

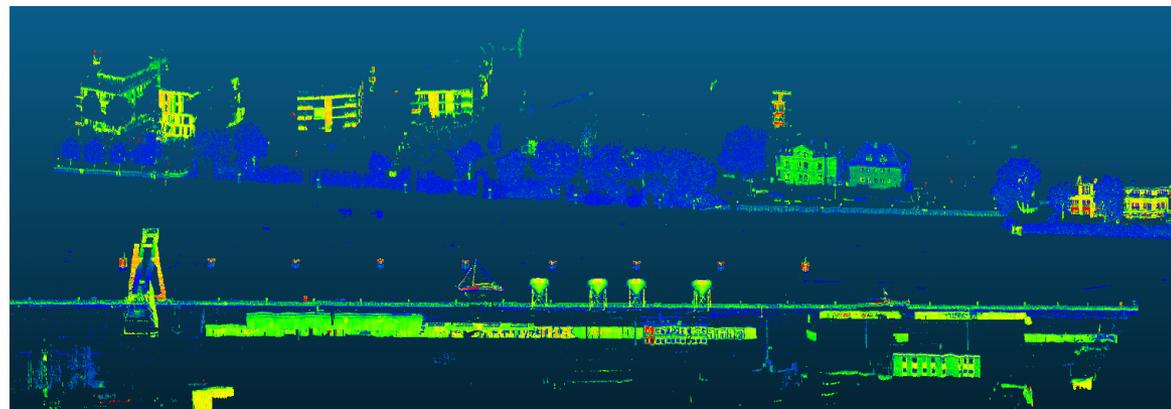
SLAM in der Hydrographie

Prof. Dipl.-Ing. Harry Wirth,

Bremen, 18.06.2019

1. Motivation
2. Auswertemodell zur punktwolkenbasierten Positionierung
3. Systemkonzept Sensorfusion
4. Ergebnisse
5. Fazit und Ausblick

- F&E 2017
 - Entwicklung eines schiffsgebundenen Mobile Mapping Systems
- Erkenntnisse:
 - Objektpunkte Position < 10 cm rms
 - Roll, Pitch besser als $0,06^\circ$

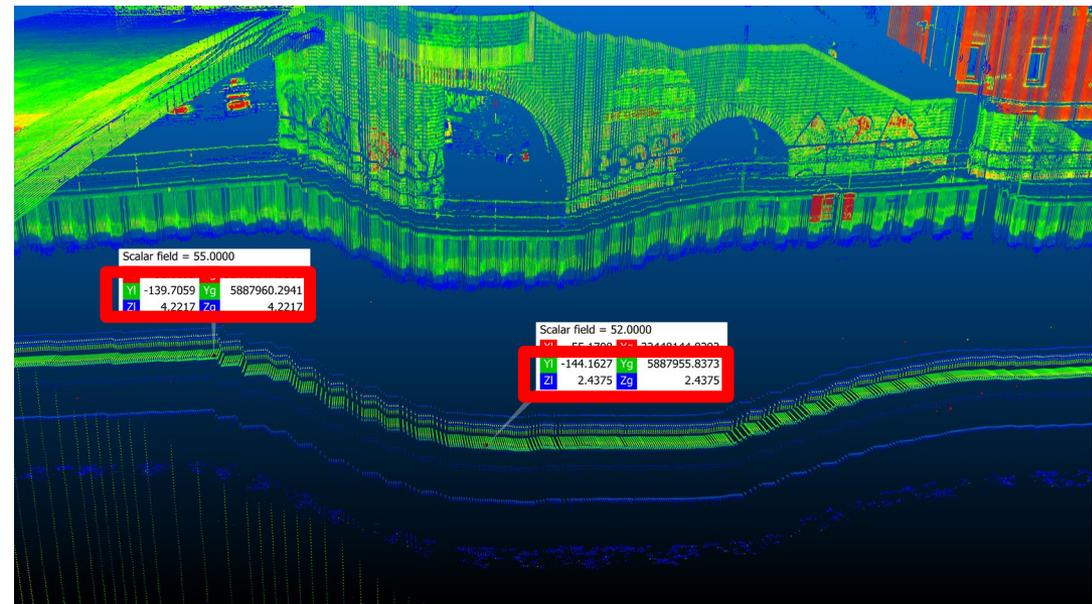
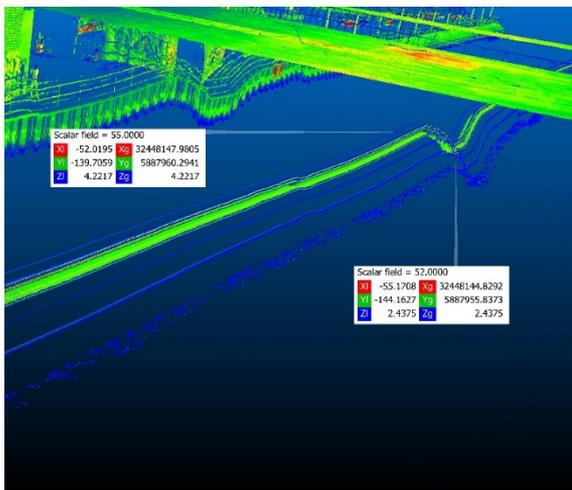


F&E 2017

- Entwicklung eines schiffsgebundenen Mobile Mapping Systems

Erkenntnisse:

- Objektpunkte Position < 10 cm rms
- Roll, Pitch besser als $0,06^\circ$
- Ohne GNSS-RTK-**Laserdaten nutzlos**



- Ziele für die Positionierung:

- Erhöhte Verfügbarkeit,
- Erhöhte Zuverlässigkeit

✓ Integriertes System

Beschreibung der Schiffsbewegung in Raum und Zeit durch ein dynamisches Modell

- Weitere Ziele:

- Informationsgewinn

Integriertes System mit kooperativer Kombination verschiedenster Messsysteme und Modelle

Punktwolken doppelt nutzen:
Objektraumaufnahme und Pose



SLAM!

