

## Tätigkeitsbericht GKGM 2019-2020

Im Zeitraum 1.1.2019 bis 31.12.2020 fanden fünf ordentliche Sitzungen statt, davon drei als Video-konferenz. Als besondere Arbeits- und Diskussionsschwerpunkte haben die Mitglieder der GKGM die Untersuchung und Kalibrierung terrestrischer Laserscanner ausgewählt. Die GKGM hat im Frühjahr 2019 ein kollaboratives Forschungsvorhaben unter dem Titel "Collaborative scanner test and calibration at Bonn reference wall (COLLECTOR)" gestartet, um eine breitere und den teilnehmenden Institutionen zugängliche Datenbasis für die Untersuchung der Leistungsfähigkeit und der nutzer-zentrierten Kalibrierung kommerziell erhältlicher Laserscanner zu schaffen. Aufgrund der Covid-Pandemie und der resultierenden Einschränkungen betreffend Mobilität und experimenteller Kollaboration in Präsenz mussten die Datenakquisition und damit auch die Analysen für diese Untersuchung überwiegend auf die Zeit nach 2020 verschoben werden.

Weitere Highlights der GKGM-Aktivitäten im Berichtszeitraum sind:

- Verleihung des GKGM-Preises 2019 an Dr. Christoph Holst: Herr Holst war zum Zeitpunkt der Verleihung Leiter der Forschungsgruppe «Laser Scanning and Surface Analyses» am Institut für Geodäsie und Geoinformation der Universität Bonn. Er wurde für seine herausragenden Arbeiten auf dem Gebiet der Laserscanner-Kalibrierung und Laserscanner-Untersuchung gewürdigt. Die Preisverleihung erfolgte am 2.12.2019 im Zuge des DVW-Seminars „Terrestrisches Laserscanning 2019“ in Fulda.
- Workshop „Unsicherheitsmodellierung beim Einsatz komplexer Messsysteme“: Gemeinsam mit der Sektion Ingenieurgeodäsie der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) hat die GKGM einen Workshop für intensiven fachlichen Austausch auf Stufe Professuren/Gruppenleiter organisiert. Er konnte trotz geringer, Covid-bedingter Einschränkungen von 21. bis 23.9.2020 in Bad Lauterbach, Schwarzwald, stattfinden.

Die weiteren Aktivitäten der Mitglieder im Zusammenhang mit den satzungsgemässen Zwecken der Gesellschaft sind im Folgenden aufgelistet.

### Vertretung in Gremien für Kalibrierfragen

- ISO TC 172 „Optics and Photonics“ SC 6: Dr. Pollinger und Prof. Neumann (Delegierte Deutschland); Prof. Lienhart (Delegierter Österreich)
- DIN Normenausschuss „Geodäsie und Geodätische Instrumente“ AA „Geodätische Instrumente und Geräte“: Prof. Neumann (Vorsitz seit 2014), Prof. Hennes, Dr. Pollinger, Prof. Stai-ger
- DIN Fachausschuss „Geodäsie, Geoinformatik“ AA „Geodäsie“: Prof. Heunecke
- VDI/VDE Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik, Fachausschuss 3.34 „Large Volume Metrology“: Prof. Hennes
- DVW, AK 3, „Messmethoden und Systeme“, Erstellung von Merkblättern und Organisation von Seminaren zur Qualitätssicherung von Messprozessen: Prof. Neumann (AK-Leiter), Dr.-Ing. Manfred Juretzko, Prof. Hennes

- DVW, AK 4, „Ingenieurgeodäsie“, Erstellung von Merkblättern (auch in Zusammenarbeit mit AK 3) und Organisation von Fortbildungsseminaren bzw. Intergeo-Auftritten zur Qualitätssicherung von Messprozessen aber auch von digitalen Bauprozessen unter Nutzung geodätischer Sensoren (z.B. Scan2BIM): Prof. Eichhorn (AK-Leiter)
- VDV Fachgruppe 2 „Messsysteme“, Organisation von Seminaren zur Qualitätssicherung von Messprozessen: Prof. Neumann

