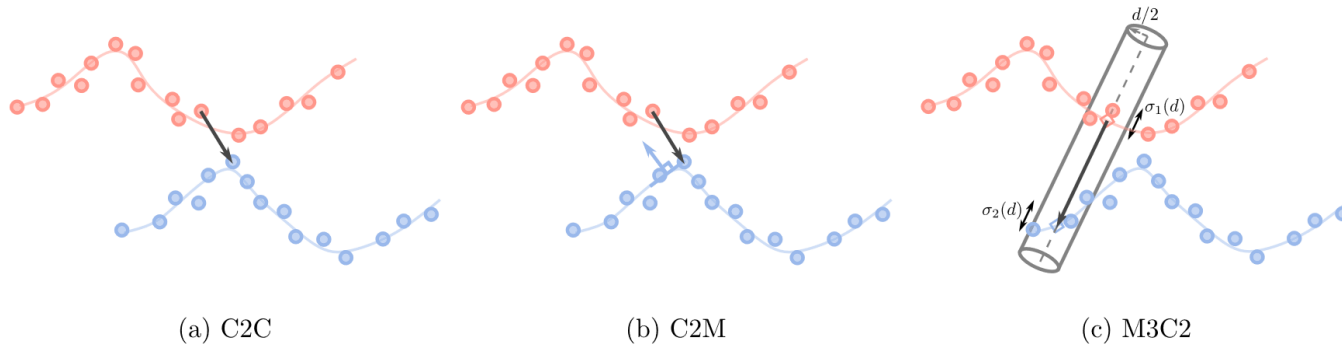


### Multiscale-Model-to-Model-Cloud (M3C2)

- Grafische Darstellung der eingefärbten Kernpunkte (sowie Standardabweichung der Kernpunkte  $\sigma_i(D)$  oder Anzahl der Nachbarn an jedem Kernpunkt) z.B. in CloudCompare
- I.d.R. geringere rechentechnische Laufzeit, da keine Vermaschung notwendig und Reduktion auf Kernpunkte
- Ergebnis hängt ab von: systematischen Messabweichungen, da Glättung und Reduktion auf Kernpunkt den Einfluss der anderen Faktoren minimieren
- Schwierigkeiten im Falle von Verschiebungen parallel zur Oberfläche



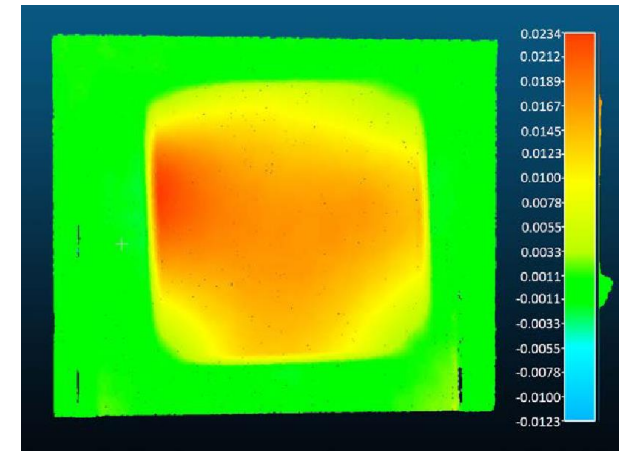
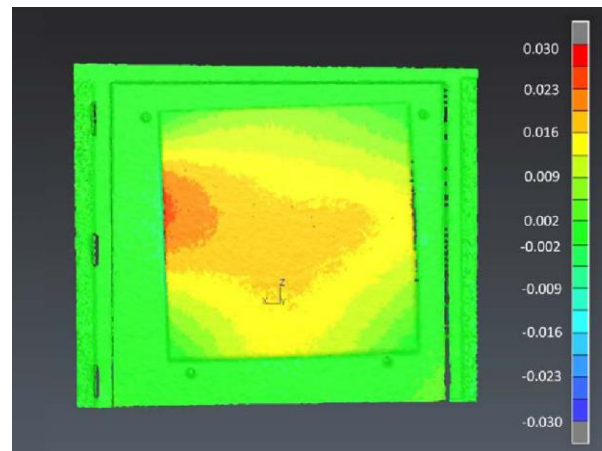
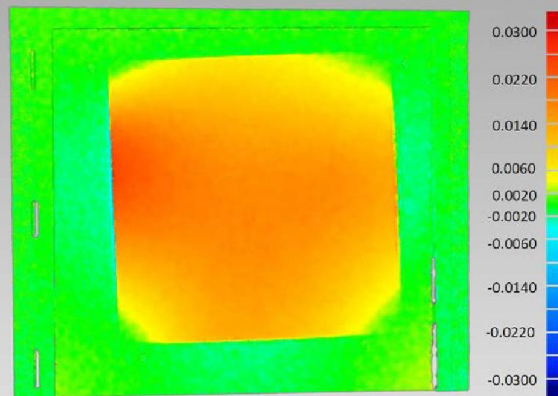
Gojic et al. (2021)



Cloud-to-Mesh (C2M)

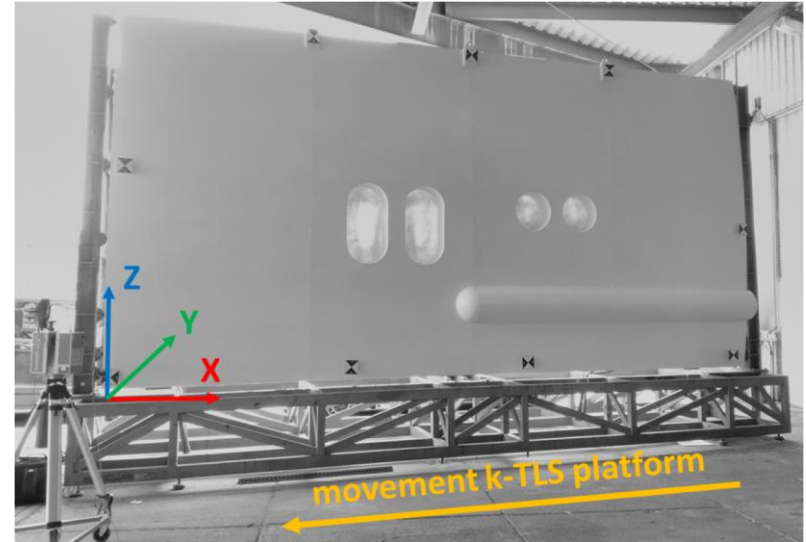
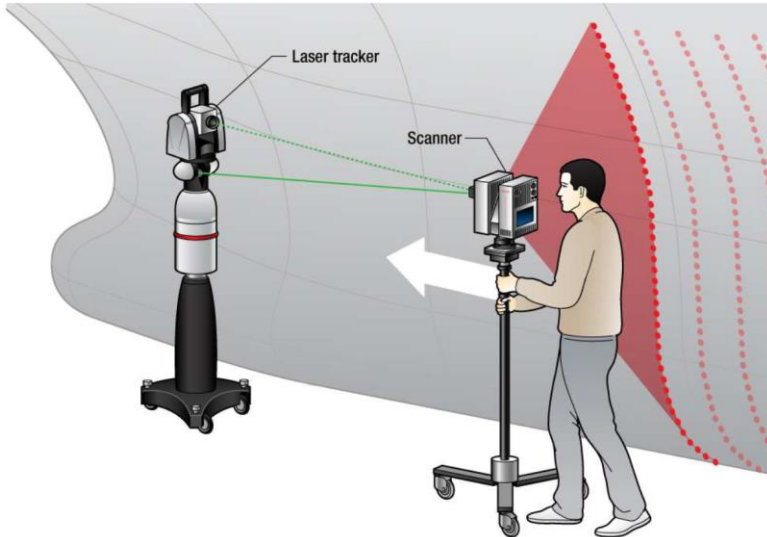
Mesh-to-Mesh (M2M)

