motivation – Bildbasiertes 3D-Infrastruktur-Management



Portable / Indoor Mobile Mapping-Systeme



ViMMS Trolley
(Thomson et al., 2013)



Nüchter et al. (2015)



Vexcel Panther



BIMAGE Backpack
(Blaser et al., 2018)

- Blaser, S., Cavegn, S. & Nebiker, S., 2018: Development of a Portable High Performance Mobile Mapping System. *ISPRS Ann. Photogramm. Rem. Sens. Spat. Inf. Sci.*, 4(1), 13-20.
- Lethola, V. V., et al., 2017. Comparison of the Selected State-Of-The-Art 3D Indoor Scanning and Point Cloud Generation Methods. *Remote Sens.* 9(8).
- Nüchter, A., Borrmann, D., Koch, P., Kühn, M. & May, S., 2015. A Man-Portable, Imu-Free Mobile Mapping System. In: *Int. Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, La Grande Motte, France, Vol. II-3/W5, pp. 17-23.
- Thomson, C., Apostolopoulos, G., Backes, D. & Boehn, J., 2013. Mobile Laser Scanning for Indoor Modelling. In: *Int. Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, Antalya, Turkey, Vol. II-5/W2, pp. 289-293.
- Vexcel, 2018. UltraCam Panther. <http://www.vexcel-imaging.com/ultracam-panther/> (10 May 2019).

