

Tätigkeitsbericht GKGM 2021-2023

Im Zeitraum 1.1.2021 bis 31.12.2023 fanden fünf ordentliche Sitzungen der GKGM statt (fortlaufende Nummern 20-24), alle in Form von Videokonferenzen. Darüber hinaus hat die GKGM drei thematisch fokussierte Workshops organisiert und durchgeführt, einen davon online (31.8.2021, „TLS-Kalibrierung“) und zwei als Präsenzveranstaltungen (8.12.2022, „Basics and principles of LiDAR-technology“; 4.12.2023, „Uncertainty quantification of point clouds“). An diesen Workshops haben außer Mitgliedern der GKGM auch Teilnehmende der COLLECTOR Initiative sowie speziell eingeladene Fachexpertinnen und -experten teilgenommen.

Während der Berichtsperiode lag ein besonderer Arbeits- und Diskussionsschwerpunkt weiterhin auf der Untersuchung und Kalibrierung terrestrischer Laserscanner. Das von der GKGM im Frühjahr 2019 initiierte kollaborative Forschungsvorhaben „Collaborative scanner test and calibration at Bonn reference wall (COLLECTOR)“ war zunächst durch die Covid-Pandemie verzögert worden, konnte ab 2021 jedoch durchgeführt und 2023 abgeschlossen werden. Neben dem produktiven Erfahrungsaustausch mit allen Teilnehmenden in wissenschaftlichen Online-Meetings, die etwa alle 3 Monate stattfanden, hat dieses Projekt mit finanzieller Unterstützung durch die GKGM einen umfangreichen und für zukünftige Forschungsarbeiten nützlichen Datensatz sowie zahlreiche praktische Erkenntnisse ergeben. Letztere sind unter anderem in einem Überblicksartikel (Wieser et al. 2022) und in weiteren Fachartikeln (z.B. Koller et al., 2022) eingeflossen. Die Daten wurden bereits in weiterführenden Untersuchungen oder als Ausgangspunkt für solche genutzt, z.B. in Jost et al. (2023), oder Schill et al. (2022).

Weitere Highlights der GKGM-Aktivitäten im Berichtszeitraum sind:

- Verleihung des GKGM-Preises 2021 an Prof. Cornelia Eschelbach und Dr. Michael Lösler: Die Auszeichnung würdigt die Beiträge zur geometrischen Charakterisierung von geodätischen Radioteleskopen und zur Referenzpunktbestimmung. Die beiden Preisträger haben eine international anerkannte Vorreiterrolle bei der dynamischen Referenzpunktmessung. Die von ihnen entwickelten Methoden kommen an vielen geodätischen Fundamentalstationen in Europa bereits zum Einsatz und tragen wesentlich zur Rückführbarkeit internationaler geodätischer Referenzrahmen bei. Die Preisverleihung erfolgte am 25.11.2021 im Zuge der DGK Jahrestagung, die in hybrider Form an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und als Videokonferenz abgehalten wurde.
- Verleihung des GKGM-Preises 2022 an Dr. Tomislav Medic: Mit einer beeindruckenden Breite sorgfältig geplanter und durchgeführter Experimente sowie daraus abgeleiteter Erkenntnisse und Vorschläge hat Herr Medic den wissenschaftlichen Kenntnisstand im Bereich der Kalibrierung und Unsicherheitsmodellierung terrestrischer Laserscanner erheblich erweitert. Dabei hatte er ständig die praktische Umsetzung auch außerhalb von Kalibrier- und Prüfinstitutionen im Blick. Diese Arbeiten sind in mehr als 15 Veröffentlichungen dokumentiert. Die Preisverleihung erfolgte am 9.11.2023 im Zuge des Doktorandenseminars der DGK Abteilung Ingenieurgeodäsie, an der ETH Zürich.
- Verleihung des GKGM-Preises 2023 an Dr. Slaven Kalenjuk: Der Einsatz mobiler Multisensorsystemen für geodätische Deformationsmessungen setzt eine genaue Kenntnis der systematischen und zufälligen Einflussgrößen und deren richtige Handhabung voraus. Mit dem Preis würdigte die GKGM die wertvollen wissenschaftlichen Beiträgen von Herrn Kalenjuk im Zusammenhang mit der Systemüberprüfung, Kalibrierung und Optimierung solcher Messsysteme. Insbesondere hat er sich um die Bestimmung und Korrektur systematischer Abweichungen, die Qualitätsverbesserung durch Streifenausgleichung, und die Vorhersage der zu erwartenden Präzision verdient gemacht. Die Preisverleihung erfolgte am 5.12.2023 im Zuge des DVW Seminars „Next Level TLS“ in Fulda.