### **Internationale Forschungsaktivitäten**

- Anmeldung eines Patents „Verfahren zur qualitätsgesicherten Routenplanung und automatischen Sensorausrichtung für die autonome qualitätsgesicherte Objektaufnahme“ in den USA, in der EU und in Deutschland, Prof. Neumann
- Projektleitung der ISO 17123-9: Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 9: Terrestrial laser scanners (Prof. Neumann)
- EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research) JRP 18SIB01: Geometre (Large-scale dimensional measurements for geodesy). PTB/Pollinger (Koordination), <https://www.ptb.de/empir2019/geometre/home/>
- EURAMET Projekt EURAMET.L-S27: Length of stainless steel tapes. PTB/Dr. Pollinger (Leitung) <https://www.euramet.org/technical-committees>
- Collaborative scanner test and calibration at Bonn reference wall (COLLECTOR). ETHZ/Prof. Wieser (Leitung), Univ. Bonn/Prof. Kuhlmann, Dr. Holst (Leitung)

### **Nationale Forschungsaktivitäten**

- EXC 2070 PhenoRob: Robotics and Phenotyping for Sustainable Crop Production, 2019-2025, Prof. Kuhlmann (Sprecher), [www.phenorob.de](http://www.phenorob.de)
- TransMET Projekt: Interferometrisches Abstandssystem zur inline Prozesskontrolle, PTB/Dr. Pollinger (Leitung)
- DB RailLab: Multi-Sensorfusion zur sicheren Ortung von Zügen, Prof. Eichhorn
- ZIM Projekt «Welding and Milling», Einsatz von TLS in der additiven Fertigung, Prof. Eichhorn
- ZIM Projekt «Tolerance», Entwicklung UAV gestützte Absteckung von Fassadenknoten, Prof. Eichhorn
- Innosuisse 32484.1 IP-ENG: Autonomous Self-Calibration of Terrestrial Laser Scanners (ASC-TLS), Prof. Wieser (Leitung)
- SNF 200021\_184988: Augmented Capability EDM using Phase and Power Spectral Signatures, Prof. Wieser (Leitung)

### **Veranstaltung von Tagungen und Workshops**

- DVW-Seminar zu UAV 2019 – Geodäten erobern den Luftraum, 4.-5.2.2019, Berlin: Prof. Neumann (Mitorganisator)
- DVW-Seminar zur Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren, 27.-28.6.2019, Uni Stuttgart: Prof. Neumann (Mitorganisator)
- DVW-Seminar für Terrestrisches Laserscanning, 2.-3.12.2019, Fulda: Prof. Neumann (Hauptorganisator)
- DVW-Seminar zu UAV 2020 – The Sky is the Limit?, 17.-18.2.2020, Bochum: Prof. Neumann (Mitorganisator)
- 19. Internationaler Ingenieurvermessungskurs 2020, 3.-6.3.2020, TU München: Prof. Wunderlich (Veranstalter), Prof. Wieser und Prof. Lienhart (Mitveranstalter)
- Tutorial «Laserscanner-Kalibrierung» beim 19. Internationalen Ingenieurvermessungskurs 2020, 6.3.2020, TU München, Dr.-Ing. Peter Wasmeier
- Workshop „Unsicherheitsmodellierung beim Einsatz komplexer Messsysteme, 21.-23.9.2020, Bad Lauterbach: GKGM/Prof. Wieser (Mitveranstalter)
- International Conference on Digital Technologies for Sustainable Crop Production (DIGI-CROP), 1.-10.11.2020, online, Prof. Kuhlmann (Mitorganisator)
- DVW-Seminar für Terrestrisches Laserscanning, 4.12.2020, Fulda: Prof. Kuhlmann/Dr. Holst (Organisator), Prof. Eichhorn und Prof. Neumann (Mitorganisatoren)

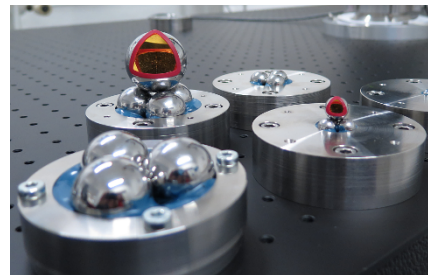
### **Teilnahme an Tagungen und Workshops**