M3C2



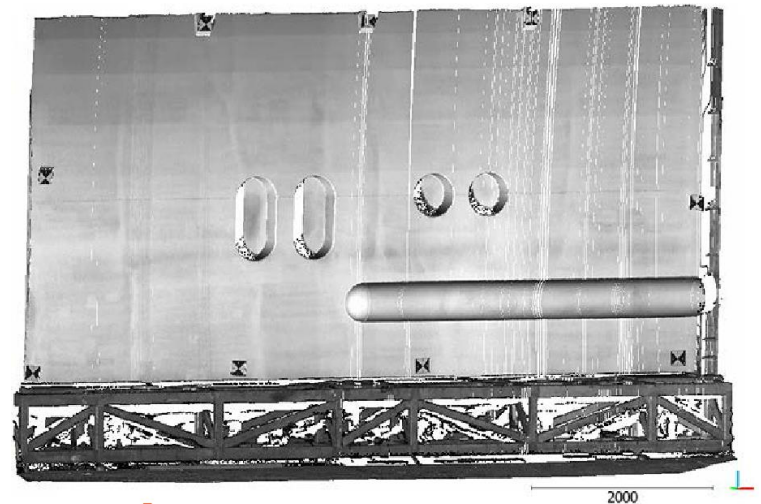
alle Abbildungen aus Holst et al. (2017)

Ehm & Hesse (2012)



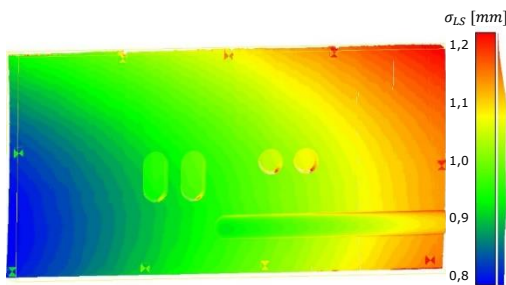
Hartmann et al. (2018a)

GIH/ Vogel

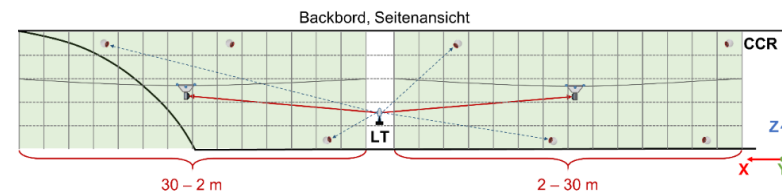
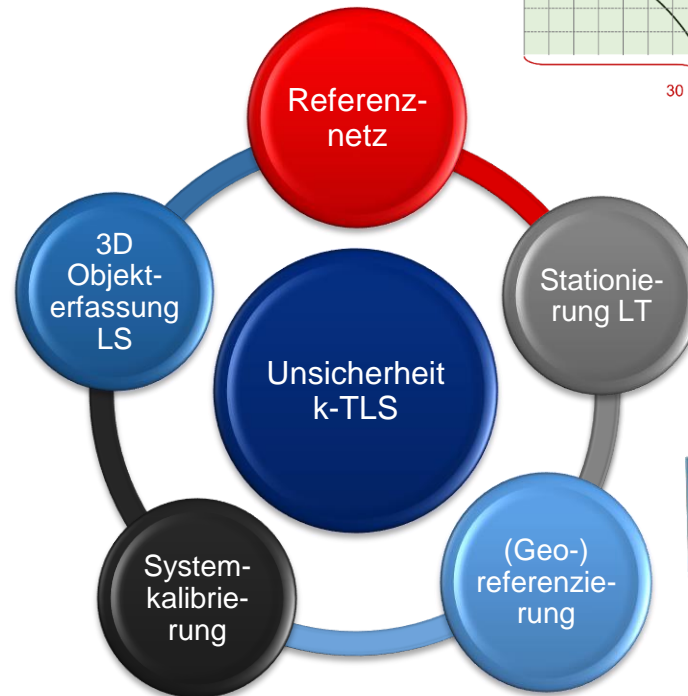
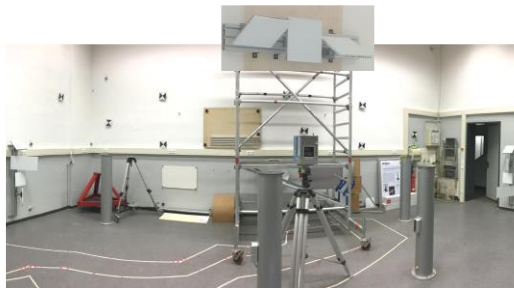


Hartmann et al. (2018b)

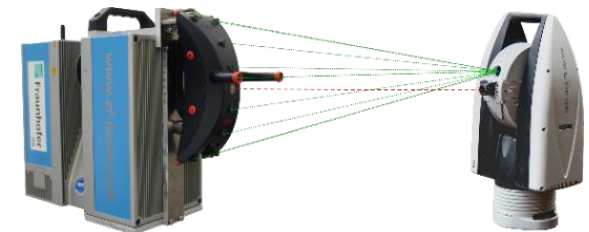
## k-TLS – Quantifizierung des 3D-Unsicherheitsbudget



Stenz et al. (2020)



Hartmann et al. (2021)

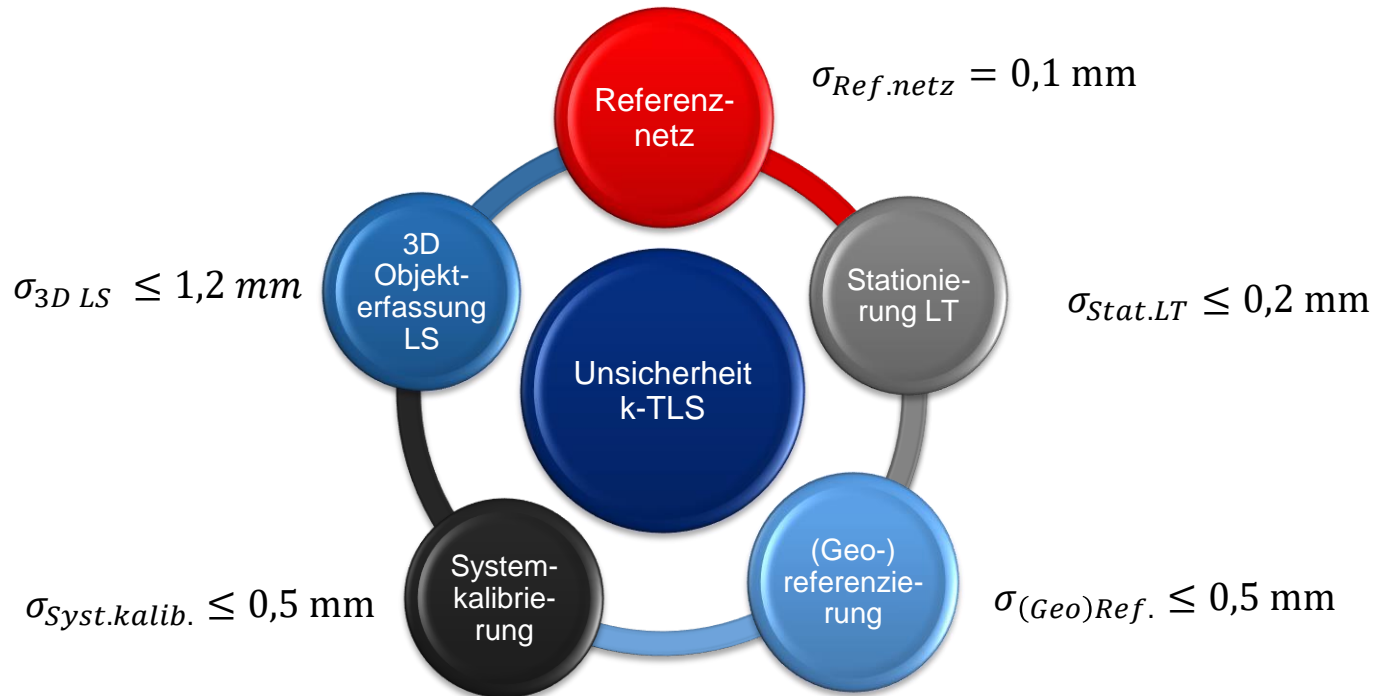


Hartmann et al. (2018b)