Simultaneous Location and Mapping

ITERATIVE CLOSEST POINT-ALGORITHMUS ZUR POSITIONIERUNG

- Punktwolken: q (reference) und Messdaten p (readings)
- Transformation: $\vec{q} = \vec{t} + R \cdot \vec{p}$ mit \vec{t} = Translation, R = Rotationsmatrix
- Kostenfunktion: $E = \sum \|\vec{q}_i - R \cdot \vec{p}_i - \vec{t}\|^2$

1. neue Messdaten mit Näherungswerten transformieren $\rightarrow p' = R \cdot p + t$
2. Korrespondenzen \vec{q}_i zu jedem Punkt \vec{p}'_i ($i = 1 \dots N$) finden
3. Bestimmen neuer Transformationsparameter

Punkt zu Punkt (ICPoint):

$$\sum_{i=1}^N \|\vec{q}_i - \vec{p}'_i\|^2 \rightarrow \min$$

Punkt zu Ebene (ICPlane):

$$\sum_{i=1}^N \|(\vec{q}_i - \vec{p}'_i) \cdot \vec{n}_i\|^2 \rightarrow \min$$

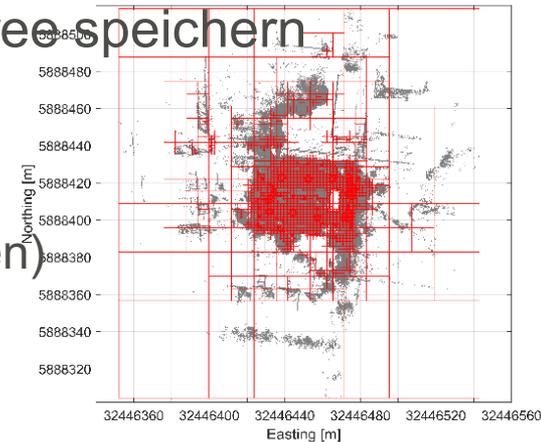
4. Iteration bis $E_{n+1} \cong E_n$
5. Readings zu reference hinzufügen



- Punktmenge reference wächst linear mit der Zeit \Rightarrow

- Zeit zur Suche der Korrespondenzen minimieren: Beide Punktmengen in KD-tree, Quad-Tree oder Oct-Tree speichern

- Punktmenge minimieren, bzw. reduzieren:
 - Filterung der Daten (20% Referenz, 10% Messdaten)
 - Iterationen mit steigender Punktdichte rechnen



- Gute Näherungswerte \Rightarrow weniger Iterationen und weniger fehlerhafte Lösungen
- Fehlerhafte Korrespondenzen reduzieren:
 - Ausreißer suchen, lokalisieren und behandeln \Rightarrow weniger Iterationen
 - ICPlane \Rightarrow höhere Genauigkeit als ICPoint

- Kriterium: räumlicher euklid. Abstand der Korrespondenzen
- Harte Ausschlusskriterien:
 - fester prozentualer Anteil der größten Abweichungen
 - Fester Schwellwert, etc.
- Weiche Ausschlusskriterien:
 - Gewichtung der Korrespondenzen
 - Verhältnis zwischen aktueller Abweichung und rms der Abweichungen
 - Verhältnis der Abweichungsquadrate etc.
- Mischung aus weichen und harten Ausschlusskriterien

- Weiches Ausschlusskriterium: robustes Schätzverfahren durch iterative Regewichtung

1. neue Messdaten mit Näherungswerten des EKF transformieren
2. Korrespondenzen finden und Gewichtung der Punktpaare

a) euklidische Distanzen $\mathbf{d}_n = \sqrt{(p_{xi} - q_{xj})^2 + (p_{yi} - q_{yj})^2 + (p_{zi} - q_{zj})^2}$

- b) Robuste Schätzung der Standardabw. der Gewichtseinheit:

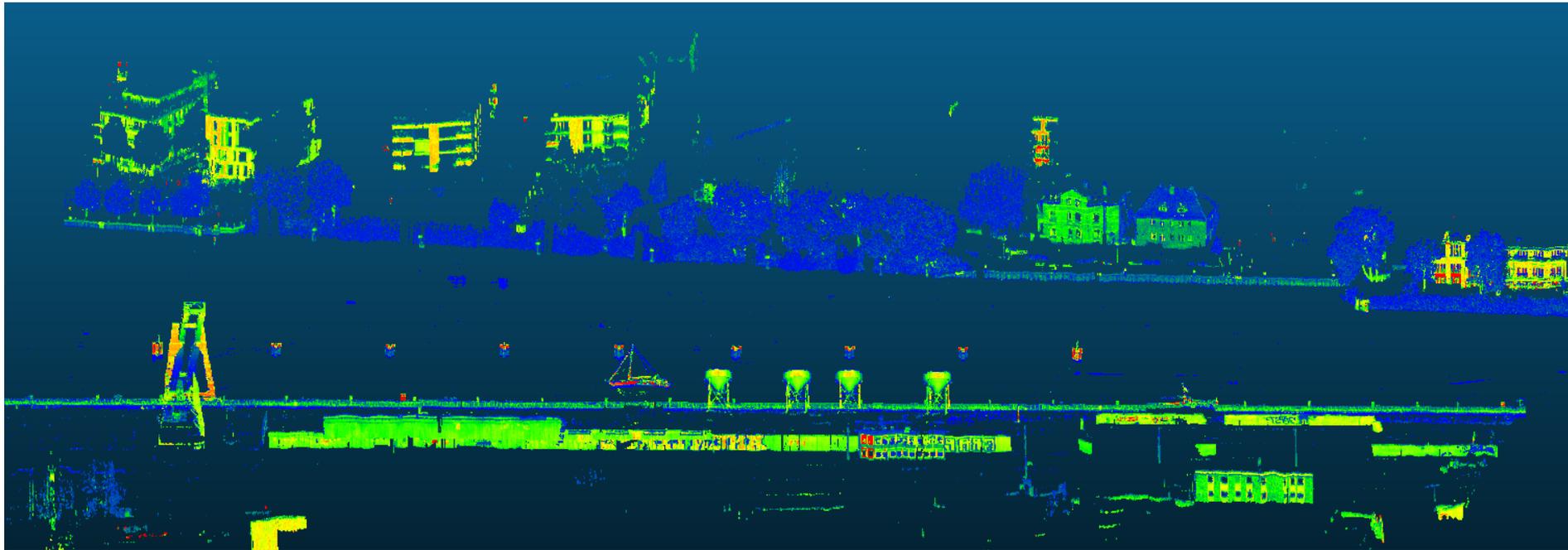
$$\hat{\sigma} = \frac{1}{z_{0,75}} \cdot MAD = 1.4826 \cdot MAD(\mathbf{d}) \text{ mit } MAD = \text{median}(|\mathbf{d}_i - \text{median}(\mathbf{d})|)$$

c) Gewichte berechnen: $\mathbf{w}_i = \begin{cases} w_i = 0.0 & \text{für } \mathbf{d}_i > 6 \cdot \sigma \\ w_i = \frac{c_0}{\mathbf{d}_{ij}} & \text{für } \mathbf{d}_i \geq c_0 \\ w_i = 1 & \text{für } \mathbf{d}_i < c_0 \end{cases} \text{ mit } c_0 = 2 \cdot \sigma$

3. Bestimmen neuer Transformationsparameter
4. Iteration bis $E_{n+1} \cong E_n$ und Folge monoton fallend
5. Readings zu reference hinzufügen



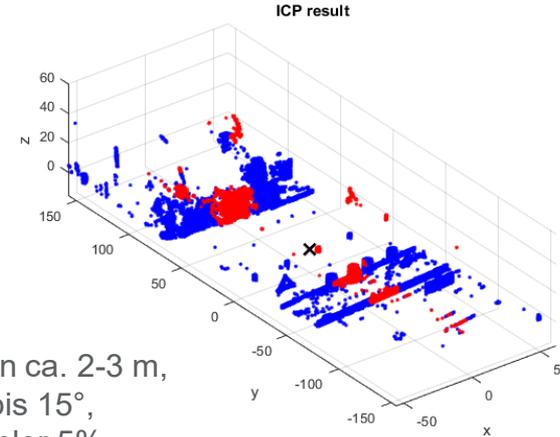
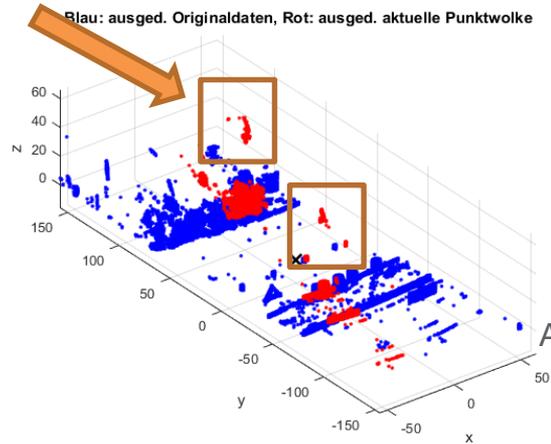
- Testdatensatz Naturdaten im Oldenburger Hafen