BIMAGE Backpack, Systemaufbau

Navigationssensorik

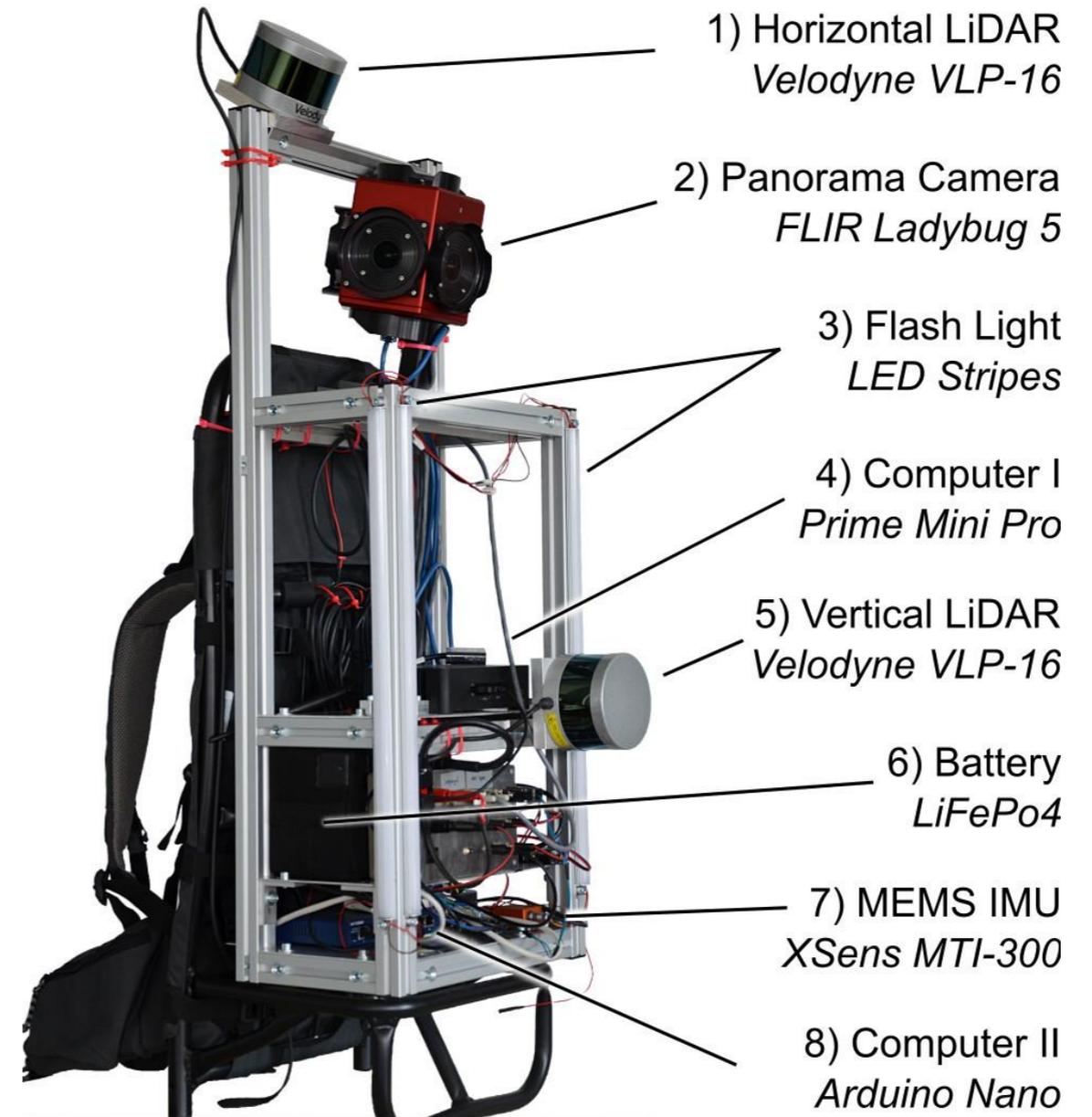
- LiDAR
- IMU

Umgebungssensorik

- Panoramakamera
- (LiDAR)

Unterstützende Komponenten