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning - 203. DVW-Seminar TLS 2021

## k-TLS – Quantifizierung des 3D-Unsicherheitsbudget

### Ermittlung der Gesamtunsicherheit durch Vorwärtsmodellierung



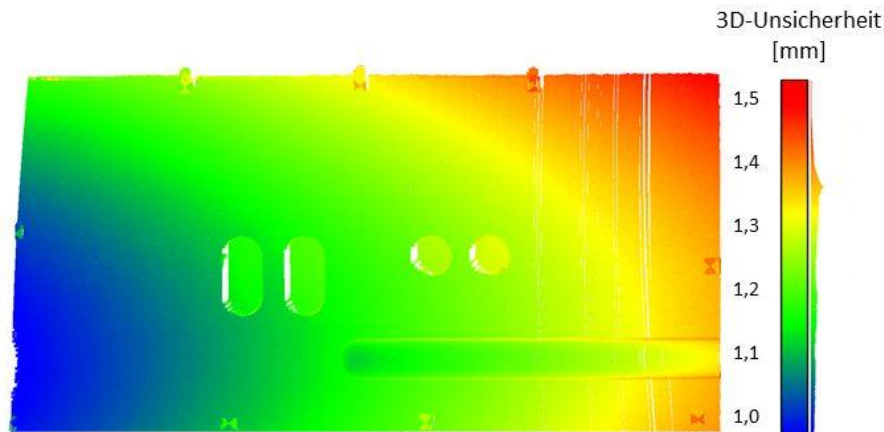
Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning - 203. DVW-Seminar TLS 2021



## Vorwärtsmodellierung

3D-Gesamtunsicherheit k-TLS

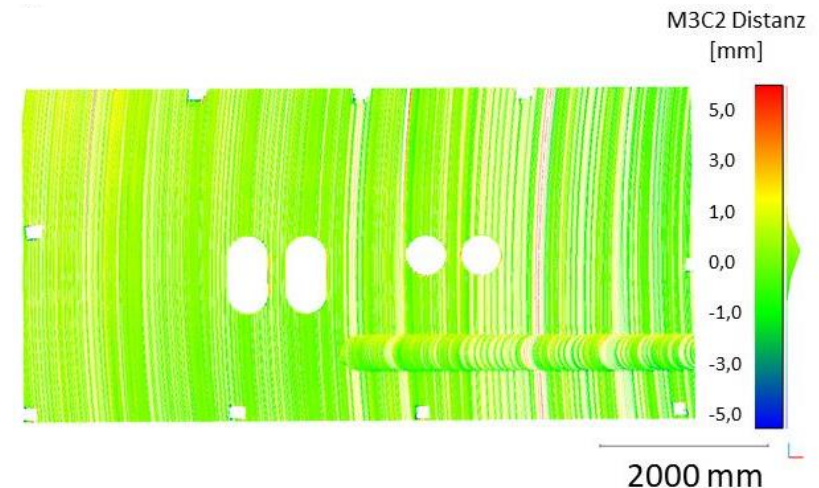
$80\% \leq 1,3 \text{ mm}$



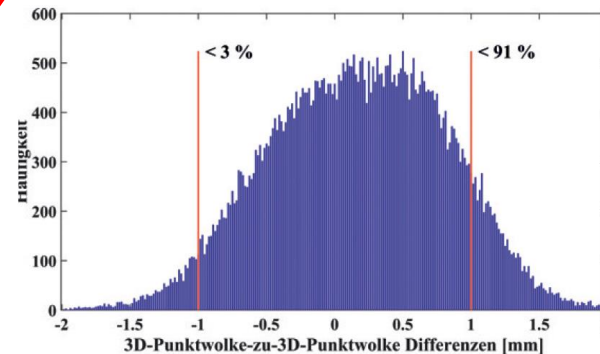
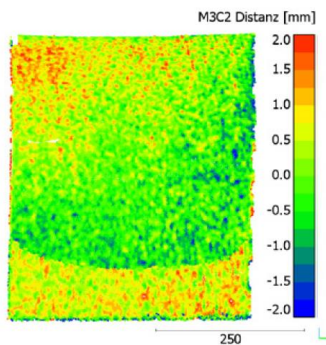
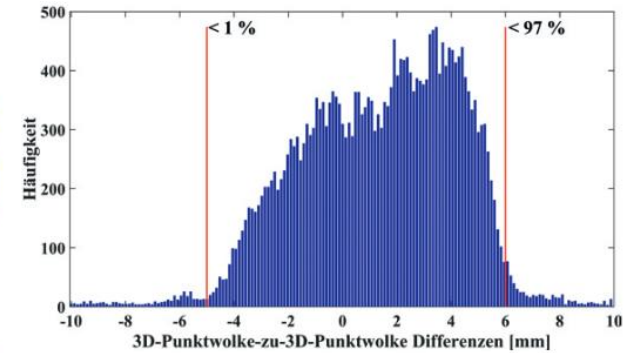
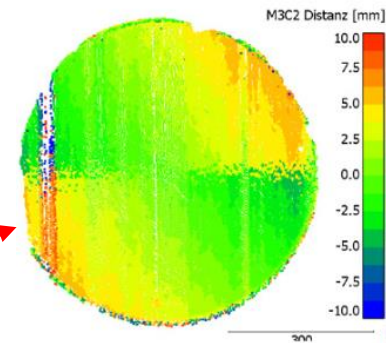
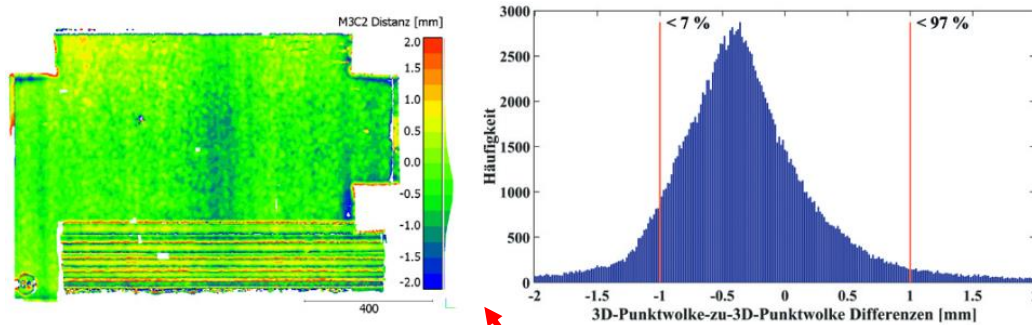
## Rückwärtsmodellierung

Abweichungen  
zwischen k-TLS und s-TLS

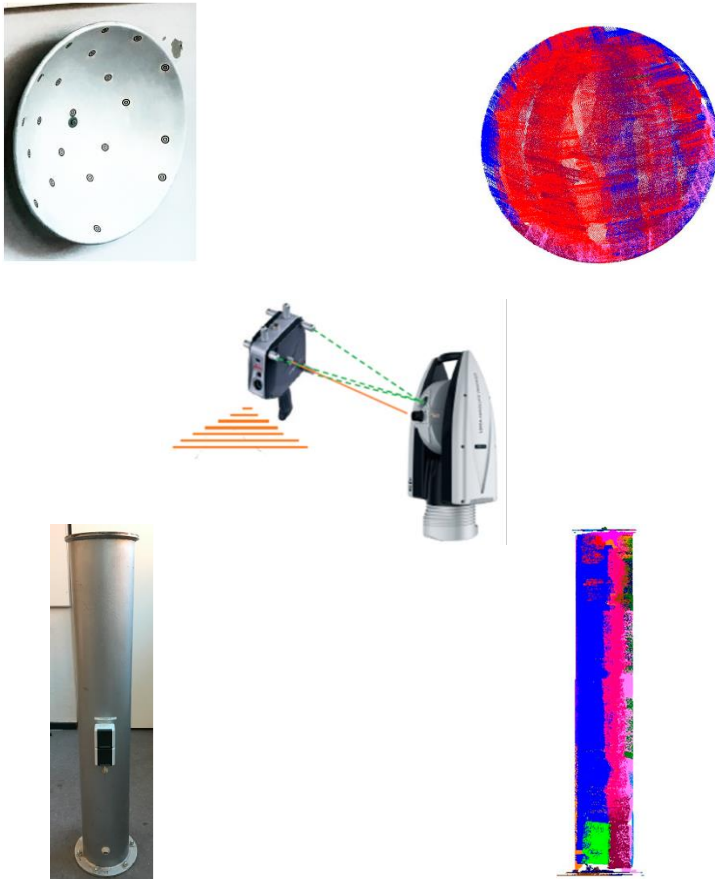
*Mittelwert = 0,14 mm*  
*Standardabweichung = 1,00 mm*



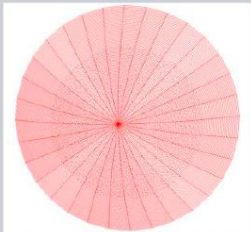
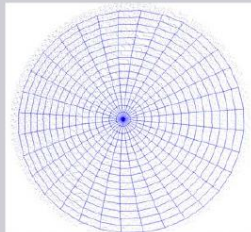
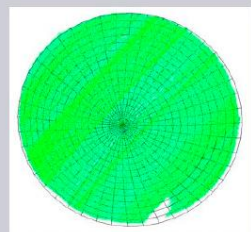
Hartmann et al. (2021)



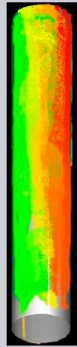
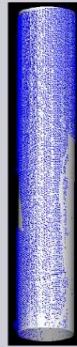

Alle Abbildungen aus Paffenholz et al. (2017)



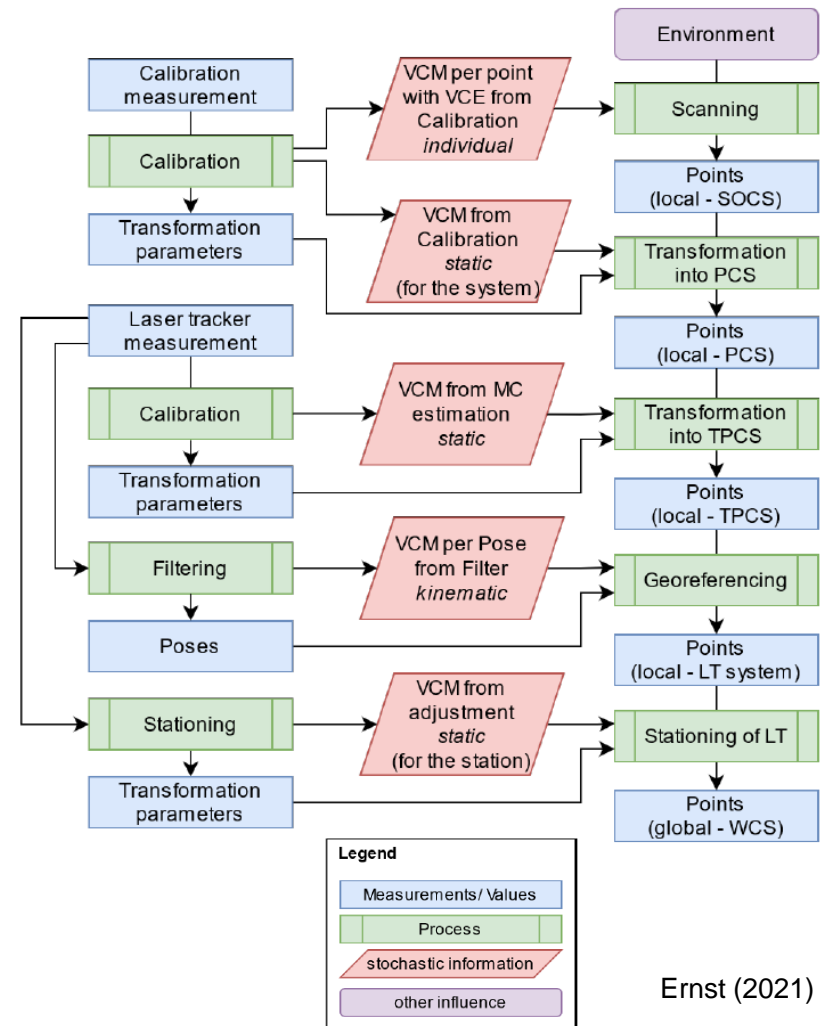
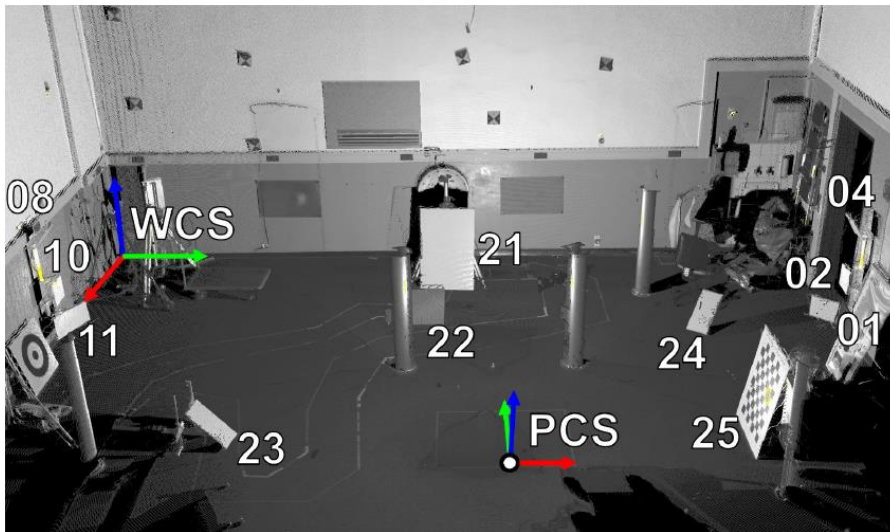
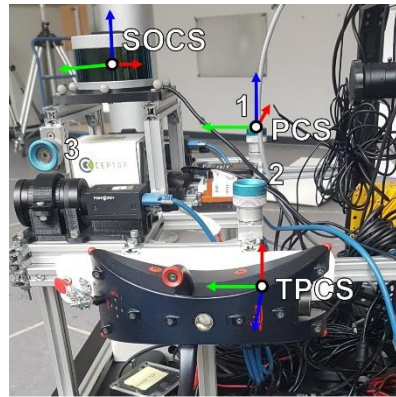
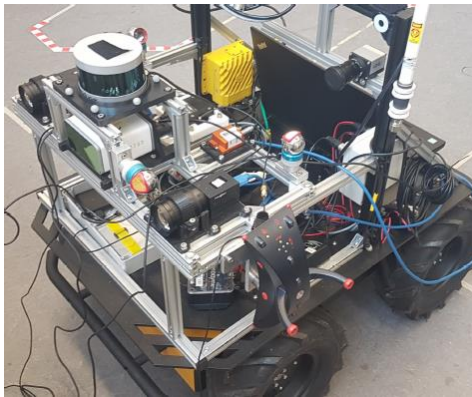
alle Abbildungen aus Stenz et al. (2017)