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

Vertretung in Gremien für Kalibrierfragen

- Geodesy Advisory Board für den Future Circular Collider (FCC-GAB) des CERN, CERN, Schweiz/Frankreich: Prof. Wieser (Vorsitz)
- DIN Fachausschuss „Geodäsie, Geoinformatik“ AA „Geodäsie“: Prof. Heunecke (Arbeiten zur Neuausgabe der Normenreihe DIN 18710 Ingenieurgeodäsie in 2024)
- DVW AK8 “Mobile und autonome Sensorsysteme”, Organisation von Fortbildungsseminaren und Austauschplattformen von Fachkollegen und -kolleginnen zur Qualitätssicherung von Laserscans und zur Evaluation von Punktwolken: Prof. Holst (Leitung)
- TUM Leonhard Obermeyer Center for Digital Methods in the Built Environment, Teilnahme und Leitung verschiedener Diskussionsplattformen mit wissenschaftlichen und industriellen Partnern über die Genauigkeit von Scansystemen und resultierenden Punktwolken: Prof. Holst
- 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 bis 2023), Dr. Pollinger (Vorsitz ab 2023)

Internationale Forschungsaktivitäten

- Collaborative scanner test and calibration at Bonn reference wall (COLLECTOR). TUM/Prof. Holst & ETHZ/Prof. Wieser (Leitung); weitere beteiligte GKGM Mitglieder: Univ. Bonn/Prof. Kuhlmann, TU Graz/Lienhart, LUH/Prof. Lienhart, PTB/Dr. Pollinger
- 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/>
- EMPIR JRP 20IND02: DynaMITE (Dynamic applications of Metrology in Industry of Tomorrow Environments). PTB/Pollinger (WP Lead) <https://empir.npl.co.uk/dynamite/>
- EURAMET Projekt EURAMET.L-S27: Length of stainless steel tapes. PTB/Dr. Pollinger (Leitung) <https://www.euramet.org/technical-committees>
- EURAMET Projekt #1572: EURAMET Technical Guide on GNSS distance metrology. PTB/Dr. Pollinger (Leitung) <https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/project/euramet-technical-guide-on-gnss-distance-metrology>
- Projektleitung der ISO 17123-11: Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 11: GNSS instruments. PTB/Dr. Pollinger

Nationale Forschungsaktivitäten

- EXC 2070 PhenoRob: Robotics and Phenotyping for Sustainable Crop Production, 2019-2025, Prof. Kuhlmann (Sprecher), www.phenorob.de
- FOR 5455 TLS-Defo: Deformationsanalyse mit Messungen terrestrischer Laserscanner,

2023-2027, Prof. Kuhlmann (Sprecher,) Prof. Holst, Prof. Neumann

- SNF 200021_184988: Augmented Capability EDM using Phase and Power Spectral Signatures, Prof. Wieser (Leitung)
- CHART (Swiss Accelerator Research and Technology) Projekt: FCC Geodesy, ETHZ/Prof. Wieser (Leitung)
- BMBF WObES: Weitergehende Optimierung von Druckbelüftungssystemen in Kläranlagen: Teilprojekt UAS-gestützte 3D-Modellierung von dynamischen Flüssigkeitsoberflächen, Prof. Eichhorn
- BMBF, Almon5.0: Real-time monitoring of gravitational mass movements for critical infrastructure risk management with AI-assisted 3D metrology, Prof. Holst
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, AlpSenseRely: Alpine remote sensing of climate-induced natural hazards, Prof. Holst