- Computer für die Datenspeicherung
- Computer für die Sensorsynchronisation
- Blitzlichter
- Batterie



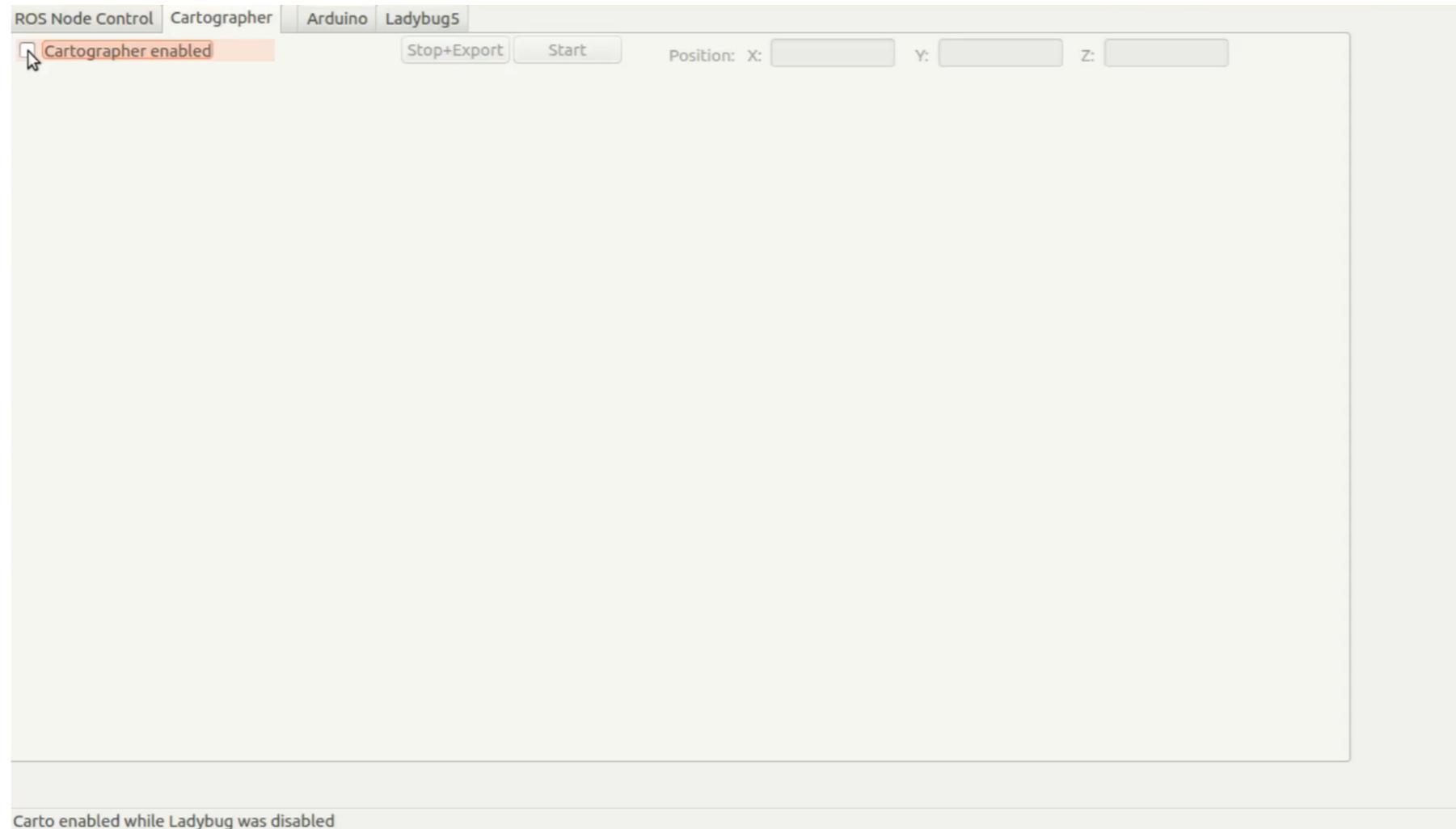
BIMAGE Backpack, Datenerfassung

Synchrone Sensoren
(PPS & NMEA)