T-Scan5	s-TLS	k-TLS
		
152.4 mm	152.6 mm	153.0 mm

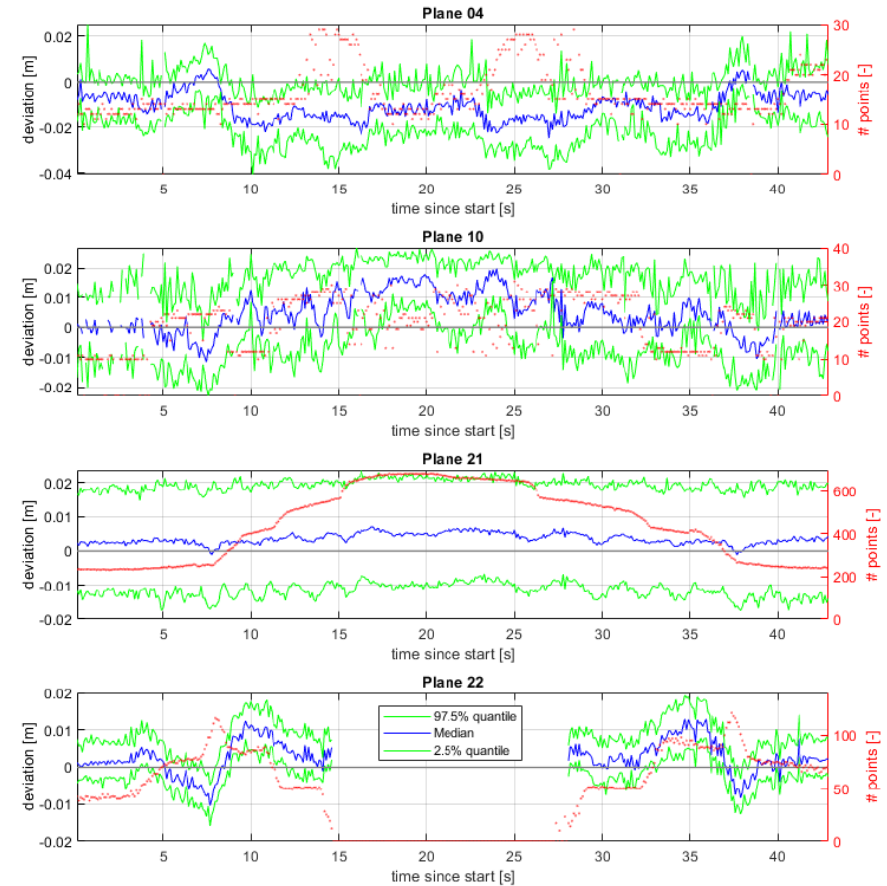
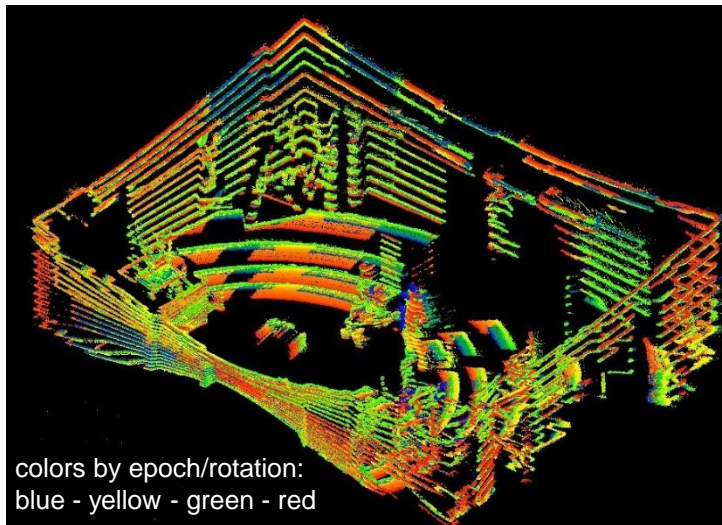
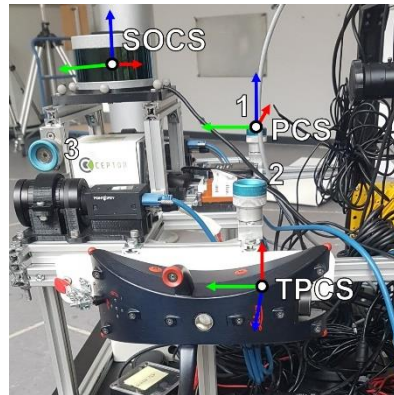
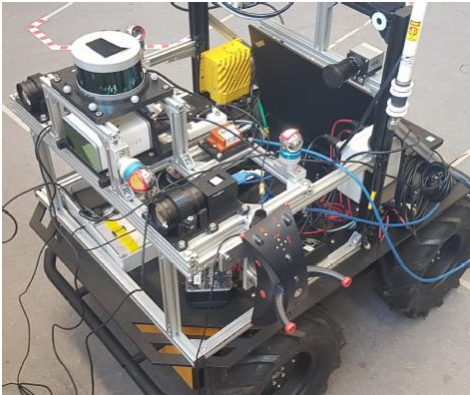
  

T-Scan5	s-TLS	k-TLS
		
220.1 mm	220.0 mm	220.5 mm





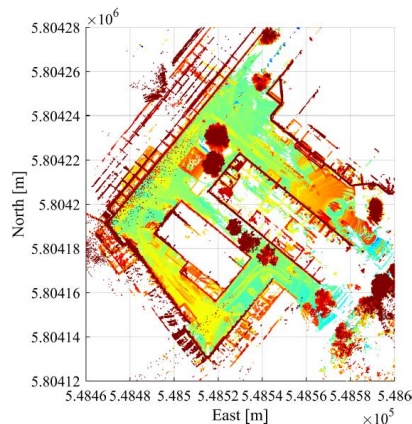
Ernst (2021)



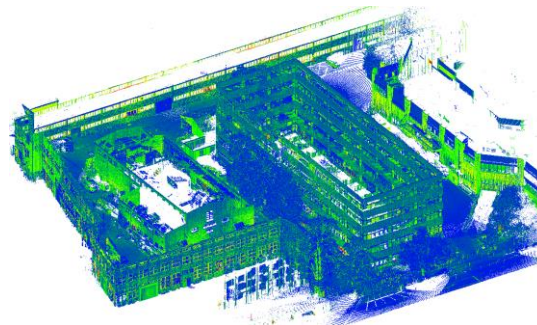
Herausforderung bei Qualitätsanalyse größerer Messvolumen (insbesondere im Außenbereich)

→ Validierung auf Basis einer 3D Punktwolke:

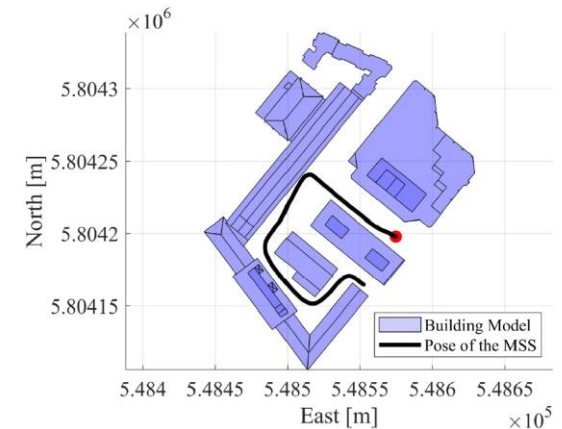
- Aufwändige Erfassung einer übergeordneten Referenzpunktwolke notwendig (TLS)
- Globaler oder epochenweiser Vergleich zwischen kinematischer und statischer Referenz



Vogel (2020)



[ProSem @GIH, 2020]



Vogel (2020)

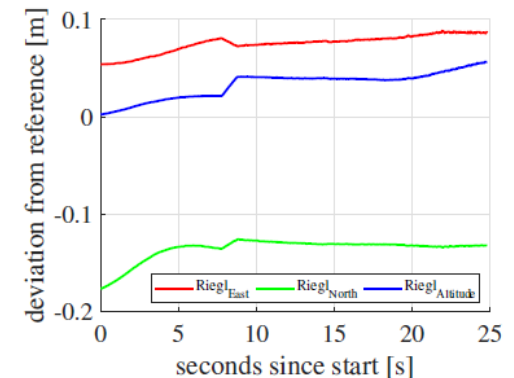
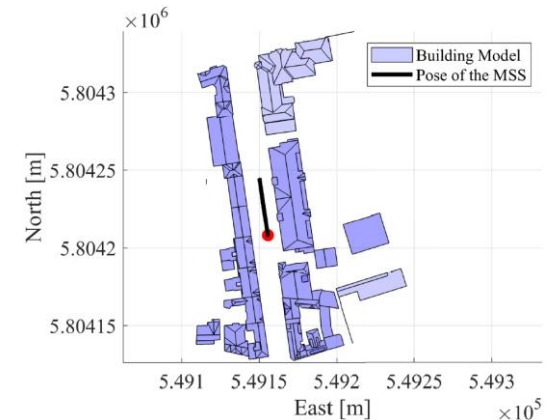




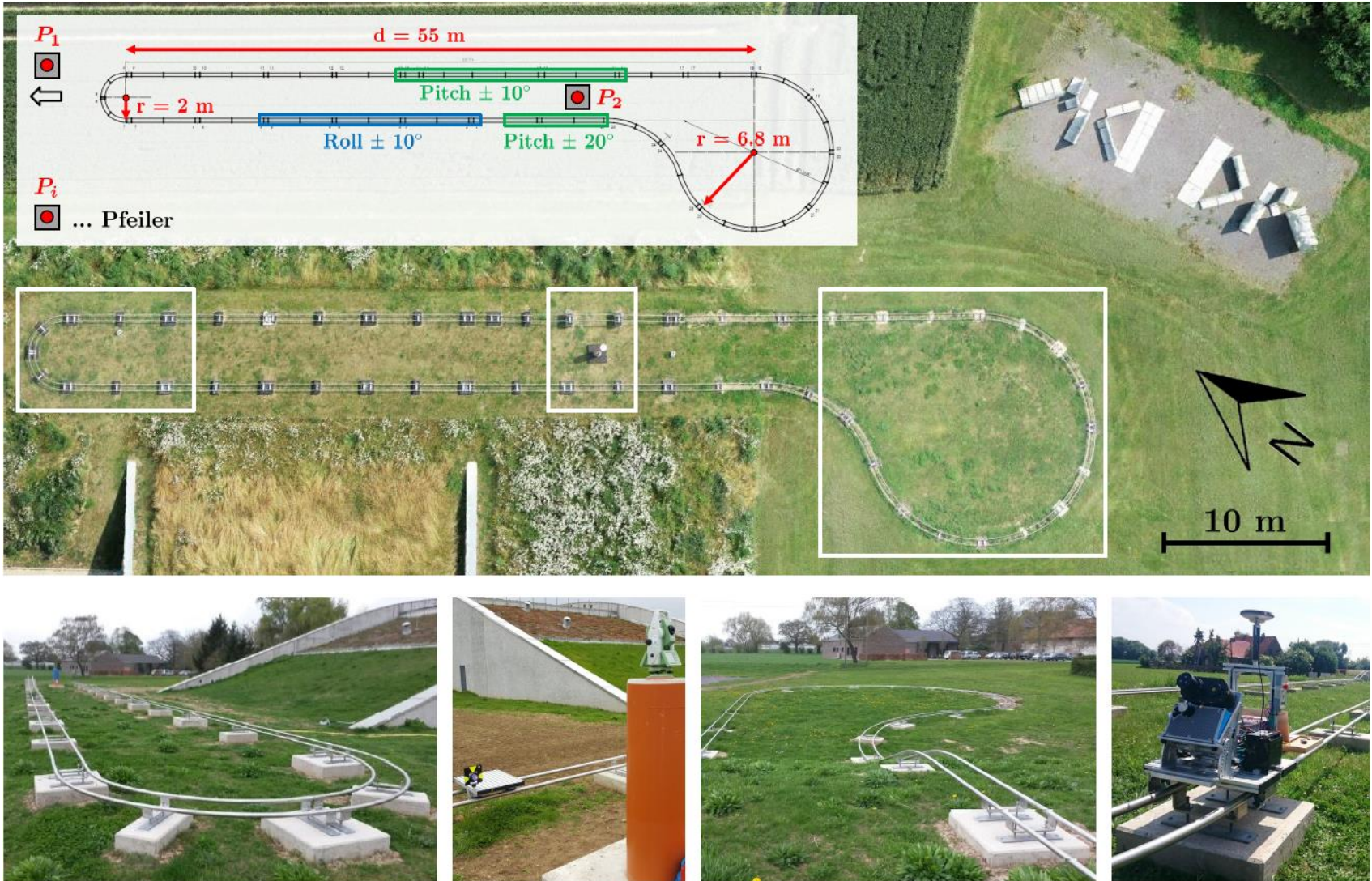
Herausforderung bei Qualitätsanalyse größerer Messvolumen (insbesondere im Außenbereich)

→ Validierung auf Basis einer Referenztrajektorie:

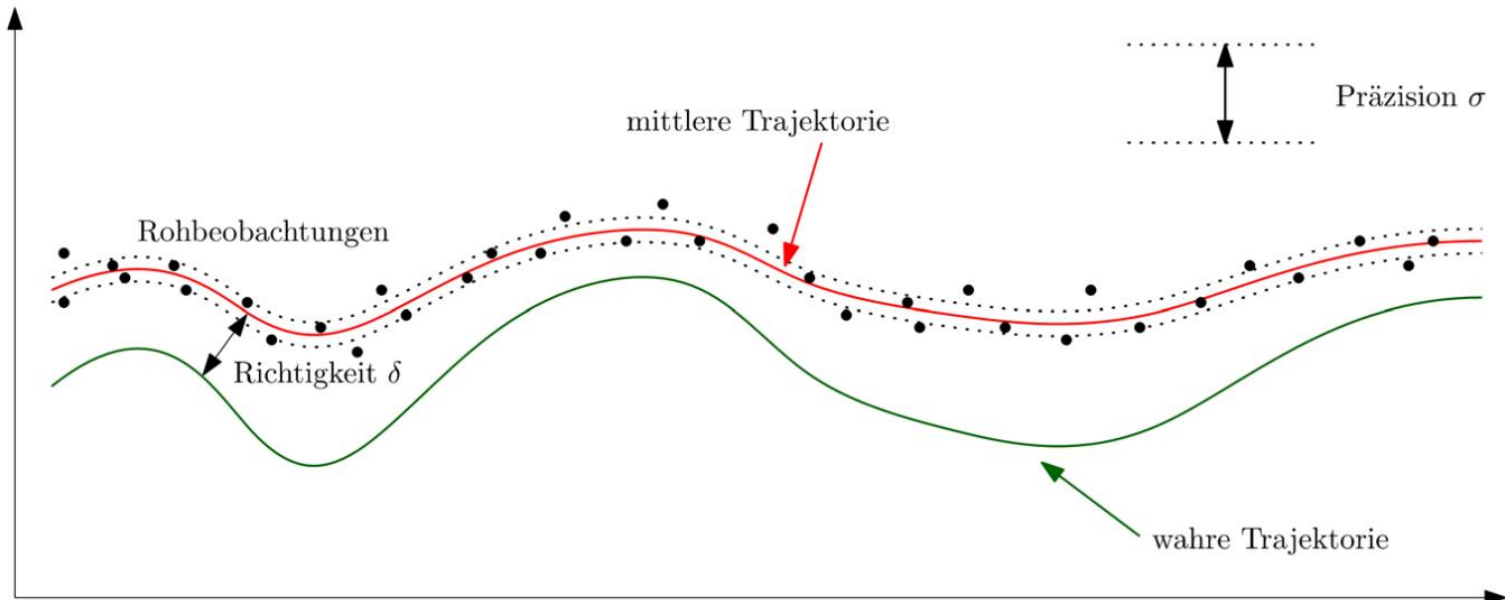
- Übergeordnete Referenztrajektorie (Totalstation, Lasertracker, GNSS-RTK, etc.) notwendig
- Genaue und zuverlässige Synchronisierung erforderlich
- Räumliche Beschränktheit bei hochgenauen Verfahren
- Nicht zwingend alle 6 Freiheitsgrade überprüfbar