Veranstaltung von Tagungen und Workshops

- 20. Internationaler Ingenieurvermessungskurs 2023, 11.-14.4.2023, ETH Zürich: Prof. Wieser (Veranstalter), Prof. Lienhart und Prof. Holst (Mitveranstalter)
- DVW-Seminar für Terrestrisches Laserscanning, 29./30.11.2021, online: Prof. Holst, Prof. Neumann, Prof. Kuhlmann, Prof. Eichhorn
- DVW-Seminar für Terrestrisches Laserscanning, 08./09.12.2022 Fulda: Prof. Holst (Leitung), Prof. Neumann, Prof. Kuhlmann, Prof. Eichhorn
- DVW-Seminar für Terrestrisches Laserscanning, 04./05.12.2023 Fulda: Prof. Holst, Prof. Neumann (Leitung)
- DVW-AK8-Workshop "Evaluation von mobilen Multisensorsystemen, 30.11.2023, Bonn: Prof. Holst (Leitung)
- Center Day des TUM Leonhard Obermeyer Center, 03.11.2023, München: Prof. Holst

Teilnahme an Tagungen und Workshops

- 20. Internationaler Ingenieurvermessungskurs 2023, 11.-14.4.2024, ETH Zürich, mehrere GKGM Mitglieder
- Intergeo Conference 2022, 18.-20.10.2022, Essen, mehrere GKGM-Mitglieder
- Intergeo Conference 2023, 10.-12.10.2023, Berlin, mehrere GKGM-Mitglieder
- 5th Joint International Symposium on Deformation Monitoring, 6.-8.4.2022 Valencia, Spanien, mehrere GKGM Mitglieder
- IAG 2021 -Scientific Assembly of the International Association of Geodesy, 28.6.-2.7.2021, Beijing, China, PTB/Pollinger
- Reference Frames for Applications in Geosciences (REFAG 2022), 17.-20.10.2022, Thessaloniki,, Griechenland, PTB/Pollinger

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

- Kalibrierfeld zur Kalibrierung terrestrischer Laserscanner an der Universität Bonn in Betrieb

genommen, Software zur Auswertung verfügbar

- Schienenbahn zur Qualitätsanalyse der Trajektorienschätzung kinematische Multi-Sensor-Systeme an der Universität Bonn in Betrieb genommen, Software zur Auswertung verfügbar
- Methode und Testfeld zur Qualitätsanalyse von UAV-based Laserscanning an der Universität Bonn entwickelt
- 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
- Entwicklung eines automatisierten Neigungstisches zur Prüfung von Neigungssensoren an der Universität der Bundeswehr, München: Abgriff der Sollneigungen durch ein interferometrisches Messprinzip mit der Möglichkeit der rechnergestützten Vorgabe von Neigungszyklen. Die Arbeiten und Untersuchungen sind Bestandteil einer laufenden Dissertation.
- Automatisierte Temperaturkalibrierung von Vermessungskreiseln an der Universität der Bundeswehr, München: Untersuchungen zur Bestimmung und zur (Langzeit)Stabilität der Temperaturkalibrierung von Kreiseln im Geod. Labor mit angeschlossener Klimakammer im Temperaturspektrum von ca. -10°C bis $+40^{\circ}\text{C}$. Untersuchungen sind, zusammen mit Betrachtungen zur Langzeitstabilität des Eichwertes, Bestandteil einer laufenden Dissertation.
- Entwicklung und Erprobung spezieller Kalibrier- und Prüfroutinen im Zusammenhang mit der Entwicklung von automatisierten Messsystemen im Rahmen von Vorhaben am Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr, München
- Entwicklung und Inbetriebnahme einer Prüfanlage für die Untersuchung zyklischer Distanzabweichungen an terrestrischen Laserscannern an der ETH Zürich.
- Entwicklung von Prüfkörpern und Auswertestrategien zur Qualitätsanalyse von Laserscannern (Böhler-Stern, Intensitätsnormal) an der TU München
- Überarbeitung der Ablaufs zur temperaturabhängigen horizontalen und vertikalen Kalibrierung von Nivellierlatten an der TU München
- Entwicklung von Methoden und Messabläufen zur Evaluation von Punktwolkengenauigkeiten statischer und mobiler Laserscanner an der TU München
- Durchführung eines Ringversuchs mit 8 verschiedenen Laserscannern des Typs Z+F Imager 5016 zur Ableitung eines generellen intensitätsbasierten stochastischen Modells an der TU München
- Weiterentwicklung eines interferenziellen Primärnormals zur SI-rückführbaren Bestimmung von Distanzen bis zu 5 km: PTB
- Entwicklung eines selbstnachführenden Mehrwelleninterferometers zur Kalibrierung von Groß-Koordinatenmessgeräten: PTB
- Entwicklung eines Prüfstandes zur Kalibrierung von Triangulations-basierten Entfernungsmesssystemen: PTB
- DKD Ringvergleich zur Kalibrierung von kommerziellen Maßbändern: PTB