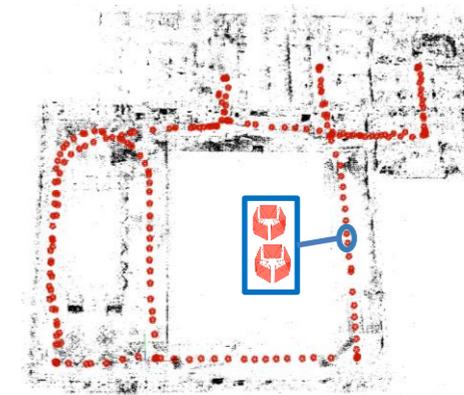
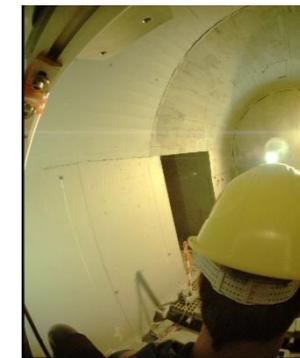
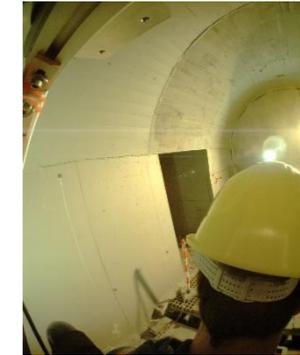
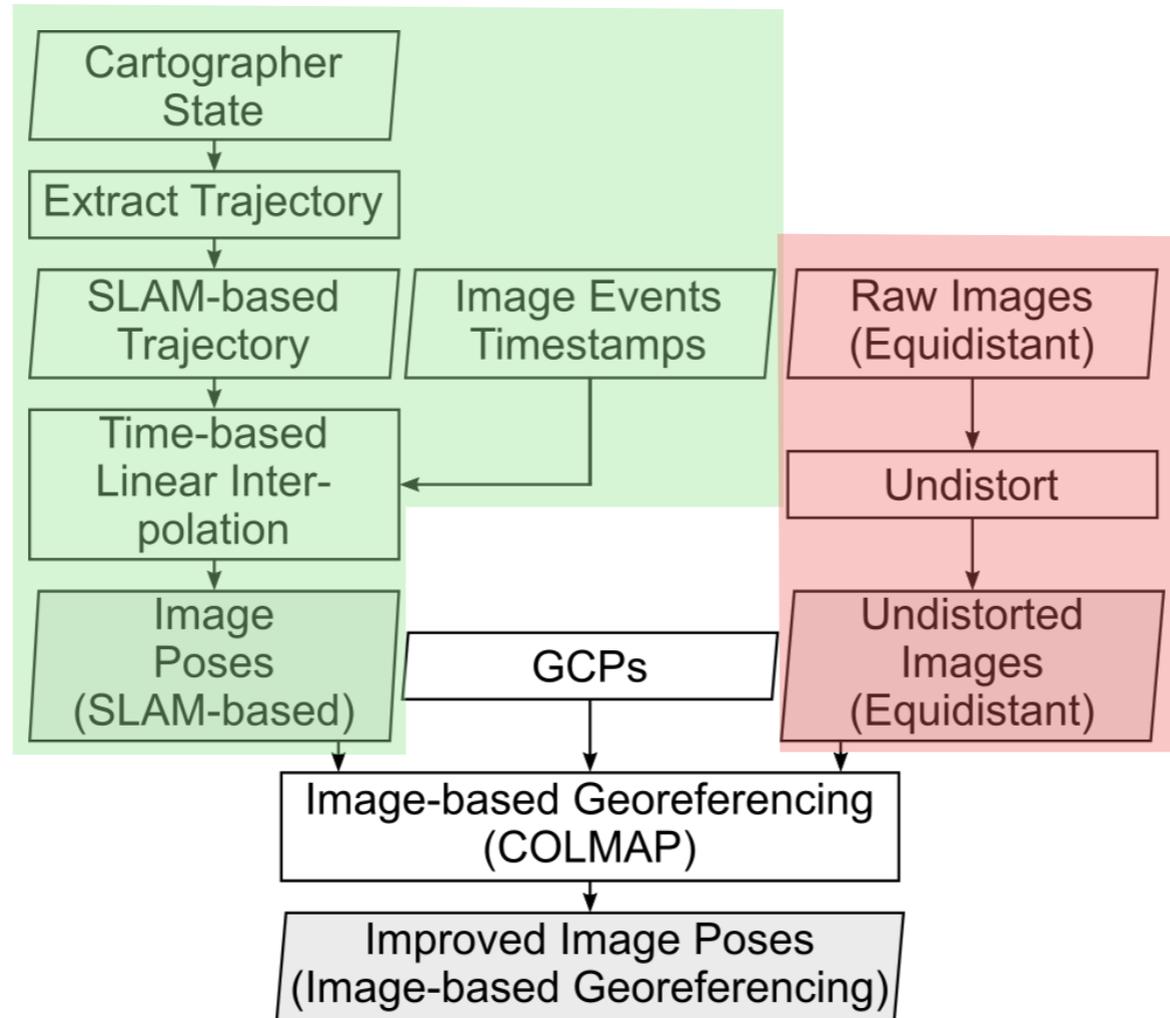
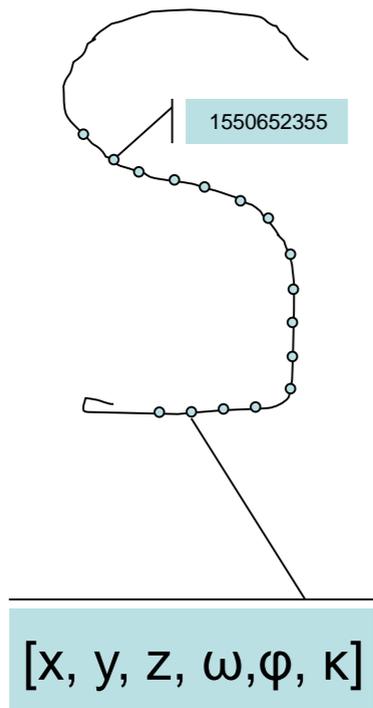
Robot Operating System (ROS)
(Quigley et al., 2019)