- International Conference on Engineering Surveying, Zagreb, 2020, mehrere GKGM Mitglieder
- 19. Internationaler Ingenieurvermessungskurs 2020, 3.-6.3.2020, TU München, mehrere GKGM Mitglieder
- GeoMonitoring 2020, 12.-13.03.2020, Braunschweig, PTB/Pollinger (Poster)
- Euspen's 20th International Conference & Exhibition, 08.-12.06.2020, Virtuelle Konferenz, PTB/Pollinger (Poster)
- The International High-level Forum on High-end Measurement Instruments & 11th International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation (IFMI & ISPEMI 2020), 11. – 12.12.2020, Virtuelle Konferenz, PTB/Pollinger (Eingeladener Vortrag)

### **Aktivitäten mit praktischer Auswirkung auf Kalibrier- und Testtätigkeiten in der Fachwelt**

- Erarbeitung der ISO 17123-9: Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 9: Terrestrial laser scanners (Prof. Neumann)
- Entwicklung und Aufbau eines Prüfstandes zur Langzeitstabilitätskontrolle von Vermessungskreisel im IGMS Messlabor an der TU Graz. Vermessungskreisel ermöglichen die unabhängige Richtungskontrolle bei Tunnelvortrieben. Zur Sicherstellung der erforderlichen Genauigkeit wurde der Prüfstand an der TU Graz entwickelt und ist bereits regelmäßig zur Überprüfung der am Semmeringbasistunnel eingesetzten Instrumente in Verwendung.

- Aufbau einer Testanlage für Distributed Acoustic Sensing (DAS) Systeme. DAS Messungen ermöglichen die lückenlose Erfassung von Vibrationen entlang von Glasfaserleitungen über bis zu 50 km. Um die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Instrumente beurteilen zu können, wurde im IGMS Messlabor der TU Graz eine 40 km Messstrecke nach dem SEAFOM Dokument aufgebaut. Diese Messstrecke ermöglicht einerseits die Auswahl des geeignetsten Instrumentes für eine Messaufgabe und andererseits die Optimierung von Instrumenteneinstellungen.
- Entwicklung von Prüfverfahren für die Pose Bestimmung von VR Systemen im IGMS Messlabor an der TU Graz. Zur Beurteilung der Positions- und Orientierungsbestimmung von VR Komponenten wurden Prüfverfahren entwickelt und umgesetzt. Mit diesen Verfahren wurden die Komponenten eines kommerziellen VR Systems geprüft und Möglichkeiten zur Korrektur von systematischen Abweichungen aufgezeigt. Dies ist insbesondere wichtig, wenn reale Objekte in eine VR Umgebung eingebunden werden sollen.
- Kalibrierfeld zur Kalibrierung terrestrischer Laserscanner an der Universität Bonn in Betrieb genommen, Software zur Auswertung verfügbar
- Testfeld zur Bestimmung der Positions- und Orientierungsunterschiede von ortsverteilten Sensoren auf einer Trägerplattform an der Universität Bonn in Betrieb genommen, Software zur Auswertung verfügbar
- Adaptionen an der Laborkalibriereinrichtung für GNSS-Antennen an der Universität Bonn vorgenommen
- Präzisionsaufnahmen (Nester) für Kugelreflektoren: Entwicklung von Präzisionsaufnahmen (hubs) für kugelförmige Messmittel (Toleranz zwischen wenigen  $\mu\text{m}$  und 20  $\mu\text{m}$ ) und Untersuchungen zu Einflussfaktoren auf kommerzielle Nester am GIK/KIT
- Verbesserung des Verfahrens zur Ermittlung der Exemplarstreuung von Kugelreflektoren (Zentrierung, Rundheit) für externe Anwender. Umsetzung des Verfahrens durch Prüfung von rund 230 Reflektoren (2019-2020) am GIK/KIT
- Bestimmung der Messunsicherheit einer automatisierten Messzelle. Das Gesamtsystem beinhaltet einen Lasertracker, einen Laserscanner und ein 6D-Artefakt zur Kopplung beider Messsysteme. Das Verfahren stellt eine Messunsicherheit von weniger als 0,15 mm im Objektraum sicher. Die Entwicklung entstand in Kooperation mit einem Hersteller, der das 6D-Artefakt bereitstellte sowie die Messumgebung definierte. Das Verfahren wurde 2019 im Rahmen einer Vertraulichkeitserklärung entwickelt, die im September 2021 endet. GIK/KIT
- Untersuchung von Ansprechzeiten kommerzieller Temperatursensoren und Praxisempfehlung. GIK/KIT
- Validierung von Verfahren zur Rauigkeitsbestimmung von Klüften. Die Rauigkeiten bestimmen die Durchflussmenge und sind von essentieller Bedeutung bei der Installation geothermischer Anlagen. GIK/KIT
- Erneuerung der Nivellierlattenkalibrieranlage an der ETH Zürich. Die Lattenkalibrierung in horizontaler Lage wurde auf eine aktuelle Flächenkamera umgestellt und um einen 2D-Scanner zur gleichzeitigen Ermittlung der Lattenform erweitert; Meteoerfassung, Adapter zur Nullpunktbestimmung und Interferometerinterface wurden erneuert, die Software zur Messung und Analyse wurde neu erstellt und die Anlage durch Ringervergleich mit der TU München überprüft.