Publikationen

- Chaudhry, Sukant, David Salido Monzú, and Andreas Wieser. 2021. "A Modeling Approach for Predicting the Resolution Capability in Terrestrial Laser Scanning." *Remote Sensing* 13 (4). <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000469492>.
- Dreier, A.; Jost, B.; Kuhlmann, H.; Klingbeil, L.: Investigations of the scan characteristics with special focus on multi-target capability for the 2D laser scanner RIEGL miniVUX-2UAV. *Journal of Applied Geodesy*, Vol. 18, No. 1, pp. 97-113, 2024. <https://doi.org/10.1515/jag-2022-0029>
- Dreier, A.; Kuhlmann, H.; Klingbeil, L.: Quality investigation of UAV-based laser scanning with detailed study of multi-target capability. In: Wieser, A. (Hrsg.): *Ingenieurvermessung 23, Beiträge zum 20. Internationalen Ingenieurvermessungskurs*, Zürich, Schweiz, Wichmann Verlag, Berlin, Offenbach, 2023
- Dreier, A.; Tombrink, G.; Klingbeil, L.; Kuhlmann, H.: Direkte Georeferenzierung beim UAV Laserscanning – Qualitätsuntersuchung im Bereich des Monitorings. In *Terrestrisches Laserscanning 2023 (TLS 2023)*
- Dreier, A.; Kuhlmann, H.; Klingbeil, L.: The potential of UAV-based Laser Scanning for Deformation Monitoring – Case Study on a Water Dam. *Proceedings of the 5th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*, Valencia, Spain, 2022, DOI: 10.4995/JISDM2022.2022.13833.
- Dreier, A.; Janßen, J.; Kuhlmann, H.; Klingbeil, L.: Quality Analysis of Direct Georeferencing in Aspects of Absolute Accuracy and Precision for a UAV-Based Laser Scanning System. *Remote Sensing*, 13, 3564, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13183564>
- Dreier, A.; Zimmermann, F.; Klingbeil, L.; Holst, Ch.; Kuhlmann, H.: Strategien zur Selektion von Satelliten in kinematischen GNSS-Anwendungen auf Basis von 3D-Umgebungsmodellen. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN)*, 128 (1), S. 13-22, Wichmann Verlag, Berlin, 2021
- Eschelbach, Cornelia, Michael Lösler, Joffray Guillory, Daniel Truong, Jean-Pierre Wallerand, Anni Röse, Paul Köchert, Günther Prellinger, Tobias Meyer, and Florian Pollinger. 2021. "Vom Kleinen Zum Großen: Ein Zwischenbericht Zum EMPIR-Projekt GeoMetre." *VDVmagazin - Zeitschrift für Geodäsie und Geoinformatik* 72, 354–61.
- Esser, F.; Klingbeil, L.; Zabawa, L.; Kuhlmann, H.: Quality Analysis of a High-Precision Kinematic Laser Scanning System for the Use of Spatio-Temporal Plant and Organ-Level Phenotyping in the Field. *Remote Sensing* 15, no. 4: 1117, 2023. <https://doi.org/10.3390/rs15041117>
- Esser, F.; Moraga, J.; Klingbeil, L.; Kuhlmann, H.: Accuracy improvement of mobile laser scanning point clouds using graph-based trajectory optimization. *Proceedings of the 5th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*, Valencia, Spain, 2022, DOI: 10.4995/JISDM2022.2022.13728.
- Frangez, Valens, David Salido-Monzu, and Andreas Wieser. 2022. "Assessment and Improvement of Distance Measurement Accuracy for Time-of-Flight Cameras." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 71 (April): 1–11. <https://doi.org/10.1109/TIM.2022.3167792>.
- Görres, Barbara, Klaus Fritzensmeier, Uwe Ehrhorn, Rolf Hollmann, Michael Mayer, and Florian Pollinger. 2022. "DIN-Norm 18213 GNSS-Feldprüfverfahren - Qualitätssicherung für die Berufspraxis." In *Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswertverfahren 2022: Beiträge zum 208. DVW-Seminar am 2. und 3. Juni 2022 in Berlin*. Schriftenreihe des DVW: 101..
- Han, Yu, David Salido-Monzú, and Andreas Wieser. 2023. "Classification of Material and Surface Roughness Using Polarimetric Multispectral LiDAR." *Optical Engineering* 62 (11). <https://doi.org/10.1117/1.OE.62.11.114104>.
- Holst, C.; Janßen, J.; Schmitz, B.; Blome, M.; Dercks, M.; Schoch-Baumann, A.; Blöthe, J.; Schrott, L.; Kuhlmann, H.; Medic, T.: Increasing Spatio-Temporal Resolution for Monitoring Alpine