alle Abbildungen aus Vogel (2020)



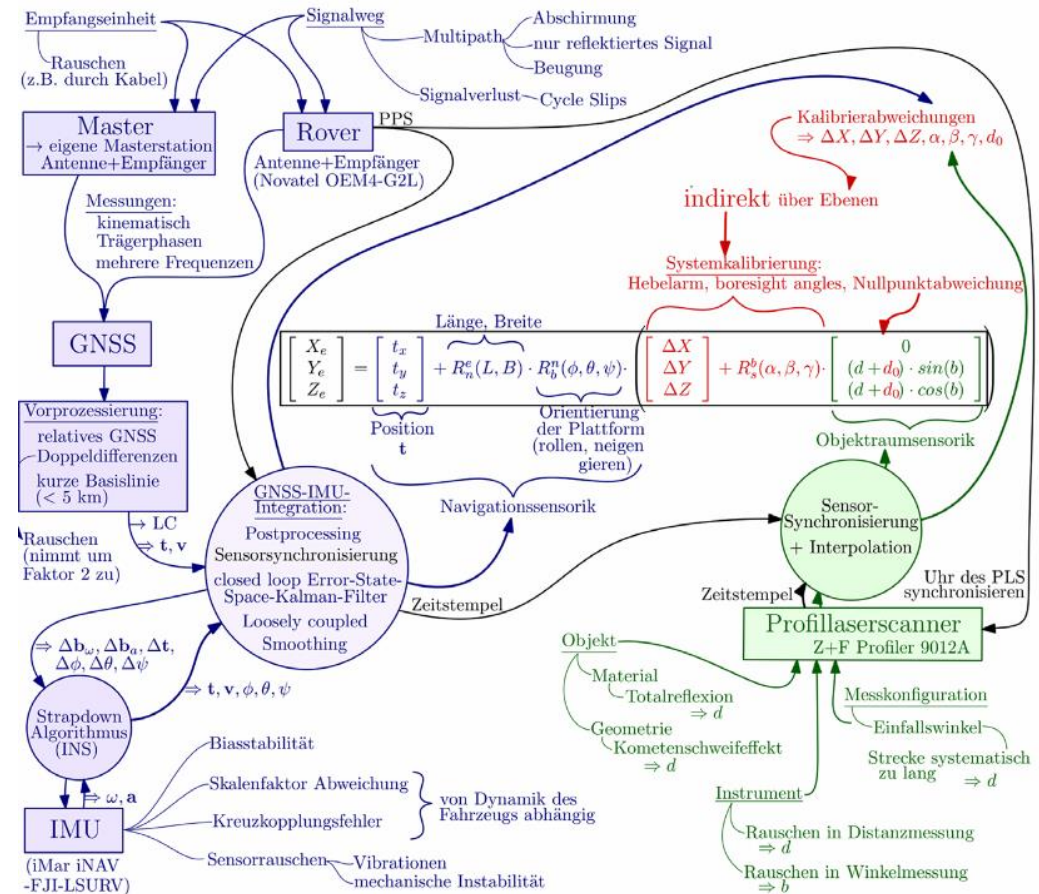


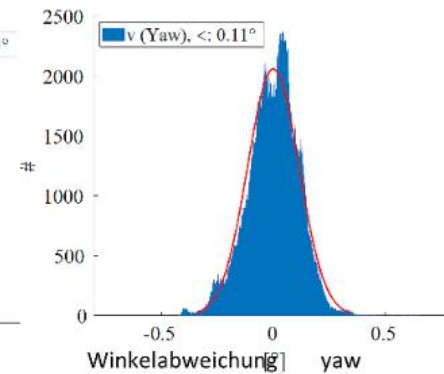
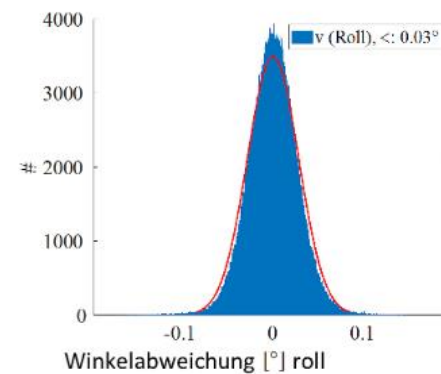
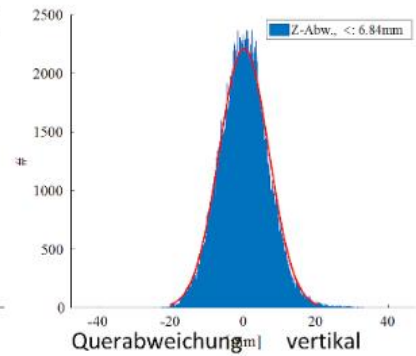
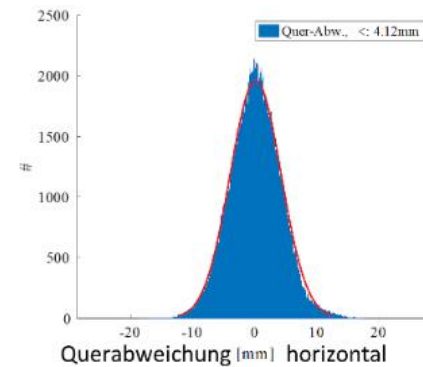
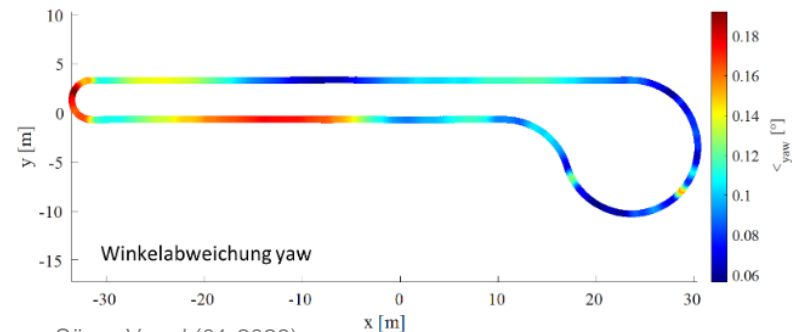
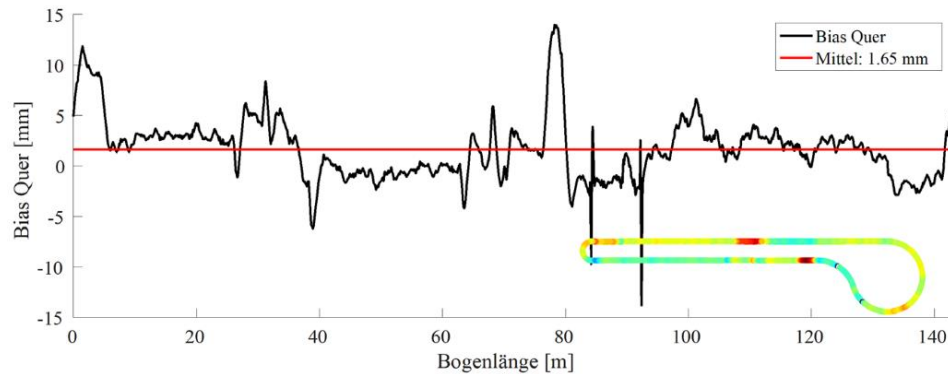
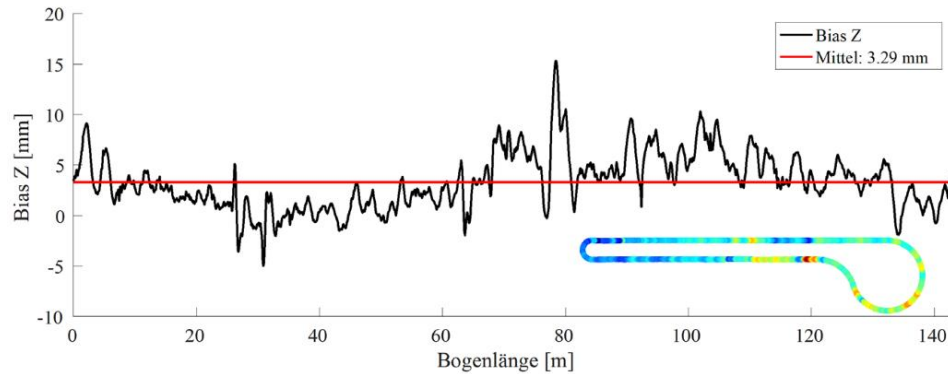