## Publikationen

- Bauer P, Jost S, Lienhart W (2020) Beurteilung der Eignung eines VR-Systems als 3D Koordinatenmesssystem. Proc.: Ingenieurvermessung 20, Beiträge zum 19. Internationalen Ingenieurvermessungskurs München, 2020, Wunderlich, T (Hrsg.), Wichmann Verlag: 15-28
- Chaudhry, S, Salido-Monzú, D, Wieser, A (2019) Simulation of 3D laser scanning with phase-based EDM for the prediction of systematic deviations. Modeling Aspects in Optical Metrology VII, 110570H, <https://doi.org/10.1117/12.2526043>
- Hale, S; Naab, C; Butscher, C; Blum, P (2020) Method Comparison to Determine Hydraulic Apertures of Natural Fractures. Rock mechanics and rock engineering, 53, 1467–1476, 10.1007/s00603-019-01966-7
- Hartmann, J; Gösseln, I von; Schild, N; Dorndorf, A; Paffenholz, JA; Neumann, I (2019) Optimisation of the calibration process of a k-tls based multi-sensor-system by genetic algorithms. In: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLII-2/W13, S. 1655–1662, 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1655-2019
- Hartmann, J; Gösseln, I von; Schild, N; Dorndorf, A; Paffenholz, JA; Neumann, I (2019) Optimisation of the calibration process of a k-tls based multi-sensor-system by genetic algorithms. In: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLII-2/W13, S. 1655–1662, 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1655-2019
- Heinz, E; Holst, Ch; Kuhlmann, H (2019) The Impact of Spatial Resoution and Different Quality Levels on the Modeling Accuracy of a Plane Using Terrestrial Laser Scanning. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Wichmann Verlag, 126. Jg., Heft 1-2, S. 3-12
- Heinz, E; Klingbeil, L; Kuhlmann, H (2020) Aufbau einer Einrichtung zur Kalibrierung und Evaluierung von Mobile-Mapping-Systemen. Ingenieurvermessung 20: Beiträge zum 19. Internationalen Ingenieurvermessungskurs München, 2020. Thomas A. Wunderlich (Hrsg.) Heidelberg: Wichmann-Verlag, S. 113-126
- Heinz, E; Holst, C; Kuhlmann, H; Klingbeil, L (2020) Design and Evaluation of a Permanently Installed Plane-Based Calibration Field for Mobile Laser Scanning Systems. Remote Sensing, 12, 555, 2020
- Janßen, J; Holst, C; Kuhlmann, H (2019) Zielzeichenbasierte Registrierung von Laserscans: Erhöhung der Genauigkeit durch Algorithmus und Zielzeichendesign. Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik: Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2019, Wichmann, Berlin, pp. 59-70
- Janßen, J; Holst, Ch; Kuhlmann, H (2019) TLS-Kalibrierung: in-situ und/oder a priori? In: Terrestrisches Laserscanning 2019 (TLS 2019). Schriftenreihe des DVW 96, 2019 pp 89-104, Wißner, Augsburg
- Janßen, J; Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2019) Decreasing the Uncertainty of the Target Center Estimation at Terrestrial Laser Scanning by Choosing the Best Algorithm and by Improving the Target Design. Remote Sensing, (11) 7, 845
- Janßen, J; Kuhlmann, H; Holst, C (2020) Assessing the Temporal Stability of Terrestrial Laser Scanners During Long-Term Measurements. In: Kopáčík A., Kyrinovic, P., Erdélyi