- Solifluction Using Terrestrial Laser Scanners and 3D Vector Fields. *Remote Sensing*, 13, 1192, pp. 1-24, 2021.
- Janßen, J.; Kuhlmann, H.; Holst, C.: Keypoint-based registration of TLS point clouds using a statistical matching approach. *Journal of Applied Geodesy*, Vol. 18, No. 2, pp. 267-284, 2024. <https://doi.org/10.1515/jag-2022-0058>
- Jost, B.; Coopmann, D.; Holst, C.; Kuhlmann, H.: Real movement or systematic errors? TLS-based deformation analysis of a concrete wall. *Journal of Applied Geodesy*, 17(2), 139-149, 2023.
- Jost, B.; Coopmann, D.; Holst, C.; Kuhlmann, H.: How to be more accurate than a single laser scan: Creating the reference geometry of a large wall. In: A. Wieser (Ed.), *Beiträge zum 20. Internationalen Ingenieurvermessungskurs*, 11.-14. April 2023, Zürich, Switzerland, pp. 131-144, Wichmann, Berlin, Offenbach, 2023
- Kermarrec, Gael, Czerwonka-Schröder, Daniel, Holst, Christoph. 2023. "Does atmospheric turbulence affect long-range terrestrial laser scanner observations? A case study in alpine region." *Environmental Effects on Light Propagation and Adaptive Systems VI*, SPIE, doi:10.1117/12.2675958
- Köchert, Paul, Tobias Meyer, Hongdan Yan, Anni Sauthoff, Günther Prellinger, and Florian Pollinger. 2023. "The PTB multiwavelength interferometer for distances up to 5000 m." In *Proceedings of the 2023 ASPE Winter Topical Meeting - Precision Optical Metrology Workshop*, 6-7 March 2023, Tucson, USA.
- Koller, E.; Klingbeil, L.; Kuhlmann, H.: Improvement of edge representation in TLS point clouds using additional image information. In: Wieser, A. (Hrsg.): *Ingenieurvermessung 23, Beiträge zum 20. Internationalen Ingenieurvermessungskurs*, Zurich, Schweiz, Wichmann Verlag, Berlin, Offenbach, S.159-172, 2023
- Koller, Eike, Berit Jost, Andreas Wieser, Christoph Holst, and Heiner Kuhlmann. 2022. "Bestimmung einer Referenzgeometrie zur Prüfung von Laserscannern." *Terrestrisches Laserscanning 2022 (TLS 2022)* 104: 9–22.
- Laasch, H., T. Medic, and A. Wieser. 2023. "Towards Assessing Sandstone Surface Moisture and Degradation Level From Radiometrically Corrected TLS Intensity Data." *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences X-1/W1-2023 (December)*: 567–74. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-567-2023>.
- Niewiem, Witold, Krystof Polak, Martin Dusek, Dirk Mergelkuhl, Jean-Christophe Gayde, Andreas Wieser, and Miroslav Sulc. 2023. "Variation of Structured Laser Beam Pattern and Optimization for an Alignment Reference Line Creation." *Optics Express* 31 (26): 43307. <https://doi.org/10.1364/OE.503016>.
- Pilarski, Frank, Frank Schmaljohann, Stephanie Weinrich, Johannes Huisman, Daniel Truong, Tobias Meyer, Paul Köchert, René Schödel, and Florian Pollinger. 2021. "Design and Manufacture of a Reference Interferometer for Long-Range Distance metrology." In *Conference Proceedings - 21st International Conference & Exhibition, Monday 7th to Friday 11th June 2021, Technical University of Denmark, Copenhagen Denmark*, 511–2.. <https://www.euspen.eu/knowledge-base/ICE21222.pdf>.
- Pollinger, Florian, Sergio Baselga, Clément Courde, Cornelia Eschelbach, Luis García-Asenjo, Pascual Garrigues, Joffray Guillory, et al. 2023. "The European GeoMetre Project: Developing Enhanced Large-Scale Dimensional Metrology for Geodesy." *Applied Geomatics*.. <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00487-3>.
- Pollinger, Florian, Clément Courde, Cornelia Eschelbach, Luis García-Asenjo, Joffray Guillory, Per Olof Hedekvist, Ulla Kallio, et al. 2022. "Large-Scale Dimensional Metrology for Geodesy—First Results from the European GeoMetre Project." In *International Association of Geodesy Symposia*, 1–6. Berlin, Heidelberg.. https://doi.org/10.1007/1345_2022_168.

- Pollinger, Florian, and Martin Wedde. 2023. DKD-Ringvergleich zur Kalibrierung von Maßbändern: Vergleichsbericht DKD-V 4-5.
- Raffl, Lukas, Schnider, René, Holst, Christoph 2022. "Genauigkeitsuntersuchung eines GNSS-Monitoringsystems für das Geomonitoring am Hochvogel." *Allgemeine Vermessungsnachrichten (avn)*, 129 (4), 115-124
- Ray, Pabitra, David Salido-Monzú, and Andreas Wieser. 2023. "High-Precision Intermode Beating Electro-Optic Distance Measurement for Mitigation of Atmospheric Delays." *Journal of Applied Geodesy* 0 (0). <https://doi.org/10.1515/jag-2022-0039>.
- Ray, Pabitra, David Salido-Monzú, Andreas Wieser, and Tomislav Medic. 2023. "Supercontinuum-Based Hyperspectral Laser Scanning: Towards Enhanced 3D Surface Reconstruction and Its Benefits for Remote Sensing." In *Multimodal Sensing and Artificial Intelligence: Technologies and Applications III*, edited by Ettore Stella, Dariusz Ceglarek, Qian Kemao, and Francesco Soldovieri, 12621:21. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2673800>.
- Röse, Anni, Paul Köchert, Günther Prellinger, Eberhard Manske, and Florian Pollinger. 2021. "Monte-Carlo Analysis of Challenges and Limitations of Dispersion-Based Optical Thermometry." In *SMSI 2021 - Sensors and Instrumentation*, 203–4.
- Sauthoff, Anni, Paul Köchert, Günther Prellinger, Tobias Meyer, Frank Pilarski, Stephanie Weinrich, Frank Schmaljohann, et al. 2022. "Two Multi-Wavelength Interferometers for Large-Scale Surveying." In *Proceedings of the 5th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Valencia, Spain.
- Schill, Florian, Daniel Wujanz, Jens Hartmann, Christoph Holst, Jens-André Paffenholz. 2022. "Ringversuch zur Bestimmung eines intensitätsbasierten stochastischen Modells für die Z+F IMAGER 5016 Serie." *DVW-Schriftenreihe*, 104, In: *Terrestrisches Laserscanning 2022 (TLS 2022)*, S. 39-62, Fulda, Wißner Verlag, 214. DVW-Seminar, Fulda, 8. und 9. Dezember 2022
- Schmidt, Jakob, Volland, Vivien, Iwaszczuk, Dorota, Eichhorn, Andreas. 2023: "Detection of hidden edges and corners in SLAM-based indoor point clouds." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-1/W1-2023*, In: *12th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT 2023)*, S. 443-449, Katlenburg-Lindau, Copernicus Publications, 12th International Symposium on Mobile Mapping Technology, Padua, Italy, 24.-26.05.2023, ISSN 2194-9034