- Testdatensatz Naturdaten im Oldenburger Hafen

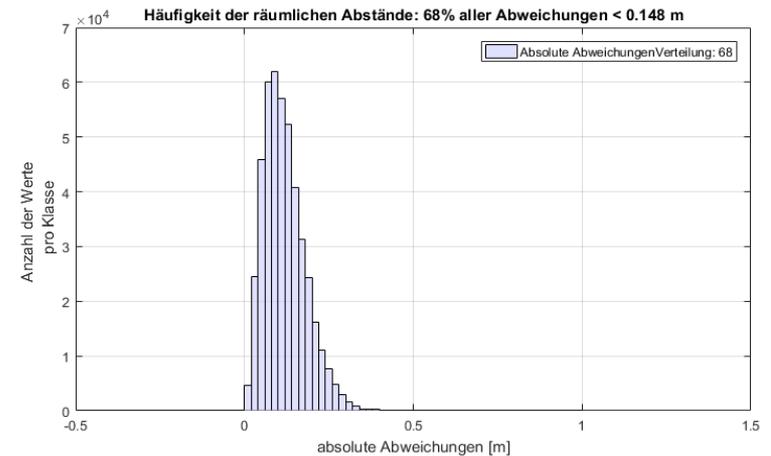
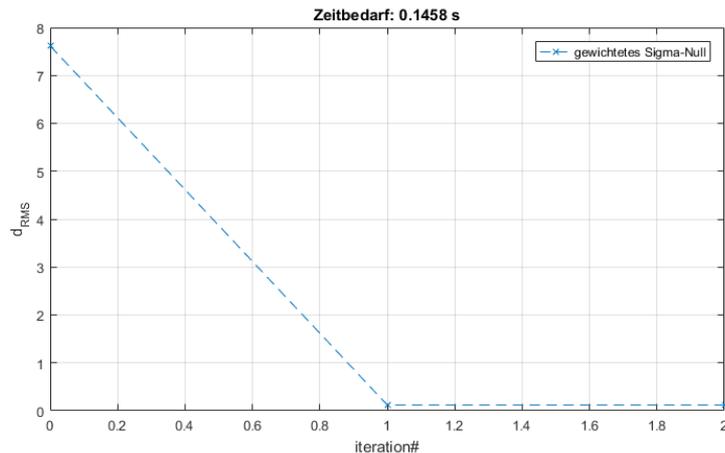
Ausreißer 5,5%

Readings = reduzierte (5%) und verfälschte Untermenge des Originals ca. 10.000 Messwerte



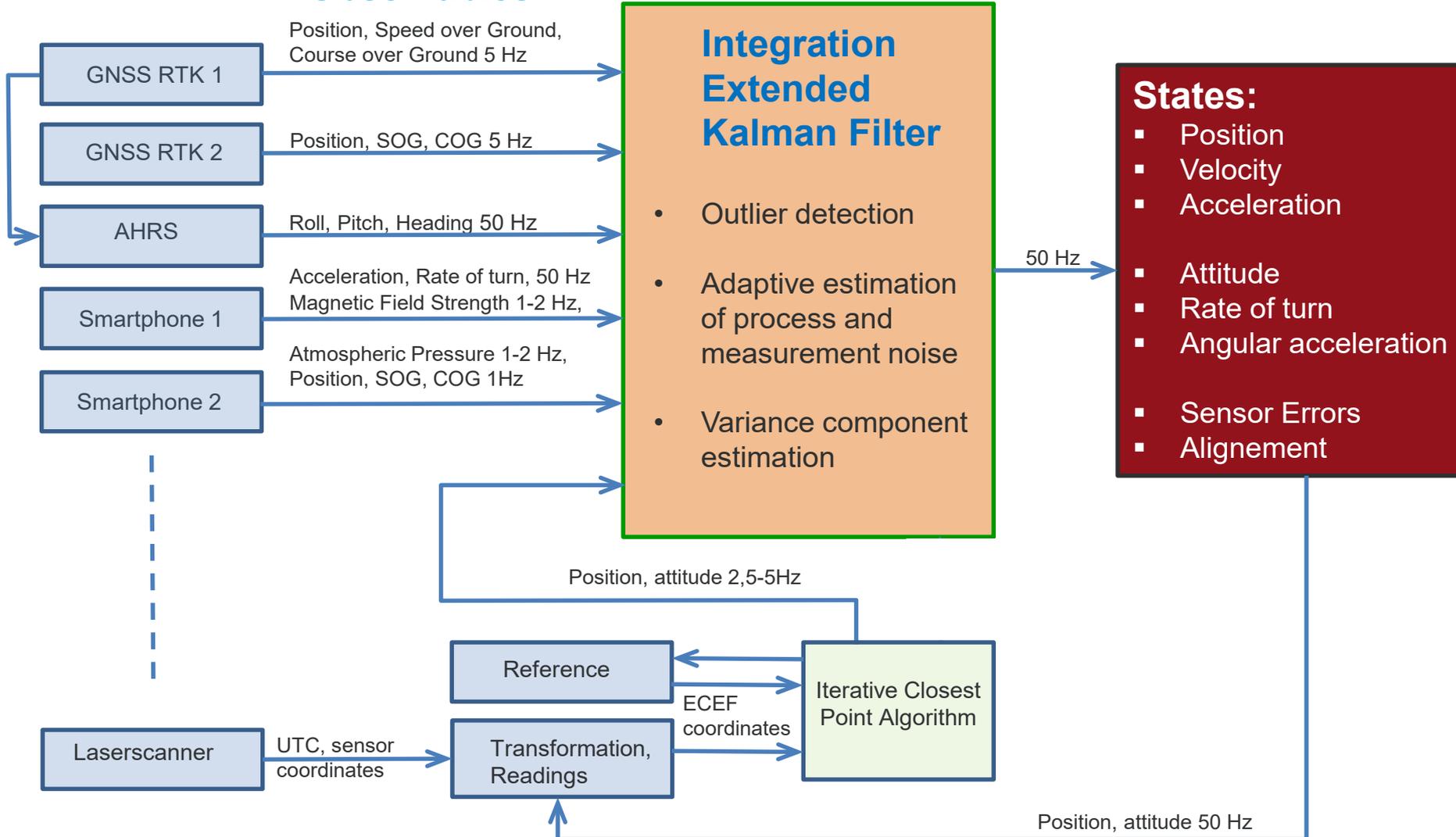
Abweichungen :