Klingbeil et al. (2022)



Heinz (2021)







- Witte, B. und Sparla, P. (2015): Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen, 8. Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg
- Rakotosaona, M. J., La Barbera, V., Guerrero, P., Mitra, N. J., & Ovsjanikov, M. (2020, February). Pointcleanet: Learning to denoise and remove outliers from dense point clouds. In Computer Graphics Forum (Vol. 39, No. 1, pp. 185-203).
- Kuhlmann, H., Hesse, C., & Holst, C. (2017). Standardabweichung vs. Toleranz. DVW-Merkblatt 12-2017.
- Paffenholz, J., Alkhatib, H., Stenz, U., & Neumann, I. (2017). Aspekte der Qualitätssicherung von Multi-Sensor-Systemen. allgemeine vermessungs-nachrichten (avn), 124(4), 79-91.
- Ernst, D. (2021): Development of a quality model for the uncertainty judgement of a kinematic TLS-based multi-sensor system. Master Thesis (unpublished). Leibniz Universität Hannover. Geodätisches Institut.
- JCGM (2008a): JCGM100: Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG1)
- JCGM (2008b). JCGM 101: Evaluation of Measurement Data - Supplement 1 to the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" - Propagation of distributions using a Monte Carlo method. Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG1).
- JCGM (100:2008): Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents. Auswertung von Messdaten – Eine Einführung zum „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ und zu den dazugehörigen Dokumenten. <https://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM1002008E.pdf> (26.11.2019).
- JCGM (104:2009): Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100, 2008; <https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung8/8.4mathematischemodellierung/8.40/JCGM1042009DE2011-03-30.pdf> (04.10.2019).
- DIN 55350-13:1987-07 Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Begriffe zur Genauigkeit von Ermittlungsverfahren und Ermittlungsergebnissen. Beuth, Berlin.
- DIN V ENV 13005:1999-06 Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen. ENV 13005. Beuth, Berlin (Vornorm wurde zurückgezogen).
- DIN V ENV 13005 Beiblatt 1: (Vornorm-Entwurf) Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen – Beiblatt 1: Fortpflanzung von Verteilungen unter Verwendung einer Monte-Carlo-Methode, deutsche Übersetzung des GUM S1, 2010. Beuth, Berlin.
- Heinz, E. (2021): Beiträge zur Kalibrierung und Evaluierung von Multisensorsystemen für kinematisches Laserscanning. Ph.D. Thesis. Bonn.
- Holst, C., Schmitz, B., Schraven, A., & Kuhlmann, H. (2017). Eignen sich in Standardsoftware implementierte Punktwolkenvergleiche zur flächenhaften Deformationsanalyse von Bauwerken? Eine Fallstudie anhand von Laserscans einer Holzplatte und einer Staumauer. Zeitschrift für Vermessungswesen zfv, 2, 2017.
- Gojcic, Z., Schmid, L., & Wieser, A. (2021). Dense 3D displacement vector fields for point cloud-based landslide monitoring. Landslides, 18(12), 3821-3832.
- Barnhart, T.B.; Crosby, B.T. Comparing Two Methods of Surface Change Detection on an Evolving Thermokarst Using High-Temporal-Frequency Terrestrial Laser Scanning, Selawik River, Alaska. Remote Sens. 2013, 5, 2813-2837.
- Lague, D., Brochu, N., & Leroux, J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (NZ). ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 82, 10-26.
- Hartmann, J., Trusheim, P., Alkhatib, H., Paffenholz, J. A., Diener, D., & Neumann, I. (2018). High accurate pointwise (geo-) referencing of a k-tls based multi-sensor-system. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-4 (2018), 4, 81-88.
- Hartmann, J., Neumann, I., Geist, M., Gierschner, F., Kenneweg, R. J., Dittrich, M.-A., Böß, V., & Hesse, C. (2018). Optimierung des Materialauftrags an Megayachten. ZfV - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 384-389.
- Ehm, M., Hesse, C. (2012): Entwicklung eines kinematischen Laserscansystems für Anwendungen im Schiffbau. In: Fraunhofer IGD, Institutsteil Rostock (Hrsg.): Go-3D 2012 Computergraphik für die Praxis 2012.
- Stenz, U.; Hartmann, J.; Paffenholz, J.-A.; Neumann, I. High-Precision 3D Object Capturing with Static and Kinematic Terrestrial Laser Scanning in Industrial Applications—Approaches of Quality Assessment. Remote Sens. 2020, 12, 290.
- Hartmann, J., Bachmann, A., Urban, B., Hesse, C., Gierschner, F., & Neumann, I. (2021). Hochgenaues kinematisches Laserscanning als Beitrag für die Qualitätssicherung in der industriellen Produktion. AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 128(4), 182-190.
- Stenz, U., Hartmann, J., Paffenholz, J. A., & Neumann, I. (2017). A Framework Based on Reference Data with Superordinate Accuracy for the Quality Analysis of Terrestrial Laser Scanning-Based Multi-Sensor-Systems. Sensors (Switzerland), 17(8), 1886.
- Vogel, S. (2020): Kalman Filtering with State Constraints Applied to Multi-sensor Systems and Georeferencing. Ph.D. Thesis. München. DGK, Reihe C. 856.
- Klingbeil, L., Tombrink, G. und Kuhlmann, H. (2022): Qualitätsanalyse in Multisensorsystemen. 213. DVW-Seminar "MST 2022 – Multisensortechnologie: Von (A)nwendungen bis (Z)ukunftstechnologien".