Echtzeit LiDAR-SLAM →
Backpack-Pose in lokalem
Koordinatensystem

Geometrisch bedingte
Kameraauslösung
(Distanz & Azimut)



BIMAGE Backpack, Datenverarbeitung (Post-Processing)



Testfelder: VersuchsStollen Hagerbach

- Flums Hochwiese
- Forschungseinrichtung für den Tunnelbau

(1) Sicherheitsstollen

- Strassentunnel
- Unterschiedliche Ausbaustufen

(2) SCAUT-Stollen

- Eisenbahntunnel
- Versuchsaufbau für den automatischen Einbau von Notausgängen



SLAM-basierte Georeferenzierung

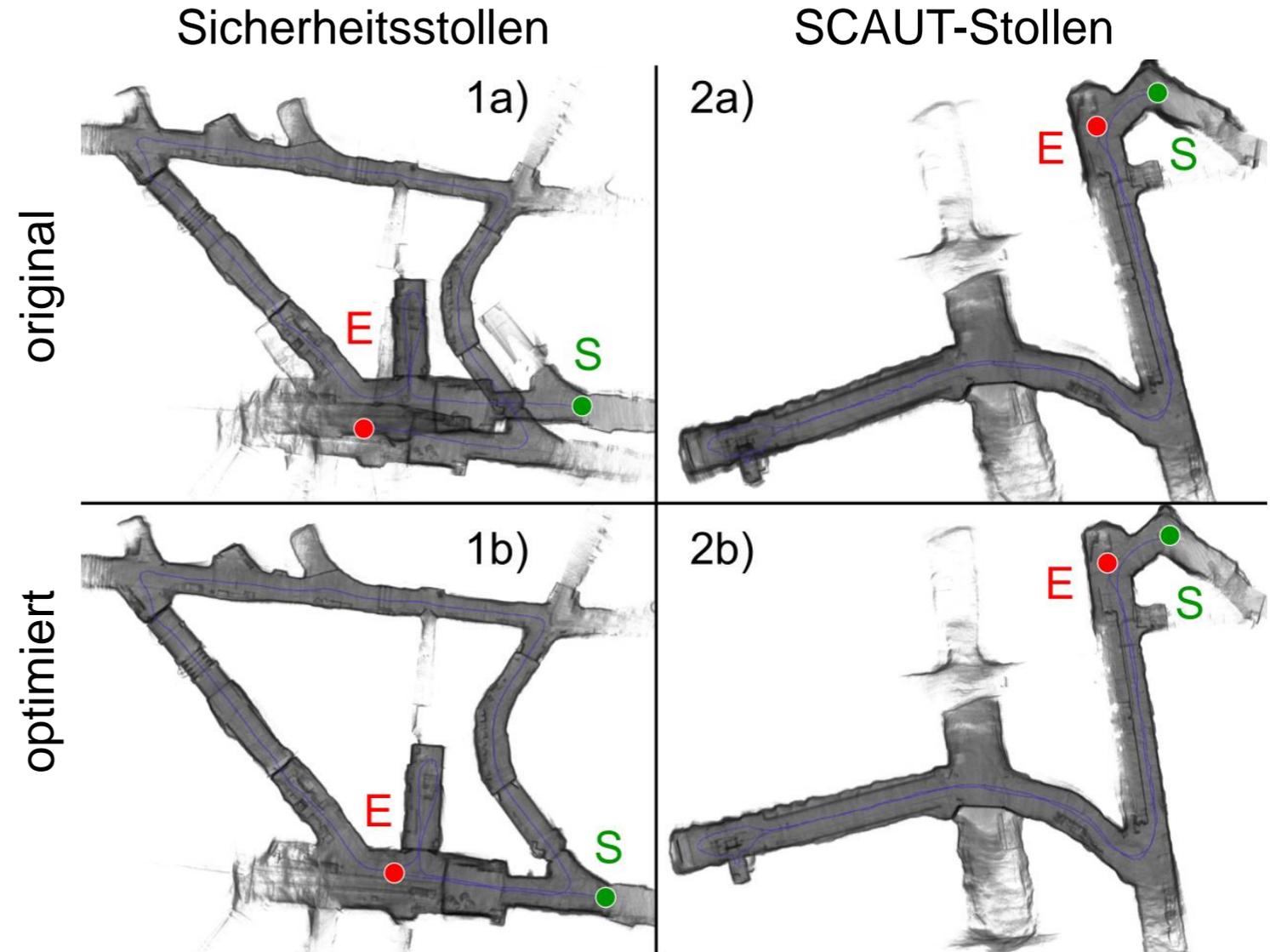
LiDAR-basierter 3D-SLAM «Google Cartographer» (Hess et al., 2016)