Translation ca. 2-3 m,
Rotation bis 15°,
Grobe Fehler 5%,
Zufällige Abweichungen sigma = 0,1 m

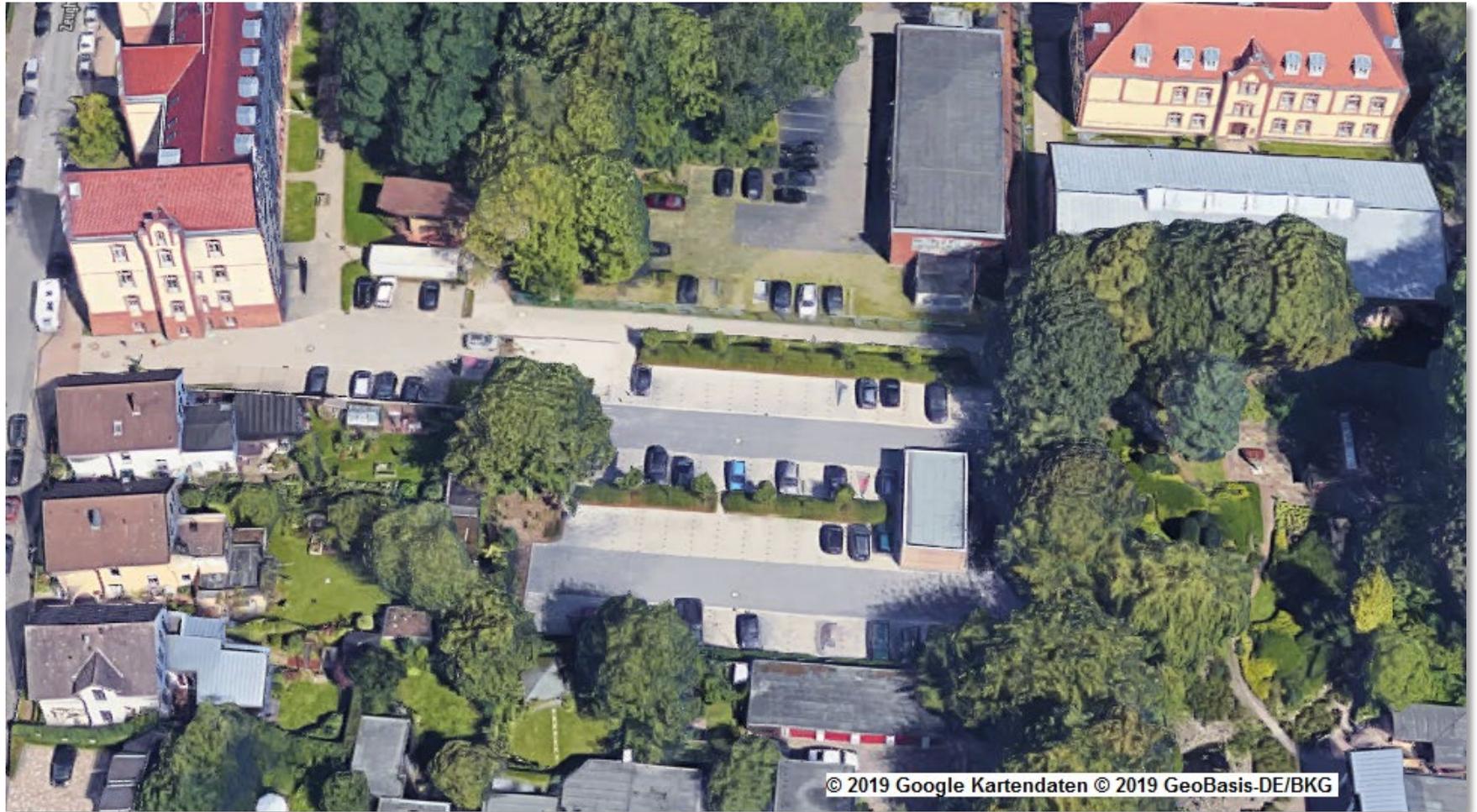


Observables

Loosely coupled System



ERPROBUNG DES VERFAHRENS ERGEBNISSE: TESTGEBIET CAMPUS