- J., Paar R., Marendic; A. (eds) Contributions to International Conferences on Engineering Surveying. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7_6)
- Juretzko, M (2019) Tachymeterprüfung nach DVW-Merkblatt und Alternativen. Beiträge zum 189, DVW-Seminar, 27-28. Juni, Stuttgart
- Kermarrec, G; Neumann, I; Alkhatib, H; Schön, S (2019) The stochastic model for Global Navigation Satellite Systems and terrestrial laser scanning observations: A proposal to account for correlations in least squares adjustment. Journal of Applied Geodesy, Band 13, Heft 2, S. 93-104, 10.1515/jag-2018-0019
- Liu Y, Röse A, Prellinger G, Köchert P, Zhu J, Pollinger F (2020) Combining Harmonic Laser Beams by Fiber Components for Refractivity–Compensating Two-Color Interferometry, Journal of Lightwave Technology 38, 1945-1952, <http://dx.doi.org/10.7795/720.20200618>
- Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2019) Sensitivity Analysis and Minimal Measurement Geometry for the Target-Based Calibration of High-End Panoramic Terrestrial Laser Scanners. Remote Sensing, (11) 13, 1519
- Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2019) Empirical stochastic model of detected target centroids: Influence on registration and calibration of terrestrial laser scanners. Journal of Applied Geodesy 2019; vol. 13(3), pp. 179–198, de Gruyter, Berlin/Boston
- Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2019) Automatic in-situ self-calibration of a panoramic TLS from a single station using 2D keypoints. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf Sci, IV-2/W5, 1-1, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W5-1-2019>
- Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2019) Improving the Results of Terrestrial Laser Scanner Calibration by an Optimized Calibration Process. Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik: Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2019, Wichmann, Berlin, pp. 36-50
- Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2020) Designing and evaluating a user-oriented calibration field for the target-based self-calibration of panoramic terrestrial laser scanners. Remote Sensing, 12(1), 15
- Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2020) A priori vs. in-situ terrestrial laser scanner calibration in the context of the instability of calibration parameters. In: Kopáček A., Kyrinovic; P., Erdélyi J., Paar R., Marendic; A. (eds) Contributions to International Conferences on Engineering Surveying. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7_5)
- Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2020) Empirical evaluation of terrestrial laser scanner calibration strategies: manufacturer-based, target-based and keypoint-based. In: Kopáček A., Kyrinovic; P., Erdélyi J., Paar R., Marendic; A. (eds) Contributions to International Conferences on Engineering Surveying. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7_4)
- Medic, T; Kuhlmann, H; Holst, C (2020) Optimizing the Target-based Calibration Procedure of Terrestrial Laser Scanners. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN) 127(1): 18-27
- Monsberger CM, Lienhart W (2019) Design, Testing, and Realization of a Distributed Fiber

- Optic Monitoring System to Assess Bending Characteristics Along Grouted Anchors, *Journal of Light Wave Technology* 37 (2019): 4603–4609, <https://doi.org/10.1109/JLT.2019.2913907>
- Neumann, I, Alkhatib, H (2019) Normen, Richtlinien und Merkblätter für die Qualitätssicherung in der Geodäsie, *Hydrographische Nachrichten*, In: DVW e. V. (Hg.): Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren. DVW-Schriftenreihe, Band 95, Wißner-Verlag, Augsburg, 2019, S. 31-38
- Neumann, I, Kreinovich V; Nguyen, TN (2020, online first) How to Gauge a Combination of Uncertainties of Different Type: General Foundations. In: Sriboonchitta, S.; Kreinovich, V. and Yamaka, W. (eds.): *Behaviorial Predictive Modeling in Economics*, Springer, Cham, Switzerland, pp. 195-201
- Omidalizarandi, M; Kargoll, B; Paffenholz, JA.; Neumann, I (2019) Robust external calibration of terrestrial laser scanner and digital camera for structural monitoring. *Journal of Applied Geodesy*, Jg. 13, Heft 2, S. 105-134, [10.1515/jag-2018-0038](https://doi.org/10.1515/jag-2018-0038)
- Pollinger F (2020) Refractive index of air. 2. Group index: comment, *Applied Optics* 59, 9771-9772, <http://dx.doi.org/10.1364/AO.400796>
- Pollinger F (2020) CiddorPy: Python functions for phase and group refractive index in air, Figshare, <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.12515320.v1>
- Röse A, Liu Y, Köchert P, Prellinger G, Manske E, Pollinger F (2020) Modulation-based long-range interferometry as basis for an optical two-color temperature sensor. In: *Proceedings of the Euspen's 20th International Conference & Exhibition, Virtual International Conference, Virtual Conference, 08-12, June*, <http://dx.doi.org/10.7795/EM-PIR.18SIB01.CA.20200818>
- Salido-Monzu D, Wieser A (2019) An approach to combined multispectral reflectorless distance measurement and material probing. *Proc SPIE Optical Metrology*, 110561Q, <https://doi.org/10.1117/12.2525841>
- Salido-Monzu D, Wieser A (2019) An Instrumental Basis for Multispectral Lidar With Spectrally-Resolved Distance Measurements. *ISPRS Archives, XLII(2/W13)*, 1121-1126, <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000351611>
- Schill, F, Eichhorn, A (2019) Monitoring of supporting structures with profile laser scanning. *Journal of Geodesy, Cartography and Cadastre*, 9 S. 1-12. ISSN 1454-1408
- Schill, F, Eichhorn, A (2019) Deformation Monitoring of Railway Bridges with a Profile Laser Scanner. In: *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (ZfV)*, Heft 2/2019, Wißner, 109 – 118
- Schill, F, Eichhorn, A (2019) Profilschanning bei Belastungsversuchen an einer Mauerwerksbrücke. In: Hanke, K. / Weinold T. (Hrsg.): *Proceedings 20. Internationale Geodätische Woche Obergurgl, Wichmann*
- Schill, F, Sviridova, A, Eichhorn, A (2019) Deformation monitoring of noise barriers with profile laser scanning. In: *Proceedings 4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*, Athens
- Schill, F, Hirsch, M, Eichhorn, A (2019) Überwachung von Tragwerken mit Profilschannern. In: Curbach, M. / Opitz, H. / Scheerer, S. / Hampel, T. (Hrsg.): *Tagungsband 10. Sym-*