Herausforderung:
Schleifenschluss im Stollen

Optimierte SLAM-Parameter

- Erhöhung Rotationsgewicht Ceres Solver
- Erhöhung Anzahl Node-Optimierungen

Erfolgreiche Schleifenschüsse & weniger Rauschen



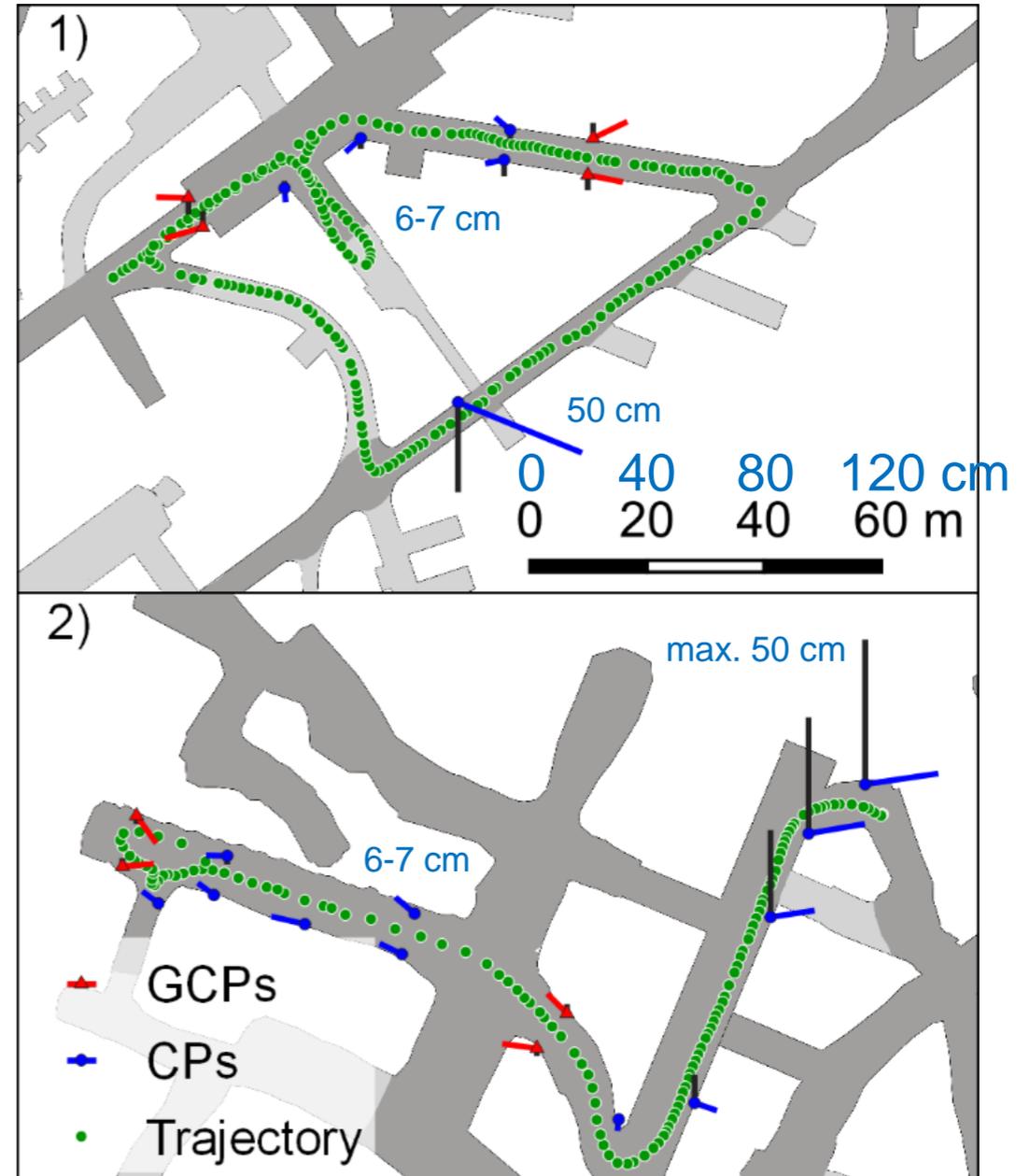
Hess, W., Kohler, D., Rapp, H., & Andor, D., 2016. Real-Time Loop Closure in 2D LIDAR SLAM. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Stockholm, Sweden, pp. 1271–1278.

Image-based Georeferencing

Nachträgliche bildbasierte Georeferenzierung mit SfM-Pipeline «Agisoft PhotoScan»

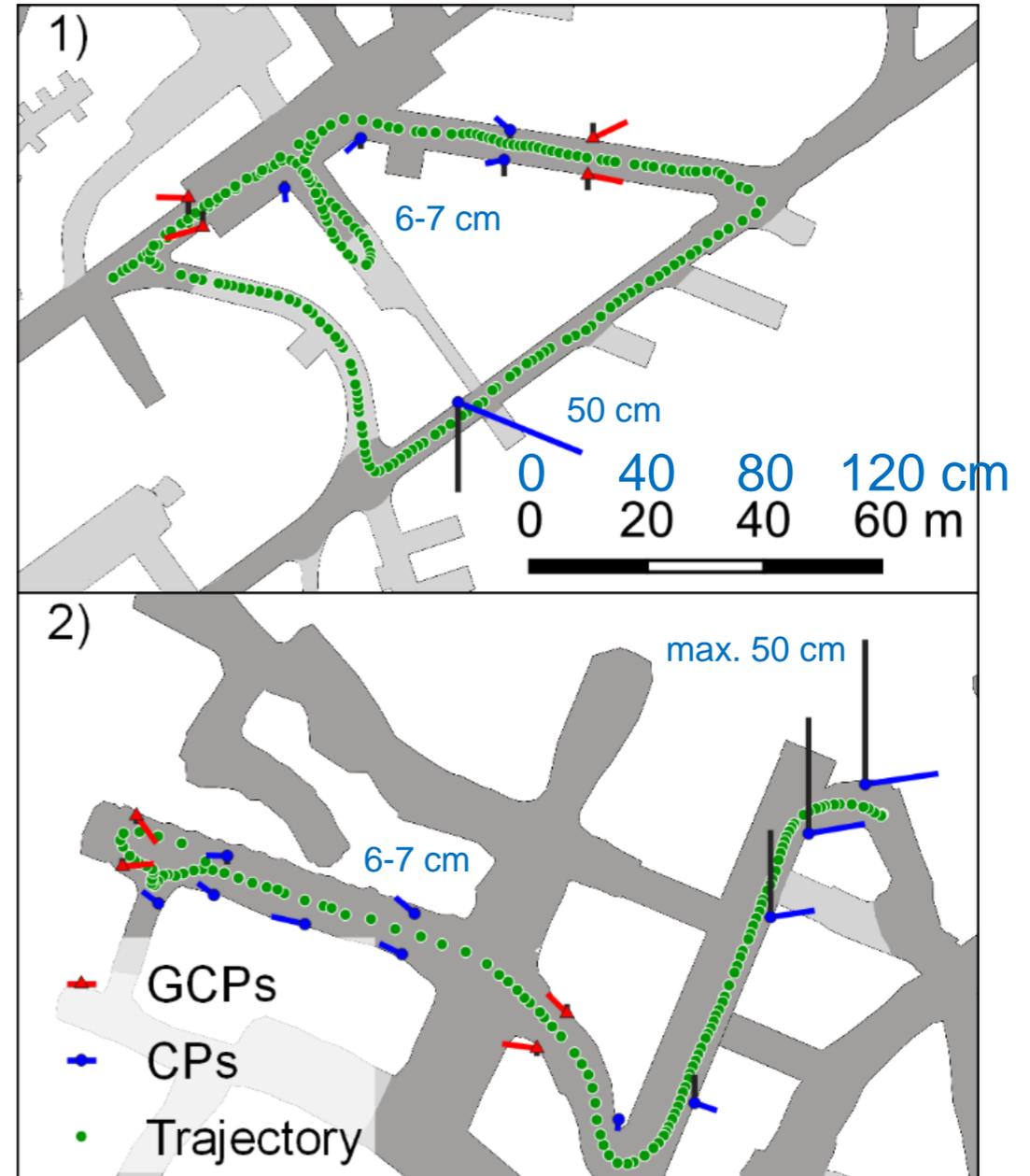
- Vorkalibrierte relative Orientierungen zwischen den Kameraköpfen
- Initial- bzw. Näherungswerte: SLAM-basierte Bildposen
- Rechenzeit & Rückprojektionsfehler vergleichbar mit Cavegn et al. (2018)

Cavegn, S., Blaser, S., Nebiker, S. & Haala, N., 2018. Robust and Accurate Image-Based Georeferencing Exploiting Relative Orientation Constraints. In: *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Riva del Garda, Italy, Vol. IV-2, pp. 57-64.



Genauigkeitsuntersuchungen

- Tachymetrisch bestimmte Referenzpunkte (Std. abw.: 2 mm)
- Bildbasierte 3D-Koordinatenmessung mit Vorwärtseinschnitt
- Bildmessungen in 4 benachbarten Bilder
- Bildposen folgender Datensätze:
 - a) SLAM-basiert (originale Parameter)
 - b) SLAM-basiert (optimierte Parameter)
 - c) Bildbasierte Georeferenzierung
- 6DoF-Transformation
lokale Koordinaten → Referenzkoordinaten



Relative Genauigkeit (Präzision)

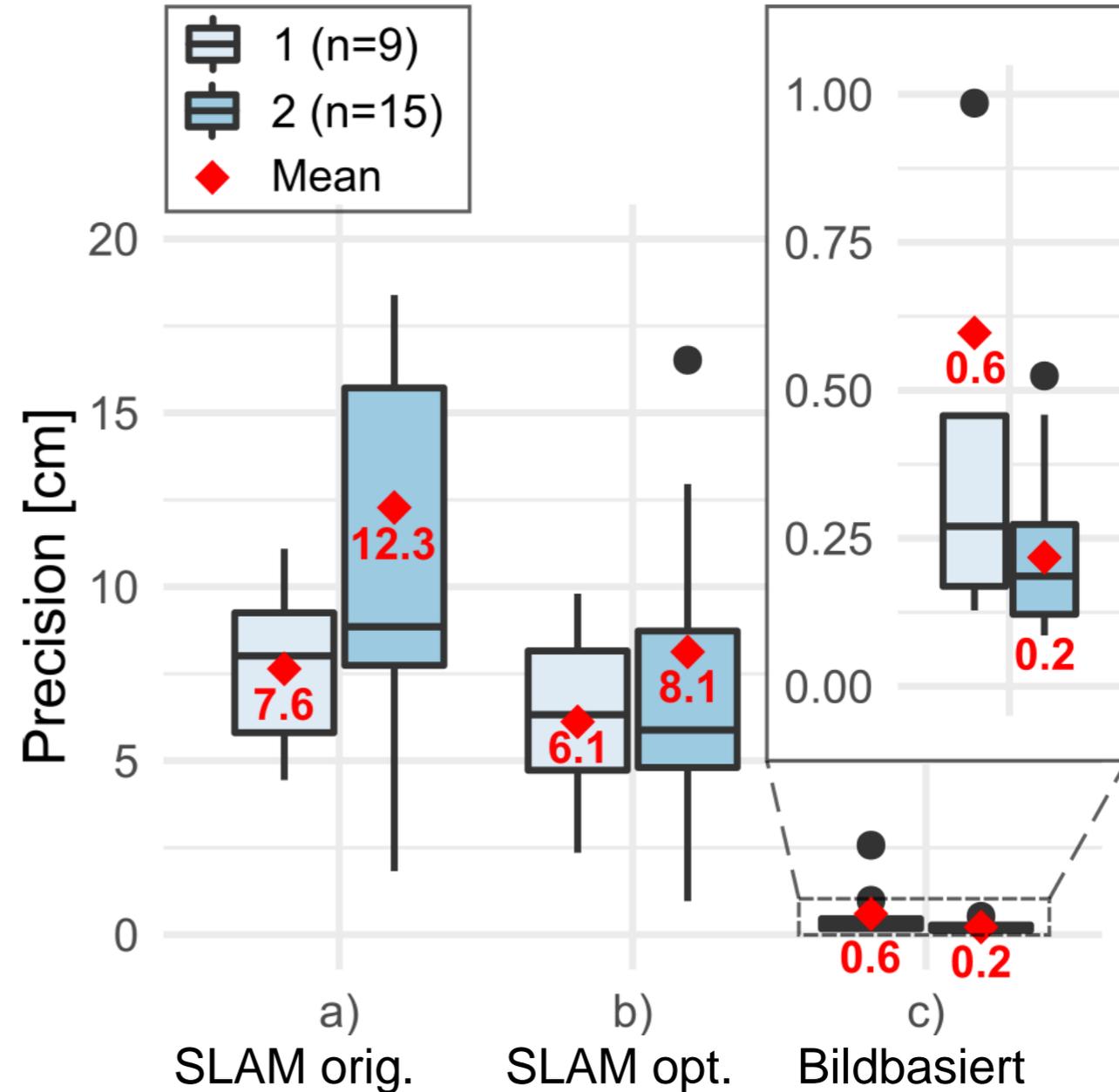
Präzision

- Empirische Standardabweichung Vorwärtseinschnitt
- Größenordnung für relative Genauigkeit (z. B. 3D-Distanz)

Mittlere Präzision

- SLAM-basiert: **6.1 - 12.3 cm**
- Bildbasiert: **0.2 - 0.6 cm**

→ **Verbesserung um Faktor 10**



Absolute Genauigkeit

Methode	Testfeld	Genauigkeit [mm]		
		GCPs	CPs innerhalb Testfeld	Alle CPs
a) SLAM orig.	1)	177	257	1'470
	2)	428	950	629
b) SLAM opt.	1)	* 2	153	263
	2)		289	211
c) Bildbasiert	1)		60	155
	2)	* 4	72	157

- Verbesserung «SLAM original» → «SLAM optimiert»: → **Faktor 3-6**
- Weitere Verbesserung «SLAM optimiert» → «bildbasiert»: → **Faktor 2-4**

Fazit

Datenerfassung im Untergrund mit dem BIMAGE Backpack

Leistungs- und Genauigkeitsuntersuchungen in zwei verschiedenen Testfeldern
«Sicherheitsstollen» und «SCAUT-Stollen»

Verbesserung SLAM-basierte Georeferenzierung durch Parameteroptimierung
→ Verbesserung der absoluten Genauigkeit um **Faktor 3-6**

Nachträgliche bildbasierte Georeferenzierung mit SfM-Pipeline Agisoft Photoscan
→ Weitere Verbesserung der absoluten Genauigkeit um **Faktor 2-4**

Absolute Genauigkeiten mit bildbasierter Georeferenzierung:
→ **50 - 72 mm** (18 mm im Gebäude (Blaser et al. 2018))

Relative Genauigkeiten:

→ SLAM-basiert: **66 - 150 mm**

→ Bildbasiert: **3 - 10 mm**

Ausblick

Robuste Generierung der Tiefeninformation

- aus Stereobilder und / oder aus LiDAR-Punktwolken
- Ermöglicht die 3D-Koordinatenmessung direkt im Bild (mit einem Mausklick)

Schnittstellen zu BIM-Software

- Überlagerung bestehender BIM-Modelle
- Konstruktion von BIM-Objekten auf Basis der 3D-Bilder



Fragen / Diskussion

Stefan Blaser

MSc. in Geomatik

Wissenschaftlicher Mitarbeiter @ IGEO, FHNW

stefan.blaser@fhnw.ch