- Schmidt, Jakob; Eichhorn, Andreas; Iwaszczuk, Dorota. 2023. "Punkt- und ebenenbasierte Detektion von Ecken und Kanten in Innenraum-Punktwolken." *Publikationen der DGPF*, 31, In: *Jahrestagung der DGPF Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation - 2023*, S. 310-321, München, 43. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF in München, München, 22.-23. März 2023, ISSN 0942-2870.
- Schmitz, B.; Kuhlmann, H.; Holst, C.: Towards the empirical determination of correlations in terrestrial laser scanner range observations and the comparison of the correlation structure of different scanners. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (182), 228-241, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.10.012>
- Schmitz, B.; Kuhlmann, H.; Holst, C.: Deformation analysis of a reference wall towards the uncertainty investigation of terrestrial laser scanners. *Journal of Applied Geodesy*, 15(3), pp. 189-206, 2021. <https://doi.org/10.1515/jag-2020-0025>
- Tombrink, G.; Dreier, A.; Klingbeil, L.; Kuhlmann, H.: Trajectory evaluation using repeated rail-bound measurements. *Journal of Applied Geodesy*, 2023. <https://doi.org/10.1515/jag-2022-0027>
- Wang, Z., M. Varga, T. Medić, and A. Wieser. 2023. "Assessing the Alignment Between Geometry and Colors in TLS Colored Point Clouds." *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences X-1/W1-2023 (December)*: 597–604. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-597-2023>.

Wieser, Andreas, Laura Balangé, Peter Bauer, Tobias Gehrman, Jan Hartmann, Christoph Holst, Berit Jost, et al. 2022. "Erfahrungen aus einem koordinierten Vergleich aktueller Scanner." *Terrestrisches Laserscanning 2022 (TLS 2022)* 104: 23–38. <https://www.research-collection.ethz.ch:443/handle/20.500.11850/594065>.

Yan, Hongdan, Paul Köchert, Patrik Knigge, Jan Blohm, Tobias Meyer, Günther Prellinger, Martin Stein, Daniel Heißelmann, and Florian Pollinger. 2023 "Design of an absolute distance interferometer for the dynamic calibration of large-volume coordinate measurement machines." In *Conference Proceedings - 23 International Conference & Exhibition: (2023)*, 253–4. <https://www.euspen.eu/knowledge-base/ICE23231.pdf>.