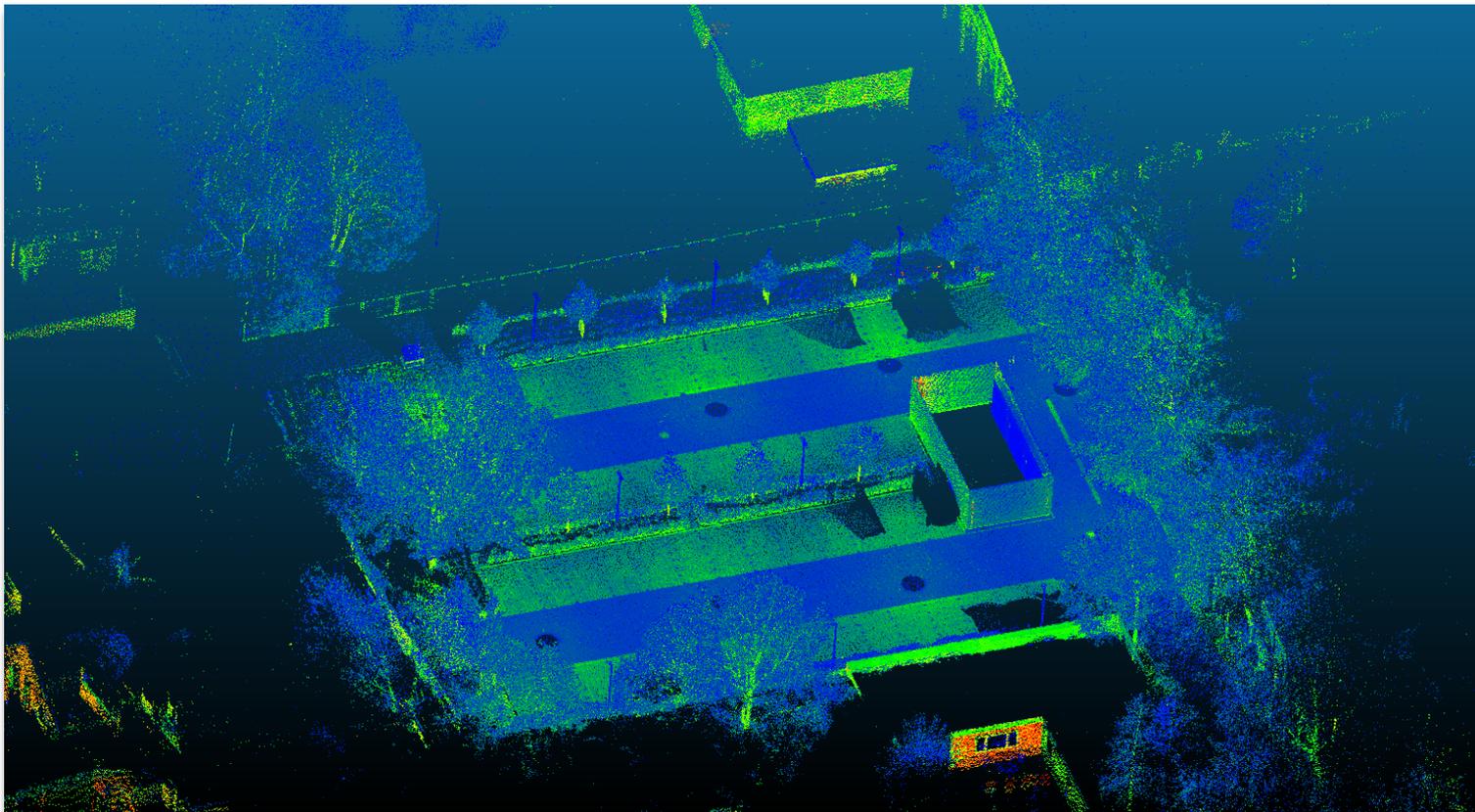
MESSPLATTFORM TESTMESSUNG

- Multi-Sensor-System mit
 - 2 Leica GNSS Antennen
 - SBG-Ellipse IMU (MEMS)
 - Z+F 5010X mit UBlox Antenne
- (→ 3 Smartphones)