- posium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden, Heft 48
- Schill, F, Eichhorn, A (2020) Monitoring mit Profilsclannern. Terrestrisches Laserscanning 2020 (TLS 2020), Digitale Videokonferenz, 04.12., Konferenzveröffentlichung
- Schmid, L, Salido-Monzú, D, Wieser, A (2019) Accuracy assessment and learned error mitigation of UWB ToF ranging. Proc IPIN 2019, Pisa, Italy, Sept 30 - Oct 3, 8911769, <https://doi.org/10.1109/IPIN.2019.8911769>
- Schmitz, B; Holst, C; Medic, T; Lichti, DD; Kuhlmann, H (2019) How to Efficiently Determine the Range Precision of 3D Terrestrial Laser Scanners. Sensors 19(6), 1466
- Schmitz, B; Coopmann, D; Kuhlmann, H; Holst, C (2020) Using the Resolution Capability and the Effective Number of Measurements to Select the "Right" Terrestrial Laser Scanner. In: Kopáček A., Kyrinovic; P., Erdélyi J., Paar R., Marendic; A. (eds) Contributions to International Conferences on Engineering Surveying. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51953-7_7)
- Schmitz, B; Kuhlmann, H; Holst, C (2020) Investigating the Resolution Capability of Terrestrial Laser Scanners and its Impact on the Effective Number of Measurements. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 159, pp. 41-52
- Stenz, U; Hartmann, J; Paffenholz, JA; Neumann, I (2020) High-Precision 3D Object Capturing with Static and Kinematic Terrestrial Laser Scanning in Industrial Applications - Approaches of Quality Assessment. In: Remote Sensing 12(2), 290, 10.3390/rs12020290
- Strübing, T, Lochner, W (2019) 3D-Vermessung unzugänglicher Hohlräume und Schächte im Salzbergwerk Berchtesgaden. In: TLS 2019, DVW-Schriftenreihe Band 96, S. 163-174
- Sviridova, A, Schill, F, Eichhorn, A (2019) Raumzeitliches Tragwerksmonitoring mittels Profil-Scannern. VDI/VDE-GMA Fachausschuß 2.12 „Strukturanalyse und -überwachung in der Bautechnik“, Esch-sur-Alzette
- Villiger, A; Prange, L; Dach, R; Zimmermann, F; Kuhlmann, H; Jäggi, A (2019) Comparison of robot and chamber based receiver calibrated antenna pattern for TRF scale determination. AGU Fall Meeting 2019, 9 - 13 December
- Villiger, A; Prange, L; Dach, R; Zimmermann, F; Kuhlmann, H; Jäggi, A (2019) Satellite and receiver chamber calibrated antenna pattern for TRF scale determination. 7th International Colloquium on Scientific and Fundamental Aspects of GNSS 4-6 September, Zurich, Switzerland
- Villiger, A; Prange, L; Dach, R; Zimmermann, F; Kuhlmann, H; Jäggi, A (2019) Satellite and receiver chamber calibrated antenna pattern for TRF scale determination. Galileo Science Colloquium, Zurich
- Villiger, A; Prange, L; Dach, R; Zimmermann, F; Kuhlmann, H; Jäggi, A (2019) GNSS scale determination using chamber calibrated ground and space antenna pattern. Geophysical Research Abstracts Vol. 21, EGU2019-9088, EGU General Assembly
- Villiger, A; Dach, R; Schaer, S; Prange, L; Zimmermann, F; Kuhlmann, H; Wübbena, G; Schmitz, M; Beutler, G; Jäggi, A (2020) GNSS scale determination using calibrated



receiver and Galileo satellite antenna patterns. Journal of Geodesy, vol. 94: 93, 2020, <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01417-0>

Wehner, A (2020) Hochgenaue automatische Punktabsteckung für Industrieranwendungen. In: T Wunderlich (Hrsg.) Beiträge zum 19. Internationalen Ingenieurvermessungskurs, München. S. 479-491. ISBN 978-3-87907-672-7

Wieser, A, Paffenholz, JA, Neumann, I (2019) Sensoren, Features und Physik – Zum aktuellen Stand der Entwicklung bei Laserscannern. Proc DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2019, DVW-Schriftenreihe 96, 9-22

Yang R, Pollinger F, Hu P, Yang H, Fu H, Fan Z, Tan J (2020) Analysis of a highly efficient phase-locking stabilization method for electro-optic comb generation, Applied Optics 59, 4839-4848, <https://doi.org/10.1364/AO.389138>

Zhao, X; Kermarrec, G; Kargoll, B; Alkhatib, H; Neumann, I (2019) Influence of the simplified stochastic model of TLS measurements on geometry-based deformation analysis, Journal of Applied Geodesy, Band 13, Heft 3, 10.1515/jag-2019-0002

Zimmermann F, Schmitz B, Klingbeil F, Kuhlmann H (2019) GPS Multipath Analysis using Fresnel Zones. Sensors, 19(1), 25