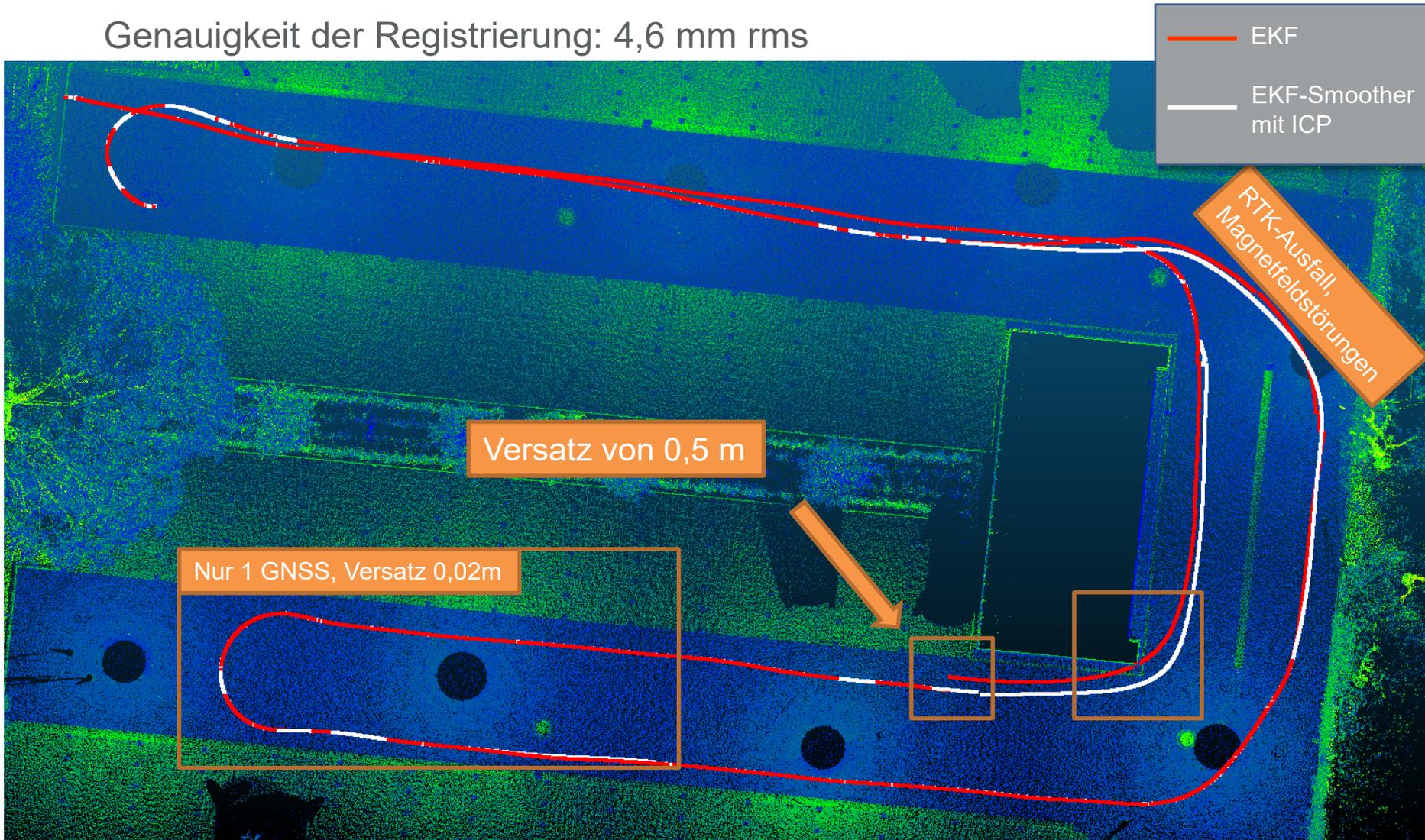
ERGEBNISSE: STATISCHER REFERENZSCAN (AUGUST 18)

- 8 Standpunkte, Transformation in UTM-Koordinaten
- Genauigkeit der Registrierung: 4,6 mm rms
- Eliminierung aller Stative und parkenden Fahrzeuge



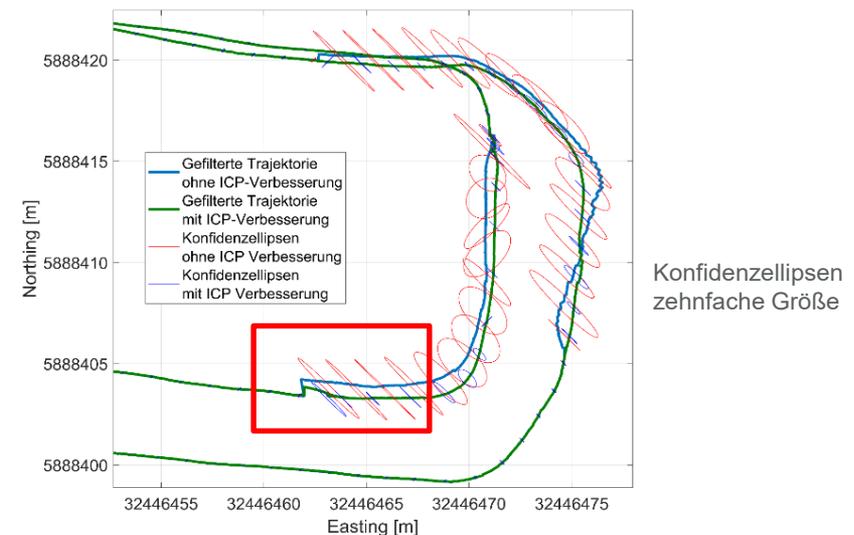
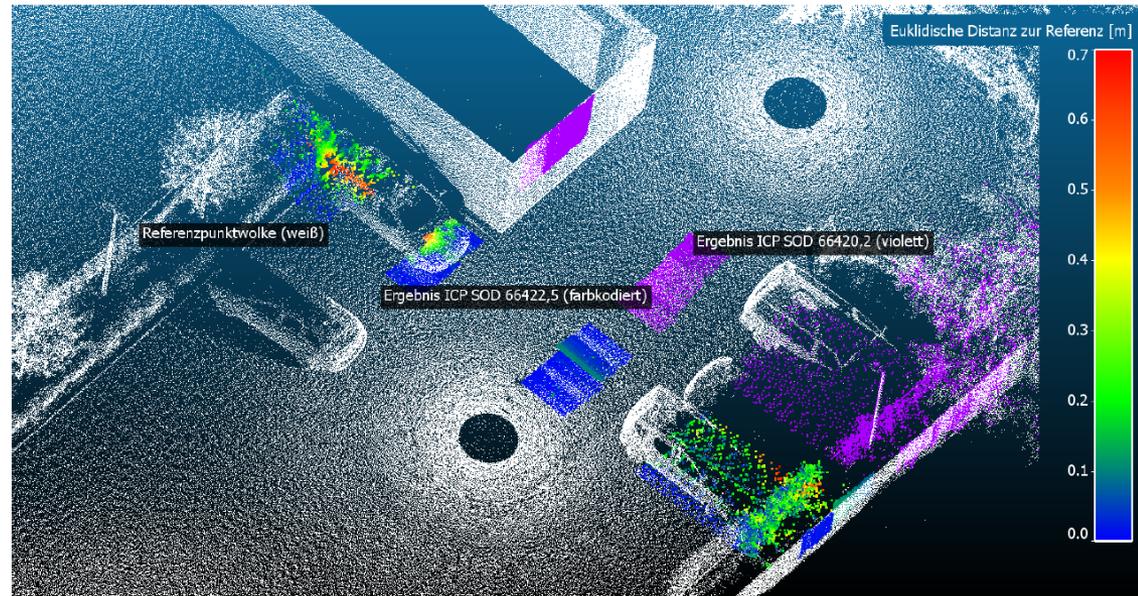
ERGEBNISSE: LAGE

Genauigkeit der Registrierung: 4,6 mm rms



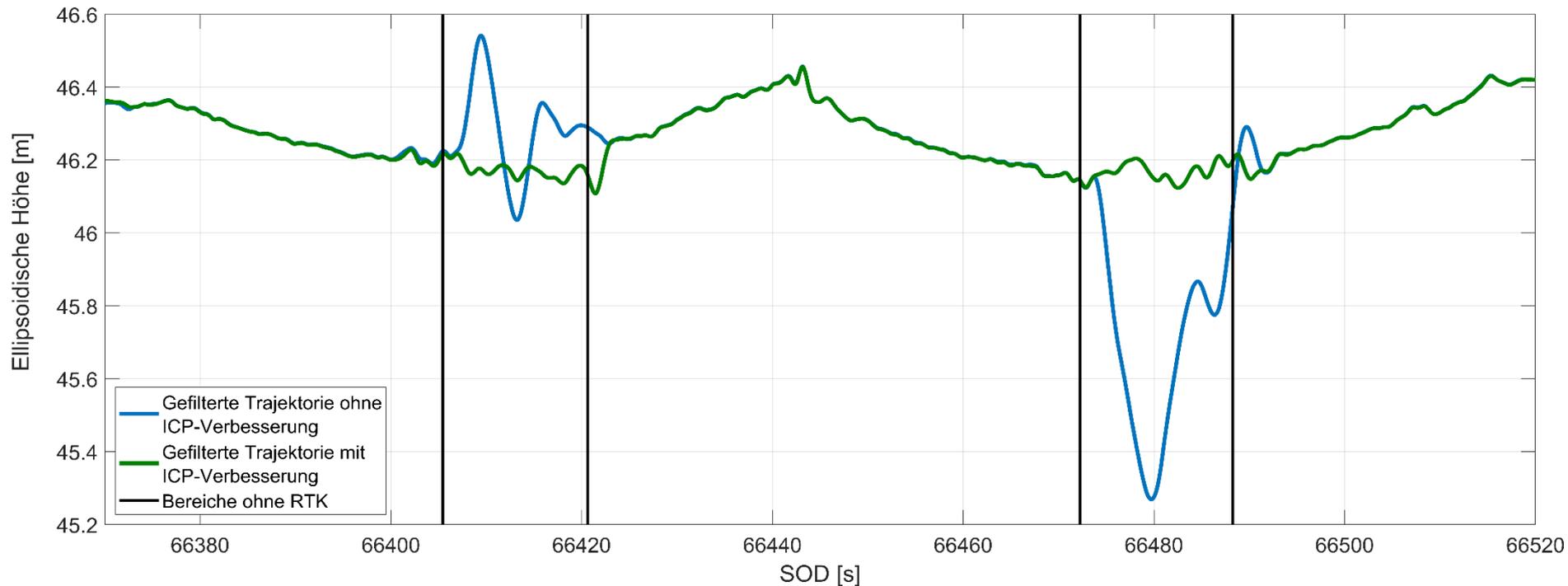
ERGEBNISSE: GENAUIGKEIT LAGE

- Deutlich höhere Genauigkeit in Lücken mit ICP (95% Signifikanzniveau)
- Ca. 1dm Versatz auch mit ICP an Stelle mit 30-50% Ausreißern
- variierende Genauigkeit der ICP-Positionierung wird durch RMS berücksichtigt
- Orientierungswinkel aus ICP sind wesentlich ungenauer als die IMU-Winkel
- bei 2,5Hz ICP-Frequenz ist Rechenzeit ca. 30% größer als die Erfassungszeit



ERGEBNISSE: GENAUIGKEIT HÖHE

- Ohne EKF: Abweichung von 2 m und mehr
- EKF ohne ICP-Verbesserung (blau): Abweichung von < 1 m
- EKF mit ICP-Verbesserung (grün): Abweichung von $< 0,1$ m



- Messunsicherheit: 10cm in Lage und Höhe ist in Echtzeit erreichbar (mit 95% Wahrscheinlichkeit)
- Verbesserungspotential Genauigkeit:
 - Heading der Magnetometer ist in gestörten Bereichen nicht ausreichend
 - Smartphones durch genauere Low-Cost-IMU's ersetzen
 - Gleichmäßige Messfahrt ohne Manöver
- Ausblick
 - Weitere Sensoren einbeziehen: zweiten Scanner zwecks Verzicht auf Referenzpunktwolke, Kamera, Punktwolke unter Wasser (Fächerlot)
 - Prototyp zur Echtzeitfähigkeit weiter entwickeln

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit
